

**EKOSISTEMI – POVEZANOST ŽIVIH SISTEMOV  
MEDNARODNI POSVET BIOLOŠKA ZNANOST IN DRUŽBA  
LJUBLJANA, 2.–3. OKTOBER 2008**

Zbornik prispevkov

**ECOSYSTEMS – INTERDEPENDENCE OF LIVING SYSTEMS  
CONFERENCE ON BIOSCIENCE AND SOCIETY  
OCTOBER 2–3, 2008, LJUBLJANA, SLOVENIA**

Proceedings

The National Education Institute  
Ministry of Education and Sport

Zavod Republike Slovenije za šolstvo  
Ministrstvo za šolstvo in šport

BIOSCIENCE  
AND  
SOCIETY



BIOLOŠKA  
ZNANOST  
IN DRUŽBA

Ekosistemi – povezanost živih sistemov  
Mednarodni posvet Biološka znanost in družba  
Ljubljana, 2.–3. oktober 2008  
Zbornik prispevkov

Ecosystems – Interdependence of Living Systems  
Conference on Bioscience and Society  
October 2–3, 2008, Ljubljana, Slovenia  
Proceedings

*Organizatorja / Organizers*

Zavod RS za šolstvo / The National Education Institute

v sodelovanju z / in cooperation with:

Ministrstvom za šolstvo in šport / Ministry of Education and Sport

Društvom biologov Slovenije / Slovenian biological society

Oddelkom za biologijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani / University of Ljubljana, Biotechnical faculty,  
Department of Biology

*Organizacijski odbor / Organizing committee*

Minka Vičar, Zavod RS za šolstvo (predsednica organizacijskega odbora posveta / chair of organizing committee)

Gregor Mohorčič, Zavod RS za šolstvo

Andreja Barle Lakota, Ministrstvo za šolstvo in šport

Barbara Vilhar, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Simona Strgule Krajšek, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Gorazd Urbanič, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Tadeja Trošt Sedej, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Al Vrezec, Nacionalni inštitut za biologijo

Alenka Gorjan, Lek

Tanja Popit, Zavod RS za šolstvo

Alexis Zrimec, Inštitut za fizikalno biologijo

*Avtorji prispevkov / Authors*

Eva Jablonka, Igor Jerman, Andrej Šmuc in Jernej Pavšič, Al Vrezec, Davorin Tome, Hardy Pfanz, Ivan Kos,

Mihael J. Toman, David Stopar, Kazimir Tarman, Peter Schönswetter, Boris Kryštufek, Alenka Gaberščik,

Tadeja Trošt Sedej, Lučka Kajfež Bogataj, Drago Kos, Metka Kralj, Andrej A. Lukšič, Barbara Vilhar,

Andreja Barle Lakota, Boris Sket

*Uvodniki / Leading articles*

Danilo Türk, predsednik Republike Slovenije, pokrovitelj posveta / the president of the Republic of Slovenia, the patron of the symposium

Jože Trontelj, predsednik Slovenske akademije znanosti in umetnosti / the president of the Slovenian Academy of Sciences and Arts

Gregor Mohorčič, direktor Zavoda RS za šolstvo / the director of the National Educational Institute of Slovenia  
Minka Vičar, predsednica organizacijskega odbora posveta / chair of organizing committee

*Strokovni pregled / Reviewers*

Andreja Barle Lakota, Alenka Gaberščik, Simona Strgulc Krajšek, Davorin Tome, Tadeja Trošt Sedej, Barbara Vilhar, Al Vrezec, Tanja Popit

*Prevodi / Translators*

Jasna Dolenc Koce, Tadeja Trošt Sedej, Simona Strgulc Krajšek, Barbara Vilhar

*Urejanje / Editors*

Simona Strgulc Krajšek, Minka Vičar

*Jezikovni pregled / Proofreader*

Tine Logar

*Izdal in založil / Publisher*

Zavod RS za šolstvo

*Predstavnik / Represented by*

Gregor Mohorčič

*Urednica založbe / Editor of the Publishing Centre*

Mira Turk Škraba

*Oblikovanje ovitka / Designer*

Darko Birsa

*Tisk / Print*

Littera picta

Ljubljana 2009

*Objava na spletni strani posveta*

<http://www.zrss.si/bzid/ekosistemi> (2. 3. 2009)

CIP - Kataložni zapis o publikaciji  
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

574(082)(0.034.2)

MEDNARODNI posvet Biološka znanost in družba (2008 ; Ljubljana)

Ekosistemi - povezanost živih sistemov [Elektronski vir] :  
zbornik prispevkov = Ecosystems - interdependence of living systems  
: proceedings / Mednarodni posvet Biološka znanost in družba,  
Ljubljana, 2.-3. oktober 2008 = Conference on Bioscience and  
Society, October 2-3, 2008, Ljubljana, Slovenia ; organizatorji  
Zavod RS za šolstvo ... [et al.] = organizers The National  
Educational Institute ... [et al.] ; avtorji prispevkov Eva  
Jablonka ... [et al.] ; uvodniki Danilo Türk ... [et al.] ; prevodi  
Jasna Dolenc Koce ... [et al.] ; urejanje Simona Strgulc Krajšek,  
Minka Vičar, Tanja Popit. - Ljubljana : Zavod RS za šolstvo, 2009

Način dostopa (URL): <http://www.zrss.si/bzid/ekosistemi>

ISBN 978-961-234-759-8

1. Gl. stv. nasl. 2. Vzp. stv. nasl. 3. Biološka znanost in družba  
4. Jablonka, Eva 5. Strgulc-Krajšek, Simona 6. Zavod Republike  
Slovenije za šolstvo  
244284928

© Zavod Republike Slovenije za šolstvo, 2009

Vse pravice pridržane. Brez založnikovega pisnega dovoljenja gradiva ni dovoljeno reproducirati, kopirati ali kako drugače razširjati. Ta prepoved se nanaša tako na mehanske (fotokopiranje) kot na elektronske (snemanje ali prepisovanje na kakršni koli pomnilniški medij) oblike reprodukcije.

## VSEBINA / CONTENTS

---

<b>Danilo Türk:</b>	Uvodni nagovor predsednika Republike Slovenije / Opening speech of the President of the Republic of Slovenia: .....	7
<b>Jože Trontelj:</b>	O naraščajočem pomenu biološkega znanja / The increasing importance of biological knowledge .....	9
<b>Gregor Mohorčič:</b>	Uvodni nagovor / Preface.....	12
<b>Minka Vičar:</b>	Uvod / Introduction.....	13
<b>ZGRADBA IN RAZVOJ EKOSISTEMA / ECOSYSTEM STRUCTURE AND DEVELOPMENT.....</b>		<b>14</b>
<b>Eva Jablonka:</b>	Odgovor na razmere v okolju: Epigenetska variabilnost pri dedovanju in evoluciji / Responding to the environment: Epigenetic variations in heredity and evolution.....	14
<b>Igor Jerman:</b>	Okolje in evolucija / Environment and evolution .....	16
<b>Andrej Šmuc in Jernej Pavšič:</b>	Vpliv podnebnih sprememb na organizme v geološki zgodovini / Effect of climate changes on the organisms in the geological past.....	22
<b>Al Vrezec:</b>	Medvrstni odnosi krojijo strukturo življenjskih združb: večvrstni interakcijski kompleksi v ekosistemih / Interspecific interactions are structuring natural assemblages: multispecies interaction complexes in ecosystems .....	29
<b>Davorin Tome:</b>	Ekologija populacij / Population ecology .....	40
<b>DELOVANJE EKOSISTEMOV / ECOSYSTEM FUNCTIONING .....</b>		<b>44</b>
<b>Hardy Pfanz:</b>	Koncept ekosistema / The ecosystem concept .....	44
<b>Ivan Kos:</b>	Življenjska združba kot subjekt življenja / Biotic community as a component of life .....	46
<b>Mihael J. Toman:</b>	Vodni ekosistemi – struktura in funkcija / Freshwater ecosystems – structure and function.....	50
<b>David Stopar:</b>	Mikrobna oaza v tleh / Microbial oasis in the soil .....	57
<b>Kazimir Tarman:</b>	Pedofavna – njena raznovrstnost in vloga pri razkrojevanju organskih ostankov v tleh / Pedofauna – variability and its role in decomposition of organic matter in soil.....	61
<b>Peter Schönswetter:</b>	Molekulski markerji in njihova uporaba v biogeografiji / Molecular markers and their application in biogeography.....	68
<b>Boris Sket:</b>	Skrajna okolja – ekstremni habitati / Extreme habitats.....	88

<b>ČLOVEK JE DEL EKOSISTEMOV / HUMANS AS A FUNCTIONAL PART OF ECOSYSTEMS.....</b>	<b>92</b>
<b>Boris Kryštufek:</b>	Izumiranje / Extinction ..... 92
<b>Alenka Gaberščik:</b>	Ohranjanje ekosistemskih storitev – osnova našega preživetja / Conservation of ecosystem services – the basis of human survival ..... 97
<b>Tadeja Trošt Sedej:</b>	Ekosistem in okoljske spremembe / Ecosystem and environmental changes ..... 102
<b>Lučka Kajfež Bogataj:</b>	Globalno ogrevanje: podnebne spremembe so že tu / Global warming: Climate has already changed ..... 108
<b>Drago Kos:</b>	Spoznavanje narave in družbe – SND / Cognition of nature and society .... 116
<b>Metka Kralj:</b>	Odpadki v regulacijski povratni zanki ohranjanja ekološkega ravnovesja / Wastes in regulating feedback of conservation of ecological balance ..... 121
<b>Gorazd Urbanič:</b>	Varstvo ekosistemov / Ecosystem conservation ..... 128
<b>ZNANJE IN IZOBRAŽEVANJE O EKOSISTEMIH ZA DRUŽBO PRIHODNOSTI / THE IMPORTANCE OF EDUCATION ABOUT ECOSYSTEMS FOR THE FUTURE SOCIETY.....</b>	<b>143</b>
<b>Andrej A. Lukšič:</b>	Vzgoja in izobraževanje za trajnostni razvoj v luči različnih konceptov trajnostnega razvoja / Education for sustainable development in perspective of different concepts of sustainable development ..... 143
<b>Barbara Vilhar:</b>	Napačne in nepopolne predstave o živih sistemih / Misconceptions about living systems ..... 150
<b>Janez Justin:</b>	Taksonomije in znanje / Taxonomies and knowledge ..... 170
<b>Andreja Barle Lakota:</b>	Izobrazba in demokracija / Education and democracy ..... 183

## UVODNI NAGOVOR

**Danilo Türk**, predsednik Republike Slovenije



V zadnjih dvesto letih je povprečni Zemljan postal mnogo bogatejši, seveda če sodimo po povprečnem bruto družbenem proizvodu na prebivalca planeta. Tudi zato, ker je človeštvo pohlepno in lahkomišno poseglo v kapital narave.

V svoji negospodarnosti smo spregledali, da na ta način posegamo v naravne procese in v ekosisteme, ki nam uravnavajo sestavo zraka, vzdržujejo globalno temperaturo in podnebje, uravnavajo kroženje in zadrževanje vode ter nastajanje in zadrževanje tal, omogočajo kroženje in prevzem hranil. Ekosistemi so tudi vir biološkega materiala, hrane in surovin, hkrati pa zagotavljajo možnosti za rekreacijo in estetske užitke.

Se mestni prebivalci sploh zavedamo, koliko ekosistemskih uslug nam nudi drevo sredi mesta? Da nam drevo čisti zrak, dela senco, blaži premočan veter, uravnava vlago v zraku, izboljšuje odpadno vodo, zagotavlja zavetje in preživetje številnim koristnim bitjem, od ptičev do čebel in drugih opraševalcev, nudi estetski užitek in zvišuje vrednost stanovanj v okolici?

Narava je bogastvo ali preprosteje – kapital. V to bogastvo smo posegli, ne da bi plačali pravo ceno za usluge narave.

Planet se na naše ravnanje odziva. Človek je del ekosistemov oziroma ekosfere in je odvisen od nje, kar pomeni, da tako kot vsa živa bitja tudi on za preživetje uporablja storitve le-teh do te mere, da se ohranjajo procesi v njej. Cena, ki jo že in jo še bomo plačevali zaradi posledic lokalnih ekoloških katastrof in globalnih podnebnih sprememb, je visoka in bo v prihodnje še višja. Nepremišljeno ravnanje povratno negativno vpliva na naše blagostanje, na kakovost in razpoložljivost naših osnovnih virov in s tem tudi na naše zdravje.

Ohranjanje biološke raznovrstnosti in ekosistemov oziroma ekosfere je zato tudi ekopolitično vprašanje, ki zahteva znanje, odgovornost, celostni sistemski pristop ter obravnavo planeta Zemlja kot pomembne vrednote, ki nam omogoča preživetje in razvoj.

Letošnje poročilo OECD opozarja, da bomo – če ne bomo spremenili svojega ravnanja – potomcem zapustili neprijazne razmere za življenje. Ljudi, ki bodo leta 2050 živeli na Zemlji, čakajo vročinski valovi, suše, poplave, viharji, ki bodo uničevali ključno infrastrukturo in poljščine. Veliko živali in rastlin, ki jih poznamo danes, bo zaradi gradnje vedno nove infrastrukture in širitve polj za kmetijsko pridelavo izumrlo. Samo za pridelavo hrane in bioloških goriv bo človeštvo potrebovalo 10 odstotkov več polj kot danes. Kakovost življenja in gospodarska rast se bosta zmanjšali zaradi izgube biološke raznovrstnosti, ki zagotavlja uravnovešen ekosistem. Število ljudi, ki bodo trpeli pomanjkanje pitne vode, se utegne povečati z 1 na 3,9 milijarde. Ljudje bodo množično zbolevali zaradi onesnaženega zraka, početverilo se bo število tistih, ki bodo umrli zaradi previsoke koncentracije ozona v zraku, število smrti zaradi drobnih delcev v ozračju pa se bo podvojilo. Najbolj bodo trpeli ljudje v državah v razvoju, ker so manj pripravljene na spremembe in imajo manj možnosti za prilagoditve.

Skoraj vse članice EU in OECD so v zadnjih letih sicer zmanjšale industrijsko onesnaževanje okolja, povečale so površino gozdov in ekološko zaščitene območij – čeprav vsa zaščitena območja niso kakovostna in skorajda ni zaščitene območij na morju. Zmanjšala se je poraba vode in energije na enoto proizvoda. A gledano globalno, so se obremenitve za okolje zaradi gospodarske rasti in rasti števila prebivalstva kljub temu povečale.

Gospodarska prihodnost številnih revnih držav je vprašljiva, ker netrajnostno izkoriščajo naravne vire, nezadržno povečujejo onesnaževanje okolja, naglo širijo mesta. Države v razvoju bodo zaradi posledic podnebnih sprememb

najbolj trpele, ker nimajo finančnih in institucionalnih zmožnosti za izvedbo ukrepov, s katerimi bi te spremembe zmanjševale.

Gospodarski in socialni stroški zaradi pomanjkanja ukrepov ali prepoznega ukrepanja so povsod, tudi v članicah OECD, ogromni. Neposredno jih je mogoče izmeriti kot stroške za zdravstvo, posredno pa se kažejo v obliki zmanjševanja produktivnosti. Dodatne stroške bodo povzročili še zmanjšanje biološke raznovrstnosti in klimatske spremembe.

Politika in tudi znanost sta tako pred številnimi izzivi, s katerimi se je treba spoprijeti. Izzivi postajajo tako za politike kot za raziskovalce vse bolj kompleksni in globalni, ob tem pa vse bolj zmanjkuje tudi časa, saj je na izboljšanje na podlagi izvajanja preventivnih ukrepov treba čakati vse dalj. Večino okoljskih problemov je z usklajenimi ukrepi še mogoče rešiti; za reševanje le-teh mora poskrbeti oblast v sodelovanju z zasebnimi podjetji in civilno družbo. Pa tudi v primerih, ko preprečitev globalnega segrevanja ni mogoča, je veliko potreb po pravočasnih prilagoditvah za blažitev posledic. Ministrstva morajo skupaj pripraviti okoljske politike in tesno sodelovati na področju financ, energije, trgovine, prometa, industrije, kmetijstva in zdravja. Spoznanja sodobne biologije nam pri tem lahko pomagajo, seveda če bodo dostopna vsem in njihov prenos enakopravno omogočen vsem mladim, ki bodo dali svoj prispevek na družbenem, gospodarskem, kulturnem in drugih področjih delovanja človeške družbe.

Brez kakovostne izobrazbe kot osnovne pravice se človeška družba ne bo mogla vključevati v demokratične procese suverena odločanja, nadzora različnih vplivov na ekosisteme in zdravje, v javne razprave o enakopravnosti dostopa do naravnih virov ter celostno reševanje problemov v zvezi z ohranjanjem biodiverzitete in ekosistemov. Gre za odločanje o pomembnih pravicah človeka.

Tu je ključno poslanstvo učiteljic in učiteljev kot nosilcev izobraževanja. Zato so pomembni njihova strokovnost in z njo povezana strokovna avtonomija ter dostop do izobraževanja glede na razvoj sodobne znanosti.

Interes in naloga države je, da jim to zagotovi, saj država s kakovostnim javnim šolskim sistemom lahko vsem prebivalkam in prebivalcem omogoči enakopravni dostop do kakovostne izobrazbe.

Ob prihajajočem svetovnem dnevu učitelja si bomo zato prizadevali, da bi učiteljice in učitelji imeli zagotovljen dostop do izobraževanja skladno z razvojem znanosti in da bi bili z njo čim bolj povezani. Tako bodo v praksi lahko čim bolj kakovostno izpolnili svoje pomembno poslanstvo pri prenosu znanja na mlajše generacije, katerih pravica je dostop do znanja, ki jim bo omogočalo razvijanje vrednot, ohranjanje kakovosti življenja ter suvereno delovanje na poklicnem, osebnem, kulturnem in družbenem področju.

To ni pomembno poudarjati le zato, ker je Generalna skupščina Združenih narodov letošnje leto razglasila za mednarodno leto planeta Zemlja, ampak zaradi dolgoročne odgovornosti za življenje in ohranjanja pravice do kakovostnega življenja in razvoja prihodnjih generacij.



## O RASTOČEM POMENU BIOLOŠKEGA ZNANJA

**Jože Trontelj**, predsednik Slovenske akademije znanosti in umetnosti



*Najprej moramo vedeti.*

*Potem moramo dejstva pretehtati.*

*Šele nato lahko modro ravnamo.*

Svet doživlja prelomne čase, ki se utegnejo zapisati kot nova plast v geološki zgodovini planeta. Kaže, da bo začetek te plasti izjemno ostro omejen, podobno dobi, ko so izumrli veliki plazilci. Izumiranje 150 živalskih in rastlinskih vrst na dan bo v sedimentih iz začetka 3. tisočletja človeškega štetja pod lupo morebitnega prihodnjega znanstvenika čez nekaj deset tisoč let videti kot nenaden začetek katastrofičnega dogajanja. Seveda govorim o globalni podnebni spremembi.

Nekateri znanstveniki menijo, da katastrofični scenarij še ni neizogibna usoda, ki nas čaka pred vrati v naslednjih nekaj letih. Pomembno naj bi bilo vedenje človeštva, ki odločilno vpliva na kroženje snovi in energije na planetu. Še je čas, pravijo, še smo gospodarji položaja, in bomo to ostali, dokler ne bomo Zemlje ogreli v povprečju za več kot dve stopinji Celzija. Onkraj te meje bomo samo še nemočni opazovalci in pasivni sopotniki naglega drvenja v kataklizmo.

Ali bo človeštvo zmoglo toliko modrosti, odločnosti in organiziranosti, da bo ta tok dogodkov zaustavilo? Dosedanje izkušnje ne vlivajo optimizma. Za ukrepanje menda nimamo veliko časa. Veliko sicer lahko storijo posamezniki s tem, da se odrečejo porabniški razsipnosti in razvadam, predvsem glede porabe energije. A zavedati se moramo: o velikih rečeh, ki so zares pomembne, bo na koncu odločal kapital, volivci in šele v tretji vrsti politiki. To se pravi v primeru, da bo demokracija v današnji obliki preživela do točke 2 temperaturnih stopinj.

Pred nami so velika vprašanja. Kako naj svetovna skupnost ustavi katastrofalno uničevanje deževnih pragozdov v Amazoniji, če to ne bo uspelo Braziliji? Kako pomagati Kitajski in Indiji, da bo njun razvoj kolikor mogoče energetsko varčen? Predvsem pa, kako spremeniti delovni in življenjski slog razvitega sveta, ki je do brezumnosti zapravljen? Majhne in postopne spremembe predvidoma ne bodo opravile nič, potratno obnašanje bo treba spremeniti radikalno in naglo, in to na vseh ravneh, od posameznika do družbenih, gospodarskih in političnih sistemov. Nekatere spremembe bodo bolj, druge manj boleče. Ne bo se tako težko odreči nepotrebnim potovanjem, predvsem tistim poslovnim z letali, ki jih brez škode nadomestimo s poceni telekonferencami. Pa prevozom nenujnega, celo nepotrebne blaga prek polovice zemeljske krogle, kot so sveže avstralske češnje za evropske tržnice. Težje bo prepričati ministre, da javnosti privlačne, a velike investicije v (vsaj ponekod) energetsko malo pomembne vetrne elektrarne niso najboljši odgovor na zahtevo po brezogljicnem pridobivanju energije. Kljub vsem znanim slabostim utegne biti novogradnja zmerne števila jedrskih central edina učinkovita in v kratkem času uresničljiva srednjeročna alternativa za škodljive termoelektrarne. Še boljše bi bilo, če bi se zmogli odpovedati svojim razsipnim razvadam – že s tem bi postale nove in nekatere stare elektrarne nepotrebne.

Najtežje pa bo prepričati voditelje držav, da je njihov poglaviti cilj – čim hitrejša gospodarska rast in večanje nacionalnega dohodka – kratkovidna in samouničevalna zabloda, ki pelje človeštvo v pogubo. Ta rast gre namreč neizbežno na račun vse bolj ogroženih, vse bolj izčrpanih naravnih virov. Ta rast, ki jo zahtevajo naraščajoče milijarde prebivalstva, ki jo zahteva njihov porabniški pohlep, ki jo brezpogojno terjajo tudi armade njihovih držav, naglo in nepovratno (vsaj če čase merimo v manj kot v stotisočih let) spreminja obličje Zemlje.

Ni se mogoče slepiti. Ljudi je že več, kot jih svet pri našem življenjskem slogu lahko brez škode prenese. Razen v Evropi pa število povsod naglo narašča.

Pri vsakem človeku, pa naj odloča le zase, ali za politično skupnost, za svoje podjetje, za državo ali skupnost držav in narodov, bo ključno razumevanje pomena tega, o čemer se odloča. Ko gre za vprašanja preživetja civilizacije ali celo človeka kot vrste, pa je čisto prvi pogoj vsaj osnovno, a dovolj zanesljivo biološko in širše naravoslovno znanje.

Odločitve, *kolikor bodo sploh še lahko prostovoljne*, ne bodo lahke. Treba bo premagati sebičnost, odpovedati se osebnim koristim in udobju, tudi upanju, da bi z drobnimi goljufigami sebi v prid ušli neprijetnemu odrekanju. Kaj naj bo motiv na primer za to, da ne bomo šli z lastnim avtom na nenujno vožnjo, potem ko bo to morda v kratkem odsvetovano ali celo prepovedano? Boljša kot strah pred sankcijo bo gotovo etična zavest, da ni prav uživati neupravičeno korist zase na račun drugih. Seveda si lahko zamislimo dileme, ki bodo veliko večje in težje, ko se bo posameznik moral odločati tudi za druge, morda v imenu večjega števila ljudi, za katere bo moral nositi tudi odgovornost.

Tu pa smo pri drugem pogoju za pošteno vedênje. To je *vzgoja za dobro življenje z drugimi in za druge v pravičnem redu*, kot pojmujeta etiko Aristotel in Kant.

Če želimo svoje otroke kolikor mogoče dobro pripraviti na velike probleme našega in njihovega časa (ki jih sami nismo niti *začeli* reševati), je najboljše, kar jim lahko damo, dobra izobrazba s primernim poudarkom na biologiji, vendar pospremljena s humanistično vzgojo. Nekoč smo temu rekli široka splošna izobrazba in kultura.

Tudi če nam bo uspelo odvrniti grožnjo globalnega pregretja, ostaja še vrsta razlogov, zakaj ljudje potrebujemo vse več biološkega znanja.

Na prvem mestu je *napredek biomedicinskih znanosti*. Posameznik je že danes in bo v prihodnje vse bolj postavljen pred nove izbire v zadevah lastnega zdravja in zdravja svojih bližnjih, odločanja glede rojstva otrok, genetske napovedi verjetnih prihodnjih bolezni, shranjevanja popkovnične krvi svojih novorojenih otrok v bankah matičnih celic, sodelovanja v raznovrstnih kliničnih raziskavah kot zdrav prostovoljec ali bolnik. Kot volivec ali poslanec v parlamentu bo morda soodločal o predlogih zakonov, ki bodo poskušali zaobiti etiko, kot jo poznamo danes, in dati raziskovalcem proste roke, da začno ustvarjati človeške klone in živalsko-človeške križance, hibride in himere, ki naj bi postali koristna poskusna bitja za študij raznovrstnih bolezni, morda pa tudi vir tkiv in organov za terapevtske presaditve. Tedaj bo dobro, če bo prepoznal pasti, ki jih odpira pretirana svoboda znanosti. Če ne, se bo skupaj s svojimi potomci moral sprijazniti s precej drugačnim svetom prihodnosti, z manjšo osebno svobodo, z resno skrčenimi človekovimi pravicami. Ne zdi se verjetno, da mu bodo te spremembe všeč. Poljubno poseganje v človekovo spočetje in rojstvo, uporaba enih človeških bitij, njihovih teles in življenj kot sredstva za zdravljenje ali celo nezdravstvene koristi drugih bi usodno spremenili poglede na vrednost človeškega življenja, na človekovo dostojanstvo, na človekove pravice. Družba bi začela varčevati pri stroških, ki jih ima s kronično bolnimi, z 'dragimi' bolniki, invalidi, starostniki.

Med razlogi, da ljudje potrebujejo več biološkega znanja, je tudi *napredek neakademskega zdravilstva*. Tu ne mislim na napredek zdravilcev v razumevanju človeškega telesa in bolezni, ampak bolj na napredek njihovega razumevanja psihologije klientov in na spretnost, s katero promovirajo svoje storitve in zlorablajo njihovo biološko nevednost in naivnost. Naravnost mučno je opazovati intelektualce, kako prostodušno nasedajo tudi najbolj prozornim sleparijam, ki jih zdravniki opremljajo s kvazi-znanstveno razlago in jih potem še drago zaračunavajo.

Treba se bo tudi odločiti, kako daleč se bomo odrekli svoji *pravici do zasebnosti*. Napredek v biomedicinskih vedah, predvsem v genomiki, je odprl vrata razvoju nove medicinske stroke, napovedne medicine, ki omogoča vpogled v verjetno prihodnje zdravje posameznika. Ali bomo dovolili tak vpogled v svoje današnje in prihodnje zdravje svojemu delodajalcu? In svoji življenjski ali zdravstveni zavarovalnici? Tu so nedvomno možne boleče zlorabe človekovih pravic posameznika. A to ni edina skrb, ki nas navdaja ob predstavi »steklenega človeka«. Pravica do zasebnosti je pomemben del človekove svobode, uveljavljanja lastne volje in lastnih izbir v obsegu, ki se nam danes zdi normalen in upravičen.

Ali naj policija pridobi profile DNA vseh državljanov? To bi ji omogočilo identifikacijo vsake biološke sledi človeškega izvora in s tem učinkovitejše raziskovanje zločinov. Ali bomo – zaradi boja proti kriminalu in terorizmu

– dovolili celo podkožno vsaditev informacijsko-komunikacijskega čipa, ki bo omogočil policiji popoln nadzor nad našim gibanjem in ji bo dal na udobno razpolaganje še vrsto drugih podatkov o naši identiteti, načinu življenja in vseh mogočih izbirah?

Ali bomo privolili v *nemedicinsko rabo medicinskih tehnologij* – za ‘žlahtnjenje’ človeka in pridobitev ali ‘ojačitev’ zaželenih lastnosti? Na prvi pogled ni nič narobe, če želimo svojim otrokom – s pomočjo genetske ali farmakološke znanosti, če že ne gre po naravni poti – priskrbeti vrhunsko nadarjenost za glasbo ali druge vrste umetnosti, za politiko ali izbrano vrsto športa, za povrh pa še nadpovprečno inteligentnost ali telesno lepoto. Lahko pa si takoj zamislimo slabe posledice takih postopkov: razvrednotenje dosežkov, ki jih je bilo doslej mogoče pridobivati le po trdi poti truda in odrekanja, diskriminacijo tistih, ki jih bodo družbeni status ali biološke omejitve za takšno žlahtnjenje prikrajšali, odrinjenje invalidov, revnih, kronično bolnih in ostarelih na rob nove, biološko požlahtnjene družbe. Spremenila bi se mnogotera merila. V športu bi postalo nesmiselno ugotavljati zlorabo nedovoljenih substanc, kot je eritropoietin: namesto tega bi vnaprej izločili vse športnike, ki imajo več kot, denimo, 165 g hemoglobina v litru krvi ali predobro razvite mišice. V košarkarsko moštvo bi pripustili le igralce s telesno višino pod 195 cm, in tako naprej.

Naravoslovno slabo izobražen človek pa je tudi lahka *žrtev čudaških praznoverij*, raznovrstnih psevdoznanstvenih prepričanj in tako imenovanih novih duhovnih gibanj, ki jih je danes toliko, kot še nikoli doslej. Tu imajo – podobno kot pri zdravilstvu – svoj obžalovanja vreden delež krivde sredstva javnega obveščanja, ki služijo tej negaciji zdravega razuma in znanosti veliko rajši in pogosteje kot popularizaciji znanosti same.

Vse to zveni kot morasta futuristična napoved, ki se nikoli ne more uresničiti. Upamo, da se res ne bo. Znanost pa vseeno s pospešeno hitrostjo ustvarja nove dosežke, ki jih je mogoče uporabiti na raznovrstne načine. Tudi zlorabiti.

Človeštvo nima pravih obrambnih mehanizmov, da bi preprečilo zlorabe znanosti. Tudi, ko bi jih imelo, jih morda ne bi želelo uporabiti. Silnice, ki vodijo človeško vedênje, preveč usmerja nerazumna požrešnost, ki nam samim resno škoduje celo v svoji najblažji obliki, v daljši perspektivi pa je celo samomorilna. Požrešnost v svojih raznolikih pojavnih oblikah je usodno močno gibalno bitja, ki je samo sebe ošabno poimenovalo *Homo sapiens*. Ena od redkih obramb pred tem vzgibom, na katero lahko računamo, je dobra naravoslovna izobrazba skupaj z vrednostno vzgojo. Obema moramo posvetiti vso skrb – v imenu prihodnosti naših otrok in vnukov, pa tudi njihovih otrok in vnukov.

Že danes, leta 2008, pa bi morali začeti nov, nujen planetarni projekt: uveljaviti globalni vrednostni sistem, ki bo obstoječim vrednotam dodal še nekaj moralnih zapovedi najvišjega ranga: vzdrževati biološko ravnovesje planeta s pravično omejitvijo interesov posameznikov in skupin, skrbeti za kar se da harmonično sožitje ljudi z drugimi vrstami življenja na Zemlji in skrbno preprečevati zlorabe dosežkov znanosti.

## UVODNI NAGOVOR

**Gregor Mohorčič**, direktor Zavoda RS za šolstvo



Biologija za razliko od fizike in kemije, ki sta svoj vzpon doživeli veliko prej in temu primerno strukturirali vsebine v izobraževanju, šele v zadnjih desetletjih doživlja velik razvoj, kar posledično zahteva korenitejšo posodabljanje koncepta biološkega izobraževanja.

Hiter vzpon sodobne biologije je bil mogoč zaradi dovolj velikega obsega zbranih podatkov, večanja znanja o kompleksnih živih sistemih ter razvoja in uporabe tehnologij, ki so omogočile večje možnosti raziskovanja njihovega delovanja.

Za razliko od tako imenovanih eksaktnih znanosti je za biologijo značilno raziskovanje kompleksnih dinamičnih živih sistemov, ki so na vseh ravneh organizacije žive narave med seboj različni. V živi naravi ne najdemo dveh identičnih sistemov ali delov znotraj sistemov.

Ta raznolikost je temelj uspešnosti razvoja življenja na Zemlji, raziskovanje življenja pa daje biologiji status posebne znanosti.

Hiter napredek temeljnih znanstvenih spoznanj sodobne biologije vse bolj posega tudi v naše osebno in družbeno življenje. Sodobna splošna biološka izobrazba je vse pomembnejša za razumevanje in reševanje različnih problemov, ki se nanašajo npr. na presojo in odločanje o biotehnologiji, gensko spremenjenih organizmih, kloniranju, genski terapiji, genetski diagnostiki, uporabi v forenziki, biomedicini, na področju ohranjanja narave in varstva okolja, vnosa tujerodnih organizmov, trgovanja z organizmi, ter pri obravnavi vplivov človekove dejavnosti na ekosisteme, ozonsko luknjo, povečani učinek tople grede in globalne podnebne spremembe.

Poseben vidik biološkega izobraževanja je ozaveščanje o naravi kot vrednoti in o izjemni biotski pestrosti v Sloveniji. Na tem področju je bilo pri nas v preteklosti že precej narejeno; dr. Narcis Mršič je npr. med prvimi začel s promocijo biodiverzitete, ki postaja tudi del naše nacionalne identitete.

Najpomembnejše objave znanstvenih spoznanj v zadnjih desetletjih so s področja biologije. Ta razvoj in nova spoznanja so privedli do zelo velike količine bioloških podatkov, ki postajajo na področju biološkega izobraževanja neobvladljivi. Zato sta bila pri prenovi koncepta biološkega izobraževanja nujna tako premik od nizanja podatkov in opisovanja k vpeljevanju osnovnih bioloških zakonitosti in konceptov v povezavi z delovanjem živih sistemov kot tudi prehod z mehanicističnega na sodobni celostni pristop obravnave živih sistemov na vseh organizacijskih ravneh v živi naravi.

Hiter razvoj znanosti, še posebej biološke, terja odzive tudi na področju izobraževanja.

V ta namen izvaja Zavod RS za šolstvo v okviru Centra za razvoj in raziskovanje od leta 2007 projekt Raznoliki pristopi k posodabljanju naravoslovnih predmetov, v okviru katerega poteka za področje biologije tudi posvet Biološka znanost in družba. Program posveta sledi razvoju biologije ter družbenim potrebam po sodobni splošni biološki izobrazbi v skladu s sodobnim konceptom biološkega izobraževanja. Vsebina posveta celostno obravnava temeljne biološke koncepte v povezavi z živimi sistemi, njihovim razvojem, delovanjem in interakcijami na različnih organizacijskih ravneh v živi naravi. Evolucija je glavna biološka tema, ki osmišlja in povezuje biološke koncepte.

Življenjski pogoji na Zemlji so produkt spleta delovanja raznolikih živih sistemov v ekosferi. Za ohranjanje le-teh in sodelovanje v družbenih procesih odločanja in reševanja problemov trajnostnega razvoja je potrebno sodobno biološko znanje. Izobraževanje nam pomaga dojeti, kaj je življenje. Zato je nujno, da učiteljice in učitelji kot ključni dejavniki pri prenosu znanja na naslednje generacije razumejo sodobno biologijo in imajo zagotovljen dostop do izobraževanja ter da sledijo njenim novim znanstvenim spoznanjem.

## UVOD

**Minka Vičar**, vodja posveta Biološka znanost in družba



Zbornik vsebuje prispevke mednarodnega posveta Biološka znanost in družba, Ekosistemi – povezanost živih sistemov, Ljubljana, 2.–3. 10. 2008, ki ga je organiziral Zavod RS za šolstvo v sodelovanju z Ministrstvom za šolstvo in šport, Društvom biologov Slovenije in Oddelkom za biologijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Vsebina prispevkov je vezana na naslednje cilje posveta: predstavitev bistvenih novosti glede na nova odkritja biologije, razprava matične stroke in učiteljic/učiteljev o nujnosti vpeljevanja sodobnih bioloških konceptov in celostnega pristopa v obravnavo živih sistemov na vseh organizacijskih ravneh v naravi – od celice, organizma in populacije pa do ekosistema in ekosfere – ter razprava o pomenu splošne izobrazbe in splošnega biološkega znanja za sodelovanje posameznika v procesih odločanja in celostnega reševanja kompleksnih problemov.

Zbornik sledi tematskim sklopom posveta, ki so razvrščeni v enakem vrstnem redu kot v programu posveta. Prispevki so strokovno pregledani ter opremljeni s povzetki v slovenščini in angleščini. Poleg zbornika so na spletni strani posveta (<http://www.zrss.si/bzid/ekosistemi>) objavljeni tudi posnetki predavanj in okroglih miz.

Predavateljice in predavatelji so predstavljeni s kratkimi opisi področij svojega dela in dodatnih dejavnosti, ki jih opravljajo.

Zbornik je namenjen profesoricom/profesorjem biologije, naravoslovja in družboslovja ter drugim kot pomoč pri vpeljevanju systemskega pristopa v obravnavo kompleksnih živih sistemov, njihove povezanosti ter učinkov spreminjanja biotskih in abiotskih dejavnikov na njihovo delovanje.

Vsebina zajema razvoj, delovanje in povezanost živih sistemov na vseh organizacijskih ravneh v živi naravi. Poudarek je na ekosistemih in ekosferi, večanju kompleksnosti in nastajanju novih kvalitativnih značilnosti na višjih organizacijskih ravneh, vplivu človeške družbe na ekosisteme in ekosfero, potrebi po celostnem reševanju problemov njenega ohranjanja in vlogi znanja pri tem.

Predavateljicam in predavateljem se zahvaljujemo za njihove prispevke in pomoč pri vpeljevanju sodobnih znanj v šolsko prakso.

Pri izpeljavi posveta je finančno pomagala agencija ARAO. Za pomoč se ji zahvaljujemo.

Še posebej se zahvaljujemo pokrovitelju posveta, predsedniku Republike Slovenije, dr. Danilu Türku, za njegov prispevek k višanju zavesti o pomenu znanja za ohranjanje kompleksnega prepleta živih sistemov na Zemlji, ki nam omogočajo kakovostno življenje in razvoj.

## **ODGOVOR NA RAZMERE V OKOLJU: EPIGENETSKA VARIABILNOST PRI DEDOVANJU IN EVOLUCIJI**

**Eva Jablonka**

Univerza Tel-Aviv, Ramat Aviv 69978, Tel Aviv, Izrael;  
e-naslov: jablonka@post.tau.ac.il

---

*Njeno glavno področje zanimanja je razumevanje evolucije s poudarkom na evoluciji, ki jo vodijo negenetske dedne razlike. Zanimajo jo epigenetsko dedovanje, vedenjsko (nesimbolno) prenašanje in simbolno kulturno prenašanje ter vplivi teh sistemov prenašanja (dedovanja) na evolucijsko zgodovino. Obenem jo zanimajo tudi filozofski vidiki, povezani z evolucijsko teorijo ter zgodovino dedovanja in evolucije, ki so po njenem mnenju tesno povezani. Pred kratkim je začela teoretično preučevati razvoj zgodnjega živčnega sistema in pojav zavesti.*

### **Povzetek**

V svoji teoriji o evoluciji je Darwin izpostavil vlogo življenjskih razmer v nastanku dednih razlik in v njihovi selekciji. Od sredine 20. stoletja dalje je moderna sinteza darvinizma izključila razvojne odgovore na okoljske spremembe iz študij o dednih razlikah. Dedovanje je izenačila z genetiko, dedne razlike pa opisovala kot kombinacije naključnih genskih mutacij. Ta pogled je prevladoval v evolucijskih polemikah zadnjih šestdeset let. Od devetdesetih let dalje novi podatki iz razvojne biologije (predvsem molekularni vidiki diferenciacije in morfogeneze), ekologije (ustvarjanje niš, raziskave simbioze), raziskav vedenja (prenos informacij prek socialnega učenja) in kulturoloških raziskav (povezave med genetsko in kulturno evolucijo) spreminjajo pogled moderne sinteze. Z Marion Lamb sva o teh izzivih pisali v najini knjigi *Evolution in Four Dimensions*, v kateri sva določili štiri tipe dedovanja (genetsko, epigenetsko, vedenjsko in simbolno), od katerih lahko vsak predstavlja vir razlik, na katerih deluje naravni izbor. Nekatere od teh razlik izvirajo iz razvojnih in okoljskih razmer, kar vodi v spremembe v naravi in v frekvenci fenotipov v populaciji. Nadalje lahko mehanizmi, ki so odgovorni za

## **RESPONDING TO THE ENVIRONMENT: EPIGENETIC VARIATIONS IN HEREDITY AND EVOLUTION**

**Eva Jablonka**

Tel-Aviv University, Ramat Aviv 69978, Tel Aviv, Israel;  
e-mail: jablonka@post.tau.ac.il

---

*Her main interest is the understanding of evolution, especially evolution that is driven by non-genetic hereditary variations. She's therefore interested in epigenetic inheritance, behavioural (nonsymbolic) transmission, and symbol-associated human cultural transmission, and the effects of these systems of transmission on evolutionary history. She is also interested in philosophical aspects associated with evolutionary theory and with the history of heredity and evolution, which, as she sees it, are all intimately linked. She has recently begun theoretical work on the evolution of early nervous systems and the emergence of consciousness.*

### **Summary**

In his theory of evolution, Darwin recognized that the conditions of life play a role in the generation of hereditary variations as well as in their selection. However, since the mid 20th century, the Modern Synthesis version of Darwinism expelled developmental responses to environmental changes from the study of heritable variation. It identified heredity with genetics, with hereditary variation being seen in terms of combinations of randomly generated gene mutations. This view has dominated evolutionary theorizing for the last sixty years. Since the 1990s, data coming from developmental biology (particularly the molecular aspects of differentiation and morphogenesis), from ecology (in particular ideas about niche construction and studies of symbiosis), from behavior (where the transmission of information through social learning is a major focus), and from cultural studies (where the relation between cultural evolution and genetic evolution is under scrutiny) is challenging the modern synthesis view. Marion Lamb and I devoted our recent book *Evolution in Four Dimensions* to this challenge, and identified four types of inheritance (genetic, epigenetic, behavioral, and symbol-based), each of which can provide variations on

epigenetsko dedovanje, pod določenimi pogoji vodijo v reorganizacijo epigenoma. V tem predavanju bom predstavila pregled epigenetskih raziskav od poznih osemdesetih let naprej, nadalje bom predstavila različne tipe oz. mehanizme epigenetskega dedovanja, prevalenco, stabilnost in inducibilnost različnih epigenetskih variant in izpostavila nekatere načine, s katerimi so epigenetski mehanizmi vplivali na mikro- in makroevolucijo.

which natural selection will act. Some of these variations arise in response to developmental and environmental conditions, so developmentally induced or reconstructed heritable variations can be selected and lead to changes in the nature and frequency of phenotypes in populations. Furthermore, under certain conditions, the mechanisms underlying epigenetic inheritance can also lead to the reorganization of the epigenome. In this lecture I review the challenge that comes from the work on epigenetics carried out since the late 1980s, discuss different types of epigenetic inheritance mechanisms, examine the prevalence, stability and inducibility of cellular epigenetic variants, and point to some of the ways in which epigenetic mechanisms have affected micro- and macro-evolution.

## OKOLJE IN EVOLUCIJA

### Igor Jerman

Inštitut Bion, Stegne 21, 1000 Ljubljana; e-naslov: igor.jerman@bion.si

---

*Dr. Igor Jerman, rojen leta 1957 v Ljubljani, je redni profesor za področje teroretične biologije. Na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani predava predmete: Evolucija in teoretična biologija; Metodologija znanstvenega dela in Bioelektromagnetika. Je strokovni direktor Inštituta za bioelektromagnetiko in novo biologijo – Inštituta Bion, ki vodi in izvaja predvsem temeljne in uporabne raziskave na področju bioelektromagnetike, kamor sodi preučevanje interakcij endogenega bioelektromagnetnega polja organizmov z okoljskimi in molekulskimi elektromagnetnimi polji.*

### Izyleček

Evolucija organizmov se nenehno odvija v odnosu med njimi in okoljem. Zaradi spremenljivosti okolja lahko celo rečemo, da je evolucija edini način preživetja biosfere. Sicer pa daje okolje organizmom priložnost za razmnoževanje in jih hkrati omejuje s končnostjo svojih virov. Med sabo pa vrste v okolju sklepajo povezave v okviru prehranjevalnih verig, pri čemer se marsikdaj srečamo s koevolucijo. Za odnose znotraj vrste predstavlja okolje prostor tekmovanja za preživetje in reprodukcijo. Za evolucijo vrst so pomembni tudi ekosistemi kot emergentni sistemi (sistemi, katerih značilnosti ne moremo zožiti na lastnosti in zakonitosti, ki veljajo za njihove dele oziroma elemente).

## ENVIRONMENT AND EVOLUTION

### Igor Jerman

Bion Institute, Stegne 21, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: igor.jerman@bion.si

---

*Dr. Igor Jerman, born in Ljubljana in 1957, is a Professor of Theoretical Biology. At the Biotechnical Faculty, University of Ljubljana, he gives lectures of Evolution and Theoretical Biology, Scientific Methodology and Bioelectromagnetics. He is the professional director of the Institute for Bioelectromagnetics and New Biology – the Bion Institute which is mainly oriented to basic and applied research in the field of bioelectromagnetics, including the studying of interactions between endogenous bioelectromagnetic field of organisms and environmental and molecular electromagnetic fields.*

### Abstract

Organisms evolve only through interaction between themselves and their environment. Because of ceaseless changes of environment we may say that the evolution is a necessity for the survival of the biosphere. The environment yields an opportunity for the reproduction of organisms and at the same time it restricts them through its limitations. The species in an ecosystem are interconnected through the food chains within which they are often involved in co-evolution. For the intra-species relations the environment represents a place for the competition of its members for life and reproduction. Ecosystems as emergent systems (system with irreducible features and/or principles) are also very important for the evolution of species.



## Uvod

Sodobna biologija ne razlaga samo življenjskih procesov (genetika, fiziologija, biokemija), temveč se ukvarja tudi z vprašanjem porekla organizmov oziroma – bolje rečeno – s poreklom vrst in s tem s poreklom celotne biosfere. Sodobna biologija seveda na podlagi nešteti argumentov trdi, da je poreklo organizmov v nastanku življenja, ki še ni povsem pojasnjeno – in morda celo ni nastalo na Zemlji, ampak drugje v vesolju –, in potem v njegovem postopnem razvoju prek dihotomnih delitev. Na evolucijo organizmov vplivata dva bistvena dejavnika: notranji in zunanji. Notranji dejavnik (genetika) učinkuje predvsem na pojav variacij, zunanji dejavnik (okolje) v evoluciji pa predvsem v smislu naravnega izbora. Prvi zadeva tako predvsem genom organizma in se izraža v dveh vzporednih, na videz protislovnih lastnostih, ki ju pokriva genetika: *ohranjanju* tako morfologije kot materialne konstitucije organizmov (konservativnost) in *vpeljevanju nenehnih novosti*. Evolucija je mogoča le ob primernem **ravnovesju** obeh; ob skrajni konservativnosti ni spreminjanja (in evolucija je predvsem spreminjanje!), ob preveliki spremenljivosti pa celotna genetska informacija neizbežno degenerira, kar povzroči nezmožnost urejenega razvoja in s tem izumrtje.<sup>1</sup> Ker se spreminja tudi okolje, tako v svojem biotskem kot v abiotskem vidiku, bi morala prej ali slej izumreti tudi vrsta s popolno genetsko konservativnostjo. Dolgoročno je torej mogoče le življenje, ki se je sposobno razvijati in se s tem prilagajati nenehnim novim izzivom spremenljivega okolja, kar pomeni tudi, da je **evolucija ena od temeljnih lastnosti življenja**, podobno kot metabolizem, rast, razmnoževanje itn., le da se izraža na ravni populacij in vrst ter v razmeroma dolgih časovnih razponih. V tem sestavku si bomo tako nekoliko ogledali delovanje zunanjega, okoljskega, dejavnika, velik del preostale evolucijske zgodbe pa se tiče notranjega, genetskega, dejavnika.

Jedro evolucijske teorije sta postavila že Darwin in Wallace in ga lahko strnemo v naslednja spoznanja: Organizmi bi se brez omejitev glede hrane in drugih virov okolja množili v geometrijsko naraščajočem zaporedju. V naravi torej v osnovi vlada *hiperprodukcija* potomcev

– nastaja jih več, kot jih lahko preživi ob omejenih naravnih virih. Zaradi *omejitev okolja*, v katerem ni neskončnih zalog hrane, prostora ali vode, je seveda razmnoževanje omejeno. Ne morejo preživeti vsi organizmi, ampak v povprečju samo tisti, ki so v danih razmerah najbolj preživetveno zmogljivi. Za evolucijo pa je pomembno, da so razlike med organizmi utemeljene na dednih spremembah (*dedna variabilnost*). Pride torej do boja za obstanek in do izbora (*selekcije*) v tem boju uspešnejših organizmov – izbora za nadaljnjo reprodukcijo. Ta situacija je temelj boja za obstanek, ki pomeni predvsem boj za uspešnejšo reprodukcijo. Naravni izbor (selekcija) je torej logična posledica treh dejavnikov, ki spremljajo življenje na Zemlji: hiperprodukcije potomcev, spontane dedne variabilnosti (mutabilnost, rekombinacija) in omejitev okolja.

Z okoljem se torej srečamo kar pri dveh temeljnih dejavnikih evolucije: pri hiperprodukciji in pri omejitvah, zaradi katerih pride do boja za obstanek.

## Hiperprodukcija

V svojem okolju se vsaka populacija organizmov razmnožuje. Od njene sposobnosti razmnoževanja je odvisno vse njeno nadaljnje preživetje. Rast populacije brez omejitev je eksponentna:

$$N_t = N_0 \cdot e^{rt}$$

*N<sub>t</sub>* = število osebkov v populaciji v času *t*, *N<sub>0</sub>* = začetna velikost, *populacije*, *r* = prirastni koeficient

To bo seveda trajalo le toliko časa, dokler bo *r* pozitiven, kar pomeni, da bo razmnoževanje prekašalo umiranje. Na prirastni koeficient vplivajo zmožnost preživetja do čim poznejše starosti, plodnost, minimalna starost osebkov ob začetku reprodukcije in reprodukcijsko obdobje. V stvarnosti položaj ni tako preprost, kot ga izraža gornja enačba, saj so mnoge vrste občutljive za gostoto svoje populacije. Pri nizkih gostotah imajo tako velikokrat večji *r* kot pri visokih; krivulja rasti je v tem primeru sigmoidna – po določenem času se ustali na določeni vrednosti ali pa ciklično niha med dvema.

V resničnih ekosistemih pa dejanske krivulje skoraj nikdar niso čiste sigmoide. Populacije namreč velikokrat doživljajo razmere, ki vplivajo na gostotno odvisnost, kot

<sup>1</sup> V svoji monumentalni teoriji o nastanku življenja na Zemlji je Manfred Eigen povsem matematično izračunal, kolikšna mora biti zanesljivost podvajanja genetskega materiala (v danih razmerah), če naj se izognemo "katastrofi zaradi napak"; več o tem v učbeniku za molekularno evolucijo.

tudi razmere, v katerih to ne pride do izraza. Negativnemu vplivu prevelike gostote veliko organizmov kljubuje z razseljevanjem.<sup>2</sup> Preživetju populacije ravno tako lahko škodi premajhna gostota, saj si pri večji gostoti lahko organizmi pomagajo med seboj (na primer mravlje, čebele itd.). V tem smislu se razvijejo socialne vrste.

### Omejitve

Temeljni dejavnik, ki omejuje organizme, je drugi zakon termodinamike, **zakon entropije**, ki pravi, da se v vsakem termodinamsko zaprtem sistemu (brez dotoka energije in materije ali pa samo ene od njiju) njegova neurejenost lahko kvečjemu ohranja ali pa se povečuje do točke termodinamskega ravnovesja. Življenje, po drugi strani, zahteva zelo visoko urejenost procesov in struktur, zato marsikdo misli, da so organizmi nekako "ušli" entropijskemu zakonu. Toda to je le videz. Če bi organizmi zares ušli drugemu zakonu termodinamike, ne bi bilo treba loviti svetlobne energije skozi fotosintezo ali jesti in dihati. Pri organizmih gre za to, da so sposobni okolju jemati red v obliki proste fotonske ali kemijske energije in si ga prilastiti. S tem v okolju povečujejo entropijo. V zaprtem sistemu, ki vključuje tako organizme kot preostalo materijo in energijo, se entropija dejansko povečuje, dokler vsi organizmi ne umrejo ali dosežejo popolno zamrznitev vseh življenjskih funkcij. Šele potem se njena raven ohranja.<sup>3</sup> Različni teoretični in praktični poskusi, da bi se drugi zakon termodinamike vsaj v izjemnih primerih ovrgel, za zdaj še niso bili znanstveno potrjeni. Organizmi tako živijo daleč nad maksimalno entropijo oziroma, kot temu tudi pravimo, nad termodinamskim ravnovesjem, v nekakšnem **metastabilnem stanju**, pri katerem se iz okolja dotekajoča prosta energija nenehno pretvarja v vezano oziroma tako, ki v danem okolju ne more več opravljati dela.

Metastabilnost organizmov je dvojna: individualna in populacijska. Pri **individualni** gre za to, da morajo posamezni organizmi porabo proste energije nenehno izkoriščati za ohranjanje njenega dotoka (iskanje hrane, prehranjevanje, samoobramba, tek, obramba prostora, selitev itn.).

<sup>2</sup> Na primer nekatere afidine, ki so navadno brez kril, lahko ob visoki gostoti dobijo krila in se preselijo drugam.

<sup>3</sup> O tem se hitro prepričamo, če hermetično zapremo katere koli organizme in jim ne pustimo svetlobe. Dokler bodo v takem sistemu trajale zaloge proste energije, bo življenje obstajalo; potem pa se bo pojavilo popolno izumrtje oziroma anabioza.

Če je dotok proste energije dalj časa manjši, kot znaša njena poraba za ohranjanje dotoka, potem organizem porabi zaloge in umre. Pri **populacijski** metastabilnosti pa gre za isto dejstvo na ravni populacije ali vrste. Populacija je v danem arealu metastabilna, le dokler uspe s svojo porabo proste energije ohranjati njen dotok. Poleg že naštetega za posamezne organizme na stran nujne energijske porabe (stroškov) sodi tudi razmnoževanje (npr. boj za samice, dvorjenje, skrb za zarod). Če se populaciji zaradi večje zmogljivosti drugih vrst pri porabi istih energijskih virov toliko zmanjša dotok proste energije, da je za ohranjanje porablja več, kot je dobi, potem postopoma izumre.

Drugi zakon termodinamike torej od organizmov zahteva nenehno **iskanje virov proste** energije in nenehno sproščanje vezane (po navadi v obliki CO<sub>2</sub> in H<sub>2</sub>O). Prosto energijo lahko organizmi dobijo le v okolju in le tja lahko sproščajo vezano energijo. To pomeni, da je ena od temeljnih zakonitosti življenja kot posebnega naravnega fenomena nujna dvosmerna vpetost v okolje. Potreba po prosti energiji, seveda dobljeni na ustrezen način (živali ne morejo fotosintetizirati, zelene rastline praviloma ne morejo jesti itn., kar je samo dodatna omejitev), je najsplošnejša omejitev razvijajočega se življenja. Omejenost virov proste energije pomeni tudi **najbolj razširjen selekcijski pritisk** na vse biološke vrste.

### Ekološka niša

Tesna in nujna vpetost organizmov v okolje zahteva z njihove strani ustrezno prilagoditev. **Prilagojenost** ni nujno zelo visoka, saj bi bili na ozko določene razmere pretirano prilagojeni organizmi precej nebogljeni že ob vsaki malo večji spremembi okolja. Podobno kot pri notranjem dejavniku sta torej tudi pri prilagoditvi v igri dve vsaj na videz protislovni težnji: čim večja prilagojenost obstoječemu okolju – to je specializacija, ki omogoča vsaj trenutno zelo uspešno reprodukcijo – in prilagojenost širšemu obsegu okolij, kar omogoča uspešno reprodukcijo tudi v spremenjenih razmerah. Najbolj dolgoročno stabilna preživetvena strategija organizmov je torej taka, v kateri ti niso preozko specializirani na trenutne razmere v okolju. To lahko pomeni, da ima dana biološka vrsta široke reakcijske norme oziroma je na podlagi istega genotipa zmožna širokih fenotipskih prilagoditev. Pri ozkih reakcijskih normah pa to pomeni, da vsebujejo povprečno velike populacije take vrste bogat genski sklad in s tem

organizme, ki so lahko suboptimalno prilagojeni trenutnim razmeram v okolju, vendar bolj prilagojeni kakim drugim (ki so lahko bile ali lahko še pridejo). Ker je to kratkoročno nestabilna strategija (glej poglavje o selekciji), se je v evoluciji izoblikovala vrsta mehanizmov, ki zagotavlja razmeroma visoko variabilnost.<sup>4</sup>

Množica mogočih okolij za preživetje vrste skupaj z odnosom njenih organizmov do teh okolij se imenuje **ekološka niša**. V primeru specializirane vrste je niša ozka (*stenotopna* oziroma steneka vrsta), v nasprotnem primeru pa je široka in govorimo o *evritopni* (oziroma evrieki) vrsti. Glede na že razloženo logiko evolucije lahko pričakujemo obstoj prvih vrst v okoljih, ki se zelo malo spreminjajo, in obstoj drugih v bolj spremenljivih okoljih.

V okolju je vrsta le redko razporejena homogeno. Po navadi je razporejena po bolj ali manj povezanih **populacijah**. Če je populacija majhna, potem je precej ranljiva, saj ima majhen genski sklad in s tem majhno zalogo alelov, s katerimi bi se lahko uspešno uveljavljala v spremenjenih razmerah. V tem primeru je preživetje vrste lahko zelo odvisno od intenzivnosti stalnega dotoka migrantov iz drugih populacij.

### Prehranjevalne verige

Glede na predstavljeni odnos med entropijo in življenjem je jasno, da mora biosfera dobivati prosto energijo iz svojega abiotskega okolja. To se dejansko odvija s fotosintezo ali kemiosintezo. **Avtotrofi** torej preskrbujejo s prosto energijo vse druge organizme – **heterotrofe**. Slednji morajo priti do nje bodisi z zaužitjem živih avtotrofov (na primer fagija, parazitizem) ali mrtvih – na primer saprofiti, dendritofagi. Enaki odnosi kot med avtotrofi in heterotrofi se nato razvijejo tudi znotraj heterotrofov. Vse skupaj pomeni, da se med vrstami organizmov vzpostavljajo kompleksni odnosi, ki sestavljajo prehranjevalne verige – verige pretvorbe proste energije, ki so jo asimilirali avtotrofi (nekaj seveda porabili tudi sami za svoje življenje), v vezano energijo zadnjih heterotrofnih členov verig. Anorganski produkti potrošnje proste energije (največkrat H<sub>2</sub>O in CO<sub>2</sub>) so spet podlaga za lovljenje proste energije pri avtotrofih. V tem smislu lahko govorimo o **kroženju snovi**, pri katerem pa teče energija le v eno smer in se pri tem preoblikuje iz proste v vezano.

V okviru prehranjevalnih verig so odnosi med organizmi **pristranski** (na primer plen – plenilec, gostitelj – zajedalec) ali **nevtralni** (na primer komenzalizem). Obstajajo pa tudi pozitivne interakcije v obliki **mutualizma**, pri čemer organizmi ene vrste ugodno vplivajo ali pa celo omogočajo reproduktivni uspeh drugi in obratno. Mutualizem se marsikdaj razvije iz odnosa zajedavec – gostitelj, saj je evolucijska težnja prvega, da čim manj škodi svojemu gostitelju; s tem bi namreč dolgoročno škodil tudi sebi. Zmernejši zajedavec je tako bolj stabilen od bolj napadalnega in ima več možnosti za preživetje. Pri plenilskem in zajedavskem odnosu med vrstama se razvije intenzivna koevolucija obeh v odnos vpletenih vrst. Organizem, ki kot plen laže uide plenilcu, dobi selekcijsko prednost pred drugimi predstavniki iste vrste in postane postopoma prevladujoč — temu sledi (seveda nenamerni) odgovor plenilcev, ki jim uspe z ustrezno variacijo spet popraviti svojo pomanjkljivost pri iskanju oziroma lovljenju plena. Temu nenehnemu tekmovanju med obema vrstama (isto velja za odnos med zajedavcem in gostiteljem) metaforično pravimo tudi *oboroževalna tekma*, kar je znano tudi kot načelo Rdeče kraljice. Zagotavlja evolucijo tudi v odsotnosti slehernih siceršnjih sprememb v biotskem ali abiotskem okolju. Med zajedavci in gostitelji pa se poleg oboroževalne tekme pojavlja tudi že omenjena koevolucija v smeri zmanjševanja škode gostitelju, ki se lahko v nekaterih primerih spremeni celo v mutualističen odnos. Velja tudi, da so v splošnem odnosi med gostitelji in zajedavci precej bolj tesni (visoka specializacija večine zajedavcev) kot med plenilci in pleni. Pri slednjih se drugi veliko bolj specializirajo na prve kot obrneno, saj delujejo selekcijski pritiski precej močnejše na plen kot na plenilce. Če plen izgubi bitko, potem umre, če pa jo izgubi plenilec, je samo ob en obrok! To velja seveda za odnose med živalmi. Če je plenilec žival, plen pa rastlina, potem po navadi pride do visoke specializacije plenilcev za plen.

V stvarnosti so odnosi med vrstami večinoma zelo kompleksni in jih ni mogoče obravnavati kot samo odnos med dvema ali tremi vrstami. Mnogi zajedavci so na primer odvisni od interakcije med drugimi paraziti in njihovimi gostitelji. Kot zgled lahko navedemo odvisnost povzročiteljev različnih tropskih bolezní, na primer malarije, rumene mrzlice, možganskih vnetij, elefantiaze in drugega, od odnosa med različnimi sesalci kot gostitelji in komarji iz rodu *Anopheles* kot ektoparaziti.

<sup>4</sup> Taki mehanizmi so na primer konjugacija pri prokariotih, spolnost pri evkariotih, transpozicija ipd.

## Kompeticija

Glede na Darwin-Wallacevo ugotovitev, da vlada v naravi neizprosni boj za obstanek, so za evolucijo zelo pomembni odnosi **kompeticije**, ki so tesno povezani z bojem za obstanek. V tem boju pa načeloma ne zmaga posamezni organizem kot osebek, temveč njegovo pokolenje; boj za obstanek je namreč **boj za uspešnejšo (samo)reprodukcijo**. O zmagovalcu torej odloča večje število potomcev; seveda le za eno generacijo – že v naslednjem generacijskem prehodu so lahko uspešnejši potomci staršev, ki v prejšnjem niso bili preveč uspešni. Danes v biologiji še vedno ni povsem razčiščeno, kdo je pravzaprav **zmagovalec v boju za obstanek**. Jasno je, da v veliki večini primerov organizmi na dolgi rok tega boja ne preživijo, saj prej ali slej umrejo. Tudi pokolenja (rodovi) niso najbolj primerni kandidati za "zmagovalce", saj se vsaj pri spolno razmnožujočih se vrstah nenehno spreminjajo oziroma nimajo jasne identitete. Po Dawkinsu so pravi zmagovalci (ali poraženci) v boju za obstanek pravzaprav *geni*, ki tekmujejo s svojimi soaleli za prevlado na svojem lokusu. Zmagovalec je tedaj alel, ki se mu je uspelo utrditi (fiksirati) na lokusu v okviru vrste ali populacije. Toda tudi Dawkinsov skrajno redukcionistični koncept ni splošno sprejet, zato je še vedno nerešeno vprašanje nedvoumnega zmagovalca boja za obstanek. Problem pri genu (če se omejimo na spolno razmnožujoče se vrste s klično linijo) je ta, da lahko zmaga le gen v klični liniji, ki pravzaprav ničesar ne izraža. Če je na primer organizem zaradi temne barve kože bolj uspešen od svojih tekmecev, je to zaradi svojega fenotipa. Ta seveda temelji na genih, ki se neposredno izražajo v kožnih celicah. Toda tako fenotip kot genotip kožnih celic bosta propadla, "zmagali" bodo le ustrezni geni v klični liniji, ki se bodo prenesli v naslednji rod in imajo informacijo za temno obarvanost. Vendar ti »zmagoviti« genii sploh ne bodo dejavno sodelovali v boju za obstanek, kar je svojevrstni paradoks.

Če kljub vsemu ostanemo na ravni organizmov, se kompeticija kaže v dveh oblikah: kot tekmovanje za boljšo izrabo virov iz okolja (energija, prostor) in tekmovanje v neposrednem soočanju organizmov. V prvem primeru se tekmujoči organizmi lahko sploh ne srečajo, v drugem pa je to obvezno. Pomembno je razlikovati med tekmovanjem znotraj vrste in tistim med vrstami. Dve tekmujoči vrsti lahko soobstajata, če je med njima manjša kompeticija kot znotraj posamezne vrste. Dve vrsti ali več vrst z enakimi zahtevami na istem prostoru načeloma dolgoročno ne morejo soobstati, čemur pravimo tudi **na-**

**čelo kompetitivne izključitve**. Zmagovita vrsta namreč izključi vse druge. Vrste, ki tekmujejo in soobstajajo, se torej vedno nekoliko razlikujejo v izrabi virov iz okolja ali drugače rečeno, zasedajo vsaj nekoliko različne ekološke niše. Diverzifikacija uporabe virov iz okolja je stabilna evolucijska strategija združbe življenjskih vrst. Izraža se na primer v tako imenovani adaptivni radiaciji vrst, ki so izšle iz ene same vrste. Tako se lahko zelo sorodne vrste med seboj precej razlikujejo v načinu prehranjevanja in v morfologiji. Med simpatričnimi populacijami dveh tekmujočih vrst je marsikdaj večja razlika kot med alopatričnimi. Pojavu, ko vrsta spremeni kak znak, da "uide" tekmujoči vrsti (recimo spremeni obliko kljuna ali ust zaradi specializacije za drugačno hrano), pravimo **premestitev** ali tudi **razmik znaka**. Pojav so opazovali pri več vrstah, posebno študijo so opravili na dveh vrstah zeta (*Gasterosteus* sp.). Če sta bili vrsti v istem ribniku, se je ena specializirala za planktonsko, druga pa za bentoško hrano; če pa je bila v ribniku le ena vrsta, je bila po načinu prehranjevanja približno na sredi.

## Evolucijski vidik ekosistemov

Poseben pomen za evolucijo imajo tudi ekosistemi kot emergentni sistemi, katerih zakonitosti ne moremo reducirati na njihove sestavne dele: tako biotske kot abiotске. Sistemski teoretiki so ugotovili, da vlada v ekosistemih proces uravnavanja kompleksnosti. V ekosistemih namreč velja zakon, da je ekosistem tem labilnejši, kolikor bolj so njegove vrste bolj na široko vpete v prehranjevalne verige. Bolj ko je ekosistem revnejši na vrstah, bolj so lahko te med seboj soodvisne, ne da bi ogrozile njegovo stabilnost. Toda praviloma v še tako reven ekosistem sčasoma prodirajo nove vrste in s tem tudi ob enaki medsebojni povezanosti ves ekosistem ženejo proti robu, ki loči stabilno od labilnega področja – področja, v katerem se lahko ekosistem sooči z tako imenovano kaotično dinamiko. Ko preseže to črto, prej ali slej postane tako nestabilen, da ga doleti večje ali manjše izumrtje vrst. Ekosistem (razen če je izginil, kar pa spet ni preveč pogosto) se znajde znova nekje globoko v stabilni regiji in vsa stvar se začne znova. Izumiranje populacij v ekosistemih in tudi celih vrst, zlasti če gre za endemite, je torej v naravi reguliran proces, ki vzpostavlja nenehno nove evolucijske izzive, omogoča na primer adaptivno radiacijo – pojav razmeroma hitrega nastanka večjega števila vrst in tako dalje.

## Sklep

Evolucija in s tem samo poreklo vrst sta torej tesno vpeti v prostor, ki ima dva različna dejavnika: biotskega in abiotskega. Tudi če se drugi ne spreminja, kar srečamo v nekaterih okoljih (npr. jame, globokomorsko dno), se spreminja biotski dejavnik zaradi nenehnih spontanih mutacij in rekombinacij. Življenje se je torej v nenehno spreminjajočem se okolju primorano prilagoditi na spremembe, če naj gre naprej. Vpetost vrst v prostor tako

zahteva njihovo spreminjanje in s tem evolucijo. Hkrati pa razvijajoča se biosfera nenehno spreminja svoje okolje in s tem do neke mere modificira temelje za svojo nadaljnjo evolucijo. Sem lahko vključimo tudi človekovo spreminjanje okolja, ki pa začenja daleč presegati zmožnost drugih vrst, vsaj v destruktivnem vidiku, in kaže na vsaj za zdaj zelo pomanjkljive dolgoročne prilagoditvene zmožnosti naše "umne" vrste. Le upamo lahko, da bo naša vrsta rodu *Homo* še pravočasno zares postala *sapiens*.

## Literatura

- Futuyma D. J. (1986): *Evolutionary biology*, Sinauer Associates, Inc., Sunderland.
- Jerman I., Štern A. (1999): *Evolucija s teoretično biologijo*. Univerzitetni učbenik, Študentska organizacija Univerze v Ljubljani, Ljubljana.
- Smith J. M., Szathmary E. (1995): *The Major Transitions in Evolution*.: W.H. Freeman & Comp. Ltd., Oxford.
- Sole R., Goodwin B. (2000): *Signs of life, How complexity pervades biology*. Basic Books, A Member of the Perseus Books Group, New York.

## VPLIV PODNEBNIH SPREMEMB NA ORGANIZME V GEOLOŠKI ZGODOVINI

**Andrej Šmuc in Jernej Pavšič**

Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Katedra za paleontologijo in stratigrafijo, Privoz 11, 1000 Ljubljana; e-naslova: andrej.smuc@ntf.uni-lj.si, jernej.pavsic@ntf.uni-lj.si

*Doc. dr. Andrej Šmuc je diplomiral na Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo na Oddelku za geologijo. Kot mladi raziskovalec se je zaposlil na Paleontološkem inštitutu Ivana Rakovca ZRC SAZU. Leta 2004 je na Oddelku za geologijo Naravoslovnotehniške fakultete doktoriral z disertacijo Sedimentološke in stratigrafske raziskave jurskih in krednih plasti Julijskih Alp. Od leta 2006 je na Oddelku za geologijo Univerze v Ljubljani zaposlen kot univerzitetni učitelj. Ukvarja se s področji sedimentologije, stratigrafije in regionalne geologije.*

*Prof. dr. Jernej Pavšič se je po diplomi na Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo Univerze v Ljubljani zaposlil na Geološkem zavodu v Ljubljani. Leta 1979 je zagovarjal doktorsko nalogo z naslovom Nanoplanktonska stratigrafija zgornjekrednih in paleocenskih plasti Slovenije. Zaposlen je na Oddelku za geologijo Fakultete za naravoslovje in tehnologijo Univerze v Ljubljani, kjer je bil leta 1992 izvoljen v naziv redni profesor. Ukvarja se s področjema paleontologije kalcitnega nanoplanktona in stratigrafije.*

### **Izvleček**

Klimatske spremembe in njihovi vplivi na razvoj organizmov so del naravnega procesa razvoja planeta Zemlje. Usmerjajo njihove prilagoditve in pospešujejo ali zavirajo njihovo razširjenost v prostoru. V določenih primerih so klimatske spremembe tako drastične, da jim določeni organizmi ne morejo slediti; tako podležejo spremenjenim živlenskimi pogojem in izumrejo. Vzroki za globalne klimatske spremembe in posledično izumiranje so zelo različni. Nastajajo zaradi spremenljivega položaja Zemlje v vesolju, zaradi potovanja kontinentalnih plošč, vulkanske dejavnosti, velik pomen pa imajo tudi padci

## EFFECT OF CLIMATE CHANGES ON THE ORGANISMS IN THE GEOLOGICAL PAST

**Andrej Šmuc and Jernej Pavšič**

University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and engineering, Department of geology, Privoz 11, SI-1000 Ljubljana; e-mails: andrej.smuc@ntf.uni-lj.si, jernej.pavsic@ntf.uni-lj.si

*Dr. Andrej Šmuc, Assistant Professor, graduated at the Department of Geology, Faculty of Natural Sciences and Engineering, and employed as a young researcher in the Ivan Rakovec Institute of Paleontology at the Scientific Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts. In 2004 he finished his PhD thesis Sedimentary and Stratigraphic Study of Jurassic and Cretaceous Layers of Julian Alps. Since 2006 he has been employed as a lecturer at the University of Ljubljana, Department of Geology. His main fields of work are Sedimentology, Stratigraphy and Regional Geology.*

*Prof. dr. Jernej Pavšič graduated at the Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana and later employed in the Geological Survey in Ljubljana. In 1979 he finished his PhD thesis Nanoplankton Stratigraphy of Early Cretaceous and Palaeocene Layers in Slovenia. He is employed at the Department of Geology, Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana, and was nominated Professor in 1992. He works in the fields paleontology of calcite nanoplankton and stratigraphy.*

### **Abstract**

Climate changes and their effects on the organisms' development are part of the natural process of Earth's evolution. They direct the adaptations of the organisms and accelerate or reduce their distribution in the area. Climate changes can be in particular cases so drastic that certain organisms can not follow them and for that reason become extinct. The causes for global climate changes and consecutive extinction are various; changeable position of Earth in the universe, movement of continental plates, volcanic activity, meteorite fall, causing big climate changes in short time period. At least five massive

meteoritov, ki v zelo kratkem času izrazito spremenijo podnebje. V geološki zgodovini poznamo najmanj pet velikih množičnih izumiranja, ki so zajela celoten planet. Le eno izumiranje se je zgodilo zaradi ohlajevanja ozračja, medtem ko so vsa nadaljnja izumrtja sledila povišanju temperature. V članku so opisani vzroki za vseh pet množičnih izumrtij in njihov vpliv na takratno življenje na Zemlji.

extinctions which affected the whole planet are known in the geological history. Only one of them was due to atmosphere cooling while all the others were caused by temperature increase. In the present paper, the causes of all five extinctions and their influence on the life on the Earth are described.

## *Uvod*

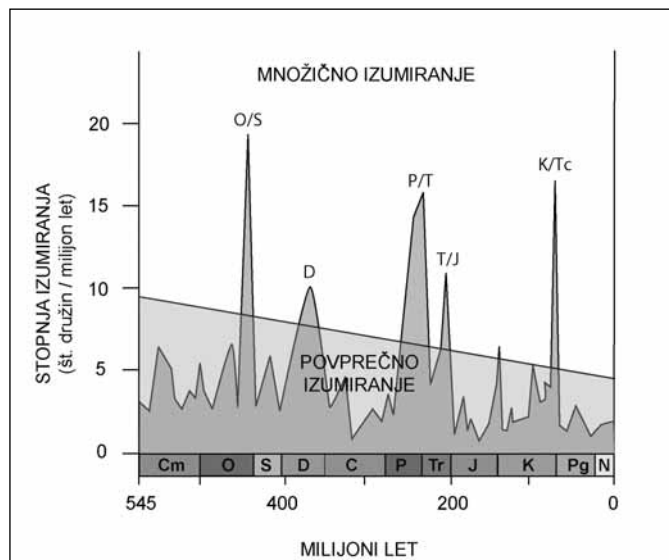
Znano je, da klimatske spremembe vplivajo na razvoj organizmov. Usmerjajo njihove prilagoditve in pospešujejo ali zavirajo njihovo razširjenost v prostoru. Vsi organizmi pa ne prenesejo hitrih klimatskih sprememb in podležejo spremenjenim življenjskim pogojem. V tem primeru govorimo o izumiranju rodov ali vrst, in če se to zgodi v večjem obsegu, govorimo o množičnem izumiranju. Množična izumiranja so v geologiji zaželeni, saj na podlagi izumrlih skupin, rodov ali vrst paleontologi določamo relativno starost kamnin. K sreči so se izumrtja dogajala neprestano skozi celotno geološko zgodovino in so osnova razvrstitve plasti po njihovi starosti. Nadalje so izumrtja izjemno zanesljiv znak okoljskih sprememb in prekašajo celo moderne metode zaznavanja sprememb okolja v preteklosti.

Množična izumiranja, ki sledijo npr. padcem meteoritov, velikim vulkanskim izbruhom, poledenitvam in drugim nenadnim dogodkom, so usodna za večje skupine organizmov in po navadi pomenijo zasuke v evoluciji živega sveta. Vsaka skupina organizmov ima namreč v okolju svojo funkcijo, ki si jo je izborila v tisočletnem ali milijonletnem obdobju. Po njenem izumrtju jo navadno nadomesti nova, ki pa ni nujno nadaljevanje stare, ampak se pojavi nekje iz ozadja, kjer je bila v podrejenem položaju.

S standardnimi in sodobnimi geološkimi metodami lahko zanesljivo dokažemo pet velikih množičnih izumiranja v geološki zgodovini. Le najstarejše izumiranje pred 440 milijoni leti se je zgodilo zaradi ohlajevanja ozračja, medtem ko so vsa nadaljnja izumrtja sledila povišanju temperature zaradi učinka tople grede. Vsa izumiranja lahko zaznamo na različnih krajih na Zemlji, torej so zavzela celotno Zemljo naenkrat ali v kratkem časovnem obdobju.

Vzroki velikih globalnih sprememb na planetu Zemlja so zelo različni. Spremembe tako nastajajo zaradi spremenljivega položaja Zemlje v vesolju oziroma sprememb v nagnjenosti njene rotacijske osi proti Soncu, kar je ugotovil že Milanković s svojo znamenito krivuljo temperaturnih nihanj. Velik pomen pri spremembah ima potovanje kontinentalnih plošč, ki so v zgodovini planeta spreminjale svoj položaj in s tem povzročale klimatske spremembe. Nadalje je za samo vzdrževanje za življenje primernih razmer na Zemlji pomembna vulkanska dejavnost, ki omogoča nastanek naravne tople grede in s tem pregrevanje in ohlajevanje ozračja. Mnogi raziskovalci pripisujejo velik pomen pri izumiranju organizmov padcem meteoritov, ki so v zelo kratkem časovnem obdobju izrazito spremenili Zemljino podnebje.

V nadaljevanju bova opisala vseh pet množičnih izumrtij, ki so si v znanstvenih krogih prislužila filmsko ime: velikih 5. Opisala bova vzroke za izumiranja in povedala, kako so vplivali na takratno življenje na Zemlji.



Slika 1: Množična izumiranja v geološki zgodovini

### ***Izumiranje na meji ordovicij-silur (O/S, slika 1) pred 440 milijoni let***

Ordovicijsko množično izumiranje predstavlja prvo večje izumiranje v geološki zgodovini; v njem je izumrlo kar 85 % družin s tisoči vrstami. V družbi drugih štirih izumiranj je nekaj posebnega, je namreč edino, ki se je zgodilo zaradi močnega in nenadnega ohlajevanja ozračja in obširnih poledenitev. Obširne poledenitve so povzročile

drastičen padec gladine vode v oceanih, kar je imelo za posledico uničenje številnih, predvsem obalnih habitatov in s tem veliko izumiranje. Zaradi padca morske gladine morja so okopnele in začele zakrasevati velike platforme v današnji Severni Ameriki in Grenlandiji. Plitvododne razmere so se preselile v do takrat globokomorska okolja, kar se je odrazilo v spremembi sedimentacije. Obširna kontinentalna poledenitev pa je seveda povzročila tudi spremembo poti morskih tokov, spremembe v atmosferski cirkulaciji in posledično močno ohlajevanje ozračja. Da bi razumeli razloge, ki so privedli do poledenitev in ohlajevanja ozračja, moramo vedeti naslednje: položaj kontinentov na Zemlji ni stalnica, marveč se spreminja. Kontinenti se počasi premikajo, razpadajo in se združujejo. Drugo dejstvo, ki ga moramo vedeti, pa je, da stalni ledeni pokrovi na Zemljinih polih lahko obstajajo le, če je na polu kontinent. Poledenitev koncem ordovicija se je tako zgodila, ko je ordovicijski superkontinent Gondvana prečkal južni pol, na njem so začeli nastajati stalni ledeni pokrovi in prišlo je do globalnega ohlajanja ozračja, ki je zajelo ves tedanji planet in povzročilo obširne poledenitve (na območju Severne Amerike so dokazali kar pet poledenitvenih pulzov).

Dokazi za omenjeno poledenitev so geografsko zelo razširjene 440 milijonov let stare ledeniške kamnine, ki jih najdemo tako v Severni in Južni Ameriki kot v Afriki, torej na kontinentih, ki so koncem ordovicija tvorili superkontinent Gondvano.

Izumiranje na meji ordovicij-silurij ni bilo kratkotrajno, saj večina pomembnih fosilnih skupin kaže precejšnje zmanjšanje števila vrst v času med srednjim ordovicijem in spodnjim silurjem. Mnoge skupine dosežejo svoj višek v spodnjem delu zgornjega ordovicija (caradocija) nato začnejo upadati do zgornjega dela ordovicija (ashgillija), ko se stabilizirajo. Ta upad vrst označujemo kot zgornjeordovicijsko izumiranje. Prizadeti so bile rastline in živali, plankton in bentos, tako sesilni kot vagilni bentoški organizmi. Izumiranje se najbolj odraža na nižjih taksonih, kot so družine, rodovi in vrste.

Številčnost trilobitov je upadla z 38 družin na vsega 14. Med iglokožci je tudi bila znatna redukcija – od 19 družin cistoidov, edriasteroidov in ciklocistoidov jih je preživelo le 11.

Zgornjeordovicijsko izumiranje je tako zmanjšalo število rodov in vrst med koralami (izumrlo je 62 od 90 rodov



rugoznih koral), trilobiti (113 vrst je upadlo na 71), navtiloidi (na meji je izumrlo 87 rodov od 109 živečih v ordoviciju), brahiopodi, (izumrlo je 30 rodov od 180 živečih v ordoviciju), ehinodermi (krinoidi in cistoidi) (izumrlo je 70 % rodov), graptoliti (preživelo je le nekaj rodov, ker so v ordoviciju in silurju graptoliti dosegli svoj višek, v silurju se je njihovo število kmalu močno povečalo in naraslo na 200 vrst) in konodonti (med konodonti je od 100 vrst v ordoviciju krizo preživelo le 20 vrst). V planktonu tistega časa so prevladovali akritarhi in hitinozoi. Za hitinozoe poročajo, da sta preživeli le dve vrsti od 11 ordovicijskih vrst, medtem ko za akritarhe nimajo zanesljivih podatkov, a se je njihovo število občutno zmanjšalo (Hallam in Wignall, 1997).

### ***Izumiranje na meji devon-karbon (D/C, slika 1) pred 370 milijoni let***

Izumiranje pod mejo devon-karbon predstavlja drugega izmed petih množičnih izumiranj in se od prejšnjega razlikuje predvsem po tem, da je trajalo izjemno dolgo časa (od frasnija do tournasija) in se zazna v dveh sunkih. Mnenja o tem so različna, vendar se znanstveniki strinjajo, da izumiranje ni trajalo manj kot 3 in ne več kot 20 milijonov let (Courtelot, 1999; Donovan, 1989; Stanley, 1999). Ker je izumiranje trajalo toliko časa, je zanj težje določiti natančne vzroke. Podatki iz kamnin zgornjedeutonske starosti kažejo, da je bil to čas velikih okoljskih sprememb. V plitvih kontinentalnih oceanih so namreč v tem času izjemno razširjene kamnine z zelo visoko vsebnostjo organske snovi, ki kažejo na več faz anoksij (območij brez kisika) morskega dna, ki so neposredno vplivale na organizme in tako povzročile izumrtje. Poleg omenjenih okoljskih sprememb so geologi ugotovili tudi določeno ohlajanje ozračja in glaciacijo proti koncu devona.

Znanstveniki si še danes niso enotni o razlogih, ki bi pojasnili nastali položaj. Najpogosteje omenjeni vzroki so padec meteorita, tektonsko pogojene klimatske spremembe, ohlajanje ozračja in padec morske gladine ter morda še najbolj zanimiva teorija, t. i. devonska rastlinska hipoteza.

Devonska rastlinska hipoteza govori o tem, da je bil temeljni krivec za izumiranje obširno rastlinsko osvajanje kopnega. Devon je bil namreč čas pomembne evolucijske faze kopenskih rastlin. Kopenske rastline so na začetku

devona dosegale višino le dobrih 30 cm, medtem ko so na koncu devona merile kar 30 m in poselile obširna, do tedaj še neposeljena kopna prostranstva. Močna širitev rastlin na kopnem je zelo pospešila proces nastanka prsti, ki je eden najpomembnejših dejavnikov kemične erozije. V plitve oceane so tako s kopnega začele prihajati ogromne količine raztopljenih ionov, ki so glavno hranilo alg in morskih rastlin. Začela se je masovna produkcija organske snovi, ki se je po odmrtnju potopila na morsko dno. Količina organske snovi je bila tako velika, da so organizmi, ki razkrajajo organsko snov, porabili ves razpoložljivi kisik in morsko dno spremenili v anoksično okolje. Prav tak proces se dogaja še danes ob vse pogostejšem cvetenju alg. Omenjeni proces je povzročil tudi redukcijo atmosferskega CO<sub>2</sub> in posledično ohlajanje ozračja. Oba procesa pa sta tako povzročila dolgotrajno in obsežno množično izumiranje ob koncu devona. (To, da sta za ekološko katastrofo in množično izumiranje v oceanih kriva prav razvoj in dozorevanje kopenskih okoliš, ki so jih poselile rastline, dokazuje, da narava ni brez smisla za ironijo.)

V času izumiranja pod mejo devon-karbon je izumrlo približno 22 % morskih družin, 57 % morskih rodov in 70 % vrst. Najbolj so bile prizadete morske vrste, manj sladkovodne. Od morskih vrst v manjši meri brahiopodi, briozoji in foraminifere, v večji meri pa rugozne korale (od 148 plitvomorskih vrst so prežele 4, od 10 globjemorskih pa prav tako 4), amonoidi (od skupno 26 družin v devonu je v spodnjem karbonu ostala le ena, ki se je kasneje razcepila v številne nove), trilobiti (23 poddružin je bilo skrčenih na vsega eno poddružino), ostrakodi (pri njih je opaziti v tem času okoli 70-odstotno izumiranje), konodonti (njihovo število se je zmanjšalo s 70 devonskih vrst v prvem koraku na 35 in v naslednjem na 15), krikokonaridi so v zgornjem devonu izumrli. Izumrlo je okoli 60 % prasinoficej, 81 % akritarhov, ribe brezčeljustnice so dosegle v devonu svoj višek in so proti koncu devona tudi nenadoma večinoma izumrle, ostale so le redke obloustke. Plakodermi so doživeli krizo v zgornjem devonu; sladkovodni so jo preživeli lažje kot morski (Hallam in Wignall, 1997).

### ***Izumiranje na meji perm-trias (P/T, slika 1), pred 245 milijoni let***

Na meji perm/trias pred 245 milijoni let je prišlo do globalnih katastrofičnih dogodkov, ki so povzročili najob-

sežnejše množično izumiranje v celotni Zemljini zgodovini, ki ga zvaneče imenujemo kar "mati vseh izumrtij". Po novejših raziskavah naj bi se izumiranje zgodilo v zelo kratkem časovnem obdobju, krajšem od 60.000 let ali celo manj (nekateri znanstveniki omenjajo celo število 8000), in naj bi nastalo predvsem zaradi katastrofalnih klimatskih sprememb, ob katerih se je povprečna letna temperatura dvignila kar za 6 °C (Protero in Dott, 2003). Vzroki teh klimatskih sprememb in posledičnega izumiranja še vedno niso povsem razjasnjeni. Raziskovalci predpostavljajo, da za izumiranje tako epskih dimenzij ni dovolj le posamezni dejavnik, pač pa usodna kombinacija več dejavnikov. Do sedaj so z obširnimi raziskavami odkrili naslednje: najprej naj bi zaradi viška umika morja v zgornjem permu prišlo do uničenja številnih priobalnih okolij in posledično do drastičnega zmanjšanja plitvovodnih habitatov. Spremenjeno razmerje med morjem in kopnim je povzročilo prve klimatske spremembe. Umiku morja se je kasneje pridružila tudi intezivna vulkanska dejavnost na območju današnje Sibirije, ko so se v atmosfero sprostile ogromne količine toplogrednih plinov. Hkrati naj bi zaradi nizke gladine morja prišlo tudi do nenadnega sproščanja hidratiranih ogljikovodikov iz morskih sedimentov in do spremembe kemizma morske vode. Omenjeni dejavniki so povzročili izrazito znižanje bioprodukcije, kolaps vegetacijskega pokrova in nadaljnje segrevanje ozračja. Vsi omenjeni dejavniki so vodili do enega največjih izumiranj v zgodovini Zemlje, v katerem je izumrlo kar 95 % vseh vrst organizmov, npr. trilobiti, rugozne in tabulatne korale, 53 % morskih družin, 84 % morskih rodov, 70 % kopenskih vrst, kot so rastline, insekti in vretenčarji. Korale so v zgornjem permu doživele zadnje poglavje svoje zgodovine. Izumrle so tabulatne in rugozne korale, moderne skleraktinijske korale pa so se pojavile šele v srednjem triasu. Število briozojev se je v zgornjem permu močno zmanjšalo in se je ponovno povečalo skupaj s koralami šele v aniziju. Na meji perm-trias se je zmanjšalo število iglokožcev. Med foraminiferami so izumrle fuzulinoideje, ki so pomembni fosili v zgornjem karbonu in permu, spodnjetriasno krizo pa so doživele tudi male foraminifere. Podobno kot foraminifere so imeli tudi brahiopodi višek razvoja v mlajšem paleozoiku. Artikulatni brahiopodi v zgornjem permu so dosegli največje velikosti, v triasu pa se je njihovo število drastično zmanjšalo. Nekateri avtorji navajajo, da je izumrlo 90 % družin in 95 % rodov. Pri polžih so bile večje spremembe v endemičnih vrstah, medtem ko so v triasu postale druge vrste manj raznolike in manjše. Podobno

se je dogajalo s školjkami, ki so bile redke v zgornjem permu, vendar z večjim številom vrst, ki so v spodnjem permu upadle le za kratek čas. Med njimi so bile tudi lazarjeve vrste, ki pa so izginile le navidezno. Pri amonoidih se vidi razločna zarezna na meji, ki pa ni tako drastična kot v zgornjem triasu ali zgornji kredi. V spodnjem triasu se je njihova radiacija močno pospešila in kmalu so dosegli podobno razširjenost kot v zgornjem permu. Pri konodontih in ribah ni opaziti večjih sprememb. V spodnjem triasu so konodonti dosegli svojo zadnjo radiacijo, pri ribah se je njihova številčnost na meji celo povečevala. Radiolarije so doživele največjo krizo v zgornjem permu in so si opomogle šele v srednjem triasu. Za kopenske tetrapode navajajo različne vrednosti, nekateri celo 63 %, kar je več od izumrtja morskih organizmov. Res je, da je v tem času izumrlo kar nekaj amfibijskih in reptilskih skupin, ki jih je v triasu nadomestila precej manjša rodovna pestrost, predvsem rod *Lystrosaurus*. Na meji P/T se je paleofitična flora zamenjala z mezofitično. Zamenjava naj bi trajala približno 30 milijonov let. Na meji so se velike drevesne rastline zamenjale z zelmi, kot je na primer *Isoetes* (Hallam in Wignall, 1997).

### ***Izumiranje na meji trias-jura (T/J, slika 1) pred 200 milijoni let***

Izumiranje na meji trias-jura predstavlja prvo množično izumiranje po pojavu dinosavrov in sesalcev v spodnjem in srednjem triasu. Izumiranje je prizadelo približno 22 % morskih družin, 52 morskih nevretenčarskih rodov, in številne vretenčarje, med njimi mnoge dvoživke.

Meja je v primerjavi z drugimi izumrtji zaenkrat slabše raziskana, zato nekateri raziskovalci imenujejo izumrtje na meji T/J kar pozabljeno izumiranje. Izumiranje v zadnjem času zbuja čedalje večjo pozornost in je po pomembnosti na četrtem mestu za permskim, ordovicijem in krednim izumiranjem. Novejše raziskave so tako pokazale, da je bilo izumiranje izjemno hitro, trajalo naj bi manj kot 50.000 let (najverjetneje le približno 10.000 let) in je povezano z nenadnim padcem v primarni produkciji, v katerem so jo najslabše odnesli radiolariji. Geologi so v tem času dokazali tudi povišanje atmosferskega CO<sub>2</sub> in zvišanje temperature ozračja za 3 do 4 °C. Vzroki za nastale razmere še vedno niso popolnoma jasni, vendar očitna podobnost z bolj raziskanimi izumiranjmi na meji perm-trias in kreda-terciar postavlja v ospredje dve hipotezi. Prva se naslanja na sumljivo časovno ujemanje

izumiranja z razpadom superkontinenta Pangee. V triasu je namreč na celotni Zemeljski obli kraljeval le en superkontinet, imenovan Pangea, ki se je v obliki črke C raztezal od severnega do južnega pola. Na meji trias-jura je Pangea začela razpadati in nastajati je začel Atlantski ocean. Dogodek so spremljali verjetno največji vulkanski izbruhi v celotni Zemljini zgodovini, izbruhanih je bilo vsaj 2 milijona kubičnih kilometrov bazaltne lave. Izbruhi so v stratosfero izpustili ogromne količine toplogrednega plina CO<sub>2</sub>, ki je povzročil hitro segrevanje ozračja ter sproščanje še bolj agresivnih toplogrednih plinov, kot so, recimo, hidratirani ogljikovodiki. Druga hipoteza pa za izumiranje krivi padec meteorita, ki bi imel identične posledice kot prej omenjeni vulkanski izbruhi. Slabost te druge hipoteze pa je v tem, da znanstveniki še niso našli primerno starega kraterja meteorita, ki bi lahko povzročil tako razdejanje.

V morskem okolju so bili močno prizadeti amonoidi. Njihovo število se je zmanjšalo za šest naddružin. Preživel je samo en rod, ki je potem doživel zadnjo veliko radiacijo v juri in kredi. Školjke na ravni družin niso kazale kake posebne spremembe na meji. Manj so bile podvržene izumiranju kozmopolitske vrste kot endemične in globokomorske bolj kot plitvomorske. Polžje vrste, ki so preživele paleozoik, so podlegle na koncu triasa. Mnoge brahiopodne skupine so izumrle v zgornjem triasu in le malo jih je prešlo v juro, v kateri so začele uspevati terebratulide in rinhonelide. Izumrle so tudi nekatere druge nevretenčarske skupine, npr. Ehinodermi, katerih skupno število pa se bistveno ni spremenilo.

Med kopenskimi rastlinami ni opaziti večjih sprememb niti pri makrofosilih niti pri palinomorfih. Izumrli so posamezni predstavniki, kar pa ni vplivalo na splošno podobo kopenskega rastlinstva. Pri kopenskih vretenčarjih so v zgornjem triasu prevladovali arhozavromorfi reptili, labirintodonti in sesalcem podobni reptili. V juri so se pojavili dinozavri, krokodilomorfi, sesalci, moderne amfibije in majhni kuščarji (Hallam in Wignall, 1997).

### ***Izumiranje na meji kreda-terciar (K/Tc, slika 1) pred 65 milijon let***

Izumiranje na meji kreda/terciar je gotovo najbolj znano izumiranje izmed vseh petih velikih izumiranj predvsem zato, ker nam je časovno najbližje, in zato, ker so na tej meji izumrli strašni kuščarji – dinozavri. Izumiranje je

znamenito tudi zaradi tega, ker imamo zanj jasne dokaze, da je posledica padca orjaškega meteorita na območje Yukatana v Mehikiškem zalivu. Geologi so krater, ki ga je povzročil meteorit, našli z geofizikalnimi raziskavami ter ga poimenovali Chicxulub. Danes namreč krater popolnoma prekrivajo sedimenti in na površini ni viden. Krater ima obseg približno 160 kilometrov, kar odgovarja meteoritu s premerom kar 10 kilometrov. Trk tako velikega meteorita je imel globalne posledice. V Zemljino atmosfero je "izstrelil" ogromno prahu, ki je obdal celotno Zemljo, blokiral sončno svetlobo in tako za več let zatemnil Zemljino površje. Znanstveniki so ocenili, da je bilo po padcu meteorita od 1 do 6 mesecev skoraj popolna tema, fotosinteza pa je bila preprečena vsaj 1 leto, najverjetneje pa celo več let. Temperature na Zemljinem površju so v tem času drastično padle, ponekod celo pod 0 °C. Sledilo je izumiranje fitoplanktona in rastlin ter organizmov, ki so odvisni od prej omenjenih. Najslabše so jo odnesle velike, relativno specializirane živali (se pravi dinozavri), medtem ko so manjše in bolj generalno usmerjene živali preživele. Poleg zastrupljanja atmosfere pa je padec meteorita povzročil tudi pravo razdejanje na Zemljinem površju. Trk je povzročil "ogromne potrese", požare, in ker je padel v plitev ocean, tudi uničujoče cunamije.

Za človeški obstoj pa ima omenjeno izumiranje še posebno velik pomen, po njem so namreč glavno vlogo na Zemlji prevzeli sesalci, ki so dolge milijone let v senci dinozavrov čakali na svojo priložnost. Poleg dinozavrov so na meji kreda-terciar izumrli tudi številni nevretenčarji, ki so za stratigrafijo mnogo pomembnejši, npr. amoniti, rudistne školjke. Izumrlo naj bi 16 % morskih družin, 47 % morskih rodov, 18 % kopenskih vretenčarskih družin skupaj z dinozavri.

Planktonske foraminifere so dosegle v juri in kredi svoj prvi razcvet. Na meji kreda/terciar je izumrla pomembna skupina globotruncanid, ki so jo v paleocenu hitro nadomestile druge planktonske foraminifere. Zato imajo velik pomen pri določevanju stratigrafske meje. Male foraminifere so izumrle v manjši meri. Obdržale so se tiste, ki so živele od 150 metrov pod vodo, medtem ko so tiste, živeče v plitvejši vodi, preživele le 20-odstotno. Kalcitni nanoplankton so prizadeli dogodki na meji, njegovo preživetje je bilo 15- do 20-odstotno.

Dinoflagelati in diatomeje so mejo preživel v večji meri po zaslugi njihovih cist, ki so se zadrževale na dnu v ve-

čjih globinah. Radiolariji kažejo precejšnje zmanjšanje številčnosti.

Med moluski so izumrle rudistne školjke, amonoidi in belemniti. Zmanjševanje njihovega števila je opaziti že v starejših obdobjih zgornje krede.

V prejšnjih poglavjih sva opisovala le največja izumiranja, ki jih lahko zabeležimo na planetu Zemlja, vendar je treba poudariti, da se poleg večjih izumiranj na Zemlji neprestano dogajajo tudi manjša. Vrsta, ki je obvladovala določeno ekološko nišo, izumre, zamenja jo novejša in bolj prilagojena. In kakor za določene vrste pomeni izumiranje konec, tako pomeni za druge priložnost za nov začetek. Ne smemo pozabiti, da se za razvoj sesalcev, ki so dolge milijone let čakali v senci dinosavrov, lahko zahvalimo prav enemu izmed katastrofalnih izumrtij. In vsa nadaljnja manjša izumiranja so nekako dala sodobnemu človeku prostor in možnost, da začne svojo prevlado na Zemlji.

Z geološkimi očmi lahko torej ugotovimo, da so globalni katastrofalni dogodki, kot so, recimo, izbruhi vulkanov, padci meteoritov, globalne klimatske spremembe ter z njimi povezana velika in majhna izumiranja, deli naravnega procesa razvoja planeta Zemlje in pomenijo bistvene evolucijske preskoke. Za konec bova seveda odgovorila tudi na vprašanje, ali se nam v prihodnosti obetajo globalne klimatske spremembe in množično izumiranje – Geološko gledano VSEKAKOR.

## **Literatura**

- Courtillot V. (1999): *Evolutionary Catastrophes*. Cambridge University press, Cambridge. 173 str.
- Cowen R. (1995): *History of Life*. Blackwell Science, Oxford.
- Donovan S. K. (ur.) (1989): *Mass extinction: Processes and evidence*. Belhaven Press, London. 266 str.
- Hallam A., Wingall P. B. (1997): *Mass extinctions and their aftermath*. Oxford University Press, Oxford. 320 str.
- Levin H. L. (1999): *The Earth through time*. Saunders College Publishing, Philadelphia. 568 str.
- Protero D. R., Dott R. H. (2003): *Evolution of the Earth*. McGraw-Hill, New York. 577 str.
- Stanley S. M. (1999): *Earth system history*. Freeman and Company. 615 str.

## MEDVRSTNI ODNOSI KROJJO STRUKTURO ŽIVLJENJSKIH ZDRUŽB: VEČVRSTNI INTERAKCIJSKI KOMPLEKSI V EKOSISTEMIH

### Al Vrezec

Nacionalni inštitut za biologijo, Večna pot 111, 1000  
Ljubljana; e-naslov: al.vrezec@nib.si

---

*Al Vrezec se je rodil leta 1976 v Ljubljani. V letu 2000 je diplomiral na Oddelku za biologijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, še istega leta pa se je zaposlil kot mladi raziskovalec na Nacionalnem inštitutu za biologijo. Podiplomski študij je zaključil leta 2004, ko je postal doktor znanosti na Univerzi v Ljubljani, v letu 2008 pa je prejel še habilitacijski naziv docent za področje zoologije. Trenutno je zaposlen kot znanstveni sodelavec na Nacionalnem inštitutu za biologijo. Kot raziskovalec je dejaven v mnogih domačih in mednarodnih združenjih. Od leta 1999 dalje je član uredniškega odbora ornitološke znanstvene revije *Acrocephalus*, pri kateri je bil med leti 2002 in 2004 glavni urednik. V letu 2003 je postal na povabilo Ministrstva za okolje in prostor član znanstvenega odbora projekta *Natura 2000* v Sloveniji, v letu 2008 pa je na povabilo Zavoda RS za šolstvo postal član PRS. Kot soorganizator je sodeloval pri Prvem slovenskem ornitološkem kongresu (2005), aktivno pa se je udeležil več mednarodnih simpozijev in kongresov v Sloveniji, Avstriji, Nemčiji, Švici, Franciji, Španiji in na Nizozemskem. Vključen je bil tudi v več mednarodnih projektov vključujoč *Interreg*, *Phare* in bilateralne projekte. Njegovo glavno raziskovalno področje sta ornitologija in entomologija, kjer ga še posebej zanimajo ekološka in ekosistemska vprašanja. Na pedagoškem področju je deloval kot mentor na številnih raziskovalnih taborih, največ na taborih za študente biologije, član komisije ocenjevanja osnovnošolskih in srednješolskih raziskovalnih nalog, kot somentor pri diplomskih delih, sodeloval pri pripravi prenovljenega učnega načrta za gimnazije s področja biologije, trenutno pa sodeluje v organizacijskem odboru posveta na srednješolske učitelje *Biološka znanost in družba* ter skupaj v soavtorstvu pripravlja novi učbenik za biologijo za srednje šole pri DZS.*

## INTERSPECIFIC INTERACTIONS ARE STRUCTURING NATURAL ASSEMBLAGES: MULTISPECIES INTERACTION COMPLEXES IN ECOSYSTEMS

### Al Vrezec

National institute of biology, Večna pot 111, SI-1000  
Ljubljana, Slovenia; e-mail: al.vrezec@nib.si

---

*Al Vrezec was born in Ljubljana in 1976. In 2000, he graduated at the University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Dept. of Biology and became a young researcher at the National Institute of Biology. He finished his PhD thesis in 2004 and became assistant professor in the field of zoology in 2008. Currently he's employed as scientific co-worker at the National Institute of Biology. He's scientifically active in several national and international associations. He's been a member of the editorial board of the ornithological scientific magazine *Acrocephalus* from 1999, and in years 2002 to 2004 was the editor in chief. He's been the member of the scientific committee of the project *Natura* from 2003 on and a member of PRS from 2008. He was one of the organizers of the 1st Slovenian Ornithological Congress in 2005. He actively participated in several international simposia in Slovenia, Austria, Germany, Switzerland, France, Spain and the Netherlands. He was also a partner in several international projects, such as *Interreg*, *Phare* and bilateral projects. His main research areas are ornithology and entomology, with special interest in ecology and ecosystems. Pedagogically, he was a mentor at many research camps, mostly for biology students. He was a member of the commission for the evaluation of research projects in primary and secondary schools, a co-mentor of graduation thesis, he collaborated in the renovation of the learning plan for biology in secondary schools. Currently he's a member of the organizing committee of the symposium for high school teachers *Biological science and Civics*, and is writing a textbook for biology in secondary school as a co-author.*

## *Izyleček*

Medvrstna razmerja ali interakcije med vrstami so temeljno gibalno v oblikovanju združb, torej njihove vrstne sestave in abundance posameznih vrst v njej. Z razmerji razlagamo odnose med dvema vrstama, torej v kakšnem neposrednem odnosu sta vrsti v okolju. Z neposrednimi razmerji pa lahko le delno razložimo strukturo združb in ekosistemov, saj so nedavne raziskave pokazale na pomen posrednih razmerij v biokompleksnosti ekoloških sistemov. Neposredna razmerja razumemo kot interakcije med dvema vrstama, pri čemer zaradi delovanja ene vrste številčnost druge upada ali raste, pri posrednih razmerjih pa smo soočeni s sistemom treh ali več vrst. Pravzaprav gre za splet različnih neposrednih interakcij, v katerih dve vrsti, ki nista v neposrednem stiku, prek tretje posredniške vrste ali mediatorja vplivata druga na drugo. Najbolj preučena oblika posrednih interakcij je prikrita kompeticija, pri kateri je mediator vrsta, ki je navadno na višjem trofičnem nivoju kot pa prikrita kompetitorja in je bodisi plenilec, parazit ali parazitoid. Populacija mediatorja se lahko povečuje zaradi alternativnega plena ali gostitelja, ki predstavlja prikritega kompetitorja vrsti, ki je glavni plen oziroma gostitelj mediatorja. Zaradi alternativnega plena se lahko povečuje število mediatorja, s tem pa se povečuje tudi predacijski pritisk oziroma verjetnost infekcije glavnega plena oziroma gostitelja. Proces lahko pripelje do popolne izključitve glavnega plena oziroma gostitelja iz sistema, populaciji mediatorja in alternativnega plena oziroma gostitelja pa se ujameta v ravnovesju. Do sedaj je bilo prepoznanih že več tipov prikrite kompeticije, ki predstavlja negativno razmerje med prikritima kompetitorjema, medtem ko je primerov pozitivnih posrednih razmerij do sedaj znanih zelo malo in jih opisujejo kot prikriti mutualizem. Poznavanje posrednih interakcij se je izkazalo kot zelo pomembno v agrarnih sistemih, zlasti kar se tiče zatiranja za kmetijstvo škodljivih žuželk. Veliko nevarnost pa predstavljajo tudi vnosi eksotov, ki lahko prek deljenega mediatorja povzročijo popolno izključitev in izumrtje avtohtonih vrst in naravnih ekosistemov.

## *Abstract*

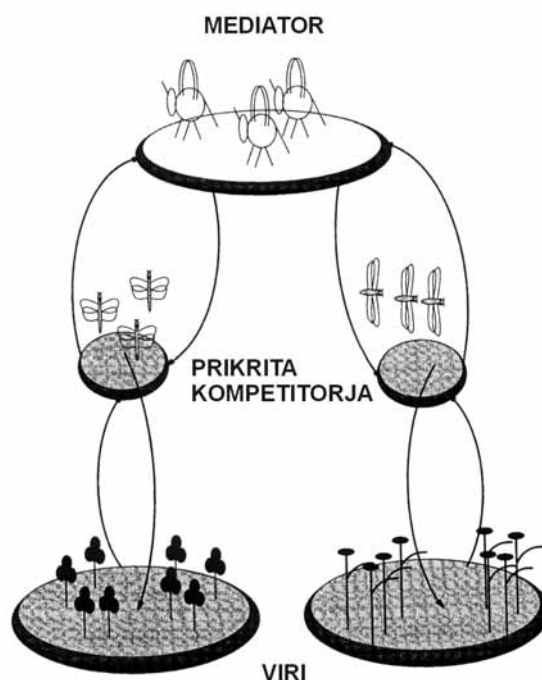
Interspecific interactions are the fundamental motive for the formation of communities, that is of their species richness and species abundance. Interactions are used to explain the relations between two species. However, these direct relations can only partially explain the structure of communities and ecosystems. Recent studies have showed that indirect relations are important for the biocomplexity of ecosystems as well. Direct relationships are actually interspecific interactions where one species increases or decreases the quantity of the other species. In indirect relations three or more species are involved via direct interactions. Two species which are not directly connected are in the relations via the third species, the mediator and thus affect each other. The most investigated type of the indirect interactions is the hidden competition, where the mediator species is on higher trophical level as are the hidden competitors, and is a predator, parasite or parasitoid. The mediator population can increase due to alternative prey, causing the increase of the predation pressure or the increase of the possibility of prey's or main host's infection. The process can lead to the total exclusion of the main prey or host from the system, but the populations of the mediator and the alternative prey are in the equilibrium. So far, several types of hidden competition were recognized, mostly negative. Only few positive interactions are known and are described as hidden mutualism. The knowledge on indirect interactions was found to be very important in agricultural systems, such as insect repellents. High risk for the environment is also the introduction of foreign species, which can cause total elimination and extinction of native species and natural ecosystems because of the same mediator.

## Uvod

Medvrstna razmerja ali interakcije med vrstami so temeljno gibalno v oblikovanju združb, torej njihove vrstne sestave in abundance posameznih vrst v njej. Interakcije lahko potekajo med vrstami znotraj enega ali med vrstami različnih trofičnih nivojev. V osnovi se medvrstna razmerja delijo na pozitivna in negativna glede na učinek oziroma vpliv ene vrste na drugo. Tarman (1992) navaja osem takšnih razmerij, poleg nevtralizma med pozitivnimi mutualizem, protokooperacijo ter komenzalizem in med negativnimi predatorstvo, parazitizem, amenzalizem in kompeticijo. Ta razmerja razlagajo odnose med dvema vrstama, torej v kakšnem direktnem oziroma neposrednem odnosu sta vrsti v okolju. Z neposrednimi razmerji pa lahko le delno razložimo strukturo združb in ekosistemov, saj so nedavna spoznanja pokazala na pomen indirektnih oziroma posrednih razmerij v biokompleksnosti ekoloških sistemov (Wootton, 2002). Znano je, da na obstoj vrst v naravnih združbah vpliva cela vrsta drugih vrst, ki delujejo nanje tako plenilsko kot mutualistično (npr. Müller & Godfray, 1999), vendar je učinek posrednih interakcij lahko še veliko večji in ima v večini primerov za posledico celo popolno izključitev vrste iz sistema (npr. Bonsall & Hassell, 1997; Hudson & Greenman, 1998). S posrednimi interakcijami so razložili tudi marsikateri naravovarstveni problem izumiranja vrst (npr. Tompkins s sod., 1999), še posebej na primerih uspešnih vnosov tujerodnih vrst ali eksotov v naravno okolje (Kryštufek, 1999).

In kaj posredna medvrstna razmerja sploh so? Če smo si neposredna razmerja razlagali kot interakcije med dvema vrstama, pri katerih zaradi delovanja ene vrste številčnost druge upada ali raste, smo pri posrednih razmerjih soočeni s sistemom treh ali več vrst. Te interakcije višjega reda lahko potekajo znotraj istega ali med različnimi trofičnimi nivoji (Begon s sod., 1996). Pravzaprav gre za splet različnih neposrednih interakcij, v katerih dve vrsti, ki nista v neposrednem stiku, prek tretje posredniške vrste ali mediatorja vplivata druga na drugo. Mediatorjev je lahko celo več in celoten sistem se lahko razteza čez več trofičnih nivojev (npr. Harmon s sod., 2000). Zmotno je med posredne interakcije, denimo, uvrščati izkoriščevalsko ali eksploatacijsko kompeticijo, saj gre pri tem za neposredno tekmovanje za isti vir in ne za posredno delovanje vira hrane na oba odjemalca, ko vir hrane predstavlja neka tretja vrsta (Hudson & Greenman, 1998).

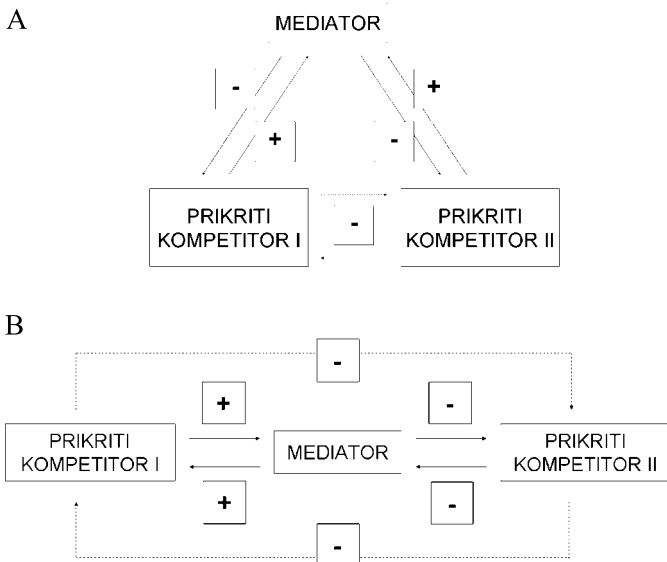
Pri posrednih razmerjih je mediator pravzaprav skupni sovražnik dvema vrstama, ki sicer nimata opaznih neposrednih interakcij. Vrsti, ki sta v posrednem razmerju, namreč kažeta neko soodvisnost v populacijski dinamiki, ki pa je v večvrstnih sistemih zelo težko odkrivna in prepoznavna (Veech, 2000; Wootton, 2002). Tako kot v enostavnih neposrednih razmerjih so tudi v posrednih interakcijah prepoznavni pozitivni in negativni odnosi. Negativne posredne interakcije navadno imenujejo prikrita kompeticija (angl. *apparent competition*), pri kateri se zaradi prisotnosti druge vrste populacija preučevane vrste zmanjšuje (slika 1). Pozitivne posredne interakcije pa navadno imenujejo prikriti mutualizem (angl. *apparent mutualism*), pri katerem se preživetje in populacija vrste zaradi prisotnosti druge vrste povečuje (Bonsall & Hassell, 1999; Veech, 2000; Wootton, 2002). V praksi je prikriti mutualizem zelo težko prepoznaven in zanj še niti ni pravih eksperimentalnih dokazov (Veech, 2000), medtem ko je precej več poznanega glede prikrite kompeticije, katere obstoj so tudi eksperimentalno dokazali (Bonsall & Hassell, 1997; Wootton, 2002).



**Slika 1:** Shema prikrite kompeticije (angl. *apparent competition*), pri kateri imata vrsti (prikrita kompetitorja) skupnega sovražnika (mediatorja), medtem ko so njuni viri ločeni, saj med seboj nimata neposrednih interakcij (po Bonsall & Hassell, 1999).

### Značilnosti prikrite kompeticije

Pojav prikrite kompeticije v različnih delih različno imenujejo, pač glede na to, kakšen je bil objekt preučevanja in tip raziskave (imena so navedena le v angleščini, saj slovenskih izrazov ni): competition for enemy free space, apparent predation, interaction chain, density-mediated indirect interactions, keystone predation, trophic cascades, higher-order interactions itd. (Begon s sod., 1996; Bonsall & Hassell, 1999; Harmon s sod., 2000; Wootton, 2002). Pravzaprav se lahko sistem prikrite kompeticije odvija prek enega ali več trofičnih sistemov, pri čemer je mediator z obema prikritima kompetitorjema v negativnem odnosu ali pa je vsaj z enim v pozitivnem mutualističnem odnosu (Begon s sod., 1996; slika 2). Prvi primer je v naravi precej pogost, medtem ko je drugi izjemno redek. Mediator je vrsta, ki je navadno na višjem trofičnem nivoju kot pa prikrita kompetitorja in je bodisi plenilec, parazit ali parazitoid (Bonsall & Hassell, 1999). Prikrita kompetitorja po nekaterih avtorjih ne smeta biti v nikakršnem neposrednem odnosu (Bonsall & Hassell, 1999), medtem ko drugi avtorji dopuščajo tudi možnost izkoriščevalske kompeticije, vsaj kar se tiče prehranskih virov (Hudson & Greenman, 1998).



**Slika 2:** Primer dveh tipov prikrite kompeticije glede na odnose mediator – prikriti kompetitor (prirejeno po Begon s sod., 1996). Mediator je lahko z obema prikritima kompetitorjema v negativnem odnosu, oba prikrita kompetitorja pa pozitivno vplivata na mediatorjevo populacijo (a), ali pa je odnos z enim pozitiven, mutualističen, odnos z drugim pa negativen (b). Neposredna razmerja so označena s celimi, posredna pa s prekinjenimi puščicami.

V osnovi prikrita kompeticija poteka tako, da se populacija nekega plenilca, parazita ali parazitoida (mediatorja) povečuje zaradi alternativnega plena ali gostitelja. Ta predstavlja prikrita kompetitorja vrsti, ki je glavni plen oziroma gostitelj mediatorja (plenilca, parazita ali parazitoida). Če ima alternativni plen/gostitelj večji reprodukcijski potencial ali je bolj odporen na parazita kot glavni plen/gostitelj, se populacija mediatorja povečuje zaradi alternativne plenske vrste. Zaradi povečanega števila mediatorja pa se povečuje tudi predacijski pritisk oziroma verjetnost infekcije glavnega plena oziroma gostitelja. Alternativni plen tako vzdržuje visoko populacijo mediatorja, ki bi sicer z upadom glavnega plena upadla. Če se takšna asimetrična rast populacij obeh prikritih kompetitorjev nadaljuje (glavna in alternativna plenska vrsta), proces pripelje do popolne izključitve glavnega plena oziroma gostitelja iz sistema, populaciji mediatorja in alternativnega plena oziroma gostitelja pa se ujameta v ravnovesju (Begon s sod., 1996; Bonsall & Hassell, 1997 in 1999; Hudson & Greenman, 1998). Alternativni plen tako postane glavni plen oziroma gostitelj mediatorja v danem sistemu. Rezultat prikrite kompeticije je tako skoraj vedno izključitev enega od prikritih kompetitorjev iz sistema, če le ni izpolnjen eden od dveh pogojev sobivanja (glej naslednje podpoglavje). Druga možnost je, da začeta prikrita kompetitorja v antagonistični koevoluciji razvijati mehanizme obrambe, s katerimi zmanjšujeta predacijski ali infekcijski pritisk nase in ga posledično povečujeta na drugega prikrita kompetitorja. Takšna simpatrična fenotipska diverzifikacija se lahko razvije na način, da kompetitor razvije, denimo, večjo odpornost na parazita (Buckling & Rainey, 2002) ali pa z različno intenziteto rasti kompetitor razvije velikostni refugij, torej poveča ali zmanjša velikost osebkov, ki jih plenilec (mediator) ne more pleniti (Day s sod., 2002).

Bonsall in Hassell (1999) sta opisala dva tipa prikrite kompeticije glede na njen časovni potek. Prva je dolgoročna prikrita kompeticija, pri kateri se lahko prikrita kompetitorja odzoveta na mediatorja s prostorskim ločevanjem ali z izborom različnega habitata. Na ta način plenilec (mediator), ki lovi plen naključno in ne izbira (ni vedenjskih sprememb), počasi vpliva na rast oziroma upad populacij obeh prikritih kompetitorjev. Druga možnost je kratkoročna prikrita kompeticija, pri kateri gre za funkcijski oziroma vedenjski odziv mediatorja na prisotnost alternativnega plena. Populacija ene od vrst plena je tako pod vplivom populacije druge vrste plena. Medi-



ator se v tem primeru lahko odzove tako, da se agregira na območjih, kjer se zadržuje glavni plen, kar predacijski pritisk na glavni plen še povečuje. V skladu s tem sta možna dva načina sobivanja ali koeksistence.

### **Sobivanje prikritih kompetitorjev**

Glede na odziv mediatorja, plenilca ali parazitoida na populacijsko dinamiko dveh vrst plena sta Bonsall & Hassell (1999) predvidela dve možnosti sobivanja prikritih kompetitorjev. Čeprav prikrita kompeticija skoraj praviloma vedno vodi do izključitve ene od alternativnih vrst plena, se zaradi sprememb v intenziteti predacijskega pritiska na eno izmed vrst lahko populacijski nihanji obeh prikritih kompetitorjev ujameta v ravnovesju. Temu sledi tudi populacijska dinamika mediatorja. Bistveno pri tem je, da plenilec ne pleni naključno, ampak selektivno. Možna sta dva mehanizma: preklon (angl. *switching*) in agregacija (angl. *aggregation*).

Preklon je pravzaprav trenutna prilagoditev plenilca na dane razmere. Pri tem plenilec prekloni na selektivno plenjenje le ene vrste plena. Razlika od naključnega plenjenja je v tem, da se delež napadov na izbrano vrsto plena zmanjša, s čimer se s časom populacija te vrste poveča, temu pa lahko sledi nov preklon. Ta tako imenovana frekvenčno ali gostotno odvisna preferenca mediatorja omogoča sobivanje prikritih kompetitorjev le, če so neposredna razmerja z mediatorjem stabilna. Če se v danem trenutku preferenca mediatorja do enega plena poveča, to pomeni, da se ravnovesje poruši in ustvari se novo. Kljub vsemu pa je drugi mehanizem, agregacija, v združbah pogostejši.

Pri agregaciji gre za tendenco mediatorja, da pleni le na zanj ugodnejših mestih, torej tam, kjer je gostota plena višja. Tako delujejo mesta z nižjo gostoto kot refugiji za plenske vrste, saj je, zaradi agregacije plenilcev na mestih z visoko gostoto, na mestih z nižjo gostoto predacijski pritisk manjši. Mesta z nižjo gostoto plenjenih vrst so zato ključna za vzdrževanje populacij v ravnovesju. Če se stopnja agregacije povečuje, dobimo lokalno stabilne odnose in stabilno populacijsko dinamiko plena in plenilca. Prostori z nizko gostoto tako ob agregiranju plenilcev omogočajo obstoj mnogovrstne populacije plena istega plenilca. V odsotnosti agregativnega vedenja plenilca pa lahko prek prikrita kompeticije ob naključnem plenjenju pride do izključitve glavnega plena in posledično ob izumrtju glavnega plena tudi do izumrtja plenilca.

Opisana mehanizma sta Bonsall & Hassell (1999) predstavila za razmerja parazitoid – gostitelj, vendar verjetno podobni mehanizmi delujejo tudi v razmerjih plenilec – plen. Torej v razmerjih, kjer je možen selektiven pritisk mediatorja. Drugače pa je v interakcijah parazit – gostitelj, v katerih parazit izbira gostitelja neselektivno, torej naključno, poleg tega pa imamo tu opraviti še s t. i. vektorji, torej prenašalci oziroma rezistentnimi gostitelji parazita (Hudson & Greenman, 1998).

### **Primeri prikrite kompeticije**

Raziskave posrednih razmerij med vrstami so trenutno ena od vročih tem v ekologiji (Wootton, 2002), zato je bilo na temo prikrite kompeticije objavljenih že veliko empiričnih eksperimentalnih raziskav, ki osvetljujejo pojav iz različnih zornih kotov in v različnih situacijah. Temeljno je bilo spoznanje, da so odnosi obeh prikritih kompetitorjev do mediatorja različni, bodisi negativni, kar je najpogostejše, bodisi pozitivni (Begon s sod., 1996).

### **Negativne interakcije z mediatorjem**

Mediator ima v tem primeru vlogo zaviralca populacijske rasti obeh prikritih kompetitorjev, ki pa imata različno odpornost na njegov negativni vpliv. Mediator je bodisi plenilec, parazitoid ali parazit, ki je z obema prikritima kompetitorjema v negativnem odnosu. Obratno pa prikrita kompetitorja pozitivno vplivata na populacijsko rast mediatorja. Zaradi asimetrije v odpornosti ali reprodukcijskem potencialu prikritih kompetitorjev prihaja do intenzivne prikrite kompeticije, čeprav bi vrsti, glede na njuno bolj ali manj nevtralistično neposredno razmerje, v sistemu brez mediatorja lahko sobivali.

### **Plenilski mediator**

Kot posebno obliko odnosa plenilec – plen lahko štejemo tudi rastlinojedstvo ali herbivorijo, saj herbivori z obgrizovanjem oziroma plenjenjem neposredno vplivajo na povečano smrtnost ali zmanjšanje reprodukcijskega potenciala rastlin. Med rastlinami je znana t. i. združbena občutljivost (angl. *associational susceptibility*) na herbivore. Več raziskav je namreč potrdilo, da herbivori rastline v kompleksnih in pestrih združbah manj prizadenejo kot pa v vrstno revnejših sestojih, denimo monokulturah. Razlog temu je predvsem dejstvo, da se učinkovitost her-

bivora zmanjša zaradi iskanja rastlin v pestrih združbah, kar ne dovoljuje razvoj večjih populacij herbivora. Pestrost pa ima lahko v nekaterih primerih tudi negativne učinke, predvsem takrat, ko imamo opraviti z oligofagnim herbivorom, ki lahko pleni dve ali več rastlin. Ob tem se stopnja herbivorije na izbrano vrsto povečuje ob prisotnosti druge vrste. Za primer je raziskava iz slanišč v ZDA, kjer se je izkazalo, da je stopnja obžrtosti lobode vrste *Atriplex patula* s strani oligofagnega herbivornega hrošča lepenca vrste *Erynepthala maritima* večja ob prisotnosti alternativnega rastlinskega gostitelja navadnega osočnika (*Salicornia europaea*) (Rand, 1999). Dokazali so, da je objedenost lobode značilno večja na območjih, kjer uspeva skupaj z osočnikom. Prizadetost lobodinih rastlin na območjih simpatrije je bila namreč 40–100-odstotna. Pojav bi bil lahko posledica dveh možnih mehanizmov. Prvi je pašno vedenje herbivora (angl. *herbivore foraging behavior*), pri katerem gre za agregativni številčni odziv herbivora na višje gostote gostiteljskih rastlinskih vrst. Ker se hrošči lepenca hranijo na obeh vrstah, so zato površine, kjer obe vrsti uspevata skupaj, zanje bolj privlačne. Druga možnost je različna stopnja odkrivnosti gostiteljskih rastlin s strani herbivora. Ker se žuželke pri iskanju ustreznih hranilnih rastlin zanašajo predvsem na olfaktorne organe, je razumljivo, da dobijo močnejše kemične signale o prisotnosti rastlin s tistih površin, kjer so gostote le-teh višje. To pomeni, da lahko herbivorni hrošči takšna območja bolj učinkovito kolonizirajo, se torej agregirajo, s čimer postaja predacijski pritisk večji. Loboda je imela na območjih simpatrije z osočnikom precej manjše preživetje in nižji reprodukcijski potencial kot pa na območjih alopatrije, kjer je uspevala sama. V naravi pa loboda uspeva tudi na drugih območjih v asociaciji s travami. Tu je objedenost značilno manjša, najverjetnejši razlog pa je odsotnost osočnika, ki zaradi kompeticijskih razmerij s travami tod ne uspeva. Ta območja imenujemo za delne refugije lobode (Rand, 1999). Raziskava je pokazala, da so med rastlinami možne močne posredne interakcije prek skupnega oligotrofnega herbivora.

Kljub temu pa so med rastlinami možne neposredne interakcije, denimo senčenje, kompeticija za prostor ipd., ki bi lahko vsaj pripomogle k izključujočemu izidu prikrite kompeticije. Prikrita kompeticija in posredna razmerja torej niso nujno edini dejavnik izključevanja. No, če so neposredna razmerja možna med rastlinami v njihovi rasti fazi, pa je to povsem nemogoče za mirujoča semena. Edine možne interakcije med semeni so torej posredne.

Tako je raziskava vpliva zrnojedih glodalcev na semena oziroma razmerja med rastlinami v mirujoči semenski fazi je potrdila prav to – močne posredne, zlasti negativne, interakcije (Veech, 2000). Poskus je bil zasnovan v puščavskem območju, kjer so vplivu zrnojedih glodalcev izpostavili različne površine z različnimi gostotami zrn in z različnimi večvrstnimi semenskimi mešanici. Nizko plenjena semena niso kazala nikakršnih znakov posrednih interakcij. Te so bile zaznane le med bolj plenjenimi vrstami. Čeprav so glodalci najraje plenili semena na površinah z enovrstno mešanico in veliko gostoto, so največje plenjenje v večvrstnih mešanicah zaznali tam, kjer so bila prisotna bolj preferirana semena, denimo glavni plen. Detekcija posrednih interakcij in njihove intenzitete je še vedno jedro problema raziskav posrednih razmerij (Wootton, 2002). Zato Veech (2000) v svoji študiji plenjenja semen predlaga indekse, ki bi to intenziteto lahko izmerili. Pomembno pri tem je, da ovrednotimo tako posredne kot neposredne učinke. Za merilo intenzitete posrednih ali indirektnih efektov (IS) je razvil indeks:

$$IS = PSS_{mix} - PSS_{single}$$

$PSS_{mix}$  = delež preživetja semen vrste X v mnogovrstni semenski mešanici,  $PSS_{single}$  = delež preživetja semen vrste X v enovrstni semenski mešanici.

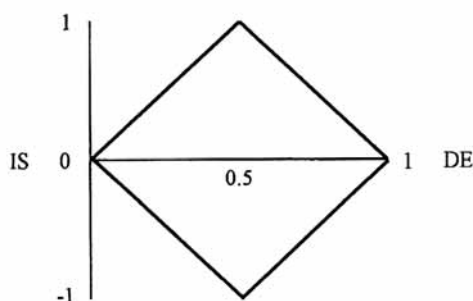
Positivne vrednosti IS pomenijo, da so glodalci semena bolj plenili v enovrstni kot pa v mnogovrstni semenski mešanici (preživetje je bilo torej nižje v enovrstni semenski mešanici). Pozitivni IS torej nakazuje na prikrito mutualizem (ob prisotnosti druge vrste je preživetje vrste X večje), negativni IS pa prikrito kompeticijo (ob prisotnosti druge vrste je preživetje vrste X manjše).

Poleg indeksa indirektnega efekta (IS), pa je Veech (2000) razvil še indeks direktnega efekta (DE), pri čemer je štel skupno število odstranjenih semen iz mnogovrstne semenske mešanice ( $N_{mix}$ ) in iz enovrstne semenske mešanice ( $N_{single}$ ), izraženo s celokupnim številom semen na ploskvi:

$$DE = [(1 - PSS_{mix}) \times N_{mix}] + [(1 - PSS_{single}) \times N_{single}] / (N_{mix} + N_{single})$$

Veech (2000) je opazoval, kako se IS vede v odvisnosti od DE. Ugotovil je, da lahko IS doseže maksimalne vrednosti 1 ali –1 le v primeru, ko je vrednost DE okoli

0,5 (slika 3). Ko je DE, torej direktni efekt, zelo močan ali zelo nizek, je indirektni efekt IS zelo omejen. To tudi razloži, zakaj pri vrstah, na katere je bila predacija nizka, ni bilo opaziti nikakršnih posrednih efektov. Le pri s strani glodalcev najbolj preferirani vrsti z največjimi semeni, ki je imela zaradi tega tudi najvišji DE, je bilo opaziti višje pozitivne vrednosti IS, sicer neznčilne, ki nakazujejo prikriti mutualizem, torej da ima vrsta posredno korist, če je v mešanici skupaj z ostalimi semeni. V nasprotju s temi pa so ostale vrste zaradi funkcijskega in agregativnega odziva plenilcev, glodalcev, ki so jih v mnogovrstnih semenskih mešanicah privlačila velika semena, izgubljale, saj je bil takrat predacijski pritisk nanje večji kot pa v enovrstnih semenskih mešanicah. Avtor je v poskusu opazoval izginevanje semen (ki so jih odnašali glodalci) s ploskev. To pa ne pomeni nujno negativnega efekta za populacijo semen, saj delujejo glodalci tudi kot prenašalci in prispevajo k razširjanju rastlin. V tem primeru bi bila lahko prisotnost večjih semen, ki pritegnejo glodalce, ugodna tudi za manjša semena, ki jih v tem primeru vsaj navidezno prizadene prikrita kompeticija.



**Slika 3:** Indeks intenzitete indirektnih efektov (IS) v odvisnosti od indeksa direktnih efektov (DE). Največje vrednosti IS so dosežene le v primerih, ko je DE = 0,5, minimalne pa, ko se DE približuje 0 ali 1. Če ni direktnih efektov, denimo predacije, tudi indirektni ne morejo priti do izraza (po Veech, 2000).

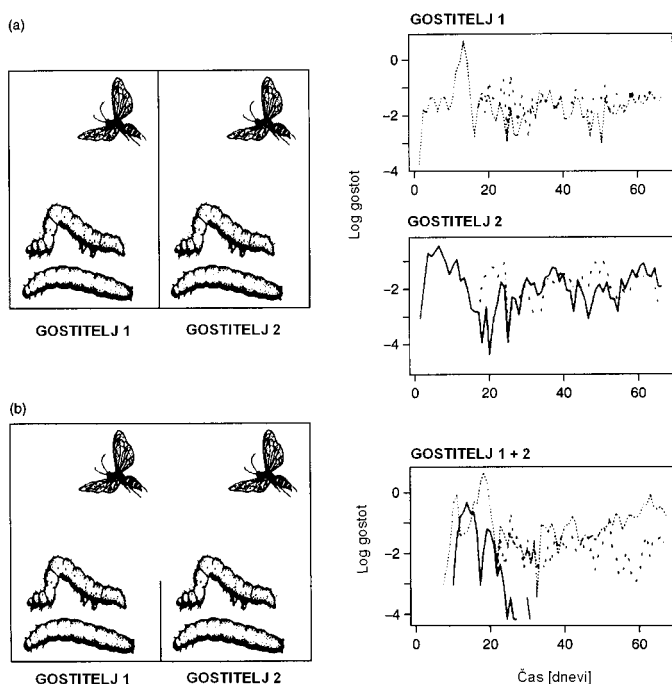
### Parazitoidni mediator

Parazitoide lahko, vsaj kar se interakcij tiče, štejemo za neko vmesno obliko med plenilci in paraziti. Svoj plen aktivno iščejo, kar daje tudi možnost selektivnega plenjenja, vendar plena ne ubijejo, torej odstranijo iz populacije, takoj, pač pa šele čez daljši čas. Poskus za delovanje parazitoida kot mediatorja v prikriti kompeticiji sta izve-

dla Bonsall & Hassell (1997). Poskus lahko štejemo kar za klasičen poskus, ki je dokazal dejanski obstoj pojava prikrite kompeticije. Šlo je za večgeneracijski kontrolirani poskus, saj sta sledila 15 generacij gostitelja. Izvedla sta ga s parazitoidnim najezdnikom *Venturia canescens* in gosenicami dveh metuljskih gostiteljev, *Plodia interpunctella* in *Ephestia kuehniella*. Njuna predpostavka je bila, da ob delovanju parazitoidnega mediatorja na dva gostitelja, ki med seboj nimata nikakršnih neposrednih interakcij, ena od gostiteljskih vrst izumre oziroma je izključena iz sistema zaradi nestabilnega oziroma asimetričnega predacijskega pritiska. V poskusu sta preverila vpliv parazitoida na oba gostitelja in dobila sta stabilno populacijsko nihanje plena in plenilca. Populaciji sta prešli v dinamično ravnovesje. Drugi poskus je bil, da sta posodi z obema gostiteljema združila na način, da so imele parazitoidi možnost prostega prehoda med posodama, medtem ko to ni bilo mogoče za sama gostitelja. Tako sta povsem preprečila možnost kakršnih koli neposrednih interakcij med gostiteljskima vrstama. Edini vpliv je bil torej le posredni prek parazitoidnega mediatorja. Ugotovila sta, da združba dveh gostiteljev in enega parazitoida nikoli ne obstane, saj ena od vrst, v tem primeru je bila to vedno *E. kuehniella*, vedno izumre (slika 4).

Klasični princip delovanja prikrite kompeticije je, da se zaradi enega od gostiteljev populacija parazitoidnega mediatorja povečuje. V posredni interakciji, prikriti kompeticiji, preživi tisti gostitelj, ki je sposoben v danem sistemu prenesti višjo gostoto parazitoida. V sistemu *V. canescens*-*P. interpunctella*-*E. kuehniella* je bil posreden odnos med gostiteljema amenzalen; vpliv vrste *P. interpunctella* na vrsto *E. kuehniella* je bil negativen, medtem ko obratnega efekta ni bilo (slika 4). Prikrito kompeticijsko dominantnost je vrsta *P. interpunctella* izkazovala zaradi večjega intrinzičnega razmerja med rastjo in krajšim razvojnim časom.

Bonsall & Hassell (1997) domnevata, da so interakcije gostitelj – parazitoid še posebej podvržene posrednim vplivom, in to bolj kot druge interakcije, saj so parazitoidi sposobni omejevati gostiteljske populacije celo pod mejo njihove nosilne kapacitete. Odnosi s plenilci naj bi na primer zaradi bolj omejenih številčnih odzivov plenilcev na populacijsko dinamiko plena kazali šibkejšje posredne efekte in bi manj pogosto povzročali izumrtja vrst plena prek prikrite kompeticije.



**Slika 4:** Primer eksperimentalnega dokaza prikrite kompeticije na odnosu parazitoid – gostitelj. Prvi del nadzorovanega večgeneracijskega poskusa (a) kaže ločeno populacijsko dinamiko obeh metuljskih gostiteljev (*Plodia interpunctella* in *Ephestia kuehniella*) in parazitoidnega najezdnika *Venturia canescens*. Populacija gostitelja se v odnosu enega gostitelja in parazitoida vedno ujame v dinamičnem ravnovesju. Če pa se parazitoidu omogoči nemoten dostop do obeh gostiteljev, ki sta med seboj izolirana (preprečene neposredne intreakcije med gostiteljema), populacija enega od gostiteljev vedno izumre zaradi delovanja prikrite kompeticije (po Bonsall & Hassell, 1997; Hudson & Greenman, 1998).

### Parazitski mediator

Vrstno nespecifičen parazit je močno kompetitivno orožje (Haldane, 1949). Prikrita kompeticija prek patogenov, parazitov, lahko znatno vpliva na strukture združb in na spremembe v populacijski dinamiki gostiteljev (Hudson & Greenman, 1998). Uničujoč učinek vrstno nespecifičnega parazita je večji na občutljivejšo gostiteljsko vrsto (angl. *vulnerable host species*) kot pa na rezervoarno gostiteljsko vrsto (angl. *reservoir host species*). Prek prikrite kompeticije namreč skoraj vedno pride do izključitve občutljive gostiteljske vrste iz sistema, kljub temu da sta reprodukcijska uspešnost in rast parazita večji v rezervoarni gostiteljski vrsti (Tompkins s sod., 2001). Gre preprosto za to, da bolj odporni gostitelj, ki predstavlja dominantnega prikritega kompetitorja, prenaša parazite

na manj odpornega podrejenega prikritega kompetitorja (Tompkins s sod., 1999). Primer za to je parazitsko uravnavana prikrita kompeticija med jerebico (*Perdix perdix*) in fazanom (*Phasianus colchicus*) ter parazitskim mediatorjem, glisto vrste *Heterakis gallinarum*, pri čemer pritisk prikrite kompeticije povzroči popolno izključitev jerebice iz sistema (Tompkins s sod., 1999, 2000a, 2000b in 2001). Raziskave so bile v prvi vrsti osredotočene na dva problema: 1) intenziteta rasti in reprodukcijski uspeh parazita, gliste, v obeh gostiteljih, fazanu in jerebici, pri čemer zaradi različnosti ena od gostiteljskih vrst igra vlogo prenašalca (Tompkins s sod., 2000b), ter 2) različnost v občutljivosti gostiteljskih vrst, jerebice in fazana, na infekcijo s parazitsko glisto (Tompkins s sod., 2001).

Fazan, v Evropi naseljena vrsta (Snow & Perrins, 1998), naj bi veljal za starodavnega oziroma primarnega gostitelja gliste *H. gallinarum* (Tompkins s sod., 2002). Da je temu tako, je potrdila študija (Tompkins s sod., 2000b), ki je dokazala precej večjo rast parazita v fazanu kot pa v jerebici kljub enakim eksperimentalnim pogojem izpostavljanja ptic infekciji z jajci gliste. Kokoši se namreč okužijo z glistinimi jajci tako, da jih skupaj s hrano zaužijejo oralno (Tompkins s sod., 1999). V črevesju okuženih fazanov so namreč našli v povprečju  $59,0 \pm 14,83$  glist, v črevesju jerebice pa precej manj,  $6,5 \pm 3,62$  glist (Tompkins s sod., 2000b). Tudi reprodukcijski potencial gliste je bil v jerebicah precej manjši, saj so v iztrebki jerebic našli le  $43 \pm 30$  jajc/dan, v iztrebkih fazanov pa  $3793 \pm 3117$  jajc/dan (razlika je bila statistično značilna). Tudi sama rast oziroma velikost glist je bila v jerebici precej manjša kot pa v fazanih (Tompkins s sod., 1999). Tompkins s sod. (2000b) so izračunali indeks bazičnega reprodukcijskega števila gliste ( $R_0$ ; število odraslih samic glist, ki se razvijejo iz samic glist v poprej neokuženi populaciji gostitelja). Tudi ta indeks je pri fazanu precej večji ( $R_0 = 1,23$ ) kot pa pri jerebici ( $R_0 = 0,0057$ ). Avtorji zaključujejo, da je fazan glavni gostitelj gliste *H. gallinarum* in s tem tudi glavni vir okužbe jerebic. Populacija parazita bi se namreč v sistemu s prisotnostjo jerebice in odsotnostjo fazana iz sistema prej ali slej izgubila.

Pomen pri prikriti kompeticijski izključitvi enega od gostiteljev iz sistema ima asimetrija v občutljivosti obeh gostiteljskih vrst na parazita. Tako je izključitev občutljivejšega alternativnega gostitelja odvisna od vnosa parazita v okolje s strani glavnega rezervoarnega gostitelja (Tompkins s sod., 2000a). V primeru gostiteljskega para

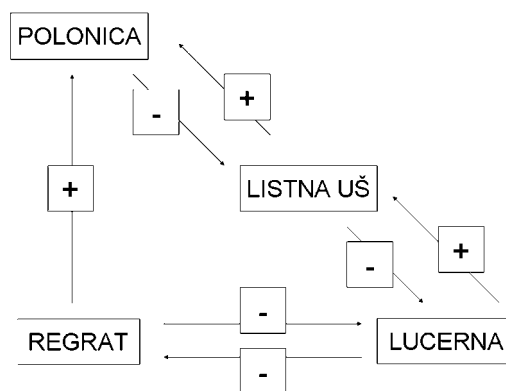
fazan/jerebica ima fazan vlogo glavnega rezervoarnega gostitelja. Dejanski vpliv parazita na oba gostitelja pa se kaže v prizadetosti osebkov vrste posameznega gostitelja ob okužbi s parazitsko glisto. V eksperimentu (Tompkins s sod., 2001), v katerem so ptice okužili, se je izkazalo, da so bile posledice na jerebicah, kljub manjšemu ravnemu in reprodukcijskemu potencialu parazita, večje kot pri fazanu. Medtem ko so pri jerebici ugotovili upad mase, manjšo intenziteto hranjenja in motnje v delovanju črevesne sluznice, so pri fazanu registrirali le motnje v delovanju črevesne sluznice. Takšne motnje lahko v naravi povzročijo znižanje preživetja in reprodukcijskega uspeha, še posebej ko je hrana v minimumu. Prek prikrite kompeticije je zato zaradi različne občutljivosti in gostiteljskih sposobnosti fazana in jerebice jerebica v končni fazi izključena iz sistema. Verjetno je to tudi glavni razlog upadanja jerebice po Evropi in verjetno tudi mnogi poskusi ponovne naselitve jerebic v naravo niso bili uspešni prav zaradi prisotnosti glavnega gostitelja gliste *H. gallinarum*, fazana, v okolju (Tompkins s sod., 2000a). Čeprav sta fazan in jerebica tudi v neposrednih negativnih interakcijah, denimo kompeticija za habitat in agresivno interspecifično vedenje, in čeprav imata negativni vpliv na populacijo jerebic tudi intenzifikacija kmetijstva in povečan predacijski pritisk, je vendar prikrita kompeticija s fazanom verjetno tista, ki je povzročila drastičen upad populacije (zbrano v Tompkins s sod., 2000a). Sobivanje fazana in jerebice v prisotnosti parazita je možno le v primeru, ko sta vrsti habitatsko ločeni, kar zmanjšuje uspešnost prenosa parazita s fazana na jerebico. Kakor koli že, izračunali so, da se izključitev jerebice pojavi še v primeru, ko je ločitev manj kot 43-odstotna (Tompkins s sod., 2000b).

Postavi se vprašanje, kako lahko vnos drugih tujerodnih vrst vpliva na okuženost jerebice z glisto *H. gallinarum*. V sistemu treh vrst kur, jerebice, fazana in španske kotorne (*Alectoris rufa*), španska kotorna ni rezervoar za parazitsko glisto, in čeprav se z njo lahko okuži, je prizadetost osebkov bolj podobna prizadetosti pri fazanu kot pri jerebici (Tompkins s sod., 2002). Navedeni poskusi so bili izvedeni v voljerah in ne v naravnih ekosistemi, zato nekateri avtorji nasprotujejo prostemu prenosu zaključkov na prostoživeče populacije ptic (Sage s sod., 2002; Browne s sod., 2006). Čeprav je bil po Evropi in tudi v Sloveniji opažen močan upad populacije jerebice (Geister, 1995) se upada jerebičje populacije ne da povsem nedvoumno povezati z velikim povečanjem fazanje

populacije (Vrezec, 2006). Pojav upadanja populacije jerebice po Evropi je torej večplasten in zajema tako vplive degradiranega okolja kot vplive bolezni (Browne s sod., 2006).

### Pozitivne interakcije z mediatorjem

Pozitivne interakcije enega od prikritih kompetitorjev z mediatorjem so, vsaj glede na današnje znanje, v naravi redkejšje. Harmon s sod. (2000) je objavil opisno-eksperimentalno študijo na primeru kompleksne združbe štirih vrst iz treh trofičnih razredov. V združbi sodelujeta dva primarna producenta, regrat (*Taraxacum officinale*) in lucerna (*Medicago sativa*), herbivor, listna uš *Acyrtosiphon pisum*, in omnivori predator, polonica *Coleomegilla maculata* (slika 5). V sistemu listna uš napada le lucerno, regrata pa ne. Polonica uši pleni, prehranjuje pa se tudi s pelodom regrata. Regrat in lucerna sta vsaj potencialna kompetitorja za prostor, zato gre pri tem razmerju za obojestransko neposredno negativno interakcijo.



**Slika 5:** Sestav obravnavane združbe štirih vrst iz treh trofičnih razredov. Prikazane so neposredne interakcije (pozitivne in negativne). V združbi sta regrat (*Taraxacum officinale*) in listna uš *Acyrtosiphon pisum*, ki se hrani na lucerni, prikrita kompetitorja, polonica *Coleomegilla maculata* pa je mediator (po Harmon s sod., 2000).

Harmon in sod. (2000) so ugotovili, da gre za negativno povezavo med gostoto regrata in številom listnih uši. Čeprav vrsti nista v nikakršnem neposrednem razmerju, lahko regrat negativno posredno vpliva na populacijo listnih uši na dva načina: 1) kompeticija z lucerno, ki je gostiteljska rastlina listne uši, ali 2) prek plenjenja polonice, ki se hrani s pelodom regrata. V laboratorijskih eksperimentih se je kot pomemben dejavnik izkazal mutualistični odnos

s polonico in ne kompeticija regrata z lucerno. Regratovi cvetovi so namreč atraktant za omnivorno polonico. Polonice se zato bolj agregirajo na ploskvah z regratom, kar seveda povečuje predacijski pritisk na listne uši. To se lahko odvija na dva načina: 1) prek povečevanja predacijske učinkovitosti polonic na ploskvah z regratom ali 2) prek povečevanja številčnosti polonic na ploskvah z regratom. Izkazalo se je, da je predacijska učinkovitost polonic kljub vsemu na ploskvah z regratom nižja, saj posamezna polonica požre manj listnih uši. Manjši predacijski učinek pa je kompenziran s prefrenčnim doseljevanjem polonic na ploskve z regratom, kjer je zaradi tega številčnost polonic večja. Čeprav so se polonice bolj agregirale na ploskvah z regratom, se samo preferenčno doseljevanje ni izkazalo kot značilno. Verjetno je vloga regrata tu predvsem v tem, da zmanjšuje smrtnost in povečuje reprodukcijski uspeh polonic. Vloga regrata je torej dvojna, posredno povečuje predacijski pritisk na listne uši in neposredno povečuje populacijsko rast polonic. Mediator, polonica, je torej v neposrednem mutualističnem odnosu z regratom, prikritim kompetitorjem (ali prikritim predatorjem) listnim ušem.

### **Slovensko poimenovanje**

Pojav prikrite kompeticije v slovenščini še ni bil opisan, saj se z njim in tudi z ostalimi posrednimi interakcijami do sedaj še nihče ni resno ukvarjal. V pričujočem pisanju sem zato na novo imenoval pojav kot *prikrita kompeticija*. Če bi prevedli angleški izraz *apparent competition*, bi bila to pravzaprav *navidezna kompeticija*, kar pa ni povsem ustrezen izraz. Navidezna bi namreč pomenilo, da je opaziti neke učinke kompeticije, čeprav ta v resnici med vrstama ne obstaja, torej je le navidezna. V našem primeru pa ta kompeticija dejansko obstaja, le da je zaradi posrednih razmerij prek mediatorja nevidna oziroma vsaj težje zaznavna. Torej obstaja, a je ne opazimo, to pa je značilnost skritih oziroma prikritih pojavov, zato izraz *prikrita kompeticija*.

### **Sklep**

Posredna razmerja, še zlasti prikrita kompeticija, imajo velik vpliv na strukturiranje združb v ekosistemih, v nekaterih primerih celo bolj kot neposredna razmerja, saj velikokrat vodijo do izumrtja oziroma izključitve ene vrste iz sistema. Le redko pa med dvema vrstama deluje le en mehanizem interakcije. Največkrat gre za splet mnogih neposrednih in posrednih interakcij, v ktere se vključuje mnogo sobivajočih vrst iz različnih trofičnih nivojev. Primer je raziskava kompeticije med dvema metuljema, gobarjem (*Lymantria dispar*) in tigrastim lastovičarjem (*Papilio canadensis*) (Redman & Scriber, 2000). Med vrstama poteka cela vrsta kompeticijskih posrednih in neposrednih interakcij, pri čemer vloga dominantnega kompetitorja pripada gobarju. Vrsti si namreč poleg vira hrane, gostiteljskih rastlin, delita še celo vrsto parazitoidov, parazitov in plenilcev. Gobar namreč negativno vpliva na populacijo tigrastega lastovičarja na več načinov: 1) gobarjevo obžiranje listov znižuje rast in preživetje lastovičarjevih gosenic zlasti zaradi kemičnih odzivov rastlin na poprejšnje gobarjevo obžiranje; 2) med vrstama poteka parazitsko uravnavana kompeticija, saj gre za prenos telesnih tekočin iz gobarja na lastovičarja prek poginjenih gobarjevih gosenic (po listju razlite telesne tekočine gobarjevih gosenic so zaradi bakterijskih okužb letalne za lastovičarjeve gosenice); 3) gosenice lastovičarjev so značilno podvržene večji stopnji predacijskega pritiska parazitoidov, ki so skupni njim in gobarjem.

Prepletenost interakcij v mnogovrstnih sistemih je kompleksna tudi zaradi tega, ker metode za uspešno detekcijo in merjenje posrednih razmerij še niso docela dognane (Wootton, 2002). Poznavanje posrednih interakcij pa se je izkazalo kot zelo pomembno v agrarnih sistemih, zlasti kar se tiče zatiranja za kmetijstvo škodljivih žuželk. Veliko nevarnost pa predstavljajo tudi vnosi eksotov, ki lahko prek deljenega mediatorja povzročijo popolno izključitev in izumrtje avtohtonih vrst in naravnih ekosistemov. Prikrita kompeticija in posredna razmerja bodo morali biti v prihodnje deležni tudi večje naravovarstvene pozornosti.

## Literatura

- Begon M., Harper J. L., Townsend C. R. (1996): *Ecology – individuals, populations and communities*, 3<sup>rd</sup> ed. Blackwell Science, London.
- Bonsall M. B., Hassell M. P. (1997): Apparent competition structures ecological assemblages. *Nature* 388: 371–373.
- Bonsall M. B., Hassell M. P. (1999): Parasitoid-mediated effects: apparent competition and the persistence of host-parasitoid assemblages. *Researches on Population Ecology* 41: 59–68.
- Browne S. J., Aebischer N. J., Moreby S. J., Teague L. (2006): The diet and disease susceptibility of gray partridges *Perdix perdix* on arable farmland in East Anglia, England. *Wildlife Biology* 12 (1): 3–10.
- Buckling A., Rainey P. B. (2002): The role of parasites in sympatric and allopatric host diversification. *Nature* 420: 496–499.
- Day T., Abrams P. A., Chase J. M. (2002): The role of size-specific predation in the evolution and diversification of prey life histories. *Evolution* 56 (5): 877–887.
- Geister I. (1995): *Ornitološki atlas Slovenije*. DZS, Ljubljana.
- Haldane J. B. S. (1949): Disease and evolution. *La Ricerca scientifica* (Suppl.) 19: 68–76.
- Harmon J. P., Ives A. R., Losey J. E., Olson A. C., Rauwald K. S. (2000): *Coleomegilla maculata* (Coleoptera: Coccinellidae) predation on pea aphids promoted by proximity to dandelions. *Oecologia* 125: 543–548.
- Hudson P., Greenman J. (1998): Competition mediated by parasites: biological and theoretical progress. *TREE* 13 (10): 387–390.
- Kryštufek B. (1999): *Osnove varstvene biologije*. Tehniška založba Slovenije, Ljubljana.
- Müller C. B., Godfray H. C. J. (1999): Predators and mutualists influence the exclusion of aphid species from natural communities. *Oecologia* 119: 120–125.
- Rand T. A. (1999): Effects of environmental context on the susceptibility of *Atriplex patula* to attack by herbivorous beetles. *Oecologia* 121: 39–46.
- Redman A. M., Scriber J. M. (2000): Competition between the gypsy moth, *Lymantria dispar*, and the northern tiger swallowtail, *Papilio canadensis*: interactions mediated by host plant chemistry, pathogens, and parasitoids. *Oecologia* 125: 218–228.
- Sage R. B., Woodbrun M. I. A., Davis C., Aebischer N. J. (2002): The effect of an experimental infection of the nematode *Heterakis gallinarum* on hand-reared grey partridges *Perdix perdix*. *Parasitology* 124: 529–535.
- Snow D. W., Perrins C. M. (1998): *The Birds of the Western Palearctic. Vol. 1, Non-Passerines*. Oxford University Press, Oxford, New York.
- Tarman K. (1992): *Osnove ekologije in ekologija živali*. DZS, Ljubljana.
- Tompkins D. M., Dickson G., Hudson P. J. (1999): Parasite-mediated competition between pheasant and grey partridge: a preliminary investigation. *Oecologia* 119: 378–382.
- Tompkins D. M., Draycott R. A. H., Hudson P. J. (2000a): Field evidence for apparent competition mediated via the shared parasites of two gamebird species. *Ecology Letters* 3: 10–14.
- Tompkins D. M., Greenman J. V., Robertson P. A., Hudson P. J. (2000b): The role of shared parasites in the exclusion of wildlife hosts: *Heterakis gallinarum* in the ring-necked pheasant and the grey partridge. *Journal of Animal Ecology* 69: 829–840.
- Tompkins D. M., Greenman J. V., Hudson P. J. (2001): Differential impact of a shared nematode parasite on two gamebird hosts: implications for apparent competition. *Parasitology* 122: 187–193.
- Tompkins D. M., Parish D. M. B., Hudson P. J. (2002): Parasite-mediated competition among Red-legged Partridges and other lowland gamebirds. *The Journal of wildlife management* 66 (2): 445–450.
- Veech J. (2000): Predator-mediated interactions among the seeds of desert plants. *Oecologia* 124: 402–407.
- Vrezec A. (2006): Ali je vzrok upada populacije jerebice *Perdix perdix* v Sloveniji prikrita kompeticija s fazanom *Phasianus colchicus*? *Acrocephalus* 27 (128/129): 73–81.
- Wootton J. T. (2002): Indirect effects in complex ecosystems: recent progress and future challenges. *Journal of Sea Research* 48: 157–172.

## EKOLOGIJA POPULACIJ

### Davorin Tome

Nacionalni inštitut za biologijo, Večna pot 111, 1000 Ljubljana; e-naslov: davorin.tome@nib.si

---

*Dr. Davorin Tome je kot znanstveni svetnik zaposlen na Nacionalnem inštitutu za biologijo. Ukvarja se z ekologijo ptic. Poleg številnih znanstvenih, strokovnih in poljudnih prispevkov s področja ekologije in ornitologije je avtor učbenika za ekologijo z naslovom Ekologija: organizmi v prostoru in času. Svoj čas posveča tudi pripravi poljudnih predstavitev zakonitosti in mehanizmov delovanja žive narave ter naravoslovni fotografiji.*

### Izvleček

Prispevek opisuje populacijo kot osnovno enoto v ekologiji. Podana sta definicija populacije in nabor znakov, s katerimi populacijo opišemo. Predstavljeni so vsi populacijski procesi in najpomembnejši populacijski parametri. Na kratko je razložena dinamika populacij, in sicer na klasičen kakor tudi na sodoben način, pri katerem populacijo opisujemo kot metapopulacijo.

### *Populacija kot osnovna enota preučevanja v ekologiji*

Ekologija je ena najmlajših ved. Čeprav so se s problemi, ki jih obravnava ekologija, ljudje ukvarjali že v pradavnini, je svoje mesto v naboru ved dobila šele leta 1866. Ernest Haeckel jo je določil kot vedo o organizmih v povezavi z njihovim zunanjim okoljem. Definicija je bila ključna za prepoznavo ekologije kot vede, kasneje pa se je izkazalo, da je morda malo premalo natančna. Zato so jo številni raziskovalci dopolnjevali, tudi z namenom, da ne bi prihajalo do zlorab imena.

Elton, npr. je Haecklovi definiciji dodal, da je ekologija naravoslovna in ne družboslovna veda – z ekologijo se tako načeloma ukvarjajo naravoslovci in ne družboslovci. Odum je poudaril, da ekologijo zanimata predvsem

## POPULATION ECOLOGY

### Davorin Tome

National institute of biology, Večna pot 111, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: davorin.tome@nib.si

---

*Dr. Davorin Tome is employed at the National institute of Biology as a scientist. His main field of work is bird ecology. He published many scientific, experte and popular science articles on ecology and ornithology and a textbook Ecology: organisms in space and time. He is also interested in preparing popular presentations of legitimacy and mechanisms of the function of living nature and nature photography.*

### Abstract

The article describes population as a basic unit in a science of ecology. The population itself is defined and described. Presented are all the population processes and some of the most important population parameters used to describe population as a unit. The dynamics of the populations is explained and the modern concept of understanding of population dynamics called metapopulations is introduced.

struktura in funkcija narave, torej kako je le-ta sestavljena in kako deluje kot celota. Krebs je s svojim dopolnilom nekoliko bolj podrobno opredelil, v čem se ekologija razlikuje od drugih podobnih bioloških ved. Njegova definicija, da je to »znanstvena disciplina ki preučuje interakcije organizmov z neživim in živim okoljem, katere določajo razširjenost in abundanco organizmov v prostoru«, je tudi največkrat citirana.

Danes ugotavljamo, da naporci ekologov niso obrodili zelenih sadov. Ime ekologija se v družbi veselo zlorablja za namene, ki nimajo nič skupnega z ekologijo kot vedo.

Ekologija je veda, ki opisuje pojave v naravi in jih skuša razumeti zato, da jih bo lahko tudi napovedala. Eden zelo pomembnih ciljev ekologije je tako napovedovati, kaj se bo dogajalo z razširjenostjo in številčnostjo popula-



cij, vključno ali morda celo predvsem s populacijo ljudi. Ko v ekologiji preučujemo, kako temperatura zraka vpliva na razmnoževanje zelene rege (*Hyla arborea*), nas ne zanimajo fiziološki ali etološki procesi, ki privedejo do odziva, temveč kaj se bo ob spremembi klime dogajalo s populacijo te vrste – se bo razširila, se bo povečala, kako bo ta sprememba vplivala na razširjenost in številčnost drugih vrst itd.

Pomembna stvar v ekologiji so torej razlage in napovedi, kako prihaja do sprememb v abundanci in razširjenosti organizmov in zakaj. Abundanca in razširjenost sta dva parametra, ki ju ne moremo pripisati posameznim osebkom. Posamezni osebki se rodi, umre, se preseli, razmnoži, nima pa abundance in razširjenosti. Oboje lahko pripišemo le skupini organizmov. Skupina organizmov, ki je v naravi najbolj homogena in ji najlaže in najbolj smiselno opredelimo abundanco in razširjenost, pa je populacija. Populacija je tako v ekologiji, vsaj za nekatere, osnovna enota, poznavanje populacijske dinamike pa ena temeljnih spretnosti, ki jo morajo obvladati vsi ekologi.

### ***Kaj je populacija***

Populacija je skupina organizmov iste vrste, ki živijo sočasno v istem prostoru in med sabo izmenjavajo genski material ter je pri njej še smiselno govoriti o populacijskih procesih (glej poglavje o opisu populacij). Meje prostora, v katerem živi populacija, lahko določimo poljubno, glede na potrebe raziskave ali glede na smiselnost, ki jo narekuje problem.

Frekvenca izmenjave genskega materiala med osebkami, ki pripadajo isti populaciji, je lahko velika (na dnevni ali tedenski osnovi) ali majhna (na mesečni ali letni osnovi). Določanje mej posameznih populacij v naravi je tako zelo subjektivno. Kot populacijo lahko opredelimo vse medvede (*Ursus arctos*) v Sloveniji. Če delujemo na nivoju Evropske unije, lahko za populacijo določimo vse medvede v Evropi. Če delamo diplomsko nalogo in živimo v Kočevju, lahko za populacijo določimo samo medvede iz Kočevskega roga.

### ***Opis populacije***

Če želimo populacijo spoznati kaj več kakor le na intuitivnem nivoju, jo moramo znati najprej opisati. Opišemo jo s procesi in parametri. Proces opisujejo dogodke, ki

neposredno vplivajo na spremembo njene velikosti in s tem tudi na gostoto oz. na razširjenost osebkov. Procesni so štirje: **rodnost** (nataliteta), **umrljivost** (mortaliteta), **odseljevanje** (emigracija), **priseljjevanje** (imigracija). Proces priseljjevanja in odseljjevanja sta med sabo tesno povezana, opisujeta en dogodek in se vedno nanašata na vsaj dve populaciji. Kadar se osebkami iz ene (ali več) populacije (populacij) odseljujejo, se ti isti osebkami sočasno v drugo (ali več) populacijo (populacij) priseljujejo. Ena populacija se tako zmanjšuje, druga pa sočasno povečuje. Povezan proces odseljjevanja in priseljjevanja imenujemo selitev.

Populacije se spreminjajo v velikosti izključno samo s populacijskimi procesi. Čeprav po navadi zapišemo npr.: populacija rib se je zmanjšala zaradi izpusta onesnažene vode, se je v resnici populacija zmanjšala zaradi povečane stopnje umrljivosti. Izpust vode je bil v tem primeru le vzrok, zaradi katerega se je povečala stopnja umrljivosti, ki je povzročila zmanjševanje populacije.

Populacijski parametri opisujejo znake, ki na spremembo velikosti populacije vplivajo le posredno. Med najpogosteje uporabljene populacijske parametre štejemo: velikost populacije, starostno in spolno strukturo populacije ter porazdelitev populacije v prostoru.

**Velikost populacije** lahko opišemo kot število osebkov (abundanca) ali kot število osebkov na določeno površino oz. v določeni prostornini (gostota).

**Starostno strukturo** populacije opiše razmerje med številom osebkov, ki pripadajo različnim starostnim skupinam. V ekologiji so predvsem pomembne tri starostne skupine: predrazmnoževalna skupina (mladi, spolno nezreli osebkami, ki se **še ne** razmnožujejo), razmnoževalna skupina (spolno zreli osebkami, ki **se** razmnožujejo) in porazmnoževalna skupina (stari osebkami, ki se **ne** razmnožujejo **več**).

**Spolno strukturo** opiše razmerje med številom osebkov, ki pripadajo dvema skupinama. V prvi so osebkami ženskega, v drugi moškega spola. V nekaterih primerih opis spolne strukture ni mogoč (npr. več kakor 95 % rastlin je enodomnih). Pri nekaterih vrstah je naravno, da število samcev prevladuje pred številom samic, pri drugih ravno obratno. Število osebkov obeh spolov je pri nekaterih tretjih vrstah izenačeno.

## ***Dinamika populacij***

Populacijski procesi neposredno, parametri pa posredno vplivajo, da se populacije v naravi stalno spreminjajo. Te spremembe imenujemo **dinamika populacij**. Najpogosteje s tem izrazom mislimo na spremembo njene velikosti (sprememba števila osebkov v populaciji), čeprav je tudi npr. sprememba spolne ali starostne strukture del dinamike populacij.

Na velikost vsake populacije vplivajo štirje populacijski procesi. Rodnost in priseljevanje populacijo povečujeta, umiranje in odseljevanje populacijo zmanjšujeta. Vsi štirje procesi v populaciji delujejo sočasno, seštevke vseh štirih pa določa, kaj se bo dogajalo z njeno velikostjo. Proces lahko zapišemo v obliki enačbe kot:

$$N_{t+1} = N_t + (r + p) - (u + o)$$

Simboli v enačbi pomenijo:  $N_{t+1}$  število osebkov v populaciji v času  $t + 1$  (naslednje obdobje),  $N_t$  število osebkov v populaciji v času  $t$  (sedaj),  $r$  je rodnost ali število novo rojenih osebkov,  $p$  je priseljevanje ali število osebkov, ki se je priselilo iz druge populacije,  $u$  je umrljivost ali število poginulih osebkov in  $o$  je odseljevanje ali število osebkov, ki so se odselili v drugo populacijo.

Kadar je vsota rodnosti in priseljevanja večja od vsote smrtnosti in odseljevanja ( $(r + p) > (s + o)$ ), se populacija povečuje. Kadar je vsota rodnosti in priseljevanja manjša od vsote smrtnosti in odseljevanja ( $(r + p) < (s + o)$ ), se populacija zmanjšuje. V praksi je rodnost v populaciji lahko pozitivna, lahko je tudi 0 (nič), medtem ko je umrljivost vedno pozitivna, nikoli ne more biti 0 (nič).

### ***Zaplata in metapopulacija***

Organizmi živijo le tam, kjer razmere v okolju ustrezajo njihovim potrebam. Ustrezne razmere pa so v okolju vedno razporejene mozaično (npr. mozaik kopno : voda, hribovi : doline, gozdovi : travniki, travniki : njive, močvirni : suhi travniki ...). Zaradi tega so tudi populacije vseh vrst v prostoru vedno razširjene mozaično ali v **zaplatah**. Skupine organizmov iste vrste na posameznih zaplatah so tako naravno omejene populacije. Posamezne, naravno omejene populacije včasih imenujemo tudi **subpopulacije**. Sistem več povezanih naravno omejenih populacij oz. subpopulacij v prostoru imenujemo **metapopulacija**.

Metapopulacija je torej množica več naravno omejenih populacij oz. subpopulacij, med katerimi so prostori brez organizmov te vrste. Izraz metapopulacija pa v ekologiji ni bil razvit le zato, da bi opisal mozaično strukturo razširjenosti vrst po zaplatah, temveč predvsem zato, da bi poudaril dvojnost populacijske dinamike. Ena govori o dinamiki znotraj subpopulacij, druga o dinamiki med subpopulacijami. Znotraj posameznih subpopulacij je pretok genov pogost (osebki se med sabo prosto razmnožujejo), dinamika je odvisna predvsem od rodnosti in umrljivosti. Na nivoju metapopulacij je pretok genov med različnimi subpopulacijami redek, na dinamiko vplivata priseljevanje in odseljevanje osebkov med subpopulacijami. S konceptom metapopulacij je v ekologiji znanje o delovanju populacij prešlo na nov, višji nivo, ki je mnogo bližji pravemu dogajanju v naravi, kakor je bil koncept populacij.

### ***Izvirne in ponorne populacije***

V naravi je struktura vsake vrste metapopulacijska. Na primernih območjih organizmi iste vrste živijo v skupinah, na neprimernih organizmov te vrste ni. Vse skupine skupaj živčih organizmov oz. vse subpopulacije skupaj pa tvorijo sistem metapopulacije.

Dinamika posameznih subpopulacij je različna, odvisna od kakovosti zaplate, na kateri živi. V prvi vrsti na to dinamiko vplivata rodnost in umrljivost. V nekaterih subpopulacijah, ki živijo v manj ugodnih razmerah, je umrljivost večja od rodnosti. Več organizmov pogine, kakor se jih rodi. Ko pogine zadnji, subpopulacija izumre. Dinamika ima negativen predznak.

V subpopulacijah, ki živijo v zelo ugodnih razmerah, je rodnost večja od umrljivosti. Več organizmov se rodi, kakor jih pogine. Zaplata, na kateri živi takšna subpopulacija, prej ko slej postane prenaseljena, zasičena z organizmi in novo rojenih osebkov ne more več sprejeti, če stari ne poginejo. Dinamika ima pozitiven predznak.

Ker subpopulacije v naravi niso povsem ločene med sabo, temveč so povezane v sistem metapopulacij, je dejanska dinamika bolj kompleksna od zgoraj opisane – vključuje tudi dogodke drugega dela dinamike, dinamiko med subpopulacijami. Ko postane subpopulacija na ugodni zaplata prenaseljena, se vsi viški organizmov iz nje odselijo. Prostor najdejo v subpopulacijah na manj ugodnih

zaplatah, ki se zaradi povečane umrljivosti zmanjšujejo. Subpopulacija na ugodnih zaplatah tako kontinuirano daruje organizme subpopulaciji na manj ugodnih zaplatah. Prvo subpopulacijo zato imenujemo **izvorna**, drugo pa **ponorna**. Ponorna zato, ker se subpopulacija na manj ugodni zaplati zaradi velike umrljivosti kljub stalnemu priseljevanju nikoli ne more trajno zasititi z organizmi.

Koncept metapopulacije z izvornimi in ponornimi (sub)populacijami je realnost vseh vrst na Zemlji. Vr-

stam daje potrebno prožnost, da lahko preživijo tudi velike spremembe v okolju. Posamezne subpopulacije ob spremembi izumrejo, druge zaradi iste spremembe postanejo izvorne. Ob ponovni spremembi se iz izvornih populacij organizmi znova naselijo na zaplato, kjer je vrsta pred časom že izumrla. Ta populacijska, prostorska in časovna dinamika metapopulacij je gotovo eden izmed zelo pomembnih dejavnikov, ki daje vrstam možnost za dolgoročno preživetje.

### **Literatura**

Begon, M., J. L. Harper, C. R. Townsend. 1996: *Ecology*. Blackwell Science, London.

Hanski, I. 1999: *Metapopulation ecology*. Oxford University Press, New York.

Tarman, K. 1992: *Osnove ekologije in ekologija živali*. DZS Ljubljana.

Tome, D. 2006: *Ekologija*. Organizmi v prostoru in času. TZS Ljubljana.

## KONCEPT EKOSISTEMA

### Hardy Pfanz

Univerza Duisburg-Essen, Inštitut za uporabno botaniko, 45117 Essen, Nemčija; e-naslov: hardy.pfanz@uni-due.de

*Prof.dr. Hardy Pfanz se je rodil 1956 v Dinkelsbühlu, Mittelfranken (Nemčija). Na Univerzi v Würzburgu je študiral biologijo in geografijo, doktoriral je iz rastlinske fiziologije. Habilitiran je na Oddelku za geobotaniko in ekofiziologijo. Je izredni profesor na Inštitutu za botaniko in zoologijo gozdov Univerze v Dresdnu (TU Dresden/Tharandt). Od 1996 je vodja Inštituta za uporabno botaniko na Univerzi v Duisburg-Essen. Ukvarja se z rastlinsko ekofiziologijo in ekotoksikologijo, ter fitopatologijo. Raziskovalno je gostoval v Sloveniji, Italiji, Mehiki, ZDA, na Tajvanu, Švedskem, Češkem in Japonskem.*

### Povzetek

V konvenciji o biološki raznolikosti (CBD) je ekosistem opredeljen kot dinamičen kompleks združb rastlin, živali in mikroorganizmov ter njihovega neživega okolja, ki skupaj delujejo kot funkcionalna enota (glej tudi Tansley, 1935; Christopherson, 1996). Osnovna ideja je, da so živi (in odmrli?) organizmi stalno vključeni v izmenjavo energije, snovi in informacij s svojim okoljem. Delovanje ekosistema poganjajo organizmi s svojim delovanjem na različnih stopnjah sistema. Primarni producenti (zelene, fotosintetsko aktivne rastline in bakterije) so baza ekosistema, ker lahko sprejmejo in zadržijo energijo zunajzemeljskega sevanja in proizvedejo razgradljive ogljikove hidrate, maščobe in beljakovine. Naslednjo stopnjo predstavljajo rastlinojedi organizmi. To so potrošniki prvega reda in predstavljajo plen za potrošnike drugega reda (mesojedci), ki rastlinojedce lovijo in se z njimi hranijo. V izbranem ekosistemu je lahko več zaporednih stopenj mesojedih potrošnikov. Končno pa razkrojevalci razgradijo mrtev organski material in igrajo ključno vlogo v recikliranju snovi, potrebnih za rast rastlin. Obstaja mnogo ekosistemov, vključno s kopenskimi in vodnimi: globoko morje, koralni grebeni, obale, ribniki, reke in potoki so primeri vodnih ekosistemov, tako kot so tundra, tajga,

## THE ECOSYSTEM CONCEPT

### Hardy Pfanz

University of Duisburg-Essen, Institute of Applied Botany, 45117 Essen, Germany; e-mail: hardy.pfanz@uni-due.de

*Prof. Dr. Hardy Pfanz, born 1956 in Dinkelsbühl, Mittelfranken (Germany). He studied Biology and Geography at the University of Würzburg and made his dissertation at the Dept. of Plant Physiology (Prof. Dr. U. Heber). Habilitation at the Dept of Geobotany and Ecophysiology (Prof. Dr. O. L. Lange). Associate Professor at the Institute of Forest Botany and Forest Zoology (Prof. Dr. A. Roloff) at the University of Dresden (TU Dresden/Tharandt). Since 1996 head of the Institute of Applied Botany at the University of Duisburg-Essen. Fields of research: Botanical Ecophysiology and Ecotoxicology, Phytopathology. Research stays abroad: Slovenia, Sweden, Italy, Czechia, Mexico, California and Arizona, as well as Taiwan and Japan.*

### Summary

The Convention on Biological Diversity (CBD) defines an “ecosystem” as a “dynamic complex of plant, animal and micro-organism communities and their non-living environment interacting as a functional unit” (see also Tansley, 1935; Christopherson, 1996). The basic idea is that living (and dead?) organisms are permanently involved in the exchange of energy, material and information with their environment. Ecosystem function is governed by organisms acting at various stages within the system. Primary producers (green, photosynthetically active plants and bacteria) form the base of the system. They have the unique ability to fix and conserve the energy of extraterrestrial radiation and produce digestible carbohydrates, lipids and proteins. They are hierarchically followed by herbivorous/phytophagous organisms feeding on them. The first order consumers are the prey for second order consumers (carnivores) which hunt and feed on herbivores. There may be further levels and steps in carnivorous consumers depending on the ecosystems selected. Finally, decomposers (destruents and reducers) are mineralizing dead organic material, thus playing their role in organic material recycling – a prerequisite for plant growth. There is a broad spectrum of

puščava in travnišča primeri kopenskih. Med ekosisteme lahko prištevamo tudi antropogene, kot so urbane površine, vrtovi, odlagališča odpadkov. Na ekosisteme lahko vplivajo različni stresni dejavniki (strupeni plini, težke kovine, pesticidi) ali agresivnost novih oz. invazivnih vrst (globalno segrevanje, ekonomska globalizacija).

ecosystems including terrestrial and aquatic ones. Deep sea, coral reefs, sea shores, ponds, rivers and creeks are aquatic ecosystems as are tundra, taiga, deserts, or grass lands on the terrestrial side. But also anthropogenically influenced systems may be called ecosystems like urban areas, gardens or waste land. Ecosystems can be threatened by various stressors. The toxicity of introduced elements (toxic gases, heavy metals, pesticides) or the aggressiveness of newly introduced or invasive species (global warming, economic globalization) are only a few examples of gradually unbalancing existing ecosystems.

## ŽIVLJENJSKA ZDRUŽBA KOT SUBJEKT ŽIVLJENJA

### Ivan Kos

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Večna pot 111, 1000 Ljubljana; e-naslov: ivan.kos@bf.uni-lj.si

---

*Dr. Ivan Kos je doktoriral s področja biologije na Ljubljanski univerzi leta 1995. Trenutno je izredni profesor za področje Ekologije na Biotehniški fakulteti, Univerze v Ljubljani. Na isti fakulteti predava na dodiplomskem (predmete Ekologija živali, Ekosistemi in Biogeografija) in podiplomskem študiju (Ekologija, Izbrana poglavja iz ekologije živali). Je vodja raziskovalne skupine za ekologijo živali. Osnovna področja raziskav so povezana z proučevanjem gozdov in drugih ekosistemov v Dinarskem območju, še posebej strukturo, pomen in vlogo biodiverzitete v ekosistemskih procesih. v zadnjem času je vključen v različne raziskovalne projekte in raziskovalne programe kot so: Zoološke in speleobiološke raziskave (vodja prof. dr. Boris Sket); Kras- biodiverziteta, vpliv zaraščanja in pomen varstva narave; Varstvena genetika rjavega medveda, risa in navadnega jelena v Sloveniji. Je član različnih strokovnih združenj kot so npr.: SCALP- Status and Conservation of Alpine Lynx Population; Centre International de Myriapodology, Paris; Dinaricum – Društvo za raziskave, promocijo in trajnostni razvoj Dinaridov; Slovensko entomološko društvo; Lovska Zveza Slovenije in druga.*

### Izvleček

Življenje je organizirano na več integracijskih nivojih. Življenjska združba predstavlja temeljni subjekt biosfere in je kot višja integracijska oblika izjemno kompleksna. Naravno združbo sestavljajo populacije vrst, ki so koevoluirale. Tako kot na nivoju populacije je tudi na nivoju združbe uspešnost in funkcionalnost sobivanja tista, ki je podvržena naravni selekciji. Skupno informacijsko izhodišče zapisano v DNK-molekulah vrst, ki bivajo skupaj, je tisto, kar življenjsko združbo opredeljuje kot subjekt življenja. Človek mnogokrat ustvarja skupine vrst iz različnih biogeografskih regij. Take skupine ne predstavljajo združbe kot subjekta življenja, saj populacije nimajo vzajemnega razvoja. Zaradi tega so antropogeni sistemi

## BIOTIC COMMUNITY AS A COMPONENT OF LIFE

### Ivan Kos

University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of biology, Večna pot 111, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: ivan.kos@bf.uni-lj.si

---

*Dr. Ivan Kos received his PhD in 1995 in Biology from the University of Ljubljana. He is currently associate professor on the Department of Biology, Biotechnical Faculty; University of Ljubljana. He has lectures of Animal Ecology, Ecosystems and part of Biogeography. He is leader of research group of Animal Ecology. The main topic of research is related to the Dinaric forest and other habitats in Dinaric region, particular to structure, role and function of biodiversity in ecosystems processes. In the last years he was involved in different project and research programs i.e.: Zoological and speleobiological research (P1-0184, leader prof. dr. Boris Sket); Karst – biodiversity, influence of overgrowing and important on nature conservation (L1-6587); Conservation genetics of brown bear, lynx and red deer in Slovenia (L1-6484). He is a member of different Association as: SCALP – Status and Conservation of Alpine Lynx Population; Centre International de Myriapodology, Paris; Dinaricum - Society of research, promotion and sustainable development of Dinaricum; Speleological Society Ribnica; Slovenian Ecological Society; Slovenian Entomological Society; Slovenian Hunting Association and others.*

### Abstract

Life is organized on several levels of integration. A biotic community is one of the basic components of biosphere. As a higher integration formation it is extremely complex. A natural community is composed of populations of species that co-evolved. Similar to the population level, the success and functionality of cohabitation of populations at the community level is also under a strong pressure of natural selection. The common biotic information written in the DNA of species that live together defines the biotic community as a subject of life. The man often creates groups of species originating from different biogeographic regions. Such groups do not present a community as a subject of life, since the populations

bistveno drugačni od naravnih. Njihova kompleksnost je kaotična in na nivoju sistema nimajo ključne funkcionalnosti. Zaradi tega predstavljajo motnjo v višjem integracijskem sistemu življenja na Zemlji – biosferi.

## Uvod

Na Zemlji lahko prepoznamo življenje na več različnih integracijskih nivojih. Ti se med seboj razlikujejo po kompleksnosti in posledično v količini informacij. Lahko prepoznamo, da je bistvena komponenta narave na Zemlji tudi informacija. Zaradi tega lahko tudi prepoznamo tri osnovne naravoslovne discipline: kemijo, ki se ukvarja predvsem s snovjo; fiziko, ki ima bistveni element preučevanja v energiji, in biologijo, ki se ukvarja predvsem z informacijo. Informacijsko komponento lahko prepoznamo že na nivoju genetskega zapisa. Kombinacija baz v DNK predstavlja osnovno informacijsko komponento, ki se izkazuje v vseh višjih integracijskih oblikah življenja. Intergracijske nivoje lahko prepoznamo kot različne sisteme, ki imajo različno stopnjo kompleksnosti. Z večanjem kompleksnosti se povečuje število elementov, hkrati pa tudi narašča informacijska vrednost. Sistem posameznega integracijskega nivoja lahko prepoznamo kot svojo enoto, kar je bistvenega pomena z vidika znanosti. Kajti za dobro definirane zakonitosti namreč velja, da je treba imeti dobro definirane enote. In prav prepoznavanje naravnih enot je po navadi ključna dilema pri iskanju dobrih bioloških zakonitostih. Sistemi višjih integracijskih nivojev pa seveda vključujejo vse zakonitosti nižjih, kar bistveno vpliva na eksaktnost in obvladljivost zakonitosti na višjih nivojih. Se pravi, da za sistem na višjem nivoju veljajo vse zakonitosti nižjih nivojev, kompleksnost na tem nivoju pa ima še nove zakonitosti. Zaradi tega velja, da z integracijskimi nivoji narašča pomen modeliranja kot ključnega raziskovalnega pristopa, saj je treba kompleksne sisteme poenostaviti, da postanejo obvladljivi. Seveda pa se s tem zmanjšuje eksaktnost ugotovitev in tip rezultatov. Po drugi strani pa lahko povzamemo, da za poznavanje, predvsem pa za upravljanje z bolj kompleksnimi sistemi potrebujemo bistveno več informacij in znanja. Prav to je ključna komponenta, ki je določila razvoj antropogenih sistemov,

of organisms in them did not develop together. That is why anthropogenic systems are significantly different from natural systems. Their complexity is chaotic and on the system level they're missing the key functionalities. They represent a disturbance at the higher integration level of life on Earth – biosphere.

ki je šel v preteklosti v čim bolj preproste sisteme. Prav zaradi tega ima klasična kmetijska proizvodnja osnovo predvsem v fiziologiji organizmov. To klasično fiziološko kmetovanje potrebuje bistveno manj znanja za uspešno proizvodnjo. Vendar pa ta proizvodnja poteka na odprtem in zajema že znatne površine na Zemlji, kar bistveno moti celotni Zemeljski biogeni sistem – biosfero. Seveda je upravljanje s kompleksnimi sistemi, ki imajo za osnovo življenjsko združbo, bistveno bolj zahtevno. Potrebno je neprimerno več znanja, saj imamo pri tem – ekološkem kmetovanju opraviti s kompleksnejšimi sistemi, kot so posamezni organizmi. Prav več potrebnega znanja pa je težava uspešnega ekološkega kmetovanja.

## Naravne združbe kot temelj naravnih ekosistemov

V naravi poteka evolucija populacij v smeri sobivanja organizmov. Prav uspešnost sobivanja v združbah z nekaj tisoč vrstami je najpomembnejša pozitivna lasnost posameznega osebka. Prav zato je tudi ključna pri naravni selekciji. Zaradi velikega kompleksa medvrstnih interakcij je mnogo težje prepoznati ta dejavnik kot na primer odvisnost od temperature oz. kakega drugega abiotskega dejavnika. Za uspešen razvoj populacij, kar pomeni predvsem uspešno sobivanje, sta potrebna stabilno okolje in čas. Stabilno okolje na nivoju medvrstnih interakcij pomeni predvsem okolje z malo vseljevanjaja novih vrst. Potrebne nove mutacije in izbor novih lasnosti s poudarjeno funkcijo sobivanja z drugimi osebki ter tudi z vidika uspešnosti celotnega ekosistema potrebuje čas. Zaradi tega lahko prepoznamo pri oblikovanju življenjskih združb čas kot bistveno komponento. Prav kontinuiteta v skupnem bivanju vpliva na integriteto in kompleksnost združbe. Koralni grebeni, tropski deževni gozdovi ter navsezadnje tudi dinarski gozdovi so znani po tej kontinuiteti razvoja, ki se kaže v veliki alfa diverziteti in tudi dobri ekosistemski funkcionalnosti.

## ***Umetne skupine populacij kot temelj antropogenih ekosistemov***

Na Zemlji danes bivajo skupaj tudi skupine populacij, ki nimajo daljšega skupnega razvoja. Za njihovo sobivanje ima ključno vlogo človek, zato lahko te skupine populacij prepoznamo tudi kot neke vrste umetne združbe. Te umetne skupine populacij so temelj antropogenih sistemov. Nastale so na dva načina:

1. Človek je zaradi pridobivanja dobrine posamezne populacije njihovo osnovno združbo osiromašil s tem, da je odstranil številne vrste. S tem smo dobili nefunkcionalne ostanke naravnih ekosistemov, v katerih človek s svojimi posegi preprečuje njihovo obnovo.
2. S premeščanjem osebkov iz njihove primarne združbe v druga okolja pa sestavljamo nove skupine populacij, ki se pojavljajo skupaj. Značilnost teh skupin pa je pomanjkanje vsakršnih koevolucijskih elementov.

Pomanjkanje koevolucijskih značilnosti oz. siromašenje funkcionalne enote na posamezne ostanke predstavlja ključno oviro pri učinkovitejšem sistemskem gospodarjenju z antropogenimi sistemi.

## ***Ali so antropogeni sistemi lahko nadomestilo naravnim***

Posamezne združbe oz. ekosistemi sestavljajo celotno biosfero, zato sestavljanje umetnih skupin nedvomno ruši integriteto biosfere. Se pravi, da nadomestila ni, zato bo moral človek vsekakor slediti funkciji in celovitosti celotne biosfere in s tega vidika zmanjšati delež antropogenih sistemov na minimum. Vsak kaotičen sistem brez poudarjene celovite funkcije v višjem sistemu je negativen in kot tak destruktiven za ta sistem. In če je vizija človekovega bivanja na Zemlji v poudarjenosti ohranjanja primerne okolja človeka, potem je rušenje funkcionalnosti najvišje intergriranega življenjskega kompleksa vsekakor destruktivno za samo vrsto človek. Mislim, da čedalje več spoznanj podpira tezo, da je Zemlja biogen planet, ki je odvisen od življenja na vseh integracijskih nivojih.

## ***Vizije razvoja antropogenih sistemov***

Razvoj antropogenih sistemov je možen z vključevanjem elementov koevolucijskih mehanizmov in drugih značilnosti naravnih sistemov. Z dobrim poznavanjem

le-teh jih je možno uporabiti tudi za parcialne interese posameznika oz. družbe. S tem pa postajajo antropogeni sistemi bolj naravni. Za tovrsten razvoj je ključno prepoznati tudi pomen posameznega ekosistema v višjem integracijskem nivoju ter ovrednotiti tudi ceno te funkcije. S tem bo razvoj antropogenih sistemov zaradi ekonomskih razlogov sam po sebi sledil temeljnemu biološkemu spoznanju o različnih nivojih organiziranosti življenja na našem planetu. Pridobivanje dobrin z uporabo posameznih komponent življenja je učinkovito v dobro organiziranih in tehnološko razvitih izoliranih zaprtih sistemih. Taki popolnoma zaprti in zelo učinkoviti produkcijski sistemi imajo lahko minimalni vpliv na celovitost kompleksnega okolja, ki ga predstavlja Zemlja kot biogen planet.

## ***Sklep***

Izhodišče razmišljanja v prispevku je spoznanje, da je Zemlja biogen planet, kjer predstavlja biosfera najvišjo integracijsko obliko življenja. Ker je biosfera sestavljena iz posameznih življenjskih združb, je obstoj (strukture in funkcije) le-teh tudi ključnega pomena tudi za Zemljo – naše človeško okolje. Na nivoju združbe prek koevolucijskih mehanizmov prepoznavamo ključno informacijsko komponento, ki se odraža že na nivoju primarnega informacijskega zapisa, ki predstavlja življenje – to je DNK oz. genski sklad posamezne populacije. Naravne združbe so tako rezultat evolucije in kot take predstavljajo sicer skrite in nam mnogokrat nejasno definirane naravne enote.

Človek je zaradi svojih potreb začel uporabljati posamezne skupine organizmov s selektivnim spreminjanjem njihovih lastnosti zaradi proizvodnje posameznih komponent teh organizmov. Ravnanje z manj kompleksnimi sistemi oz. skupinami organizmov zahteva bistveno manj znanja in je kot tako bolj obladljivo v začetku tehnološkega razvoja. To je pripeljalo do degradacije naravnih združb in ustvarjanja nekompleksnih sistemov kaotičnih skupin organizmov z majhnim koevolucijskim ozadjem. Prav manj informacij je bistvo uporabe in razvoja tehnologije pridelave hrane in drugih dobrin, saj zahteva bistveno manj znanja. Zaradi takega stihijskega razvoja so se že začele kazati negativne posledice degradacij naravnih združb tako na nivoju izginjanja biodiverzitete kakor tudi s spreminjanjem osnovnih bivalnih pogojev na Zemlji. Seveda je tudi razvoj ekologije pripeljal, do novih spoznanj o kompleksnosti življenja in s tem tudi



do zavedanja, da bo treba imeti v prihodnje več znanja za uspešni razvoj in obstoj človeka na našem planetu.

Vizija razvoja antropogenih sistemov gre tako v smer razvoja sistemov, ki bodo vključevali čim več koevolucijskih mehanizmov in bodo finančno ovrednotili tudi druge funkcije naravnih združb za višje integracijske oblike

biogenih sistemov. Prav z ovrednotenjem teh funkcij bo zaradi ekonomskega vidika poudarjen tudi tehnološki in znanstveni razvoj za povečevanje deležev sonaravnih združb oz. ekosistemov. Za maksimiranje proizvodnje posamezne dobrine pa je bil lahko del le-teh pridobljen v izoliranih in zaprtih specializiranih preprostih sistemih s poudarjeno eno samo funkcijo.

## ***Viri***

- Brown J. H., Lomolino M. V. (1998): *Biogeography*. Sinauer Associates, INC. Publishers, Sunderland, Massachusetts.
- Groom M. J., Meffe G. K., Carroll C. R. (2006): *Principles of Conservation Biology*. Sinauer Associates, Inc., Sunderland.
- Krebs J. C. (2001): *Ecology. The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. Harper Collins College Publishers, San Francisco.
- Smith R. L., Smith T. S. (2001): *Ecology and Field Biology*. Benjamin Cummings, San Francisco, Boston.
- Strong D. R., Simberloff D., Abele G. L., Thistle A. B. (1984): *Ecological Communities. Conceptual Issues and the Evidence*. Princeton University Press, New Jersey.
- Tarman K. (1992): *Osnove ekologije in ekologija živali*. DZS, Ljubljana.
- Tome D. (2006): *Ekologija. Organizmi v prostoru in času*. Tehniška založba Slovenije, Ljubljana.
- Williamson M. (1996): *Biological invasions*. Chapman & Hall.

## VODNI EKOSISTEMI – STRUKTURA IN FUNKCIJA

### Mihael J. Toman

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Večna pot 111, 1000 Ljubljana; e-naslov: mihael.toman@bf.uni-lj.si

---

*Dr. Mihael J. Toman je redni profesor na Oddelku za biologijo, Biotehniške fakultete. Končal je študij biologije na Univerzi v Ljubljani, na njej tudi magistriral in doktorski. Najprej je 15 let delal kot raziskovalec na Kemijskem inštitutu na področju okoljske kemije in biološkega monitoringa, kar je bilo odlično izhodišče za poglobljanje znanja s področja ekologije celinskih voda. Strokovno se je več let izpopolnjeval na Univerzi v Copenhagenu, na Freshwater Biological Labs. S kolegi z Danske še vedno sodeluje. Področje dela je ekologija celinskih voda celostno in varstvo vodnih okolij, ožje zanimanje pa združbe celinskih voda. Aktiven je družbeno, v društvih, v svetu Zavoda za varstvo okolja, v Fitosanitarni upravi kot svetovalec za ekologijo v zvezi z rabo fitofarmaceutskih sredstev, strokovni recenzent večjih okoljskih projektov. Trenutno je prodekan za biologijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.*

### Izvleček

Celinski vodni ekosistemi so edinstveni v več pogledih. V celotni hidrosferi predstavljajo zanemarljiv delež, z ekološkega vidika pa so pestra okolja z značilnimi združbami, prilagojenimi na specifične svetlobne in toplotne razmere ter navzočnost raznovrstnih kemičnih snovi naravnega in antropogenega izvora. So tisti ekosistemi, ki so v zemeljski zgodovini usodno vplivali (in še danes je tako) na razvoj človeške družbe in številnih kultur. Abiotična različnost stoječih in tekočih voda določa različnost življenjskih združb, njihovo strukturo in funkcijo. Neposredna povezanost organizmov in procesov v vodnem mediju in usedlinah vsakega vodnega okolja zagotavlja celovitost kroženja snovi in energije v vodnem telesu. Dogajanja v kopnih ekosistemih, posebej delovanje človeka, usodno vplivajo na spremembe dogajanj v vodnih

## FRESHWATER ECOSYSTEMS – STRUCTURE AND FUNCTION

### Mihael J. Toman

University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of biology, Večna pot 111, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; mihael.toman@bf.uni-lj.si

---

*Dr. Mihael J. Toman is a Professor at the Department of Biology, Biotechnical Faculty, University of Ljubljana. He studied Biology at the University of Ljubljana where he obtained also Master's degree as well as PhD. For 15 years he was employed as a full researcher on National Institute of Chemistry in the field of environmental chemistry and biological monitoring. These experiences were very important for his further professional development. He participated in advanced scientific study on Freshwater Biological Labs carried out at the University of Copenhagen. He is still collaborating with Danish colleagues. His field of work is freshwater ecology, conservation of freshwater ecosystems and more specifically freshwater communities. He is also active as a member of different societies, in the council of the Institute of the Republic of Slovenia for Nature Conservation, in Phytosanitary Administration of the Republic of Slovenia and as reviewer of major environmental projects. Currently he is a head of the Department of Biology, Biotechnical Faculty, University of Ljubljana.*

### Abstract

Continental water ecosystems are unique in several respects. They represent a negligible portion of total hydrosphere, yet they are – from the ecological point of view – diverse environments with typical communities adapted to specific light and temperature conditions and to presence of various chemicals of natural and anthropogenic origin. They are the ecosystems that fatally influenced the development of the human society and cultures throughout the history and still do today. Abiotic diversity of stagnant and running water defines the diversity of life communities, their structure and function. The immediate connection of organisms and processes in the water medium and sediment of every aquatic environment ensures the completeness of material and energy circulation in it. Activities, especially human activities, in terrestrial

okoljih. Vplivi prispevnega kopnega okolja odločujoče določajo delovanje vodnih ekosistemov, preprosto vplivajo na njihove naravne lastnosti. Bremena kopnih ekosistemov postanejo bremena vodnih. Stopnja obremenitve in onesnaženja povsod po svetu narašča, zato je nujen ekosistemski pristop k reševanju okoljskih problemov. Mogoč pa je le na temelju poznavanja naravnih procesov, razumevanja življenjskih prostorov in pripadajočih življenjskih združb v naravnih okoljih. Pričujoči članek govori o tem, kakšni sta abiotična in biotična struktura vodnih teles in kako delujejo celinski vodni ekosistemi.

## Uvod

Temeljna biološka veda – ekologija raziskuje odnose med organizmi, organizmi in njihovim življenjskim okoljem ter strukturo in funkcijo ekosistemov. **Ekosistemi** so enote, ki vključujejo vse organizme na določeni površini oziroma v določenem volumnu, ki so s fizičnim okoljem povezani tako, da pretok energije jasno določa trofične strukture, biotično pestrost in kroženje snovi znotraj ekosistema. Struktura in funkcija sta vezani na določen ekosistem in eno od temeljnih in najbolj zahtevnih ekoloških vprašanj je, zakaj prav takšna distribucija in abundanca organizmov v določenem ekosistemu.

Ekosisteme lahko raziskujemo in razumevamo z več vidikov. Osnovni in često edini uporabljen je **deskriptivni vidik**. Gre za opisovanje vegetacije, rastlinskih in živalskih združb ter medsebojnih odnosov. Zahtevnejši je **funkcionalni vidik**, ko se sprašujemo, kako sistem deluje, kakšna je torej dinamika odnosov med organizmi, kakšni sta distribucija in abundanca populacij in združb, kateri metabolizmi so značilni za določen ekosistem. Končno pa se sprašujemo, zakaj sistem tako deluje, zakaj je naravna selekcija dala prednost določenim prilagoditvam, ki jih danes zaznamo v ekosistemu. Zakaj je naravna selekcija dajala prednost določenim ekološki rešitvi, je izjemno kompleksen **evolucijski vidik** ekosistemov, ki je temeljno izhodišče tudi za razumevanje varstva okolja, ki je aplikacija ekoloških znanj in drugih naravoslovnih in družboslovnih znanj.

**Vodni ekosistemi** so nekaj posebnega, obvladujejo tako po površini kot prostornini največji življenjski prostor

environment significantly effect and change the activities and natural characteristics of aquatic environments. The terrestrial load becomes the aquatic load. The levels of load and pollution are increasing all over the world therefore ecosystemic approach for solving environmental problems is necessary, which is only possible when based on the knowledge of natural processes and understanding of biotopes and communities in natural environments. The topic of this paper is the abiotic and biotic structure of aquatic body and the activity of continental water ecosystems.

na Zemlji. Živimo na mokrem planetu, voda je v nas in okoli nas. Ker je voda kot medij idealno topilo, se v njej raztapljajo številne snovi, ki omogočajo pestrost strukture in funkcije vodnih teles, tako morskih kot celinskih. Z biološkega vidika so številne kemične snovi moderne dobe tudi usodne za organizme, vsi smo del te usode. Zaradi različnosti predvsem kemizma sta ločeni **ekologija celinskih voda** in **ekologija morij**, obema pa je skupna voda kot medij s svojimi fizikalnimi in kemijskimi lastnostmi, ki omogočajo in določajo življenje v njih. Poznavanje kemizma vode je temelj za razumevanje bioloških zakonitosti vsakega vodnega ekosistema, v katerem kroženje snovi in pretok energije določa termodinamski koncept.

Kroženje vode zagotavlja ekološko stabilnost našega planeta, izhlapevanje iz morij in celinskih voda vrača vodo v obliki raznovrstnih padavin. Kopni in vodni organizmi so usodno povezani z dogajanjem v vodnih ekosistemih, še posebej v tistih, ki so na celinah. Prav celinske vode so edinstveni habitati, življenjski prostori organizmov in združb, z značilnimi življenjskimi oblikami, občutljivimi na dogajanja v vodnem okolju in odvisnimi od procesov na kopnem. Celinski vodni ekosistemi so določali potek človeške zgodovine in razvoj civilizacij, čeprav je delež tekočih in stoječih voda v celotni hidrosferi procentualno zanemarljiv (tabela 1). Voda je tudi biološka dobrina, pomembna za vse življenjske oblike, človek pa najbolj usodno posega v njene kemične in fizikalne lastnosti in posledično v njeno strukturo in funkcijo. Dobrino v pravem pomenu besede razumemo šele takrat, ko je ni dovolj, ko sta pomanjkanje ali sprememba vzrok usodnih procesov, ki vplivajo na življenjske združbe in človeško družbo.

Vsi pa smo del edinega in zaključenega vodnega cikla na planetu Zemlja.

**Tabela 1:** Celinske vode in njihov delež v celotni hidrosferi

Vodno telo	Delež celinskih voda (%)	Delež vseh voda (%)
ledeniki, sneg	69,56	1,76
podtalnica	30,1	0,76
jezera	0,26	0,007
atmosfera	0,04	0,001
močvirja	0,03	0,0008
tekoče vode	0,006	0,0002
biološka voda	0,003	0,0001

### Ekologija celinskih voda

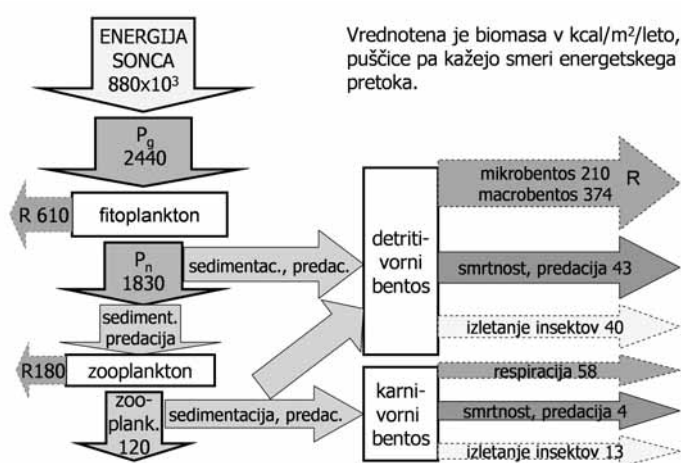
Ekologija celinskih voda in na njenih izsledkih temelječe varstvo in urejanje vodnega okolja je eno od osnovnih raziskovalnih področij biologije, ki v zadnjih desetletjih doživlja intenziven razvoj. Razumevanje ekosistemov, vodnih ali kopnih, zahteva poznavanje njihove strukture in funkcije. Kemijska in fizikalna struktura posebej v vodnih ekosistemih primarno določata prisotnost življenjskih združb, različnih organizmov, ki s svojo prisotnostjo in še bolj odsotnostjo odsevajo stanje življenjskih prostorov, habitatov in okolja nasploh. Združbe so odvisne od fizičnega okolja, na ekološko stanje pa poleg prostorskih danosti vplivajo časovne spremenljivke v krajini. Temeljno sporočilo ekologije je, da življenjske združbe v vodnih ekosistemih nikoli niso uravnovešene, ves čas se spreminjajo, zato govorimo o dinamičnem **ravnovesju**. Različne motnje rušijo in oživljajo življenjske združbe.

**Fizikalno strukturo** vodnih ekosistemov določata svetloba in toplota, v tekočih vodah še hidromehanske razmere oziroma gibanje vode. Biosfera je odvisna od energije sonca, fotosinteza pa je mejnik evolucije v prajuhi Zemlje. Gibanje vode vpliva na časovne in prostorske spremembe posebej v lotičnih ekosistemih in zagotavlja bogat spekter abiotskih in biotskih danosti. Gre za ekološko aplikacijo Heraklitove misli, da dvakrat ne moreš stopiti v isto reko.

**Kemijska struktura** temelji na lastnosti vode kot medija, vode kot idealnega topila. Določajo jo elementi, spojine, kemizem je bistven za celotni metabolizem vodnih ekosistemov. Posebno mesto imajo plini, okolje je zato

lahko oksično s posledičnim aerobnim metabolizmom ali anoksično z anaerobnim metabolizmom. S kemizmom so povezani varstvo vodnih okolij, problematika onesnaževanja in obremenjevanja, kakovost pitnih voda. Snovi so lahko tudi toksične ali hranljive in posledice so usodne za vodne in obvodne ekosisteme.

Brez poznavanja omenjenih struktur tudi ni mogoče celovito razumevanje **biotske strukture** vodnih ekosistemov. Ta vključuje organizme (ocena  $10^6$  vrst!), tako evkariote kot prokariote, rastline in živali, mikroorganizme, praživali in metazoje, populacije in združbe, primarne in sekundarne producente, dekompozicijo, prehranske skupine, trofijo in saprobijo, različnost prehranskih skupin. Biologi se sprašujemo o pestrosti vrst (biodiverziteti je postala splošno prepoznaven pojem, zlorabljen tudi v politične namene), strukturi in velikosti osebkov, dominantnosti, relativni pogostosti, trofični strukturi. Slednje je še posebej pomembno z vidika prehranskih odnosov, ki določajo pretok energije in kroženje snovi tako v naravnih kot tudi v motenih (onesnaženih, obremenjenih) ekosistemih. Zanima nas organizacija življenjskih združb: kompeticija, predacija in simbioze. Zelo pomembno je razumevanje stabilnosti združbe in z njo povezanih motenj. Brez teh odgovorov si modernega koncepta varstva vodnih teles ne moremo zamisliti. Nedvomo pa sta biotska struktura in pretok energije najbolj zapletena dela poznavanja vsakega ekosistema, tudi vodnega (slika 1).



**Slika 1:** Primer pretoka energije v izbranem jezeru (Esrom Lake, Danska).

### Abiotske posebnosti stoječih vodnih ekosistemov

Pomembna lastnost vodnega medija je **temperaturno odvisna gostotna anomalija vode**, ki izrazito vpliva na dogajanja v stojećih vodnih telesih v okoljih z zmernim podnebjem. Določa poletno stratifikacijo in stagnacijo ter pomladno in jesensko mešanje (termika jezer). Poletna plastovitost jezer z značilnimi tremi plastmi gornjega toplega epilimnija, osrednjega temperaturno spreminjajočega se metalimnija in hladnega hipolimnija zagotavlja pestrost svetlobnih in toplotnih razmer in stabilnost vodnega okolja v času najbolj dinamičnih življenjskih procesov, rasti in razmnoževanja. Rušenje poletne plastovitosti, izenačevanje vseh abiotskih dejavnikov, razen svetlobnih, jeseni in posebej pomladi bogati izčrpane, biološko najbolj aktivne epi- in metalimnijske plasti in ustvarja novo rojstvo, hitro menjavo generacij in metabolno aktivnost. Kroženje in poletna stojnost sta bistvena dejavnika pestrosti življenjskih združb. Pozimi so zaradi gostotne anomalije pod 4 °C ohlajene vodne plasti lažje in plavajo na gostejših in toplejših vodnih plasteh. Jezero zato zmrzuje na površini in zagotavlja edinstveni toplotni pufer organizmom v globji vodi in omogoča nadaljevanje sicer zmanjšanih metaboličnih procesov v vodnem stolpcu tudi v zimskem času.

Drugi odločilni dejavnik pa je **svetloba**, kakovostno in količinsko različna v vodnem okolju v primerjavi s kopnim. Neposredno vpliva na stopnjo primarne produkcije in pojavljanje primarnih producentov. Jasno ločuje fotično pelagialno in bentično življenjsko okolje, slednje v fotični (presvetljeni) litoral in afotični (brez svetlobe) profundal. V **fotičnem (trofogenem) okolju** je pozitivna stopnja primarne produkcije, nastaja avtohtona organska snov, pomembna za prehranske verige paše. V **afotičnem (trofolitičnem) okolju** ni produkcije organske snovi, sta le poraba in razgradnja. Posledično različen metabolizem je najbolj izrazit v bentičnih združbah jezera.

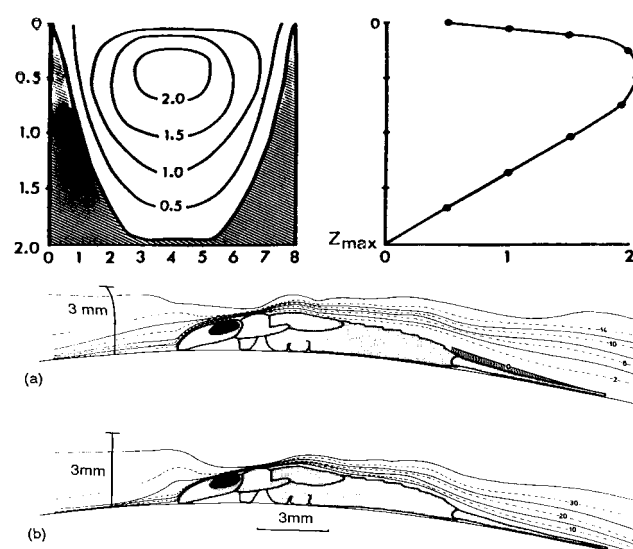
Tako toplota kot svetloba sta poleg dušikovih in fosforjevih hranilnih snovi primarna abiotska dejavnika v stojećih celinskih vodah, ki neposredno vplivata na produkcijo in dekompozicijo (razgradnjo) organskih snovi. Življenjske združbe se na toplotne razmere med letom prilagajajo, različni sta rast in gostota populacij. Izrazit toplotni vpliv se kaže poleti, ko je jezero plastovito z značilno ločenimi tremi plastmi. Spremembe abiotskih dejavnikov vplivajo na trofičnost jezera, ta pa na dekompozicijske procese, ki

lahko vodijo v metabolni razpad jezerskega ekosistema. Z leti se namreč povečuje količina proizvedenih in neporabljenih organskih snovi, kar povečuje anoksijo in anaerobni metabolizem najprej v usedlinah, kasneje pa tudi v spodnjem hipolimniju. K povečevanju produkcije znatno prispeva tudi alohton vnos hranilnih snovi (dušikovih in fosforjevih), kar je izrazito v majhnih in zaprtih jezerskih ekosistemih, npr. v Blejskem jezeru in številnih zalitih gramoznicah v SV Sloveniji.

### Abiotske posebnosti tekočih vodnih ekosistemov

V tekočih vodah je **dinamičnost osnovni dejavnik** pestrosti življenjskih oblik in procesov, torej **vodni tok** različnih hitrosti, ki je usmerjeno turbulenten. Prinaša organske in hranilne snovi, zagotavlja stalno prezračevnost vodnega okolja s kisikom in odvaja metabolite, ki so lahko vir snovi in energije organizmom po toku spreminjajočih se življenjskih okolij. S fizično silo vpliva na prisotne organizme (slika 2).

Življenjske združbe in procesi so primarno vezani na usedline, katerih struktura in zrnatost sta prav tako odvisni od različnosti hitrosti. Mozaičnost vodnega toka zagotavlja mozaičnost hitrosti na brzicah in v tolmunih ter posledično substrata (kamnov, prodnikov in drobnega peska) na dnu rečnih korit in s tem pestrost življenjskih združb, ki omogočajo samočistilne procese oziroma kroženje snovi. Popolno kroženje snovi in zaključen pretok energije v tekočih vodah pomenita čistost vodnega



**Slika 2:** Spreminjanje hitrosti toka po globini rečne struge in vpliv na bentične organizme.

okolja oziroma dinamično ravnovesje, ki ga rušijo vplivi prispevnih (kopnih) ekosistemov, največkrat zaradi dejavnosti in aktivnosti človeka. Učinkovita samočistilna sposobnost vodnega okolja, ki jo poučno predstavi slovenski pregovor, ki pravi, da se voda očisti, ko steče prek sedmih kamnov, se zmanjša ali povsem zgine, če je alohtoni vnos različnih snovi tak, da pospeši procese razgradnje in posledično spremeni metabolne procese iz aerobnih v anaerobne. Do podobnih sprememb pride tudi po regulacijah, ki ne upoštevajo opisanih značilnosti tekočih voda in reko ujamejo v betonski ali kamniti kanal in vodo z veliko hitrostjo pošljejo po taki strugi. Pestrost habitatov se izjemno zmanjša, posledično vrstna pestrost organizmov, samočistilni proces je zanemarljiv. Na žalost so tovrstni ukrepi še vedno ustaljena praksa v slovenskem prostoru z nekaj izjemami sonaravnega urejanja manjših vodotokov.

Reka kot dobrina v prostoru in dinamično stabilen ekosistem postane tujek in breme tudi v primeru navidezne ali dejanske kemične čistosti, a spremenjene hidrodinamike. Izrazito se to odrazi tudi v zajezeni in pregrajeni reki. Značilen primer pri nas je reka Sava, ki v spodnjem toku postaja sistem pretočnih jezer. Zmanjševanje hitrosti vode, posledično usedanje suspendiranih delcev in zadrževanje organskih, hranilnih in toksičnih snovi v usedlinah novonastalih akumulacijskih jezer povsem spremeni rečni (lotični) ekosistem v jezerskega (lentičnega). Samočistilni procesi se zmanjšajo, nalaganje toksičnih snovi pa pomeni dolgodobno nevarnost za vodni ekosistem. Odločitev o tako velikih spremembah torej ne more biti le strokovna ampak tudi politična. Zato je govorjenje o »ekološko čisti električni energiji iz hidrocentral« čista demagogija. Podobno je z izgradnjami malih hidrocentral, ki povsem porušijo dinamičnost in celovitost habitatsko in vrstno pestrih majhnih potokov in rečic in so z ekološkega kakor tudi z okoljskega vidika povsem nesprejemljivi posegi. Pri nas jih vodi prevsem želja po dobičku in ne življenjska potreba lastnikov tovrstnih objektov.

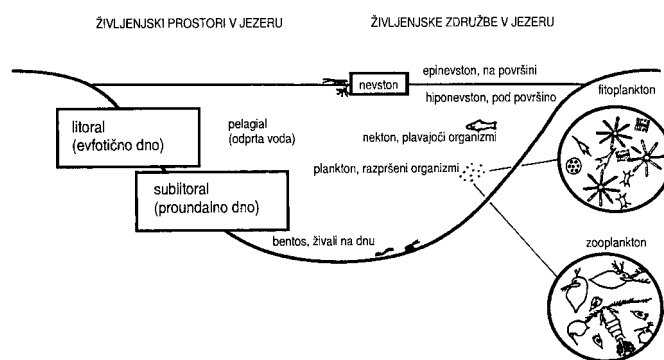
### Biotske značilnosti vodnih ekosistemov

Pestrost organizmov in življenjskih združb zagotavljajo pestre abiotске razmere. Z biotsko pestrostjo pa je povezano kroženje snovi, pretok energije in ohranjanje vodnih ekosistemov kot garanta stabilnosti življenja celotne biofere. Voda torej ni le dobrina za človeško združbo, še

veliko bolj je neobremenjen vodni ekosistem dobrina za vodne prebivalce. Na kratko preglejmo, kdo to so in kakšno vlogo igrajo v igri, ki ji rečemo metabolizem vodnih ekosistemov.

Razlika v združbah stojećih in tekočih voda je očitna, pogojujejo pa jo omenjene različne abiotске danosti. V lentičnih (stojećih) vodnih telesih je značilna in metabolno aktivna združba pelagiala (plankton in nehton) ter združba usedlin (fito- in zoobentos) (slika 3), v lotičnih (tekočih) vodnih telesih pa združba obrasti (perifiton) in združba velikih vodnih nevretenčarjev na usedlinah in v njih. V tekočih vodaj je torej glavni del kroženja snovi v obrasti, zato upravičeno pravimo, da je popolni samočistilni proces v lotičnih ekosistemih v združbah (mikrobnih, rastlinskih in živalskih) na usedlinah. Ta funkcijska različnost lentičnih in lotičnih ekosistemov se kaže tudi v različnosti vplivov in obremenjevanja ter posledic, ki jih le-to ima na strukturo in funkcijo različnih vodnih ekosistemov. Z vidika ohranjanja kakovosti vodnih okolij in vodnega telesa kot dobrine je to različnost nujno treba prepoznati.

V jezerih in mokriščih je velikega pomena litoralni del s pestro združbo makrofitov, bakterij v usedlinah in živali v vodi in usedlinah, ki ga upravičeno imenujemo puferska cona, ki blaži in zmanjšuje vplive od zunaj. Je prvi branik pred hranilnim obremenjevanjem pelagialnega dela jezera. Teга dejstva se pri varovanju vodnih okolij



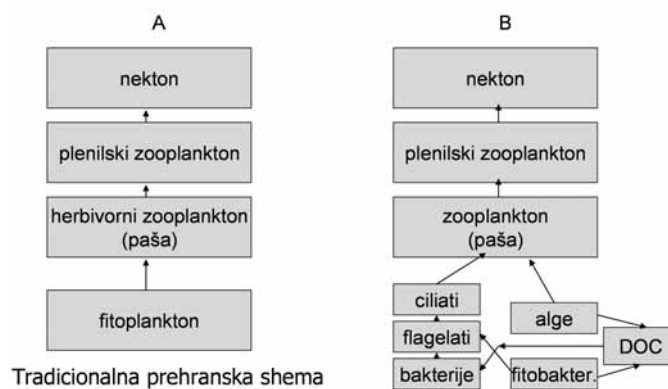
**Slika 3:** Značilni življenjski prostori in združbe v stojećih vodah (letnični ekosistemi).

vse premalo zavedamo in šele poseg v rastlinsko zarast pokaže vso negativnost posega. Napredujoča evtrofnost vodnega telesa kot celote je proces, ki ga je težko zaustaviti. In prav evtrofno jezero ni več ne biološka ne

družbena dobrina. Primeri, ki mi to misel potrjujejo so v Sloveniji na zalost številni, med njimi gramoznice SV Slovenije, Ptujsko jezero (spomnimo, da je to rečna akumulacija in da podobna usoda čaka spodnjesavske zajezi-tve, v jezeru Vrhovo je že dejstvo), vodna zadrževalnika Mola in Klivnik na Primorskem, jezero Vogršček, Jezero na Planini pri jezeru (Triglavski narodni park!) in ne nazadnje slovenski biser Blejsko jezero. Številna od naštetih vodnih teles izkoriščajo ribiči, postala so »ribniki« (primer evtrofno jezero Komarnik pri Lenartu, ribnik pri Vrbju v Savinjski dolini) iz katerih vsako jesen spuščajo vodo zaradi ribiške logike »dezinfekcije« vodnega telesa. Anoksična stanja (brez kisika) v takih vodnih telesih najprej v usedlinah in kasneje v vodnem stolpcu, prisotnost toksičnih cianobakterij (npr. rodov *Microcystis*, *Anabaena*) in nevrotoksinov, ki negativno vplivajo na vodne in obvodne organizme ter nenazadnje kvaliteto pitnih voda, zagotovo ne pomenijo takšnega biološkega (ekološkega) stanja vodnega ekosistema, ki bi si ga želeli. Varovanje takšnih okolij (predvsem ribiško) me spominja na misel, da bi zavarovali močno organsko obremenjen vodotok, ker bi sicer s sanacijo in izboljšanjem kakovostnega stanja izgubili vrsto trzače rodu *Chironomus*, ki živi le v organsko obogatenem okolju!

Izjemno produkcijsko aktivne so mlake (pri nas posebnost kalí, puči) in rečne mrtvice, kar po limnološki doktrini ne sodi v problematiko evtrofnih vodnih teles. Njihov pomen v prostoru je izjemen (zagotavljajo večjo pestrost vodnih okolij in vrstno pestrost nasploh), ogroženost zaradi izsuševanja in pridobitništva ribičev velika, zato je prepričanje o pomenu njihovega varovanja in varovanja ogroženih vrst vse večje. Habitatna direktiva z naštevanjem ogroženih vrst rib, dvoživk, nekaterih hroščev itd. je temeljni akt, ki omogoča njihovo varovanje. To nam zagotavlja in nas obvezuje tudi omrežje Natura 2000, na katerega smo v Sloveniji (vsaj deklarativno) zelo ponosni.

Dogajanja v združbah pelagiala, predvsem v bakterio-, fito- in zooplanktonu, zaznamujejo jezerski ekosistem kot celoto (slika 4). To pa vključuje vodo in usedline. Jezerske usedline so pač zrcalo dogajanj in procesov tako v pojezerju in še posebej v pelagialu. Planktonski organizmi so vir organskih in anorganskih snovi za usedline in njihove prebivalce, pojezerje pa je lahko tudi vir toksičnih snovi, še posebej prispevno območje s slabo kmetijsko prakso in pretirano rabo fitofarmacevskih sredstev.



**Slika 4:** Prehranske poti v pelagialu jezera, A – tradicionalna, B – upošteva kroženje organskega C v detritni prehranski verigi.

Usedline so posledično vir hrane in vir strupenih snovi, ki vplivajo na metabolno aktivnost tako razgrajevalcev kakor tudi sekundarnih producentov. Dobro ekološko stanje v vodnem okolju še ne zagotavlja dobrega ekološkega stanja jezerskega ekosistema kot celote. V usedlinah se zbirajo okoljski grehi človeške družbe, so pomnik in opozorilo naših aktivnosti in zrcalo dogajanj. Zato je tudi jezero, ki na videz (vodni) deluje kot alpski biser, v svoji notranjosti, v usedlinah gnilo jabolko. Družbena dobrina torej z omejeno rabo in omejenim rokom trajanja.

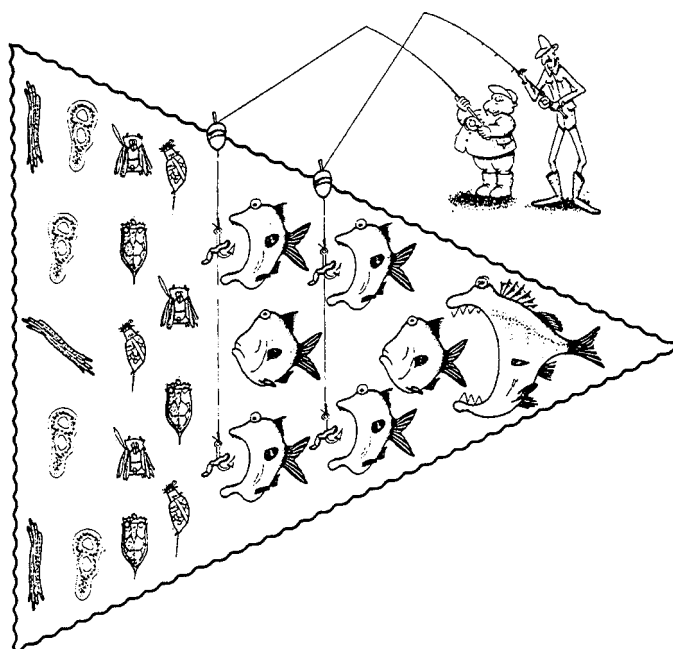
Značilna heterogena življenjska združba lotičnih (tekočih) ekosistemov je obrast (perifiton), ki v širšem pomenu besede pomeni združbo avtotrofnih in heterotrofnih organizmov, bakterij, gliv, alg, praživali in drobnih metazojev, ki so stalno ali občasno pritrjeni na potopljeni substrat. Združba, v kateri se dogaja in zgodi vse, kar je za rečni sistem pomembno. Vse metabolne poti se začnejo in končajo v perifitonu, ta združba določa popolnost ali nepopolnost kroženja snovi, preprosto določa ekološko stanje vodnega telesa in daje potrebno prehransko osnovo drugi značilni združbi, združbi velikih vodnih nevretenčarjev (makroinvertebratov). Slednjo po definiciji sestavljajo vodni nevretenčarji, ki so večji 0,5 mm. Taksonomsko zelo raznolika skupina organizmov vključuje vrtničarje (*Turbellaria*), polže (*Gastropoda*), školjke (*Bivalvia*), maloščetince (*Oligochaeta*), pijavke (*Hirudinea*), postranice (*Gammaridae*) in vodne osličke (*Asellidae*), žuželke (*Insecta*) (enodnevnice (*Ephemeroptera*), vrbnice (*Plecoptera*), kačje pastirje (*Odonata*), hrošče (*Coleoptera*), mladoletnice (*Trichoptera*) in dvo-krilce (*Diptera*)). Našteti makroinvertebratski organizmi

so poleg perifitonskih najpogosteje uporabljeni pri monitoringu (spremljanju stanja), saj odražajo celovite ekološke razmere posameznega dela ali odseka rečne struge, vključno s fizikalnimi lastnostmi (tipom substrata, hitrostjo vodnega toka, pretokom). Njihova prisotnost (ali odsotnost) nista le odraz organske obremenitve, temveč različnih stresov vključno z anorganskim onesnaženjem, toksičnostjo (različne nevarne kovine), kislostjo, hidromorfoloških sprememb v vodnih habitatih (kanaliziranje struge, regulacije).

### Sklepna misel

Poznavanje strukture in funkcije vodnih teles je temelj za gospodarjenje in upravljanje s temi občutljivimi in dinamičnimi ekosistemi. Na voljo so številne dobre metode spremljanja kemijskega in biološkega stanja, vrednotenja biotske strukture in vrstne diverzitete, številne statistične in multivariatne metode vrednotenja ekoloških podatkov. Šibki pa smo pri odpravljanju vzrokov in posledic obremenjevanja in onesnaževanja vodnih teles, iskanja rešitev in varovanja ter zavedanja njihove pomembnosti ne le za človeško družbo, ampak za biosfero kot celoto. Zavedanje o pomenu varovanja je le deklarativno, aktivnosti posameznikov so praviloma drugačne, kot jih prikazujejo ankete o visoki stopnji okoljske zaskrbljenosti. Samo z ugotavljanjem stanja, ki je tudi z novo vodno direktivo uzakonjen monitoring, ne bomo zdravili težko

bolnih ekosistemov. Tudi vodni ekosistemi so izjemno prilagodljivi, vendar samo do neke mere. Le pravo okoljsko zavedanje mlade generacije, ki jo sicer z vseh strani napada miselnost potrošniške družbe, potencialno vodi v boljši odnos vseh nas do narave in okolja kot celote (slika 5).



**Slika 5:** Vodni ekosistemi so kompleksni z ali brez vpliva človeka. Tudi na videz majhen vpliv lahko kompleksnost usodno zmanjša.

### Viri za dodatne informacije

- Abel P. D. (1996). *Water Pollution Biology. 2nd Ed.*, Taylor & Francis, str. 286.  
 Alan J. D. (1995). *Stream Ecology. Structure and Function of Running Waters*. Chapman & Hall, str. 388.  
 Mitsch W. J., Gosselink J. G. (2007). *Wetlands*. John Wiley & Sons, Inc. str. 582.  
 Polunin N.V.C. (2008). *Aquatic ecosystems. Trends and Global Prospects*. Cambridge University Press, str. 482.  
 Toman M. J. (1995). Osnove ekologije celinskih voda. *Biologija v šoli IV*: 4–14.  
 Urbanič G., Toman M. J. (2003). *Varstvo celinskih voda*. Študentska založba, str. 94.  
 Wetzel R. G. (2001). *Limnology. Lake and River Ecosystem*, Academic Press, str. 1006.



## MIKROBNA OAZA V TLEH

### David Stopar

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo, Katedra za mikrobiologijo, Večna pot 111, 1000 Ljubljana; e-naslov: david.stopar@bf.uni-lj.si

*Dr. David Stopar je profesor mikrobiologije, zaposlen na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani. Njegovo področje dela so različni vidiki ekofiziologije, preučevanje vloge virusov v naravnih ekosistemih ter določanje in karakterizacija protimikrobnih snovi.*

### Izvleček

Ohranjanje rodovitnosti tal je temeljna zaveza človeštva, saj saj tla omogočajo pridelavo hrane. Mikroorganizmi imajo pri tem prav posebno pomembno vlogo, saj omogočajo kroženje hranil in so zaradi tega nepogrešljiv partner rastlinam. Velja pa tudi obratno. Največ mikrobne aktivnosti je vezano na rizosfero, to je tisto območje v tleh, kjer se čuti vpliv rastlinskih korenin in delovanja mikroorganizmov. V prispevku bodo prikazani različni načini, kako v rizosferi prihaja do teh interakcij.

Z antropogenega vidika je verjetno najpomembnejša funkcija mikroorganizmov v tleh ohranjanje rodovitnosti tal, to je sposobnosti tal, da omogočajo rast rastlin. Na različnih tleh pridelamo približno 90 % vse svetovne hrane in vzdrževanje rodovitnosti je ključnega pomena za obstoj človeške vrste. Tla so zelo kompleksen habitat za rast mikroorganizmov. Rast mikroorganizmov v tleh ni enakomerna niti v času niti prostoru, kar je posledica številnih mikrookolij, ki omogočajo soobstoj različnih vrst mikroorganizmov. V tleh najdemo predstavnike vseh pomembnejših skupin mikroorganizmov bodisi kot avtohtone ali oportune mikrobne populacije. Prve se od slednjih razlikujejo po tem, da lahko izrabljajo teže razgradljive huminske spojine v tleh, rastejo bolj počasi in so v splošnem manj aktivne. Število različnih mikroorganizmov je v tleh zelo veliko in po navadi precej večje kot v vodnih okoljih. Tako je v gramu tal od  $10^6$  do  $10^9$

## MICROBAL OASIS IN THE SOIL

### David Stopar

University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Food Science and Technology, Večna pot 111, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: david.stopar@bf.uni-lj.si

*Dr. David Stopar is a Professor of Microbiology at Biotechnical Faculty, University of Ljubljana. His fields of work are various aspects of ecophysiology, studies of viruses' roles in natural ecosystems and determination and characterisation of antimicrobial substances.*

### Abstract

Soil fertility is the fundamental characteristic of soil that supports plant life and enables food production. Microorganisms are indispensable in maintaining soil fertility due to their ability to sustain nutrient cycling. The majority of soil microbial activity is located in rhizosphere, a narrow region of soil that is directly influenced by root secretions and associated soil microorganisms. In the article many different ways how microorganisms and plants interact in the rhizosphere will be discussed.

bakterij. Poleg tega v večjem številu najdemo glive, alge, praživali in viruse.

Mikrobna združba v tleh je heterogena in podvržena okoljskim spremembam. V nekaterih primerih abiotični dejavniki omejujejo sestavo mikrobne združbe do te mere, da najdemo predvsem ozko specializirane mikrobne skupine, zato je preučevanje takšnih združb nekoliko olajšano. Tako imajo nekatera tla ekstremno alkalen pH, zopet druga so zelo kislila. V takih primerih najdemo samo tiste mikrobne populacije, ki imajo prilagoditvene zmožnosti za rast v takšnih ekstremnih razmerah. Posledica je razvoj specifične acidofilne ali alkalofilne mikrobne populacije. Tla v polarnih območjih so zamrznjena večji del leta, mikroorganizmi v takšnih razmerah morajo biti psihrofilni ali ljubitelji nizkih temperatur. Na drugi strani so puščavska tla po navadi vroča in suha. Mikrobna združba

mora biti pripravljena na daljša sušna obdobja in visoke temperature. Mikroorganizmi, ki lahko preidejo v obdobje mirovanja, tako da sporulirajo, so še posebej dobro prilagojeni na takšna okolja.

Puščave so zanimive še z enega vidika. Razporeditev mikroorganizmov je zelo neenakomerna, vendar predvidljiva. V grobem razporeditev mikroorganizmov sledi razporeditvi rastlin. Če smo bolj natančni, mikroorganizmi sledijo razporeditvi hranil v takšnem okolju, predvsem makrohranil, kot so ogljik in dušik, fosfor ter razporeditvi vode. Večja gostota omenjenih virov je v okolici rastlin, ki so zaradi tega dober kazalnik povečane mikrobne aktivnosti. V puščavah je dokazano večja gostota in aktivnost bakterij v bližini korenin kot pa v prostoru med rastlinami. Ker so puščave v našem lokalnem okolju manj zanimive, če izznamemo pretečo nevarnost globalnega segrevanja in s tem povezano večjo ogroženost za sušo v Sredozemlju, si bomo v nadaljevanju pogledali vpliv rastlin na mikrobne populacije v našem trenutnem klimatskem pasu. Predpostavimo lahko, da bo interakcija med rastlinami in mikroorganizmi podobna tisti v puščavah, vendar zaradi manjše povprečne oddaljenosti med rastlinami in večjega prepletanja koreninskega sistema veliko bolj intenzivna. Npr. povprečna oddaljenost korenin travne ruše, sestavljene iz italijanske ljuljke, je v horizontalni smeri tik pod površjem okrog 3 mm.

Prisotnost mikroorganizmov v okolici korenin je za delovanje talnega sistema prav posebej pomembna. Tako je že leta 1904 Lorenz Hiltner, profesor agronomije na tehniški univerzi v Münchnu, definiral rizosfero kot specifično območje v tleh, do koder sega vpliv rastlinskih korenin. Beseda rizosfera prihaja iz grščine in pomeni *rhizo* ali korenina in *sphaira* ali volumen, v katerem ima vpliv korenina. Rizosfera predstavlja manjši, vendar bistven del talnega volumna. Volumen rizosfere je težko določljiv. V ta namen se uporabljajo različne metode. Ena od možnosti je, da uporabimo parazitske nematode, ki so visoko specifični za rastlinske produkte. Tako je bilo dokazano, da so v vlažnih peščenih tleh nematode, ki so bile oddaljeni do 4,5 cm od korenine, našle pot do korenin. V glinastih in ilovnatih tleh, kjer je gibanje vode bolj omejeno in je več reakcijskih mest, kamor se lahko vežejo organske in anorganske spojine, je volumen rizosfere precej manjši. Območje vpliva korenin je različno pri različnih rastlinah. S pomočjo vrstičnega elektronskega mikroskopa so raziskovalci določili vpliv rizosfere na sojinah koreninah

do oddaljenosti okrog 0,2 mm od korenine, pri ovsu pa je volumen rizosfere v zgornjih 15 cm tal ocenjen na približno 25 % skupnega talnega volumna.

Vpliv rizosfere na delovanje mikroorganizmov v primerjavi z ostalim delom tal kvantitativno ovrednotimo tako, da določimo razmerje med številom ali aktivnostjo mikroorganizmov v rizosferi in številom ali aktivnostjo mikroorganizmov daleč stran od rizosfere. Pri pšenici je to razmerje, imenovano tudi R/S-razmerje, za bakterije ocenjeno na 24, za glive 12, za praživali pa 2,4. Za izbrane podskupine bakterij pa je lahko to razmerje tudi bistveno večje. Tako ima posebna skupina bakterij, ki opravlja mineralizacijo dušika, R/S-razmerje 125. Denitrifikatorske bakterije, ki mineralni talni dušik pretvarjajo v plinski dušik, pa imajo R/S-razmerje kar 1266. Takšno razmerje sicer ni povsem nepričakovano, saj za denitrifikatorje velja, da je njihova aktivnost vezana na lahko dostopno organsko snov, ki jo obilno ponuja rastlina. Medtem ko je lahko dostopne organske snovi v rizosferi veliko, je stran od rizosfere malo ali nič. Z drugimi besedami bi lahko rekli, da je rastlinski koreninski sistem za talne mikroorganizme prava oaza v siceršnji puščavi.

Dva najpomembnejša dejavnika, ki vplivata na povečano število in aktivnost mikroorganizmov v okolici rastlinskih korenin, sta: 1) povečana koncentracija topnih organskih spojin, ki jih izloča rastlina; 2) povečano število odmrlih rastlinskih celic. Količina novonastale organske snovi s fotosintezo, ki jo rastlina izloča v rizosfero, je od 20 % pri travah do 60 % pri nekaterih drevesih. Večino tega materiala reciklirajo mikroorganizmi. Pri pšenici je ocenjeno, da se v obdobju rasti približno 1500 kg/ha ogljika transportira v korenine. Od tega se ga večina, okrog 1000 kg/ha, izloči v rizosfero. Velik del izločenega ogljika v rizosferi je posledica lize koreninske povrhnjice – kutikule zaradi mehanskih poškodb. Lizo kutikule lahko povzroči tudi mikrobna aktivnost. Glavna posledica lize kutikule je sproščanje rastlinskih glikoproteinov in polisaharidov, ki nato skupaj s talnimi koloidi tvorijo mucigel. Tako nastali rastlinski mucigel obdaja koreninsko kapico in deluje kot mazivo in hranilo pri prodiranju korenine skozi talni profil.

Poleg odmrlih rastlinskih celic lahko rastlina sprošča v rizosfero tudi snovi iz živih celic. V tem primeru govorimo o eksudatih in izločkih. Razlika med obema je v tem, da so eksudati v rizosferi posledica pasivnega sproščanja

manjših organskih molekul iz rastlinskih epidermalnih celic. Izločki ali sekrecije pa so nizko- ali visokomolekularne spojine, ki jih rastlina aktivno, s svojim metabolizmom izloča v rizosfero. Za mnogo rastlinskih vrst dokaj dobro poznamo spojine, ki jih izločajo v rizosfero. Pšenica na primer izloča tako hlapne kot nehlapne nizko- in viskomolekularne snovi, kot so: CO<sub>2</sub>, etanol, izobutanol, acetoin, izobutirčna kislina, etilen, sladkorji, aminokisliline, organske kisline, nukleotidi, vitamini, polisaharidi in encimi. Poleg običajnih metabolnih produktov rastline izločajo tudi specifične spojine, ki vstopajo v neposredno komunikacijo z mikroorganizmi. Tako npr. flavonoidi, betaini, ardenska kislina in fenolne spojine, ki jih izločajo metuljnice, spodbudijo bakterijo *Rhizobium spp.* k aktiviranju *nod* genov, kar privede do tvorbe nodulov in simbiotske fiksacije dušika v njih. Poznano je, da veliko spor gliv kali v bližini korenin in da je kalitev povečana ob dodatku rastlinskih eksudatov in izločkov. Ta efekt je lahko specifičen ali nespecifičen.

Primer tovrstne interakcije med glivo in rastlino, ki jo imenujemo mikoriza, je arbuskularna mikoriza. Med glivami, ki tvorijo takšno asociacijo, je nedvomno najpomembnejša skupina *Glomeromycota*. Več kot 80 % višjih rastlin ima simbiotske asociacije z glivami iz te skupine. To nakazuje, da imajo te glive prav posebno vlogo pri razvoju rastlin na tem planetu. Kopenske rastline so se v primerjavi z mikroorganizmi pojavile na planetu Zemlji razmeroma pozno in so se razvile šele 3 milijarde let po tem, ko so se pojavili prvi mikrobi. Za razliko od današnjih rastlin prve kopenske rastline niso imele dobro razvitega koreninskega sistema za sprejem hranil iz tal. Zaradi tega so se verjetno že od vsega začetka v veliki meri zanašale na simbiozo z glivami za dostop do hranil. V zameno so glive dobivale ogljikove hidrate, ki jih je s fotosintezo pripravila rastlina. Zaradi dolge skupne razvojne poti arbuskularne mikorizne glive danes ne uspejo več rasti brez rastlinskega partnerja, kljub temu da so skozi evolucijo ohranile samostojnost. Spore teh gliv namreč lahko kalijo, vendar v odsotnosti rastlinskega gostitelja kalitvena cevka hitro zakrni in organizem ponovno preide v manj aktivno stanje spore. V tem stanju čaka do naslednjega poskusa iskanja rastlinskega partnerja. Ko pri uspešni kalitvi hifa glive najde potencialnega rastlinskega gostitelja, se razveji, kar poveča verjetnost za stik z rastlino. Razvejanje glive povzroči signalna molekula, ki jo odda rastlina. Po navadi rastlina takšen signal odda v stresni situaciji takrat, ko ji primanjkuje hranil, pred-

vsem fosforja. Signalna molekula rastline je seskviterpen lakton in pripada skupini strigolaktonov. V splošnem so strigolaktoni zelo nestabilne molekule, ki jih je relativno težko dokazati v naravnem okolju. Verjetno je ravno nestabilnost strigolaktonov v tleh razlog za njihovo ekološko pomembnost. V primeru obstojnosti bi se namreč signal kopičil v tleh in prostorska informacija, ki glivi pomaga vzpostaviti stik z rastlino, bi bila izgubljena. Tako pa je koncentracija signala povišana v smeri proti rastlini. Izgleda, da so arbuskularne mikorizne glive zelo promiskuitetne glede rastlin, ki jih lahko kolonizirajo. Npr. *Glomus intraradices* lahko kolonizira riž, pšenico, paradižnik in grah. To je verjetno posledica zelo velike razširjenosti in sorodnosti strigolaktonov med rastlinami. Do sedaj izolirani strigolaktoni eno- in dvokaličnic se med seboj namreč bistveno ne razlikujejo glede biološke aktivnosti. Kot kaže, so celo nekatere parazitske rastline (npr. *Orobancha* – pojalnik) privzele tovrstno mikrobno strategijo in parazitirajo na drugih rastlinah tedaj, ko te izločajo strigolaktone.

Rastline torej lahko izbirajo populacije mikroorganizmov, ki jim pomagajo v stresni situaciji. Pri pomanjkanju fosforja izločajo signalne snovi, ki omogočajo začetek simbiotskega odnosa z glivami *Glomeromycota* in nastanku mikorize. Pri pomanjkanju dušika stročnice izločajo signalne snovi, ki omogočajo začetek simbiotskega odnosa z *Rhizobiji* in poznejšo fiksacijo dušika. Kemična komunikacija, ki nastopa pri obeh procesih, je sicer zelo različna, vendar je začetek procesa vzpostavljanja simbiotskega odnosa podoben. Rastlina aktivno posega v proces rasti in diferenciacije mikroba z izločanjem specifičnih snovi.

Namesto sklepa. Simbiotski sistem mikroorganizem-rastlina v tleh je kooperativen sistem, od katerega imata oba udeležena partnerja po navadi veliko koristi. Sistem je obenem emergenten, kar pomeni, da je celota več kot vsota posameznih delov in skupnost preživi tam, kjer vsak posameznik zase ne bi uspel. Tako večina mikroorganizmov, glede na njihovo metabolno plastičnost, sicer lahko preživi brez rastline, vendar znatno manj aktivno, za rastlino pa je odsotnost te interakcije največkrat usodna. Mikrobne oaze v tleh so torej mesta, kjer prihaja do vročih točk aktivnosti. Preostanek tal je v tem pogledu mikrobna in sočasno tudi rastlinska puščava. A ne pozabimo, tudi v puščavi se v tleh veliko dogaja, le da je očem bolj prikrito.

## ***Literatura***

Alexsander M. (1977): *Introduction to Soil Microbiology*. John Wiley & Sons, New York.

Parniske M. (2005): Plant–fungal associations: Cue for the branching connection. *Nature* 435, 750–751.

Atlas R. M., Bartha R. (1998): *Microbial ecology, fundamentals and applications*. Benjamin /Cummings Science Publishing, Menlo Park.

Stopar D. (2007): *Priročnik iz mikrobne ekologije za študente mikrobiologije*. Biotehniška fakulteta, Ljubljana.

Young I. M., Crawford J. W. (2004): Interactions and Self-Organization in the Soil-Microbe Complex. *Science*: 1634–1637.

## **PEDOFAVNA – NJENA RAZNOVRSTNOST IN VLOGA PRI RAZKROJEVANJU ORGANSKIH OSTANKOV V TLEH POGLED V GOZDNA TLA**

**Kazimir Tarman**

E-naslov: kazimir.tarman@guest.arnes.si

---

*Prof. dr. Kazimir Tarman je redni profesor za ekologijo živali v pokoju. Na Oddelku za biologijo Univerze v Ljubljani je predaval tudi zoogeografijo in biologijo strunarjev. Področja njegovega raziskovalnega delovanja so pedozoologija, zlasti problemi velike raznovrstnosti talnega živalstva, zgradbe talnih biocenoz ter njihove vloge v razkrojanju organskih ostankov in nastajanju plodnih tal. Preučeval je taksonomijo, zoogeografijo in ekologijo roženastih pršic (Oribatidae) na območju Slovenije in zahodnega Balkana. Kot štipendist Unesca je deloval na Rothamsted Experimental Station v Harpendenu v Angliji. Bil je predsednik Prirodoslovnega društva Slovenije (1988–1995). Poleg znanstvenih in strokovnih razprav je avtor mnogih poljudnoznanstvenih člankov. Je avtor knjig Človek in narava (1964), Živi svet prsti (1965), Zakaj – zato v ekologiji (1975), Ekologija (1997, srednješolski učbenik) ter Osnove ekologije in ekologija živali (1992, univerzitetni učbenik) (povzeto po Proteus 2/61, 1998).*

### **Uvod**

Pomen deževnikov pri ohranjanju plodnosti tal so vrtnarji in kmetovalci poznali že davno. Strokovno in eksperimentalno je njihovo vlogo pojasnil naravoslovec Charles Darwin. Na trati, v svojem vrtu v vasi Down pri Londonu, je leta 1842 nasul poskusno »stezico« iz zdrobljene krede ter jo prepustil naravi in času. Po 29 letih je plast krede prekrivala 18 cm debela plast humusne zemlje. V povprečju je kreda lezla v tla za 6 mm na leto. Pomikanje v globino so opravljali deževniki s spodkopavanjem (rovi) in površinskim odlaganjem svojih iztrebkov ali »glistin«. S pobiranjem in tehtanjem posušenih iztrebkov na površini je izračunal, da znosijo deževniki v enem letu 250 kg prsti na 1 ar. Skoraj tri desetletja dolg poskus je objavil v zadnji razpravi: »The formation of vegetable mould thro-

## **PEDOFAUNA – VARIABILITY AND ITS ROLE IN DECOMPOSITION OF ORGANIC MATTER IN SOIL**

**Kazimir Tarman**

E-mail: kazimir.tarman@guest.arnes.si

---

*Prof. Dr. Kazimir Tarman is a Professor of Animal Ecology. He gave lectures on Zoogeography and Chordate Biology at the Department of Biology, University of Ljubljana. His field of research is Pedozoology, especially high diversity of soil fauna, structure of soil biocenosis and their role in decomposition of organic matter and the origin of fertile soil. He studied taxonomy, zoogeography and ecology of Oribatidae in Slovenia and western Balkan. He received the Unesco scholarship to visit Rothamsted Experimental Station in Harpenden, UK. He was the president of the Slovenian Natural Society in 1988–1995. He is the author of many scientific, expert and popular science articles, and of books Man and nature (1964), The living world of soil (1965), Why – because in ecology (1975), Ecology (1997, secondary school textbook), Basis of ecology and animal ecology (1992, university textbook) (summarized from Proteus 2/61, 1998).*

ugh the action of worms with observation of their habits« (1881). Mnogo let kasneje se je preučevanja živega sveta v tleh lotil nemški biolog R.H.Francé in takratno znanje strnil v delu: Das Edaphon (1912) in populariziral v knjigi »Das Leben im Ackerboden« (1922).

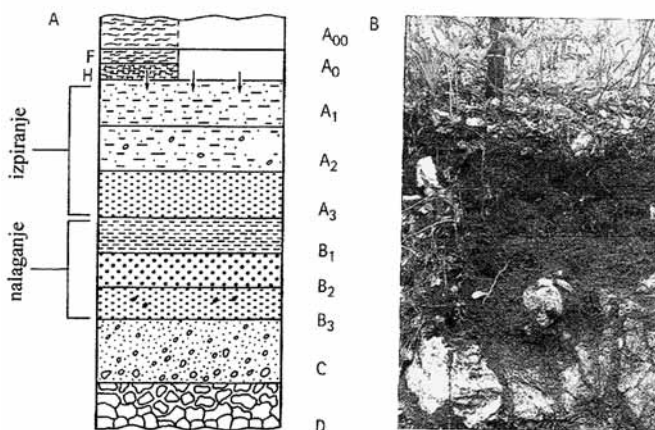
Medtem ko sta bila kemija tal in mikrobiologija tal, uveljavljeni vedi, se je zoologija tal začela uveljavljati po izidu dela »Soil zoology«, zbornika razprav iz Second Easter School in Agricultural Science (1955) univerze v Nottigham. Po pobudah profesorjev: W. L. Kubiene, W. Kühnelta, E. J. Ruslla, D. K. McE. Kevana, H. Franza, G. O. Evansa, P. W. Murphija, W. Tischlerja, C. O. Nielsena, Nielsa Haarlóva, A. Macfadyena in M. S. Ghilarova se je zanimanje za pedozoologijo naglo širilo. Sedaj je to področje ekologije vzporednica precej starejši limnozoolgiji.

V Sloveniji smo začeli s tovrstnimi raziskovanji na Biološkem oddelku BF in na Inštitutu za biologijo na Univerzi v Ljubljani. Predavanja iz tega področja so bila del predavanj iz ekologije živali. Vzporedno je potekalo tudi posebno predavanje »pedozoologija« v okviru zoekološke usmeritve. Javnosti sem predstavil pedozoologijo z delom: »Živi svet prsti« (1965). Obsežen sistematski pregled živalstva tal je napisal Narcis Mršič (1997): »Živali naših tal«. Delo na tem področju nadaljujejo sodelavci Katedre za ekologijo, na Oddelku za biologijo BF pod vodstvom Ivana Kosa.

V tej obravnavi se bom omejil na živalsko komponento tal, na t.i. pedofavno. Pedološki pogled in mikrobno komponento tal bom vključil le po potrebi.

### Biodiverzitetna pedofavna

Pogled v vzorec tal, pridobljen s sušenjem na Berlesejevem lijaku ali na »mokrem« Baermannovem lijaku, pokaže veliko raznovrstnost. Po navadi je v vzorcu do 100 in več vrst. Prevladujejo drobni členonožci ali mikroartropodi (pršice in skači) oz. praživali in talne gliste. Zaradi preglednosti razvrščamo talne ali edafske živali v skupine. Razdelimo jih lahko po navezanosti na življenje v tleh in po njihovih aktivnostih (slika 1) v:



**Slika 1:** Pedološki profil tal z označenimi plastmi. A00 – poslednji opad, A0 – star in bolj ali manj razkrojen opad (F – fermentativni sloj; H – humusni sloj), A1 – humus pomešan z mineralnimi delci, A2 do B3 – pretežno mineralni del, C – preperela matična kamnina, D – matična kamnina (iz Brauns, 1968).

1. *evedafon* sestavljajo pravi prebivalci tal, ki preživijo vse svoje življenje v notranjščini tal (npr. talne gliste, večina pršic in skakačev);
2. *hemiedafon* sestavljajo vrste, ki prehajajo iz notranjščine tal na površino in obratno (npr. raki enakonožci, stonoge, suhe južine, nekateri skakači);
3. *epiedafon* sestavljajo površinske vrste (npr. pajki, suhe južine), ki se zatečejo v rove le občasno (npr. beg pred plenilcem, umik pred neugodnimi vremenskimi razmerami itd.).

Razdelimo jih lahko tudi glede na razvojni krog:

1. *stalni prebivalci tal* (npr. praživali, talne gliste, večina pršic in skakačev) ustrezajo zgoraj omenjenemu evedafonu;
2. *periodični prebivalci tal*, ki pogosto zlezejo iz tal na površje, njihov razvojni krog pa poteka v notranjščini tal (npr. mokrice, stonoge, strige);
3. *občasni prebivalci tal* (npr. ličinke dvokrilcev, hroščev);
4. *prehodni prebivalci tal* (odrasle žuželke, ki iščejo v tleh skrivališče, prenočišče ali varstvo pred neugodnimi dejavniki okolja).

Najpogosteje pa jih razdelimo glede na telesno dolžino in sicer v naslednje velikostne razrede (van der Drift, 1951):

1. *mikrofavna*, (dolžina do 100  $\mu\text{m}$ ): praživali, talne gliste, kotačniki;
2. *mezofavna*, (od 100  $\mu\text{m}$  do 2 mm): pršice, paščipalci, drobnonožke; proturi, skakači, dvorepke, ščetinorepke;
3. *makrofavna*, (od 2 mm do 20 mm): beli deževniki, suhe južine, mokrice, strige, dvojnonoge;
4. *megafavna*, (od 20 mm naprej): deževniki, rovke, voluharice, krti.

Opredelitev po velikostnih razredih se nanaša na večino vrst, ki sestavljajo navedeno taksonomsko skupino. Posameznike v skupinah pa bi lahko po telesni dolžini uvrstili tudi v sosednji razred.

Po številčnosti so zaradi telesne drobnosti najbolj zastopane skupine, ki jih uvrščamo v mikrofavno. Sledijo jim pripadniki mezofavne (včasih poimenovane tudi meiofavna).

Po načinu prehranjevanja oz. izbiranju hrane jih delimo v:

1. *bakteriovori*: se hranijo z bakterijami – praživali, gli-

- ste, mnoge roženaste pršice, ki jedo organske ostanke obrasle z bakterijami;
2. *fungivori*: pršice, skakači, ličinke žuželk, ki jedo trose in hife gliv;
  3. *mikrofitofagi*: se prehranjujejo z algami – pršice, skakači;
  4. *saprofagi in nekrofagi*: vrste, ki jedo mrtve in gnijoče organske ostanke (hkrati še mikrobe, ki jih obraščajo), pretežni del mezo- in makrofavne tal;
  5. *ksilofagi*: vrste, ki se hranijo z lesom v razpadajočih štorih, vejah in deblih – žuželčje ličinke, med roženastimi pršicami fitakaride in liakaride (*Phthiracarus*, *Liacarus*);
  6. *fitofagi (herbivori)*: vrste, ki obzirajo rastlinske koreninice – žuželčje ličinke (ogrci, strune), bramor, voluharice, sem lahko prištejemo mikrofitofage;
  7. *zoofagi (karnivori)*: plenilske vrste – nekatere gliste, plenilske pršice, paščipalci, suhe južine, pajki, plenilski hrošči (kratkokrili, pselafidi), rovke, krti;
  8. *nespecialisti*: mnoge vrste iz različnih taksonomskih skupin.

Velike vrednosti tako v številu prisotnih vrst in številčnosti njihovih populacij dosega tudi mikroartropodi tal. Po številu vrst so bogato zastopane pršice in med temi posebno roženaste pršice (Oribatida). Raziskave naših gozdnih tal so pokazale njihovo skupno gostoto (seštevek osebkov vseh populacij) od 50.000 do 300.000 osebkov na kvadratni meter. Število vrst v enoletnem preseku pa je od 80 do 150 na kvadratni meter. Vrstni sestav se spreminja z letnimi časi. V travniških tleh je skupna gostota 5- do 10-krat manjša, manjše pa je tudi število vrst. Najrevnejša so njivska tla, predvsem zaradi pomanjkanja organskih snovi, ki so hrana roženastih pršic.

Druga zelo številčna skupina mikroartropodov tal so skakači (Collembola).

Z naraščanjem telesne velikosti postanejo populacije prisotnih vrst manjše, kar pa nikakor ne zmanjšuje njihove ekološke vloge v tleh. O tem pa kasneje.

### **Abiotski dejavniki**

V navpičnem preseku, *pedološkem profilu*, so tla večplastna tvorba. Pri tem mislim na površinski del tal, ki leži nad trdno skalnato ali prodnato podlago. Pedologi ozna-

čujejo plasti v profilu, imenovane *horizonti*, s črkami in številkami (slika 1).

Tla (zemlja, prst) so proizvod medsebojnega delovanja različnih dejavnikov: kamninske podlage, reliefa, podnebja, mikrobov, rastlin in živali ter časa njihovega delovanja. Vsi ti dejavniki določajo ekosistemske procese, npr. strukturo in dinamiko življenjske združbe, primarno in sekundarno produkcijo, dekompozicijo opada in kroženje snovi. Posledica tega je razvoj tal, značilen za določen ekosistem (npr. tla na karbonatnih ali silikatnih tleh, tla na rastiščih smreke ali listopadnih gozdov itd.).

S pedobiološkega gledišča, še posebej pedofavne, so najbolj zanimivi zgornji horizonti, ki vsebujejo največ organskih snovi, katerih poreklo je predvsem rastlinski opad (odpadlo listje, cvetovi, pelod, plodovi, veje, mrtve koreninice itd.). V teh plasteh živi in deluje večina mikrobov in talnih živali. Čim globlje se spuščamo proti trdni podlagi, tem manj je talnih živali. Vzroki za upadanje njihove številčnosti niso le v pomanjkanju organskih snovi ali hrane, ampak tudi v spremembah drugih abiotskih dejavnikov okolja. Poglejmo kakšni so in kako vplivajo na življenje edafskih živali.

### **Prostorčki v tleh**

Za edafon v celoti so pomembni prostorčki v tleh. V zgornjem delu talnega profila je med odpadnimi listi dovolj votlinic. Globlje, kjer je več mineralnih sestavin, sta velikost in obseg votlinic odvisna od grudičavosti zemlje. V grudice so zlepljeni mineralni (pesek, melj in glina) in organski delci (predelani ostanki rastlinskih in živalskih teles). Grudice so različnih velikosti in oblik, med njimi nastajajo zato drobne votlinice in kanalčki. Od razmerij med peskom, muljem in glino je odvisna poroznost tal. Iz obdelovalnih izkušenj vemo, da so tla, v katerih prevladujejo peščeni delci rahla, pravimo tudi lahka. Kjer pa je med mineralnimi delci več glinenih, so tla zbita in težka.

Pomemben dejavnik, ki odloča o strukturi tal je vnos organskih snovi in živi svet tal. Pri tvorbi grudic so pomembne bakterije, glive, rastlinske koreninice in humus (proizvod razkroja opada). Poroznost tal, ki jo ustvarjajo prostorčki med grudicami, je važna za življenje talnih živali (slika 2). Pore napolnjujejo zrak, voda (v njej raztopljene soli) in vodne pare. Delce pogosto obdaja zelo

tanek vodni sloj ali vodni film. Voda v porah in vodni film so bivališče talnih praživali, kotačnikov in počasnikov. Z vodno paro nasičeni zračni prostorčki pa so okolje za pripadnike mezofavne.

Večje rove in votline v tleh izdelujejo predstavniki makrofavne, npr. mravlje, termiti, bramorji, murni in ličinke žuželk, kot so ogrci, strune ali ličinke škržatov. Deževniki s predelavo zemlje v prebavilih in z iztrebki utrjujejo grudičavost tal. K prevrtanosti tal dodajo znaten delež še vrste iz razreda megafavna. Pri nas so to deževniki, krti in voluharice. Njihovi rovi omogočajo živalim, ki nimajo možnosti aktivnega kopanja in ritja, podzemna premikanja in selitve. Med te pa sodijo vse vrste mezofavne in mnoge vrste makrofavne (mokrice, strige, dvojnonoge). Možnost preseljevanj, v horizontalni in vertikalni smeri, je zanje življenjsko pomembna, npr. pri iskanju zatočišč globlje v tleh ob suši ali umik v površinske dele,



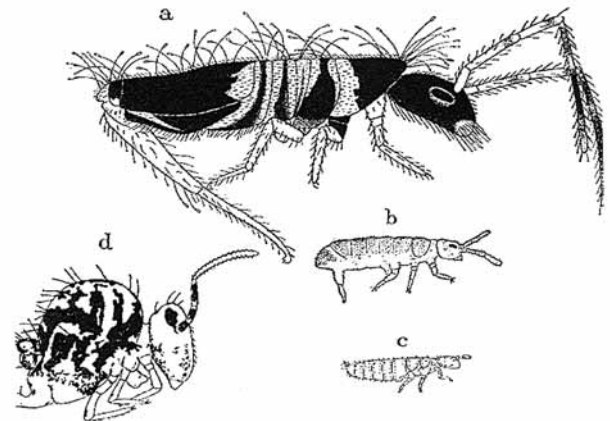
**Slika 2:** Podrobnejši pogled v zemljo ali prst, ki jo sestavljajo mineralni delci (m. d.), organski delci (o. d.), prostorčki z vodno paro (p. z. v. p.) in vodni film okoli trdnih delcev (v. f.), (original).

ko deževnica zaliva talne votlinice. Kot bomo videli v nadaljevanju se z njihovimi premiki v notranjščini tal premeščajo snovi v profilu tal. Gre za mešanje mineralnih in organskih snovi, ki je pomemben del tlotvornega procesa.

Ker so premeri rogov in votlinic majhni je telo vrst, ki pripadajo mezofavni, ustrezno prilagojeno. Večina mikroartropodov (pršice, skakači) ne preseže dolžine 1 mm. Oblika telesa je kroglasta, elipsoidna ali valjasta (roženaste in plenilske pršice, skakači). Pogosto je telo, ki se

premika med grudicami tal z zvijanjem, »kačasto« in členjeno (drobnonožke, strige, geofilidi črvičarji, kačice).

Nazoren primer prilagoditev na življenje v tesnih votlinicah tal kažejo skakači. Posamezne vrste naseljujejo profil tal od površine do globine. Epiedafske vrste, ki bivajo med listi opada, so največje, imajo razvite skakalne vilice ali furko, dolge tipalnice, ocele in v koži barvila. S furko hitro preskakujejo (*Orchesella*, *Entomobrya*). Tiste iz globljih plasti, ki živijo v majhnih prostorčkih so drobnejše, manj pigmentirane, njihove tipalnice in furke so krajše. Evedafske vrste iz notranjščine tal (*Onychiurus*, *Tullbergia*) so bele, njihovi oceli in furke so zakrneli (slika 3). V tesnih prostorčkih bi bile dolge tipalnice v napoto pri gibanju, skakati pa tam tudi ni mogoče. Oči so v popolni temi odveč. Evolucija prilagoditev je gospodarjenje z dobrinami! Vlaganje energije v nepotrebne organe bi bila potrata!



**Slika 3:** Telesne prilagoditve skakačev glede na velikosti talnih prostorčkov (dolžina tipalnic, dolžina skakalnih vilic, prisotnost oči, pigmentiranost): a – *Entomobrya* – je prebivalka površine tal; b – *Proisotoma* je prebivalka zgornji delov tal (A00, A0); c- *Tullbergia* – je prebivalka globljih delov tal; d – kroglasti skakač (*Sminthurus*), prebiva v zeliščnem sloju (iz Schaller, 1962).

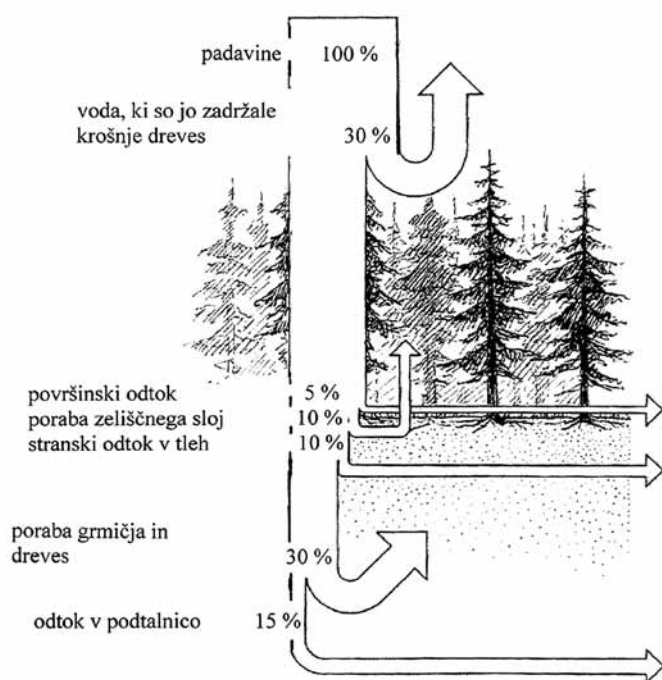
### Voda v tleh

Izvor vode v tleh so padavine. Poti deževnice, ki se je zlila nad gozdom kaže slika 4. Za pedofavno je odločujoč delež padavinske vode, ki omoči tla in ponika (po shemi približno 10 % od skupne količine padavin) v globino. Seveda padavinska voda odteka skozi talni profil počasi. Ko del deževnice, t.i. gravitacijska voda, odteče iz vo-



tlinic med grudicami, ostanejo v tleh kapilarna voda in vodni film okoli delcev tal ter vodne pare. Z organskimi snovmi bogata porozna tla imajo veliko kapilarno kapaciteto. Kapilarni prostorčki z vodo so življenjsko okolje vodne mikrofavne. Od vodnih par v večjih votlinicah so odvisni pripadniki mezo- in makrofavne. Stopnja vlažnosti znaša v njih od 95 % do 100 % relativne vlage. Pravo merilo za odnos živali do vlažnostnih razmer pa je »saturacijski deficit«, to je razlika med dejanskim tlakom vodnih par v zraku in maksimalnim tlakom vodnih par pri dani temperaturi zraka. Od velikosti te razlike je odvisna evaporativna moč zraka oz. hitrost in velikost izparevanja vode iz telesa živali. Higroskopsko in kemično vezana voda je pedofavni nedostopna.

Zanimivo je, da so pripadniki praživali, kotačnikov, glist in počasnikov, ki prebivajo v kapilarnih prostorčkih tal telesno manjši od sorodnikov, ki živijo v površinskih vodah. Ni še pojasnjeno ali gre za nanizem (»pritlikavost«)



**Slika 4:** Porazdelitev padavin v gozdnem ekosistemu (iz Brauns, 1968).

površinskih vrst ali pa so v tleh živeči predstavniki druge vrste talnih živali. Ugodna lastnost kapilarnih prostorčkov je, da zadržujejo vodo tudi ob suši.

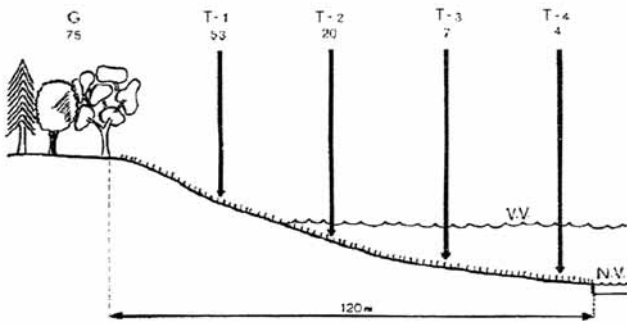
Kjer se tla občasno izsušijo preživijo vodne živali sušna

obdobja v mirujočem latentnem stanju. Njihovo telo se posuši, izgubi vodo (dehidrira). Sušo in pregretost tal prebijejo v cisti (praživali) ali anabiozi (kotačniki, počasniki). Ob naslednjem dežju se »prebudijo« in ostanejo aktivni do naslednje izsušitve tal.

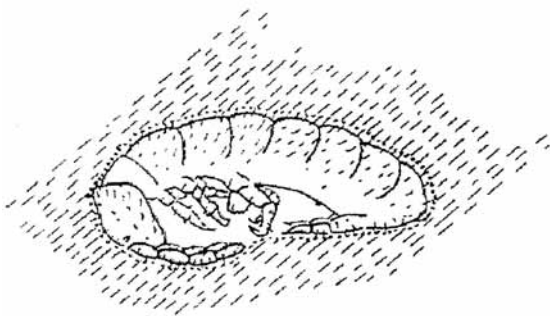
Kopenske talne živali, ki živijo v zračnih votlinicah in v rovih, potrebujejo določeno stopnjo vlažnosti zraka. Za izsušitev občutljivi deževniki se umaknejo v globino, zlezejo tja do matične kamnine. Manj jih prizadene poplavljanje tal. V hladnem obdobju leta so osebkovi vrst *Lumbricus rubellus* in *L. terrestris* preživeli do 50 tednov trajajočo poplavo. Po navadi deževniki ob deževju prilezejo iz rogov in se plazijo po površini. Razlage za ta pojav so različne. Eni pripisujejo to vedenje pomanjkanju kisika v vodi, ki zalije živali v rovih. Drugi ugotavljajo, da so deževniki za pomanjkanje kisika dokaj neobčutljivi in da kisika zmanjka šele po dolgotrajnem deževju. Zapuščanje rogov povezujejo s povečanjem aktivnosti v namočenih tleh. Deževnike, ki tedaj zaidejo na trde poti in asfalt, ubijajo UV-žarki sončne svetlobe, izsušitev in plenilci. Pri višjih temperaturah (poleti) ubija deževnike in bele deževnike voda, ker vdira skozi njihovo kožico in povzroči nabrekanje tkiv. Podobno so za potopitev občutljive tudi v tleh živeče ličinke žuželk.

Večina pripadnikov mezo- in makrofavne tal kaže higrofilno vedenje in se zbirajo na vlažnih mestih. Kserofilne vrste, ki izbirajo suha mesta, so izjema. Večina roženastih pršic ne preživi 12 do 24 urnega bivanja v suhem zraku (Riha, 1944; Madge, 1964; Hayes, 1966). Le najbolj odporne vrste so v suhem zraku preživele tri dni (vrste rodov *Platyliodes*, *Pelops*, *Cepheus*, *Carabodes*, *Galumna*). Podobno velja za skakače in ličinke žuželk. Zelo občutljive vrste skakačev, npr. *Isotomurus palustris* in *Onychiurus armatus*, preživijo v popolnoma suhem zraku le 7 do 12 minut. Odpornejši vrsti *Xenilla maritima* in *Entomobrya multifasciata* preživita v enakih pogojih 4 do 5 ur. Hkrati so mnoge vrste roženastih pršic in skakačev sposobne preživeti daljše potopitve. To kažejo vzorčenja travniških tal na profilu od Stržena do gozdnega obrobja (jelovo-bukov gozd) na Cerkniskem jezeru (slika 5; Tarman, 1972). Tudi vrste, ki živijo v šotnih barjih (Kostanjica na Ljubljanskem barju, poključsko barje Šijec, pohorska barja), imajo večjo toleranco do potopitev. Vrste z omejeno močjo gibanja, ki se pred poplavami ne morejo umakniti na obrobje (npr. mezoartropodi tal), preživijo v »zračnem mehurčku«, ki ovije njihovo ščetinasto telo (slika 6).

Zračni mehurček deluje kot »fizikalne škrge«, skozi kožico površinske napetosti sprejema živalca iz vode kisik in vanjo oddaja ogljikov dioksid. V stanju mirovanja je presnova osebka zavrta in poraba kisika zmanjšana.



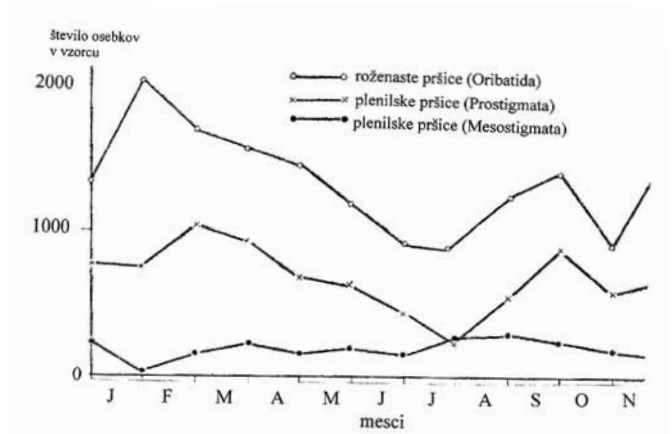
**Slika 5:** Periodično poplavljanje Cerkniškega jezera določa vrstno sestavo v obrežnem travniku (T-1 do T-4) glede na dolžino poplave. Število vrst se zmanjšuje od gozda (G) proti potoku Strženu (N.V.) (iz Tarman, 1972).



**Slika 6:** Okoli telesa potopljenega členonožca (v tem primeru skakača) nastane mehurček zraka, ki deluje kot »fizikalne škrge« in omogoča preživetje poplave (iz Dunger, 1964).

S spreminjanjem vlažnosti tal z menjavanji sušnih in deževnih obdobij, se spreminja tudi številčnost populacij. Pri mnogih vrstah so značilni populacijski maksimumi v spomladanskem in jesenskem padavinskem obdobju. Pogosto je to čas njihovega razmnoževanja (slika 7).

Vlažnost tal vpliva tudi na prehranjevalno vedenje talnih živali. Znanе strune pokalic (Elaterida) se v trajno vlažnih tleh hranijo z mrtvimi organskimi ostanki, če jih je v zemlji dovolj. V suhih tleh objedajo rastlinske koreninice, in to ne le zaradi hranjenja, ampak s sočno hrano nadomeščajo izgubo telesne vode. Podobno se, v suhih tleh, obnašajo sicer saprofage dvojnonoge.



**Slika 7:** Dinamika populacijske številčnosti posameznih skupin pršic po posameznih mescih glede na padavinske in sušne menjave. Značilni so vrhovi krivulj v pomladanskih in jesenskih »mokrih mescih«, s čimer sovpada tudi reprodukcija teh živali (iz Burges-Raw, 1967).

**Zrak v tleh**

Votlinice v tleh so zalite z vodo ali pa je v njih zrak. Količinsko razmerje med njima se pogosto spreminja. Razmerje je odvisno od raznih dejavnikov, npr. velikosti trdnih delcev, premera votlinic, padavin, pretakanja vode v horizontalni in vertikalni smeri, globine organskega opada, stopnje njenega razkroja in dejavnosti živali, ki rijejo v tleh in puščajo za seboj rove. Kot smo že omenili se voda ohranja dlje v kapilarnih prostorčkih in vodnem filmu, v večjih votlinicah pa je vlažen zrak. Sestava zraka v votlinicah je odločujoč dejavnik za preživetje tam živečih živali. Poleg vlažnosti je zanje pomembno še razmerje med kisikom in ogljikovim dioksidom.

Sama zgradba tal ovira pretok zraka skozi talne prostorčke. Hkrati talni organizmi in rastlinske koreninice porabljajo O<sub>2</sub> in izločajo CO<sub>2</sub>. Posledica tega je drugačno razmerje med plini v tleh, kot je v zraku nad tlemi. Delež O<sub>2</sub> je manjši in večji delež CO<sub>2</sub>, ki se z globino povečuje. Razmerje med O<sub>2</sub> in CO<sub>2</sub> se spreminja z letnimi časi. V toplih deževnih obdobjih povečana vlažnost tal pospeši razpadanje organskih ostankov in s tem poveča porabo O<sub>2</sub>, zato narašča delež CO<sub>2</sub>. Delež O<sub>2</sub> v talnem zraku je 20,6 % (zrak nad tlemi 20,97 %) in CO<sub>2</sub> 0,25 % do 0,7 % (v zraku nad tlemi 0,03 %). V skrajnih primerih lahko doseže CO<sub>2</sub> tudi 3- do 10-odstotni delež. Dnevna poraba O<sub>2</sub>, izmerjena v tleh na Rothamsted Experimental Station Anglija, znaša od 0,7 do 24,0 g . m<sup>-2</sup> in količina

izločenega CO<sub>2</sub> 1,2 do 35,0 g . m<sup>-2</sup> (Wood, 1995). Količina CO<sub>2</sub>, ki se izloči iz tal v enem vegetacijskem obdobju znaša približno 12.000 kg. hektar<sup>-1</sup>. Dve tretjini tega proizvedejo mikrobi in edafske živali in eno tretjino rastlinske koreninice (iz Braunsa, 1968). Vsebnost CO<sub>2</sub> urejajo tudi v tleh navzoči karbonati. Nastajajoči topni bikarbonati odtekajo v podtalnico.

Strpnost predstavnikov pedofavne do sprememb v sestavi zraka v tleh je različna. Bramorji so npr. na pomanjkanje O<sub>2</sub> zelo občutljivi. Visoko strpnost do pomanjkanja O<sub>2</sub> imajo ličinke žuželk (strune, ogrci). Pri pomanjkanju tega postanejo anoksibionti. Tudi mezoartropodi imajo visoko stopnjo tolerance. Strpnost deževnikov do povečane koncentracije CO<sub>2</sub> povezujejo z »apneninimi žlezami« ob požiralniku. Iz njih se izločajo v požiralnik kalcitni kristalčki. Obstojata dve hipotezi o vlogi teh žlez. Po prvi je zaradi presežkov CO<sub>2</sub> v atmosferi tal ovirana difuzija CO<sub>2</sub> iz telesa deževnikov. CO<sub>2</sub> v krvi in ostalih tkivih deževnikov se veže s kalcijevimi ioni iz apnenih žlez v kalcit in potem izloči z iztrebki iz črevesa. Po drugi pa se tako izloča prebitok apnenca, ki ga sprejmejo deževniki s hrano. Na manjši delež kisika so edafske živali dokaj neobčutljive. Spodnji prag strpnosti je približno 5 % kisika v talni atmosferi.

Načini prezračevanja notranjščine tal so različni. Počasna izmenjava plinov med površino in notranjostjo poteka z difuzijo. Hitrejšo izmenjavo povzročijo padavine. Deževnica z gravitacijskim odtekanjem in izhlapevanjem prazni votlinice in vanje povleče zrak s površine. Tudi spremembe v zračnem tlaku prezračujejo tla. Hitrost prezračevanja je odvisna od vrste tal in pornega volumna tal. Čim več je votlinic in čim večje so, tem hitreje poteka izmenjava zraka med tlemi in površino. Nezadostna prezračevnost tal in pomanjkanje O<sub>2</sub> prizadene koreninice rastlin. Namesto aerobnih procesov se začnejo anaerobni. Poleg CO<sub>2</sub> in metana nastajajo še organske kisline (mlečna, maslena, citronska itd.). Spremeni se tudi sestava pedocenov. Dobro prezračevnost vzdržujejo deževniki s svojim omrežjem rogov.

### Toplotne razmere v tleh

Temperatura tal je odvisna od temperature površinskega zraka in sončnega sevanja. Na ogretost tal vplivajo še rastlinska odeja (gola ali s travno rušo ali gozdom porasla tla), vsebnost vode v tleh in globina tal. Značilna so dnevno-nočna in sezonska nihanja temperature tal.

Od temperature tal sta odvisni vlažnost (spremembe tlaka vodnih par, sušenje tal) in sestava zraka v tleh (vpliv na porabo kisika in nastajanje ogljikovega dioksida). Pedofavna izbira nižje temperature. Za večino pršic in skakačev so najugodnejše temperature med 5 in 10 °C. V zvezi s termalno preferenco so pri njih odkrili 24-urni krog vertikalnih selitev (Tarras-Walberg, 1961; Wallwork in Rodriguez, 1961).

Strpnost do večjih nihanj temperature tal je pri različnih predstavnikih pedofavne različna. Največja temperaturna nihanja so v suhih, apnenčastih tleh in na prisojnih travnatih območjih. Gozdna, humusna tla v gorskih dolinah, kjer prevladuje glina, so hladna, temperaturna nihanja v njih pa majhna. Obseg temperaturnih nihanj upada z globino tal. To izkoriščajo talne živali, ki lahko s premikanjem poiščejo ustrezno mesto v tleh. V zvezi s tem so dnevno-nočne in sezonske migracije talnih živali.

Na višje temperature so edafske živali zelo občutljive, zato izbirajo hladnejša mesta. Večina predstavnikov pedofavne odklanja območja s temperaturami nad 15 do 20°C. Termofilijo opazujemo pri redkih vrstah. Le izjemno odporne vrste, npr. skakač *Proisotoma termophila* preživi daljši čas pri temperaturi 50°C. Termofilne so nekatere ščetinorepke (srebrne ribice). Pogostejše so v južnejših območjih, na suhih in toplih apnenčastih tleh.

Odpornost proti nizkim temperaturam je pri talnih živalih razširjen pojav. Večje živali, ki so sposobne kopati rove, se pozimi umaknejo globlje, kjer ne zmrzuje. Predstavniki mezofavne pozimi brez škode zamrznejo in otrpli preživijo do pomladi. Ko zmrzal popusti, so znova aktivni. Mnogi so aktivni celo pod snežno odejo. Spomladi, v času taljenja snega, prilezejo nekateri skakači na snežno odejo. Tam se hranijo z organskim prahom in pelodom, ki ga nanosi veter.

### Svetloba v tleh

Prave talne živali so fotofobne. Fotofilne so le vrste, ki zlezejo pod odpadlo listje ali v tla občasno, ker se tam skrivajo, ali zlezejo v tla na prezimovanje. Ko se razmere na površini ugodne tla zapustijo.

Večina evedafskih vrst je občutljivih za UV sevanje sončne svetlobe. Malo strigo skutigerelo (*Scutigera immaculata*) ubije že krajše izpostavljanje svetlobi. Povečano občutljivost na UV-sevanje nimajo le »mehkokožnate«

vrste, kot so deževniki, mali deževniki in mnoge ličinke žuželk, marveč tudi trdno oklepljene pršice in v tleh živeči hrošči (Pselaphidae, Scydmenidae itd).

Glede na odsotnost svetlobe v notranjščini tal so mnoge vrste talnih živali nepigmentirane in slepe. Gre za podoban pojav kot pri živalih iz podzemnih jam. Povsem bele so praživali, kotačniki, talne gliste, mali deževniki (Enchitreidae), nekatere drobne mokrice (*Mesoniscus*, *Oroniscus* itd.), dvojnoga žervezija (*Gervaisia*), proturi (Protura), mnogi skakači (Onichiuridae), roženaste pršice (Brachychthoniidae, Cosmochthoniidae) in njihove ličinke ter nimfe, pršice akaridije (Acarididae). Temno rjavo obarvanost, včasih prav črno, zaradi melaninov v koži, imajo med listnim opadom živeče vrste roženastih pršic, suhe južine, hrošči in dvojnoge. Nekatere od roženastih pršic (*Oppia*) in plenilskih pršic (*Pergamasus*) imajo jantarno rjavo obarvanost hitinjače. Škratnordeče barve so žametne pršice (*Trombidium*). Rožnatih barv so mnogi deževniki, mokrica rožnati prašiček (*Androniscus roseus*) in plenilska rožnata pršica (*Rhodacarus roseus*). Oranžnorumene so vrste oranžnih pršic (Labidostomidae). Temno-modra se pojavlja pri skakačih (*Achorutes*). Izrazito zelen je zeleni deževnik (*Allolobophora chlorotica*).

Slepim vrstam pomagajo pri orientaciji v prostoru dolge tipalne dlačice na nogah in trupu, svojevrstni parni trihobotrični organi (pršice, posebno roženaste pršice) in kemoreceptorji (voh). Čeprav je večina roženastih pršic brez vidnih fotoreceptorjev, smo jih s histološko obdelavo našli pri nekaj vrstah (rodovi: *Hydrozetes*, *Ceratozetes*, *Galumna*, *Pelops*, *Peloptulus*). Pod svetlo (prosojno) pego na sprednjem delu hrbtnega ščita sta nameščeni parni »retini« (v notranjost pogreznjene oči). Po vsej verjetnosti gre za evolucijske rudimente nekoč normalno razvitih oči (Tarman, 1961).

### Kemične lastnosti tal

Kemija tal ima za živali posreden vpliv, ker določa strukturo tal, fizikalne in mikroklimatske razmere in vpliva na sestavo mikrobnih združb. Kemične lastnosti matične kamnine navadno na živali nimajo neposrednega vpliva. Izjema je vsebnost kalcija v tleh, ki je potreben za tvorbo hišic (polži) in impregnacijo hitinskih oklepov (mokrice, dvojnoge, deloma tudi roženaste pršice). Večina tal vsebuje dovolj dostopnega apnenca in je t. i. navezanost

vrst na apnečasto podlago bolj navidezna zahteva. Pravi vzrok je v toplotni in vlažnostni primernosti apnenčastih tal (kserotermofilne vrste).

Tudi zveza med pH-reakcijo tal in edafskimi živalmi je v večini primerov posredna. Še posebno velja to za pršice, skakače in ličinke žuželk. »Acidofilnost« ali »bazofilnost«, ki jo pripisujejo nekaterim vrstam skakačev in pršic, je povezana s prehrano z določenimi glivami in bakterijami, ki pa so neposredno odvisne od pH-reakcije tal. Nevro- ali bazofilnost polžev, mokric in dvojnog ima vzrok v dostopnosti kalcija.

Neposredno vpliva pH-reakcija tal na deževnike, saj izbirajo za življenje tla katerih pH = 5,5 do 8,0. Prevelika kislost ali alkalnost jim poškoduje kožo, ovira dihanje in zmanjšuje učinkovitost prebavnih encimov.

### Številčnost in biomasa

Številčnost je v neposredni povezavi z velikostjo živali. Čim manjše so, tem večja je njihova številčnost. Tudi v tleh velja Eltonov princip, ki pravi, da sta »telesna velikost in naselitvena gostota živali v obratnem razmerju«. Vrste mikrofavne štejejo od 10.000 do 1.000.000 osebkov v 1 g gozdne zemlje. Stöckli navaja v 1 g zemlje 1.000.000 bičkarjev, 500.000 korenonožcev in 1000 migetalčarjev (iz Dunger, 1964). Pregled naših vzorcev gozdnih tal je pokazal, da živi v plasti tal veliki 1 m<sup>2</sup> in debeli 15 cm od 120.000 do 300.000 roženastih pršic. Po številu vrst so travniška in njivska tla precej revnejša. Zanimivo in še vedno nepojasnjeno ostaja vprašanje o sobivanju tolikega števila vrst ob nejasni diferenciaciji njihovih ekoloških niš. Preferenčni poskusi pri prehrani roženastih pršic so pokazali, da izbirajo temno pigmentirane glive (Demantiacea). Zato sta Schneider in Marun (2005) skovala zanje pojem »prebiralni generalisti«. Generalisti zato, ker imajo širok jedilnik, a prebiralni pa

**Tabela 1:** Število vrst roženastih pršic in osebkov v različnih ekosistemih (Tarman, 1999)

Ekosistem/ tla	Število vrst	Število osebkov na 1 m <sup>2</sup> in zgornjih 15 cm plasti tal
gozd	140	120.000–300.000
travnik	80	40.000–80.000
njiva/vrt	5	do 8000

zato, ker izbirajo visoko kakovostno hrano, kadar imajo možnost izbire.

Drugo, ekološko ustrežnejšo mero velikosti populacij, ponujajo podatki o njihovi biomasi. Kajti biomasa je nosilka metabolnih procesov. Spodnja, nekoliko prirejena tabela 2 (Dunger, 1964), pokaže primerjavo med številčnostjo in biomaso za posamezne skupine talnih živali. Za primerjavo naj povemo, da mikrobi tal po številčnosti in biomasi močno presegajo edafske živali. Njihove populacije, v zgoraj navedenem bloku tal, dosežejo večbilijonske velikosti in biomaso 250 do 2000 g. Tudi deževniki po biomasi izrazito presegajo vse ostale skupine skupaj. Navedeni podatki številčnosti ali biomase na enoto površine so le ocenitve, saj predpostavljajo enakomerno porazdelitev osebkov po prostoru. Razmere v tleh, ki vplivajo na prisotnost organizmov, pa se med vzorčnimi mikrolokacijami razlikujejo in zato so osebki bolj ali manj gručasto porazdeljeni. Zato so v tabeli navedene vrednosti le orientacijske. Razmerja se spreminjajo tudi s spremembami dejavnikov okolja. Rezultati so odvisni tudi od metod in tehnike vzorčevanja. Z gledišča preso-

janja vloge edafskih živali pri dekompoziciji organskih ostankov preseneča paradoks med njihovo številčnostjo in biomaso.

Navedbe v tabeli so povzete po podatkih različnih avtorjev in se nanašajo na evropska tla.

Prikazovanje številčnosti in biomase posameznih skupin s posploševanjem podatkov iz majhnih vzorcev na večje površinske ali volumenske enote, npr. na 1 m<sup>2</sup> ali 1 ha oz. 1 dm<sup>3</sup> ali liter, je pogosta metoda poudarjanja njihove ekološke vloge. Tako je Stöckli (iz Braunsa, 1968) zapisal: »V favni tal prevladujoči deževniki v Švici s skupno težo za osemkrat presežejo težo prebivalstva.« Tischler (1955) navaja primerjavo med težo deževnikov v 1 ha pašnika v deželi Schleswig-Holstein (Nemčija) in težo pasočih se krav. Skupna teža vseh deževnikov na 1 ha pašnika znaša 2000–3000 kg in ustreza skupni teži treh krav (2000 kg), ki se pasejo na isti površini. Seveda je poudarjati pomen skupine na ta način napačen, saj gre za metabolno dve različni skupini: ekto- in endotermne živali.

#### ***Biotske povezave talnih živali.***

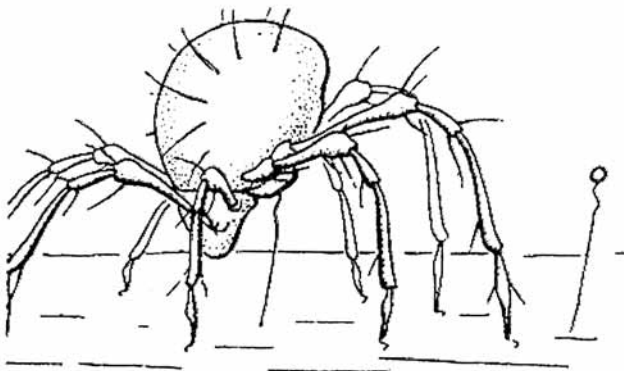
Med raznovrstno množico edafskih organizmov se sple-tajo intraspecifični (med predstavniki iste vrste) in interspecifični (med različnimi vrstami) odnosi.

#### **Intraspecifični odnosi**

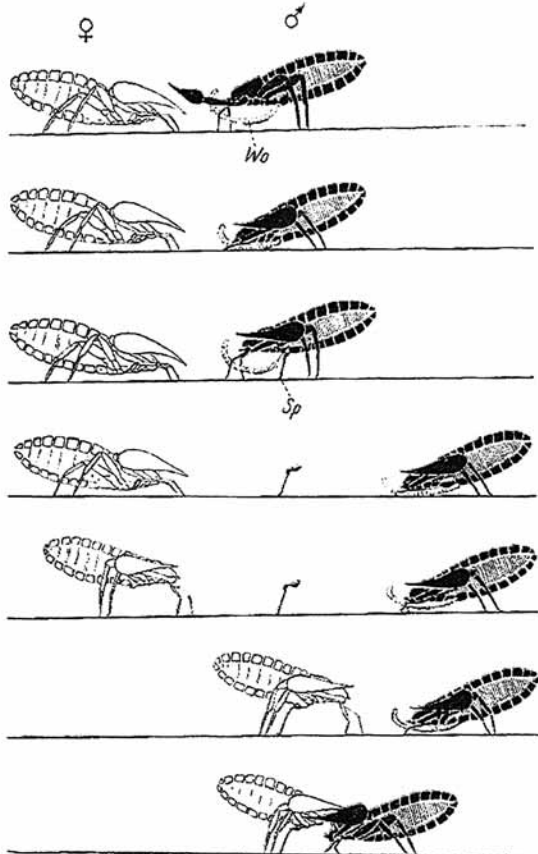
Pri intraspecifičnih odnosih so zanimivi odnosi povezani s spolnostjo in razmnoževanjem. Ekologijo teh je pri edafskih vrstah preučeval Schaller (1962). Mnoge talne živali se pariyo na običajen način s telesnim stikom samice in samca. Samci imajo za ta namen razvite prijemalne noge. Nekatere skupine pa se pariyo oz. posredujejo semenčice na način, ki je »lasten« in funkcionalno možen pri vodnih živalih. Samec izloči semensko tekočino v obliki kapljice ali »zavojčka« v posebej spleteno mrežico na tleh votlinice ali pa jo obesi vrh peclja (slika 8). Samica kasneje pose-sa kapljico ali zavojček v svojo spolno odprtino. Pogosto med njima ni potreben niti telesni stik. Lahko pa spremlja prenos poseben obred. Prenos semenskega paketa (tj. spermatofore) je pogost način osemnitve pri pajkovcih, v našem primeru pri paščipalcih (slika 9) in pršicah (roženaste in žametne pršice), dvojnogah, drobnonožkah in strigah ter pražuželkah (skakači, dvorepke, ščetinorepke).

**Tabela 2:** Iz vzorcev izračunana številčnost in biomasa posameznih skupin talnih živali v talnem bloku 1 m<sup>2</sup> in globini 30 cm (po Dungerju, 1964)

Skupina	Število osebkov	Skupna masa (g)
<b><i>mikrofavna</i></b>		
praživali	600.10 <sup>9</sup> –1,6.10 <sup>12</sup>	10–100
kotačniki	25.000–600.000	0,01–0,3
talne gliste	1.000,000–20.000.000	1–20
<b><i>mezofavna</i></b>		
pršice	100.000 – 400.000	1–10
skakači	50.000– 400.000	0,6–10
<b><i>makrofavna</i></b>		
beli deževniki	10.000– 200.000	2–26
mokrice	50–200	0,5–1,5
dvojnogoe	150–500	4–8
strige	50–300	0,4–2
ličinke žuželk	200–600	1,5–20
druge žuželke	150–2000	1–15
<b><i>megafavna</i></b>		
deževniki	80–800	40–400
krti, voluharice	0,001–0,1	0,1–10



**Slika 8:** Roženasta pršica belba (*Belba*) odlaga semenski paket (spermatoforo). Desno od nje je na peclju odložen semenski paket (iz Schaller, 1962)



**Slika 9:** Obred odlaganja semenskega paketa pri paščipalcih. Samec zvabi samico da v spolno odprtino vsrka semensko tekočino (iz Schaller, 1962).

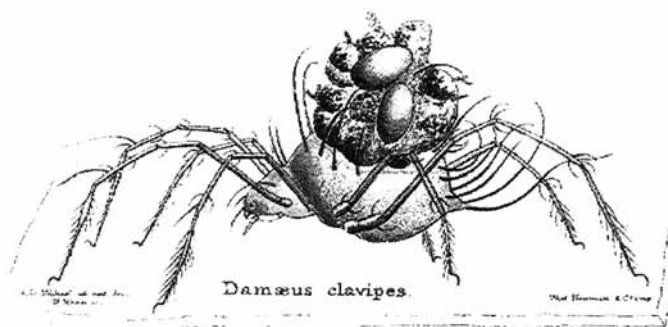
Pri dvospolnih (hermafroditih) deževnikih partnerja izmenjata semenčice med združitvijo. Izmenjava spermatofor gre po semenskem žlebu, ker živali nimajo kopulacijskih organov.

Obstoja tudi skrb za zarod (strigalice, ploske kačice med dvojnonogami).

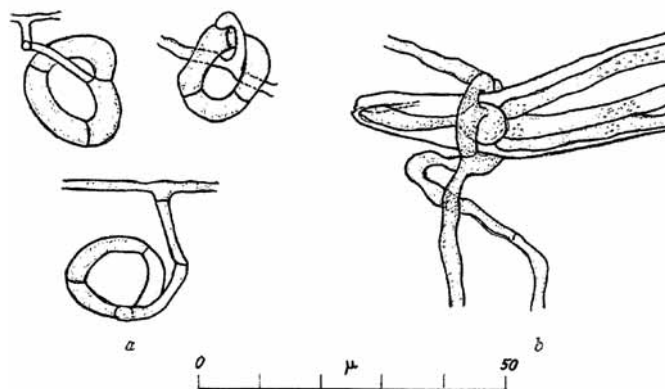
### Interspecifični odnosi

Med talnimi živalmi so različne oblike plenilstva (predacije). V tesnih votlinicah in rovih med grudicami tal so plenilci skakačev in mehkožnatih nimf roženastih pršic, akaridid in glist, plenilske pršice iz skupine gamazid (vrste rodov *Pergamasus*, *Veigaia*, *Macrocheles*, *Rhodacarus*). Plen najdejo z neposrednim srečanjem in ga zgrabijo z ostro nazobčanimi škarjastimi ali kleščastimi pipalkami. Odrasle in s kalcificirano hitinjačo trdno okljepljene roženaste pršice so plenilcem manj dostopne. Pa vendar se jih lotevajo drobni (1–2 mm dolgi) hroščki scidmenidi (*Scydmaenidae*). Z močnimi in srpasto ukrivljenimi čeljustmi zgrabijo roženasto pršico za okrogel zadek. Prebijejo sklerotizirano hitinjačo in vanjo vbrizgajo prebavni sok. Prebavljeno vsebino potem posrkajo. Plenilci pršic in skakačev, med listnim opadom, so paščipalci, suhe južine (siro, črninke), strige, hrošči kratkokrilci in pselafidi. Ploščki (*Siro duricornius*) med suhimi južinami so specializirani plenilci polžev.

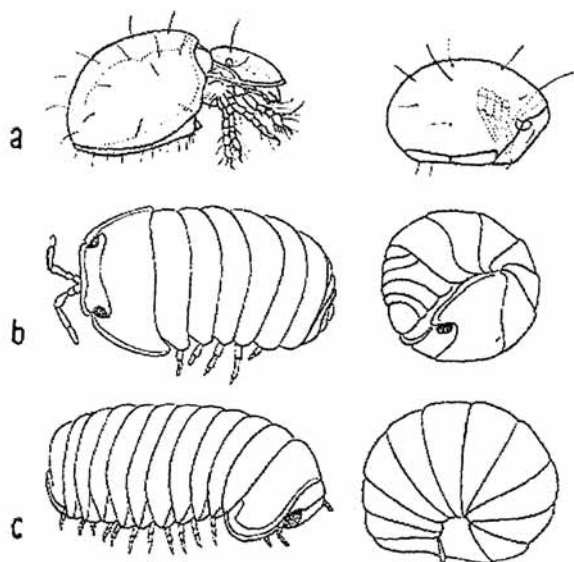
V ozkih prostorčkih tal je beg oviran in celo nemogoč. Načini obrambe plena so zato izločanje strupenih ali lepljivih izločkov (skakači onihuridi) ali sluzi (beli deževniki), ki odvrta napad ali lepijo čeljusti plenilcev. Pasivno obrambo tvorijo trdni oklepi (roženaste pršice). Drugače se vedejo vrste, ki živijo na površini tal, med listjem, pod kamni ali trhlím lesom. Skakači in mahilidi zbežijo s skakanjem. Nekatere roženaste pršice (*Belba*) pa si optajo, med ščetinice na hrbtu, levitvene kožice, drobce zemlje in drobce mrtvih listov (slika 10). Z »nahrbtnikom«  
potem lazijo okoli. Pri nevarnosti postanejo negibne, in ko se z nahrbtnikom pritisnejo k tlo, so neopazne. Mokrice in dvojnonoge se varujejo s poapnelimi oklepi. Železne kačice izločajo tudi strupene izločke. Nekatere dvojnonoge (kroglasta kačica), mokrice (prašički, pasavčki) in med roženastimi pršicami fitrakaride se v nevarnosti zvijejo v kroglico (slika 11).



**Slika 10:** Roženasta pršica (*Damaeus clavipes*) si je na hrbet naložila drobir in jajčeca (iz Bader, 1989).



**Slika 12:** Plenilske glive nastavljajo talnim glistam lepljive hife ali zanke. Ko glista pomoli svoj sprednji konec v zanko, hifa nabrekne in glisto »zadavi«. Potem požene v njeno telo svoje hife (iz Kevan, 1955).



**Slika 11:** Zvijanje v kroglico je pasiven način obrambe pri mnogih živalih, tudi pasavcu in ježu; a – roženasta pršica ftirakarida, b – mokrica - prašiček, c – dvojnonoga – kroglasta kačica (iz Dunger, 1964).

Zanimivo je, da so plenilke tudi nekatere talne glive. Njihov plen (*Zoophagales* iz skupine *Phycomycetes*; *Arthrotrichum* in *Dactyllolella* iz skupine *Hyphomycetes*) so praživali, posebno menjačice in gliste. Lovijo na lepljive hife, po principu muholovca. Druge »nastavljajo« lepljive zanke (sl. 12). Tretje pa lovijo v obročke, ki ob dotiku z glisto nabreknejo in plen zadrgejo po principu »lovilne zanke«. V ujeto glisto poženejo svoje hife in njeno notranjščino počasi prebavijo. Od gliste ostane le kožica, napolnjena s hifami gliv. Pojav sedaj uporabljajo v biološki kontroli škodljivih vrst glist.

V kolikšni meri se med talnimi živalmi uveljavlja tekmovanje (kompeticija) za hrano in prostor, ni znano. Morda se prav izločki njihovih kožnih žlez uporabljajo v tekmovalstvu za prostor. Pri plenilskih vrstah pa za označevanje teritorijev. V kolikšni meri predstavlja obseg talnih prostorčkov naselitvene omejitve skakačem in pršicam, tudi ni znano. Raziskave Haarlova so pokazale, da mikroartropodi s svojimi telesci pokrijejo le 1/1000 površine, ki jo nudijo notranji prostorčki. Kaže, da vkljub velikim populacijam ne prihaja do prenaseljenosti. Mogoče to preprečujejo že omenjeni izločki kožnih žlez. Vsaj v gozdnih tleh, kjer se kopiči vsakoletni opad, je tudi hrane za saprofage dovolj.

Pogosti paraziti talnih živali so praživali trosovci. Gregarine parazitirajo v semenskih vrečkah deževnikov in v črevesu dvojnonog. Pri pregledovanju talnih vzorcev sem opazoval okuženost roženastih pršic. V črevesu prosojnih opij (rod *Oppia*) so zajedale gregarine. Okuženost z njimi je bila pogosta pri osebkih iz severne Nemčije (okolica Wilhelmshavna). V Sloveniji je okuženost redkejša. Pač pa so roženaste pršice (*Galumna*, *Protoribates*, *Scheloribates*) vmesni gostitelji trakulj (*Moniezia expansa*, *M. benedeni*), katerih končni gostitelji so ovce, govedo, koze, srne, jeleni, mufloni, gamsi in konji. V pršicah se potem, ko so požrle jajčeca trakulj, razvijejo cisticerkoidi (stopnja v razvoju trakulje). Z njimi okužene pršice splezajo iz tal na travne bilke, kjer jih med pašo pojedjo ovce. Iz cisticerkoidov se potem v prežvekovalcih razvijejo odrasle, spolno zrele trakulje. Ovčjerejem povzroča okuženost z moniecijo veliko škodo.

### Vloga pedofavne pri nastajanju plodnih tal

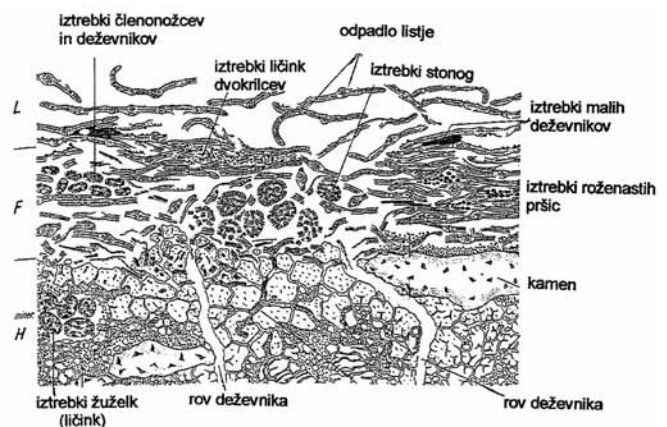
Množica vrst in njihove velike populacije vzbujajo vprašanje o pomenu edafske favne v ekosistemu. Raziskave so pokazale, da so neplodna tla revno poseljena s talnimi živalmi, nasprotno pa plodna tla naseljujejo množice malih in velikih edafskih organizmov. Večina vseh pa se nahaja v zgornjih plasteh tal, kjer je največ organskih ostankov. Sveže organske snovi so njihova hrana. Tu je tudi dovolj kisika za njihovo presnovo.

Kot v celotnem ekosistemu se tudi v naravnih tleh zavrti letni krog sprememb. Iz leta v leto na podoben način. Temu se prilagajajo aktivnosti prebivalcev tal. Posebno vlogo ima jesenski gozdni opad, ko se na gozdnih tleh nakopiči mrtvo listje, veje in vejice, padla debla itd. Sicer se na gozdnih tleh nabirajo odmrli ostanki rastlin vse leto (ostanki cvetov, pelod, storži, plodovi, žlezni izločki itd.). V plasti svežega in starega opada najdejo mikroklimatsko ugodno bivališče in prehranjevalne možnosti številne vrste.

Pregled tal iz različnih gozdnih sestojev pokaže različnosti v sestavi edafskih združb. Očitne so razlike, v vrstni sestavi edafona in v populacijskih razmerjih vrst, med združbami listavcev in iglavcev. V prvih je več predstavnikov makrofavne (mokrice in dvojnonoge) in deževnikov. V drugi pa prevladujejo vrste mezofavne, še posebno telesno drobne roženaste pršice, kot so *Oppida* in *Suctobelbidae*. Razlike so tudi v njihovem izdelku, tipu humusa.

V gozdnih listavcev, različnih združbah bukavih gozdov, ki so jim primešane še druge vrste listavcev (npr., javor, lipa, jesen, brest, mokovec), na karbonatnih kamninah nastaja humus tipa sprstenina (mull humus). Sprstenina ima nevtralno ali rahlo kislo reakcijo in nastaja na gozdnih rjavih tleh. Nastaja v plasti pod opadom. Vidnih sledi rastlinskega porekla v sprstenini tako rekoč ni, saj poteka ob sodelovanju talnih živali in bakterij hiter razkroj in mineralizacija organske snovi. Iz požrtega humusa in rudninskih snovi nastaja v črevesu deževnikov, deloma tudi v prebavilih dvojnonog in talnih žuželjih ličink, glineno humusni kompleks, ki daje iztrebkom posebne fizikalne in kemične lastnosti. Iztrebki dvojnonog in deževnikov delujejo proti zakisanju humusa, ker imajo višjo pH-vrednost, kot jo ima izhodiščna hrana.

V sestojih iglavcev in mešanih gozdnih listavcev ter iglavcev, na nekarbonatnih podlagah, nastaja tip humusa, ki mu pravijo pedologi prhnina ali prhlina (mor humus). Mikroskopski pogled v prhnino odkrije značilne strukture rastlinskih ostankov. Med delci so dobro vidni iztrebki skakačev in roženastih pršic. Ta tip humusa je zmerno kisel in v njem se razraščajo miceliji gliv. Bakterij je tu malo. Delce humusa povezujejo hife gliv. Ker v teh tleh ni deževnikov ali pa so zelo redki, je premešanost humusa in mineralnih delcev slaba. Zato ne nastaja glineno-humusni kompleks. Zgornji del tal tvorijo tri značilne plasti. Zgornjo L-plast tvorijo nedavno odpadli listi, ki imajo še povsem ohranjeno strukturo (L = angleško litter = opad). Pod njo leži plast F, v kateri poteka razkrojavanje ali dekompozicija organskih ostankov v humus (F = fermentacijska plast). Še nižje je plast H, plast humusa (H = humus), kjer se kopičijo razkrojki humusa (slika 13).



**Slika 13:** Prerez skozi zgornje sloje tal (L – odpadlo listje, F – fermentativni sloj, H – humusni sloj). Med prerezi listov so iztrebki pršic, dvokrilcev, deževnikov itd. (iz Brauns, 1968).

Tretji tip humusa je surovi humus. Nastaja v čistih sestojih iglavcev (smrekovi gozdovi) in bukovo-jelovih gozdnih na osojnih legah in v višjih nadmorskih višinah. Tu se na debelo kopiči opad. Zelo očitno je to v vrtačah na kraškem relirfu. Surovi humus je zelo kisel. Presnovna aktivnost v njem je šibka. Na gozdnih tleh se iz leta v leto kopiči opad iz nerazkrojenih iglic in listov. Nastaja debela plast rastlinskih ostankov, ki je gosto prepredena z miceliji gliv in daje videz polsti ali filca. Predstavnikov makrofavne ni, številčne so roženaste pršice.

Razlike med humusi so lažje opredeljive teoretično, kot je njihovo ločevanje v praksi. V naravi obstojajo vmesne



oblike (Kubišna, 1955). Zelo pogosta je prehodna oblika preperelina (nemško Moder po Kubišni). Ta tip je podoben prhlini, po vidni razmejitvi v organsko in mineralno plast, a se pedozoološko razlikuje, ker je v njej poleg mikroartropodov (roženastih pršic in skakačev) številna še favna makroartropodov (ličinke dvokrilcev iz skupin Bibionidae in Tipulidae ter dvojnonoge). Osiromašeno deževniško združbo sestavljajo na zakisanje tal odporne vrste, kot sta *Bimastos eiseni* in *Dendrobaena* sp. Učinek makroartropodov se vidi v večji količini njihovih iztrebkov, kot je to primer v čisti prhlini. Možna prehodna oblika je sprsteninasta preperelina, kjer ličinke žuželk po pomembnosti nadomestijo dvojnonoge in mokrice (glej tabelo 3). Prevladovanje žuželčjih ličink, dvojnonog in mokric nad deževniki v plitvih apnenčastih tleh, kot jih tvori rendzina, določa dejstvo, da v tenki plasti teh tal ni mogoče riti globoko, kar počno deževniki.

**Tabela 3:** Zaporedje različnih tipov humusa v povezavi s sodelujočimi skupinami talne favne (Kubišna, 1955) Opomba: a – b – c – d = lestvica upadanja pomembnosti skupine pri razgradnji opada

→→→→→→→→ rast bakterijskih populacij →→→→→→→→				
→→→→→→→→ upadanje rasti gliv →→→→→→→→				
pH kislo →→→→→→→→→→→→→→ pH nevtravno do rahlo bazično				
Pomembnost skupine pri razgradnji opada	PRHLINA	PREPERELINA	SPRSTENINASTA PREPERELINA	SPRSTENINA
a)	roženaste pršice, skakači	roženaste pršice, skakači, ličinke žuželk	dvojnonoge, mokrice	deževniki
b)	ličinke žuželk, dvojnonoge	dvojnonoge	ličinke žuželk, deževniki	dvojnonoge, ličinke žuželk
c)	deževniki	deževniki, mokrice	roženaste pršice, skakači	roženaste pršice, skakači
d)	mokrice			
→→→→→→→→→→→→→→ tvorba organsko mineralnih grudic →→→→→→→→				

Poleg sodelujoče edafske favne imajo pri nastajanju določenega tipa humusa pomembno vlogo abiotski dejavniki, posebno tisti, ki urejajo mikroklimatske dejavnike tal.

### Pedofavna in razgradnja opada

V našem okolju tvori pretežen del gozdnega opada jesenski odpad listja (60–85 %), vej, vejic in plodov. Količine tega so različne in odvisne od vrste gozdne združbe. V srednjeevropskih gozdovih listavcev znaša ta količina v povprečju 4 t–6 t suhe teže na hektar. V notranjosti tal sodijo k opadu še mrtve korenine in koreninice. Ta količina organske snovi je ponujena za hrano edafskim živalim. Velik del hranilne snovi v listih (sladkorji, aminokisliline, beljakovine, maščobe) je izplaknila deževnica še preden je listje odpadlo. Tako so ostali v odpadlem listju strukturni polisaharidi (celuloza, ksilan, pektin itd.), lignin in anorganske snovi.

Sledi obžiranja listov so različne. Pogosto se živali lotevajo mrtvih listov, potem ko površine obrastejo bakterije in hife gliv ter jih s fermenti kemično obdelajo in omehčajo. Zato so listi iz spodnjih delov opada, L- in F-sloja boljše hrana kot zgornji sveže odpadli listi. Sledi objedanja so odvisne od vrste živali. Le redko požirajo mrtve liste v celoti. Ponavadi delujejo tako žuželče ličinke (npr. ličinke dvokrilcev: Bibionidae, Tipulidae, Limnobiidae, Rhagionidae), mokrice in dvojnonoge ker imajo močne čeljusti. Če živali pojedjo mehkejšo listno ploskev, ostanejo le trše žile in žilice, ki vsebujejo težko razkrojljivo celulozo in lignin. Iz listov naredijo mrežice. Pravimo, da list skeletirajo. Pri listu lahko pojedjo le spodnjo plast listne ploskve in pustijo zgornjo tršo nedotaknjeno. Skeletiranje listov in objedanje listnih ploskev opravijo roženaste pršice, skakači in nekatere prašne uši. Mikrobno obrast in tenke prevleke služi na razpadajočih delcih rastlinskih tkiv jedo praživali, kotačniki, počasniki, gliste, pa tudi ličinke pršic, skakačev in mokric.

Iztrebke mikroartropodov in makroartropodov ter drobce listov, ki se nabirajo v F-sloju, požirajo skupaj z mineralnimi delci beli deževniki in vrste deževnikov iz rodov *Lumbricus* in *Allobophora*. Iztrebke (»glistine«) potem odložijo v H-sloju. Humusno prsteni substrat H-sloja jedo druge vrste deževnikov. Sočasno z ritjem in kopanjem rovov mešajo, rahljajo in prezračujejo nastajajočo prst.

Delci v iztrebkih živali imajo velikosti nekaj mikrometrov (1 μm = 1/1000 mm). Čim manjša je žival tem manjši so delci v iztrebkih (tabela 4). Ker se roženaste pršice in skakači hranijo z vsebino iztrebkov mokric in dvojnonog,

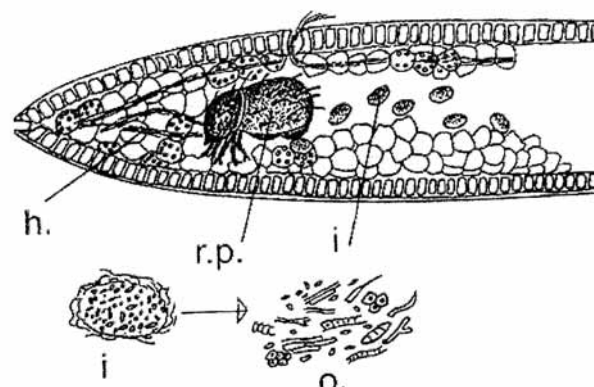
je drobljenje organskih ostankov še intenzivnejše. Večja zdrobljenost izhodnih snovi pomeni večjo uporabno površino za delovanje mikrobov in zato hitrejšo mineralizacijo. Gre za »učinek kavnega mlinčka«. Kar pomislite na razliko v kakovosti kuhane kave, ki bi jo pripravili iz celega zrnja ali zrnja, zmletega v prah.

Ruski raziskovalci so, v poskusih pod naravnimi pogoji izločili delovanje »živalskih drobilcev« in razkrojavanje ostankov prepustili mikrobom. Proces popolne dekompozicije z mineralizacijo je potekal 6-krat počasneje (Kurčeva, 1973).

**Tabela 4:** Velikost živali in velikost delcev v njihovih iztrebkih (Tarman, 1992)

Skupina in vrsta živali	Telesna dolžina (mm)	Velikost ostankov: trosi, hife gliv, alge les, lubje (mm)	Ostanki iz odpadnih listov (mm)
<b>roženaste pršice:</b>			
<i>Steganacarus magnus</i>	1,2	0,003–0,025	0,008–0,050
<i>Metabelba gracilipes</i>	0,87–1,0	0,008	0,025–0,050
<i>Euzetes globosus</i>	1,07–1,15	0,003–0,040	0,020–0,040
<i>Hypochthonius rufulus</i>	0,63–0,68	0,003–0,010	0,002–0,019
<b>mokrica:</b>			
<i>Armadillidium</i> sp.	12–15	0,040–0,670	
<b>dvojnoga:</b>			
<i>Polydesmus</i> sp.	23	0,060–0,135	
<b>ličinka dvokrilcev:</b>			
<i>Tipula</i> sp.	12	0,070–1,5	

V gozdnem opadu iglavcev (smreka, bor), kjer se nako-piči debel sloj iglic poteka njihov razkroj počasneje kot razkroj listov listavcev. Drobljenje iglic opravljajo roženaste pršice iz skupine ftirakarid (Phthiracarida) in nimfe liakarid (Liacarida). Ko se pršica pregrize v notranjost iglice, začne požirati celice in glivne hife, ki so vdrle v notranjščino skozi igličine reže. Ko pršica prodira skozi iglico, pušča za seboj rov napolnjen z iztrebki (slika 14). Izvotljena iglica se kasneje zdrobi v manjše drobce. Bakterije in glive, ki delujejo v iztrebkih, ki jih v tune-



**Slika 14:** Roženasta pršica ftirakarida vrta rov skozi borovo iglico (iz Tarman, 2005).

lu za seboj pušča ftirakarida, dodatno pospešujejo razpad. Pedozoološke raziskave vzorcev opada iz borovih pogozditvenih nasadov na Krasu so pokazale prisotnost ftirakarid in vključenost v dekompozicijo borovih iglic (Tarman 1963).

Užitnost listov, različnih drevesnih vrst, določa izbiro edafskih živali. Z opazovanji v naravi so dognali prehranjevalno preferenco živali glede na vrsto listov. Mikroin makroartropodi tal dajejo prednost jelševemu in lipovemu listju. Mnogo manj segajo po bukovih in hrastovih listih. Prednost dajejo mehkejšim listom, ki vsebujejo več vode in beljakovin (dušika!) in imajo ustrežnejše razmerje med ogljikom in dušikom. Več dušika pomeni več beljakovin. Velik delež ogljika pa pomeni večjo vsebnost neprebavljivih celuloz in hemiceluloz. Težko razgradljive polisaharide delno izkoristijo talne živali s pomočjo v črevesnih mikrobov, ki posedujejo celulaze. V poskusih so ponudili dvojnogam sledeče vrste sveže odpadnih listov in beležili izbiro. Dobili so preferenčno skalo:

**Zelo užitno** →→→ **upadanje preference** →→→ **Malo užitno**

bezeg – jesen – črna jelša – lipa – poljski brest – beli javor  
– ostrolistni javor – navadni gaber – dob – bukev

Preferenčno zaporedje se spremeni, če ponudimo živalim za hrano liste, ki so prezimili in bili izpostavljeni delovanju bakterij in gliv. Mikrobno obdelani hrastovi in bukovni listi postanejo po treh letih enako užitni kot sveže odpadli lipovi. Mikrobi, ki prerasejo listne površine in njihovo notranjščino, liste omehčajo. Hkrati pa so glavni vir belja-

kovinske hrane edafskih živali. Merilo užitnosti je lahko še količina iztrebkov v časovni enoti, kot kaže tabela 5.

**Tabela 5:** Količina proizvedenih iztrebkov mokrice *Armadillidium* sp. v 7 dneh (10 osebkov, temp. 15–17°C, rel. vlaž. 100 %). (iz Tarman, 1992)

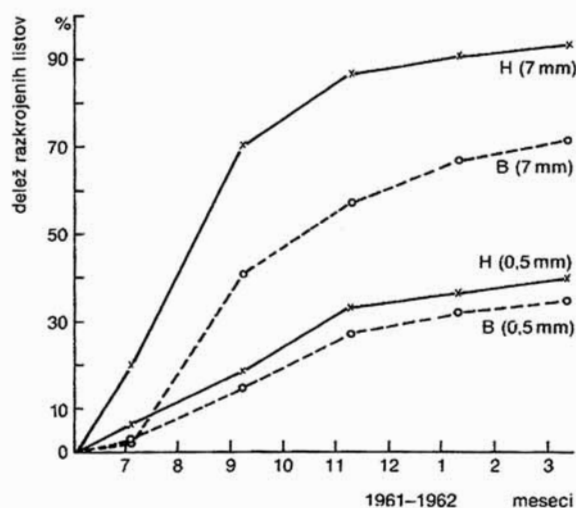
Vrsta listja, jesenski opad	mg iztrebkov na 1 mg teže živali
črni bor	0,03
bukev	0,05
graden	0,04
pravi kostanj	0,09
navadna leska	0,22
lipa	0,25
črna jelša	0,30

Obdelava opada poteka po korakih. Mrtvega listja in lesa (veje in vejice, drevesni panji) se lotijo najprej makro-artropodi (dvojnoge, mokrice, ličinke žuželk). Kot primarni drobilci s čeljustmi drobijo rastlinske ostanke in jih požirajo. Iztrebki, ki jih odlagajo so hranilni substrat mikrobov in hrana sekundarnih drobilcev – mikro-artropodov (pršic, skakačev) in belih deževnikov. Tudi sekundarni razkrojevalci kažejo preferenčno nagnjenost glede na vir iztrebkov. Če hranimo železne kačice ločeno z različnimi vrstami opada, npr. bezgom, belim javorjem in dobom, ter ločeno zbiramo njihove iztrebke, ki jih potem ponudimo v izbiro skakačem, bodo ti najprej izbrali za hrano iztrebke s poreklom iz bezga in nazadnje segli po iztrebkih iz doba. Postopnost razgradnje, ko ostanke prehajajo iz črevesa ene živali v črevo druge, kaže na njihovo težko prebavljivost. Tudi analize črevesne vsebine roženastih pršic (Schuster, 1956) pokaže, da mnoge strukture rastlinskih tkiv, trosi gliv, pelod itd. ohranijo svojo obliko po prehodu skozi črevo (slika 15). Poskusi hranjenja roženastih pršic s trosi gliv, ki jih je opravil Červek (1975), so dokazali, da velik del teh ohrani kaljivost tudi potem, ko so prešli črevo v iztrebkih.

Glavni prispevek edafskih živali pri razgradnji opada je v pripravi tega za delovanje mikrobov. Poskus, ki sta ga v naravnem okolju naredila Edwards in Heath (1963), je nedvoumno dokazal vlogo talnih živali. Odmerjene količine hrastovih in bukovih listov sta vložila v mrežice z različno velikostjo očesc in jih zakopala med opad v gozdni tleh. Občasno sta s tehtanjem merila upadanje teže listov, kar sta pripisala delovanju makro- in mikrofavne tal. Razlika v deležih razkrojenih listov med mrežicami



**Slika 15:** Ostanke rastlinskih tkiv, trosov, peloda, laskov v iztrebkih roženastih pršic (iz Schuster, 1955).



**Slika 16:** Delež razkrojenih hrastovih (H) in bukovih (B) listov v mrežicah, zakopanih v gozdna tla. Hitrost razkroja je bila odvisna od velikosti očesc v mrežicah, saj so odločala o dostopu edafskih živali do listov (iz Burges in Raw, 1967).

z velikimi očesci (7 x 7 mm) in onimi z majhnimi (0,5 x 0,5 mm) je bila očitna (slika 16). Samo v mrežice z velikimi očesci so lahko vstopale talne živali, ki so požirale in tudi odnašale snovi. Razlika je bila tudi med ponujenima vrstama listja.

Edafske živali se vključujejo kot sekundarni razkrojevalci, ko požirajo iztrebke žuželk, ki obžirajo sveže listje v krošnjah dreves. Iztrebki žuželk padajo na tla in postanejo prej ali slej hrana pršic in skakače. M. Toman (1977) je s preferenčnimi prehranjevalnimi poskusi ugotovil, da izbira roženasta pršica evfirakarus (*Euphthiracarus (E.) cribrarius*) za hrano starejše iztrebke gosenice borovega prelca, ki so preležali v tleh vsaj eno leto in, ki so jih obdelali od mikrobi.

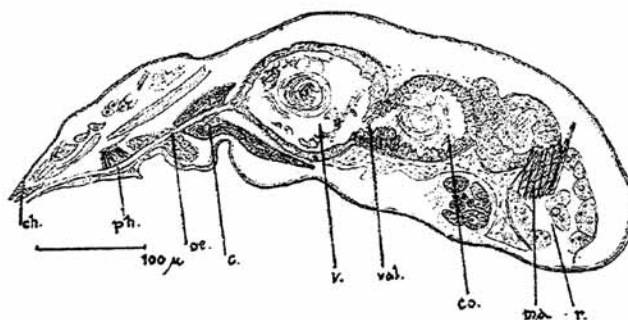
### Kemična predelava opada v prebavilu edafskih živali

Doslej smo obravnavali mehanično obdelavo opada, proces, ki ga lahko sledimo z očmi ali skozi mikroskop. Glavni del kemične presnove akumulirane organske snovi, poteka izven prebavil edafskih živali v zunanjem okolju tal in je delo mikrobov. Kolikšen je presnovni prispevek talnih živali k skupni presnovi tal? Po opravljenih raziskavah znaša celoletni delež edafskih živali 15 do 20 %, torej znatno manj od mikrobne.

Iz odpadlega listja asimilirajo živali del sladkorjev, beljakovin in maščob, ki so ostali v listu potem, ko je večji del teh izprala deževnica, še pred odpadom. Snovi, ki sestavljajo stene rastlinskih celic in les (celuloze, hemiceluloze, pektini, lignini), ostanejo po prehodu skozi prebavilo neprebavljene, saj živali tal nimajo v svojem naboru ustreznih encimov. To so sestavine njihovih iztrebkov. Delno razgradijo polisaharide le vrste, ki imajo v črevesu bakterijske simbiote. Kvasovke, ki so jih odkrili v zadnjem delu črevesa dvojnonoge *Pachyiulus flavipes*, so po mnenju B. A. Byzova črevesni simbioti (Byzov in sodelavci, 1992). Možnost, da imajo roženaste pršice črevesne simbiote, navajajo nekateri raziskovalci (Hartenstein, 1962; Woodring 1963; Luxton, 1979; Norton, 1985). Po raziskavah, ki jih opravljajo v inštitutu za terestrično mikrobiologijo Družbe Max Planck (Brune, 2006), je črevo edafskih živali »vroča točka« (»hot spot«) mikrobne aktivnosti. Po njihovih izsledkih obstoja velika raznovrstnost mikrobnih združb v prebavilih talnih živali, vendar je njihova vloga še vedno nepojasnjena.

Iz mikroskopske anatomske obdelave prebavil roženastih pršic poznamo zgradbo prebavila. Posebej zanimiv je obstoj velikih parnih in slepih čreves, ki ležita lateralno ob ventriklu in se vanj neposredno odpirata (Tarman 1968). Ali je v njih vir živalim lastnih encimov ali pa so v njih simbiotski mikrobi? Kot kažejo raziskave, so prebavne žleze mokric predvsem mikrobni subjekti (Brune, 2006).

Opazovali smo prehod hrane skozi prebavilo štirih vrst roženastih pršic. Živali so primerne za opazovanje zaradi prosojnosti hitinjače. Podatki o času zadrževanja hrane v posameznih odsekih prebavila: ventriklu, kolonu in rektumu (slika 17) so vidni iz tabele 6. V ventriklu se oblikuje iz požrte hrane kroglica, ki jo v več plasteh obdajo sluzi izločene iz celic ventrikla in obeh slepih čreves. V kolonu se velikost kroglice nekoliko zmanjša, kroglica postane kompaktnjša, tu poteka glavna encimska obdelava hrane. Čas zadrževanja hrane je daljši, še posebej velja to za firakaride, katerih hrana je les. V rektumu poteka reabsorpcija vode in izoblikuje iztrebek. Koliko sodelujejo pri prebavi simbiotski mikrobi, ne vemo. Vemo pa, da iz iztrebka poženejo hife gliv, katerih trosi so preživeli pot skozi črevo. Čeprav potrebuje teza o simbiotskem razmerju med roženimi pršicami in mikrobi potrditev, obe skupini sodelujeta pri dekompoziciji organskih ostankov. Očitno so ostanki, ki so prešli črevo pršic, do vznetnejši za mikrobno obdelavo.



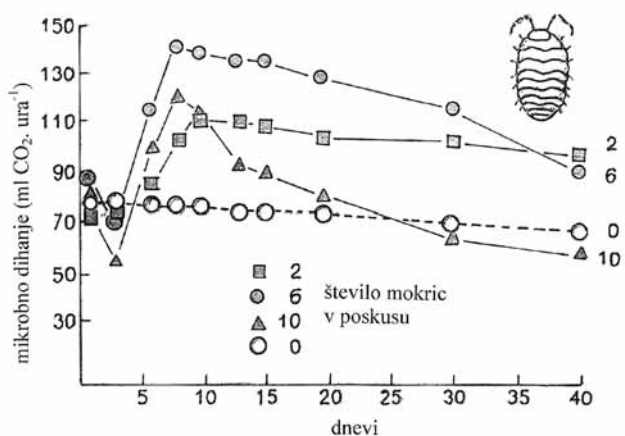
**Slika 17:** Histološki presek skozi prebavilo roženaste pršice (*Hypochthonius rufulus*): ch. – pipalka, ph. – žrelo, oe. – požiralnik, c. – mozgani, v. – želodec, val. – želodčna zaklopka, co. – srednje črevo, r. – zadnje črevo, ma. – del mišice (iz Tarman, 1968).

Kvantitativne raziskave metabolične aktivnosti, respiracije in asimilacije hrane (Macfadyen, 1963; Berthet 1963) so pokazale, da imajo mikroartropodi tal

**Tabela 6:** Čas prehoda hrane skozi posamezne dele prebavila pri roženastih pršicah (v urah, temp. 15–17°C in rel. vlaž. 90 %) (Tarman, 1968)

VRSTA	Odseki prebavila		
	ventrikel	kolon	rektum
<i>Hypochthonius rufulus</i> (51 osebkov)	1,5–2	2	2,5–3,5
<i>Nanhermannia nana</i> (nimfe, 10 vrst)	1,5–2	3	2,5–3,5
<i>Oppia sp.</i> (10 osebkov)	1,5–2	2	2,5–3,5
<i>Phthiracarus pavidus</i> (15 osebkov)	1	5–6	2,5–3,5

manjšo vlogo pri neposredni kemični dekompoziciji opa-da. Letni delež roženastih pršic v celotni metabolni aktivnosti znaša le 1,8 %. Torej je njihova vloga v neposredni dekompoziciji minimalna. Njihov glavni prispevek je v drobljenju substrata (poskusi Edwardsa in Heatha) oz. pripravi substrata za mikrobno delovanje in v drugih interakcijah z mikrobi. Poskusi so pokazali, da mokrice (Begon, 1990) s svojo dejavnostjo povečajo mikrobno dihanje v tleh (slika 18).



**Slika 18:** Vpliv mokric na mikrobno dihanje pri razkrojevanju listnega opada v laboratorijskem poskusu (iz Begon, Harper, Townsend, 1990).

Mellanby (1960) popravlja znano Hansenovo primerjavo (1877), »da teža deževnikov na pašniku močno presega težo pasočje se govedu na isti površini«, s katero želi poudariti njihov pomen v biologiji tal. Slikovita primerjava je zavajajoča, kajti metaboličen učinek ektotermnih de-

ževnikov je manjši kot učinek endotermnih sesalcev. Na učinkovitost ektotermnih živali dodatno vplivajo suše in sušno mirovanje deževnikov ter otrplost, ki jo povzroča mraz. Mellanby zato sklepa, da deževniška biomasa 1000 kg ha-1 ni »biološki ekvivalent« biomasi govedu z 1000 kg ha-1, ampak samo biomasi zajcev z 20 kg ha-1. Deževniki porabijo za svoj obstoj le 1 % energije, ki jo porabi govedo. Koncept »biološke ekvivalence« uporabljajo pedozoologi kot merilo prispevka različnih edafskih živali pri pretvorbah. Izražajo ga s porabo kisika. Po Macfadyenu velja, »da prispeva populacija, ki izkoristi največ akumulirane energije, tudi največ k sproščanju hranilnih snovi«.

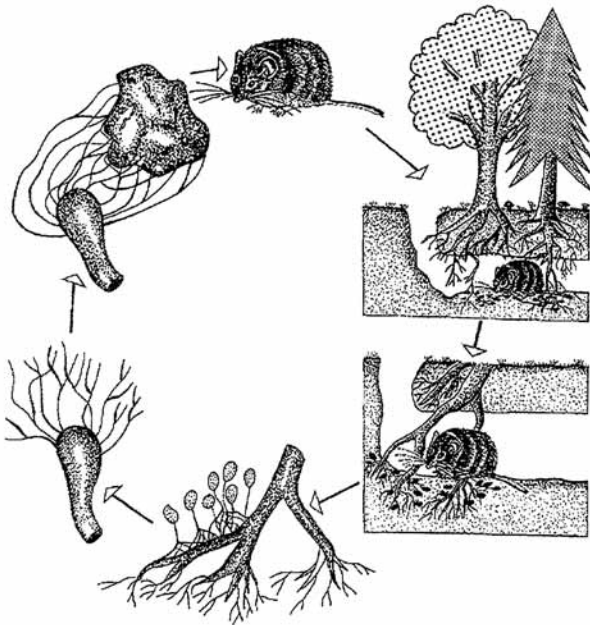
### Edafske živali in mikrobi tal

Nekatere živali se zbirajo na mestih mikrobnih agregacij. Kjer razpada celuloza, se zbirajo gliste *Diplogaster striatus*, *D. gracilis* in skakač *Folsomia dimetaria* (Franz, 1950). *Folsomia candida* masovno spremlja mikrobe, ki pozročajo gnitje slame (Törne, 1963). Živali privlačijo bodisi mikrobi ali pa njihovi proizvodi razkroja. Včasih mikrobi odvrčajo živali ali celo negativno vplivajo na njihov razvoj. Npr. micelij glive *Clitocybe infundibuliformis* zavira razmnoževanje ameb, kotačnikov, skakačev iz rodov *Onychiurus*, *Isotomiella*, in *Pseudosinella* (Kühnelt, 1963).

Kot smo že zapisali so bakterije in glive, ki obraščajo organske ostanke, nepogrešljive v prehrani edafskih živali. Ne le zaradi energijskih potreb, temveč še zaradi vitaminov, ki jih sintetizirajo. Mnoge vrste anaerobnih bakterij najdejo ugodne življenjske pogoje v prebavilih talnih živali. Fungivore in bakteriovore pršice delujejo proti miko- in bakteriozistozisu. Vplivajo tudi na kompeticijo med vrstami gliv. Spore in hife, ki se oprijemajo telesa ali prepotujejo črevo živali, razširjajo po substratu tal. Na ta način, stimulirajo njihovo rast na novih mestih in s povečano mikrobno respiracijo vplivajo na presnovne procese v tleh in kroženje hranilnih snovi. V črevesu se bakterije razmnožijo. Njihova številčnost v iztrebkih preseže številčnost v hrani. V iztrebkih deževnikov je 10- do 13- krat več mikrobov kot v izhodiščni zemlji, ki jo požirajo.

Naše raziskave povezav med roženastimi pršicami in glivami – gobami (trosnjak prostotrosov, Basidiomycetes, 47 vrst) so pokazale, da je 70 vrst pršic, ki živijo v tleh, obiskovalo gobe in se prehranjevalo z njihovimi trosi.

Mnogi od teh trosov ohranijo sposobnost kalitve in se s pršicami razselijo po prostoru. Širjenje z roženastimi pršicami je omejeno na krajše razdalje. Maksimalne dolžine prehojene poti merijo do 42 cm na dan in so odvisne od mikroklimatskih dejavnikov. Daljše prenose spor in hif opravijo mali gozdni sesalci, kot so gozdne voluharice (*Clethrionomys glareolus*), ki so potrošniki gliv in njihovih spor. Preiskava je odkrila, da tvorijo spore in hife gliv 36 do 68 % želodčne vsebine. V enem gramu iztrebka je od 200 milijonov do 1 milijarde trosov. Z voluharicami potem potujejo trosi in med njimi je veliko kaljivih – po gozdu. Voluharice odlagajo svoje iztrebke tudi v rovih, kamor segajo drevesne koreninice. Hife, ki zrastejo iz trosov, se povezujejo s koreninicami dreves v sožitja – mikorize. Torej voluharice niso le škodljivci, temveč so tudi pomembni posredniki pri ustvarjanju sožitij (sl. 19). Delo voluharic je še posebej pomembno pri razširjanju trosov hipogeičnih trosnjakov, med katere sodijo gomoljike (tartufi).



**Slika 19:** Gozdne voluharice posredujejo mikorizne glive. Voluharica se hrani s plodišči gomoljik. Živi trosi gliv iz iztrebkov potem okužijo koreninice dreves (iz Moser, 1981).

Učinek roženastih pršic in drugih mikroartropodov tal na združbe gliv je malo raziskan. Doslej opravljene raziskave kažejo, da si združbe gliv hitreje opomorejo po motnjah, če so prisotne roženaste pršice (Renker in sodelavci, 2005). V prostorsko heterogenem okolju tal je vsa-

ka možnost razširjanja gliv dobrodošla, saj tako »najdejo« trosi gliv ugodna mesta za razvoj. Pri tem pomagajo tudi mali premiki pršic. Npr. vrsta *Steganacarus magnus* opravi na dan v povprečju poleti 4,11 cm poti (maksimalno 21,5 cm). Hkrati s premiki pršice v sloju odpadlih listov, kjer odlaga jajčeca, dobijo trosi nova, nezasedena mesta. Zelo pogosta hrana roženastih pršic so vrste gliv iz rodov *Ulocladium* in *Alternaria* (Dematiacea). Zato nekateri raziskovalci domnevajo, da so roženaste pršice v mutualističnem razmerju s temi glivami. Zelo pogosta gliva na telesu roženastih pršic in drugih mikroartropodov je *Beauveria*. Tudi zato, ker je sposobna razkrajati hitin živih ali mrtvih živali.

Vlogo pršic (vrste *Carabodes femoralis*, *Nothrus silvestris*, *Oribatula tibialis*) pri širjenju ektomikoriznih gliv so eksperimentalno dokazali Schneider in sodelavci (2005). Podobno sta se v laboratorijskih poskusih vedli vrsti skakačev: *Onychiurus armatus* in *Prioisotoma minuta* (Shaw, 1985, 1988; Hiol in sod., 1994; iz Schneider, 2005).

V preferenčnih poskusih so roženaste pršice izbirale glive s kratkimi hifami in se izogibale vrst z dolgimi hifami, kot jih tvori gliva *Mortierella*. V zadnje se pršice zapletejo in ujamejo med dolge hitinolitčne hife. Tudi skakači *Hypogastrura tullbergi* dajejo prednost glivam z manjšo proizvodnjo spor in micelijskim pletežem, po katerem neovirano hodijo. Izogibajo se gliv s prahastim trosjem in gostim prepletom micelija.

V črevesu deževnikov živijo iste vrste mikrobov kot v zemlji. Številčnost mikrobov narašča od sprednjega konca proti zadnjemu koncu črevesa. Izločki črevesnih mikrobov lepijo delce v deževniških iztrebkah ali glistinah, s čimer dajejo iztrebkom večjo trdnost. Razlaga za trdnost glistin so še kalcijevi humati, lepljivi proizvod iz razkroj-kov organskih snovi in kalcita iz apnenih žlez.

**Tabela 7:** Številčnost mikrobov v različnih odsekih deževnikovega črevesa (vrsta *Lumbricus terrestris*) (iz Raw, 1967)

	Sprednji del črevesa (x 10 <sup>6</sup> )	Srednji del črevesa (x 10 <sup>6</sup> )	Zadnji del črevesa (x 10 <sup>6</sup> )
Actinomycetes	26	358	15.000
druge bakterije	475	32.900	440.700

## Človek, tla in pedofavna

Največji vpliv ima kmetijstvo – panoga, ki načrtno uporablja biološko rodnost kopenskih rastlin in živali za oskrbo človeštva s hrano (tudi krmo) in surovinami (npr. les, bombaž, lan, volna itd.). V teh prizadevanjih človek pogosto namenoma ali slučajno prezre obstoj organizmov (vrst), ki niso neposredno (gospodarsko) koristni.

Na gozdno pedofavno negativno vplivajo gozdni goloseki, saj spreminjajo mikroklimatske razmere v tleh. Tudi nekdanje steljarjenje, ko so pograbili ter odnesli pretežni del opada za nastiljanje živini v hlevih. Paša v gozdovih je zaradi tlačanja s hojo (kopita) in ritjem po zemlji (prašiči) bistveno spremenjala sestav talnih zoocenoz. Nekatere živali tal so postale vmesni gostitelji zajedavcev domačih živali.

Človekovi vplivi na tla so stari najmanj 10.000 let saj izvirajo od začetkov poljedelstva. Krčenje gozdov za pašnike in polja je bistveno spreminjalo sestavo edafona. V združbah edafona na kulturnih površinah je upadlo število vrst, spremenile so se številčnosti populacij. Zaradi novih interspecifičnih razmerij (npr. plen – plenilec, tekmovalje, gostitelj – zajedalec, sožitje) in sprememb abiotičnih dejavnikov so se nekatere populacije razmnožile prek meja in njihove vrste so postale škodljivci kulturnih rastlin. Škodljivci so zato proizvod človekovih posegov v naravo! Škodljivci so pojem, ki ga je nadel človek vrstam mikrobov, rastlin (plevelom) in živali, katere zmanjšujejo pričakovano ali načrtovano gospodarsko učinkovitost pri proizvodnji hrane in surovin. Narava ni ustvarjala škodljivcev!

### Mehanično obdelovanje tal, gnojenje in uporaba pesticidov

Oranje spreminja abiotične pogoje v tleh. Značilna vertikalna delitev v sloje, ki jih posamezne vrste izbirajo za bivanje, izgine. Spremenijo se vlažnostne in toplotne lastnosti tal. Zato se v tleh ohranijo predvsem vrste s širokim strpnostnim območjem. Populacije nekaterih vrst izkoristijo odsotnost konkurenčnih vrst ali plenilcev in se pomnožijo (hrošči in njihove ličinke: ogrci, strune; gliste itd.) ali celo nanovo priselijo. Priselitev novih vrst privabijo monokulture. Primerov, s katerimi bi lahko ponazorili siromašenje pedofavne v njivskih tleh, je veliko. Omenimo očitno osiromašenje na primeru deževnikov.

**Tabela 8:** Odvisnost deževnikov od obdelovanja tal (po Graffu, 1953)

Ekosistem/ kultura	Število vrst	Število osebkov na 1 m <sup>2</sup>	Biomasa (g.m <sup>-2</sup> )
gozd	30	78	40
travnik	26	97	48
njiva	4	41	20

Zelo prizadeta je mezofavna. V poljskih tleh se ohranijo le ekološko najbolj tolerantne vrste skakačev (*Onychiurus armatus*, *Tullbergia krausbaueri*, *Isotoma notabilis*). V redno organsko gnojenih tleh in trajnejših kulturah, kot je npr. lucerna, najdemo roženaste pršice (iz rodov *Galumna*, *Pelops*, *Oribatella*, *Scheloribates*, *Ceratozetes*, *Belba*). So pa pogostejše vrste pršic akaridij (vrste iz rodov *Tyroglyphus*, *Rhizoglyphus*, *Carpoglyphus*, *Glycyphagus*, *Anoetus*), ki požirajo gnile rastlinske koreninice ali gnijoče gomolje, ki so jih napadle talne gliste. V tem primeru so le gliste škodljivci, pršice, ki jih najdemo poleg so neškodljive požiralke gnilobe. Lahko pa se saprofage vrste sprevržejo tudi v škodljivce, kot npr. akaridija *Rhizoglyphus echinopus* ali skakač *Onychiurus armatus*, ko začnejo obžirati posejano seme ali mlade rastlinice. V tleh gozdov, ki so nekoč prekrivali sedanje njivske površine, so bile to neškodljive saprofage vrste.

Vpliva tudi gnojenje. Gnojenje s preležanim hlevskim gnojem ali kompostom ustreza gozdnemu opadu, saj vnaša organske snovi za hrano edafskim živalim. Dvojnoge, ki veljajo za koristne razkrojevalce listnega opada v gozdovih, postanejo pri odsotnosti organskega gnojenja škodljivci, ker obžirajo krompirjeve gomolje. Z objedanjem sočnih delov rastlin, koreninic in gomoljev živali nadomeščajo tudi izgubo telesne vode zaradi sušnosti poljskih tal.

Mineralno gnojenje, ob sočasnem opuščanju organskega gnojenja, dodatno znižuje raznovrstnost v njivskih tleh. Živali nimajo hrane in v tleh se ne obnavlja humus, tla postajajo za njihovo življenje preveč suha. Da gre pri mineralnem gnojenju predvsem za učinek pomanjkanja hrane in slabšanje mikroklimatskih pogojev, kažejo preiskave vzorcev gozdnih tal iz smrekovih monokultur na Pohorju. Z umetnimi gnojili (NPK in apnom) zmerno pognojena gozdna tla s surovim humusom so ohranila

strukturo pedozoocenoz. V tleh so se zaradi apnenja pojavili, sicer zelo posamično, prej odsotni deževniki, dvojnonoge in mokrice.

Pozitiven učinek na obstoj edafske favne imajo pleveli. Zato so obrobja polj in poljskih kolovozov pedozoološko bogatejša.

Uporaba pesticidov in herbicidov je za edafsko favno v glavnem škodljiva. Omenjena sredstva ubijajo živali, spreminjajo interspecifična razmerja med njimi in z učinki na površinsko vegetacijo spreminjajo mikroklimo tal. Znan je toksičen učinek insekticidov in akaricidov na vrste plenilskih pršic (*Pergamasus*, *Macrocheles*, *Parasitus*, *Rhodacarus* itd.). Njihova odsotnost zaradi uporabe akaricidov izzove rast populacij njihovega plena, kot so: gliste, skakači in rastlinojede pršice. Herbicidi niso toksični samo za plevela, ampak pogosto tudi za živali tal.

### Namakanje tal

Pri namakanju tal voda napolni rove in votlinice med grudicami tal, življenjski prostor talnih živali. Mnoge vrste prenesejo kratkotrajno poplavo brez poškodb in po osušitvi tal normalno delujejo. Dolgotrajna namakanja pa so za mnoge vrste žuželčjih ličink usodne. Voda vdira skozi vodoprepustne kožice v njihovo telo in povzroči nabrekanje tkiv in smrt. Po Ghilarovu so s tem načinom zatirali rastlinske škodljivce na poljih v Srednji Aziji. Zatiranje je posebej učinkovito v poletnih mesecih, ko se zaradi toplote poveča metabolna aktivnost živali. Naravno poplavljanje, kakršno opazujemo na travnikih Cerkniškega jezera, edafskim živalim ne škoduje. Glede na dolžino poplavljenosti se oblikujejo ustrezne cenoze roženastih pršic (Tarman, 1972), ki so se oblikovale skozi dolgo obdobje in »prilagajale« na periodičnost poplavljanja (slika 5).

### Travniki in pašniki

Pedofavna travnikov in pašnikov je revnejša po vrstah od gozdne, vendar bogatejša od njivske. Glavni vir hrane za saprofage (gliste, pršice, skakače) so mrtve koreninice trav in zeli in manj površinski opad. Razlike so zaradi košnje. Odgovor mnogih talnih živali so občasne selitve v nižje sloje.

Močan učinek na edafsko favno ima paša. Pašne živali s parklji in kopiti tlačijo tla. V zbitih tleh zmanjka no-

tranjih prostočkov. Vzporedno se spremenijo še drugi abiotski pogoji: zračnost, vlažnost, vodoprepustnost tal, kar vse deluje negativno na živali. Iztrebki živine pa so vir hrane za talne živali. Ekološko zanimivi so kravjeki. Vsebujejo veliko neprebavljenih rastlinskih ostankov, ki so hrana talnih živali.

Kravjek je bivališče mikrobov, glist, pršic, skakačev in žuželčjih ličink. Od iztrebljenja pa do popolne predelave, poteče 3 do 5 let. V tem času steče v njem sukcesija drobnih potrošnikov. Kdo so in kako prihajajo je odvisno od letnih časov, prisojne ali osojne lege in suhosti ali močvirnosti pašnika.

Na svež poletni kravjek prve priletijo prave muhe (Muscidae: *Musca*) in brenčičke Calliphoridae: *Cryptolucilia*) in vanj odložijo jajčeca. Kmalu za njimi so cvetne in mesarske muhe (Anthomyiidae in Sarcophagidae). Ličinke muh požirajo rastlinske ostanke. Hrošči potapniki (Hydrophilidae: *Spheridium*, *Cercyon*), ki pristanejo v kravjeku, se potopijo v gosto tekoč iztrebek in v njem zaplavajo. Ščasoma, ko se kravjek osuši, poiščejo v njem svoje življenjske možnosti skarabeji – govnači (*Aphodius*, *Onthophagus*, *Geotrupes*). Ličinke ozkotrupega govnača (*Aphodius fimetarius*) prevrtajo notranjost iztrebka, da nastane v njem omrežje rofov. Preden se ličinke zabubijo, se zarijejo v tla. Tudi govnača *Geotrupes* in *Onthophagus* skopljeta globoke rove v tla, vanje povlečeta koščke iztrebka in nanje izležeta jajčeca. Večja prezračenost skozi omrežje rofov in zato boljši dotok kisika omogoči, muham govnaricam (Scatophagidae), da še one izležejo jajčeca. Ko dobi kravjek površinsko skorjasto prevleko, se priselijo vanj hrošči kratkokrilci (Staphylinidae) in histeridi (Histeridae). Med zadnjimi izležejo jajčeca še muhe trepetavke (Syrphidae).

Po dobrem tednu dni, ko je kravjek prepreden z rovi, se v njem razrastejo hife gliv. Tudi vrste gliv imajo naselitveno zaporedje odvisno od »zorenja« kravjeka. Prve so plesnivke – Phycomycetes (*Pilobulus*), sledijo zaprtotrošnice – Ascomycetes (*Ascophanus*, *Ascobolus*) in na koncu pridejo prostotrošnice - Basidiomycetes (*Coprinus*). Med njimi najdejo svoj prostor še kvasovke in bakterije. Rumeno zelenkasta vsebina svežega kravjeka se z dekompozicijo spreminja v temno-rjavo obarvanost.

V predelan kravjek, iz katerega poženejo travnate bilke, se na koncu priselijo skakači in pršice, dvojnonoge, rdeči



deževniki (*Lumbricus rubellus*) in osmerokotni deževniki (*Dendrobaena octaedra*). Dekompozicijo vseh ostankov dokončajo deževniki, ki povlečejo zadnje ostanke v podzemne rove. Zapleten postopek razkrojevanja je tako končan. Opravljeno delo je za obstoj pašniškega ekosistema zelo pomembno. Nepredelani kravjeki bi s časom prekrili pašniško površino in preprečili rast trav in zeli. Teža vseh prebivalcev, ki se zvrstijo v letu dni v iztrebkih ene govedu, znaša 20 % njegove teže.

Naslednji podatki naj ponazorijo pomen razkrojevanja kravjekov. Teža iztrebkov ene krave ali vola proizvedena v enem letu, za 19-krat preseže težo te živali. Kravjeki ene živali, bi zato prekrili okoli 365 m<sup>2</sup> površine. V nekaj letih bi goveji iztrebki zatrli rast trav in uničili pašnik. Prav to se je zgodilo v Avstraliji z uvedbo evropske živinoreje. Ker nekoč tam ni bilo višjih sesalcev in so se na travnih površinah pasli kenguruji, tudi ni bilo ustreznih razkrojevalcev govejih iztrebkov. Predelovalce kravjekov so uvozili iz izvornih dežel in »cepili« v novo okolje.

### Kompost – neposredna uporabnost znanja

Uporabnost pedobiologije (pedozoologije) je predvsem v varstvu tal in v poznavanju zgradbe in biotskih procesov v tleh. Spoznanje, da so tla živa in proizvod dolge evolucije mora biti vodilo za uporabo (ne izkoriščanje!) tal. V odnosu človek – tla mora biti sožitje!

Spontano spoznanje o koristnosti komposta, kot organskega gnojila je najstarejši primer uporabne pedobiologije. Gnojenje s kompostom ohranja humus.

Podrobnejši pogled v kompost odkrije biotsko raznovrstnost in populacijske številčnosti vrst. Čeprav se pedocenoza komposta razlikuje od gozdne pedocenoze so nekatere vrste skupne obema. Podobnosti so tudi v procesu dekompozicije organskih ostankov. Med mikroartropodi prevladujejo v kompostu skakači nad pršicami. Od pršic pa so roženaste pršice redke in zato pogostejše vrste iz skupine akaridij (*Tyroglyphus*, *Tyrophagus*, *Glycyphagus* itd.). Nastopajoče vrste pršic in skakačev imajo večjo strpnost do povečanih koncentracij CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> in H<sub>2</sub>S.

Pomembno vlogo imajo gliste, beli deževniki in nekatere vrste pravih deževnikov. Značilne so agregacije smrdečih deževnikov (*Eisenia foetida*), ki izkoristijo poleg organske hrane še ugodne mikroklimatske pogoje, posebno višjo

vlažnost in toploto komposta. Kot bakteriovori in fungivori pa vplivajo na dinamiko mikrobnih populacij. V procesu razkrojevanja se njihove vrste sukcesivno menjajo.

V povezavi s kompostiranjem je »farmska gojitev« deževnikov za potrebe vrtnarstva in kmetijstva. Prav na tem področju je bilo veliko zlorab zaradi špekulacij gojiteljev in prodajalcev deževniških kultur.

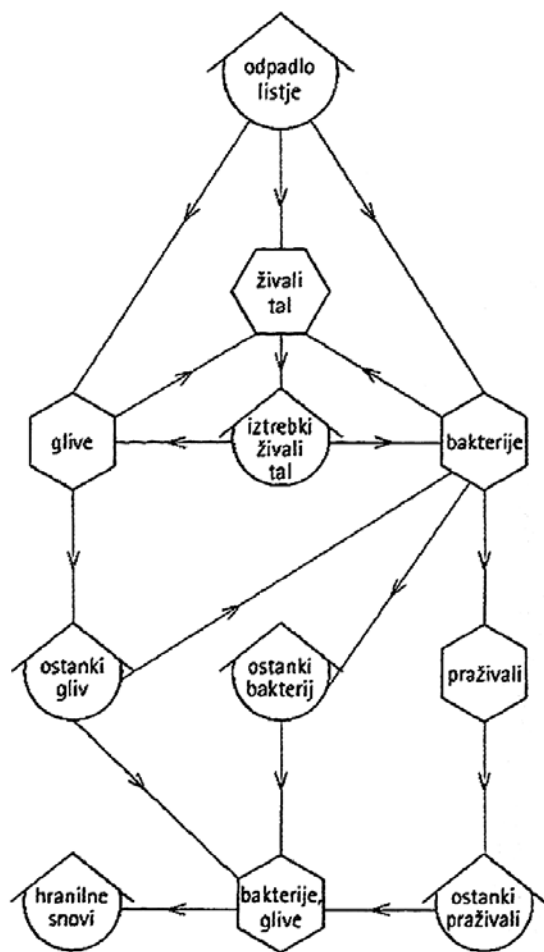
Sodobna industrijska izdelava komposta izhaja iz dognanj mikrobiologije in pedozoologije. Danes je kompost vsem znano potrošno blago. Hkrati pa je kompostiranje tudi del reševanja usode organskih odpadkov naše civilizacije, torej del varstva okolja.

### Za sklep

Podsistem tal s pedocenozo, je del celotnega ekosistema – gozda, travnika ali agrocenoze. Funkcionalno zvezo med površinskim in talnim delom ekosistema tvori letni opad oz. produkcijsko-dekompozicijsko kroženje snovi. Podobno kot v površinskem delu združbe obstojajo prehranjevalne verige in prehranjevalni spleti tudi med vrstami talnih organizmov. V osnovi je pretok snovi v obeh delih enak: primarni proizvajalci (zelene rastline) – primarni konzumenti (rastlinojedci) – sekundarni konzumenti (plenilci). Razlika s površinskimi je v stanju (obliki) primarnega proizvoda. V delu združbe nad tlemi so to živi rastlinski deli. Pedofavna pa se oskrbuje predvsem z mrtvimi rastlinskimi ostanki (opad).

Energijsko pomembni primarni konzumenti v tleh so mikrobi. V 1 g zemlje živi okoli 10.000 vrst in več kot 1 milijarda osebkov bakterij (Torsvik, 1990). Skupna dolžina hif v 1 g posušene zemlje meri do 67 km. Hitro rastoči mikrobi so hranilna osnova za gliste, male in prave deževnike, pršice, skakače itd. V bistveno manjši meri, še posebej velja to za gozdna tla, je vir talnih živali živa rastlinska snov (npr. zajedavske vrste glist na koreninah).

Primer opisanega prehranjevalnega spleta daje shema (sl. 20). Če risbi dodamo kvantitativne podatke prenosa ogljika ali drugega hranila (nutrienta) od proizvajalcev na potrošnike dobimo prehranjevalni splet pretoka snovi. Prvi primer kvantitativne študije prenosa energije skozi prehranjevalne verige pa je opravil R.L. Lindemann (1942). Njegov koncept dinamike združbe (10-odstotni



Slika 20: Prehranjevalni splet razgrajevalcev organskih ostankov v tleh (iz Richards, 1974).

prenos iz nižje prehranjevalne ravni na naslednjo višjo) so potem razvijali in preverjali ekologi na različnih primerih (L. P. Slobodkin, E. P. in H. T. Odum, J. Phillipson). Pri pretoku snovi in energije v prehranjevalni piramidi talnih združb obstojajo trije kanali (Hunt in sod., 1987; Brussaard in sod. 1988). Največji pretok gre skozi bakterijski kanal in kanal gliv. Po kanalu talnih rastlinojedcev, ki objedajo koreninice (gliste, ličinke žuželk) se pretoki mnogo manj. Bakterije in glive opravijo pri kroženju ogljika in dušika glavno delo. Predstavniki pedofavne jim pri poslu izdatno pomagajo.

Če na kratko povzamemo dekompozicijski prispevek pedofavne, lahko to strnemo v naslednje:

1. mehanično drobljenje organskih ostankov, obdelava, ki neposredno koristi mikrobom;
2. iztrebki deževnikov, dvojnog in nekaterih žuželčnih ličink (dvokrilcev) dodajajo tlom glineno-humusni kompleks, pogoj za rahlost, grudičavost tal;
3. kopanje rogov – zračenje tal in odtekanje vode proti podtalnici (deževniki!);
4. širjenje bakterij in gliv v substratu tal (prispevek k večji mikrobni aktivnosti, preprečevanju bakterio- in mikostazisa);
5. razširjanje mikoriznih gliv (voluharice, roženaste pršice);
6. preprečevanje kopičenja organskih ostankov v tleh, kroženje hranil v ekosistemu (C, N, P itd.);
7. raznovrstnost pedocenoze je varovalka za nemoteno delovanje ekosistema v celoti.

## Slovstvo

Bade C. (1989): *Milben – Acari*. Naturhistorisches Museum Basel.

Begon M., Harper J. L., Townsend C. R. (1990): *Ecology*. Blackwell Scientific Publications, Boston – Oxford – London.

Bole J. (1994): *Polži tal*. Prirodoslovno društvo Slovenije, Ljubljana.

Brauns A. (1968): *Praktische Bodenbiologie*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

Burges A., Raw F. (1967): *Soil Biology*. Academic Press, London in New York.

Červek S. (1975): *Prehranjevalni odnosi mezoartropodi tal – glive*. Razprave SAZU, 18/7. Ljubljana.

Červek S. (1974): Hife in spore v ekskrementih petih vrst kolembolov. *Biološki vestnik* 22.

Dunger W. (1964): *Tiere im Boden*, A. Ziemsen Verlag, Wittemberg Lutherstadt.

- Francé R. H. (1922): *Das Leben im Ackerboden*. Kosmos, Stuttgart.
- Jazbec R. in sod. (1992): *Raziskujmo življenje v tleh*. Zavod Republike Slovenije za šolstvo, Ljubljana.
- Kevan D., MacE K. (1955): *Soil Zoology*. Butterworths Scientific Publications, London.
- Kryštufek B. (1991): *Sesalci Slovenije*. Prirodoslovni muzej Slovenije, Ljubljana.
- Lobnik F. (1982): *Pedologija, Naša rodna zemlja*. Prirodoslovno društvo Slovenije, Ljubljana.
- Luxton M. (1979): Food and energy processing by Oribatid Mites. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, Paris.
- Kos I. (1996): *Strige (Chilopoda) in njihova ogroženost*, Narava Slovenije, stanje in perspektive, Ljubljana.
- Mršič, N., 1986: Deževniki, biologija in gojenje, Kmečki glas, Ljubljana.
- Mršič N., Novak T. (1995): *Vzorčenje in določanje talnih živali*. Zavod Republike Slovenije za šolstvo, Ljubljana.
- Mršič N. (1996): *Dvojnoge (Diplopoda) – pomen, stanje raziskanosti in ogroženost*, Narava Slovenije, stanje in perspektive, Ljubljana.
- Mršič N. (1997): *Živali naših tal*. TZS. Ljubljana.
- Novak T., Slana L. (1996): *Suhe južine (Opiliones) z naravovarstvenega vidika*. Narava Slovenije, stanje in perspektive, Ljubljana.
- Pohleven F. (1996): *Ksilofagni insekti in njihova vloga pri razgradnji lesa*. Narava Slovenije, stanje in perspektive, Ljubljana.
- Potočnik F. (1996): *Mokrice (Isopoda Terrestria)*. Narava Slovenije, stanje in perspektive, Ljubljana
- Renker C. in sod. (2005): Oribatid Mites as Potential Vectors for Soil Microfungi: Study of Mite Associated Fungal Species. *Microbial Ecology* 50, Springer Science + Business Media.
- Richards B. N. (1974): *Introduction to Soil Ecosystem*. Longman, Essex.
- Schaller F. (1962): *Die Unterwelt des Tierreiches*. Springer Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg.
- Schneider K. in sod. (2005): Oribatid mite (Acari, Oribatida) feeding on ectomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza* 16. Springer Verlag.
- Schuster R. (1955): Untersuchungen über die bodenbiologische Bedeutung der Oribatiden, *Naturwiss.* 42.
- Schuster R. (1956): *Der Anteil der Oribatiden an der Zersetzungs Vorgängen im Boden, Z. Morph. u. Ökologie der Tiere*. Springer Verlag.
- Tarman K. (1964): *Človek in narava*. MK, Ljubljana.
- Tarman K. (1965): *Živi svet prsti*. CZ, Ljubljana.
- Tarman K. (1968): Anatomy, Histology of Oribatid Gut and their Digestion. *Biološki vestnik* 16., Ljubljana.
- Tarman K. (1972): Oribatide v periodično poplavljenih tleh. *Biološki vestnik* 20., Ljubljana.
- Tarman K. (1973): Oribatidna favna v poluiranih tleh. *Biološki vestnik* 21., Ljubljana
- Tarman K., Červek S. (1977): Industrijsko onesnaževanje in favna tal. *Varstvo narave* 10., Ljubljana.
- Tarman K. (1985): *Živali tal, Naša rodna zemlja*. Prirodoslovno društvo Slovenije, Ljubljana
- Tarman K. (1992): *Osnove ekologije in ekologija živali*, DZS, Ljubljana.
- Tarman K. (1995): *Gozd – urejena raznovrstnost, Gozd je veliko več*. Gozdarska založba, Ljubljana.
- Tarman K. (1996): *Pršice (Acarina) – ekologija in ogroženost*. Narava Slovenije, stanje in perspektive, Ljubljana.
- Tarman K. (1999): Gozdna tla- raznovrstnost mikrobov in živali. *Proteus* 2/62, Ljubljana
- Tarman K. (2005): Simbiozna biocenoza v gozdnih tleh. *Proteus*, 3/68, Ljubljana.
- Toman M. (1977): *Dekompozicija ekskrementov larv borovega prelca (Taumatopoea pinivora)*. Dipl. naloga, Ljubljana.
- Wood, M., 1995: *Environmental Soil Biology*. Blackie Academic&Professional, London.

Wikipedia, 2008: *Soil food web*.

Wikipedia, 2008: *Soil biodiversity*.

Wikipedia, 2008: *Soil life*.

## **Slovarček**

*Acidofilne živali* – živali, ki izbirajo okolje z nižjimi pH-vrednostmi (pod pH = 7) oz. so do takega okolja strpne.

*Aerobni procesi* – presnovni procesi, ki potekajo pri prisotnosti kisika.

*Agrocenoza* – življenjska združba poljskih/njivskih ekosistemov.

*Anabioza* – prikrito življenje, v času neugodnih življenjskih pogojev, ko živo bitje ne kaže zunanjih znakov življenja.

*Anaerobni procesi* – presnovni procesi, ki potekajo pri odsotnosti kisika.

*Anoksibionti* – organizmi, ki za življenje ne potrebujejo prostega kisika; za mnoge je celo prost kisik strupen.

*Bakteriostazis* – zaviranje rasti in razmnoževanja bakterij.

*Bazofilne živali* – živali, ki izbirajo okolje z višjimi vrednostmi pH (nad pH = 7) ali pa so do bazičnosti strpne.

*Biodiverziteteta* – raznovrstnost živega sveta.

*Biomasa* – živa teža organizmov.

*Edafon* – živi svet tal (zemlje, prsti).

*Ektotermne živali* – živali, ki se ogrevajo na račun sončnega sevanja (v vsakdanjem jeziku jim pravimo kar »mrzlo-krvne živali«).

*Endotermne živali* – živali, ki proizvajajo v procesu presnove lastno toploto (v vsakdanjem jeziku jim pravimo kar »toplokrvne živali«).

*Fotofilne živali* – živali, ki izbirajo osvetljeno okolje.

*Fotofobne živali* – živali, ki se pred svetlobo umikajo v temo.

*Herbicidi* – sredstva namenjena zatiranju plevelov, a so pogosto strupena tudi za živali in ostale rastline.

*Higrofilija* – izbiranje vlažnega okolja.

*Hipogeični trosnjak* – trosnjak gliv, ki raste v notranjščini tal (npr. trosnjak tartufov), mnoge glive poženejo trosnjak na površini tal (goba).

*Hitinolitične hife* – hife gliv, ki s svojimi encimi razgrajujejo hitin.

*Kserofilija* – izbiranje suhega okolja.

*Limnozologija* – področje zoologije/ekologije, ki preučuje živalski svet v celinskih vodah.

*Mikostazis* – zaviranje rasti in gliv.

*Mikoriza* – sožitje med glivicami in rastlinami, ki se razvije na njihovih koreninah.

*Mikroartropodi* – členonožci katerih velikost ne presega 2 mm dolžine.

*Mikroklima* – klima ob tleh in v talnih prostorčkih, med opadom, v mahovih, v notranjosti krtovih rogov in gnezd, razpadajočih drevesnih panjev, dupel itd.).

*Monokultura* – enovrstni nasadi dreves (smreka, topol) ali enovrstni posevki na njivah.

*Nanizem* – pojav majhnosti v živalstvu.

*Pedobiologija* – področje biologije, ki preučuje živa bitja v tleh (mikrobe in živali).

*Pedocenoza* – življenjska združba v tleh (del biocenoze oz. ekosistema).

*Pedofavna* – živalski svet tal.

*Pedozoocenoza* – živalska združba tal.

*Pedozoologija* – področje zoologije/ekologije, ki preučuje živalski svet tal.

*Pesticidi* – sredstva namenjena za zatiranje škodljivcev kulturnih rastlin, a žal pre pogosto ubijajo tudi druga bitja.

*Termofilija* – izbiranje toplega okolja.

*Zoocenoza* – živalska združba (del biocenoze).

## MOLEKULARNI MARKERJI IN NJIHOVA UPORABA V BIOGEOGRAFIJI

### Peter Schönswetter

Univerza na Dunaju, Oddelek za biogeografijo,  
Rennweg 14, A-1030, Dunaj, Avstrija; e-naslov: peter.  
schoenswetter@univie.ac.at

---

*Dr. Peter Schönswetter je docent na Oddelku za biogeografijo in botanični vrt Univerze na Dunaju, Avstrija. Njegova glavna področja raziskovanja so povezana z evolucijo alpskih rastlin v gorovjih Srednje in Južne Evrope, in sicer od nivoja populacije prek širših področij (npr. sestava niza: »filogeografija«) do ugotavljanja sistemskih razmerij.*

### Povzetek

Uporaba molekularnih orodij (zaporedje DNA, prstni odtis DNA) je v zadnjih dvajsetih letih prevetrila biogeografske raziskave. Molekularno biogeografijo lahko povzamemo kot filogeografijo (izraz je skoval John Avise) in predstavlja tisto znanost, ki odkriva in razlaga geografsko razširjenost genealoških linij. Predstavil bom naslednja vprašanja:

1. **Zakaj** uporabljati molekularne markerje v biogeografskih raziskavah?
2. **Tipe molekularnih markerjev**, načine pridobivanja in vrste podatkov.
3. Na **katera vprašanja** lahko odgovorimo z molekularnimi podatki in na katera ne moremo?

Kot primer povezovanja molekularnih, habitatnih in podatkov o razširjenosti vrst bom predstavil raziskavo o posledicah poledenitev med ledenimi dobami na alpsko floro in evropski program 6. okvira INTRABIODIV. Izhodišče tega projekta je bilo dejstvo, da je pestrost vrst najpogostejši kazalnik biodiverzitete. Vendar pa intraspecifična raznolikost (genetski polimorfizem) predstavlja evolucijsko in prilagoditveno moč vsake od vrst v spreminjajočih se okoljih. Glavni poudarek projekta je bila možnost povezave med intraspecifično raznolikostjo in pestrostjo vrst oz. raznolikostjo habitatov. Cilji so bili:

## MOLECULAR MARKERS AND THEIR APPLICATION IN BIOGEOGRAPHY

### Peter Schönswetter

University of Vienna, Department of Biogeography,  
Rennweg 14, A-1030, Vienna, Austria; e-mail: peter.  
schoenswetter@univie.ac.at

---

*Dr. Peter Schönswetter is assistant professor at the Department of Biogeography and Botanical Garden at the University of Vienna, Austria. His main research interests are connected to all aspects of the evolution of alpine plants of the Central and Southern European mountain ranges ranging from processes at the population level over patterns at the regional scale (e.g., range formation: "phylogeography") to the reconstruction of systematic relationships.*

### Summary

The application of molecular tools (DNA sequences, DNA fingerprinting) has revolutionised biogeographic research over the last two decades. Molecular biogeography can be summarised under "**phylogeography**", a term coined by John Avise twenty years ago. It is describing the branch of science that explores and interprets the geographical distribution of genealogical lineages. In my presentation, I am going to discuss the following issues:

1. **Why** should we use molecular markers in biogeographical research?
2. Which **types of molecular markers** are being used, how are the data generated and how do they look like?
3. **Which questions** can be answered with molecular data and which ones not?

To illustrate the above points, I will present studies that explored the effect of the glaciations of the ice ages on the flora of the Alps as well as the EU 6<sup>th</sup> framework project "**INTRABIODIV**" as an example for the integration of molecular data, habitat data and species distribution data.

A starting point for that project was that species richness is the most widely used measure for biodiversity

- 1) poiskati in razložiti možna razmerja med inter- in intraspecifično raznolikostjo rastlin ter habitatno raznolikostjo,
- 2) izdelati model za napoved intraspecifične raznolikosti rastlin v velikem obsegu z uporabo bolj dostopnih nadomestkov,
- 3) določiti orodja za izdelavo mreže zaščitenih območij in s tem zagotoviti učinkovito trajnostno upravljanje naravnih genetskih virov.

Želeli smo odgovoriti na naslednja vprašanja, pri čemer smo uporabili Alpe in Karpace kot modelna sistema:

- 1) Ali obstaja skladnost med intra- in interspecifično raznolikostjo?
- 2) Ali imajo območja z veliko pojavnostjo endemitov in obenem tudi ledenodobnih reliktovis visoko stopnjo intraspecifične raznolikosti?
- 3) Ali so habitatne razlike, ki jih določajo okoljski parametri, dober približek za intra- in interspecifično raznolikost?

Da bi dosegli naš namen, smo pregledali intraspecifično raznolikost z molekularnimi markerji pri 25 modelnih vrstah. Na istih območjih smo ocenili vrstno pestrost iz dostopnih podatkov o razširjenosti rastlin. Okoljske podatke smo vključili kot kazalnike habitate raznolikosti. Na koncu smo vse tri vrste podatkov primerjali, da bi našli morebitne povezave med vsemi spremenljivkami.

assessment. However, it is intraspecific diversity (genetic polymorphism) that represents the evolutionary and adaptive potential of each species in changing environments.

The main point of the project was to study possible correlations between intraspecific diversity and species richness or habitat variation. The objectives were:

- (i) to find and explain possible relationships among inter- and intraspecific plant diversity and habitat variation,
- (ii) to elaborate a modelling approach to predict intraspecific plant diversity, using more efficiently accessible surrogates, on a large scale,
- (iii) to establish tools for the design of a network of protected areas to effectively ensure the sustainable management of natural genetic resources.

The following questions were asked, using the Alps and the Carpathians as model systems:

- (i) Is there congruence between intra-/interspecific biodiversity?
- (ii) Do areas of high endemism, often coinciding with glacial refugia, harbour a great degree of intraspecific diversity?
- (iii) Is habitat variation, characterised by environmental parameters, a good surrogate for intra- and interspecific diversity?

In order to accomplish the aims, intraspecific diversity was mapped by using molecular markers in 25 model species, the species richness was mapped on the same area using mainly existing data on plant distributions. Furthermore, environmental data were compiled for a map of habitat diversity, and finally these maps were compared to find possible correlations among these variables.

## SKRAJNA OKOLJA – EKSTREMNI HABITATI

### Boris Sket

Univerza v Ljubljani, biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Večna pot 111, 1000 Ljubljana; e-naslov: boris.sket@bf.uni-lj.si

---

*Dr. Boris Sket, slovenski biolog in pedagog, je doktoriral leta 1961 na takratni Prirodoslovno-matematični fakulteti s področja zoologije nevretenčarjev. Je strokovnjak na področju speleologije; med letoma 1983 in 1985 je bil dekan Biotehniške fakultete v Ljubljani, kasneje pa tudi rektor Univerze v Ljubljani (1989–1991). Na Oddelku za biologijo Biotehniške fakultete v Ljubljani predava predmet speleobiologija, do leta 2006 pa je predaval tudi predmet zoologija nevretenčarjev v okviru dodiplomskega študija biologije.*

### Izyleček

Kot ekstremene označujemo tiste habitate, ki so neugodni ali izključujoči za številne organizme in ugodni le za maloštevilne. Nekatere vrste so se na ekstremni habitat specializirale, druge pa ga le prenašajo in se v njem namnožijo zaradi pomankanja tekmecev (kompetitorjev). Ene in druge lahko služijo kot kazalniki (indikatorji). Kot primeri so opisane sladke vode (v primerjavi z morjem), organsko onesnažene vode s preobiljem hrane in podzemeljske vode s pomanjkanjem hrane.

### Uvod

Skrajna okolja (ekstremni habitati) so sama po sebi zanimiva. Povrhu postajajo vedno opaznejša sestavina porušene narave in tudi zato je vedno bolj primerno, da jih spoznamo. Za ekstremna lahko označimo tista okolja, v katerih se le maloštevilne vrste dobro počutijo. Večinoma so to okolja, v katerih je kaka snov v previsokih koncentracijah, energija v prebitku; lahko pa je neugodni dejavnik tudi pomanjkanje česar koli. V vsakem primeru ta neugodni dejavnik onemogoča preživetje ali razmnoževanje

## EXTREME HABITATS

### Boris Sket

University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Biology, Večna pot 111, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: boris.sket@bf.uni-lj.si

---

*Dr. Boris Sket is a Slovenian biologist and pedagogue. He got his PhD in 1961 at the Natural-Mathematical Faculty in the field of invertebrate zoology. He is an expert in speleobiology. In 1983–1985 he was the dean of Biotechnical Faculty and in 1989–1991 the chancellor of University of Ljubljana. He holds lectures on Speleobiology at the Department of Biology, Biotechnical Faculty, and until 2006 he also lectured on Invertebrate Zoology to biology students.*

### Abstract

As extreme we denote those habitats which are unfavourable for or even excluding most organisms and favourable only for a narrow selection of them. Some species got specialized for such habitats while the others only tolerate them but propagate in them extensively for the lack of competitors. Both may serve as indicators of certain (extreme) conditions. As examples fresh waters (compared to the sea), organically polluted waters with a too high quantity of food resources and subterranean waters with particularly poor food resources are described.

večine vrst – živalskih, rastlinskih, bakterijskih. Seveda je od mere 'skrajnosti' odvisno, koliko vrst bo izločenih in koliko bo še zmožnih preživeti. Torej bomo le težko ločili skrajne od neskrajnih habitatov, navadno lahko razpravljamo le o bolj ali manj ugodnih in bolj ali manj skrajnih. Mero skrajnosti lahko ugotavljamo le v primerjavi.



### Naštejmo nekaj primerov

Le malo kdo bo pomislil, da bi utegnilo biti jezero skrajno okolje. A primerjajmo jezero v zmernem podnebju z morjem. Temperatura v jezeru niha neprimerno bolj. Koncentracije ionov so v sladki vodi tako nizke, da morajo biti jezerske živali zmožne izločati osmotsko vdirajočo vodo in vzdrževati svoje notranje okolje na višji ravni – to pa zahteva več energije. In to pomeni višji metabolizem, višjo porabo hrane in kisika. In pri tem je tudi vsebnost kisika v jezerski vodi neprimerno bolj nestanovitna kot v morju. Zato večina morskih vrst ne bi mogla preživeti v jezeru. Sicer velja tudi obratno, tudi jezerske ne bi mogle preživeti v morju, a teh je neprimerno manj. V tem primeru lahko skrajnost okolja ocenimo le po nje-

govi zahtevnosti, morda še po razmeroma nizkem številu vrst v posameznem jezeru. Ves sestav sladkih voda na Zemlji je vendar dovolj staro okolje, da se je lahko veliko vrst nanj prilagodilo. Še več, večina današnjih sladkovodnih vrst je nastala s speciacijo – že v tem okolju.

Drugače je z onesnaženo vodo kot habitatom. To bomo seveda primerjali z neonesnaženim potokom. V polisaprobnih, močno organsko onesnaženi vodi, potekajo procesi gnitja, kisik je že povsem porabljen ali prisoten le v sledih (bakterije ga sproti porabijo), praviloma nastaja vodikov sulfid (žveplovodik), oksidacija amoniaka ni možna, obilo je ogljikove kisline in visokomolekulskih dušikovih spojin ter njihovih razpadnih produktov, pa ogljikovih hidratov. Okolje je sicer nevzdržno za veči-

**Tabeli 1-2:** Primera skrajnih okolij v primerjavi s primerljivimi manj skrajnimi. \* Številka velja za vse raziskane izvire skupaj, v posameznem so največ tri vrste.

	skrajno stanje		najugodnejše stanje	
Oznaka, 'kakovostni razred'	polisaprobnno, 4. k. r.	$\alpha$ -mezosaprobnno, 3. k. r.	$\beta$ -mezosaprobnno, 2. k. r.	(oligosaprobnno, 1. k. r.)
<b>Opis razmer</b>	procesi gnitja, zlasti reduktivni; kisika ni ali je v sledovih; nastajanje H <sub>2</sub> S; obilo visokomolekulskih N-spojin in ogljikovih hidratov	beljakovine razpadajo na aminokislino; oksidacija, kisika podnevi lahko veliko; sulfidi oksidirajo	napredujoča oksidacija in mineralizacija, a organske snovi še prisotne; kisika dovolj	organske snovi razkrojene, oksidacija in mineralizacija zaključena; voda dobro prezračena
<b>Pestrost poseljenosti</b>	skoraj le mikroorganizmi; masovno bakterije; skoraj brez zelenih alg; višjih rastlin ni, maloštevilne vrste maloščetincev, glist, žuželk	veliko bakterij, še vedno pretežno mikroorganizmi; prisotne tudi modrozeleni cepeljivke in več skupin alg; nekateri polži, raki, žuželke	bakterij sorazmerno malo; bogat izbor višjih rastlin in mnogoceličarjev iz vseh skupin	bakterij zelo malo, manjša se udeležba alg (po masi in vrstah), številne žuželčje ličinke; število živalskih vrst na določenem mestu manjše
	najugodnejše stanje		skrajno stanje	
<b>Primer</b>	<b>reka Krka</b>	<b>vode v Postojnsko-planinskem jamskem sistemu</b>	<b>vode v Križni jami</b>	<b>toplice po Sloveniji</b>
<b>Opis razmer</b>	čista do zmerno onesnažena površinska reka ( $\beta$ -mezosaprobnna)	pester jamski sistem s ponikalnico	velika jama brez ponikalnice	izviri iz globine, z višjo temperaturo
<b>Pestrost poseljenosti</b>	več kot 350 vrst rastlin in živali iz 25 redov	200 vrst živali iz 20 redov	40 vrst živali iz 11 redov	16* vrst živali iz 4 redov

no bitij, a hrane je v izobilju. Je to okolje res neugodno, skrajno? Seveda je še več kot neugodno, prav izključujoče, za večino organizmov, za majhno število njih pa je izjemno ugodno. Spet nekoliko drugačne so človekove potrebe, ki se odražajo v označevanju s 'kakovostnimi razredi'. Oligosaprobna je med njimi seveda najboljša, najuporabnejša, prvega kakovostnega razreda.

Tretji primer naj bodo podzemeljske jame. V nasprotju z onesnaženimi površinskimi vodami je v njih kisika navadno dovolj, voda je bolj ali manj čista, v njej ni pretiranih količin neugodnih ionov, predvsem ni neprijetnih snovi, ki so v onesnaženi vodi. In, seveda, skoraj ni organskih snovi, kar pa pomeni, da je skrajno malo hrane. In najopaznejše je, da tu ni svetlobe, ki je posreden razlog za nekatere omenjene lastnosti okolja.

### **Prilagajanje**

V vsakem od takšnih okolij lahko preživijo organizmi, ki so nanj prilagojeni. Prilagajanje zahteva obilje časa, saj je odvisno od povsem slučajnih, nič v korist usmerjenih mutacij ter od selekcije, ki te maloštevilne koristne mutacije počasi uveljavi. Zato lahko pričakujemo, da bo v starejših habitatih več vrst – seveda, če habitat le ni prezahteven.

Sladke vode so primer zase. Na voljo so že desetine milijonov let, zato se je vanje lahko vselilo res veliko organizmov iz morja. Sladkovodno okolje je razdeljeno na zelo številna območja (povodja), zato so se živalske vrste ob vseljevanju vanje tudi cepile v množico novih vrst. Povrhu so se v sladke vode vselile tudi številne živali s kopnega. Dobra polovica od več kot 12.000<sup>1</sup> evropskih sladkovodnih vrst živali so žuželke, ki so kopenskega izvora. Število sladkovodnih vrst je torej v kontinentalnem ali globalnem merilu visoko, vendar pa imajo za razliko od morskih razmeroma majhna ali zelo majhna območja razširjenosti. V posameznem jezeru ali porečju je število razmeroma nizko.

Jamsko okolje (če se omejimo na to vrsto podzemlja) je neprimerno manj staro in manj obstojno. Kraške jame nastajajo predvsem v apnenčastih skladih, ki jih voda votli od znotraj in tanjša od zunaj. Podzemeljske votline v teh skladih torej nastajajo, obenem pa tudi izginjajo. Ko voda raztopi ves apnenec, tudi votlin v njem ni več.

Takšno zakraševanje in 'razkraševanje' lahko traja nekaj milijonov let. To je vendar dovolj časa, da se nekaj vrst vanj vseli in nanj prilagodi. A skupaj s krasom bodo te 'jamske' vrste propadle, če ne bodo slučajno našle poti v kakšno drugo (mlajšo) kraško gmoto ali pa v interstici-alno vodo.

Še na eno težavo naleti živi svet pri poseljevanju podzemlja. Stiki med površjem in podzemljem (jamski vhodi, skalne špranje) so razmeroma tesni in raztreseni. In v podzemlje se lahko vseli le populacija, ki se je po naključju znašla ob takšnem vhodu, obenem pa ima genetsko podprte zmožnosti, da se v podzemlju obdrži. Takšna vrsta seveda bo prišla v podzemlje, saj ima zaradi čezmernega razmnoževanja vsaka vrsta nujno, da se širi, kamor se le more.

In kakšne vrste lahko prodrejo v podzemlje? Za to je nekaj pogojev. Žival ne sme biti v nobenem pogledu odvisna od svetlobe, niti neposredno, npr. pri orientaciji, niti posredno, npr. za hrano ne sme potrebovati zelenih rastlin. In biti mora sploh skromna, kar zadeva energijo, prehrano. Takšna vrsta se bo lahko razmnoževala tudi v podzemlju. Če pride pri nekaterih potomcih do mutacij na nekoristnih organih, bodo ti morda lažje preživeli. Pokrnavanje v podzemlju nekoristnih oči in kožnega pigmenta pomeni prihranek in zato prednost. Seveda bodo lažje in zato bolj verjetno preživeli tudi potomci s tipalkami, podaljšanimi po mutacijah, pa z izboljšanim vohom. In tako se vrsta postopoma prilagaja, spreminja v troglobionta. Razen teh oblikovnih (morfoloških) posebnosti pomenijo prilagoditev na podzemlje tudi nekatere fiziološke in sploh biološke značilnosti. Troglobionti imajo lahko za nekajkrat znižano presnovo. To pa je povezano tudi s počasnejšim razvojem, počasnejšim spolnim dozorevanjem in z nekajkratnim podaljšanjem življenjske dobe. Površinski pupki živijo nekaj let, jamska človeška ribica pa dolga desetletja.

### **Kakšen je konkreten učinek 'ekstremnosti' razmer**

Ko polisaprobna voda ob naravnem 'samoočiščevanju' prehaja v  $\alpha$ - in nato v  $\beta$ -mezosaprobno, se pestrost življa večja, nižja pa se masovnost najodpornejših vrst, ki so dobro uspevale ob obilju hrane in pomanjkanju tekmecev v polisaprobni vodi. Za v  $\beta$ -mezosaprobno bi lahko označili tudi večino naravnih nižinskih voda. Te imajo zelo pestro rastje in so poseljene z obilico živalskih vrst najrazličnejših skupin. V smeri oligosaprobne stanja

<sup>1</sup> Po popisu v Illies, 1978; danes bi jih našteali vsaj kak tisoč več.

pa razmere spet postajajo manj ugodne, tokrat zaradi pomanjkanja hrane.

A v površinskem oligosaprobem okolju so vendar prisotni tudi producenti organskih snovi, zelene alge in višje rastline. Bolj ekstremno od tega je zato revno podzemeljsko okolje. Zlasti če vanj ne teče s površja razmeroma bogata ponikalnica in je malo drugih povezav s površjem. V vsakem primeru lahko tukaj živijo le posebej prilagojene – in zato na to okolje vezane, specializirane – živali, ki jim rečemo troglobionti. In teh je malo in še njihove populacije so največkrat revne. Termalne vode pa so prav najskrajnejši podzemeljski habitat, saj pritekajo iz velikih globin, organske snovi so povsem porabljene, kisika je skrajno malo, višja temperatura pa vsiljuje živalim višjo presnovo in porabo.

In kaj se zgodi, če podzemeljsko vodo obogatimo s hrano? Če nima tesnejšega stika s površinskimi vodami, je to lahko za podzemeljske živali ugodno in se močno namnožijo. Če pa lahko v takšno podzemeljsko vodo vdrejo površinske živali, bodo zlahka izpodrinile skromne, šibke, omledne in počasi se razmnožujoče troglobionte.

### *Še o kazalnikih (indikatorjih)*

Za ekologijo, zlasti za aplikativno ekologijo, je koristno, če nam kak organizem pomaga prepoznati glavne posebnosti ekstremnega habitata. Včasih je to pač cenejše ali bolj priročno kot kemijska analiza. Razen tega organizem živi dlje v svojem okolju in je odvisen od razmer v daljšem obdobju. Če se razmere spreminjajo, bi lahko vzeli vzorec za kemijsko analizo ravno ob 'netipičnem' stanju. Zato so raziskovalci razvili sisteme kazalnikov (indikatorjev) stanja: kazalnike mere onesnaženosti, kazalnike povišane koncentracije železa ali žvepla in podobno. Kazalniki pa so po svoji naravi lahko dveh povsem različnih vrst. Po eni strani so to organizmi, ki so prav vezani npr. na večjo koncentracijo neke snovi v vodi, pa jih zato v normalnem okolju ni. Drug tip kazalnika, najbrž kar večinski, pa so organizmi, ki tisto 'ekstremno' stanje le zlahka prenašajo, a so navzoči tudi v normalnem okolju. Ta organizem mora biti šibak tekmeč in je v normalnem okolju redek, neopazen. V ekstremnem okolju, kjer ne uspevajo sicer agresivnejše, a zahtevnejše vrste, pa se ta organizem namnoži v opazno množico.

## IZUMIRANJE

### **Boris Kryštufek**

Univerza na Primorskem, Znanstveno-raziskovalno središče, Inštitut za biodiverzitetne študije, Garibaldijeva 1, 6000 Koper, boris.krystufek@zrs.upr.si

---

*Dr. Boris Kryštufek je predstojnik Inštituta za biodiverzitetne študije (Znanstveno-raziskovalno središče Univerze na Primorskem) in Kustodiata za vretenčarje (Prirodoslovni muzej Slovenije). Proučuje sistematiko, biogeografijo in ekologijo sesalcev Balkanskega polotoka, Bližnjega in Srednjega vzhoda in Južne Afrike. Je znanstveni koordinator WWF projekta zavarovanih območij v dinarski ekoregiji in konzultant za IUCN rdeči seznam sesalcev.*

### ***Izyleček***

Evolutivni nastanek in izumrtje sta značilna za vsako vrsto. Glede na to, da je vrsta (species) skupek osebkov in je kot takšna kolektivna kategorija, sta ocena obstoječe vrstne raznolikosti in tempo izumiranja odvisna od koncepta pojma vrsta. Ne glede na to pa današnja hitrost izumiranja občutno presega povprečno hitrost tega procesa v preteklosti. Ker speciacija ne more slediti hitrosti izumiranja, se vrstna raznolikost zmanjšuje. Govorimo o izumiranjih, ki so povezana s človekom (man related extinctions), obdobju pa pravimo biodiverzitetna kriza. Čeprav dejanskega števila vrst na planetu ne poznamo, lahko ocenimo relativno hitrost izumiranja s pomočjo nekaterih splošnih biodiverzitetnih vzorcev. Tako nam Arrheniusova enačba pove odstotek zmanjšanja vrstne raznolikosti, ki je posledica uničevanja njihovega habitata; v tropskem deževnem gozdu npr. znaša 0,15–0,63 % vrst, ki so vezane na ta ekosistem. Človek s svojimi posegi v prostor tudi zvišuje naravne attribute redkosti vrst, s tem pa povečuje njihovo dovzetnost za izumiranje.

## EXTINCTION

### **Boris Kryštufek**

University of Primorska, Science and Research Centre Koper, Institute for Biodiversity Studies, Garibaldijeva 1, SI-6000 Koper, Slovenia, boris.krystufek@zrs.upr.si

---

*Dr. Boris Kryštufek is the head of the Institute for biodiversity studies (Science and Research Centre of University of Primorska) and of the Department of mammalogy (The Slovenian Museum of Natural History). His main areas of research are systematics, biogeography and ecology of mammals of Balkan, Near and Middle East and South Africa. He's the scientific coordinator of the WWF project on protected areas in dinaric ecoregion and the consultant for the IUCN red list of mammals.*

### ***Abstract***

Speciation and extinction are characteristic for evolution of every species. Regarding the fact that species is a group of individuals and is therefore a collective category, the estimation of the species' diversity and the tempo of extinction are dependent on species' concept. Today's speed of extinction considerably exceeds its average speed in the past. Since speciation can't follow the extinction the species diversity decreases. We are talking about man related extinctions and the period is called the biodiversity crisis. Although the real number of species on the planet is not known, the relative speed of extinction can be evaluated by some universal biodiversity patterns. Arrhenius equation predicts the percentage of the decrease of species diversity caused by the destruction of their habitat. In tropical rain forest it is 0,15–0,63 % species in the ecosystem. The human activities in the environment elevate the natural attributes of species rarity and thus increase their susceptibility for the extinction.

## Uvod

Vrsta (*species*) je skupek osebkov in je kot takšna kolektivna kategorija. Tako kot se posamezni osebek rodi in umre, sta tudi za vrsto značilna evolutivni nastanek in izumrtje. Izumiranje je povsem naraven proces in neizbežna usoda vsake vrste živih bitij. Vrste so torej omejene v prostoru in času, saj je proces izumiranja nepovraten. Izumiranje se je dogajalo ves čas obstanka življenja na planetu. Po eni od ocen naj bi 99 % vrst, kolikor se jih je zvrstilo v času, že izumrlo. Pri zmerni oceni globalne biodiverzitete na 10 milijonov živečih vrst bi torej na Zemlji do danes izumrlo že najmanj milijarda vrst. Življenjska doba posamezne vrste je pri morskih nevretenčarjih ocenjena na 5–10 milijonov let, pri ptičih in sesalcih pa 0,5–2 milijona let. Kljub stalnemu in vseobsegajočemu izumiranju pa je bil ta proces v glavnem počasnejši od nastajanja (evolucije) novih vrst. Skratka, neto bilanca evolucije je bila pozitivna, tako da ima planet danes večje število vrst (vrstno diverzitet), kot pa ga je imel v času kambrijske eksplozije pred 500 milijonov let. Nekateri avtorji tudi poročajo, da je v različnih taksonomskih skupinah vrstna diverzitet ostajala nespremenjena skozi milijone let, in to kljub stalnemu izumiranju in speciaciji. Očitno sta oba procesa v dinamičnem ravnovesju tako kot model dinamične otoške biogeografije, po katerem je trenutno število vrst na otoku posledica ravnovesja med kolonizacijo in lokalnim izumiranjem. V evolucijskih časovnih dimenzijah naj bi bila hitrost izumiranja in speciacije torej funkcija obstoječega števila vrst. V uravnovešenem sistemu, ki je 'nasičen' z vrstami, model predvideva hitrejše izumiranje. Odklon od točke dinamičnega ravnovesja proti manjšemu številu vrst pa naj bi pospešil proces speciacije.

Zakaj torej procesu izumiranja, ki je povsem naraven, danes tudi v laičnih krogih pripisujejo takšen pomen? Preden se posvetimo samemu procesu, se moramo približe seznaniti s konceptom vrste.

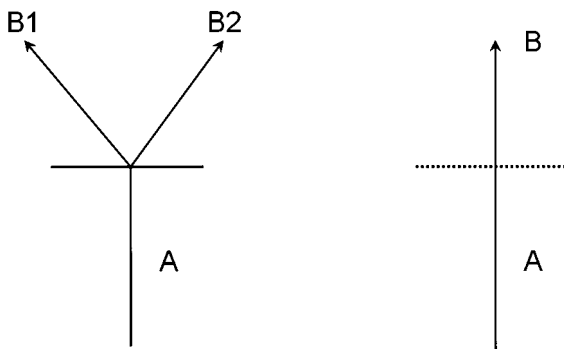
## Vrsta

Spoznanje, da med živimi bitji obstajajo bolj ali manj jasne diskontinuitete, je že zelo staro. Iz semena pšenice ne bo vzklil ječmen; psica ne bo skotila mačk itd. Biologija je vzklila kot objektivna znanost v drugi polovici 17. stoletja, ko je uspela utemeljiti koncept vrste kot osnovo biološke klasifikacije. V znanosti se je ta koncept sprva izoblikoval pod močnim vplivom Platonove idealistične

filozofije – tipološki koncept, ki je vrsto pojmoval kot 'idejo' (tip), osebke pa kot njegove bolj ali manj nepopolne deformacije. Šele stoletje kasneje so biologi začeli gledati na variabilnost živih bitij kot na njihovo temeljno lastnost (ne pa anomalijo), ki je temelj delovanja naravne selekcije, s tem pa tudi evolucije.

V naravi so realni samo osebki. Njihovo druženje v kategorije (vrste) je abstrakcija, rezultat združevanja pa je posledica koncepta, ki nas pri tem vodi. Enega najbolj priljubljenih konceptov (biološka vrsta) je razvil ameriški zoolog nemškega rodu Ernest Mayr (1904–2005). Biološka vrsta je opredeljena kot skupina naravnih populacij, ki se med seboj dejansko ali potencialno razmnožujejo, ki pa so reproduktivno izolirane od drugih takšnih skupin; vrsta tudi zaseda edinstveno ekološko nišo. Koncept lahko neposredno uporabimo samo na populacijah, ki živijo na enem in istem geografskem območju (so simpatrične) in v istem časovnem obdobju (so sinhrono). Ko konceptu dodamo časovno in prostorsko dimenzijo (alopatrične in alohrono populacije), postane biološka vrsta kolektivna, s tem pa tudi abstraktna kategorija. Poleg biološke vrste obstaja še najmanj deset drugih konceptov vrste. Koncept ni nepomemben saj, poleg vsega ostalega, močno vpliva na razumevanje vrstne diverzitete. V skladu z biološkim konceptom vrste je trenutno (2005) prepoznanih 5416 vrst sesalcev; leta 1993 je ta ocena znašala 4629 vrst. Zamenjava biološkega koncepta z genetskim bi to številko povečala za najmanj 20 %. Ker pa je delež sesalcev, za katere imamo informacijo o njihovi genetski strukturi, zelo majhen, bi aplikacija genetskega koncepta utegnila število prepoznanih vrst najmanj podvojiti. Te razlike imejmo v mislih vselej, ko komentiramo oceno o spremembah vrstne diverzitete.

Vrste nastajajo v divergentni ali v filetski speciaciji. Pri divergentni (kladogenetski) speciaciji se starševska (predniška) vrsta razcepi na dve (ali več) novi hčerinski vrsti, mejo med starševsko in hčerinskima vrstama pa je mogoče določiti objektivno (slika 1). Pri filetski speciaciji starševska vrsta postopno preide v hčerinsko vrsto, meja med obema pa je arbitrarna (slika 1). V divergentnem procesu se je vrstna diverzitet podvojila, v filetskem pa je ostala nespremenjena. Starševska vrsta je v obeh primerih sicer izginila (psevdoizumiranje), dejansko pa se je ohranila v eni ali več hčerinskih vrstah. V takšnih primerih govorimo o izumiranju z nadomestitvijo (*extinction with replacement*).

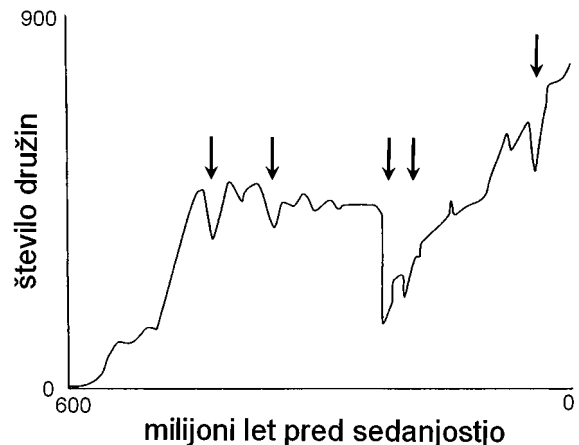


**Slika 1:** Shematski prikaz divergentne (levo) in filetske speciacije (desno). V divergentni speciaciji se je starševska vrsta (A) razdelila na dve hčerinski vrsti (B1 in B2), v filetski speciaciji pa je starševska vrsta (A) postopno prešla v hčerinsko vrsto (B). Vodoravna črta označuje mejo med starševsko in hčerinskimi vrstami. Pri filetski speciaciji je ta meja subjektivna. Puščice označujejo smer evolucije.

### Množična izumiranja

Pod množičnim izumiranjem razumemo zmanjšanje vrstne diverzitet v razmeroma kratkem časovnem obdobju. Proces je lahko postopen (gradualen) in poteka v časovnih dimenzijah do 10 milijonov let. Sočasno izumiranje naj bi bilo 'trenutno', dogodilo pa naj bi se v manj kot tisočletju. Fossilni dokazi pričajo o najmanj petih množičnih izumiranjih morskih organizmov (zmanjšanje vrstne diverzitet za 11–52 %) in šestih obdobjih množičnega izumiranja na kopnem (zmanjšanje števila družin za 2–58 %; slika 2). Vzroki za tako hitro zmanjšanje vrstne diverzitet niso znani, za večino množičnih izumiranj pa tudi ne poznamo reda velikosti časovnega obdobja, v katerem so se zgodila. Po eni od teorij naj bi bil vsaj del množičnih izumiranj posledica epizodnih katastrofalnih dogodkov (trk kometov v zemeljsko površje). Vzrok za posamezna množična izumiranja vidijo nekateri avtorji v klimatskih spremembah, v tektoniki zemeljskih plošč (ki je združila biodiverzitetno prej ločenih biogeografskih sistemov in sprožila kompetitivno izključevanje) ipd.

Zadnje zabeleženo obsežnejše izumiranje se je zgodilo ob prehodu ledenih dob (pleistocena) v sedanost (holocen; P/H-meja), torej pred približno 10.000 leti. Tradicionalna razlaga ga povezuje s hitrimi podnebnimi spremembami, pri tem pa pozablja, da je večina izumrlih vrst uspešno prebrodila velika klimatska nihanja v predhodnih dveh milijonih let. To izumiranje je bilo selekti-



**Slika 2:** Množična izumiranja morskih organizmov (puščice) v zadnjih 600 milijonih let

vno; med sesalci je prizadelo velike vrste (v Južni Ameriki je npr. izumrlo 80 % tedanje velike sesalske favne), ne pa tudi majhnih. Ker se P/H-meja časovno sklada z začetkom človekovega ekspanzionističnega pohoda po Zemlji, je težko oceniti, katero od teh izumiranj je bilo 'naravno', katerega pa je povzročil človek. Ameriški paleontolog Paul S. Martin je razvil hipotezo, po kateri naj bi množično izumiranje zakrivil prav človek s prelovom (*overkill*). Dejstvo je namreč, da je na celinah in velikih otokih (Madagaskar, Nova Zelandija) hitro zmanjšanje vrstne diverzitet vretenčarjev v zadnjih 10.000 letih časovno bolj usklajeno s prvim prihodom človeka, kot pa s P/H-mejo. Povsod so najprej izumrle vrste, ki so bile velike in dnevno aktivne.

Današnja hitrost izumiranja občutno presega povprečni tempo, značilen za izumiranje z nadomestitvijo. Pri kopenskih vretenčarjih je ta hitrost ocenjena na 1–10 vrst na leto, pri vodnih vretenčarjih na 10–100 vrst, pri rastlinah na 50–500 vrst, pri vodnih nevretenčarjih na 100–1000 vrst in pri kopenskih nevretenčarjih na 1000–10.000 vrst na leto. Glede na to, da je 'naravni' tempo izumiranja morskih nevretenčarjev 0,05–0,5 vrste na leto, lahko sklepamo, da je izumiranje danes prehitro za red velikosti  $10^2$ -krat do  $10^4$ -krat. Kaj se torej dogaja?

### Biodiverzitetna kriza

Po 65 milijonih let biosfera ponovno vstopa v obdobje množičnega izumiranja brez nadomestila. Speciacija torej ne more slediti hitrosti izumiranja, zato se vrstna

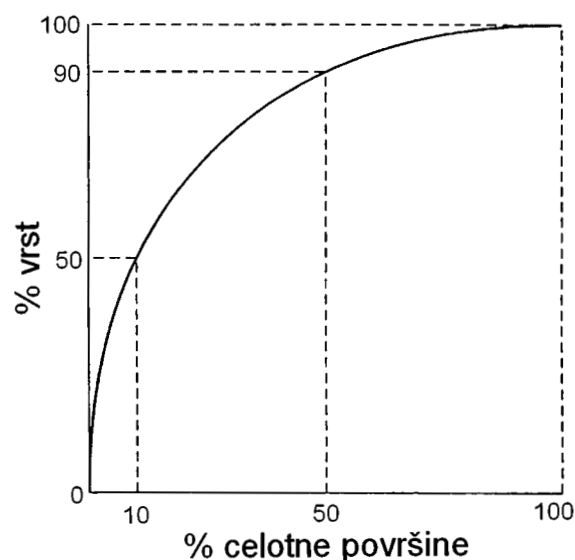
diverziteta zmanjšuje. Nobenega dvoma ni, da je tokrat edini vzrok izumiranja človek. Govorimo o izumiranjih, ki so povezana s človekom (*man related extinctions*), obdobju pa pravimo biodiverzitetna kriza. Temeljni vzrok za današnjo biodiverzitetno krizo je demografska eksplozija, ki je posledica eksponentne rasti človeške populacije od industrijske revolucije naprej.

Osnovni – ne pa edini – problem je človekova prostorska širitev, ki posledično degradira habitate in ekosisteme do stopnje, ko niso več primerni za obstoj določenega števila vrst. Prevedeno v ekološko terminologijo, človek zmanjšuje nosilno kapaciteto habitatov in ekosistemov. V kolikšni meri uničevanje življenjskega okolja vpliva na upadanje vrstne diverzitete? Neposrednega odgovora ne poznamo, saj ne vemo niti, kolikšen je dejansko obseg vrstne diverzitete na planetu. Domnevamo, da obstaja med 10 in 100 milijonov vrst, znanost pa jih pozna manj kot 2 milijona! Neposredno preštevanje torej ni mogoče. Ker pa poznamo nekatere univerzalne biodiverzitetne vzorce, lahko vseeno ocenimo vpliv uničevanja ekosistemov na zmanjšanje števila vrst.

Med številom vrst in površino ozemlja obstaja tesna korelacija, ki jo opišemo z Arrheniusovo enačbo:  $S = c \cdot A^z$ , pri čemer je  $S$  število vrst,  $A$  je površina,  $c$  in  $z$  pa sta konstanti enačbe. V logaritemski skali je odnos ponazorjen z ravno premico, pri čemer  $c$  določa presek krivulje na osi  $y$ ,  $z$  pa naklon krivulje ( $\log S = \log c + z \cdot \log A$ ). Vrednosti  $c$  in  $z$  sta odvisni od hitrosti kopičenja vrst kot posledice povečevanja površine. Območje, ki s povečevanjem površine hitreje kopiči vrste, ima večjo vrstno diverziteto.

Površina tropskega gozda se vsako leto zmanjša za 1,8 %. Empirično ugotovljena vrednost  $z$  v Arrheniusovi enačbi ima za ta ekosistem razpon od 0,25 do 0,3. Letna ocena izumrlih vrst zaradi zmanjšanja površine tropskega gozda torej znaša od 0,15 % ( $z = 0,25$ ) do 0,63 % ( $z = 0,3$ ). Če sprejmemo oceno, po kateri je diverziteta tropskega deževnega gozda 10 milijonov vrst, potem letno izgubimo 15.000–63.000 vrst. Recimo, da je povprečna življenjska doba vrste v tropskem gozdu milijon let (povprečni letni tempo izumiranja 10 vrst). Naš model kaže, da z izgubo 1,8 % površine povečamo hitrost izumiranja za 1500-krat do 6300-krat. Tudi če smo proces precenili za faktor 10, je hitrost izumiranja še vedno za najmanj 100-krat prevelika. Po podobnih ocenah (upoštevaje  $z = 0,25$ ) je v južnoameriškem deževnem gozdu do leta 1990 že izu-

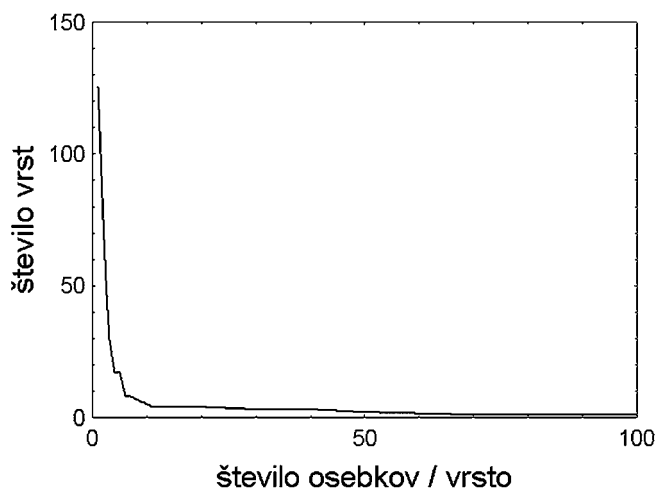
mrlo 4–10 % vseh vrst. Če se bo tropski gozd v Južni Ameriki ohranil samo v že zavarovanih območjih, bodo celotne domnevne izgube znašale 42–72 % vrst. Pri letnem poseku tropskega gozda na površini  $1,5 \cdot 10^7$  ha se bo globalna vrstna diverziteta v tem ekosistemu do leta 2040 zmanjšala za 17–35 % (v Aziji npr. za 28–53 %).



**Slika 3:** Odnos med številom vrst in površino v aritmetični skali. Število vrst se kot funkcija ozemlja povečuje asimptotično do končne vrednosti 100 %. Prekinjene črte označujejo zmanjšanje števila vrst kot posledico zmanjšanja površine.

### Redkost

Vsaka vrsta se na svoji poti k izumrtju znajde v stanju, ko je redka. Redkost je torej lastnost vseh ogroženih vrst. Koncept redkosti pa je vse prej kot preprost. Razlikujemo lahko tri vidike redkosti: 1) majhno območje poseljenosti, 2) majhna populacijska velikost in 3) ozka izbira habitata. Ker vidiki nastopajo v kombinacijah, je možnih osem različnih oblik redkosti. Samo ena od možnih kombinacij kaže na odsotnost redkosti: vrsta ima veliko območje poseljenosti, veliko populacijsko gostoto in široko izbiro habitata. Preostalih sedem kombinacij pa vključuje vrste z najmanj enim atributom redkosti. V naravi je redkih vrst dejansko bistveno več kot pogostih (slika 4). Redkost je torej prevladujoča značilnost biosfere, še posebej pa je izražena v sistemih z veliko vrstno diverziteto (npr. tropski deževni gozd).



**Slika 4:** Razmerje med številom vrst in številom osebkov posamezne vrste.

Človek s svojimi posegi v prostor zvišuje vse tri attribute redkosti, s tem pa povečuje dovzetnost vrst za izumiranje. Poleg že omenjene degradacije habitatov in ekosistemov dosega podoben učinek tudi z njihovo fragmentacijo. Habitat se je sicer ohranil v obliki izoliranih zaplat z vsemi negativnimi posledicami, ki izhajajo iz modela dinamičnega otoškega ravnovesja. Izolirane skupnosti vrst se prej ali slej sprostijo do uravnovešenega stanja, kar pomeni zmanjšanje vrstne diverzitete.

Doslej je človek vnesel v okolje že več kot 100.000 sintetičnih kemikalij. Čeprav vselej ne povzročajo neposredne smrti, vsaj nekatere od njih (npr. klorirani ogljikovodiki) motijo metabolne procese v živih bitjih, zmanjšujejo razmnoževalno uspešnost, odpornost pro-

ti boleznim in zajedavcem ipd. Prizadeta populacija je kompetitivno manj uspešna, kar posledično povečuje njeno redkost. Strupene snovi v okolju pogosto delujejo sinergično, njihovega vpliva na biosfero pa sploh ne poznamo. Domnevno kot posledica človekovih dejavnosti se globalno spreminja klima. Habitat določene vrste se posledično lahko spremeni in postane za njen obstoj neprimeren. Vrste se sicer lahko odzovejo z migracijami, uspešnost teh pa je odvisna od hitrosti sprememb in stopnje fragmentacije njihovih habitatov. Človek v okolje vnaša tudi nove vrste; približno odstotek teh v novem okolju povzroča težave, npr. prek kompetitivnega izrivanja avtohtonih vrst. Seznam negativnih človekovih vplivov na biodiverzitetu je še bistveno daljši, posledic pa se navadno zavemo šele, ko se določena 'karizmatična' vrsta znajde v težavah.

V majhni in izolirani populaciji namreč potekajo naključni procesi na genetskem in demografskem nivoju. Ti še naprej zmanjšujejo njeno efektivno velikost, s tem pa povečujejo verjetnost, da bo izumrla. Ko je vrsta enkrat ujeta v začarani krog izumiranja, se sama iz nje ne more več rešiti. Iz ene generacije v drugo izgublja genetsko diverzitetu, s tem pa se ji zmanjšuje nataliteta, povečuje pa smrtnost kot posledica zmanjšane odpornosti na spremenljivo okolje. Z vsako naslednjo generacijo se stvari samo poslabšajo. Na koncu ostane v populaciji samo še nekaj osebkov, ki jih demografska naključnost pahne v končno izumrtje. Pri vsem skupaj pa večine vrst, ki so v zadnjih letih izumrle, sploh ne poznamo. Namreč, čeprav nam je uspelo stopiti na Luno, smo prepoznali samo 2–20 % vrst, s katerimi si delimo isti planet.

### **Priporočeno branje**

**Splošno:** Kryštufek B. (1999): Osnove varstvene biologije. Tehniška založba Slovenije, Ljubljana.

**Koncept vrste:** Baker R. J., Bradley R. D. (2006): Speciation in mammals and the genetic species concept. *Journal of Mammalogy* 87: 643–662.

De Queiroz K. (2007): Species Concepts and Species Delimitation. *Systematic Biology* 56: 879–886.

Mayr E. (1970). *Animal species and evolution*. Harvard University Press, Cambridge.

**Izumiranje:** Chaloner W. G., Hallam A. (1989): *Evolution and extinction*. Cambridge University Press, Cambridge.

Martin P. S., Wright H. E. (1967): *Pleistocene extinctions: The search for a cause*. Yale University press, New Haven.

MacPhee R. D. E. (1999). *Extinctions in near time: Causes, contexts, and consequences*. Kluwer Academic Publishers, New York.

McKinney, M. L., Drake, J. A. 1998. *Biodiversity dynamics: Turnover of populations, taxa, and communities*. Columbia University press, New York.



## OHRANJANJE EKOSISTEMSKIH STORITEV – TEMELJ NAŠEGA PREŽIVETJA

**Alenka Gaberščik**

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Večna pot 111, 1000 Ljubljana; e-naslov: alenka.gaberscik@bf.uni-lj.si

---

## CONSERVATION OF ECOSYSTEM SERVICES – THE BASIS OF HUMAN SURVIVAL

**Alenka Gaberščik**

University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of biology, Večna pot 111, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: alenka.gaberscik@bf.uni-lj.si

---

### *Izvleček*

Ekosistemi so funkcionalne enote pokrajine, ki imajo sposobnost samovzdrževanja. Delovanje ekosistemov temelji na mreži povezav med organizmi in je odvisno od njihove velikosti, zgradbe, vitalnosti in prožnosti. V naravnih razmerah so elementi v dinamičnem ravnovesju in ne prihaja do presežkov oziroma primanjkljajev v pretoku energije in motenj v kroženju snovi. Taki ekosistemi s svojim delovanjem oblikujejo ugodne življenjske razmere in zagotavljajo različne vire za človeka in druge organizme, kar danes poznamo kot ekosistemske storitve. Naši vplivi in posegi mrežo odnosov in procesov v ekosistemu prekinejo ali zmotijo kar se odraža v pomanjkanju in slabi kakovosti virov in spreminjanju razmer v okolju. Zato je edina nadaljnja pot človeštva ohranjanje procesov v naravi. To pomeni da moramo gospodariti ekološko trajnostno, ekonomsko učinkovito in pošteno s socialnega vidika.

### *Uvod*

Narava je vir dobrin, od procesov v naravnih sistemih (ekosistemih) pa so odvisne temeljne življenjske razmere, ki omogočajo preživetje človeka in drugih organizmov. Danes, ko smo precejšen delež naravnega bogastva zaradi netrajnostnega gospodarjenja že uničili, se pomena narave začnemo zavedati. Pa ne zato, ker bi sprevideli, kako negospodarni smo, ampak zato, ker se je narava začela odzivati. Odzivi nas vedno več stanejo, saj vplivajo na naše blagostanje, torej na kakovost in razpoložljivost naših osnovnih virov in s tem tudi na naše zdravje. Poročilo o stanju ekosistemov na prelomu tisočletja (Millennium Ecosystem Assessment), ki ga je pripravil Sve-

### *Abstract*

Ecosystems are functional units of landscape with high self-regulation potential. Ecosystems' functions base on the web of relations among organisms and depend on their size, structure, vitality and resilience. Under natural conditions the elements of the ecosystem are in a dynamic equilibrium, therefore neither a surplus, nor a shortage in energy through flow and no disturbances in matter cycling occur. Such ecosystems assure favourable conditions for life and different resources for mankind and other organisms, which are nowadays recognized as ecosystem services. Human influences and activity affected the structure and function of ecosystems that resulted in shortage and worsened quality of resources as well as in changes of environmental conditions. Therefore our only future is preserving the processes in nature by ecologically sustainable, economically efficient and socially fair management.

tovni inštitut za vire (World Resource Institute) podaja 4 glavne ugotovitve. 1) Ljudje v zadnjih petdesetih letih spreminjamo ekosisteme hitreje in v večjem obsegu kot kadar koli doslej, kar se odraža v občutni in nepovratni izgubi biotske pestrosti. 2) Poseganje v naravo je sicer prispevalo k povečanemu razvoju, kar pa je zavajajoče, saj je vedno bolj očitno, da spremembe v naravi, ki zaradi tega nastajajo (pomanjkanje vode, nepredvideni dogodki, kot so poplave in suše, širjenje bolezni ...), pomenijo vedno večje stroške za blaženje učinkov. Obenem pa povečujejo revščino na nekaterih območjih ter pomenijo slabše stanje okolja in virov za prihodnje generacije. 3) Raziskave kažejo, da je v prvi polovici tega stoletja, zaradi vztrajnosti procesov možno še dodatno poslabšanje

stanja. 4) Izboljšanje stanja ekosistemov je možno le ob znatni spremembi našega delovanja in odnosa do narave.

### **Ekosistemi**

Ekosistemi so funkcionalne enote pokrajine, ki imajo sposobnost samovzdrževanja. Elementi ekosistema (živiljenjska združba in okolje) so med seboj povezani z različnimi odnosi in procesi. V času razvoja ali sukcesije postajajo ekosistemi vse bolj kompleksni. Energija se porablja vedno bolj učinkovito, saj postajajo sistemi vedno bolj optimizirani. Presežek energije v določenem trenutku pomeni možnost za vključitev novega organizma. Tako število vrst v ekosistemu narašča, kar se odraža tudi v povečevanju števila povezav in procesov. Ko v ekosistem posežemo, se njegova zgradba in delovanje spremenita.

Stanje ekosistema ocenjujemo glede na njegovo prožnost (resilienco), vitalnost ter organizacijo. Prožnost ekosistema predstavlja sposobnost ekosistema, da obnovi svoje delovanje po spremembah zaradi različnih stresov ali motenj, na primer suši, zmrzali, vetrolomih, poplavih, požarih in podobno. Vitalnost ocenjujemo glede na celovitost zgradbe ekosistema (na primer pristnost ključnih vrst) in nemotenost procesov (na primer proizvodnjo biomase). Organizacijo pa ocenjujemo glede na število trofičnih nivojev ter prehranske spletke, kar predstavlja možnosti za pretok energije in kroženje snovi.

### **Vpliv ekosistemov na razmere na Zemlji in ekosistemske storitve**

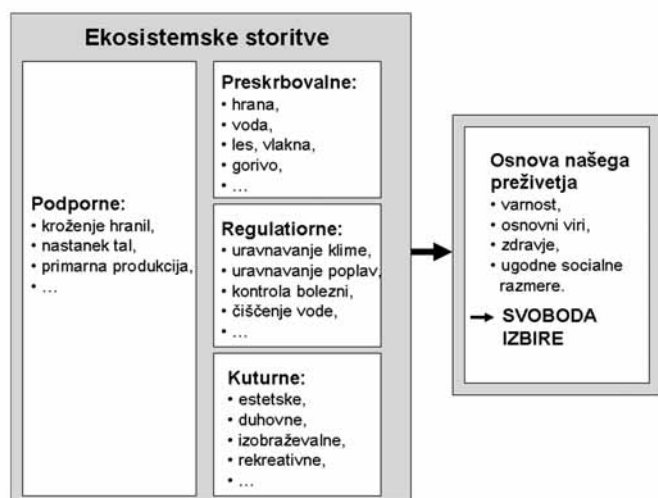
Zemlja je biogen sistem, saj so njegovi ključni elementi organizmi, ki so nosilci pretoka energije in kroženja snovi. Sistem je zaprt, kar pomeni, da je snovna izmenjava minimalna, odprt pa je za energetske izmenjave. Sistem napaja sončna energija, ki je omogočila povečevanje kompleksnosti življenja in procesov na Zemlji, del energije pa se je iz sistema sproščal. Razvoj sistema je potekal postopno več milijard let in prav postopnost procesov je omogočala, da se je med elementi sistema nenehno vzpostavljalo ravnovesje, ki je ohranjalo dolgočasno bolj ali manj stabilne razmere za življenje. Izjemoma je prišlo tudi do nenadnih, hitrih sprememb, ki so jih povzročili večji vulkanski izbruhi ali padci meteoritov. Ob takih dogodkih so se razmere na hitro spremenile in je prišlo do množičnih izumrtij. Te katastrofe lahko primerjamo z današnjim vplivom človeka.

Delovanje ekosistemov temelji na mreži povezav med organizmi in je odvisno od njegove zgradbe, vitalnosti, prožnosti in velikosti. V naravnih razmerah so elementi sistema (organizmi) v dinamičnem ravnovesju in ne prihaja do presežkov oziroma primanjkljajev pri pretoku energije in motenj v kroženju snovi. Tak ekosistem je zelo prožen in ugodno vpliva na določeno območje. Trajnost razmer omogočajo predvsem obnovljivi procesi in viri, medtem ko imajo izčrpljivi viri za nas le prehodni (začasni) pomen. Znanstveniki so zato naravne sisteme poimenovali »sistemi, ki podpirajo življenje« (*life-support systems*) saj imajo vzdrževalno, regulatorno in pre-skrbovalno vlogo (slika 1).

Ekosistemi tako vplivajo na lokalni in globalni pretok energije in kroženje snovi ter oblikujejo okoljske razmere na celotnem planetu. Čim kompleksnejši in celovitejši so sistemi, tem stabilnejše razmere zagotavljajo. Uravnavaajo sestavo zraka, vzdržujejo globalno temperaturo ter razporeditev in količino padavin. Blažijo posledice človekovega delovanja in onesnažil, vključno z globalnimi spremembami, uravnavaajo kroženje, shranjevanje in zadrževanje vode ter nastajanje in zadrževanje tal, omogočajo shranjevanje, kroženje in privzemanje hranil, so vir biološkega materiala, dajejo možnosti za rekreacijo in ne nazadnje so vir hrane in surovin. Mera celovitosti ekosistema je biotska pestrost, ki pogojuje procese, na katerih temeljijo koristi, ki jih imamo od ekosistemov oziroma – kot so jih poimenovali znanstveniki – ekosistemske storitve (Costanza in sod., 1997). Raziskovalci ugotavljajo, da sprememba vrstne pestrosti neposredno pomeni tudi spremembo potenciala ekosistema za storitve. Raziskave so pokazale, da so organizmi letno vključeni v pretvorbo milijard ton ogljika, vodika, kisika, dušika, fosforja in žvepla ter milijone ton aerosolov in različnih delcev, ki krožijo med atmosfero, hidrosfero in litosfero. To kroženje vzdržuje in oblikuje fizično in kemično okolje in ustvarja razmere, primerne za življenje vseh organizmov, vključno za življenje ljudi. Brez organizmov bi bila Zemlja popolnoma drugačen planet. V atmosferi bi prevladoval ogljikov dioksid, prostega kisika ne bi bilo, temperatura bi bila nevzdržna – od 240 do 340°C, tudi zračni tlak bi bil nekaj desetkrat večji, kot je danes.

### **Vpliv človeka**

Samo z nekaj desetletji merimo čas, ko smo ljudje, čeprav le ena od vrst na tem planetu, ključno zaznamovali dogaja-



**Slika 1:** Ekosistemske storitve in njihova povezanost z našim življenjem (povzeto po Millennium Ecosystem Assessment, 2005)

janje na Zemlji. Naši vplivi in posegi mrežo odnosov in procesov v ekosistemu prekinejo ali zmotijo. Sledov pa ne pušča samo človek, ampak tudi drugi organizmi. Njihovi sledovi so večinoma lokalni in hitro izginejo. Sledovi, ki jih puščamo ljudje, pa ostajajo in učinki se vse bolj kopičijo, kar danes že krepko občutimo. Uničevanje habitatov in iztrebljanje vrst sta privedla do motenj v kroženju snovi in pretoku energije. Vzrok za to je, ker pozabljamo, da smo del narave in da tudi za nas veljajo zakoni narave. Pa ne le, da zakonov narave ne upoštevamo, večinoma smo jih celo izrinili iz širše zakladnice znanja. Do tega je prišlo verjetno zato, ker nespoštovanje teh zakonov ne prinaša takojšnjih posledic. Posledice pa so neizogibne, kljub temu da podzavestno upamo, da bo narava naše napake popravila. Nesporno je, da zdravi in kompleksni sistemi, kakršni so do nedavna bila tudi Zemlja, hitro ublažijo in zabišejo negativne učinke. Danes pa je prožnost in vitalnost sistema Zemlje močno zmanjšana. Delovanje sistema je okrnjeno – odmiki od ravnovesja so vse večji, mehanizmi ponovnega vzpostavljanja ravnovesja pa precej nepredvidljivi. Zemlja zaradi slabega ravnanja ljudi ni več zdrav sistem. Planet se ogreva, zrak, ki da dihamo, je obremenjen z najrazličnejšimi snovmi, tla, ki nam omogočajo pridelavo hrane, so zastrupljena in osiromašena, energija, ki prihaja na Zemljo, je spremenjena in vsebuje več škodljivega sevanja, pa tudi voda, ki je vir življenja, je nemalokrat vzrok za umiranje. V poročilih o spremembah v naravi in učinkih, ki jih imajo te spremembe na organizme, so navadno predstavljeni posamezni vplivi, čeprav je

jasno, da so organizmi izpostavljeni številnim stresom, ki lahko delujejo sinergično ali antagonistično.

Bilanca stanja svetovnih ekosistemov kaže, da so razmere precej spremenjene. Kompleksne samovzdrževane ekosisteme, kot so gozdovi in močvirja, smo spremenili v naselja, kmetijske površine in puščave. Vodotoki so izgubili svojo zaščito in so zato bolj ranljivi. Na nepreglednih kmetijskih površinah je pestre združbe rastlin nadomestila ena sama vrsta. Naravnim sistemom ne vračamo, kar smo odvzeli, kot to dela narava, ampak jih samo izkoriščamo. Tako se kakovost tal slabša, njihova zadrževalna sposobnost za vodo in hranila je vedno manjša in zato so tla večinoma le še substrat, v katerega se rastline pritrdijo, hranila in vodo pa moramo dodajati. Poleg tega pa dodajamo še različne kemikalije, da izrinemo neželene vrste organizmov, ki bi se utegnile tam naseliti. Naši posegi v biosfero se že odražajo v kakovosti naših osnovnih virov – zraka, vode, tal in hrane.

Ko pride do sprememb v zgradbi, pride do motenj v delovanju ekosistema in povezave se začnejo podirati kot domine. Vitalnost in prožnost sistema se močno zmanjšata, kar vpliva na kakovost našega bivanja in na kakovost bivanja drugih organizmov. Nova vzpostavitev sistema s podobnim delovanjem je zaradi dolgotrajnosti in postopnosti razvoja naravnih sistemov težka, večinoma pa kratkoročno celo nemogoča. Predstavljajte si, kaj se zgodi, če posekamo večjo gozdno površino. To pomeni izgubo habitata za tisoče organizmov, motnje v nastajanju tal, zmanjšano sposobnost zadrževanja vode in motnje v vodnem krogu, spremenjeno energijsko bilanco v pokrajini in zato spremembe v lokalni klimi in seveda spremenjeno kroženje snovi, vključno z ogljikom. Mineralizacija tal zaradi kmetijstva in uničevanje rastlinske odeje, skupaj z izrabo fosilnih goriv, se že odražata v učinku tople grede. Izgube gozdnih površin imajo za posledico manjšanje biotske pestrosti, saj tropski gozdovi, ki pokrivajo le 6 % zemeljske kopnine, dajejo življenjski prostor polovici organizmov na Zemlji. Raziskave so pokazale, da je četrtnina do polovica padavin v Amazoniji posledica regionalne evapotranspiracije in da sekanje amazonskih gozdov že vpliva na padavinski režim območja. Neuravnovešenost vodnega kroga se odraža v vse pogostejših poplavih in sušah. Poročilo o stanju ekosistemov na prelomu tisočletja navaja, da se je v Evropi, Ameriki Afriki in Aziji v zadnji polovici prejšnjega stoletja število poplav na desetletje povečalo za 5- do 10-krat. Tako so na primer v Aziji v obdobju 1950–1960 zabeležili približno 50 poplav, medtem ko so v zadnjem

desetletju prejšnjega stoletja našli več kot 320 poplav. Podobno velja tudi za požare. Zaradi odstranjevanja in spreminjanja rastlinske odeje se povečuje tudi erozija tal. Ocenjujejo, da se letno zaradi erozije premesti 75.000 milijonov ton tal, ki navadno končajo v vodnih telesih. Znanje so tudi povezave med spremembami v naravi in človekovim zdravjem. Onesnaženost zraka, vode in hrane povzroča različne bolezni, zastrupitve in okužbe. Raziskave so pokazale, da spremenjeno ekološko stanje vodnih teles povzroča širjenje kolere. Na območju severnega dela ZDA so tudi dokazali, da se je zaradi spremenjenih razmerij v ekosistemih povečala okuženost klopov.

Največji problem današnjega časa je, da spremembe niso posamične, ampak množične. Poleg tega navadno na določenem območju deluje več negativnih vplivov. Sočasni posegi in vplivi so postopno presegle lokalni nivo in postajajo globalni. Danes je že očitno, da se zaradi globalnih sprememb klime, degradacije tal in zmanjšanja biotske pestrosti zmanjšuje potencial planeta Zemlje za vzdrževanje življenja.

### ***Koliko je vredna narava?***

Za naše preživetje so ključnega pomena obnovljivi naravni viri in procesi, zato je popolnoma nelogično, da danes ekonomske odnose na tem planetu pogojuje razpoložljivost izčrpljivih virov, kot so nafta, premog in rude. Vedno bolj postaja očitno, da posegi v naravo, ki se odražajo v motnjah ali celo prenehanju določenih procesov, pomenijo za nas neposredno škodo, saj zmanjšujejo kakovost in razpoložljivost naših osnovnih virov, kar povzroča slabšanje zdravstvenega stanja ljudi in velike stroške. Zato se vse bolj zavedamo, da moramo poleg obnovljivih virov in tudi procese v naravi končno opredeliti v načinu našega vrednotenja, ki temelji na denarju – na eurih, dolarjih ... Plačilo za storitve narave je tudi eden ključnih mehanizmov izboljšanja stanja, ki ga predvideva Svetovni inštitut za vire za prihodnje upravljanje z ekosistemi. Pri dobrih določitev cene ne predstavlja težave. Vemo na primer, koliko je vredno deblo bukve ali pa smreke in koliko stanejo ribe in divjačina. Težava nastane, ko vrednotimo procese. Na primer, koliko je vredno, da se ohranja čist zrak in neoporečna voda. Večina se nas zaveda, da so to neprecenljive vrednote, ampak model, kako prikazati naravo kot del nacionalnega bogastva, šele nastaja. Costanza in sodelavci (1997) ocenjujejo ekonomsko vrednost 17 ekosistemskih storitev v različnih ekosistemih na

16.000–54.000 milijard USD letno. Ista skupina navaja, da je vloga močvirja pri uravnavanju plinov vredna 133 USD/ha/leto, ko pa so upoštevali vse procese in dobrine, ki jih nudijo močvirja, pa so dobili približno 15.000 USD/ha/leto. Do tako visokih ocen so prišli tudi pri nekaterih drugih ekosistemih, predvsem pri gozdovih, rekah in jezerih. Netrajnostno gospodarjenje z naravnimi sistemi njihovo vrednost močno zmanjša. Na primer pri mangrovah, ki so jih uporabili za gojišča rakcev, se je celotna vrednost zmanjšala kar za 70 %, pri močvirjih, ki so jih spremenili v kmetijske površine, za 60 %, pri plantažah, ki so nadomestile gozdove v Kamerunu, pa so izračunali celo negativno skupno vrednost (–18 %).

Osnova vrednotenju procesov in strukturnih elementov narave je celostna analiza ekosistema. Pri vrednotenju je treba upoštevati, da je obseg delovanja naravnih sistemov omejen, nasprotno kot pri naši proizvodnji, ki jo lahko povečujemo z večjimi vlaganji. Spremembe narave, ki jih povzročamo s svojim delovanjem, pa zahtevajo tudi vlaganje v naravo. V primerjavi s škodo, ki smo jo že povzročili, so bili do sedaj naši vložki zanemarljivi. Danes vemo, da je to vlaganje, ki se dolgoročno izplača. Modeli Balmforda in sodelavcev kažejo, da bi se denar, vložen v ohranjanje narave, povrnil vsaj 100-krat. Več denarja, namenjenega za ohranjanje narave, tako ne pomeni zaviranja razvoja, ampak nasprotno, boljše življenjske razmere. Glede na to, da prebivalstvo na Zemlji še narašča, in ob dejstvu, da danes 1,2 milijarde ljudi živi z manj kot 1 USD/na dan, je razvoj nujno potreben. Seveda to ne sme pomeniti neusmiljenega uničevanja in spreminjanja narave za kratkoročne dobičke posameznikov. Edina nadaljnja pot za blaginjo človeštva je ohranjanje procesov v naravi in kjer je potrebno, tudi popraviljanje nastale škode, kot je bilo sklenjeno že leta 1992 na vrhu v Riu de Janeiru in deset let kasneje v Johannesburgu.

### ***Stanje v Sloveniji***

Slovenija se odlikuje po visoki biotski pestrosti (genski, vrstni in ekosistemski) kot tudi po razmeroma ohranjeni naravi, saj imamo kar 60 % gozdnih površin in obilje kakovostne vode. To pa ni prednost samo z ekološkega, ampak tudi z ekonomskega vidika. Kljub temu pa ne smemo pozabiti, da so posamezni ekosistemi večinoma majhni in zato ranljivejši. Poleg tega pa smo s posegi in gradnjo infrastrukture naravne sisteme še dodatno razdrobili in spremenili njihovo strukturo.

### ***Kako naprej***

Ekosistemi so dediščina in kapital vsega človeštva. Prepoznali smo njihovo vrednost in vlogo pri našem preživetju in se zavedli ranljivosti njihovega potenciala. Zato je pomembno, da začnemo gospodariti ekološko trajnostno, ekonomsko učinkovito in s socialnega vidika pošteno.

### ***Viri***

- Costanza R., Fisher B., Mulder K., Liu S., Christopher T. (2007): Biodiversity and ecosystem services: A multi-scale empirical study of the relationship between species richness and net primary production. *Ecological economics*, 61 (2-3): 478–491.
- Farber S., Costanza R., Childers D. L., Erickson J., Gross K., Grove M., Hopkinson C. S., Kahn J., Pincetl S., Troy A., Warren P., Wilson M. (2006): Linking ecology and economics for ecosystem management. *Bioscience* 56 (2): 121–133.
- Costanza R., dArge R., deGroot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R. V., Paruelo J., Raskin R. G., Sutton P., van den Belt M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387 (6630): 253–260.
- World Resource Institute (2005): *Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and Human Well-Being*. Washington DC.

## EKOSISTEM IN OKOLJSKE SPREMEMBE

### Tadeja Trošt Sedej

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Večna pot 111, SI-1000 Ljubljana; e-naslov: tadeja.trost@bf.uni-lj.si

---

*Tadeja Trošt Sedej je bila rojena leta 1970 v Ljubljani. Biologijo je študirala na Oddelku za biologijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kjer je diplomirala s področja epifitskih lišajev. V magistrski nalogi in doktorski disertaciji je raziskovala učinke povečanega UV-B-sevanja na rastline. Od leta 1998 je zaposlena kot asistentka na Katedri za ekologijo in varstvo okolja iste fakultete. Pred tem je preučevala ektomikorizne glive na Gozdarskem inštitutu Slovenije in na Univerzi Ludwig-Maximilian v Münchnu. Zdaj se raziskovalno ukvarja s preučevanjem odziva rastlin na spremenjene okoljske razmere. Sodeluje pri mednarodnih in domačih raziskovalnih projektih in svoje delo predstavlja v znanstvenih ter strokovnih publikacijah in na konferencah.*

### Izveček

Ekosistem je dinamična celota, ki jo sestavljajo združbe kot živi del ekosistema in neživo okolje. V ekosistemu, podobno kot v vsakem živem sistemu, potekata pretok energije in kroženje snovi. Ekosistemi se s časom spreminjajo; spreminjanje imenujemo sukcesija ekosistema. Procesi v ekosistemu so dolgotrajni, naravni ali tisti, ki so posledica človekovega delovanja. Naravni dogodki, kot so neurja, poplave, požari in ognjeniški izbruhi, popolnoma spremenijo delovanje in zgradbo ekosistema, njegovo obnavljanje pa je dolgotrajno. Spremembe okolja, ki jih povzroča človek, kot so povečane vsebnosti toplogrednih plinov v ozračju, tanjšanje ozonskega sloja, kopičenje škodljivih snovi, neposredna degradacija ekosistema v urbane, industrijske in kmetijske površine, vplivajo na spreminjanje in izginjanje združb, zmanjševanje biotske pestrosti, podnebne spremembe ter neposredno in posredno na zdravje ljudi.

## ECOSYSTEM AND ENVIRONMENTAL CHANGES

### Tadeja Trošt Sedej

University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of biology, Večna pot 111, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: tadeja.trost@bf.uni-lj.si

---

*Tadeja Trošt Sedej was born in 1970 in Ljubljana. She studied Biology at the Department of Biology, Biotechnical Faculty, University of Ljubljana, and graduated in the field of epiphytic lichens. In her MSc and PhD thesis she examined the effects of UV-B radiation on the plants. She also studied ectomycorrhizal fungi at the Forrest institute of Slovenia and at the University Ludwig-Maximilian in München. Since 1998 she is employed as a teaching assistant at the Department of Ecology and Environmental Protection at the Biotechnical Faculty. At present she studies the response of plants to modified environmental conditions. She participates in national and international research projects and presents her work in scientific and expert publications and conferences.*

### Abstract

All ecosystems consist of three basic structural and functional components, autotrophs, heterotrophs and inorganic and dead organic matter. The organisms influence the rate of energy flow and nutrient cycling through the ecosystem. Ecosystem structure varies in time; the temporal change is called succession. The succession on Earth has taken place over geological time and is going on now naturally, as a consequence of fires, floods, heavy storms, or volcanoes activity. Man has changed ecosystems in the past also by cutting woods in order to get fields and grassland. After the industrial revolution, human impact on global element cycles and direct destroying of ecosystems for urban and agricultural use became enormous which has negative effects on ecosystems and human health.

## Raziskave dogajanja v ekosistemu

Kadar rečemo, da je nekaj tako zanimivo, kot bi opazovali travo rasti, menimo, da je stvar dolgočasna, da pri njej ni nikakršnega dogajanja, akcije ali napetosti. Ljudje, ki vsak teden kosijo svojo trato pred hišo, pa dobro vedo, da je rast trave izjemno dinamičen proces. Navidezna nespremenljivost trate je težava naše zaznave, saj dogodkov, ki se odvijajo na že nekoliko večji časovni skali, ne zaznavamo dobro.

Veliko znanstvenih raziskav preučuje dogajanja, ki so veliko večja ali veliko manjša od naše temeljne zaznave. Zato zahteva raziskovanje časovne dinamike procesov v naravi dolgotrajna opazovanja. Študije sprememb v ekosistemu zahtevajo primerjavo številnih desetletnih povprečij. Desetletje dolga opazovanja pogosto ne pokažejo globalnega trenda spreminjanja ekosistema, pač pa se splošni trend pokaže pogosto šele po petdesetih sto ali več letih. Okoljski procesi so dolgotrajni, naravni ali tisti, ki so posledica človekovega delovanja. Počasne, stoletje ali več trajajoče spremembe ekosistema so povezane s počasno naravno sukcesijo združbe, razvojem organskih tal in pojavljanjem velikih vretenčarjev. Tudi nepredvidljivi dogodki, kot so neurja, poplave, požari in ognjeniški izbruhi, popolnoma spremenijo delovanje in zgradbo ekosistema, njegovo obnavljanje pa je dolgotrajno. Spremembe okolja, ki jih povzroča človek, so lahko komaj opazne v času življenja posameznega človeka ali pa hitre, kadar gre za neposredno degradacijo, vnos invazivnih vrst. Povečane vsebnosti toplogrednih plinov v ozračju, tanjšanje ozonskega sloja, kopičenje škodljivih snovi, neposredna degradacija ekosistema v urbane, industrijske in kmetijske površine vplivajo na spreminjanje in izginjanje združb, zmanjševanje biotske pestrosti, podnebne spremembe ter neposredno in posredno na zdravje ljudi. Vendar se našteje spremembe odvijajo postopoma v desetletjih oziroma stoletjih. Zato so potrebna dolgotrajna spremljanja procesov, ki se odvijajo v različnih ekosistemih, tako naravnih kot antropogenih, ter v urbanih okoljih. Zato za ekologa kot tudi za vsakogar, ki mu je mar dogajanje na našem planetu, spremljanje rasti trave ni izgubljen čas.

## Ekosistem

### Kaj je ekosistem

Ekosistem je dinamična celota, ki jo sestavljajo združbe kot živi del ekosistema in neživo okolje. Organizmi ob-

stajajo, se pravi živijo, kadar so povezani med seboj in z neživim okoljem. Združbo tvorijo vsi organizmi, se pravi vsi predstavniki različnih vrst, ki živijo v tem okolju. Med seboj so povezani prek znotrajvrstnih in medvrstnih odnosov. Neživi del ekosistema predstavlja fizično okolje, ki je prav tako v interakciji z organizmi.

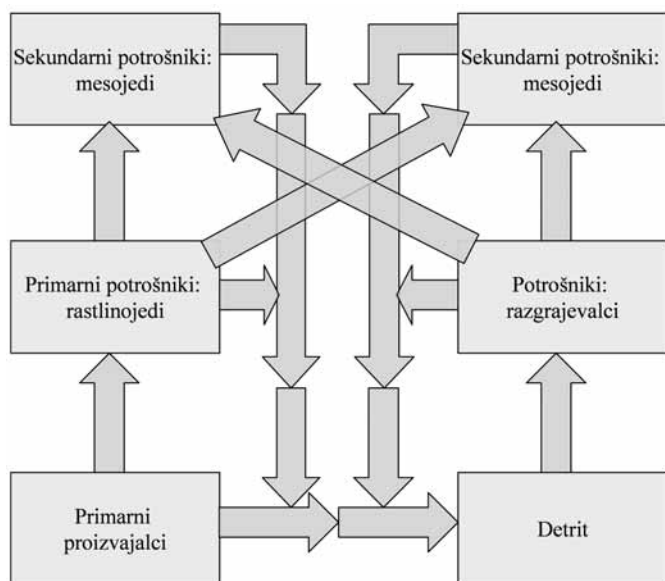
V ekosistemu, podobno kot v vsakem živem sistemu, potekata pretok energije in kroženje snovi. Popolno kroženje snovi poteka, kadar so navzoče tri temeljne gradbene in funkcionalne skupine: avtotrofi oziroma primarni proizvajalci (producenti), heterotrofi oziroma primarni, sekundarni ali terciarni potrošniki (konzumenti) ter anorganske in organske snovi. Pri izmenjavi snovi med živim in neživim delom okolja gre za biogeokemično kroženje hranil, pri čemer nekateri elementi krožijo predvsem na prostorsko bolj omejenih območjih (lokalno kroženje: Ca, Mg, K, Fe, Cu, Zn), drugi pa pri kroženju povezujejo ekosisteme v ekosfero (globalno kroženje: O, C, N, P, S).

### Prehranjevalni spleti

Avtotrofi proizvajajo organske snovi iz anorganskih s pomočjo energije, v največjem delu svetlobne, v redkih okoljih tudi kemijske. Heterotrofi prejemajo organske snovi prek avtotrofov, pri čemer se potrošniki hranijo pretežno z živim virom organskih snovi, razgrajevalci (dekompozitorji) pa razgrajujejo odmrle organske dele do anorganskih hranil.

Svetlobna energija, ki jo primarni proizvajalci pretvarjajo v kemijsko energijo, je temelj za življenje na Zemlji. Energija, ki jo kopičijo primarni proizvajalci, se v več stopnjah prenaša do potrošnikov. Prehranjevalne povezave med organizmi imenujemo prehranjevalni spleti. Spleti so pogosto zapleteni, poenostavljena temeljna shema pa je prikazana na Sliki 1.

Energija se prenaša od nižjih na višje prehranjevalne (trofične) nivoje, pri čemer se precej energije porabi za dihanje, zato se skupna prenesena energija zmanjšuje. Enako s prehranjevalnimi nivoji upada njihova biomasa. V prehranjevalnih spletih so trije, štirje, redko pet prehranjevalnih nivojev, pri čemer prvi nivo predstavljajo proizvajalci, vse naslednje pa potrošniki. Nekateri organizmi, na primer omnivori, delujejo na različnih prehranjevalnih nivojih, kar dodatno zaplete prehranjevalne splete in ugotavljanje vloge posamezne živalske vrste v ekosistemu.



**Slika 1:** Prehranjevalni splet: pretok energije in kroženje snovi v ekosistemu.

### Produktivnost ekosistema

Produktivnost ekosistema predstavljata skupaj primarna in sekundarna produkcija. Primarno produkcijo ekosistema pogojujeta fotosintezna aktivnost in skupna površina listov. Fotosintezna aktivnost je odvisna od okoljskih razmer in je v kopenskih ekosistemih omejena predvsem z dostopno vodo in temperaturnimi razmerami, v vodnih ekosistemih pa s svetlobo in hranili. Sekundarna produkcija je povezana z velikostjo primarne produkcije. Zato je produktivnost v različnih ekosistemih zelo raznolika. Največjo neto primarno produktivnost (NPP) dosegajo tropski deževni gozd, nekatera mokrišča in koralni grebeni (več kot 2000 g m<sup>-2</sup> leto<sup>-1</sup>), srednjo produktivnost ima listopadni gozd zmernega podnebne območja (1200 g m<sup>-2</sup> leto<sup>-1</sup>) ter kmetijske površine (600 g m<sup>-2</sup> leto<sup>-1</sup>), medtem ko je majhna produktivnost značilna za puščave in tundro (okrog 100 g m<sup>-2</sup> leto<sup>-1</sup>). Neto ekosistemska produktivnost (NEP) pa pove, kakšni sta skupni primarna in sekundarna produktivnost ekosistema.

### Sukcesija ekosistema

Ekosistemi se s časom spreminjajo; spreminjanje imenujemo sukcesija ekosistema. Pri začetni sukcesiji se vrste, ki so navzoče v določenem ekosistemu, zelo hitro izmenjujejo. Z napredovanjem sukcesije se izmenjava vrst upočasni, nazadnje ekosistem doseže ravnovesje v vrstni sestavi, združbo imenujemo klimaksna (zrela) združba. S

sukcesijo narašča biomasa ekosistema, vrstna pestrost in pestrost prehranjevalnih spleto. Kadar pa pride do sprememb v okolju, na primer do podnebnih ali drugih sprememb, se sukcesija ekosistema nadaljuje, dokler znova ne doseže ravnovesja glede na nove razmere v okolju.

### Človekov vpliv na ekosistem

Človek spreminja ekosisteme na dva temeljna načina, z neposrednim spreminjanjem ekosistema, ki se lahko konča z izginotjem določenega ekosistema (izraba prostora za urbane, industrijske in kmetijske površine) in s posrednim vplivom na kroženje snovi in pretok energije v ekosistemu. Človek spreminja ekosisteme od pradavnine dalje, vendar so spremembe v obdobju po industrijski revoluciji, se pravi ob koncu 18. stoletja, postale tako hitre, da močno vplivajo na zmanjšanje vrstne pestrosti.

### Globalno kroženje ogljikovega dioksida

Človekov vpliv na globalno kroženje elementov v zadnjih sto letih ni zanemarljiv in že povzroča nekatere spremembe kopenskih in vodnih ekosistemov. Neposredno spremljanje vsebnosti ogljikovega dioksida (CO<sub>2</sub>) v ozračju od leta 1958 dalje je pokazalo eksponentialno rast. Strmo naraščanje vsebnosti CO<sub>2</sub> je neposredna posledica povečanega izgorevanja fosilnih goriv in zmanjševanja gozdnih površin na račun povečanja kmetijskih in urbanih območij.

Sproščeni CO<sub>2</sub> morda prispeva k nekoliko povečani neto primarni produktivnosti kopenskih ekosistemov, predvsem tistih v območjih s sušnim podnebjem, medtem ko spremembe niso opazne v hladnih podnebnih območjih niti niso dobro poznane pri dolgotrajni izpostavljenosti ekosistema povečani vsebnosti CO<sub>2</sub>. Učinek povečane vsebnosti CO<sub>2</sub> na ekosisteme je kompleksen in še ni povsem raziskan.

### Globalno kroženje dušika

Globalno kroženje dušika človek spreminja z velikim vnosom le-tega v vodne ekosisteme in ozračje. Presežne količine nitratov v vodnih ekosistemih so posledica izpiranja mineralnega dušika iz kmetijskih površin, nakičenih živalskih iztrebkov in odpadnih voda. Industrija in avtomobili so vir dušikovih oksidov (dušikov oksid, dušikov dioksid, didušikov oksid, dušikov pentoksid, dušikova kislina, kar skupaj označujemo z NO<sub>x</sub>) v ozračju. Dušikov dioksid (NO<sub>2</sub>) se s pomočjo UV sevanja reduci-



ra v reaktivni dušikov oksid (NO) in atomarni kisik (O), ki v ozračju generirata tvorbo številnih onesnažil, kot so peroksiacilnitrati (PAN), aldehidi, formaldehidi in ozon (fotokemični smog). Fotokemični smog škodljivo učinkuje na organizme.

Čezmeren vnos dušikovih (gnojenje z mineralnimi gnojili in kisel dež) spojin v ekosistem povzroča zakisanje tal ter tako spreminja sestavo talne mikrofavne, vpliva na spremenjeno razgradnjo v tleh in kroženje snovi. Iz zakisanih tal se izpirajo kationi, kar posledično pomeni slabo preskrbo rastlin s kalijem (K), magnezijem (Mg) in kalcijem (Ca), ter toksično velike vsebnosti aluminija (Al), mangana (Mn) in železa (Fe), ki se prav tako izpirajo in prehajajo v podtalnico ter jo onesnažijo. Škodljiv pojav zakisovanja tal je problematičen na intenzivnih kmetijskih površinah ter v iglastih gozdovih. Zakisana tla kmetijskih površin s časom postanejo neuporabna, slaba poraščenost tal z vegetacijo pa pomeni tudi povečano erozijo tal.

### Učinek tople grede

Neugodna posledica povečanih vsebnosti CO<sub>2</sub> in NO<sub>x</sub> v ozračju je učinek tople grede. Navedena plina sodita skupaj z metanom, klorofluorogljiki, troposfernim ozonom, vodno paro in nekaterimi manj prisotnimi industrijskimi plini (tabela 1) med toplogredne pline. Toplogredni plini absorbirajo dolgovalovno toplotno sevanje, ki se sprošča z zemeljskega površja, in tako prispevajo k segrevanju ozračja.

**Tabela 1:** Pregled vsebnosti toplogrednih plinov v ozračju v letih 1750 (kemijsko določanje v ledu) in 2005 (spektrofotometrično določanje). Plini: ogljikov dioksid (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), dušikovi oksidi (NO<sub>x</sub>), klorofluorogljiki (CFC).

Plin	Vsebnost l. 1750 (ppm V)	Vsebnost l. 2005 (ppm V)
CO <sub>2</sub>	280	360
CH <sub>4</sub>	0,70	1,70
NO <sub>x</sub>	0,29	0,31
CFC	0	900

Največji kopenski ponor CO<sub>2</sub> je deževni tropski gozd, del CO<sub>2</sub> difundira v površinski sloj (0–200 m) oceanov. Izsekavanje gozdnih površin močno zmanjšuje ponor CO<sub>2</sub> hkrati pa izsekavanje deževnega tropskega gozda

vpliva na spremembe v kroženju vode, zato so padavine v teh območjih pogosto zmanjšajo, kar dodatno vpliva na izumiranje deževnega tropskega gozda. V zmernih in hladnih podnebnih območjih naraščanje temperature ozračja povzroča hitrejše in obsežnejše taljenje ledu, kar sproži pozitivno povratno zanko prek povečane absorpcije sončnega sevanja na zemeljski površni. Zmanjšane snežne padavine in spremenjeno taljenje ledu prispevajo k daljšemu obdobju nizkih vodostajev rek, ki izvirajo v tem območju. V tropskem, zmernem in hladnem podnebnem območju prihaja zaradi segrevanja ozračja do zmanjševanja padavin in povečevanja skrajnih vremenskih dogodkov, kot so neurja, poplave, plazovi in požari. Na nivoju ekosistemov prihaja do spreminjanja vrstne sestave v združbah, spreminjanja biotske pestrosti ter spreminjanja globalne razporejenosti ekosistemov. V gorskih območjih na primer so preučeni številni premiki rastlinskih vrst z nižjih v višje nadmorske višine. Podnebne spremembe vplivajo na kmetijsko proizvodnjo, zmanjšanje pa je predvsem opazno v sušnih podnebnih območjih, kjer je pomanjkanje hrane že brez tega veliko. Vpliv na zdravstveno stanje ljudi zaradi podnebnih sprememb je neposreden: povišane temperature povečajo verjetnost dihalnih in žilnih težav, posreden vpliv pa poteka prek nepričakovanih ekstremnih vremenskih dogodkov. Predvideni dvig morske gladine zaradi taljenja ledu bi imel posledice tako za obrežne ekosisteme kot tudi za obalna naselja.

### Globalno kroženje žvepla in zakisovanje ekosistema

Vir žvepla je poleg vulkanskih izbruhov in razgradnje v tleh predvsem izgorevanje fosilnih goriv, med katerimi največji delež prispeva premog. Emitirano žveplo se deloma useda v bližini vira v obliki trdnih delcev, žveplov dioksid pa se z zračnimi masami prenaša na velikih razdaljah. Velik delež žvepla je v plinasti obliki kot žveplov dioksid, ki reagira z vodo in tvori žveplov kislino (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Ta s padavinami (kisli dež) ali kislimi aerosoli doseže zemeljsko površje. Tudi piritova ruda, ki pride na površje ob rudarjenju in je izpostavljena zraku in padavinam, sprošča žveplov kislino in strupene železove spojine. Spojine se izpirajo v vodo in so izjemno škodljive za vodni ekosistem. Žveplo je sicer pomemben gradbeni del nekaterih aminokislin, vendar povečane vsebnosti povzročajo poškodbe rastlin, živali in ljudi. V onesnaženih območjih s čezmerno vsebnostjo žveplovih spojin so pogoste hude obolenosti dihal tam živčih ljudi.

Žveplov in dušikov dioksid v vodnem mediju tvorita žveplovo ( $H_2SO_4$ ) in dušikovo ( $H_2NO_3$ ) kislino, ki sta tako temeljni kislini, prisotni v kisljih padavinah. Večje poškodbe ekosistemov opazamo na magmatskih kameninah in manj na karbonatnih, ki imajo večjo pufersko sposobnost, zato zakisanje ni tako izjemno močno. Zaradi kisljih padavin so prizadeti vodni ekosistemi, v katerih pride do spremenjene bakterijske aktivnosti, zmanjšane razgradnje in posledično kroženja snovi. Pomanjkanje hranil prizadene vse nivoje prehranjevalnega spleta, od fitoplanktona do ribjih populacij. Tudi dvoživke, predvsem v zgodnjih razvojnih stadijih, so zelo občutljive na kislo okolje in verjetno je zakisanje eden od vzrokov za izginjanje dvoživk. Dodaten problem zakisanja tal je povečana mobilnost aluminija in zato njegovo sproščanje v vodne ekosisteme. Aluminij je strupen in prizadene predvsem vrste višjih nivojev prehranjevalnega spleta kot na primer ribe.

Učinek kislega dežja na kopenske ekosisteme je težje raziskati. Zakisana tla so revna s hranili, kot so K, Mg in Ca, ter vsebujejo toksično velike vsebnosti Al. Iglavci so bolj občutljivi za kislo okolje, zato lahko pride do spremenjenega sukcesijskega razvoja pri čemer imajo listavci prednost pred iglavci. Eni prvih kazalnikov kislega in onesnaženega ozračja so epifitski lišaji, ki velik del snovi, potrebnih za rast in razvoj, sprejemajo iz zraka v steljko. Steljka ne more aktivno uravnavati sprejema snovi, kot to uravnavajo višje rastline z listnimi režami in zaščitnimi strukturami povrhnjice.

### **Globalno kroženje fosforja**

Globalno kroženje fosforja je spremenjeno predvsem zaradi vnosa fosforjevih mineralnih gnojil, ki kljub slabi mobilnosti fosforja v tleh dosežejo vodne ekosisteme, in sicer predvsem prek odpadnih voda. Povečane vsebnosti fosforja v vodnih ekosistemih pomenijo eutrofikacijo celinskih vod, saj je fosfor največkrat omejujoči dejavnik za rast rastlin. Posledica eutrofikacije je bujna rast alg in višjih vodnih rastlin, kar predstavlja obilico organskega materiala, ki se kasneje nabira na dnu vodnega telesa. Raztopljeni kisik v vodi pogosto ne zadošča za oksidativno razgradnjo vsega organskega materiala, kar lahko pripelje do anoksičnih razmer v ekosistemu. V vsakem primeru pa eutrofikacija ekosistema zaradi človekovega delovanja pospeši sukcesijo sistema od vodnega proti kopenskemu in vpliva na spremenjeno sestavo rastlinskih in živalskih vrst v ekosistemu.

### **Izsekavanje gozda**

Velike spremembe v kroženju snovi se dogajajo tudi zaradi izsekavanja gozda. Izsekavanje ni nov pojav, problematike so se zavedali že stari Rimljani, ko so izsekali veliko sredozemskih gozdov, kjer zdaj zaradi erozije tal prevladujejo kamenišča ali grmišča. Velika izsekavanja v Evropi so potekala tudi v 17. stoletju, v Severni Ameriki so se začela stoletje kasneje, intenzivno izsekavanje tropskih gozdov pa poteka še sedaj. Izguba gozda pomeni veliko izgubljanje hranil iz tal, spremenjen vodni režim ter izgubljanje vrstne pestrosti, ki se v monokulturnih gozdnih nasadih ne obnovi.

V Srednji in Severni Evropi ter Severni Ameriki, kjer so obsežne sajene monokulture iglavcev, prihaja do zakisovanja tal zaradi kislega dežja, pa tudi zaradi opada iglic, ki dodatno kopičijo dušikove spojine. Iglavci na rastiščih z velikim vnosom dušika so slabše prehranjeni, zato so bolj občutljivi za boleznin in škodljivce, poleg tega so zaradi slabše razvitega koreninskega sistema manj odporni proti sušnim obdobjem. Naravne in sonaravne gozdne združbe, v katerih je ohranjena velika vrstna pestrost, so bolj stabilne in odporne proti stresnim dejavnikom kot gojeni gozdovi.

### **Težke kovine**

Človek sprošča v okolje številne snovi, ki škodljivo učinkujejo na ekosisteme. Težke kovine, predvsem svinec, cink, živo srebro in kadmij, se naravno v ekosistemih pojavljajo v majhnih količinah.

Vnesene težke kovine se prek kopičenja v tleh in primarnih producentih prenašajo do višjih nivojev v prehranjevalnih spletih, kjer zavirajo rast, razvoj in povečujejo smrtnost organizmov. Težke kovine so v tleh vezane z organskimi kompleksi kot s karbonati in sulfati, zato v ekosistemu ostajajo zelo dolgo (5000 let v zgornjem sloju tal).

Značilen primer velike onesnaženosti okolja s težkimi kovinami je Zgornja Mežiška dolina, v kateri so ekosistemi popolnoma spremenjeni oziroma uničeni, zdravstveno stanje ljudi je slabše kot v drugih regijah. Vir težkih kovin v okolju je bil rudnik svinca in cinka s topilnico, ki je deloval od 17. do konca prejšnjega stoletja, v sedanjem času pa so emisije posledica zapraševanja z nezaraščenih onesnaženih površin. Tudi velik del držav nekdanje Sovjetske zveze ima ogromna območja z daleč preseženimi vsebnostmi težkih kovin.

V zadnjih letih poskušajo vsebnost težkih kovin zmanjšati s fitoremediacijo. Na onesnažena območja sadijo rastline, ki so odporne proti velikim vsebnostim težkih kovin in kovine kopičijo v svojih tkivih. Rastline nato z rastišča odstranijo. Postopek je sicer precej učinkovit, vendar počasen, težke kovine pa postopoma odstranjuje samo v zgornjih slojih tal.

### Trajna organska onesnažila

Škodljiv učinek na ekosisteme imajo trajna organska onesnažila (POP). To so pretežno halogenirane organske spojine s strupenim učinkom na organizme, ki se zelo počasi razgradijo in zato ostajajo v okolju. Onesnažila krožijo v velikem delu prek ozračja, pa tudi prek vodotokov in oceanov, tako da so prisotna tudi v območjih, ki so daleč stran od virov nastanka. Med POP spadajo nekateri pesticidi (DDT), poliklorirani bifenili (PCB) uporabljeni v elektroindustriji kot dodatek plastiki, topilom, lakom ter drugim sintetičnim proizvodom, stranski produkti industrijskih procesov (dioksini, furani). Proizvodnja POP je uravnavana s Stockholmsko konvencijo, ki je v sedemdesetih letih prepovedala proizvodnjo nekaterih glavnih POP. Vendar se proizvodnja nadaljuje v državah, ki niso podpisnice konvencije, to je v večini azijskih in južnoameriških držav.

POP na celičnem nivoju motijo metabolizem Ca ter tako zavirajo rast in razvoj vseh organizmov. Ker se kopičijo v tkivih, se vsebnosti v organizmih z rastočim nivojem prehranjevalnega spleta povečujejo (bioakumulacija); poškodbe so najbolj izražene pri sekundarnih potrošnikih. Spojine povzročajo nastanek tumorjev, živčnih obolenj, hormonske motnje, poškodbe ploda in povečujejo sterilnost. V manjšem obsegu nekatera onesnažila odstranimo s pomočjo bioremedicije, fitoremediacije ali ektomikorizne remediacije. Bioremediacija obsega različne postopke, pri katerih s pomočjo mikroorganizmov ali mikrobnih proce-

sov odstranijo ali razgradijo onesnažila, pri fitoremediaciji pri zmanjševanju vsebnosti POP sodelujejo rastline, pri ektomikorizni remediaciji pa ektomikorizne glive. (Ektomikoriza je simbioza glive z rastlino, kjer glive tvorijo plašč okrog kratkih korenin. Glive razgrajujejo organski opad, črpajo hranila in vodo, varujejo pred patogeni, vežejo težke kovine, rastlina pa prispeva organske snovi.)

### Povečano ultravijolično sevanje

Zemeljsko površje je zadnjih trideset let izpostavljeno čedalje večjim intenzitetam ultravijoličnega-B (UV-B) sevanja, kar je posledica tanjšanja ozonskega sloja v stratosferi. Do tanjšanja prihaja predvsem zaradi povečanih izpustov klorofluorogljikov in dušikovih oksidov. UV-B sevanje vpliva na številne biološke in kemijske procese, neposredno ter posredno. Spremembe biokemijskih procesov ali poškodbe celičnih struktur se pogosto izrazijo v spremenjeni rasti in razvoju organa ali organizma ter vodijo v spremenjena tekmovalna razmerja med vrstami, spremenjeno občutljivost rastline za herbivore in patogene, moteno razgradnjo ter kroženje hranil, vse skupaj pa vpliva na zgradbo in delovanje ekosistema. Tako se vpliv UV-B sevanja na celičnem nivoju odraža v kompleksnih spremembah v ekosistemu.

### Perspektive

Vsakdo od nas prispeva k varovanju ekosistema s čim manjšim vnosom škodljivih in obremenilnih snovi v okolje. Obenem je pomembno ohranjati naravne ekosisteme, v katerih nemoteno potekata popolno kroženje snovi in pretok energije. Uničenje vsakega naravnega ali sonaravnega ekosistema je škoda za naš planet ne glede na to, ali je ekosistem vključen v katero od varstvenih kategorij ali ne. Vsak uničen ekosistem doda delček k spremenjenemu podnebjju, slabši kakovosti zraka in vode ter prek tega k slabši kakovosti človekovega bivanja.

### Literatura

- Lambers H., Chapin F. S., Pons T. L. (2000): *Plant Physiological Ecology*. Springer, 4. izdaja. 540 str.  
 Larcher W. (2003): *Physiological Plant Ecology*. Springer, 4. izdaja. 513 str.  
 MacKenzie A. (2001): *Instant Notes in Ecology*. Taylor & Francis, 1. izdaja. 352 str.  
 Smith R. L., Smith T. M. (2001): *Ecology and Field Biology*. Benjamin Cummings, 6. izdaja. 771 str.

## GLOBALNO OGREVANJE: PODNEBNE SPREMEMBE SO ŽE TU

### Lučka Kajfež Bogataj

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana; e-naslov: lucka.kajfez.bogataj@bf.uni-lj.si

---

*Leta 1980 je diplomirala na Fakulteti za matematiko in fiziko, doktorski študij končala na Biotehniški fakulteti. Od leta 1997 redna profesorica, predava na BF in na Fakulteti za matematiko in fiziko. Od leta 1996 je vodja Centra za biometeorologijo in predstojnica katedre za Agrometeorologijo na BF, od leta 2002 je članica Medvladnega panela za podnebne spremembe v Ženevi in od leta 2006 članica komiteja Globalnega klimatskega opazovalnega sistema (GCOS) pri WMO. Ukvarja se z raziskavami s področja klimatskih sprememb in aplikativne meteorologije. Dobitnica nagrade mesta Ljubljane 2008, rože mogote 2008, kot članica IPCC sodobitnica Nobelove nagrade za mir 2007.*

### Izvilleček

Znanost o podnebnih spremembah izrazito napreduje, saj je na voljo več meritev, poglobljenejših analiz in bolj-ših simulacijskih modelov, večje pa je tudi razumevanje podnebnega sistema. V prispevku je podan povzetek najnovejših ugotovitev o naravnih in antropogeno povzročeni klimatskih spremembah. Predstavljene so že opazovane spremembe v ozračju, oceanih in kriosferi in podan pregled projekcij razvoja podnebja v prihodnosti. Nove ugotovitve o odzivu rastlin in tal na ogrevanje kažejo, da bodo podnebne spremembe v prihodnosti večje, kot smo predvidevali. Predstavljene so tudi že opazovane podnebne spremembe v Sloveniji v zadnjih desetletjih in projekcije razvoja podnebja v Evropi in pri nas. Evropsko ozračje se je v zadnjem stoletju ogrelo za 1 stopinjo Celzija, kar je več kot globalno povprečje. Severna Evropa ima že značilno več padavin, Sredozemlje pa postaja bolj sušno. Podobni trendi se bodo še nadaljevali. Tudi v Sloveniji pričakujemo upadanje količine padavin poleti, kar bo imelo za posledico več suš z negativnimi učinki na ekosisteme.

## GLOBAL WARMING: CLIMATE CHANGES ARE ALREADY HERE

### Lučka Kajfež Bogataj

University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: lucka.kajfez.bogataj@bf.uni-lj.si

---

*Lučka Kajfež Bogataj holds a B.Sc. in Meteorology and M.Sc. and Ph.D. in Biometeorology from University of Ljubljana. Her main research interests are climate change, agrometeorology, and applied meteorology. From 1997 she is a Professor of Meteorology at Biotechnical Faculty and of Climatology at Dept. of Physics, University of Ljubljana and Head of Centre for Agrometeorology at Biotechnical Faculty. Since 2002 she is a Member of IPCC Bureau: Vice-Chair of Working Group II, and since 2006 also a Member of GCOS (Global climate observation System) committee, WMO, Geneva.*

### Abstract

In recent years significant progress has been made in understanding past and recent climate change and in projecting future changes due to large amounts of new data, more sophisticated analyses of data, and improvements in the understanding and simulation of physical processes in climate models. This paper provides summary of current scientific understanding of the natural and anthropogenic drivers of changes in global climate; an overview of observed changes in the climate system (including the atmosphere, oceans and cryosphere) and their relationships to physical processes and; and overview of projections for future climate changes. New knowledge which considers how plants and soils react to a warming world suggests that future climate change will be even greater than previously thought. A summary of observed climate changes in Slovenia in the last decades is given and future projections for some European regions and Slovenia are discussed. Europe has warmed by almost 1°C in the last century, faster than the global average. Precipitation (i.e. rain and snow) has significantly increased in northern Europe, whereas drying has been observed in the Mediterranean. Continuing the observed

## Uvod

Klimatologija ostaja hitro razvijajoče se znanstveno področje, še zlasti tisti njen del, ki se ukvarja s podnebnimi spremembami. Te postajajo vse bolj očitne, pa tudi učinkite, ki jih že povzročajo. Medvladni odbor za podnebne spremembe (IPCC) že od leta 1990 periodično izdaja poročila o podnebnih spremembah. Drugo poročilo je bilo izdano leta 1995, tretje leta 2001, četrto poročilo (IPCC AR4) pa v treh delih leta 2007. Vsa poročila temeljijo na recenziranih znanstvenih člankih in podajajo najnovejša znanstvena spoznanja o stanju podnebnega sistema in o njegovih predvidenih spremembah v prihodnosti, o vplivih že opazovanih in prihodnjih podnebnih sprememb na naravo in družbo, o ranljivosti in prilagajanju na te spremembe in o možnih načinih blaženja podnebnih sprememb ter o ekonomskih in tehnoloških vidikih blaženja. Poročila so izjemno zaskrbljujoča in jasno kažejo na tempiranost klimatske bombe. Da nam ostaja komaj petnajst let časa, da se izognemo neobvladljivemu ogrevanju. In da se bomo morali zelo hitro začeti prilagajati, torej znati obvladovati neizogibno. Da bi podnebne spremembe ustavili, je namreč prepozno.

Danes namreč živi na planetu šestinpolkrat toliko ljudi kot leta 1800 in da v povprečju danes vsak Zemljan porabi pet- do šestkrat več energije kot pred 200 leti. Bruto družbeni proizvod na Zemljana je približno sedemnajstkrat večji, naša mobilnost pa je kar tisočkrat večja, saj se danes v povprečju dnevno vozimo 40 km, pred dvesto leti pa 40 metrov. Ob tem seveda človek vse hitreje spreminja sestavo atmosfere in zraven tudi značilnosti zemeljske površine s spremenjeno rabo tal in sekanjem gozdov (Marland in sod., 2005). Zaradi kurjenja fosilnih goriv, prometa, gnojenja, smetišč, emisij tovarn in podobnega je v ozračju je vse več toplogrednih plinov (TGP: CO<sub>2</sub>,

trend, average precipitation as well as extreme precipitation is very likely to further increase in most of northern Europe whereas precipitation is very likely to decrease in the Mediterranean. These changes will further increase the current difference between humid and dry regions, both in Europe and worldwide. Summer precipitation reduction in Slovenia is expected to have severe effects, e.g. more frequent droughts, with considerable impacts on ecosystems.

CH<sub>4</sub>, N<sub>x</sub>O, O<sub>3</sub> ...) ter aerosolov, ki vplivajo zlasti na vpijanje sevanja, ki ga oddaja Zemlja.

## *Antropogeni vplivi na podnebje – naraščanje vsebnosti toplogrednih plinov v ozračju*

Vsebnost CO<sub>2</sub> v ozračju že 200 let stalno narašča, in to zaradi človekove aktivnosti. Globalni trendi naraščanja izpustov toplogrednih plinov v zadnjih letih so zastrašujoči. V letih od 1970 do 2004 so se globalni izpusti toplogrednih plinov (TGP) povečali za 70 odstotkov, od 1990 do 2004 pa za 24 odstotkov. Izpusti CO<sub>2</sub>, količinsko najpomembnejšega toplogrednega plina, so narasli v letih od 1970 do 2004 za 80 odstotkov (1990 do 2004: 28 odstotkov). Dosedanji politični ukrepi, projekti trajnostnega razvoja in zmanjševanje intenzivnosti industrije niso prinesli vidnejših zmanjševanj izpustov. Trend naraščanja izpustov toplogrednih plinov je povezan s povečevanjem globalnega dohodka na prebivalca in z naraščanjem svetovnega prebivalstva.

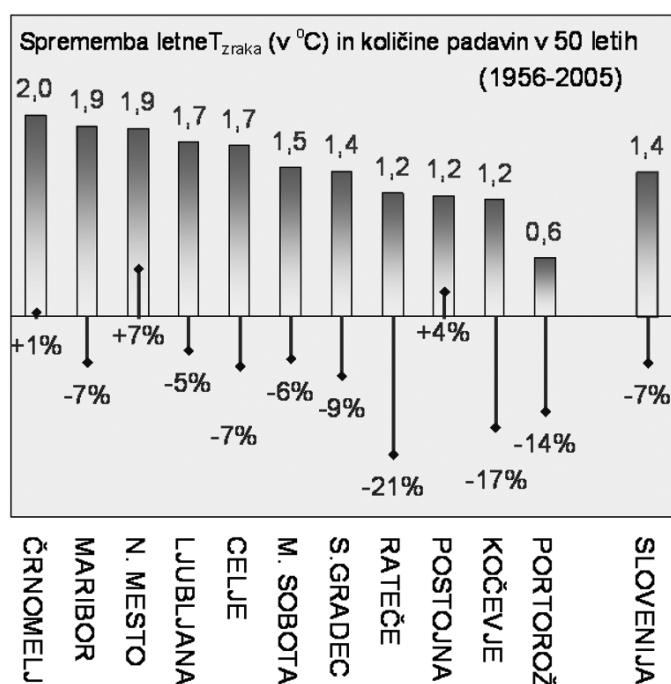
V letu 2004 so razvite države, v katerih živi 20 odstotkov svetovnega prebivalstva, prispevale 46 odstotkov globalnih izpustov toplogrednih plinov. Še posebej vzbujajo skrb projekcije, da bodo med energetske viri fosilna goriva še vedno prevladovala vsaj do leta 2030. Ob tej predpostavki bodo globalni izpusti toplogrednih plinov, če ne ukrepamo, še narasli, in to za 25 do 90 odstotkov do leta 2030 (v primerjavi z 2000) – odvisno od razvoja družbe – in za 60 do 240 odstotkov do leta 2100. Dve tretjini do tri četrtine teh izpustov bodo prispevale danes nerazvite države.

Sprememba energijske bilance planeta tako povzroča povečan učinek tople grede. Pozitivni sevalni prispevek kot posledica povečanja koncentracij toplogrednih plinov od

leta 1750 do danes je ocenjen na približno  $2,3 \text{ Wm}^{-2}$ , kar je najmanj petkrat več, kot so naravne spremembe na primer Sončeve aktivnosti. Samo v zadnjih 10 letih se je vpliv  $\text{CO}_2$  na sevalno bilanco povečal kar za 20 odstotkov.

### Opazovane spremembe podnebnega sistema

Ogrevanje planeta je nedvoumno: ogreva se zrak, oceani, topi se led in sneg, gladina morij pa se viša. Naraščanje temperatur na kopnem in oceanov od leta 1906 do 2005 znaša  $0,74 \pm 0,18$  stopinje Celzija. To je več, kot je zapisano v poročilu Medvladnega odbora za podnebne spremembe iz leta 2001, ko je bil ocenjen trend  $0,6 \pm 0,2$  stopinje Celzija za obdobje od 1901 do 2000. Najizrazitejši dvig (dvakrat večji kot v 100 letih) je v zadnjih 50 letih, kar  $0,13$  stopinje Celzija na desetletje. Povsem enako je tudi v Sloveniji (slika 1). Ocean se je ogrel vsaj do globine 3000 m. Topljenje ledu in raztezanje morske vode že povzročata dvig morske gladine, ki znaša po letu 1993 kar  $3,1 \text{ mm}$  na leto.



**Slika 1:** Ogrevanje v Sloveniji je vedno bolj izrazito, spremenjena pa je tudi letna količina padavin.

Temperature na Arktiki naraščajo dvakrat hitreje kot drugje na svetu. Satelitska opazovanja kažejo, da se je po letu 1978 arktični led krčil za 2,7 odstotka na desetletje,

poleti pa kar za 7,4 odstotka na desetletje. Permafrost na Arktiki se je na površini ogrel za do 3 stopinje Celzija po letu 1980. Na severni polobli je od leta 1900 do zdaj že 7 odstotkov manj sezonsko zmrznjenih tal. Na kopnem v zmernih zemljepisnih širinah se je izrazito zmanjšalo število hladnih dni, še zlasti so se zvišale najnižje nočne temperature zraka. V poletnem času se je povečalo število toplih noči.

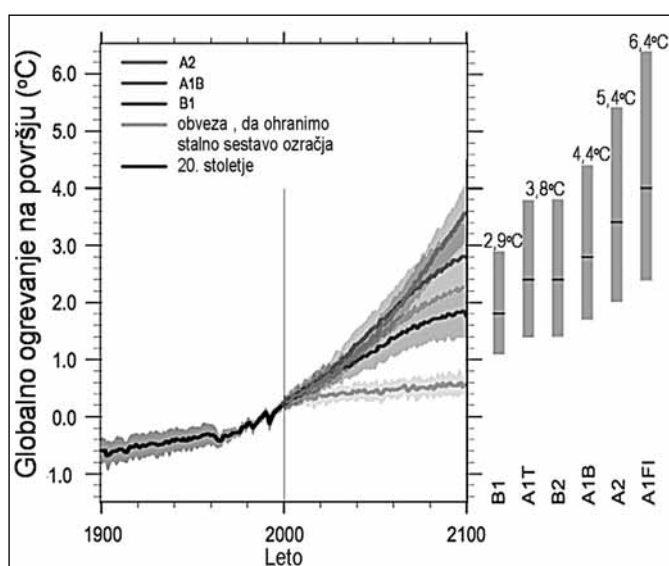
V povezavi z višanjem temperature zraka in temperature površine oceanov se je povečala vlažnost zraka, posledica pa so povečane pogostnosti obilnih padavinskih dogodkov, in to tudi tam, kjer letna količina padavin upada. Globalno se je letna količina padavin nad kopnim v obdobju 1901 do 2004 povečala, regionalno pa so trendi zelo različni. Na kopnem se povečuje pogostnost suš, predvsem zaradi okrepljenih zahodnih vetrov in premika lege polarne fronte. Zahodni deli celin postajajo toplejši kot vzhodnejši, še zlasti pozimi. Bolj sušno postaja po letu 1970 v Sahelu, Sredozemlju, južni Afriki in južni Aziji, bolj mokro pa na vzhodu Severne in Južne Amerike, na severu Evrope in v severni ter osrednji Aziji. Izmerjeno je tudi zakislevanje površinskega sloja oceanov, saj se je povprečna vrednost pH znižala za 0,1 v zadnjih 200 letih. Spreminja se tudi slanost morja v posameznih oceanskih bazenih, saj se spreminja vodni cikel.

Za nekatere dele podnebnega sistema pa še ni trdnih dokazov o podnebnih spremembah, na primer na Antarktiki, kjer pa primanjkuje tudi meritev. Ravno tako ni jasnih znakov, da bi se bistveno spreminjalo kroženje oceanov. Premalo je dokazov, da bi lahko trdili, da se spreminjajo značilnosti tornadov, toče, neviht in podobno.

### Razvoj globalnega podnebnja v tem stoletju

Kako se bo podnebni sistem odzval na različne naravne in človekove vplive, najpogosteje ugotavljamo z različnimi modeli splošnega kroženja (MSC), v katere kot ključni vhodni podatek vstavljamo različne scenarije izpustov toplogrednih plinov. Medvladni odbor za podnebne spremembe uporablja štiri skupine scenarijev (A1, A2, B1 in B2), ki se razlikujejo v družbenogospodarskem razvoju v prihodnosti in zlasti v izpustih in končnih vsebnostih toplogrednih plinov in aerosolov v ozračju. Skupina scenarijev A1 predstavlja hiter in globalen gospodarski razvoj, scenariji A2 predvidevajo raznolik svet s hitro rastjo prebivalstva. Skupina scenarijev B1 predstavlja nagel preo-

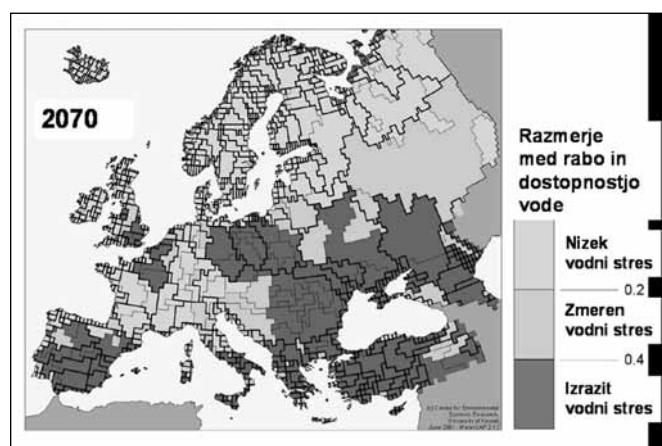
brat v gospodarskih strukturah v smeri oskrbovalnega in informacijskega gospodarstva, manjše porabe surovin ter vpeljave čistejših in učinkovitejših tehnologij. Pri scenarijih B2 so v ospredju krajevne rešitve za zmerno gospodarsko rast, socialno enakost in okoljsko trajnost. Najpogosteje analiziramo dve skupini scenarijev – A2 in B2. Različni modeli splošnega kroženja se na spremembe sestave ozračja odzovejo različno, kar kaže na negotovost projekcij podnebnih sprememb za prihodnost. Modelne intervalne ocene temperaturnih sprememb (glede na obdobje 1961–1990) do leta 2100 prikazuje slika 2.



**Slika 2:** Projekcije temperaturnih sprememb (glede na obdobje 1961–1990) do leta 2100 za različne scenarije. Največji dvig temperature je pri scenariju A1FI, ki predstavlja hiter in globalen gospodarski razvoj z nebrzdano rabo fosilnih goriv.

Za naslednjih 20 let lahko z veliko gotovostjo pričakujemo nadaljnje dviganje globalne temperature za 0,2 stopinje Celzija na desetletje. Do konca stoletja pa je dvig globalne temperature odvisen od našega obnašanja oziroma ustalitve vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju. V najboljšem primeru bo ta znašal +1,8 stopinje Celzija (glede na obdobje 1961–1990), če pa bomo nadaljevali z naraščanjem izpustov toplogrednih plinov, pa povprečno kar +4 stopinje Celzija z zgornjo mejo 6,4 stopinje Celzija. Regionalni vzorci ogrevanja bodo odstopali od zgoraj navedenih povprečij. Kopno in severne zemljepisne širine se bodo ogreli bistveno bolj, kot to kaže globalno povprečje. Spreminjali se bodo regionalni vremenski vzorci, tako vzorci kroženja zraka, padavine, ekstremi in

led. Prišlo bo do preporazdelitve padavin, zlasti močno bo zaradi suše v poletnem času prizadeto Sredozemlje (slika 3). Morska gladina se bo v povprečju dvignila za vsaj 30 cm, v najslabšem primeru pa za 58 cm. Morja se bodo še naprej zakisljevala, pH lahko še pade za do 0,35, kar bo pomenilo topljenje karbonatnih sedimentov v plitvih vodah in ogrozilo številne morske organizme. Vse več bo obilnih padavin in vročinskih valov. Slednji bodo intenzivnejši in bodo trajali dalj časa. Tropskih ciklonov bo morda manj, bodo pa bistveno močnejši in uničujoči. Geografska pot premikanja različnih neurij, sedaj pogostih v tropskem pasu, se bo pomikala severneje.



**Slika 3:** Območja z različno stopnjo vodnega stresa v letu 2070 ob scenariju z nebrzdanimi emisijami TGP.

Podnebni scenariji predvidevajo za Evropo izrazito ogrevanje do konca stoletja, od 2,5 do 5,5 stopinje Celzija. Zime so bodo najbolj ogrele na severu Evrope, poletja pa v južni in srednji Evropi. Letna količina padavin se bo povečala na severu in zmanjšala na jugu. Padavine poleti se bodo zmanjšale, od 30 do 45 odstotkov v Sredozemlju, pa tudi v zahodni in srednji Evropi. Manjše razlike v poletnih padavinah bosta imeli severna Evropa in Skandinavija.

### **Posledice podnebnih sprememb v Evropi**

Podnebno pogojena tveganja in nevarnosti se bodo povečala, vendar različno v zemljepisnih regijah. Poplave pozimi bodo pogostejše v obalnih območjih, pomladne bodo povezane s topljenjem snega v osrednji in vzhodni Evropi, povsod pa bodo pogostejše hudourniške poplave. Poplavljanje obal ob pogostejših neurjih bo prizadelo atlantske obale, še zlasti v povezavi z dvigovanjem

morske gladine. Do leta 2080 bo tako letno ogroženih dodatnih 2,5 milijona Evropejcev.

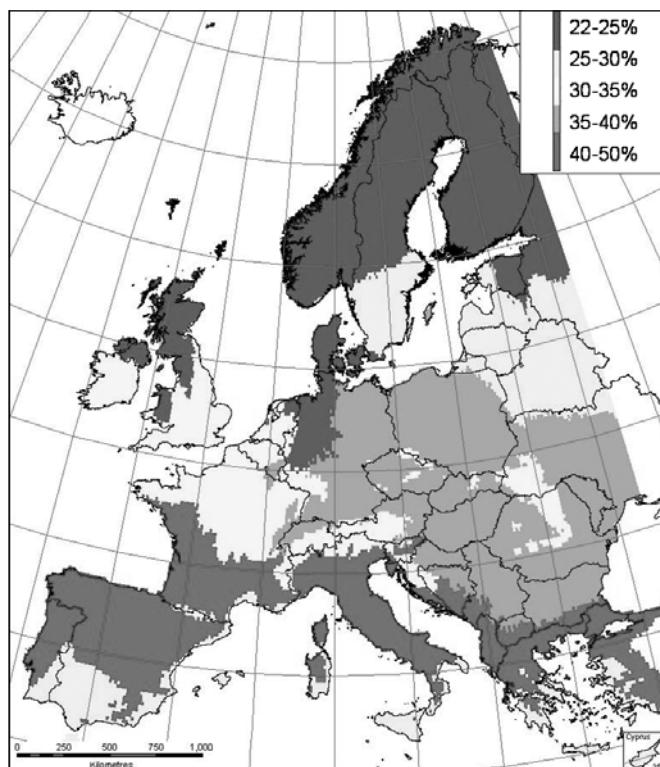
Toplejše in bolj sušno podnebje bo botrovalo pogostejšim in daljšim sušam. Do leta 2070 bodo suše, ki se danes pojavljajo v južni in jugovzhodni Evropi v povprečju enkrat na 100 let, postali dogodki, ki se bodo pojavljali na manj kot 50 let. Podaljšano bo obdobje s tveganjem za požare v naravi, verjetnost, da se ti pojavijo, bo večja. Brez prilagoditvenih ukrepov bo ogroženo zdravje ljudi zaradi vročinskih valov, poplav ter večje izpostavljenosti nalezljivim boleznim in boleznim, povezanim s hrano.

Podnebne spremembe bodo močno poglobile evropske regionalne razlike v dostopnosti do naravnih virov in v premoženjskem stanju. Primernost kmetijskih rastlin in njihova produktivnost se bosta zaradi višjih temperatur v severni Evropi povečali in zmanjšali v Sredozemlju in jugovzhodni Evropi. Gozdovi se bodo širili na severu in se umikali na jugu Evrope. Propadanje gozda bo najočitnejše na jugu Evrope. Razlike v dostopnosti vodnih virov bodo postale večje, površinski odtok vode se bo povečal v severni in severozahodni Evropi in zmanjševal v južni in jugovzhodni Evropi. Poletni nizki pretoki se bodo v srednji Evropi zmanjšali za polovico, v južni Evropi pa do 80 odstotkov.

Vodni stres v Evropi se bo povečal skupaj s številom ljudi, ki živijo v rečnih bazenih v močnem vodnem stresu. Tudi hidroenergetska zmogljivost v Evropi se bo zaradi podnebnih sprememb do leta 2070 zmanjšala v povprečju za 6 odstotkov, v Sredozemlju in okolici pa za 20 do 50 odstotkov.

Naravni ekositemi in biotska raznolikost bodo pod močnim vplivom podnebnih sprememb. Mnogo organizmov in ekosistemov bo imelo težave pri prilagajanju novemu podnebjju. Na primer v Sredozemlju bodo ogroženi presihajoči vodni sistemi, v Alpah bo ogroženo do 50 odstotkov alpske flore (slika 4).

Podnebne spremembe bodo izziv za vse gospodarske sektorje, saj bodo spremenile porazdelitev gospodarskih dejavnosti. Kmetijstvo se bo moralo spopasti z naraščajočo potrebo po namakanju v južni Evropi. Energijske potrebe za zimsko ogrevanje se bodo zmanjšale, zato pa se bodo povečale poleti za hlajenje. V Sredozemlju na



**Slika 4:** Odstotek rastlinskih in živalskih vrst, ki bodo izumrle zaradi podnebnih sprememb do konca stoletja, če se uresniči scenarij A2.

primer se bo ogrevalna sezona do leta 2050 skrajšala za 2 do 3 tedne, poleti pa bo od 2 do 5 tednov daljša doba za klimatizacijo prostorov. Konice porabe elektrike bodo ponekod po novem poletu in ne pozimi. Turizem v Sredozemlju bo intenzivnejši pomladi in jeseni, manjši pa poleti. Za zimski turizem v gorah bo na voljo krajše obdobje s snežno odejo. Z vsako stopinjo dviga temperature se v Alpah ta lahko skrajša za več tednov. Pri dvigu temperature za 2 stopinji Celzija brez spremembe količine padavin bo v švicarskih Alpah smučarska sezona krajša za 50 dni.

Pri prilagajanju na podnebne spremembe nam bodo v pomoč izkušnje, ki jih imamo pri odzivih na izredne vremenske dogodke. Nujno pa bo sistematično načrtovanje in aktivno upravljanje s tveganji, ki jih prinašajo podnebne spremembe. Države se vse bolj organizirajo pri obvladovanju posledic ekstremnega vremena. Lep primer so sistemi zgodnjega obveščanja v Evropi pri nastopu vročinskih valov (Španija, Portugalska, Francija, Velika Britanija, Italija, Madžarska).



Učinkovito prilagajanje se bo razlikovalo po državah. Žal ima le malo svetovnih vlad ali njihovih državnih institucij, na primer resornih ministrstev, sistematično in kritično pripravljene svežnje ukrepov za prilagajanje novemu podnebnju.

### **Kako obvladati izpuste toplogrednih plinov**

Poročilo tretje delovne skupine Medvladnega odbora za podnebne spremembe se osredotoča na ukrepe za omilitve podnebnih sprememb in ponuja pregled možnosti za zmanjševanje izpustov toplogrednih plinov in analizo teh možnosti iz znanstvenega, okoljskega, gospodarskega in družbenega zornega kota. Svet ima tehnologijo in finančna sredstva za omejitev katastrofalnih posledic globalnega segrevanja, a za znižanje izpustov toplogrednih plinov mora ukrepati takoj.

IPCC je objavil tudi povzetke raziskav o možnostih, ki jih ima svet za blaženje podnebnih sprememb, in to zlasti z regijskega in sektorskega vidika. Poudarjena je nujnost ukrepov za zmanjševanje izpustov toplogrednih plinov oziroma za varovanje podnebja. Le še 20 let je na razpolago, da omejimo temperaturni dvig samo na 2 stopinji Celzija glede na predindustrijski čas in s tem preprečimo najhujše učinke in tveganja za človeštvo, o čemer govori 2. člen Okvirne konvencije Združenih narodov o spremembi podnebja. Bistvena pri tem je seveda ocena stroškov ukrepov za zmanjševanje izpustov toplogrednih plinov, ki ni majhna. Brez ukrepov in še z nadaljnjo rabo fosilnih goriv bodo globalni izpusti toplogrednih plinov samo še naraščali, in to celo za 90 odstotkov do leta 2030 v primerjavi z letom 2000, kar bi vodilo v nepredvidljive posledice.

V vseh sektorjih gospodarstva obstaja znaten ekonomski potencial za omejevanje izpustov toplogrednih plinov. Čim višja bo cena izpusta tone CO<sub>2</sub>, tem manj bo izpustov in CO<sub>2</sub> vsebnost v ozračju se bo ustalila na nižji vrednosti. Cena do 50 ameriških dolarjev na tono ekvivalenta CO<sub>2</sub> omogoča ustalitev na ravni 550 ppm (volumenskih delcev na milijon ekvivalenta CO<sub>2</sub>), cena 100 ameriških dolarjev na tono ekvivalenta CO<sub>2</sub> pa pri 450 do 550 ppm ekvivalenta CO<sub>2</sub>. To bi omogočalo dvig globalne temperature zraka za 2 do 3 stopinje Celzija glede na predindustrijski čas (tabela 1). V načelu bi višja cena fosilnih goriv vodila v večjo konkurenčnost nefosilnih alternativ. Tržni potencial za zmanjševanje izpustov je

dosti manjši kot gospodarski, a mešanica različnih političnih ukrepov bi lahko premostila razkorak. Znanstveniki v Medvladnem odboru za podnebne spremembe sodijo, da je največji potencial za varčevanje pri proizvodnji energije: povečana učinkovitost, več kombinacije toplote in moči, obnovljive energije, prehod z nafte na plin. Takoj na drugem mestu pa je povečana energijska učinkovitost stavb.

**Tabela 1:** Odvisnost dviga globalne temperature od vsebnosti CO<sub>2</sub> ob stabilizaciji, čas, ko morajo izpusti toplogrednih plinov (TGP) začeti upadati, in potrebno zmanjšanje izpustov toplogrednih plinov leta 2050

Vsebnost CO <sub>2</sub> ob stabilizaciji	Dvig temperature	Kdaj morajo izpusti začeti upadati	Potrebno zmanjšanje izpustov TGP leta 2050
445–490 ppm	2,0–2,4 °C	2000–2015	–85 do –50 %
490–535 ppm	2,4–2,8 °C	2000–2020	–60 do –30 %
535–590 ppm	2,8–3,2 °C	2010–2030	–30 do +5 %

Makroekonomski stroški za ustalitev vsebnosti toplogrednih plinov na ravni med 445 in 535 ppm ekvivalenta CO<sub>2</sub> so ocenjeni na 1 do 2 odstotka (največ 3 odstotke) globalnega bruto družbenega proizvoda. Ali povedano drugače: stroški za omejitev segrevanja ozračja na še sprejemljiv razpon od 2 do 2,4 stopinje Celzija bi na leto znašali manj kot 0,12 odstotka svetovnega bruto družbenega proizvoda. Da bi preprečili najhujše posledice globalnega segrevanja, da bi omejili višanje temperature, se morajo izpusti toplogrednih plinov ustaliti najkasneje v osmih letih, do leta 2015. Do sredine stoletja pa se morajo izpusti v primerjavi z letom 2000 znižati za 50 do 85 odstotkov. Stroški za zmanjševanje podnebnih sprememb so za zdaj še obvladljivi. Stroški so lahko manjši v ekonomskem smislu, če bi politika dejavno spodbujala tehnološke spremembe. Srednjeročni ukrepi, kot so modernizacija energetske infrastrukture v deželah v razvoju, bi lahko začrtali poti k dolgoročnemu globalnemu zmanjševanju izpustov toplogrednih plinov. Obnovljivi viri in povečana energijska učinkovitost lahko vodijo v večjo energijsko varnost, zaposlovanje in večjo kakovost zraka. Obnovljivi viri bi lahko dosegli delež od 30 do 35 odstotkov pri proizvodnji elektrike do leta 2030, celo pri ceni izpusta 20 do 50 ameriških dolarjev na tono ekvivalenta CO<sub>2</sub>. Jasno postaja, da je rast izpustov, ki jih

povzroča promet, največja. Trg ne bo ustavil naraščanja, še zlasti ne v letalskem prometu. Nujni so odločni ukrepi politike.

Globalne emisije TGP se morajo začeti zmanjševati takoj po letu 2030. Naslednjih 20 let bo torej odločalo, kako velik bo dvig povprečne temperature in kakšne bodo posledice podnebnih sprememb oziroma koliko škode se lahko izognemo. Če omejimo vsebnost toplogrednih plinov na 445 do 490 ppm ekvivalenta CO<sub>2</sub>, se bo globalna temperatura dvignila za 2,0 do 2,4 stopinje Celzija, vendar se morajo izpusti začeti zmanjševati že čez 15 let in do leta 2050 biti 50 odstotkov manjši kot danes. Če omejimo vsebnost toplogrednih plinov na 535 do 590 ppm ekvivalenta CO<sub>2</sub>, se bo globalna temperatura dvignila za 2,8 do 3,2 stopinje Celzija, pri ustalitvi vsebnosti toplogrednih plinov na 590 do 710 ppm ekvivalenta CO<sub>2</sub> pa se bo globalna temperatura dvignila za 3,2 do 4,0 stopinje Celzija. Učinki in škoda bodo neprimerno večji, zlasti dvig morja. V vsakem primeru bodo stroški ukrepanja zdaj manjši kot škoda zaradi posledic podnebnih sprememb.

Nujno je treba določiti tako ceno izpustov CO<sub>2</sub>, da se bo bolj izplačalo vlagati v tehnologije in izdelke z majhnimi izpusti ogljika. Vloga vlad, javnih vlaganj in zakonov je nepogrešljiva (TGP-takse, standardi, globalno trgovanje z izpusti, dovolilnice za izpuste, prostovoljni dogovori in podobno). Države v razvoju prednostno potrebujejo nove tehnologije. Seveda bi pomagalo tudi dosledno izvajanje Kjotskega protokola (katerega cena je zdaj ocenjena nižje), predvsem pa vzpostavitev novih mednarodnih dogovorov. Ob tem bi se morali vsi zavedati, da imajo ukrepi za zmanjševanje izpustov toplogrednih plinov številne dodatne pozitivne učinke, med drugim večjo energijsko varnost, nove naložbe in zaposlovanje ter večjo kakovost zraka, kar pomeni tudi manj zdravstvenih problemov.

## Literatura

- Barker T. in sod. (2007): Technical Summary. V: Metz B., Davidson O. R., Bosch P. R., Dave R., Meyer L. A. (ur.): *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom & New York, NY, USA.
- IPCC (2007a): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*. Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. (ur.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom & New York, NY, USA, 996 str.
- IPCC (2007b): *Climate Change 2007. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Core Writing Team, Pachauri R. K., Reisinger A. (ur.). IPCC, Geneva, Switzerland, 104 str.

## Sklep

Za ohranitev podnebnih sprememb na približno današnji ravni bi morale razvite države in tudi Slovenija do leta 2050 zmanjšati porabo fosilnih goriv za 80 odstotkov. Vemo pa, da je trd oreh že Kjotski protokol, po katerem naj bi razviti svet zmanjšal svoje izpuste le za kake 3 odstotke. Evropska unija si je zadala ambiciozen, a komaj uresničljiv načrt, da bo zmanjšala izpuste za 20 odstotkov do leta 2020. A veliki igralci, ZDA, Kitajska in Indija, o kakih omejitvah za zdaj nočejo niti slišati. Tudi če se uresničijo evropske sanje in celo prepričamo na primer ZDA v podobno ravnanje, smo še zelo zelo daleč od minus 80 odstotkov! Vsako omejevanje izpustov namreč veliko stane in zamaje vsaj nekaj žde omenjenih gonil tega sveta: dobiček, gospodarsko rast in prevlado.

Mnogim postaja jasno, da se bodo podnebne spremembe samo še stopnjevale, če se ne bomo hote odpovedali današnjemu načinu življenja. A kako naj se svet vrne v čas brez avtocest in avtomobilov, brez množičnega letalskega prometa, brez udobno ogrevanih in hlajenih stanovanj, brez pralnih strojev, televizorjev, brez računalnikov in interneta. Verjetno je res utvara asketska, nematerialna družba, ki bo porabljala petkrat manj kot današnja. Boga države se lahko še desetletja upirajo neugodnemu vremenu z namakanjem, valobrani, dobrimi zavarovalnicami in ustrezno zdravstveno oskrbo. Lahko uvedejo nove tehnologije, izobrazujejo prebivalstvo in izvajajo preventivne ukrepe vseh vrst. Prilagoditvena sposobnost Afrike in večine Azije pa je zelo majhna. Ljudje, ki so najmanj krivi za podnebne spremembe ta hip, bodo nosili največje breme posledic globalnega ogrevanja.

- NOAA (2008): *The NOAA annual greenhouse gas index (AGGI)*. NOAA Earth System Research Laboratory, Boulder (<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/>).
- Parry M. L., Canziani O. F., Palutikof J. P. in sod. (2007): *Technical Summary. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Parry M. L., Canziani O. F., Palutikof J. P., van der Linden P. J., Hanson C. E. (ur.). Cambridge University Press, Cambridge, UK, 23–78.
- PRUDENCE final report* (2005): <http://prudence.dmi.dmk>.
- Stern N. (2006): *The Economics of Climate Change. The Stern Review*. Cambridge University Press. Available for download at <http://www.hm-treasury.gov.uk/index.cfm>.
- UNCCD (2005): *Fact Sheets: Basic facts about desertification and the Convention*. <http://www.unccd.int>.

## SPOZNAVANJE NARAVE IN DRUŽBE – SND

### Drago Kos

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za družbene vede, Katedra za analitsko sociologijo, Kardeljeva ploščad 5, 1000 Ljubljana; e-naslov: drago.kos@fdv.uni-lj.si

---

*Dr. Drago Kos, izredni profesor za prostorsko sociologijo in socialno ekologijo na FDV, sodeluje tudi pri izvajanju dodiplomskih in podiplomskih programov na FA, FGG, BF, ALUO Univerze v Ljubljani. Predstojnik Centra za prostorsko in okoljsko sociologijo na FDV-IDV, od 1996 do 1998 predsednik Slovenskega sociološkega društva, član Sveta Raziskovalnega komiteja za urbani in regionalni razvoj pri Mednarodni sociološki zvezi. Pomembnejše objave: Racionalnost neformalnih prostorov, Ljubljana, 1993; Praktična sociologija. Ljubljana, 2002; Transitional Informal - formal cohabitation. V: Reconciling Economy and Society. OECD, Paris, 1996; Tri ravni trajnostnega razvoja. Teorija in praksa, let. XLI, št. 1-2, Ljubljana, 2004.*

### Izvilleček

Razmerje med naravo in družbo je bilo vedno vznemirljivo, še posebej dramatičen pa je odnos družbe do žive narave in še posebej odnos do drugih živali. V modernih družbah se je uveljavila preprosta interpretacija, da je človek sicer naravno bitje, vendar tudi še nekaj »več«. Toda »novo krasno« stoletje biotehnologije obeta radikalne premike pri razjasnjevanju »nadvprašanja«, kaj je to »nekaj več«. Pojem narave izgublja diskriminatorni pomen, zato se radikalno spreminja uokvirjanje mnogih povezanih vprašanj. Korenitost napovedanih sprememb naravnost spodbuja interdisciplinarno komunikacijo med biologijo in sociologijo oz. vsemi drugimi družboslovnimi in humanističnimi strokami. Besedilo utemeljuje aktualnost vzpostavitve in poglobitve transdisciplinarne sociobiološke refleksije dogajanja v razmerju med družbo in naravo, ki verjetno še nikoli v zgodovini ni bilo tako aktualno, kot je na začetku enaindevetsetega stoletja.

## COGNITION OF NATURE AND SOCIETY

### Drago Kos

University of Ljubljana, Faculty of Social Sciences, Kardeljeva ploščad 5, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: drago.kos@fdv.uni-lj.si

---

*Dr. Drago Kos is the associate professor for spatial sociology and social ecology at the Faculty of Social Sciences, University of Ljubljana. He also participates in graduate and postgraduate programmes at the Faculty of Architecture, Faculty of Civil Engineering and Geodesy, Biotechnical Faculty and the Academy of Fine Arts. He's the chair of the Centre for Spatial Sociology at the Faculty of Social Sciences. In 1996 to 1998 he was the president of the Slovenian Sociological Association and the board member of the Research Committee for Urban and Regional Development of the International Sociological Association. Important publications: Rational non-formal spaces, Ljubljana, 1993; Practical sociology, Ljubljana, 2002; Transitional Informal - formal cohabitation. In: Reconciling Economy and Society. OECD, Paris, 1996; Three levels of sustainable development. Theory and Practice, XLI, 1-2, Ljubljana, 2004.*

### Abstract

Relation between society and nature was always exciting. Especially dramatic are social relations to living nature and in particular to other animals. In modern societies the simple interpretation that humans are something more but only natural creatures was quite popular. But »new brave« biotechnological century is promising to produce radical shifts in exploring the »super question« what means »something more«. The concept of nature is losing its discriminatory meaning, and this causes radical changes in framing many connected topics. Predicted radical changes nevertheless encourage interdisciplinary communication between biology and sociology and every other social and humanistic discipline. The text supports establishing transdisciplinary sociobiological reflexion of the social natural relations which has probably never been as acute as at the beginning of the twenty-first century.

### ***Dramatičnost razmerja družba – narava***

Družbeno dojetje narave je bilo od nekdaj dramatično. Razlog je preprost. Spoznavanje in dojetje narave ima neposreden vpliv oz. celo določa bistveno strukturo družb in celih civilizacij. Čeprav je povezava očitna in zgodovinsko dokumentirana, so močni vsenavzoči ideološki posegi prekrivali pravo naravo razmerja, obenem pa tudi blažili konfliktno napetost med družbenim in naravnim. Pomemben preobrat se je zgodil z razsvetljenstvom in razvojem sodobnega naravoslovja in družboslovja, vendar se je sočasno pojavil nov problem. Specialistično disciplinarni, lahko bi rekli tudi disciplinirani pogledi na naravo in družbo so spregledali oz. podcenili dramatično napetost med tema dvema povezanima, vendar nezdržljivima sferama. Zaradi tega tudi danes še ni splošno priznано, da so temeljni mejniki v razvoju civilizacij sinhronizirani z odkrivanjem in prisvajanjem narave in naravnih zakonov. Včasih je sicer težko presoditi, kaj je bilo prej, kura ali jajce, kaj je torej vzrok in kaj posledica, zelo težko pa je spregledati tesne povezave med spoznavanjem narave in družbeno strukturo oz. družbenimi spremembami. Tudi zato bi bilo smiselno, če bi osnovnošolski predmet SND – spoznavanje narave in družbe, ki že po tretjem letu razpade na samostojna predmeta, vpeljali tudi na višjih oz. najvišjih ravneh izobraževanja.

### ***Človek kot naravno bitje in nekaj več***

Znotraj razmerja družba – narava je še posebej dramatičen odnos družbe do žive narave, še zlasti pa je vznemirljiv odnos človeka do drugih živali. Razlog je tudi tu povsem jasno razviden. Dvojni, nekateri bi rekli shizofren položaj človeka, ki je sočasno del naravnega kozmosa, obenem pa ga od začetka družbenega časa ni mogoče zvesti le na naravo, zelo zaplete človekovo oz. družbeno samoopazovanje, samodojetje in samorefleksijo. To razcepljenost človeka in družbe močno utrjuje tudi ostradelitev znanstvenih disciplin na naravoslovne in družboslovne oz. humanistične, ki se je uveljavila v 19. stoletju, utrdila pa v 20. stoletju. Kljub svoji epistemološki in praktični učinkovitosti specialistična logika kaže tudi očitne meje svojega spoznavnega horizonta. Na kratko, novodobna znanost in filozofija nista sposobni proizvesti teorije poenotenja, ki bi tako kot religijski in drugi metafizični interpretativni sistemi zajela celoto žive in mrtve narave, prav tako pa je velika znova obujena iluzija, da to zmorejo naravoslovne vede o življenju. Ta nemoč in

pa zelo šibka neposredna komunikacija med obema skupinama vednosti je dolga leta pomagala vzdrževati poenostavljeno zdravorazumsko formulo, da je človek sicer naravno bitje, vendar tudi še nekaj »več«. Prav ta »več« je bistveni predmet filozofije, družboslovja in humanistike in tudi stalni razlog napetosti med znanstvenimi in poljudnimi ter zdravorazumskimi interpretacijami (človekove) narave.

Danes smo pri tovrstni dihotomizaciji človeške vrste upravičeno že bolj zadržani. K previdnosti nas po eni strani silijo spoznanja, ki vse bolj brišejo nekdanje domnevno povsem jasno ločnico med Homo sapiensom in vsemi drugimi živalmi, kot bi se izrazili budisti. V sodobnih refleksivnih družbah je zato vedno težje zadovoljivo odgovoriti na vprašanje, kaj je tisto »več«. To je tudi razlog, da se v sekularnih zahodnih družbah množijo vrste razočarnih nad razsvetljskim projektom in da se krepi iskanje novih starih metafizičnih interpretacij človeka in njegovega položaja v vesolju. Po drugi strani pa sta razvoj uporabnega biološkega znanja oz. zmožnost obstoječih in še bolj prihodnjih biotehnologij tako srhljiva, da se nam spodmika celo temeljni referenčni okvir razločevanja naravnega in nenaravnega.

Po mnenju nekaterih nismo več daleč od dokončne znanstvene razrešitve nadvprašnja, kaj je tisto več, ki človeka razločuje od drugih živih bitij. Ključnega odgovora ne bodo prispevali ne filozofija, ne družboslovje in ne humanistika, niti teologija ali religijski nauki, pač pa naj bi to uspelo naravoslovni znanosti o življenju. Biotehnološka uporaba tega znanja pa bo omogočila človeštvu dokončno presekat popkovino, ki ga veže na mater naravo. Ukinjanje »naravne narave« nedvomno stopnjuje dramatičnost razmerja družba – narava do stopnje, ko ga dejansko ukinja. S tega vidika sta relativni mir in spokoj javnosti pravzaprav presenetljiva. Z družboslovno-humanističnega brega se zdijo takšne napovedi sicer prepotentne in navivne obenem. Vendar si tokratno obnavljanje izhodiščne razsvetljske utopije, da je samo še vprašanje časa, kdaj bodo znanstveno pojasnjene skrivnosti vsega živega, zasluži ustrezno družboslovno refleksijo. Skratka, ponovna aktualnost teh vprašanj je eden bistvenih razlogov, zaradi katerih je smiselno spodbuditi vzajemno naravoslovno-družboslovno spoznavanje narave in družbe.

## Skupno razpravljalno polje

Prvi in tudi najpomembnejši skupni problem biologije in sociologije, upravičeno pa lahko to temo razširimo na celotno naravoslovje in družboslovje, je torej »odpiranje in strukturiranje skupnega razpravljalnega in raziskovalnega polja« na način, ki bo omogočal in spodbujal racionalno razpravo o ključnih odprtih vprašanjih. Kot izhodiščni repertoar izpostavljam naslednja vprašanja: odnos družba – narava skozi čas, varnost oz. »koristnost« iz/rabe narave, odnos do drugih bitij in organizmov ipd. Po tej pripravi pa si prav posebno mesto seveda zasluži vpliv novih bioloških znanj na človeka, družbo, naravo. Prav gotovo gre ne samo za zanimiv, temveč za fascinanten nabor! Pri tako celotno in interdisciplinarno oz. transdisciplinarno zastavljenih projektih seveda neizbežno naletimo na težave. Mnogi dosedanji poizkusi razkrivajo strukturno pomankljivost razsrediščenih modernih družb, v katerih se vsak podsistem razvija po interno izoblikovani avtonomni logiki. Zaradi tega načelo interdisciplinarnosti pogosto obtiči v rubriki »wishful thinking«, kar najustrezneje slovenimo kot »pobožne želje«. Seveda pa ta težava ni zadovoljiv izgovor za dosedanjo res šibko komunikacijo med različnimi vedami o življenju. Ne nazadnje je ta strukturni primanjkljaj modernih družb vsaj v sociologiji že dolgo poznan (Weber, 1988). Očitno v sodobnih družbah do sedaj še ni bilo dovolj močnega motiva, da bi ga presegli. Očitno pa začetek »stoletja biotehnologije« (Rifkin, 2001) ponuja dovolj prepričljive razloge za vzpodbuditev interdisciplinarnih in transdisciplinarnih komunikacij in še prav posebej med biologijo in sociologijo kot osrednjo družboslovo disciplino.

Razpravljalno in seveda tudi raziskovalno polje je smiselno strukturirati na način, ki bo spodbujal racionalno družbeno refleksijo kompleksnih problemov, ki so na vidiku in ki so deležni bolj ali manj naključne pozornosti medijev, politike, javnega menja. Glede na dosedanje izkušnje obstaja namreč velika nevarnost, da bo strokovno in etično izjemno občutljivo problemsko polje komercialno instrumentalizirano, zelo resna etična vprašanja pa zbanalizirana na dilemo, ali naj se zaradi pomislekov novodobnih »ludistov« odpovemo koristim nove tehnologije. V bistvu zahteva po spodbujanju skupnega razpravljalnega in raziskovalnega polja predpostavlja stalno strateško rangiranje pomembnejših od manj pomembnih problemov, razločevanje fiktivnih in dejanskih strahov, odpravljanje stereotipnih predstav, skratka

stalno racionalno opazovanje najnovejših raziskovalnih spoznanj in njihovih tehnoloških aplikacij. Zatekanje v »slonokoščene laboratorijske stolpe« je v konkretnem primeru povsem nesprejemljivo, še bolj problematični pa so seveda ekskluzivno komercialno motivirani neposredno uporabni raziskovalni projekti, kajti še nikoli »frankensteinovski« potencial novih tehnologij ni tako grozeče obetal tektonskih družbenih oz. civilizacijskih premikov. Kljub dramatičnosti trenutka pa se zdi, da rutinske sistemske ovire, dobro plačana specialistična slepota, smešen disciplinarni narcizem in komunikacijske težave zaradi še ne preseženih epistemoloških razlik med naravoslovjem in družboslovjem (konkretno med biologijo in sociologijo) še vedno učinkovito preprečujejo intenziviranje te razprave. Vzpodbuditi je torej treba komunikacijo med tistimi, ki vedo, ki domnevno poznajo domet novih tehnologij, in tistimi, ki bi to morali vedeti, ker vpliv neposredno zadeva tudi njih. Ne bi se smelo dogajati, da nekdo napiše knjigo, v kateri povsem realno predvideva uresničevanje najbolj dramatičnih distopij, tisti raziskovalci in strokovnjaki, ki aktivno sodelujejo pri njihovem nastanku, pa »profesionalno« molčijo in se morebiti hahljajo ob strokovnih spodrseljajih raznih filozofov in sociologov. Skratka, Rifkin (2001) in Fukujama (2003), »levi« sociolog in »desni« filozof, ki sta napisala zelo dramatični knjigi o družbenih učinkih biotehnoloških potencialov, bi morala sprožiti pravi vihar odmevov, in to z obeh bregov, naravoslovnega in družboslovnega, dejansko pa se v javnosti ni veliko premaknilo. To mirnost oz. nevznemirjenost ob zelo ekstremnih napovedih je sicer sociološko mogoče razložiti. Blokada racionalne refleksije je v določeni meri verjetno posledica dejstva, da se raziskovanje seli v privatne in za javnost povsem zaprte laboratorije. Po drug strani pa je to, kar pricurlja v javnost, tako šokantno, tako »znanstvenofantastično«, da presega zdravorazumske predstavne zmožnosti. Česar si običajen človek ne more niti dobro zamisliti, ko resničnost preseže fikcijo in družbena konstrukcija realnosti odpove, to v družbeni zavesti pravzaprav ne more obstajati! Novosti zahtevajo spremembo referenčnega okvira opazovanja in interpretacij, to pa se po navadi zgodi šele s faznim zamikom, tj. post festum.

## Je pojem narave mrtev?

Če prve začetke aplikativnega spoznavanja narave postavimo v čas, ko se je vzpostavil dualizem »natura – kultura«, potem je očitno, zakaj je refleksija tega razmerja

danes v velikih težavah. Živimo v času biotehnologij, ki v temelju ogrožajo to zadavnej vzpostavljeno epistemološko dihotomijo. Umestna je seveda pripomba, da zmožnost vplivanja na družbo prek obvladovanja narave pravzaprav ni nikakršna novost. Biotehnologija v najširšem pomenu besede močno vpliva na družbo že od samega začetka zgodovine oz. že najmanj 10.000 let, odkar je človek začel gojiti rastline in živino. Prvobitno, tradicionalno in v tudi moderno kmetijstvo je nekakšna vmesna dejavnost in zato otežuje jasno diferenciacijo med »natura in kultura«. Ne glede na umestnost takšnih relativizacij pa je očitno, da je učinek obstoječih in potencialno načrtovanih biotehnologij tolikšen, da pojem »naravnega« izgublja diskriminatorno vlogo. Virtualni družbeni konstrukciji narave, ki je vedno nekakšna eklektična mešanica racionalnih in neracionalnih, metafizičnih interpretacij, se tokrat pridružuje empirično nazorna konstrukcija oz. produkcija »nove narave«, kar je že po definiciji paradoksalen pojem. Nove tehnologije, ki potencialno omogočajo nepredstavljivo veliko raznovrstnih izvernih konstrukcij življenja, zato upravičeno sproščajo stare in nove »frankensteinske« strahove. Težave pri opredeljevanju so velike, ker starodavno vprašanje, kaj je naravno, z novimi tehnologijami, ki posegajo v elementarne sestavne delce življenja, postaja neumestno oz. celo nesmiselno. Vsi živi organizmi postajajo, postajamo »surovine« za nove bioprodukte, kar bo nedvomno povzročilo nepredstavljive težave pri urejanju genealogij in klasifikacijah živih vrst. Starševske pravice in dolžnosti bodo zamenjale avtorske pravice in dolžnosti, vlogo matičnih uradov pa bodo prevzeli patentni uradi.

Zaradi podobnih razlogov je težko razpravljati tudi o tveganjih in koristih novih tehnologij. Če je nekdanj vsaj načeloma veljalo, da so družbeno sprejemljive tiste tehnologije, ki naj ne bi ogrožale naravnega reda oz. ravnovesja, je ta kriterij pri presojah biotehnologij neuporaben, ker je jasno, da posegajo v samo jedro narave. Že pred desetletji je U. Beck (1986) v zelo odmevni knjigi *Družba tveganja* omenil, da razločevanje družbe in narave ni več mogoče. Kasneje je celo eksplicitno ugotovil, da je pojem narave kot nečesa, kar je protipostavljeno družbi, mrtev. Čeprav je ta knjiga precej odmevala, pa to ne velja za to radikalno tezo, čeprav pomeni prav to, da smo že v dvajsetem stoletju začeli izgubljati temeljni referenčni oz. orientacijski kriterij. Narava je postala del družbene, tj. tehnološke sfere in zato podvržena tehničnim veščinam in spretnostim. To se na zdravorazumski ravni sicer

ne sliši preveč dramatično, prej obratno, kot najvišji dosežek v procesu prisvajanja narave. V bistvu pa to seveda pomeni, da bo tehnologija potencialno omogočila manipulativnost osnovnih sestavin mrtve in žive narave, vključno z variabilnostjo konfiguracij, ki »sestavljajo« človeka. Čeprav je bila donedavna dihotomija »kultura – natura« bolj kot strokovno natančna dejansko ideološko poljubna, je bila vseeno temelj vseh kozmologij in kot taka tudi temelj vsakokratnih družbenih sistemov. Izguba tega referenčnega okvira pomeni neskončno potencialno variabilnost živega in mrtvega sveta in seveda tudi neskončno zmedo npr. pri razpravljanju o ekoloških problemih sodobnosti in prihodnosti. Malo verjetno se zdi, da bodo formalne zakonske in neformalne etične zavore na kateri koli ravni sposobne učinkovito preprečiti ta kaos.

### ***Sociobiološka refleksija družbe in narave***

Izhodiščna zagata sodobnih in prihodnjih refleksij narave je torej šibka komunikacija med različnimi vednostmi. Pojavlja se množica teoretskih in praktičnih vprašanj, ki presegajo kompetence tehnoloških pragmatikov, ki se prvi srečujejo z njimi. Nacistična evgenika je še vedno opozorilen negativen zgled, kaj se lahko zgodi, ko se le lotimo manipulacije genov. Ta negativna izkušnja, ki, mimogrede, ni bila skušnjava le najbolj ekstremnih političnih režimov, je bila tako huda, da je desetletja hromila naravoslovno-družboslovni dialog. Mnoga vprašanja so bila potlačena in izrinjena iz šolskih kurikulumov in tudi zato smo danes precej nepripravljeni na razpravo o dveh temeljnih vprašanjih, tj. o biološki oz. genetski razlagi človekove narave ter o odnosu do drugih živih bitij oz. organizmov. Dober primer je ideja oz. razprava o človekovih pravicah. Na eni strani so ljubitelji, varuhi in zagovorniki narave, ki se zavzemajo za razširitev koncepta človekovih pravic še na druge živali, po drugi strani pa novodobna evgenika obeta dokončni pokop univerzalnosti koncepta človekovih pravic celo znotraj človeške vrste. Prva temelji na ideji intrinzične vrednosti vsega živega, druga pa na logični aplikaciji osnovne evolucionistične ideje o hierarhični prevladi uspešnejših organizmov. V tej interpretaciji je biotehnologija le najnovejši evolucionistiški mehanizem. Čeprav sta ideji tako zelo različni, da je kompromis težko predstavljaljiv, pa bi pričakovali vsesplošno razpravo o teh zadevah, ki so tako daljnosežne, da je v tej luči celo segrevanje ozračja, ki v zadnjem času priteguje največ pozornosti strokovne in splošne javnosti, dejansko manj pomemben problem. Skratka, soci-

obiologija je še v povojih in tudi biopolitika (Foucault, 2007) se ukvarja z zastarelimi vprašanji. Glede na hiter razvoj uporabnih biotehnologij je veliko vprašanje, ali je sploh še na voljo dovolj časa za poglobljeno refleksijo vprašanj, ki jih sproža vse manj razločljivo razmerje med družbo in naravo.

Glede na stopnjo dramatičnosti teh usodnih vprašanj je razširjenost zdravorazumskega dojemanja narave v sodobnih razvitih družbah pravzaprav velik paradoks. Namesto racionalne refleksije temeljnih vprašanj prevladuje nerealna in neskladna dvojnost med pragmatično instrumentalnostjo in naivno nostalgično romantično podobo narave. Zdi se, da je takšna dispozicija nekakšen praktičen modus vivendi, ki se je vzpostavil zaradi nemoči oz. nepripravljenosti na soočenje z realnim stanjem. Kot

kaže, se bo ta dualizem še poglobil, razen če se ne bo instrumentalna pragmatika tako izpopolnila, da v prihodnjih družbah pravzaprav ne bo več nikakršne potrebe po romantično nostalgичnem spominjanju narave kot nečem povsem samosvojem in od človeka neodvisnem. V takšnih pogojih bo brezpredmetno tudi sociološko razpravljanje o vprašanjih družbe in narave, kajti genetsko izpopolnjena bitja človeškega izvora naj bi bila sposobna razrešiti tudi najgloblja eksistencialna in eshatološka vprašanja. Vendar, dokler obstaja vsaj še nekaj dvomov o uresničljivosti in legitimnosti teh zamisli, se zdi smiselno postavljati na noge novo transdisciplinarno SND – sociobiologijo, ki bo iskala kvalificirane odgovore na množeca se vprašanja, ki jih instrumentalni pragmatiki podcenjujejo, nostalgичnim romantikom pa ob njih ledeni kri v žilah.

## ***Viri***

- Beck U. (1986): *Risikogesellschaft. Auf dem Weg in eine andere Moderne*. Surhkamp Verlag, Frankfurt am Main.
- Fuller S. (2007): *Science vs. Religion? Intelligent Design and the Problem of Evolution*. Polity, Cambridge.
- Fukuyama F. (2003): *Konec človeštva*. Učila International, Tržič.
- Habermas J. (2007): *Med naturalizmom in religijo*. Sophia, Ljubljana.
- Hoffmeyer J. (1997): Biosemiotics: Towards a New Synthesis in Biology. *European Journal for Semiotic Studies* 9(2): 355-376.
- Kos D. (2004): *Tri ravni trajnostnega razvoja*. TIP, letnik XLI, št. 1-2, Fakulteta za družbene vede, Ljubljana.
- Kirn A. (2004): *Narava – družba – ekološka zavest*. FDV, Ljubljana.
- Foucault M., Chomsky N. (2007): *Človeška narava in zgodovina*. Krtina, Ljubljana.
- Rifkin J. (2001): *Stoletje biotehnologije*. Krtina, Ljubljana.
- Rifkin J. (2007): *Konec dela*. Krtina, Ljubljana.
- Ule A. (2006): *Znanost, družba, vrednote*. Aristej, Maribor.
- Weber M. (1988): *Protestantska etika in duh kapitalizma*. SH, Ljubljana.



## ODPADKI V REGULACIJSKI POVRATNI ZANKI OHRANJANJA EKOLOŠKEGA RAVNOVESJA

**Metka Kralj**

Agencija za radioaktivne odpadke, Parmova 53, 1000  
Ljubljana; e-naslov: metka.kralj@gov.si

---

*Leta 1979 sem diplomirala sem na Oddelku za biologijo Biotehniške fakultete v Ljubljani, in sicer na raziskovalno-tehniški in pedagoški smeri. Moja prva zaposlitev je bila na Inštitutu za biologijo v skupini za raziskovanje sladkovodnih ekosistemov, kjer sem se ukvarjala z bioindikatorskimi organizmi, ki so bili že tema moje diplomske naloge. V času zaposlitve na Inštitutu za biologijo sem opravila enoletni podiplomski tečaj iz okoljske znanosti in tehnologije na International Institute of Hydraulics and Environmental Engineering v Delftu na Nizozemskem. Leta 1986 sem zapustila področje ekologije in varstva okolja ter se zaposlila na Inštitutu za biologijo celice na Medicinski fakulteti v Ljubljani, kjer sem delala približno 10 let kot asistentka, raziskovalno pa sem se ukvarjala z ultrastrukturno celic med diferenciacijo in odmiranjem. To je bila tudi tema moje magistrske in doktorske naloge. Doktorat znanosti sem pridobila leta 1997. Zaradi raznolikosti interesov in veselja do pedagoškega poklica sem leta 1995 začela delati na področju naravoslovja na Pedagoški fakulteti v Ljubljani. Sodelovala sem tudi pri kurikularni prenovi osnovne šole v skupini za naravoslovje in tehniko v 4. in 5. razredu. Sem soavtorica osnovnošolskih učbenikov (4. in 5. razred osemletke, 6., 7., 8. in 9. razred devetletke). Bila sem tudi recenzentka in urednica nekaterih osnovnošolskih in srednješolskih učbenikov za naravoslovje oziroma biologijo. Od leta 2000 spet delam na področju varstva okolja in sem zaposlena v Agenciji za radioaktivne odpadke. Moje področje je informiranje javnosti in njeno vključevanje v odločanje v zvezi z ravnanjem z radioaktivnimi odpadki, presoje vplivov na okolje in uvajanje okoljskega planiranja v celotno delo Agencije. V prostem času občasno še vedno sodelujem pri pripravi učbenikov, ukvarjam pa se tudi s prevajanjem naravoslovne otroške in mladinske literature. Poleg biologije, ki je v središču mojega zanimanja, se zadnje čase posvečam še psihologiji na področju komuniciranja in človekovim pravicam, od pravic otrok do pravic do zdravega okolja v sedanjosti in prihodnosti.*

## WASTES IN REGULATING FEEDBACK OF CONSERVATION OF ECOLOGICAL BALANCE

**Metka Kralj**

Agency for Radioactive Waste Management, Parmova 53,  
SI-1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: metka.kralj@gov.si

---

*In 1979 graduated in Biology at Biotechnical Faculty in Ljubljana. First employment at Institute of Biology in Ljubljana, in the group for freshwater ecology, worked on bioindicator organisms. This was also the topic of her B.Sc. thesis. During her employment at the Institute of Biology she attended a one year international course on environmental science and technology at the Institute for Hydraulics and Environmental Engineering in Delft, the Netherlands. In 1986 she left ecology and environmental studies and started to work at the Institute for Cell Biology at Medical Faculty in Ljubljana. She was a teaching assistant for about 10 years. Her research field was cell ultrastructure during differentiation and cell death. This was also the topic of her MSc and PhD thesis. She obtained the PhD in 1997. Due to her very variable interests and enthusiasm for education she started to work at the Faculty of Education in Ljubljana in 1995 where she has been teaching Science. She also worked in the committee for curricular reform of Science in the 4th and 5th grade. During her employment at the Faculty of Education she was participating in authors' groups for primary school textbooks from the 4th to 9th grade. She has also reviewed and edited several primary and secondary school Science and Biology textbooks. In 2000 she returned to the environmental protection field and works at the Agency for Radioactive Waste Management (ARAO). Her speciality is public information and participation in decision-making processes dealing with radioactive waste management. She also works on environmental impact assessment and implementation of environmental planning within all the Agency's activities. In her freetime she is still active in the field of Biology textbooks. She also translates science books for young readers. Biology is in the centre of her interests but lately she is also active in the field of communication psychology and human rights, from children rights to the rights to a present and future healthy environment.*

### *Izyleček*

Ekosistem kot povezan sistem biocenoze in biotopa obravnavamo kot celoto. Pri tem so po navadi v ospredju organizmi, med seboj povezani v prehranjevalne verige in spletke. Čim večja je biodiverziteteta, tem stabilnejši je ekosistem, zato pojmujeemo onesnaževanje okolja, zaradi katerega se spremeni vrstna sestava v ekosistemu, kot tveganje za ekosistem in človeka. Onesnaževanje je lahko posledica kopičenja določenih snovi – odpadkov, ki se ne vključijo v prehranjevalne spletke ampak spreminjajo biotop do te mere, da v njem prisotna biocenoza ne preživi. Onesnaževanje je lahko tudi posledica vnosa škodljivih snovi – nevarnih odpadkov, ki v prehranjevalne spletke sicer vstopijo, vendar ob tem organizme spreminjajo ali uničijo in s tem spreminjajo biocenozo. Ekonomski trendi v sodobni industrijski družbi stimulirajo potrošnje dobrin in s tem tudi proizvodnjo odpadkov. Razvija se strokovno področje načrtnega ravnanja z odpadki, ki zmanjšuje njihove negativne učinke, vendar je javnost tudi do dobrih rešitev zaradi neozaveščenosti pogostokrat odklonilna.

### *Abstract*

Ecosystem is a unity of biotop and biocenosis. Usually we focus on organisms forming food chains and food webs. Because ecosystem stability increases with increasing biodiversity and because pollution influences species composition the pollution represents one of risks for ecosystems and humans. Pollution results from accumulation of certain material – waste that can not enter the food web but can change the biotop that biocenosis can not survive there. Pollution also results from presence of harmful material – hazardous waste, entering the food chain and affecting organisms and thus changing the biocenosis. Economical trends in modern industrial society stimulate the consumption of goods and consequently also the waste production. Technical aspects of waste management are becoming more and more important but they are often socially rejected because of lack of information.

## Ekologija in sistemski pristop

Bioški sistemi so se v evoluciji izoblikovali na več nivojih: celica, organizem, ekosistem, biosfera. Ekologija kot biološka disciplina preučuje lastnosti ekosistemov. Pomen besede ekologija pa je v zadnjih nekaj desetletjih postal zelo raznolik in je odvisen od strokovnega zaledja njenih uporabnikov. Za ekosistem značilno naslednje: je z mejo ločen od drugih ekosistemov,

- **je odprt**, kar pomeni, da se skozi ekosistem pretakata snov in energija,
- **je v dinamičnem ravnovesju**, ki ga vzdržujejo povratne zanke (feed-back), zato je številčnost populacij v ekosistemu razmeroma stalna,
- **je organiziran**, kar pomeni, da so organizmi v njem na določen način povezani in imajo svoje funkcije (primarni in sekundarni producenti, primarni in sekundarni potrošniki, dekompozitorji),
- **se obnavlja**, če spremembe niso prevelike in ne pride do ekološke krize,
- **se razvija**, dokler ne doseže razmeroma stabilnega klimaks stanja.

## Ekologija kot biološka disciplina

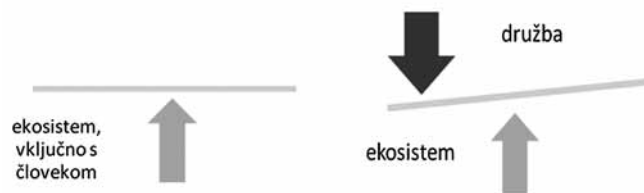
Je opredeljena kot veda, ki preučuje odnose med organizmom in njegovim okoljem. Tako je ekologijo leta 1866 opredelil nemški filozof in naravoslovec Ernest Haeckel. Okolje v tej zvezi vključuje prostor, v katerem organizem živi (abiotsko okolje, vsi neživi dejavniki), in organizme iste ali drugih vrst, s katerimi živi (biotsko okolje). V ekologiji v biološkem pomenu besede ločimo nadalje npr. ekologijo živali, rastlin, človeka, ekologijo posamezne vrste ali širše skupine organizmov, ekologijo populacij, ekologijo različnih ekosistemov (gozd, morje, jame, gorski svet ...), evlucijsko ekologijo.

## Ekologija v strokovnih področjih zunaj biologije

Pojem ekologija ima zunaj biologije po navadi širši pomen in zajema naravno okolje na splošno. Uporablja se na primer v zvezah:

Socialna ekologija povezuje okoljske probleme z družbenimi razmerami oziroma problemi, med katerimi so najpomembnejši hierarhičnost družbe, težnja po obvladovanju in izkoriščanje. Okoljske probleme je potemtakem mogoče rešiti le, če se lotimo družbenih problemov. Socialna ekologija predstavlja teoretično osnovo mnogih »zelenih« ali »ekoloških« političnih strank, prav tako pa tudi okoljevarstvenih organizacij civilne družbe. Medtem

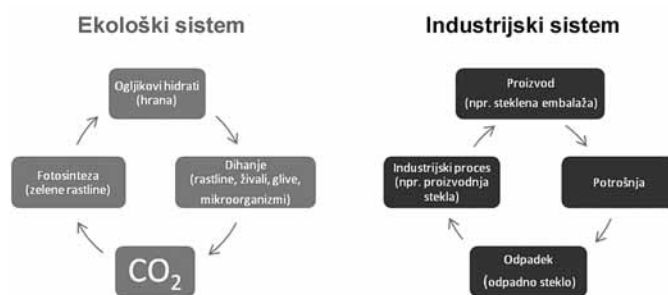
ko je človek kot posameznik še lahko del ekosistema, predstavlja družba poseben sistem in med ekosistemom in družbo obstaja konflikt (slika 1).



**Slika 1:** Vpliv interakcije med družbo in ekosistemom na ravnovesje v ekosistemu, ki je ponazorjeno s črto.

Shema na sliki 1 nam predstavi, kako družba s svojimi problemi potisne ekosistem iz ravnovesja, ekološki problemi, ki se v ekosistemu pojavijo, pa povratno vplivajo na družbeni sistem in še povečujejo medsebojno neravnovesje. V bistvu imamo opraviti s pozitivno povratno zanko regulacije, ob kateri se neravnovesje samo stopnjuje. Ker je ekosistem kot sistem starejši in načeloma bolje uravnotežen kot družba, pride primarno v njem do neravnovesja le redko, na primer v primeru večjih naravnih katastrof.

Industrijska ekologija uporablja pri načrtovanju industrijskih procesov (tehnologije povezane z ekonomijo) koncepte, ki veljajo v naravnem okolju. Če industrijske sisteme (npr. tovarna, nacionalna ekonomija), ki delujejo v okviru družbenega sistema, povezujemo z ekosistemi, se v tolikšni meri približamo delovanju ekosistema, da vzpostavimo pogoje za trajnostni razvoj. Za industrijsko ekologijo je značilno, da močno poudarja recikliranje materialov. V industrijskih procesih naj bi nastajalo čim manj odpadkov, čim več snovi, ki v enem delu procesa ostanejo, pa naj bi se uporabilo v nekem drugem, s prvim povezanim industrijskem procesu (slika 2).



**Slika 2:** Primerjava enostavnega kroženja ogljika med avtotrofi in heterotrofi v naravi z enostavnim recikliranjem materiala v proizvodno-potrošniškem krogu.

Politična ekologija preučuje družbene, ekonomske in politične vplive na okolje in na strateške ter operativne usmeritve v zvezi z varstvom okolja v posameznih državah. Naravni viri (plodna zemlja, pitna voda, rude, energijski viri, krajina, biodiverziteteta, gozd) so upoštevani kot ključni ekonomski dejavniki ekonomskih in socialnih trendov v skupnostih. Politična ekologija npr. raziskuje, kako neenakost med družbenimi skupinami ali državami vpliva na okolje, usmerja in razlaga odločanje v zvezi z okoljskimi zadevami v lokalnem in širšem družbenem okolju in je pomembna pri uveljavljanju ustreznih družbenih praks v zvezi z varstvom okolja.

### Ekologija v vsakodnevem laičnem jeziku

Pogosto se uporablja v pomenu varstvo okolja, »ekološki« pa pomeni okolju prijazen, manj škodljiv za okolje. Predpona eko- ali včasih bio- se pogosto razume kot jamstvo za zdravje in naravo (npr. ekološko pridelana hrana). Vsekakor je poznavanje znanstvenih osnov ekologije temelj za pametne okoljevarstvene politike, ki imajo najboljše možnosti za uspeh v nasprotju z mnogimi sprejetimi politikami, ki temeljijo le na naivnih prepričanjih in željah.

Slovenske strani svetovnega spleta nam pokažejo, da se pri nas pojem »ekologija« zelo pogosto uporablja kot sinonim za varstvo okolja ali celo še ožje za tehnologijo za varstvo okolja. Mnoga podjetja, ki se ukvarjajo z ravnanjem z odpadki, čiščenjem odpadnih vod, izdelovanjem poročil o vplivih na okolje, uvajanjem okoljskih standardov, okoljskim monitoringom, imajo namreč v svojem nazivu to besedo ali pa ponujajo storitve »s področja ekologije« in pri tem ne izvajajo analiz ekosistemov, temveč predvsem poskrbijo za ustrezno ravnanje z odpadki.

Čeprav je uporaba besede ekologija v tem primeru neustrezna, pomeni, da je zavest o pomembni vlogi ravnanja z odpadki za ohranjanje ekosistemov pri nas dobro zasidrana.

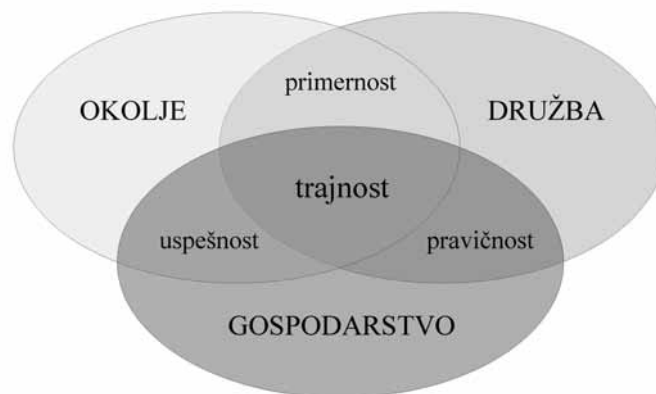
**Količina odpadkov, ki presega nosilnost okolja, lahko ekosistem pretirano zaniha iz ravnovesja in povzroči ekološko krizo.**

### Ekosistemski pogledi na trajnostni razvoj

Koncept trajnostnega (*sustainable*) razvoja se je pojavil v dokumentih OZN v osemdesetih letih 20. stoletja. Na

svetovnem vrhu v Riu de Janeiru 1992 je bila sprejeta Agenda 21, program za doseganje trajnostnega razvoja v 21. stoletju v vseh dejavnostih, ki lahko vplivajo na okolje. V nasprotju s klasičnimi okoljevarstvenimi izhodišči postavlja trajnostni razvoj v središče človeka, ki ima pravico do zdravega in ustvarjalnega življenja in do kakovostnejšega življenja. To se lahko uresniči v zdravem okolju. Varstvo okolja zato ni samo sebi namen in je nujno povezano z družbenimi in gospodarskimi razvojnimi procesi. Pomembno orodje za doseganje ciljev trajnostnega razvoja je presoja vplivov na okolje za vse načrtovane dejavnosti in posege v okolje.

Čeprav besede trajnosten v SSKJ ni, se je v zvezi trajnostni razvoj dobro uveljavila. Včasih se uporablja tudi izraz vzdržnostni razvoj, v nekaterih zvezah pa ga lahko nadomestimo z izrazom sonaraven. V slovenščini je še najbolj pomensko ustrezen izraz trajno uravnovešen, vendar se ta predlog najbrž zaradi svoje dolžine ni obdržal. Trajnostni razvoj je razvoj družbe, ki sedanjim generacijam pri njihovih razvojnih prizadevanjih omogoča izpolnjevanje vseh osnovnih potreb in hkrati ne ogroža izpolnjevanja potreb prihodnjih generacij (slika 3).

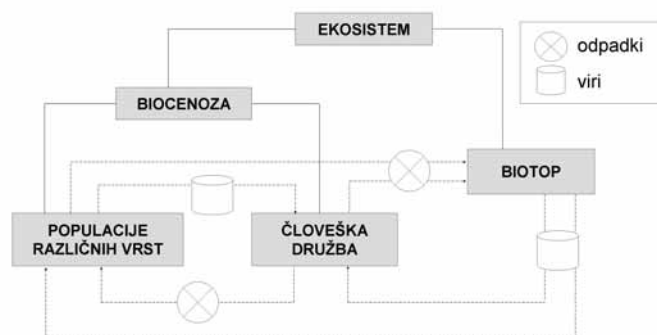


**Slika 3:** Gospodarski, družbeni in okoljski vidiki trajnostnega razvoja.

V zvezi s trajnostnim razvojem največkrat pomislimo na razvoj, ki ob izboljševanju ekonomskega položaja ljudi omogoča ohranjanje okolja in naravnih virov, je usklajen s procesi v ekosistemih in ne izčrpa naravnih virov. Za trajnostni razvoj je značilno, da je uravnovešen in da se integralni sistem dolgoročno ohranja brez bistvenih sprememb. V sistemu OKOLJE – DRUŽBA – GOSPODARSTVO, ki je trajnosten, veljajo vse značilnosti biološkega sistema, ki smo jih že navedli:

- je ločen od ostalih sistemov,
- je odprt,
- je v dinamičnem ravnovesju, ki ga vzdržujejo povratne zanke (feed-back),
- je organiziran,
- se obnavlja,
- se razvija, dokler ne doseže razmeroma stabilnega stanja.

Uporabo »ekoloških načel« v sistemih, ki niso biološki sistemi, smo spoznali že v zvezi z industrijsko ekologijo, ki povezuje gospodarsko dejavnost in družbo, poudari vidika proizvodnje (gospodarstvo) in potrošnje (družba), vendar zanemari okolje. Okolje postane prejemnik odpadnih snovi in energije, viri se nenačrtovano izčrpavajo, saj na okolje ne gledamo kot na del sistema. Vsa neravnovesja iz gospodarskega in družbenega sistema se prenesejo v okolje, kar povzroči onesnaževanje in rušenje ekološkega ravnovesja v ekosistemih (slika 4).



**Slika 4:** Odpadki, ki jih producira človeška družba kot samostojen sistem, vplivajo na biocenozo in biotop po ločenih poteh, zato se njihov vpliv medsebojno povečuje. V biotopu zmanjšajo količino naravnih virov neposredno ali posredno prek vpliva na druge vrste.

V konceptu trajnostnega razvoja so njegovi predlagatelji naredili bistven korak, ker človeške družbe in človekovih dejavnosti ne obravnavajo ločeno od okolja oziroma ekosistema, v katerem je razvoj človeka potekal in še poteka. Gospodarska rast in rast človeške populacije sta omejena z nosilnostjo okolja, podobno kot v ekosistemu. Povratne zanke, ki zmanjšujejo velikost populacije, npr. izčrpavanje virov hrane, vode, življenjskega prostora in virov surovin, bolezni in nasilje, niso edini omejevalni dejavniki rasti. Vedno pomembnejša postaja degradacija okolja zaradi onesnaževanja in posegov vanj. Onesnaženo okolje, v katerem so se nakopičili odpadki, pa ima še

manjšo sposobnost vključiti odpadne snovi v svoje kroženje. Zato se pri enaki proizvodnji odpadkov ti vedno bolj kopičijo.

**Odpadne snovi se v ekosistemu kopičijo, ker se zaradi svoje kemijske sestave ali količine nezadostno vključujejo v kroženje snovi. S tem se zmanjšuje dostopnost virov in se poslabšajo življenjske razmere vseh organizmov, vključno človeka.**

### *Posameznik, javno mnenje in ravnanje z odpadki*

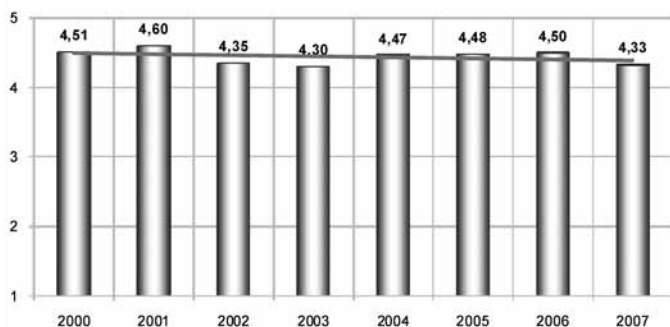
Za večino ljudi so odpadki samo snovi, ki nastajajo zaradi človekove dejavnosti in so naravnemu okolju tuji. So neuporabne in nezaželene snovi in predmeti, ki ogrožajo človekovo zdravje in naravne ekosisteme, v najboljšem primeru pa »le« zmanjšajo estetsko vrednost bivalnega okolja. Zanimivo je, da imajo ljudje v vseh časih in vseh okoljih zelo podoben odnos do vseh vrst odpadov ne glede na to, ali so potencialno nevarni ali ne. Pred petdesetimi leti so tako brez pomislekov metali sode z nizko- in srednjeradioaktivnimi odpadki v morje ter v potoke izpuščali neprečiščene odplake iz galvanizacije, danes pa javnost zavrača odlagališče nenevarnih komunalnih odpadkov, čeprav je vnaprej narejena presoja vplivov na okolje in je sprejemljivost vplivov zagotovljena.

Dokler ima človek na voljo dovolj prostora, da lahko odloži odpadke tako, da niso neposredno v njegovi bližini, se z njimi večinoma ne ukvarja. Tak pristop privede do tako imenovanega NIMBY-efekta (not in my backyard), ki je v Sloveniji zelo pogost prav v zvezi z ravnanjem z odpadki. Lokalne skupnosti in posamezniki ne dovolijo odlaganja odpadkov na svojem ozemlju in jih ne zanima, kaj se s temi odpadki dogaja, saj menijo, da »niso njihov problem«, ker so nastali drugje. Pri takem pojmovanju gre za nerazumevanje dogajanja v naravi, čeprav javnost svoje nasprotovanje po navadi utemeljuje prav s težnjo po varovanju okolja, saj so odpadki zanje nekaj, kar okolje uničuje in škodi njihovemu zdravju. To dejansko lahko velja v primeru, ko za odpadke ni ustrezno poskrbljeno. Odgovorno ravnanje z odpadki pa lahko škodljive vplive bistveno zmanjša.

Med ljudmi v zvezi z ravnanjem z odpadki veliko predodgovorov, kar kažejo tudi raziskave javnega mnenja, ki jih vsako leto izvaja Agencija za radioaktivne odpadke (slika 5). Rezultati kažejo, da se večina, ne glede na starost,

odločno strinja, da moramo v Sloveniji za radioaktivne odpadke ustrezno poskrbeti in da potrebujemo odlagališče zanje. Obenem jih velika večina ne bi sprejela odlagališča v svojem kraju, saj menijo, da jih ni mogoče varno odložiti (slika 6). Podobna stališča kažejo tudi raziskave Evrobarometra v državah EU.

Pri premagovanju predsodkov ne pomaga kaj dosti niti informiranje o tem, da na svetu obratuje že več kot 100 odlagališč, da je stalen nadzor okolja obvezen in da nikjer do zdaj ni prišlo do ogrožanja varnosti ali onesnaževanja okolja. Na drugi strani pa večina ljudi dobro ve, da je nezdrav način življenja (kajenje, čezmerna telesna teža, uživanje velikih količin alkohola, premalo gibanja) vzrok za skrajševanje življenjske dobe, pa kljub temu ne spremenijo svojih navad.



**Slika 5:** Stališča do trditve »Ker v Sloveniji proizvajamo radioaktivne odpadke, potrebujemo tudi primerno odlagališče zanje« v letih 2000 do 2007. Večina se s trditvijo močno strinja.



**Slika 6:** Odgovori na vprašanje: »Ali se vam zdi verjetno, da je mogoče radioaktivne odpadke varno odložiti?« Skoraj 2/3 vprašanih tega ne verjame.

Zaradi takih izključujočih se stališč imamo velike težave pri reševanju problematike učinkovitega ravnanja z odpadki. Ne glede na to, da stroka že pozna dobre, okoljsko sprejemljive načine ravnanja z odpadki, jih javnost marsikje odločno zavrača. S komuniciranjem in v zadnjem času tudi z okoljsko mediacijo skušajo odločevalci v demokratični družbi omogočiti, da javnost aktivno sodeluje pri oblikovanju rešitve, ki je potem sprejemljiva za vse, ki so vključeni v odločanje in ki jih okoljski problem zadeva.

Pravno podlago za vključevanje javnosti v odločanje o posegih v okolje dajejo na eni strani direktive Evropske skupnosti o presoji vplivov na okolje, na drugi strani pa Konvencija o dostopu do informacij, udeležbi javnosti pri odločanju in dostopu do pravnega varstva v okoljskih zadevah (Aarhuška konvencija).

### Ravnanje z nizko in srednje radioaktivnimi odpadki kot primer systemskega pristopa

Radioaktivni odpadki so posebna vrsta nevarnih odpadkov, ki so pod zelo natančnim nadzorom od nastanka do končnega odlaganja. Z okoljevarstvenega stališča je zanje in za druge strupene nerazgradljive odpadke potreben enak pristop. Ključno je, da preprečimo, da bi se ti odpadki vključili v prehranjevalne verige. Zahtevajo posebno odlagališče, v katerem bodo popolnoma izolirani od okolja.

V Sloveniji takega odlagališča še nimamo, smo pa leta 2004 začeli s postopkom njegovega umeščanja v prostor. Umeščanje poteka s poudarjenim sodelovanjem javnosti v obliki lokalnega partnerstva med ARAO kot izvajalcem umeščanja v imenu države in občinami, v katerih so potencialne lokacije. Namen lokalnega partnerstva je zmanjšati NIMBY-efekt, povečati zavedanje o povezanosti odlaganja odpadkov z varstvom okolja in s tem povečati sprejemljivost odlagališča v lokalnem okolju. Izkušnje kažejo, da je sprejemljivost v javnosti tem večja, čim več realnih informacij o ravnanju z radioaktivnimi odpadki imajo ljudje na voljo in čim bolj razumejo delovanje ekosistema. Enako velja tudi za družbeno sprejemljivost ravnanja z vsemi drugimi vrstami odpadkov.

**Sodobna industrijska družba aktivno rešuje probleme, ki jih povzročajo kopičenje odpadkov. Ravnanje z odpadki je kot okoljevarstvena dejavnost systemsko**

že obravnavano kot del proizvodno-potrošniškega cikla. Pomanjkljivo poznavanje ekoloških zakonitosti s strani javnosti in njeno nezaupanje v strokovne odločitve lahko močno ovira sistemske ukrepe. Če postane tudi splošna javnost integralni del sistema, se poveča možnost za strokovno in družbeno ter okoljsko odgovorno odločanje o ravnanju z odpadki.

## *Viri*

- Aarhuška konvencija (Uradni list, RS, št. 62/04).
- Direktiva Sveta 85/337/EGS z dne 27. junija 1985 o presoji vplivov nekaterih javnih in zasebnih projektov na okolje, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31985L0337:SL:HTML>.
- Direktiva Sveta 97/11/EGS z dne 3. marca 1997 o spremembi Direktive 85/337/EGS o presoji vplivov nekaterih javnih in zasebnih projektov na okolje, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31997L0011:SL:HTML>.
- Direktiva 2003/35/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 26. maja 2003 o sodelovanju javnosti pri sestavi nekaterih načrtov in programov v zvezi z okoljem in o spremembi direktiv Sveta 85/337/EGS in 96/61/ES glede sodelovanja javnosti in dostopa do sodišč, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32003L0035:SL:HTML>.
- <http://plato.stanford.edu/entries/ecology/>.
- <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>.
- <http://habitat.igc.org/agenda21/rio-dec.htm>.
- <http://habitat.igc.org/agenda21/>.
- <http://www.rec.org/REC/Programs/PublicParticipation/mediation/default.html>.
- Kralj M.: *Finding the Site for the Low and Intermediate Level Radioactive Waste Repository, Case study from Slovenia*, [http://www.rec.org/REC/Programs/PublicParticipation/mediation/case\\_studies.html](http://www.rec.org/REC/Programs/PublicParticipation/mediation/case_studies.html).
- RAOPIS št. 12, december 2002.
- RAOPIS št. 15, februar 2007.
- RAOPIS št. 16, maj 2008.
- Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future, 1987. Published as Annex to General Assembly document A/42/427.

## VARSTVO EKOSISTEMOV

### Gorazd Urbanič

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Večna pot 111, 1000 Ljubljana; e-naslov: gorazd.urbanic@bf.uni-lj.si

Inštitut za vode Republike Slovenije, Hajdrihova 28c, 1000 Ljubljana; e-naslov: gorazd.urbanic@izvrs.si

---

*Gorazd Urbanič je doktoriral leta 2004 na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani. Od leta 2005 je docent za področje ekologije. Zaposlen je na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani in na Inštitutu za vode Republike Slovenije. Ukvarja se z ekologijo vodnih ekosistemov s poudarkom na razvoju metodologij za vrednotenje ekološkega stanja površinskih voda in odzivu združenj organizmov na spremembe v okolju. Je slovenski predstavnik v evropski delovni skupini ECOSTAT za implementacijo Vodne direktive in nacionalni koordinator za razvoj metodologij vrednotenja ekološkega stanja površinskih voda. Na Inštitutu za vode RS sodeluje tudi v skupini za pripravo načrtov upravljanja voda v Sloveniji.*

### Izvleček

Varstvo ekosistemov s trajnostno rabo predstavlja nov pristop varstva, ki poleg ohranjanja vključuje tudi revitalizacije (izboljšave) ekosistemov in rabo, ki bo trajnostna. Potrebe po varovanju so se pojavile, ko smo začeli okolje intenzivno spreminjati, kar vključuje tako onesnaževanje kot fizično spreminjanje. Površina zaščitenih območij je v devetdesetih letih 20. stoletja dosegala manj kot 4 % svetovnega ozemlja. Tudi zato so v razvitejših delih sveta sprevideli, da zavarovanje le nekaterih območij ob trenutnem trendu spreminjanja narave ne bo omogočilo trajnostnega razvoja. Zato so si za izziv postavili najprej pripraviti smernice in kasneje tudi načrte upravljanja, ki bodo omogočali trajnostno rabo ekosistemov. Naravni ekosistemi so ogroženi zaradi vpliva delovanja človeka, ki izhaja predvsem iz rasti prebivalstva in njegovih potreb. Najpomembnejše obremenitve, ki jih povzročamo in s katerimi vplivamo na ekosisteme, so sprememba habitata, fragmentacija habitata, čezmerno izkoriščanje

## ECOSYSTEM CONSERVATION

### Gorazd Urbanič

University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of biology, Večna pot 111, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: gorazd.urbanic@bf.uni-lj.si

Institute for water of the Republic of Slovenia, Hajdrihova 28c, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: gorazd.urbanic@izvrs.si

---

*Gorazd Urbanič obtained PhD in 2004 at the Biotechnical Faculty, University of Ljubljana. Since 2005 he is an Assistant Professor for Ecology. He is employed at the Biotechnical Faculty, University of Ljubljana and in the Institute for Water of the RS. He works in the field of ecology of water ecosystems with the emphasis on the development of methodology for the evaluation of status of surface waters and on the response of organisms' communities on environmental changes. He is a Slovenian representative in the European work group ECOSTAT for the implementation of Water directive and a national coordinator for the development of methodology for the evaluation of ecological status of surface waters. In the Institute for Water he participates in the group for planning water management in Slovenia.*

### Abstract

Ecosystem protection by sustainable use is a new approach to environment protection. Beside ecosystem conservation, this approach includes ecosystem revitalisation (improvement) and sustainable use. The need for protection first arose as the environment was being intensively altered, which includes both pollution and physical alterations. In the 1990s, the total area of protected ecosystems comprised less than 4 % of the Earth's surface area. This was one of the reasons the developed countries realised that protecting isolated areas with the current trends of changes in nature will not enable sustainable development. They therefore set a goal of preparing directives and after that management plans that will enable sustainable use of ecosystems. Natural ecosystems are endangered as a consequence of human actions that stem mostly from the needs of rapidly growing population. The most important burdens we impose on ecosystems are habitat changes and fragmentation, overexploitation



ekosistemov in vrst, vnos tujerodnih vrst, onesnaževanje, odvzemi vode in klimatske spremembe. Ob sedanjem trendu zmanjševanja ekosistemske pestrosti celinskih voda in povečevanju pritiskov na ekosisteme bomo kmalu dosegli raven, ki bo skrajno zaskrbljujoča, posledice pa bodo katastrofalne. Tudi zaradi tega potrebujemo ekosistemski pristop varstva. Ekosistemski pristop varstva pomeni upravljanje naravnih dobrin z uporabo sistemsko širokih konceptov, ki zagotavljajo, da so rastline in živali v ekosistemu ohranjene v dobrem stanju v izhodiščnih – naravnih habitatih in delovanje ekosistemov ni moteno. Za uspešno varstvo je zelo pomembno, da pri tem sodelujejo tako država kot tudi regionalna in lokalna oblast. Del ekosistemskega varstva je tudi ekonomija okolja. Vrste, združbe in ekosisteme moramo ovrednotiti, da jih bomo lahko neposredno primerjali z vrednostjo projektov, ki bi povzročili njihovo izginitje. Koraki v ekosistemskem pristopu varstva so:

1. izbor območja zanimanja oz. ekosistema in vključitev deležnikov;
2. opis značilnosti izhodiščnega (naravnega) ekosistema;
3. opis značilnosti sedanjih ekonomskih, okoljskih in socialnih razmer in trendov;
4. razvoj skupne vizije zelenega stanja in določitev okoljskih ciljev;
5. razvoj in implementacija načrta upravljanja;
6. spremljanje stanja in vrednotenje rezultatov;
7. dopolnitev načrta upravljanja oz. ukrepanje, če je treba.

Varujemo lahko primarne – naravne ali sekundarne – delno spremenjene ekosisteme. Naravni ekosistemi, ki jih najdemo na določenem območju, so rezultat delovanja naravnih abiotskih in biotskih dejavnikov in so optimalna rešitev. Za varovanje spremenjenih ekosistemov se po navadi odločimo takrat, ko od teh ekosistemov koristimo posebne usluge (npr. pridobivanje električne energije). Če ekosistemi ne dosegajo zelenega stanja, ekosistem obnovimo. Opravimo lahko popolno obnovitev (renaturacijo) ekosistema ali vzpostavimo le stanje, podobno izhodiščnemu, in opravimo izboljšanje (rehabilitacijo) ekosistema. Ko na degradirano območje naselimo povsem drugačno združbo, opravimo nadomestitev. Ker je dožemanje ekosistemov in ekosistemskih uslug različno, rabimo zakonodajo. Zakonodaja, ki vključuje ekosistemski pristop varstva, omogoča izkoriščanje ekosistemskih uslug, vendar le tistih, ki bodo ohranjale osnovno zgradbo

of ecosystems and species, introduction of alien species, pollution, water removal and climate change. With the present-day trend of reducing the diversity of freshwater ecosystems, we will soon reach an alarming level and can expect catastrophic consequences. This is an important reason why an ecosystem approach to protection is imperative. The ecosystem approach signifies management of natural goods by using broad concepts that ensure that plants and animals are kept in good condition in their original (natural) habitats and that ecosystem functioning is not impaired. For protection to be efficient, it is very important to have the cooperation of national, regional and local authorities. Part of ecosystem protection is also environmental economics. Species, communities and ecosystems have to be evaluated so that it is possible to compare them with the value of projects that would cause their loss. The steps in the ecosystem approach are the following:

1. Selection of the area of interest or ecosystem and inclusion of stake-holders;
2. Description of the original (natural) ecosystem;
3. Description of current economic, environmental and social conditions and trends;
4. Development of joint vision of the desired state and establishment of environmental goals;
5. Development and implementation of the management plan;
6. Monitoring and evaluation of results;
7. Supplementation of the plan or action, if necessary.

The object of protection can be either natural or secondary (partially altered) ecosystems. Natural ecosystems are the result of the functioning of natural abiotic and biotic factors and are the optimum solution in the given environment. The protection of altered ecosystems is usually decided upon when the ecosystems provide us with certain ecosystem services (e.g. obtaining electrical energy). If ecosystems do not reach the desired state, they need to be restored. This can either be complete renaturation of the ecosystem or restoration of the state similar to the original one (ecosystem rehabilitation). When a degraded area is populated with a completely different community, this is called substitution. The perception of ecosystems and ecosystem services is very variable and therefore requires legislation. A legislation that includes the ecosystem approach of protection enables exploitation of ecosystem services, but only those that retain the original structure and function of natural ecosystems. In

in delovanje naravnega ekosistema. V Sloveniji imamo temeljna izhodišča varstva okolja vključena že v ustavo Republike Slovenije, ki nam nalaga skrb za ohranjanje naravnega bogastva in možnosti za skladen civilizacijski in družbeni razvoj. Ekosistemski pristop varstva je vključen tudi v politiko Evropske unije. Vendar na evropski ravni sprejemamo le smernice, države članice pa morajo v skladu s smernicami ukrepe za doseganje ciljev direktiv popolno in pravilno prenesti v svojo zakonodajo. V Sloveniji imamo več zakonov, ki neposredno obravnavajo varstvo ekosistemov. To so Zakon o varstvu okolja, Zakon o ohranjanju narave, Zakon o gozdovih, Zakon o kmetijskih zemljiščih in Zakon o vodah. Poleg zakonov smo sprejeli tudi številne podzakonske akte, kot so uredbe in predpisi, ki podrobneje določajo pravila varstva in upravljanja ekosistemov. Zakon o varstvu okolja je krovni zakon, ki ureja varstvo okolja pred obremenjevanjem kot temeljni pogoj za trajnostni razvoj. Namen varstva okolja je spodbujanje in usmerjanje takšnega družbenega razvoja, ki omogoča dolgoročne pogoje za človekovo zdravje, počutje in kakovost njegovega življenja ter ohranjanje biotske raznovrstnosti. Zakon o ohranjanju narave določa ukrepe ohranjanja biotske raznovrstnosti in sistem varstva naravnih vrednot z namenom prispevati k ohranjanju narave. Vendar pa zakon ne predvideva le ohranjanja, kot bi lahko sklepali iz imena, ampak v primerih spremenjene naravne vrednote predvideva najprej vzpostavljanje izhodiščnega stanja in šele nato ohranjanje. Ekosistemska raven je v zakonu zajeta tako v biotski raznovrstnosti (raznovrstnost ekosistemov) kot tudi v naravnih vrednotah. Za ohranjanje biodiverzitete na ekosistemski ravni zakon nalaga ohranitev habitatnih tipov, določitev ekološko pomembnih območij, določitev posebnih varstvenih območij – območja Natura 2000 in varstvo naravnih vrednot.

Zakon o gozdovih predvideva nacionalni gozdni program, v katerem se določijo nacionalna politika trajnostnega, sonaravnega in večnamenskega gospodarjenja z gozdovi in usmeritve za ohranitev in razvoj gozdov ter pogoji za njihovo izkoriščanje oziroma večnamensko rabo. Cilj zakona je trajnostno upravljanje gozdov ter ohranitev in izboljšanje življenjskih razmer za živali, ki prosto živijo v gozdu. Za doseganje ciljev uporabljamo gozdnogospodarske in lovskoupravljalvske načrte območij. Kljub temu da skoraj 60 % Slovenije poraščajo gozdovi, dejanska drevna sestava obstoječih gozdov v precejšnji meri odstopa od potencialne vegetacije. Na mnogih območjih so

Slovenia the basic points of environment protection are included in the Constitution of the Republic of Slovenia, which charges us with protecting natural wealth and possibilities for harmonious development of the civilisation and society. The ecosystem approach to protection is included also in the politics of the European Union. However, at the European level, only directives are passed and the member countries have to integrate the measures for reaching the goals set by the directives completely and correctly into their own legislation. There are several legal acts in Slovenia that directly deal with the topic of ecosystem protection. These are the Environment Protection Act, the Nature Conservation Act, the Act on Forests, the Agricultural Land Act and the Water Act. Beside these acts, there are also several decrees and regulations that define in more detail the policy of ecosystem protection and management. The Environment Protection Act is the main law that defines protecting the environment form loads as the basic condition for sustainable development. The aim of environment protection is encouraging and directing such a way of social development that enables long-term conditions for human health and quality of life and preservation of biodiversity. The Nature Conservation Act defines the measures for preserving biodiversity and the system of protecting natural values with the intention of contributing to preserving the natural environment. However, despite its name, this law does not only envisage conservation but in the cases of altered natural values requires first the reestablishment of the natural conditions and only then conservation. The ecosystem level in the law is comprised both in the biodiversity (ecosystem diversity) as well as in natural values. For preserving biodiversity on the ecosystem level, the Act dictates the preservation of habitat types, the establishment of ecologically significant sites, the establishment of special protection areas – Natura 2000 sites and the protection of natural values.

The Act on Forests defines the national forest program wherein the national policy of sustainable and multipurpose forest management is delineated, as well as the guidelines for the preservation and development of forests and the terms of their exploitation or multipurpose use. The aims of the Act are sustainable forest management, preservation of forests and amelioration of the living conditions for animals living freely in forests. To achieve these aims, regional forest and hunting management plans are set. Forests grow over almost 60 % of the Slo-

prevladujoče vrste, ki so bile tja zasajene ali so posledica gospodarjenja z gozdovi v preteklosti. S tem smo v mnogih primerih gozdne ekosisteme vsaj delno spremenili. Kmetijska zemljišča so močno degradirani gozdni ekosistemi, ki so spremenjeni zaradi kmetijske rabe. Zakon o kmetijskih zemljiščih ureja tako rabo kmetijskih zemljišč kot njihovo varstvo predvsem pred onesnaževanjem.

Ekosistemski pristop varstva je vključen tudi v politiko Evropske unije do voda. Leta 2000 je bila objavljena t. i. Vodna direktiva – Direktiva 2000/60/ES, ki smo jo v slovensko zakonodajo prenesli z Zakonom o vodah. Izhodišče za upravljanje voda je določitev t. i. za tip značilnih referenčnih razmer, pri čemer v izhodišče postavimo naravne razmere in jih opišemo s štirimi skupinami organizmov: fitoplanktonom, fitobentosom in makrofiti, bentoškimi nevretenčarji ter ribami. Na vseh teh vodah lahko izkoriščamo različne ekosistemске usluge, vendar le v taki meri, da bistveno ne poslabšamo stanja voda. Vsaka država Evropske unije mora zagotoviti doseganje dobrega ekološkega stanja vseh površinskih voda do leta 2015. Kljub temu da je v Vodni direktivi postavljeno v izhodišče naravno stanje, pa direktiva dopušča tudi izjeme. Vodnim telesom z rabo, ki je za državo ekonomsko pomembna (npr. hidroelektrarne, zajetja pitne vode), kot izhodišče ne določimo naravnih razmer, ampak razmere, ki so optimalne ob obstoječi rabi. V teh primerih varujemo sekundarne ekosisteme. Ekosistemsko varstvo je kompleksen proces, v katerem se soočajo različni interesi. Pogosto lahko trajnostno rešitev dobimo le s širokim soglasjem.

vene territory. Nonetheless, the actual tree composition of these forests is largely different from the potential vegetation. The prevalent species in many areas are those that have been planted or are the consequence of forest management in the past. Many forest ecosystems have been at least partially altered in this way. Farmlands are severely degraded forest ecosystems that had been altered for the purposes of farming. The Agricultural Land Act manages the use of farmlands as well as their protection against pollution. The ecosystem approach to protection is included also in the water policy of the European Union. In the year 2000 the EU passed the Water Framework Directive (Directive 2000/60/EC) which has been incorporated into the Slovene legislation with the Water Act. The starting point of water ecosystem management is the defining of the so-called type specific reference conditions. This is done by starting from natural conditions and describing them with four groups of organisms: phytoplankton, phytobenthos and macrophytes, benthic invertebrates and fish. Ecosystem services can be used in all waters but only insofar as they do not significantly impair the conditions of these ecosystems. Each EU member is required to ensure good ecological state of all its surface waters by the year 2015. Although the Water Framework Directive sets the natural conditions as the starting point, it allows for certain exceptions. For water bodies being used in a way that is of national economic importance (e.g. hydroelectric power plants, drinking water impoundments) the starting point are not natural conditions, but those that are optimal for the existing use. In these cases, secondary ecosystems are protected. Ecosystem protection is a complex process where different interests are confronted. The sustainable solution can often only be achieved by a wide consensus.

## Kaj je varstvo

Z varstvom skrbimo, da bodo vrste, združbe in ekosistemi oz. biotska pestrost (biodiverzitet) obstajali tudi v prihodnje. S tem zagotavljamo, da bomo tudi v prihodnosti imeli na voljo številne usluge, ki nam jih nudijo ekosistemi. V preteklosti je bil poudarek na **popolnem varstvu oz. ohranjanju narave**. Varstvo je bilo osnovano na popolni zaščiti posameznih vrst in njihovih habitatov ali zavarovanih območij predvsem s prepovedovanjem aktivnosti (npr. odvzema vrst, poseganja v habitate) – poudarjanje tistega česar ne smemo početi. Tako smo ohranjali vrste, njihove habitate in tudi ekosisteme s prisotnimi združbami organizmov, raba in posledično razvoj na teh območjih pa sta bila zelo omejena. V današnjem času varstvo ni več usmerjeno le na zavarovana območja, ampak skušamo s primernim upravljanjem vseh območij zagotoviti trajnostno rabo ekosistemov. Govorimo o **varstvu s trajnostno rabo**, ki poleg ohranjanja vključuje tudi **izboljšave (revitalizacije) ekosistemov in rabo**, ki bo trajnostna. Za uspešno varstvo moramo razumeti raven problema, razumeti moramo nevarnosti, povzročene s človekovim delovanjem, in upoštevati, kako lahko naše poznavanje ekologije prispeva k temu, da negativne vplive zmanjšamo oz. stanje izboljšamo.

## Kaj varujemo in zakaj varujemo

Nekaj varujemo takrat, kadar ima to neko vrednost in obstaja verjetnost, da bo to, kar varujemo, spremenjeno ali celo uničeno. Vsi nekaj varujemo. Nekateri od varovanih stvari so pomembne le za posameznike, spet druge so pomembne za širšo družbo. Kako pa je z varstvom okolja oz. narave? Potrebe po varovanju so se pojavile, ko smo začeli okolje intenzivno spreminjati, kar vključuje tako onesnaževanje kot fizično spreminjanje. V le 200.000 letih obstoja modernega človeka je človeška populacija preseгла 6 milijard in v tem v zemeljski zgodovini kratkem času smo uspeli zavzeti skoraj vse habitate na Zemlji. Kjer koli se pojavi človek, spremeni okolje tako, kot njemu ustreza. Le v nekaj generacijah smo uspeli spremeniti Zemljino površje in močno vplivati na druge vrste organizmov in ekosisteme na Zemlji. Ključno prelomnico v človeški zgodovini ima začetek industrijske revolucije. Število ljudi je začelo močno eksponentno naraščati, s tem pa se je močno povečal tudi vpliv človeka na okolje. Spremembe, ki smo jih povzročili in jih še vedno povzročamo v »dobrobit človeštva«

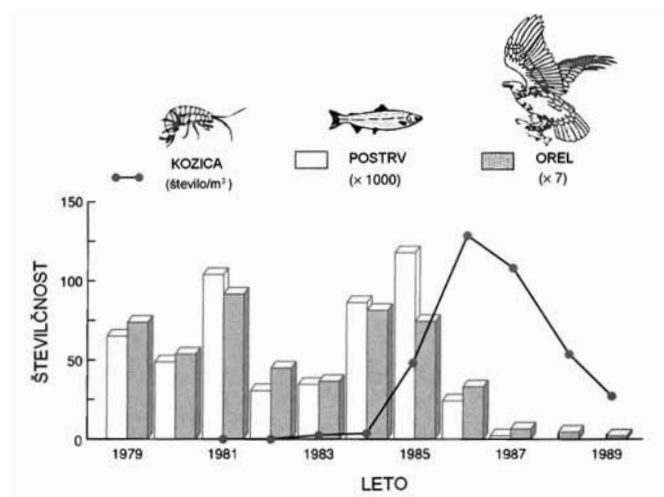
(paradoks!), niso ostale brez odziva. Nekateri posamezniki so bili kmalu sposobni videti potrebe po ohranjanju narave (vrst, habitatov in ekosistemov). Prva zavarovana območja so bila razglašena že v 19. stoletju, torej kmalu po začetku industrijske revolucije. Z razvojem družbe in vedno intenzivnejšim spreminjanjem se je vedno bolj pojavljala tudi potreba po varovanju. Tako je v 20. stoletju z eksponentno rastjo števila ljudi eksponentno naraščalo tudi število zavarovanih območij – parkov (slika 1). Toda poraja se vprašanje, ali bomo lahko le z zavarovanjem majhnega dela zemeljskega površja tudi obstali – konec devetdesetih let prejšnjega stoletja je bilo zavarovane 3,5 % svetovnega ozemlja in po nekaterih ocenah bi lahko z močno politično voljo zavarovali največ 6 % svetovnega ozemlja, vse ostalo mora biti na voljo kot vir naravnih dobrin. Ob trenutnem razvoju verjetno ne. Tudi zato so v razvitejših delih sveta sprevideli, da zavarovanje le nekaterih območij ob trenutnem trendu spreminjanja narave ne bo omogočilo trajnostnega razvoja. Zato so si za izziv postavili najprej pripraviti smernice in kasneje tudi načrte upravljanja, ki bodo omogočali trajnostno rabo ekosistemov.



**Slika 1:** Spreminjanje števila in površine zavarovanih območij v obdobju 1899–1999.

Prvoten namen varstva je bil regionalno in globalno ohranjanje vrst in njihovih habitatov. Na podlagi verjetnosti izumrtja vrste so bili oblikovani rdeči sezname. Pri tem tipu varstva so uporabljena znanja iz populacijske dinamike vrste, kar je veliko lažje preučevati kot združbe in delovanje ekosistemov. Vendar varstvo nujno potrebuje tudi širšo perspektivo, pri čemer uporabimo znanje o združbah in ekosistemih in zato obstaja več razlogov: neupoštevanje medvrstnih odnosov lahko z izginotjem ključne vrste pripelje do verižne reakcije. Prav tako lahko

prihod invazivne vrste vpliva na spremembe v združbi. Primer kozice (*Mysis relicta*) v povodju jezera Flathead v Združenih državah Amerike je le eden izmed njih. Vrsta ni vplivala le na organizme v vodi, ampak tudi na druge vrste, ki so v istem prehranskem spletu (slika 2).



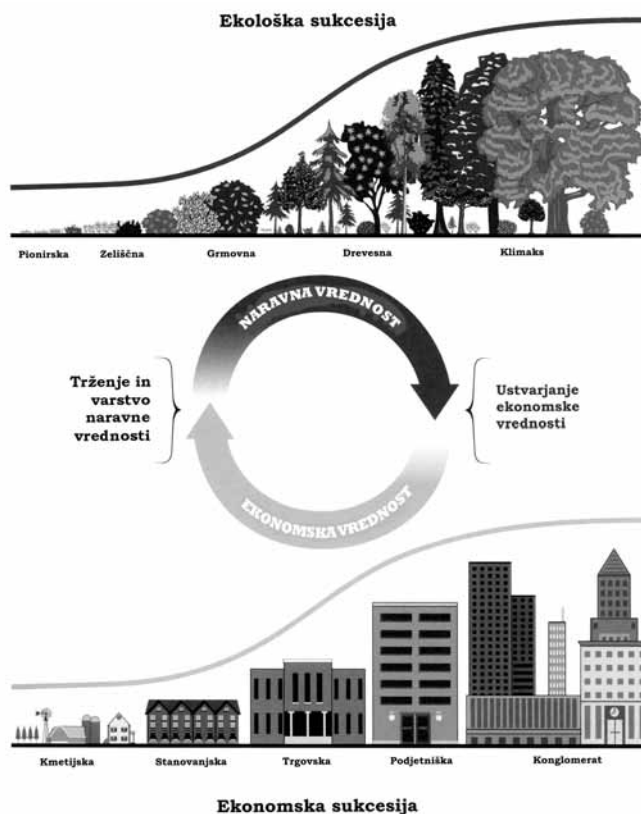
**Slika 2:** Vpliv invazivne vrste kozice na številčnost postrvi in orlov.

### Kaj ogroža naravne ekosisteme

Naravni ekosistemi so ogroženi zaradi vpliva človeka, ki izhaja predvsem iz rasti prebivalstva in njihovih potreb (slika 3). Najpomembnejši pritiski oz. obremenitve, ki jih povzročamo in s katerimi vplivamo na ekosisteme, so:

1. sprememba habitata,
2. fragmentacija habitata,
3. čezmerna izraba ekosistemov in vrst,
4. vnos tujerodnih vrst,
5. onesnaževanje,
6. odvzemi vode in
7. klimatske spremembe.

Čeprav se zmanjšuje vsa ekosistemska pestrost na Zemlji, se pestrost celinskih voda zmanjšuje veliko hitreje kot pestrost kopenskih ekosistemov. Razlog je v odvisnosti ljudi od vode in v njeni nesmotrni rabi. Ob sedanjem trendu zmanjševanja ekosistemske pestrosti celinskih voda in povečevanju pritiskov na ekosisteme bomo kmalu dosegli raven, ki bo skrajno zaskrbljujoča, posledice pa bodo katastrofalne. Tudi zaradi tega rabimo ekosistemske pristop varstva.



**Slika 3:** Povezanost naravne in ekonomske vrednosti ekosistemov.

### Varstvo ekosistemov

Izhodišče za varstvo ekosistemov je definicija, da je ekosistem dinamični kompleks življenjske združbe in neživega okolja, ki sta v interakciji kot funkcionalni enoti. Ekosistemi pristop varovanja pomeni upravljanje naravnih dobrin z uporabo sistemsko širokih konceptov, ki zagotavljajo, da so rastline in živali v ekosistemu ohranjene v dobrem stanju v izhodiščnih – naravnih habitatih in delovanje ekosistemov ni moteno. Poleg ohranjanja ekosistemskega pristop vključuje tudi restavriranje zgradbe z vrstno sestavo ekosistema in delovanja ter prepoznava, da so vsi sestavni deli med sabo povezani. Zaradi tega so pristopi na ravni ekosistemov in krajin najprimernejša pot za ohranjanje biotske pestrosti. Naslednji pomembni vidik ekosistemskega varstva je sposobnost integriranja varstva in restavriranja ekosistemov s človekovimi potrebami. S tem ojačamo povezavo med ekonomskim razvojem in okoljskim dobrim. Za uspešno varstvo je zelo pomembno, da pri tem sodelujejo tako država kot tudi regionalna in lokalna oblast in skupnost, kajti le tako lahko

dosežemo končni cilj, ki je zdrav ekosistem in trajnostni razvoj. V tem okvirju so cilji varstva postavljeni glede na prihodnje razmere, ki vključujejo ekološke, ekonomske in socialne dejavnike znotraj geografskega okvirja, pogojene z ekološkimi okvirji.

Del ekosistemskega varstva je tudi ekonomija okolja oz. ekološka ekonomija. Je nov izziv za prihodnost, v kateri bodo vrste, združbe in ekosistemi ovrednoteni in se bodo lahko neposredno primerjali z vrednostjo projektov, ki bi povzročili njihovo izginotje. Za mnoge vrste in posredno ekosisteme smo ugotovili, da imajo neposredno vrednost, npr. divjad, zelenjava in ribe so marsikje na svetu osnovni vir hrane. Za večino vrst poznamo le njihovo potencialno vrednost, saj npr. skoraj vse kmetijske rastline izvirajo iz divje rastočih vrst. Večina vrst ima le posreden ekonomski pomen, npr. žuželke, ki oprahujejo rastline, ali morda le estetskega. Vsaka vrsta pa ima svojo vlogo v ekosistemu, saj je del njega. In usluge ekosistemov izkoriščamo, npr. vir vode za gospodinjstva, industrijo in kmetijsko rabo, pridobivanje električne energije, transport, varstvo pred poplavami, rekreacijo, odlaganje odpadnih snovi in tudi osebno izpopolnjevanje. Nekatere od ekosistemskih uslug so nenadomestljive.

Korake v ekosistemskem pristopu varstva lahko strnemo v naslednje točke:

1. izbor območja zanimanja oz. ekosistema in vključitev deležnikov;
2. opis značilnosti izhodiščnega (naravnega) ekosistema;
3. opis značilnosti sedanjih ekonomskih, okoljskih in socialnih razmer in trendov;
4. razvoj skupne vizije zelenega stanja in določitev okoljskih ciljev;
5. razvoj in implementacija načrta upravljanja;
6. spremljanje stanja in vrednotenje rezultatov;
7. dopolnitev načrta upravljanja oz. ukrepanje, če je treba.

V nadaljevanju so podrobneje predstavljeni posamezni koraki ekosistemskega varstva.

### **Izbor območja zanimanja oz. ekosistema in vključitev deležnikov**

Prvi pogoj za uspešno ekosistemsko varstvo oz. upravljanje je dobro poznavanje ekosistema, tako zgradbe kot njegovega delovanja. Še prej se moramo odločiti, kate-

ri ekosistem želimo varovati. Določiti moramo njegovo izhodiščno stanje. Tudi med naravovarstveniki so lahko različna mnenja, kaj varovati, saj se pogosto moramo odločiti, ali bomo varovali primarni ali sekundarni ekosistem. Akumulacijsko jezero je sekundarni ekosistem, saj je prvotno tekla reka. Številne ptice, ki so prisotne na jezeru se nam zdijo pomembne – so lepe, priljubljene med ljudmi –, tudi z rekreativnega vidika imajo ljudje raje jezera, saj se lahko kopamo, vozimo s čolni idr. Na reki so povsem drugačne razmere in mnogo tistega, kar nam nudi jezero in je pri ljudeh priljubljeno, nimamo, vsaj ne v takem obsegu. Podobno do različnih mnenj lahko pridemo tudi pri vprašanju, ali bomo varovali travnik, ki je sekundarni ekosistem, ali gozd, ki je bil prisoten v izhodiščnem stanju. Pomemben del varstva ekosistemov je vključitev deležnikov – interesnih skupin, ki morajo biti že od začetka postopka aktivno vključeni v proces, saj z njihovimi aktivnostmi pomembno vplivajo na odvijanje celotnega procesa varstva z upravljanjem ekosistemov.

### **Opis značilnosti izhodiščnega (naravnega) ekosistema**

Po odločitvi, kaj želimo varovati, moramo za obravnavani ekosistem najprej določiti izhodiščno stanje, tj. opisati referenčne razmere (abiotske in biotske). Kadar varujemo primarne ekosisteme, izhodiščno stanje pomeni razmere brez vpliva oz. z zelo majhnim vplivom človeka. Ob prisotnosti izhodiščnega ekosistema referenčne razmere lahko opišemo s posnetkom stanja. Teže je referenčne razmere opisati, ko želimo varovati ekosistem, ki je spremenjen, za referenčne razmere pa nimamo zgodovinskih podatkov. V takih primerih si lahko pomagamo s paleorekonstrukcijo – če je to izvedljivo – ali z modeliranjem. Ob varovanju sekundarnih ekosistemov sami določimo, katere spremembe določajo izhodiščno stanje in v kaki meri. Npr. za travnik, ki ga bomo varovali, sta število košenj in čas košnje lahko zelo pomembna.

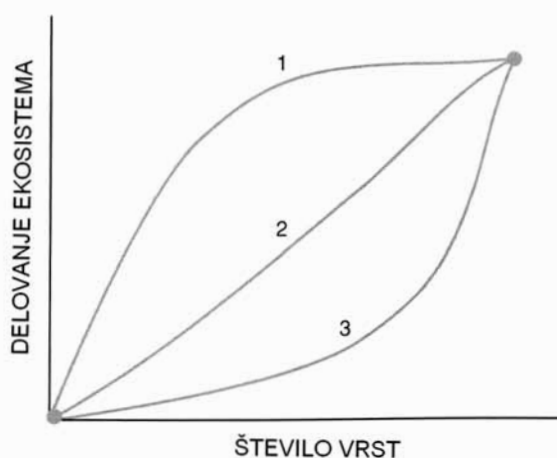
### **Opis značilnosti sedanjih okoljskih, ekonomskih in socialnih razmer in trendov**

Opis sedanjih razmer vključuje celotno vplivno območje ekosistema, zato je v varstvo ekosistemov pogosto vključeno veliko večje območje, kot ga zavzema varovani ekosistem. Pri varstvu vodnih ekosistemov obravnavamo celotno prispevno območje. Opis okoljskih razmer vključuje obremenitve in ovrednotenje njihovih negativnih vplivov na ekosistem. Poleg okoljskih ovrednotenj opravimo tudi ovrednotenje ekonomskih in socialnih razmer

in trendov, ki nam bodo služili kot smernice za pripravo načrta upravljanja.

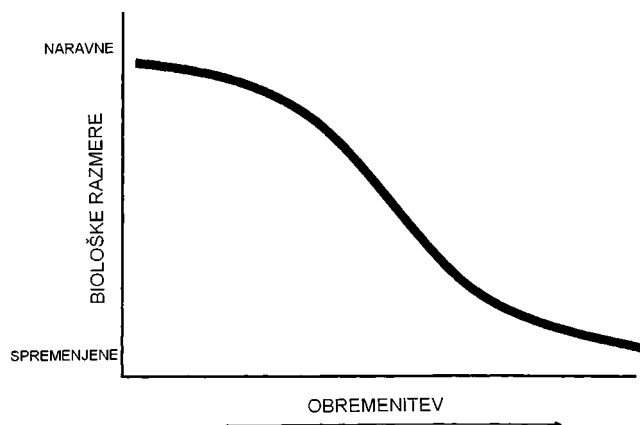
### Razvoj skupne vizije zelenega stanja in doseganje ciljev

Cilj vsakega ekosistema varstva je doseganje zelenega stanja. Po navadi to stanje ustreza razmeram, ko ekosistem ohranimo v taki meri, da ne porušimo osnovne zgradbe in delovanja, dopuščamo pa odstopanje od izhodiščnih razmer. Lahko bi rekli, da ekosistem ohranimo v dinamičnem ravnovesju. S tem omogočimo, da poleg ohranjanja ekosistema lahko izkoriščamo tudi dodatne ekosistemske usluge. Eden od težjih korakov je določiti stanje ekosistema, ki bo zagotavljalo ohranitev osnovne zgradbe in delovanja ekosistema (slika 4), oz. določiti, koliko vrst lahko izgubimo, pa pri tem še vedno ohranimo delovanje ekosistema (npr. proizvodnjo, kroženje snovi). Verjetno pa ni le vprašanje, koliko vrst lahko izgubimo, ampak moramo poznati pomen posameznih vrst, saj imajo vrste različen pomen za delovanje ekosistema. Za ta korak moramo zgradbo in delovanje ekosistema poznati zelo dobro, prav tako pa moramo poznati odziv ekosistema na različne ravni obremenitev (slika 5). Odziv ekosistema na obremenitev je odvisen od njegove nosilne kapacite in se lahko med ekosistemi močno razlikuje. Ugotovitev iz enega ekosistema ne moremo prenašati v drug ekosistem, lahko pa si z njimi pomagamo, vendar za mnoge ekosisteme še vedno ne poznamo odgovorov. Odziv ekosistemov na obremenitve po navadi preučujemo na ravni sprememb v zgradbi in delovanju združbe. Združbo uporabimo kot bioindikator. Z zaznam odstopanjem združbe od izhodiščnega stanja ugotovimo, ali trenutno



**Slika 4:** Primeri odvisnosti delovanja ekosistema od števila vrst.

dosegamo zastavljene cilje ali ne. Če ciljev ne dosegamo ali trendi nakazujejo, da ob trenutnem razvoju čez nekaj let ne bomo več dosegali ciljev, pripravimo ukrepe za izboljšanje stanja. Ukrepi so odvisni od obremenitev, ki povzročajo spremembe, pogosto ukrepi vključujejo tudi obnovitev (restavriranje) ekosistema.



**Slika 5:** Odziv združbe organizmov na obremenitev.

### Razvoj in implementacija načrta upravljanja

Načrt upravljanja pripravimo za izbrano časovno obdobje, v katerem se zavežemo, da bomo izpolnili zastavljene cilje. Podlaga za načrt upravljanja so trenutne razmere, trendi in zastavljeni cilji. Če cilje že dosegamo, je pomembno, da pripravimo načrt, v katerem ne predvidemo dejavnosti, ki bi poslabšale stanje oz. le dejavnosti, ki stanja bistveno ne bodo poslabšale. V primeru da trenutno ciljev ne dosegamo, v tem obdobju izvedemo vse ukrepe, ki smo jih predvideli.

### Spremljanje stanja in vrednotenje rezultatov

Stanje spremljamo, da ugotovimo, ali morebiti med načrtovanjem upravljanja ni prišlo do poslabšanja stanja oz. ali so bili izvedeni ukrepi učinkoviti. Ukrepi so zares učinkoviti le takrat, kadar z njimi dosežemo cilje, ki smo si jih zadali. Pogosto se dogaja, da je odziv ekosistema na izvedene ukrepe relativno počasen. Vedno pa opazimo trend spreminjanja ter lahko predvidimo čas, ko bomo cilje dosegli.

### Prilagojeno upravljanje oz. ukrepanje

Ko s spremljanjem stanja ugotovimo, da z izvedenimi ukrepi zelenega stanja ekosistema nismo dosegli, načrt

upravljanja dopolnimo. Pripravimo dodatne ukrepe, ki bodo proces obnove ekosistema pospešili.

### *Varovati primarne ali sekundarne ekosisteme?*

Naravni – primarni ekosistemi, ki jih najdemo na določenem območju, so rezultat delovanja naravnih abiotskih in biotskih dejavnikov (človek ni vključen). Po navadi klima določa končno stopnjo naravne sukcesije in zato govorimo o klimaksih in klimaksnih združbah. Naravni ekosistemi so optimalna rešitev, saj imamo od njih največ ekosistemskih koristi, poleg tega pa se sami vzdržujejo, tudi če vanje zmerno posegamo. Zaradi tega je smoter varovati primarne ekosisteme s svojo abiotsko zgradbo in z združbami. Pogosto varujemo tudi sekundarne ekosisteme. Vendar moramo za razliko od primarnih ekosistemov sekundarne ekosisteme vzdrževati, ker bi sicer v krajšem ali daljšem času zaradi naravne sukcesije postopno dosegli klimaksno stanje – primarni ekosistem oz. primarnim ekosistemom podobne ekosisteme. Razlogi za varovanje sekundarnih ekosistemov so različni. Pogosto so razlog posebne usluge, ki jih od teh ekosistemov koristimo. Zaježitev reke za pridobivanje električne energije je le en primer. Težko si predstavljamo, da bi lahko živeli brez elektrike, zato v tem primeru ekonomski vidik pogosto premaga naravovarstvenega. Kljub temu imajo tudi spremenjeni ekosistemi svoj načrt upravljanja in svoje varstvo. Tudi ob ekosistemskih uslugah, kot je pridobivanje električne energije, lahko na zajezeni reki izvedemo t. i. omilitvene ukrepe, ki bodo izboljšali stanje ekosistema. Morda se bo zaradi tega nekoliko zmanjšala ekonomska korist, vendar bomo s tem omogočili dodatne ekosistemске usluge, ki jih prej nismo imeli. Torej smo tudi v tem primeru le pridobili.

### *Obnovitev (restavriranje) ekosistemov*

Ohranjanje ekosistemov je primerno, ko imamo kaj ohranjati. V mnogih primerih ugotavljamo, da so bili številni ekosistemi spremenjeni in da značilnih vrst ali združb organizmov ni več. V takih primerih se odločimo, da bomo ekosistem obnovili (restavrirali). Toda kaj točno bomo obnovili? V primerih, ko so izginile le posamezne živalske ali rastlinske vrste, lahko te vrste ponovno naselimo in opravimo **popolno obnovitev (renaturacijo)** ekosistema. V tem primeru moramo točno poznati naravno – izhodiščno stanje, ki je stanje, kot je bilo, preden je človek posegel v ekosistem. Po navadi se soočimo s

trema problemi. Pogosto ne vemo, katere so avtentične vrste. Kot drugo, preden se bo ponovno pojavil naravni vzorec naseljenih vrst, bo preteklo precej časa. Tudi če bi z dodatnimi posegi želeli pospešiti razvoj naravnega vzorca, moramo zelo dobro poznati ekologijo ponovno naseljenih vrst.

V primerih, ko je prišlo do spremembe združbe zaradi vnosa nove vrste, moramo najprej vnese vrste odstraniti, preden ponovno naselimo prvotne vrste. V mnogih primerih je odstranitev vnosenih vrst skoraj nemogoča, še posebej ko imamo opravka z malimi osebki in vrstami, ki se hitro razmnožujejo, ko so npr. ribe, miši in žuželke.

Povsem drugačen pristop v renaturaciji uporabimo v primerih, ko so poleg združb tudi abiotske razmere močno spremenjene (npr. zaježitev rek). V prvem koraku obnovitve zagotovimo naravno – prvotno abiotsko zgradbo ekosistema. Nadaljnji koraki so odvisni od naše želje, kako hitro želimo ponovno vzpostaviti prvotni ekosistem, in tudi od razmer v okolici. Razmere v okolici določajo, ali se bo prvotni ekosistem sploh lahko ponovno vzpostavil, ne da bi mi ponovno vnesli vrste. V primeru, ko enakega tipa ekosistema, tj. tipa ekosistema z enako združbo, ni v bližini – to pomeni, da je razdalja do najbližjega naseljenega območja prevelika –, do naselitve s prvotno združbo nikoli ne bo prišlo. Nasprotno, ko imamo v bližini enak tip ekosistema, imamo zagotovljeno izhodišče, da se brez našega posredovanja obnovljeni ekosistem lahko vrne v prvotno stanje. Vendar tudi takrat prazne habitate najprej zasedejo pionirske vrste in do vzpostavitve prvotnega stanja poteče naravna sukcesija (glej sliko 3). Če želimo v relativno kratkem času vzpostaviti osnovno biotsko zgradbo, moramo vrste sami ponovno naseliti. Vsekakor je nemogoče naseliti celotno združbo, še posebej ker je v združbi po navadi zelo veliko vrst. Z naselitvijo ključnih vrst omogočimo, da se znova vzpostavi delovanje ekosistema, ki je podobno izhodiščnemu, čeprav združba ni obnovljena v celoti. Za vzpostavitev prvotne združbe je zelo pomembna prisotnost ohranjenih ekosistemov. Ti ekosistemi predstavljajo t. i. ekosistemška jedra, ki so vir za ponovno naselitev vseh tistih vrst, ki jih v obnovljenem ekosistemu pričakujemo, pa jih sami ne moremo naseliti ali premalo poznamo njihovo ekologijo, da bi bila naselitev lahko uspešna.

Poseben primer obnovitve so močno spremenjeni ekosistemi, v katerih so abiotske razmere nepovratno spre-



njene – tak primer so odlagališča odpadkov ali rudniška odlagališča – in popolna obnovitev (renaturacija) ni mogoča, ker prvotne združbe ni več mogoče naseliti. V takih primerih opravimo **izboljšanje (rehabilitacijo)** ekosistema, ko ponovno naselimo združbo, ki je le podobna, ne pa enaka prvotni. V primerih zelo močne spremenjenosti ekosistemov lahko naselimo le povsem drugačno združbo. To imenujemo **nadomestitev**.

Ne glede na postopek, ki ga izberemo, so procesi obnavljanja (revitalizacije) razmeroma dolgotrajni. Kljub temu da smo zagotovili osnovno abiotsko in biotsko zgradbo ekosistema, pa se bodo vse interakcije in klimaks razvili le s časom. Z izvedbo postopka obnove naša naloga še ni končana. Uspešnost naših odločitev, ki smo jih uporabili pri obnovitvi ekosistema in se bodo odražale v obnovljenem ekosistemu, moramo spremljati. Programi spremljanja stanja uspešnost oz. neuspešnost procesa obnove potrdijo, hkrati pa dobimo smernice za morebitne dopolnitve in izboljšave pri novih projektih.

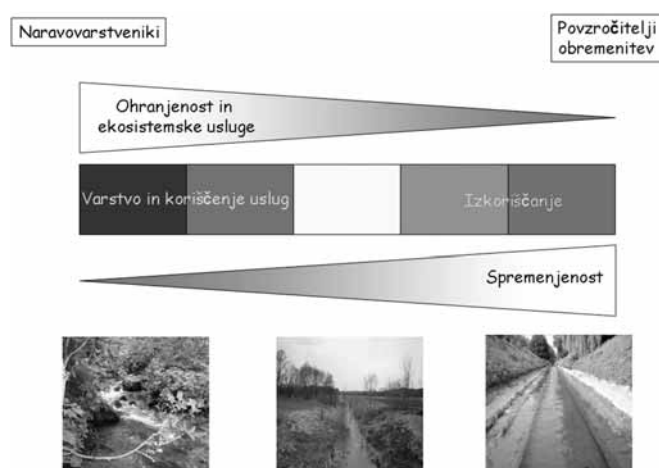
## Zakonodaja

### Zakaj rabimo zakonodajo

Navzkrižje interesov je pogosto, zato moramo jasno določiti, kaj je dovoljeno in kaj ne. Dejstvo je, da je dojetje ekosistemov in ekosistemskih uslug različno (slika 6). Največja razlika v dojetju ekosistemov je po navadi med naravovarstveniki in povzročitelji obremenitev. V obeh skupinah ljudi imamo ekstremiste. Ekstremisti naravovarstveniki menijo, da sta vsaka sprememba v ekosistemu oz. vsak odvzem živih organizmov nesprejemljiva in da moramo ohranjati ekosistem v izhodiščnem stanju. Nasprotno mnenje ekstremistov izkoriščevalcev je, da je z ekosistemi treba v čim krajšem času čim več zaslužiti, zato na ekosistem gledajo le iz trenutnega ekonomskega vidika. Ekosistemski pristop varstva omogoča srednjo pot. Ekosisteme moramo varovati, vendar lahko ob izkoriščanju osnovnih ekosistemskih uslug izkoristimo tudi tiste dodatne, ki bodo ohranjale osnovno zgradbo in delovanje naravnega ekosistema.

### Zakonodaja s področja varstva ekosistemov v Sloveniji

V Sloveniji imamo temeljna izhodišča varstva okolja vključena že v ustavo Republike Slovenije, ki nam nalaga skrb za ohranjanje naravnega bogastva in možnosti za skladen civilizacijski in družbeni razvoj. Poleg tega



**Slika 6:** Stanje ekosistemov in njihovo videnje različnih interesnih skupin.

ustava določa, da morajo biti zakoni in drugi predpisi v skladu s splošno veljavnimi načeli mednarodnega prava in mednarodnimi pogodbami, ki obvezujejo našo državo. Mednarodne pogodbe, ki vključujejo tudi varstvo ekosistemov, so: Ramsarska konvencija, Konvencija o svetovni dediščini, Konvencija o biološki raznovrstnosti, Evropska konvencija o krajini, Alpska konvencija in Barcelonska konvencija. Ekosistemski pristop varstva je vključen tudi v politiko Evropske unije. Vendar na evropski ravni sprejemamo le smernice, države članice pa morajo v skladu s smernicami ukrepe za doseganje ciljev direktiv popolno in pravilno prenesti v svojo zakonodajo. Evropska komisija preverja tako prenos kot izvajanje direktiv. V Sloveniji imamo več zakonov, ki neposredno obravnavajo varstvo ekosistemov. To so:

1. Zakon o varstvu okolja,
2. Zakon o ohranjanju narave,
3. Zakon o gozdovih,
4. Zakon o kmetijskih zemljiščih in
5. Zakon o vodah.

Poleg zakonov smo sprejeli tudi številne podzakonske akte, kot so uredbe in predpisi, ki podrobneje določajo pravila varstva in upravljanja ekosistemov.

### Zakon o varstvu okolja

Zakon o varstvu okolja je krovni zakon, ki ureja varstvo okolja pred obremenjevanjem kot temeljni pogoj za trajnostni razvoj. V tem okviru določa temeljna načela varstva okolja, ukrepe varstva okolja, spremljanje stanja okolja in informacije o okolju ter druga z varstvom

okolja povezana vprašanja. S tem zakonom smo v pravni red Republike Slovenije prenesli devet direktiv Evropske unije. V tem zakonu je okolje opredeljeno kot tisti del narave, v katerega seže ali bi lahko segel vpliv človekovega delovanja. Namen varstva okolja je spodbujanje in usmerjanje takšnega družbenega razvoja, ki omogoča dolgoročne pogoje za človekovo zdravje, počutje in kakovost njegovega življenja ter ohranjanje biotske raznovrstnosti. Cilji varstva okolja so zlasti:

1. preprečitev in zmanjšanje obremenjevanja okolja,
2. ohranjanje in izboljševanje kakovosti okolja,
3. trajnostna raba naravnih virov,
4. zmanjšanje rabe energije in večja uporaba obnovljivih virov energije,
5. odpravljanje posledic obremenjevanja okolja, izboljšanje porušenega naravnega ravnovesja in ponovno vzpostavljanje njegovih regeneracijskih sposobnosti,
6. povečevanje snovne učinkovitosti proizvodnje in potrošnje ter
7. opuščanje in nadomeščanje uporabe nevarnih snovi.

Za doseganje teh ciljev moramo spodbujati proizvodnjo in potrošnjo, ki prispevata k zmanjšanju obremenjevanja okolja, in spodbujati razvoj in uporabo tehnologij, ki preprečujejo, odpravljajo ali zmanjšujejo obremenjevanje okolja. Enako pomembna je navedba, da se onesnaževanje in raba naravnih virov plačujeta.

Temeljna načela, upoštevana v zakonu, so:

1. načelo trajnostnega razvoja: spodbujati moramo takšen gospodarski in socialni razvoj družbe, ki omogoča dolgoročno ohranjanje okolja;
2. načelo celovitosti: pri gospodarskem in socialnem razvoju družbe moramo upoštevati načela varstva okolja;
3. načelo sodelovanja: pri sprejemanju odločitev sodelujejo povzročitelji obremenitev, naravovarstveniki in javnost;
4. načelo preventive: standardi kakovosti okolja morajo biti zasnovani, vsak poseg v okolje pa načrtovan tako, da povzroči čim manjše obremenjevanje okolja;
5. načelo previdnosti: vpeljevanje novih tehnologij, postopkov in produktov je dopustno le, če ni pričakovati škodljivih učinkov na okolje in zdravje ljudi;
6. načelo odgovornosti povzročitelja: povzročitelj je kazensko in odškodninsko odgovoren;
7. načelo plačila za obremenjevanje: povzročitelj obremenjevanja krije vse stroške predpisanih ukrepov

ter posledic obremenjevanja okolja oz. povzročitelj plača;

8. načelo subsidiarnega ukrepanja: v primeru, da je povzročitelj obremenitve nepoznan, država plača vse stroške ukrepov;
9. načelo spodbujanja: država in občina spodbujata dejavnosti varstva okolja;
10. načelo javnosti: vsi okoljski podatki so javni in javnost ima pravico sodelovati pri prejemanju politik, ki se nanašajo na varstvo okolja;
11. načelo varstva pravic: državljan ima pravico do zdravega življenjskega okolja;
12. načelo dopustnosti posegov v okolje: poseg v okolje je dopusten le, če ne povzroča čezmerne obremenitve;
13. načelo ekološke funkcije lastnine: naravno javno dobro se lahko rabi le tako, da ni izključena njegova naravna vloga.

Zakon o varstvu okolja določa ukrepe, ki so pomembni tudi za varstvo ekosistemov (tabela 1).

**Tabela 1:** Ukrepi in nameni ukrepov v Zakonu o varstvu okolja.

Ukrep	Namen ukrepa
Zavarovanje in začasno zavarovanje naravnih bogastev	Ohranjanje
Dodelitev statusa ogroženega okolja z namenom vzpostavitve novega ali nadomestnega prejšnjega stanja	Revitalizacija
Predkupna pravica in razlastitev	Preprečevanje izkoriščanja
Koncesija za izkoriščanje naravnih dobrin	Za izkoriščanje se plača
Študija ranljivosti okolja	Usmerjanje razvoja v prostoru
Celovita presoja vplivov na okolje	Ocena vplivov načrtovanih posegov na okolje
Presoja vplivov na okolje	Ocena sprejemljivosti posega

### Zakon o ohranjanju narave

Zakon o ohranjanju narave določa ukrepe ohranjanja biotske raznovrstnosti in sistem varstva naravnih vrednot z namenom prispevati k ohranjanju narave. Vendar pa zakon ne predvideva le ohranjanja, kot bi lahko sklepali iz

imena, ampak v primerih spremenjene naravne vrednote predvideva najprej vzpostavljane izhodiščnega stanja in šele nato ohranjanje.

Ekosistemska raven je v zakonu zajeta tako v biotski raznovrstnosti (raznovrstnost ekosistemov) kot tudi v naravnih vrednotah. Za ohranjanje biodiverzitete na ekosistemski ravni zakon nalaga:

### **I Ohranitev habitatnih tipov**

Habitatni tip je opredeljen kot biotopsko ali biotsko značilna in prostorsko zaključena enota ekosistema. Skupine habitatnih tipov so:

1. morski, obalni in priobalni habitatni tipi,
2. habitatni tipi sladkih voda,
3. habitatni tipi grmišč in travišč,
4. gozdni habitatni tipi,
5. habitatni tipi barij in močvirij,
6. habitatni tipi goličav (vključuje jame).

V Sloveniji je bilo prepoznanih 157 habitatnih tipov. Z vidika varovanja je posebej zanimiva skupina habitatni tipi grmišč in travišč, kjer je predvideno zadrževanje sukcesivnih procesov, kot so zaraščanje travišč in preraščanje grmišč. Za večino drugih skupin habitatnih tipov poleg ohranjanja naravnih razmer ni predvidenih človekovih aktivnosti. Cilj je ohranjanje habitatnih tipov v ugodnem stanju, kar prispeva k ohranjanju ekosistemov. Vendar ohranjanje ne prepoveduje rabe, ampak dovoljuje rabo, ki zagotavlja dolgoročno ohranitev habitatnega tipa.

### **II Določitev ekološko pomembnih območij**

Ekološko pomembna območja so določena predvsem z namenom ohranjanja biotske pestrosti, tudi na ekosistemski ravni. Tako se z varstvom ekološko pomembnih območij ohranja območje habitatnega tipa, dela habitatnega tipa ali večje ekosistemske enote, ki pomembno prispeva k ohranjanju biotske raznovrstnosti. Z uredbo o ekološko pomembnih območjih so bila določena ekološko pomembna območja in varstvene usmeritve za ohranitev ali doseganje ugodnega stanja habitatnih tipov ter prosto živečih rastlinskih in živalskih vrst in njihovih habitatov na teh območjih. Na ekološko pomembnih območjih, ki niso tudi posebna varstvena območja – območja Natura 2000 – , so možni vsi posegi in dejavnosti. Načrtuje pa se jih tako, da se v čim večji možni meri ohranja naravna razširjenost habitatnih tipov ter habitatov rastlinskih ali živalskih vrst, njihova kakovost ter povezanost habita-

tov populacij in omogoča ponovno povezanost, če bi bila ta z načrtovanim posegom ali dejavnostjo prekinjena. Za izvajanje posegov v naravo na ekološko pomembnih območjih ni treba pridobiti naravovarstvenih pogojev in naravovarstvenega soglasja. Na ekološko pomembnih območjih izvajamo spremljanje kazalnikov (rastlinske in živalske vrste ter habitatne tipe), ki omogoča:

- spremljanje stanja rastlinskih in živalskih vrst in habitatnih tipov ter
- ugotavljanje učinkovitosti ukrepov varstva glede doseganja ugodnega stanja rastlinskih in živalskih vrst in habitatnih tipov.

### **III Določitev posebnih varstvenih območij – območja Natura 2000**

Na podlagi Zakona o ohranjanju narave in v njem predvidenih ukrepov je bila pripravljena tudi Uredba o posebnih varstvenih območjih – območja Natura 2000. Pravno podlago za vzpostavljane območij Natura 2000 predstavljata Direktiva o ohranjanju naravnih habitatov ter prosto živečih živalskih in rastlinskih vrst in Direktiva o ohranjanju prostoživečih ptic. Na Natura 2000 območjih so posegi in dejavnosti dovoljeni, vendar le tisti, ki omogočajo ohranjanje naravne razširjenost habitatnih tipov ter habitatov rastlinskih ali živalskih vrst. Vse to moramo predvideti v načrtih upravljanja, ki morajo vsebovati tudi podrobne varstvene cilje in ukrepe za doseganje ciljev, prav tako pa kazalnike za spremljanje učinkovitosti ukrepov. Izbira načina varovanja območij Natura 2000 je prepuščena presoji vsake države članice. V evropskih državah za biotsko raznovrstnost najpogosteje skrbijo s pogodbenim varstvom ali skrbništvom, na habitatnih tipih s kmetijsko rabo so to pogodbe v okviru kmetijsko-okoljskega programa.

### **IV Varstvo naravnih vrednot**

Varstvo naravnih vrednot na ekosistemski ravni vključuje varstvo zavarovanih območij. Ožja zavarovana območja so naravni spomenik, strogi naravni rezervat in naravni rezervat, medtem ko so širša zavarovana območja krajinski, regijski in narodni park. Slednja dva morata imeti tudi načrt upravljanja, ki je podlaga za urejanje prostora in rabo naravnih dobrin. Po navadi se z aktom o zavarovanju na zavarovanem območju prepovejo ali omejijo številne dejavnosti.

### **Zakon o gozdovih**

Gozd je bil primarno prisoten na večjem delu ozemlja

Slovenije. Danes manj kot 60 % Slovenije porašča gozd, poleg tega pa dejanska drevesna sestava obstoječih gozdov v precejšnji meri odstopa od potencialne vegetacije. Na mnogih območjih so prevladujoče vrste, ki so bile tja zasajene ali so posledica gospodarjenja z gozdovi v preteklosti. S tem smo v mnogih primerih gozdne ekosisteme vsaj delno spremenili. Zakon o gozdovih predvideva nacionalni gozdni program, v katerem se določijo nacionalna politika trajnostnega, sonaravnega in večnamenskega gospodarjenja z gozdovi in usmeritve za ohranitev in razvoj gozdov ter pogoji za njihovo izkoriščanje oziroma večnamensko rabo. Cilj zakona je trajnostno upravljanje gozdov ter ohranitev in izboljšanje življenjskih razmer za živali, ki prosto živijo v gozdu. Za doseganje ciljev se pripravijo gozdnogospodarski in lovskoupravljaljski načrti območij, ki določijo:

- funkcije gozdov in njihovo ovrednotenje;
- cilje, usmeritve in ukrepe za gospodarjenje z gozdom in gozdnim prostorom;
- cilje, usmeritve in ukrepe za upravljanje z divjadjo;
- usmeritve za ohranjanje oziroma vzpostavitev naravne avtohtone sestave gozdnih življenjskih združb na podlagi bioloških kazalnikov.

### **Zakon o kmetijskih zemljiščih**

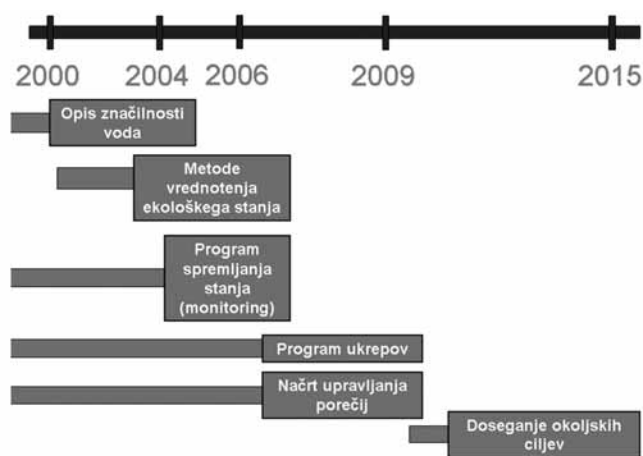
Kmetijska zemljišča v Sloveniji so močno degradirani primarni – gozdni ekosistemi. Gozdovi so bili spremenjeni zaradi rabe oz. gospodarskega pomena. Po definiciji so to zemljišča, ki so primerna za kmetijsko pridelavo, razen stavbnih in vodnih zemljišč ter za druge namene določenih zemljišč. Med kmetijska zemljišča spadajo tudi vsa zemljišča v zaraščanju, ki niso določena za gozd. Zakon o kmetijskih zemljiščih ureja rabo kmetijskih zemljišč, njihovo varstvo, promet in zakup, agrarne operacije in skupne pašnike. Z vidika varstva kmetijskih zemljišč je najpomembnejši člen, ki govori, da je treba kmetijska zemljišča uporabljati v skladu z njihovim namenom ter preprečevati njihovo onesnaževanje ali drugačno degradiranje in onesnaževanje ali drugačno zaviranje rasti rastlin. Po definiciji so kmetijska zemljišča onesnažena takrat, kadar tla vsebujejo toliko škodljivih snovi, da se zmanjša njihova samoočiščevalna sposobnost, poslabšajo fizikalne, kemične ali biotične lastnosti, zavirata ali preprečujeta rast in razvoj rastlin, onesnažuje podtalnica oziroma rastline ali je zaradi škodljivih snovi kako drugače okrnjena trajna rodovitnost tal.

### **Zakon o vodah**

Ekosistemski pristop varstva je vključen tudi v politiko Evropske unije do voda. Leta 2000 je bila objavljena t. i. Vodna direktiva – Direktiva 2000/60/ES, ki smo jo v slovensko zakonodajo prenesli z Zakonom o vodah. Izhodišče za upravljanje voda je določitev t. i. za tip značilnih referenčnih razmer. Najprej prepoznamo ekosisteme površinskih voda, ki bi obstajali, če ne bi bilo vpliva delovanja človeka, in jih opišemo z značilnimi združbami vodnih organizmov ter neživimi dejavniki. S tem določimo njihovo izhodiščne oz. referenčne razmere. Za opis referenčnih razmer uporabimo štiri skupine organizmov: fitoplankton, fitobentos in makrofite, bentoške nevretenčarje ter ribe. Nujnost upoštevanja različnih skupin organizmov je odraz kompleksnosti vodnih ekosistemov in različnih odzivov teh organizmov na povzročene spremembe. Z uporabo različnih bioindikatorjev vrednotimo vpliv človekovega delovanja na ekosisteme na različnih ravneh delovanja, s tem pa upoštevamo tako neposredni kot posredni vpliv.

V Sloveniji smo določili 73 tipov rek in 2 tipa jezer in za vsak tip določili referenčne razmere. Večina vodnih ekosistemov v Sloveniji ne dosega referenčnih razmer, kar ni treba, saj moramo v skladu z Vodno direktivo zagotavljati doseganje dobrega ekološkega stanja, ki pomeni zmerno odstopanje od referenčnih razmer. Torej na vseh teh vodah lahko koristimo različne ekosistemske usluge, vendar le v taki meri, da bistveno ne poslabšamo stanja voda. Ker izpolnjevanje ciljev direktive zahteva pripravo številnih dokumentov in izvedbo postopkov, je doseganje dobrega ekološkega stanja predvideno do leta 2015. Do takrat mora vsaka država članica pripraviti ustrezne dokumente z načrti upravljanja, ki bodo omogočali doseganje ciljev direktive, in cilje tudi doseči (slika 7). Posebnost načrtov upravljanja porečij je, da ukrepi za doseganje ciljev ne obravnavajo le voda, ampak celotna prispevna območja. Razlog je v povezanosti vodnih ekosistemov s terestričnimi ekosistemi. Posegi, izvedeni v prispevnem območju, se odražajo tudi na združbah vodnih ekosistemov. Npr. gnojenje kmetijskih površin zaradi padavin in spiranja površin vpliva tudi na kakovost podtalnice in površinskih voda. Če ugotovimo, da zaradi človekovega delovanja ne dosegamo dobrega ekološkega stanja, moramo pripraviti ukrepe in poskrbeti za izboljšanje stanja. V vodni direktivi je v izhodišče postavljeno varstvo primarnih ekosistemov, saj kot kriterij določimo odstopanje od izhodiščnega naravnega stanja. Pristop varstva primarnih

ekosistemov pa tudi v primeru voda ni vedno uporabljen, saj direktiva dopušča izjeme. Vodnim telesom z rabo, ki je za državo ekonomsko pomembna (npr. hidroelektrarne, zajetja pitne vode), kot izhodišče ne določimo naravnih referenčnih razmer, ampak razmere, ki so optimalne ob obstoječi rabi – namesto referenčnih razmer določimo maksimalni ekološki potencial. Vendar so odstopanja od referenčnih razmer dovoljena le za hidromorfološke značilnosti vodnega telesa, ne pa tudi za kakovost vode. V teh primerih varujemo sekundarne ekosisteme.



**Slika 7:** Mejniki v implementaciji Vodne direktive.

## Sklep

Narobe bi bilo videti stvari le z vidika varstva, brez resnih argumentov za varovanje. Vendar obstajajo številne človekove aktivnosti, ki so argumenti za varstvo in pomenijo nujo po varstvu; kmetijstvo, sekanje gozdov, lov divjih živali, ribolov, izkoriščanje mineralov, izraba fosilnih goriv, iztok odpadnih vod, odpadki, namakanje idr. Če želimo biti z argumenti učinkoviti, moramo varstvo postaviti v okvire stroškovne učinkovitosti, saj vlade vedno postavijo prioritete z ozadjem v denarju in prioritetami njihovih volivcev. Da boste morda naslednjič lažje sodili, vam za primer podajam tole zgodbo. »Na ministrstvo je bil podan predlog za zavarovanje jezera. Jezero je vrstno zelo pestro, v njem pa živijo tudi nekatere redke vrste. Komercialni in ljubiteljski ribiči želijo še naprej loviti ribe, domačini imajo različna mnenja o obljubah o prihodkih od ekoturizma, medtem ko naravovarstveniki daleč stran v prestolnici menijo, da je naravovarstvena vrednost jezera taka, da ribolov ne bi smel biti dovoljen, strogo omejeno pa bi moralo biti tudi število turistov«. Kakšna bi morala biti končna odločitev? Takih primerov je bilo v preteklosti kar nekaj, še več jih bo v prihodnje. Varstvo s trajnostno rabo ekosistemov je verjetno primeren način reševanja takih vprašanj. Vprašanje je le, ali ne bo trenutni ekonomski interes premagal trajnostnega.

## Viri

- Agencija Republike Slovenije za okolje (2001): *Pregled stanja biotske raznovrstnosti in krajinske pestrosti v Sloveniji*. Ljubljana, 224 str.
- Allan J. D., Castillo M. M. (2007): *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters. 2nd edition*. Springer: 436 str.
- Clark T. W., Zaunbrecher. D. (1987): The Greater Yellowstone Ecosystem: the ecosystem concept in natural resource policy and management. *Renewable Resources Journal* (3):8–16.
- Dickinson G., Murphy K. (2007): *Ecosystems. 2nd edition*. Routledge, Taylor / Francis, 205 str.
- Direktiva 2000/60/ES evropskega parlamenta in sveta z dne 23. oktobra 2000. Bruselj.
- Direktiva Sveta 79/409/EGS z dne 2. aprila 1979 o ohranjanju prostoživečih vrst ptic.
- Direktiva Sveta 92/43/EGS z dne 21. maja 1992 o ohranjanju naravnih habitatov ter prostoživečih živalskih in rastlinskih vrst.
- May R., McLean A. R. (2007): *Theoretical ecology: Principles and Applications. 3rd Edition*. Oxford University Press, 257 str.
- Odum E. P., Barrett G. W. (2005): *Fundamentals of Ecology 5th edition*. Brooks/Cole, 598 str.
- Perko F. (2004): *Gozd in gozdarstvo Slovenije*. Ljubljana: Zveza gozdarskih društev Slovenije: Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano RS: Zavod za gozdove Slovenije.
- Smol J. P. (2008): *Pollution of Lakes and Rivers: a paleoenvironmental perspective*. Blackwell Publishing Ltd, 383 str.
- Townsend C. R. (2008): *Ecological applications: towards a sustainable world*. Blackwell Publishing Ltd, 346 str.
- Townsend C. R., Begon M., Harper J. L. (2003): *Essentials of ecology*. Blackwell Publishing Ltd, 530 str.
- Urbanič G., Toman M. J. (2003): *Varstvo celinskih voda*. Študentska založba, 94 str.

Zakon o varstvu okolja (ZVO-1-UPB1). Ur. list RS, št. 39/2006.

Zakon o ohranjanju narave (ZON-UPB2). Ur. list RS, št. 96/2004.

Zakon o kmetijskih zemljiščih (ZKZ-UPB1). Uradni list RS, št. 55/2003.

Zakon o gozdovih (ZG). Ur.list RS, št. 30/1993.

Zakon o spremembah in dopolnitvah Zakona o gozdovih (ZG-B). Ur.list RS, št. 110/2007.

## VZGOJA ZA TRAJNOSTNI RAZVOJ V LUČI RAZLIČNIH KONCEPTOV TRAJNOSTNEGA RAZVOJA

**Andrej A. Lukšič**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za družbene vede, Kate-  
dra za analitsko politologijo, naslov; e-naslov: andrej.  
luksic@fdv.uni-lj.si

*Dr. Andrej A. Lukšič je izredni profesor na Fakulteti za družbene vede Univerze v Ljubljani in direktor Inštituta za ekologijo iz Ljubljane, ki je znan po tem, da je postavil dve svetovni razstavi o trajnostnem razvoju na prostem v Ljubljani, in sicer "Zemlja, pogled z neba (2005)" Yanna Arthus-Bertranda in razstavo "Živi" (2008) GoodPlanet.org. Njegova področja delovanja so politična ekologija, rizična tehnologija, e-demokracija in politična teorija.*

### **Izvleček**

Avtor presprašuje koncept vzgoje in izobraževanja za trajnostni razvoj, ki se od leta 2005 po svetu uveljavlja kot hrbtenica izobraževanja in usposabljanja sploh. Na prvi pogled se zdi, da politični in strateški dokumenti, ki jih nacionalne institucije in organizacije sprejemajo, s tem ko se deduktivno sklicujejo na strategije vzgoje in izobraževanja za trajnostni razvoj Unesca in EU, niso problematični, se pa v luči različnih konceptov trajnostnega razvoja ta podoba radikalno zaostri.

### **Uvod**

Vse od vrhunskega srečanja, ki je potekalo v okviru konference Združenih narodov o okolju in razvoju leta 1992 v Riu de Janeiru, ni več mogoče govoriti o razvoju, ne da bi hkrati govorili tudi o okolju. S tem so dobila načela trajnostnega razvoja izjemno pomembno politično podporo po vsem svetu. Leta 1992 je trajnostni razvoj tako deklarativno postal dolgoročni metacilj večine vlad nacionalnih držav in nekaterih mednarodnih institucij ter tudi drugih političnih akterjev. Na tem srečanju je bil trajnostni razvoj še dopolnjen z akcijskim načrtom Agenda 21,

## EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN PERSPECTIVE OF DIFFERENT CONCEPTS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

**Andrej A. Lukšič**

University of Ljubljana, Faculty of Social Sciences,  
Kardeljeva ploščad 5, SI-1000 Ljubljana, Slovenia;  
e-mail: andrej.luksic@fdv.uni-lj.si

*Dr. Andrej A. Lukšič is an associate professor at the Faculty for social sciences, University of Ljubljana, and the director of the Institute for ecology, which set up two worldwide exhibitions about sustainable development in the open air, namely »Earth, the view from the sky« (2005) of Yanna Arthus-Bertrand and »Alive« (2008) GoodPlanet.org. His fields of work are political ecology, risk technologies, e-democracy and political theory.*

### **Abstract**

The concept of education for sustainable development which has become the framework for educational reforms on different levels, is under question. Since the political and strategic documents on the national level refer to the Unesco and EU documents on education for sustainable development, they do not seem to be problematic at first sight but in the light of different concepts of sustainable development this impression disappears.

ki vzpostavlja globalno partnerstvo za trajnostni razvoj, poleg tega pa zajema širok spekter okoljskih in razvojnih področij, ki naj bi jih za implementacijo trajnostnega razvoja vsebovale strategije posameznih držav. S tem je bil na svetovni ravni vzpostavljen nov hegemonski razvojni koncept, v katerem je poleg ekonomske in družbene dimenzije dobilo enakovredno mesto tudi okolje. Ta koncept razvoja namreč obravnava ekonomski razvoj, družbeno enakost in varovanje okolja v njihovi medsebojni odvisnosti, zato ponuja, vsaj zdi se tako, sprejemljivejši izhod iz dihotomije med ekonomijo in okoljem. Je inkluziven koncept, ki s postavljenimi načeli meri na trajnostnost

razvoja in prinaša potrebno rekonceptualizacijo tradicionalnih pogledov na ekonomsko rast, nacionalno varnost in človeško svobodo v luči interesov bodočih generacij. Po večini stavi na kvalitativen in samoomejujoč razvoj ter gradi most za združevanje okoljskih skrbi z družbeno in ekonomsko blaginjo. Koncept trajnostnega razvoja ni problematičen, je vizionarski, normativen, pragmatičen in dovolj odprt.

### *I. del*

Slovenija je sprejela Strategijo razvoja Slovenije, ki je zasnovana na trajnostnem razvoju kot osrednji perspektivi z namenom, da se dvigne blaginja državljanov, toda v luči odgovornosti tudi do prihodnjih generacij in okolja, v katerem bodo živeli. Na tej podlagi so potem tudi posamezna ministrstva sprejemala razvojne dokumente za svoja resorna področja. Ministrstvo za šolstvo in šport je julija 2007 na kolegiju ministra sprejelo Smernice vzgoje in izobraževanja za trajnostni razvoj od predšolske vzgoje do downiverzitetnega izobraževanja. Vzgoja in izobraževanje za trajnostni razvoj sta s tem dokumentom dobila »osrednje mesto« v razvoju vzgoje in izobraževanja v Republiki Sloveniji, če rečemo z drugimi besedami, celoten nadaljnji razvoj vzgoje in izobraževanja v Sloveniji mora biti oblikovan znotraj okvirja, ki ga predstavlja medsebojno povezovanje okoljskih, gospodarskih in socialnih vprašanj. Znotraj tega okvira pa so izpostavljena nekatera ključna vsebinska področja,<sup>1</sup> na katera se naj bi usmerjala vzgoja in izobraževanje za trajnostni razvoj v naslednjih nekaj letih.

Konceptualni premik od okoljske vzgoje k vzgoji in izobraževanju za trajnostni razvoj ni naključen in ni značilen le za Slovenijo. Glede na neučinkovitost uvajanja trajnostnega razvoja v življenje v prvem desetletju po njegovem sprejetju v Riu de Janeiru, ki naj bi spremenil stare netrajnostne vzorce obnašanja, je bilo treba narediti korenit konceptualni preobrat.

Tako je Organizacija Združenih narodov za izobraže-

<sup>1</sup> V tem okvirju so tudi opredeljena ključna vsebinska področja, in sicer državljanstvo, mir, etika, odgovornost v krajevnem in mednarodnem kontekstu, demokracija in vladanje, pravičnost, varnost, človekove pravice, zmanjšanje revščine, zdravstvo, enakost spolov, kulturna raznovrstnost, razvoj podeželja in mest, gospodarstvo, proizvodni in potrošniški vzorci, skupna odgovornost, varstvo okolja, upravljanje naravnih virov ter biotska in pokrajinska raznovrstnost.

vanje, znanost in kulturo (Unesco) razglasila desetletje izobraževanja za trajnostni razvoj od 2005 do 2014 in pripravila obsežen dokument, ki je postavil okvire tudi za oblikovanje izobraževalnih strategij na nižjih ravneh. Temu je hitro sledila Ekonomska komisija OZN za Evropo (UNECE),<sup>2</sup> ki je pripravila Strategijo vzgoje in izobraževanja za trajnostni razvoj, ki je bila sprejeta na srečanju na visoki ravni ministrov za izobraževanje in okolje v Vilni marca leta 2005.

Temu trendu je sledila tudi Evropska unija. Ta je leta 2001 sprejela prvo strategijo razvoja EU za trajnostni razvoj v Göteborgu (2001), ki pa jo je že leta 2005 dopolnila zaradi netrajnostnih trendov, »ki zadevajo podnebne spremembe in porabo energije, grožnje javnemu zdravju, revščino in socialno izključenost, demografske pritiske in staranje, upravljanje z naravnimi viri, upad biotske raznovrstnosti, rabo zemlje in promet«. Z »enotno in skladno« strategijo trajnostnega razvoja se je EU lotila izzivov trajnostnega razvoja.<sup>3</sup> Za glavni izziv si je EU postavila postopno spreminjanje netrajnostnih vzorcev porabe in proizvodnje ter spreminjanje nepovezanega pristopa pri oblikovanju politik. Strategija stavi na vlaganje v človeški, družbeni in okoljski kapital ter tehnološke inovacije, ki so prvi pogoj za dolgoročno konkurenčnost in gospodarsko blaginjo, socialno kohezijo, kakovostno zaposlovanje in boljše varstvo okolja. Pomembno vlogo pri plemenitenu človeškega kapitala imajo seveda politike, ki prispevajo k družbi znanja. V tem delu strategije je na prvem mestu omenjena izobraževalna politika.

Zakaj je izobraževalni politiki dodeljeno takšno mesto in na katerem prepričanju temelji nova izobraževalna politika? EU je prepričana, da je izobraževanje »prvi pogoj za spodbujanje sprememb vedenja« in tudi možnost, da

<sup>2</sup> Ekonomska komisija za Evropo pri Združenih narodih (UNECE), ustanovljena leta 1947, si prizadeva pospeševati trajnostni ekonomski razvoj v vseh 55 državah članicah: njen osnovni cilj je spodbuditi članice k večjemu sodelovanju. Statistični podatki, ekonomske in okoljske analize, ki jih zbira in objavlja UNECE, so podpora komunikaciji med članicami in podpora njihovem razvoju.

<sup>3</sup> Tu naj izpostavimo pomembno razliko med strategijo EU za trajnostni razvoj in lizbonsko strategijo za rast in delovna mesta. Strategija trajnostnega razvoja obravnava predvsem kakovost življenja, enakost med generacijami in znotraj njih ter skladnost med vsemi področji politike, vključno z zunanjimi vidiki. Priznava vlogo gospodarskega razvoja pri spodbujanju prehoda k bolj trajnostni družbi. Lizbonska strategija pa bistveno prispeva k vseobsegajočemu cilju trajnostnega razvoja, ki je osredotočen predvsem na dejavnosti in ukrepe, ki skušajo povečati konkurenčnost in gospodarsko rast ter število delovnih mest.



»vsí državljani pridobijo ključne sposobnosti za to, da se bo lahko trajnostni razvoj uveljavil v življenju«. Tako bo uspeh pri spreminjanju netrajnostnih trendov predvsem odvisen od kakovosti izobraževanja za trajnostni razvoj, in sicer na vseh stopnjah izobraževanja, predvsem pa v ključnih sektorjih, kot so gradbeništvo, energija in promet. Posebno pozornost je treba nameniti izobraževanju učiteljev in vseživljenskemu učenju. Vsebina izobraževanja za trajnostni razvoj pa mora vključevati vprašanja, kot so: trajnostna raba energije in prometnih sistemov, trajnostni vzorci porabe in proizvodnje, zdravja, mediji in odgovorno (svetovno) državljanstvo, pa tudi vprašanja enakih možnosti, znanje informacijskih in komunikacijskih tehnologij ter regionalne razlike.

Okoljska vzgoja s svojim konceptom očitno ni zadovoljivo opravila svoje naloge in netrajnostni vzorci obnašanja so se še naprej prevladujoče uveljavljali v življenju. Od izobraževalnega sistema in usposabljanja v posameznih državah se sedaj pričakuje, da bo z novim konceptom vzgoje in izobraževanja za trajnostni razvoj ta bolj uspešen v bitki spreminjanja netrajnostnih vzorcev obnašanja.

Iz tega pregleda nekaterih strateških dokumentov o vzgoji in izobraževanju za trajnostni razvoj (VITR), ki so nastajali od leta 2004 najprej, in sicer najprej pri Organizaciji Združenih narodov za izobraževanje, znanost in kulturo, pa potem znotraj Ekonomske komisije OZN za Evropo, skoraj sočasno tudi znotraj EU in leta 2007 še v Sloveniji znotraj Ministrstva za šolstvo in šport, lahko sklenemo, da je trajnostni razvoj kot razvojni koncept postal tudi znotraj izobraževalnih strategij nosilni koncept, da je vzgoja in izobraževanje za trajnostni razvoj planetarni projekt, ki ni več preprosto prepuščen le nacionalnim državam in njihovi sposobnosti vsebinske operacionalizacije in implementacije, da se s tem oblikuje sicer večnivojska, toda kljub vsemu planetarna ideologija trajnostnega razvoja, ki se jo prek izobraževalnih strategij uveljavlja v nacionalnih izobraževalnih sistemih, kjer naj bi se prek primarne in sekundarne socializacije, ki poteka znotraj teh izobraževalnih sistemov, pri mladi generaciji ponotranjila in tako naj bi se, dolgoročno gledano, v družbi vzpostavili bolj trajnostni vzorci obnašanja.

Vzgoja in izobraževanje za trajnostni razvoj s prioritetskimi področji, kot so zapisani v strateških dokumentih OZN, EU in nacionalnih držav, ima na tej stopnji ekonomskega in družbenega razvoja, na kateri ni več mo-

goče v konceptu razvoja spregledati okoljske dimenzije, jasno mesto in igra pomembno vlogo pri reprodukciji produkcijskih razmerij, kar je zelo jasno izraženo predvsem v nadnacionalnih dokumentih.

## *II. del*

Pri branju omenjenih strateških dokumentov se vsiljuje predstava, da so dokumenti pisani v istem konceptualnem okviru in da so ključni pojmi, kot so vzgoja in izobraževanje in seveda tudi trajnostni razvoj, enoznačni in neproblematični. Njihovo citiranje in deduktivno nanašanje to prepričanje le še utrjuje. Pa je temu res tako?

Naj si za ilustracijo pogledamo le nekatera mesta v teh dokumentih. Če primerjamo Strategijo vzgoje in izobraževanja za trajnostni razvoj (UNECE) in Smernice, ki jih je oblikovalo Ministrstvo za šolstvo in šport, je razlika opazna: zakonitost je spremenjena v pravičnost, zdravje v zdravstvo, enakopravnost med spoloma v enakost spolov, gospodarjenje z naravnimi viri ter biološka in krajinska raznovrstnost v upravljanje naravnih virov ter biotsko in pokrajinsko raznovrstnost. S temi premenami v poimenovanju področij se zgodijo tudi vsebinski pomiki, izstopijo drugi poudarki ipd., ki seveda preusmerjajo tudi miselne, pa ne nazadnje tudi finančne tokove, ki potem narejene vsebinske pomike dodatno okrepijo.

Drug primer se nanaša na prioriteta področja, ki so zapisana v Smernicah ministrstva. V ospredju so spoštovanje občečloveških vrednot, medkulturni dialog in jezikovna raznovrstnost, krepitev zdrave samozavesti in samopodobe, kakovostni medosebni odnosi, razvoj socialnih kompetenc (nenasilje, strpnost, sodelovanje, spoštovanje itd.), kakovostno izobraževanje – spodbudno delovno in učno okolje, spoznavanje različnih področij kulture in spodbujanje ustvarjalnosti in dejavnosti, zdrav življenjski slog (duševno in telesno zdravje), kakovostno preživljanje prostega časa ter ne nazadnje ohranjanje narave in varovanje okolja (ekološka ozaveščenost in odgovornost), dejavno državljanstvo in participacija, razvijanje podjetnosti kot prispevka k razvoju družbe in okolja.

Iz te prioritete je razvidno vsaj to, da je ohranjanje narave in varovanje okolja sicer omenjeno, je pa zoženo na ekološko ozaveščenost in odgovornost. Okolje pa je omenjeno tudi v kontekstu razvijanja podjetnosti, pri čemer se z razvijanjem podjetnosti prispeva tako k razvoju družbe

kot tudi k razvoju okolja. Tu ni več zaslediti potrošnje in potrošništva kot prioritetnega področja v vzgoji in izobraževanju za trajnostni razvoj.

Iz povedanega lahko sklenemo, da se Strategija vzgoje in izobraževanja za trajnostni razvoj ne le besedno, temveč tudi pomensko razlikuje od Smernic, ki jih je pripravilo Ministrstvo za šolstvo in šport. Čeprav se slednje sklicuje na Startegijo, pa si vendarle ohrani toliko intervencijske avtonomije, da se pod videzom deduktivne identičnosti (Smernice so le implementacijski akt Strategije) vpeljuje konceptualna razlika.

Iz politološkega zornega kota lahko pluralnost opredelitev trajnostnega razvoja pojasnimo s pojmom razmerja političnih moči. Tu se jasno vidi, da lahko javna oblast na določeni ravni, ko sprejema razvojne in strateške odločitve, na videz ohranja, dejansko pa spremeni konceptualno osnovo. Sprejete odločitve se mora na tak ali drugačen način legitimirati. Pri tem lahko vedno znova vpeljuje manjše ali bolj korenite vsebinske modifikacije oz. reinterpretacije pojma npr. trajnostnega razvoja, v katerem pa okolje dobi bolj ali manj pomembno težo. Pri tem igrajo ključno vlogo interesi, vrednote in vrednotna hierarhija, vizije, prepričanja ipd. tistih, ki so vključeni v komunikacijski in odločevalski proces. Zato ni naključje, da prihaja v političnih diskurzih do izraza nešteto opredelitev npr. trajnostnega razvoja. S tem pojmom se srečujemo vsak dan in nas begajo, saj ne vemo, katera opredelitev je prava oz. pravilna. Podobno nelagodnost čutimo tudi ob drugih pomembnih pojmih v političnih diskurzih.

### III. del

V nadaljevanju želimo pokazati, da dobiva koncept trajnostnega razvoja predvsem v fazi implementacije različne predelave in modifikacije, ki so odvisne predvsem od razumevanja trajnostnega razvoja in razmerja moči akterjev, ki so vključeni v komunikacijski in odločevalski proces sprejemanja dokumenta, kar se je zgodilo tudi v primeru VITR v Sloveniji.

V navidezni zmešnjavi opredelitev trajnostnega razvoja so nekateri avtorji iskali izhod v klasifikaciji in skušali na neki način neskončno število opredelitev trajnostnega razvoja razvrstiti v idealne tipe in pokazati na njihovo konceptualno sorodnost oziroma različnost. V nadaljevanju

bomo povzeli klasifikacijo več avtorjev Baker, Richardson, Kousis, Young, Liberatore (v Baker et al., 1997), ki so oblikovali štiri idealnotipske modele trajnostnega razvoja, od popolnoma netrajnostnih praks do polnega trajnostnega razvoja, med obema skrajnima točkama pa razpon prehoda, v katerega je mogoče analitično umestiti katero koli interpretacijo trajnostnega razvoja, s katero se legitimirajo posamezne razvojne in strateške odločitve.

#### Prvi model: Zelo šibka trajnost (model globalnega trga)

Model zelo šibke trajnosti ponazarja skrajno točko netrajnostnih praks na kontinuumu trajnostnega razvoja. Temelji na predpostavki, da zaloge človeškega in naravnega kapitala ostajajo ves čas neomejene. Naravno okolje, ki je v tem pristopu le v funkciji zagotavljanja virov, potrebnih za poganjanje ekonomskega sistema, je popolnoma ekonomsko izmerljivo. V tem pristopu ni govora o družbeni enakosti, saj temelji na individualiziranem posamezniku, ki se mora sam znajti v ekonomskem in družbenem sistemu. Trajnostni razvoj je sinonim za ekonomsko rast, ki je merjena le z zviševanjem BDP-ja, saj se razvoj enači z njegovo rastjo. V težnji po maksimizaciji produkcije in ekspanziji posameznih ekonomij, lokalnih in nacionalnih, je tehnologija tista, ki je sposobna rešiti kateri koli okoljski ali tehnični problem. Prav tako kot ekonomski so tudi politični instrumenti usmerjeni predvsem v maksimizacijo produkcije in rasti. Ta pristop, ki ga poganja le imperativ produkcije brez kakršnega koli ozira na okoljske posledice, zadovoljuje ekonomske potrebe samo dela sedanje generacije. Zaradi politične moči, ki jo ima ta del sedanje populacije, bo zadovoljeval ekonomske potrebe samo dela prihodnjih generacij.<sup>4</sup>

#### Drugi model: Šibka trajnost

Model šibke trajnosti temelji na podmeni, da je obstoječi politični in ekonomski sistem sposoben rešiti vse okoljske probleme inkrementalno z uvajanjem načel in standardov, ne pa s korenitimi reformami. Zanj je značilen tudi utilitaristični pogled na živi in neživi svet narave, ki nima notranje vrednosti, zato je njegova zaščita omejena le na to, ali ohranitev določene vrste/vira prispeva k neposredni ekonomski koristi ali k neposredni koristi ohranjanja eko-

<sup>4</sup> Vprašanje je, ali tiste koncepte, ki okolja ne vzamejo vsaj kot minimalni element pri koncipiranju razvoja, sploh lahko uvrstimo med tipe trajnostnega razvoja. Ali ne gre v tem primeru za ideološko operacijo preimenovanja starih razvojnih modelov samo zato, da bi dobili sprejemljivejšo oznako in tako lažje opravljali legitimacijsko vlogo?

loškega sistema (Muschett, 1997: 11), vendar gre po večini še vedno za substitucijo naravnih virov, ne usmerja pa se v njihovo zmanjševanje porabe. Namen tega pristopa je povezati kapitalistično rast s skrbjo za okolje. Ta pristop je blizu neoklasičnemu ekonomskemu pogledu na reševanje okoljskih problemov. Prednostni cilj politik je še vedno ekonomska rast, zato so okoljski problemi izpostavljeni prek postopka ocenitve škode v okolju, ki jo je mogoče učinkovito omiliti s t. i. tehnologijami „na-koncu-pipe“. To je mogoče zato, ker je po tem pristopu okolje popolnoma ekonomsko merljivo, v njem pa ne prepozna njegove polne vrednosti, npr. v kulturnem, zdravstvenem in duhovnem pogledu. Trg že delno upošteva okoljsko politiko, to pa se kaže tudi v spremembah vzorcev porabe. Okolje je potisnjeno v sektorsko politiko, ki se formalno sicer povezuje, vendar visokosektorski pristop v resnici onemogoča učinkovito transsektorsko povezovanje z drugimi politikami. Prav tako je družbena enakost v tem modelu le postransko politično vprašanje. Blaginja razvoja je namenjena samo delu sedanjih generacij. Ker okoljsko upravljanje največkrat ignorira ali podcenjuje izkušnje lokalnega prebivalstva, politični odločevalci marsikdaj prevzemajo tveganje za neustrezne rešitve okoljskih problemov.

### **Tretji model: Močna trajnost**

V nasprotju z modelom šibke trajnosti, po katerem je ključni pogoj za ohranitev okolja in družbene enakosti ekonomski razvoj, za model močne trajnosti velja, da ohranitev in razvoj okolja ter izboljševanje razmer na področju družbene enakosti potekajo sočasno z ekonomskim razvojem. V tem modelu se vse tri dimenzije koncepta trajnostnega razvoja razvijajo v medsebojni odvisnosti. Pozicija močnega trajnostnega razvoja zagovarja takšne razvojne politike, ki jih vodijo imperativ razvoja in ohranitve okolja, transsektorsko povezovanje in zavezujoči mednarodni sporazumi. Močna trajnost se opira na široko razumevanje načela previdnosti. Kadar je le mogoče, je treba uporabo neobnovljivih naravnih virov nadomestiti z obnovljivimi, za takšne prakse pa je treba razviti učinkovito okoljsko upravljanje. Tak pristop zahteva tržno regulacijo in državno intervencijo z uporabo širokega spektra mehanizmov, ki naj bi vplivali na spremembe v ravnanjih in vedenju tako gospodarstva kot posameznikov. Na področju okolja to pomeni ustrezno pravno ureditev, načrte za uporabo zemljišč, finančne spodbude in ekonomske instrumente, kot so ekodavki, nadomestila za onesnaževanje, dovoljenja, subvencije in različni skladi, ter ozaveščanje in s tem spodbujanje sprememb v vedenju in ravnanju. Pogled sodobne okoljske ekonomije v tem pristopu

zavrača ugotovitve neoklasične ekonomije, da so stroški in koristi ekonomsko izračunljivi in merljivi ter da jih je mogoče izraziti v denarju. Kot pravi Munda (v Baxter, 1999: 109), obstajajo določeni naravni viri, ki so zaradi svojih značilnosti ključni za zdravje biosfere in tako nezamenljivi s sredstvi človekove produkcije in tehnologije, zato je treba razviti nedenarne kazalnike okoljske trajnosti. Prav tako po tem modelu niso sprejemljive vse tehnologije, saj je pomemben vpliv, ki ga imajo na okolje, zato spodbuja le razvoj čistih tehnologij. Kljub temu da je ekonomska rast še vedno pomembna, pa je manj poudarka na kvantitativni rasti. Razvoj v to smer, pravi Dryzek (v Baxter, 1999: 109), lahko postopno privede do odpiranja prostora za radikalnejšo ekološko prestrukturiranje kapitalizma, ki si prizadeva tudi za implementacijo okrepljene politike distribucije, torej tudi za izboljšanje in zmanjšanje družbene neenakosti.

### **Četrty model: Zelo močna trajnost (idealni model trajnostnega razvoja)**

Zelo močna trajnost se izenačuje z radikalnimi oblikami ekologizma in globoke ekologije. Ta pristop ponuja temeljito strukturno spremembo v družbi, ekonomiji in političnem sistemu, ki se kaže v radikalni spremembi odnosa človeštva do okolja. Poudarja obliko čistega trajnostnega razvoja, po kateri človeštvo prav toliko vrne v ekosistem, kot iz njega vzame, hkrati pa si prizadeva za povečanje in zaščito biotske raznovrstnosti. V tem pristopu ni skupne rasti v kvantitativnem pomenu, kot je tradicionalno merjena, ker človeštvo živi znotraj okoljskih omejitev – bolj je merjena s kakovostjo življenja kot pa z življenjskim standardom. Ekonomija in politika temeljita na holističnem medsektorskem povezovanju in zavezujočih mednarodnih konvencijah. Ta pogled je ekocentričen, ker ne upošteva samo človeštva, ampak vse življenje na Zemlji. Pomembni sta tako intergeneracijska kot intrageneracijska enakost. Živemu in neživemu svetu je pripisana intrinzična vrednost, ki je neodvisna od pripoznanja človeštva. Poudarja družbeno dimenzijo razvoja, v kateri je posebno mesto namenjeno delu, ki je usmerjeno v skupnostno temelječe neprofitne organizacije. Idealni model trajnostnega razvoja v svoji radikalni poziciji ni samo skrajna točka kontinuuma koncepta trajnostnega razvoja, ampak tudi nova ekološki razvojna paradigma.

Na teh nastavkih bi lahko analitično ugotovili, kateri idealnotipski koncept trajnostnega razvoja se je uveljavil v zgoraj navedenih dokumentih vzgoje in izobraževanja za

trajnostni razvoj. Brez natančne analize pa lahko domnevamo, da so se v zgoraj omenjenih dokumentih uveljavljali različni koncepti trajnostnega razvoja in na temelju znamenj lahko rečemo, da ima predvsem prvi veliko podporo pri sedanji politični eliti v EU in v Sloveniji. Na temelju teh razlik in razpok, ki so nastale znotraj planetarne ideologije trajnostnega razvoja, lahko upravičeno domnevamo, da bo na nacionalnih ravneh pač glede na koncept trajnostnega razvoja tudi različen uspeh pri uveljavljanju trajnostnih oz. netrajnostnih vzorcev obnašanja.

### Sklepna misel

Na koncu naj poudarimo, da se je v strateških dokumentih vendarle prevladujoče uveljavila ena opredelitev trajnostnega razvoja; vedno se uveljavi le ena sama, ki ima hegemonski položaj, položaj, da določi okvire, znotraj katerih se bodo gibali mentalni in finančni viri neke družbe. Ta opredelitev se praviloma v strateških dokumentih ne problematizira in je odvisna od razmerja političnih moči akterjev, ki so bili pripuščeni oz. vpoklicani v komunikacijski in odločevalski proces.

### Viri

- Baker S., Kousis M., Richardson D., Young S. (1997): Introduction: the theory and practice of sustainable development in EU perspective. V: Baker S., Kousis M., Richardson D., Young S. (ur.): *The politics of sustainable development: Theory, policy and practice within the European Union*. Routledge, London in New York, str. 1–40.
- Baxter B. (1999): *Ecologism: An Introduction*. Georgetown University Press, Washington, D.C.
- Carter N. (2001): *The Politics of the Environment: Ideas, Activism, Policy*. Cambridge University Press, Cambridge.
- European Commission (2002): *Choices for a greener future. The European Union and the environment*. Office for Official Publications of the European Communities, Luksemburg.
- Evropska komisija (2004): *Poročilo Komisije spomladanskemu Evropskemu svetu. Predstavitev lizbonskih reform za razširjeno Evropo*. KOM(2004) 29. Urad za uradne publikacije Evropskih skupnosti, Luksemburg.
- European Commission (2005): *Communication from the Commission to the Council and the European parliament. The 2005 review of the EU Sustainable development Strategy: Initial stocktaking and future orientations*. COM(2005) 37 final. Office for Official Publications of the European Communities, Luksemburg.
- European Commission (2005): *Communication from the Commission to the Council and the European parliament. On the review of the Sustainable development Strategy. A platform for action*. COM(2005) 658 final. Office for Official Publications of the European Communities, Luksemburg.
- Evropska komisija (2005): *Sporočilo spomladanskemu evropskemu svetu. Sporočilo predsednika Barrosa v dogovoru s podpredsednikom Verheugnom. Skupna prizadevanja za gospodarsko rast in nova delovna mesta – nov začetek za lizbonsko strategijo*. COM (2005) 24. Urad za uradne publikacije Evropskih skupnosti, Luksemburg.
- Evropska komisija (2005): *Sporočilo Komisije Svetu in Evropskemu parlamentu. Skupni ukrepi za rast in zaposlovanje: lizbonski program skupnosti*. KOM (2005) 330 končno. Urad za uradne publikacije Evropskih skupnosti, Luksemburg.
- Evropska komisija (2005): *Sporočilo Komisije Svetu in Evropskemu parlamentu. Skupna prizadevanja za gospodarsko rast in nova delovna mesta. Nov začetek za Lizbonsko strategijo*. Urad za uradne publikacije Evropskih skupnosti, Luksemburg.
- European Environmental Bureau (2005): *EEB Position paper for the spring Summit: "Lisbon" Needs A Strong Environmental Dimension*. EEB (2005) 180205 final.
- Evropska komisija (2006): *Sporočilo Komisije Svetu in Evropskemu parlamentu. Pregled okoljske politike za leto 2005*. KOM(2006) 70 končno. Urad za uradne publikacije Evropskih skupnosti, Luksemburg.
- Galić B. (2002): Politička ekologija i zelena politika. *Socijalna ekologija* 11(1-2): 1–14.
- Kassiola J. J. (2003): Introduction and Overview: The Nature of Environmental Political Theory. V: Kassiola J. J. (ur.): *Explorations in Environmental Political Theory: Thinking About What We Value*. M.E. Sharpe, Armonk, New York, London, str. 3–13.
- Lukšič A. A. (2005): Modificiranje in odpiranje okoljskih političnih aren. *Časopis za kritiko znanosti* XXXIII, 219: 91–107.
- Lukšič A., Bahor M. (2007): Trajnostni razvoj v luči Lizbonske strategije in njene revizije. V: Lukšič A., Plut D. (ur.): *Zbornik Okoljske akademske mreže, številka 1, letnik 2007 : zbornik člankov in prispevkov prvega srečanja Okoljske akademske mreže*. Fakulteta za družbene vede, Ljubljana, str. 27–42. [http://dk.fdv.uni-lj.si/eknjige/Zbornik\\_OAM\\_2007.pdf](http://dk.fdv.uni-lj.si/eknjige/Zbornik_OAM_2007.pdf).

- Meadowcroft J. (1999): The Politics of Sustainable Development: Emergent Arenas and Challenges for Political Science. *International Political Science Review* 20(2): 219–237.
- Muschett F. D. (1997): An Integrated Approach to Sustainable Development. V: Muschett D. F. (ur.): *Principles of Sustainable Development*. St. Lucie Press, str. 1–45.
- Naess A. (1997): Sustainable development and the deep ecology movement. V: Baker S., Kousis M., Richardson D., Young S. (ur.): *The politics of sustainable development: Theory, policy and practice within the European Union*. Routledge, London in New York, str. 61–71.
- Zimmerman M. E. (2003): On Reconciling Progressivism and Environmentalism. V: Kassiola J. J. (ur.): *Explorations in Environmental Political Theory: Thinking About What We Value*. M.E. Sharpe, Armonk, New York in London, str. 149–177.

## NAPAČNE IN NEPOPOLNE PREDSTAVE O ŽIVIH SISTEMIH

### Barbara Vilhar

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Večna pot 111, 1000 Ljubljana; e-naslov: barbara.vilhar@bf.uni-lj.si

---

*Dr. Barbara Vilhar je predavateljica biologije rastlin na Oddelku za biologijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Pri poučevanju na univerzi se veliko srečuje s študenti prvega letnika biološko usmerjenih študijev, ki so pred kratkim zapustili srednješolske klopi, kar jo je vzpodbudilo, da se je v zadnjem času več ukvarjala tudi s problemi biološkega izobraževanja v osnovni in srednji šoli. Je soavtorica posodobljenih učnih načrtov za biologijo, vodila je projekt Znanost gre v šolo, namenjen posodobitvi praktičnih aktivnosti pri pouku biologije v gimnaziji, ureja pa tudi spletne strani Zeleni škrat, namenjene preganjanju rastlinske slepote.*

### Izyleček

Posodobitev biološkega izobraževanja temelji na premiku od opisovanja pojavov in učenja pretežno nepovezanih podatkov na pamet proti celostnemu razumevanju delovanja narave, ki ga je treba pri učencih začeti razvijati že zgodaj v procesu izobraževanja in nato postopno nadgrajevati. Ta premik od učitelja zahteva spremembo njegovega razmišljanja o biologiji ter večjo pozornost pri identifikaciji in odpravljanju napačnih in nepopolnih predstav, ki ovirajo postopno izgradnjo mreže znanja pri učencih. Dodatni izziv za učitelje predstavlja nujnost obravnavanja aktualnih družbenih tem, ki pogosto izhajajo iz nedavnih novih znanstvenih spoznanj (npr. gensko spremenjeni organizmi, kloniranje, človekovi vplivi na ekosisteme), hkrati pa obsegajo poleg naravoslovnih tudi družboslovne vidike. Zaradi zahtevnosti posodobitve biološkega izobraževanja moramo učiteljem biologije zagotoviti kakovostno, dolgoročno in vsestransko podporo.

## MISCONCEPTIONS ABOUT LIVING SYSTEMS

### Barbara Vilhar

University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Biology, Večna pot 111, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; barbara.vilhar@bf.uni-lj.si

---

*Dr. Barbara Vilhar is a lecturer of plant biology at the University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Biology. During her university teaching, she meets predominantly first-year students of biology-oriented studies, which has motivated her to get involved in biology education from primary to secondary school. She is a co-author of the new biology curriculum for primary and secondary schools and she led the project Znanost gre v šolo (Science goes to School), aiming to modernise practical activities in secondary school biology. She is the editor of the web site Zeleni škrat (The Green Dwarf) dedicated to popularisation of plant biology.*

### Abstract

Modern biology education requires a shift from description of phenomena and rote learning of fragmented facts toward an integral conceptual understanding about the functioning of nature. The development of conceptual understanding in students should start early and then be upgraded and complemented in higher grades. This new approach to education depends upon a change in the way that teachers think about biology. Teachers should also address misconceptions commonly held by students, since incorrect notions interfere with the gradual construction of conceptual understanding. An additional challenge for the teachers is the need to address socially important topics, which often encompass very recent scientific discoveries (e.g. genetically modified organisms, cloning, human impact on ecosystems) as well as aspects related to social sciences. Teachers need adequate long-term support to accomplish these essential changes in biology education.

### **Sodobni pristop k poučevanju biologije**

Naravoslovno izobraževanje je v zadnjem času doživelo korenite spremembe, katerih srž je premik od fragmen-tiranega znanja in učenja na pamet proti celostnemu razumevanju delovanja narave, ki ga je treba pri učencih začeti razvijati že zgodaj v procesu izobraževanja in nato postopno nadgrajevati (American Association for the Advancement of Science, 1993; National Research Council, 1996; Department for Education & Qualifications and Curriculum Authority, 2004; Millar, 2005; Tanner in Allen, 2005; Löfgren in Hellden, 2007).

Pri teh spremembah biologija kot ena izmed treh temeljnih naravoslovnih ved, poleg fizike in kemije, ni nobena izjema, ampak prej tista veda, pri kateri so velike vsebinske spremembe najbolj nujne. Biologija namreč preučuje žive sisteme, ki so izjemno kompleksni in obsegajo več ravni organizacije. Še do nedavnega za preučevanje takšnih sistemov nismo imeli ustreznih orodij, zato je bila biologija v veliki meri opisna (deskriptivna) znanost. Za odkrivanje zakonitosti v kompleksnih živih sistemih so namreč potrebne velike količine informacij, in dokler teh informacij ni bilo na voljo, se bioloških zakonitosti ni dalo eksplicitno formulirati. Šele v zadnjih desetletjih je količina novega biološkega znanja, podprta s sodobno tehnologijo, omogočila temeljitejši uvid v splošne biološke zakonitosti, ki jih imenujemo tudi biološki koncepti. Hkrati biološko znanje postaja vse pomembnejše za sprejemanje osebnih in družbenih odločitev. Biološko izobraževanje je tako na pomembni prelomnici, ko se odloča o tem, katere države bodo dovolj hitro ukrepale in svoje državljane usposobile za aktivno državljanstvo in družbo znanja v 21. stoletju in katere države bodo začele zaostajati za svetovnim razvojem.

### **Celostno razumevanje biologije**

Bistvena novost v sodobnem biološkem izobraževanju je velik premik od deskriptivnosti oz. faktografskega učenja proti celostnemu razumevanju bioloških konceptov in povezav med njimi. Vendar pa je ta premik, ki bolj kot na učiteljevem pridobivanju novega znanja temelji na spremembi njegovega razmišljanja o biologiji, dokaj zahteven (Tanner in Allen, 2005). Vsekakor je velik problem dejstvo, da so bile generacije, ki so danes učitelji na različnih stopnjah izobraževanja, poučevane na star, pretežno deskriptiven način, pri katerem je biološko znanje v veliki meri temeljilo na pomnjenju velike količine podatkov.

Temelj za celostno razumevanje biologije je postopna izgradnja mreže biološkega in naravoslovnega znanja skozi vso izobraževalno vertikalo, od vrta prek osnovne in srednje šole do univerze. Nov pristop k biološkemu izobraževanju temelji na dveh dejavnikih: 1) izboru temeljnih bioloških konceptov, ki sodijo v splošno izobrazbo, in 2) vzpodbujanju razumevanja povezav med njimi. Težavnost tega zasuka v biološkem izobraževanju ilustrira dejstvo, da se danes celo strokovnjaki na najuglednejših svetovnih univerzah ukvarjajo s sestavljanjem seznamov pomembnih bioloških konceptov, ki služijo kot pripomoček za spremembo biološkega izobraževanja na univerzitetni ravni (Khodor in sod., 2004). Seveda tudi učitelji na nižjih stopnjah izobraževanja potrebujejo podobne pripomočke, pri čemer so posebej uporabne konceptualne karte, ki hkrati prikazujejo koncepte in povezave med njimi (Kinchin, 2001; Novak, 2004). V ZDA so izdali celo Atlas naravoslovne pismenosti v dveh delih, ki s konceptualnimi kartami prikazuje postopno izgradnjo mreže naravoslovnega znanja od male šole do konca srednje šole (American Association for the Advancement of Science, 2001b, 2007). Tudi v naših posodobljenih učnih načrtih so kot vodilo za učitelja prikazane poenostavljene konceptualne karte (Vilhar in sod., 2008 b, c, d; opomba: konceptualna karta za biološke vsebine pri predmetu naravoslovje v 6. in 7. razredu osnovne šole je prikazana v učnem načrtu za predmet biologija v 8. in 9. razredu osnovne šole).

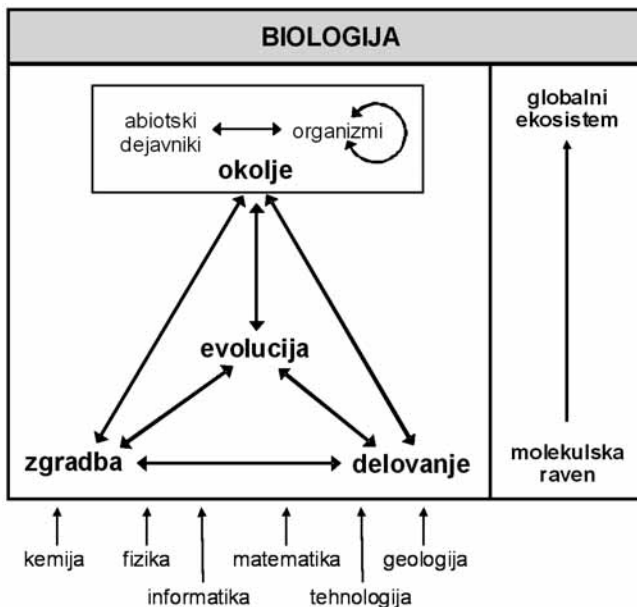
### **Kaj so živi sistemi**

Sodobna biologija je znanost o živih sistemih (biosistemih), ki živo naravo obravnava sistemsko, povezano, celostno. Med žive sisteme uvrščamo celico, organizem, ekosistem in biosfero. Ti živi sistemi pripadajo različnim ravnam organizacije živega. Živi sistemi so zgrajeni iz različnih gradnikov (elementov), ki so med seboj povezani in vplivajo drug na drugega. Celica je tako zgrajena iz organelov, organizem iz organov, ekosistem iz abiot-skih in biotskih gradnikov oz. dejavnikov.

Živi sistemi imajo posebne lastnosti. Pri celici in organizmu so to na primer presnova, pretvarjanje energije, regulacija, izražanje genetske informacije. Celica in organizem sta povezana s svojim okoljem. Med posebne lastnosti ekosistema in biosfere sodijo medsebojne povezave in vplivi med živo in neživo naravo, pretok energije in kroženje snovi. Posebnost živih sistemov je tudi njihova velika raznolikost, ki temelji na genetskih in okoljskih vplivih, ter s tem povezan osebni in evolucijski razvoj

oz. spreminjanje živih sistemov skozi čas (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 2005).

V živih sistemih obstaja tesna povezava med njihovo zgradbo (strukturo) in delovanjem (funkcijo). Ne glede na to, ali obravnavamo biomolekulo ali organizem ali ekosistem, v vsakem primeru te stvari obstajajo nekje v »naravi« oz. okolju, kjer se udejanjajo zapleteni odnosi med organizmi in interakcije organizmov z okoljem. Tako posamezno strukturo kot posamezno funkcijo organizma lahko pogosto povežemo z njegovo prilagoditvijo na okolje, pri čemer okolje predstavljajo tako abiotski kot tudi biotski dejavniki. Osrednji koncept, ki razloži povezave med zgradbo, delovanjem in okoljem, je evolucija z naravnim izborom. Evolucija z naravnim izborom je hkrati tisti koncept, ki razlikuje biologijo od drugih naravoslovnih ved. Tak pristop k razumevanju živih sistemov smo biologi na pobudo Sekcije za biološko izobraževanje Društva biologov Slovenije opisali v izhodiščih za pouk biologije na vseh stopnjah izobraževanja in prikazali na shemi (slika 1), ki je vključena tudi v posodobljene učne načrte za biologijo.



**Slika 1:** Prikaz celostnega poučevanja biologije na vseh stopnjah izobraževanja. Slika je bila objavljena v Vilhar (2007).

**Razumevanje naravnih pojavov je pomembnejše od vpeljevanja novih strokovnih izrazov in definicij**  
Eden od izzivov sodobnega naravoslovnega izobraževa-

nja je premik poudarka od učenja novih strokovnih izrazov proti razumevanju naravnih pojavov. Pri tem je med naravoslovnimi vedami ravno biologija zaradi svoje do nedavnega pretežno deskriptivne naravnosti najbolj obremenjena z množico strokovnih izrazov. Premik poudarka poučevanja od naštevanja pojmov in definicij proti razumevanju ni preprost. Po eni strani so mnogi učitelji dolga leta pri poučevanju uporabljali številne strokovne izraze in si težko predstavljajo, kako bi vsebina pouka izgledala brez njih. Po drugi strani pa so problem tudi sami učenci, predvsem starejši, ki so skozi leta neustreznega izobraževanja prišli do sklepa, da je učenje besed in stavkov na pamet isto kot razumevanje konceptov. Splošno razširjeno nagnjenje učencev, da ne dojemajo razlike med pomnjenjem in razumevanjem, je lahko za učitelja dodatna vzpodbuda, da izboljša sposobnost svojih učencev za učenje vsebine in s tem pri njih doseže trajnejše in uporabnejše znanje (American Association for the Advancement of Science, 2001a).

Splošni kriterij za uvajanje novih strokovnih izrazov je njihov pomen za vzpodbujanje razmišljanja in za učinkovito sporazumevanje. Znanje določenih strokovnih izrazov je nujno, da lahko učenci razmišljajo in razpravljajo o naravnih pojavih ter razvijajo sposobnost za jasno in jedrnatno izražanje. Vpeljava novega strokovnega izraza je smiselna, kadar se ideja, ki jo ta izraz opisuje, pogosto pojavlja v nadaljnjem izobraževanju. Ravno tako je pomembno, da se učenci naučijo strokovne izraze, ki se pogosto uporabljajo v vsakdanjem življenju in v javnih občilih. Vsekakor pa morajo učenci vedno dobro razumeti pomen strokovnih izrazov, ki jih uporabljajo.

Vpeljevanje novih izrazov je nadgradnja osnovnega razumevanja naravnih pojavov. Pretirano poudarjanje pomena strokovnih izrazov učenje namreč oddaljuje od razumevanja. Poleg tega je pri tem naravoslovna znanost pri pouku napačno predstavljena kot učenje »pomembnih, zapletenih besed« in ne kot postavljanje vprašanj o delovanju sveta in iskanje odgovorov nanje (American Association for the Advancement of Science, 2001a).

Zanimiv pristop k preverjanju, kaj so se učenci dejansko novega naučili oz. ali novo snov tudi razumejo, opisuje Richard Feynman, Nobelov nagrajenec za fiziko in legendarni učitelj. Feynman je svoje študente po predavanju prosil, da s svojimi besedami in brez uporabe novih



pojmov, ki so se jih ravnokar naučili, razložijo, kaj so se novega naučili (Feynman, 1968).

V skladu z opisanim pristopom k naravoslovnemu izobraževanju posodobljeni učni načrti za biologijo ne vsebujejo več seznama pojmov, ki jih mora učenec znati (Vilhar in sod., 2008 a, b, c, d). Vpeljevanje novih strokovnih izrazov je prepuščeno učiteljevi avtonomni strokovni presoji.

Posebno težavo pri premiku naravoslovnega izobraževanja od naštevanja pojmov in definicij proti razumevanju naravoslovnih konceptov predstavlja preverjanje znanja, tako s strani samega učitelja kot na nacionalni ravni. Od učencev bi morali predvsem zahtevati, da razložijo, kako si naravoslovne koncepte in povezave med njimi predstavljajo, ne pa samo tega, da znajo izbrati pravo besedo (American Association for the Advancement of Science, 2001a).

Naj navedem dva primera, ki kažeta na nevarnost, da se navajanje izrazov in definicij zamenja za pravo razumevanje. Na vprašanje, kakšna je funkcija jedra v celici, skoraj vsi študenti 1. letnika znajo odgovoriti, da jedro regulira delovanje celice ali da jedro regulira vse procese v celici. Vendar pa študenti naletijo na težave, ko je treba samostojno in brez podvprašanj razložiti, kako ta regulacija dejansko poteka. Pri tem imajo vsaj osnovno znanje o izražanju genov in pomenu beljakovin za delovanje celice, vendar tega znanja ne znajo smiselno povezati z definicijo funkcije jedra, ki jo znajo na pamet. Drug primer je vprašanje o tem, kako poteka delitev celice, pri čemer je v navodilih pri vprašanju posebej navedeno, da odgovor ne sme vsebovati strokovnih izrazov za faze mitoze (npr. anafaza). Odgovor študentom povzroča precej težav. Pogosto študenti kot oporo za pisanje odgovora napišejo strokovne izraze za faze mitoze na rob lista, njihova razlaga pa ni celovita, logična in povezana. Takšen odziv študentov kaže, da se pri študiju predvsem osredotočajo na strokovne izraze, pri čemer si celične delitve ne predstavljajo kot celovitega procesa, ki se ga da tudi razumeti, ampak svoje znanje po nepotrebnem »predalčkajo«.

### **Napačne in nepopolne predstave kot ovira pri nadgrajevanju znanja**

Globoko razumevanje bioloških konceptov temelji na pripravljenosti učencev, da nove razlage o delovanju živih sistemov sprejmejo za svoje in jih vgradijo v že

obstoječo mrežo predstav. Pri tem je učinkovitost učenja nove snovi močno povezana z njihovim predhodnim znanjem (McComas, 2002), njihove predhodne napačne in nepopolne predstave pa so pogosto ovira pri razumevanju novih vsebin. Zato je pomembno, da učitelj pred razlago nove vsebine in po njej preveri, kaj si učenci dejansko predstavljajo. Brez sprotnega odpravljanja napačnih predstav namreč razumevanje naravoslovnih pojavov ni mogoče; učenci z napačnimi predstavami se obravnavajo snov učijo na pamet. Takšno znanje je kratkotrajno in predvsem ni prenosljivo in uporabno v novih situacijah (Yip, 2001; Tanner in Allen, 2005).

Napačne predstave učencev izvirajo iz različnih osebnih izkušenj, vključno z lastnim opazovanjem in nekritičnim sprejemanjem razlag, ki jih prejmejo v domačem okolju, iz interakcij s sovrstniki in iz neustrezne uporabe znanstvenih izrazov v vsakdanjem življenju. Pogosto je vir napačnih predstav pouk v šoli – neustrezna učiteljeva razlaga in strokovno nekorektno ali zavajajoče učno gradivo (npr. učbeniki, delovni zvezki; Yip, 1998; Tanner in Allen, 2005).

V zadnjem času strokovnjaki za biološko izobraževanje precej pozornosti posvečajo konceptualni spremembi – procesu učenja, pri katerem se obstoječa učenčeva predstava o tem, kako svet deluje, spremeni in preuredi, kar pogosto vključuje premik od predhodne napačne predstave proti razlagi, ki je v skladu z mnenjem znanstvenikov (Tanner in Allen, 2005). Pri tem je ključni korak identifikacija napačnih predstav pri učencih. Raziskovalci v ta namen razvijajo ustrezna orodja (preizkuse znanja), na primer v zvezi s pomembnimi koncepti v biologiji (Biology Concept Inventory, Klymkowsky in sod., 2003; <http://bioliteracy.net/>) in v zvezi z evolucijo in naravnim izborom (Conceptual Inventory in Natural Selection, Anderson in sod., 2002). Pogosto uporabljano orodje so tudi konceptualne karte, na katerih učenci prikažejo svoje predstave o izbrani temi. S konceptualnimi kartami lahko učitelj tako identificira začetne napačne predstave učencev, kot tudi spremlja njihov napredek v smislu konceptualne spremembe (Tanner in Allen, 2005; Novak, 2005).

Zavedanje o napačnih in nepopolnih predstavah, ki jih imajo učenci, je pomembno pri načrtovanju pouka. Za vsebine, pri katerih se predstave učencev več ali manj prekrivajo z mnenjem znanstvenikov, učitelju ni treba nameniti veliko časa. Učitelj lahko tako razpoložljivi

čas preusmeri s teh »lažjih« vsebin na tiste, pri katerih se mora spopasti s trdovratnimi napačnimi prepričanji učencev, ki ne sovpadajo z znanstvenimi razlagami (Tanner in Allen, 2005). Za preseganje napačnih predstav in postopno izgradnjo mreže znanja je pomembna tudi razvrstitev snovi (zaporedje vsebinskih sklopov), ki mora učencem omogočati, da že pridobljeno znanje uporabijo za razlago novih naravnih pojavov.

Za celostno razumevanje bioloških konceptov je ključnega pomena uporaba znanja, ki ga učenci pridobijo pri pouku fizike in kemije. Na vsebinski ravni vse tri naravoslovne vede povezujejo temeljni naravoslovni koncepti, kot so snovni delci, energija in sila (tabela 1). Da bi učencem omogočili celostno razumevanje delovanja narave, morajo ti najprej doumeti temeljne naravoslovne koncepte na temelju preprostih primerov iz fizike in kemije, nato pa lahko pridobljeno vedenje uporabijo za razlago bolj kompleksnih bioloških sistemov (Department for Education & Qualifications and Curriculum Authority, 2004). Pri tem je pomembno poenotenje strokovnih izrazov, ki jih učitelji uporabljajo pri različnih naravoslovnih predmetih, in njihova dosledna in znanstveno korektna raba pri pouku. Površno sklicevanje na skupne naravoslovne koncepte pri različnih predmetih namreč lahko učence zmede in jih vodi do napačnih predstav, posledica pa je učenje na pamet, saj razumevanje v takšnih okoliščinah ni mogoče (American Association for the Advancement of Science; 1993; Millar, 2005).

**Tabela 1:** Temeljni naravoslovni koncepti in njihova umešitev v področja naravoslovja (povzeto po Brodie in sod., 2002; Department for Education & Qualifications and Curriculum Authority, 2004).

Naravoslovni koncept	Področje naravoslovja		
	Fizika	Kemija	Biologija
Snovni delci	✓	✓	✓
Energija	✓	✓	✓
Sila	✓	✓	✓
Celica			✓
Soodvisnost živih sistemov in njihova povezanost z neživo naravo			✓

### Primeri napačnih in nepopolnih predstav

Napačnih in nepopolnih predstav o živih sistemih je veliko, in to na vseh področjih biologije. Mnogo napačnih predstav učenci ohranijo celo potem, ko so se o določeni vsebini v šoli že učili.

V nadaljevanju si bomo ogledali nekaj primerov napačnih predstav, pri čemer ti primeri ne predstavljajo celovitega seznama vseh pogostih napačnih predstav. Učitelji na vseh stopnjah izobraževanja morajo posvetiti posebno pozornost preseganju napačnih predstav in preprečevanju tega, da bi bili sami vir napačnih predstav, pri čemer je posebej pomembno obdobje, ko se učenci prvič začnejo seznanjati z določenim biološkim konceptom.

### Dinamičnost, kompleksnost in soodvisnost živih sistemov

Temeljna značilnost živih sistemov je, da so dinamični, kompleksni in na mnogo načinov povezani med seboj. Živi sistem se odziva na spremembe znotraj živega sistema in v svoji okolici in ima sposobnost samoregulacije. Kljub temu da je ravno dinamičnost in spreminjanje skozi čas temeljna lastnost živih sistemov, si jih učenci pogosto predstavljajo kot statične in nespremenljive, pa naj gre za celico, organizem ali ekosistem. Takšna predstava je v najboljšem primeru nadgradljiva do predstave o živem sistemu kot stroju (mehanicistični pristop) in do iz tega izhajajoče predstave, da so živi sistemi relativno preprosti in da je njihove odzive na spremembe lahko predvideti. Če želimo preseči to napačno predstavo, moramo pri pouku biologije učence neprestano opozarjati na kompleksnost in dinamičnost živih sistemov. To pa seveda ne pomeni, da moramo snov razlagati na zapleten način ali učence po nepotrebnem obremenjevati s pomnjenjem podrobnosti.

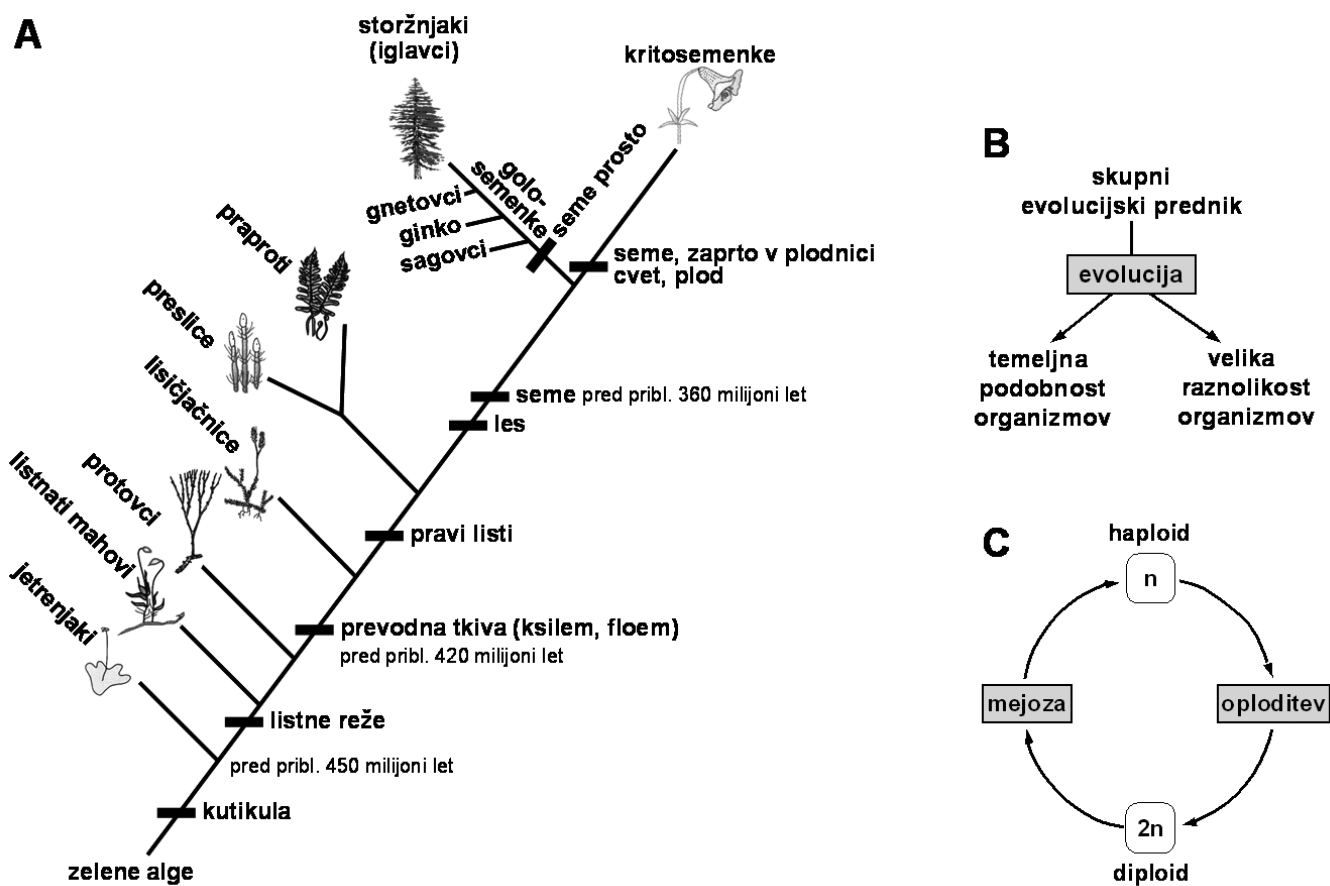
### Evolucija in naravni izbor

Evolucija je osrednji biološki koncept in ključ za celostno razumevanje biologije. Zato bi morali evolucijske vidike živih sistemov uporabljati za razlago pri skoraj vsaki učni uri biologije. Namesto tega je evolucija pogosto odrinjena na stran in se obravnava kot ločeno poglavje. Ključni pomen koncepta evolucije za razumevanje biologije zahteva, da se učenci z njim začnejo seznanjati že zgodaj v izobraževanju.

Pri obravnavanju evolucije moramo upoštevati dva koncepta: *mehanizme evolucije* in *evolucijsko zgodovino*. Za

razumevanje biologije so predvsem pomembni mehanizmi evolucije – razlaga o tem, kako evolucija deluje in kako je mogoče, da se *postopno* iz preprostih struktur razvijejo bolj zapletene. Evolucijska zgodovina je precej bolj faktografska tema, saj predvsem opisuje, kako je na našem planetu v konkretnih preteklih okoliščinah potekal evolucijski razvoj organizmov. Medtem ko evolucijska zgodovina obravnava en konkreten primer, mehanizmi evolucije predstavljajo splošno razlago. Dobro znanje evolucijske zgodovine še ne pomeni, da učenec dejansko razume, o čem sploh govori.

Med pogoste napačne predstave o mehanizmih evolucije sodi prepričanje, da je evolucijski razvoj naključen proces. Pri tem so »naključne« mutacije (v tem kontekstu biologi besedo naključen uporabljamo na nekoliko specifičen način), naravni izbor pa je *usmerjen* glede na trenutne razmere v okolju (Dawkins, 1996; Anderson in sod., 2002). Problem je tudi razumevanje *postopnosti* evolucijskega razvoja. Medtem ko je, denimo, nenaden pojav kompleksnega očesa skrajno neverjeten, pa je njegov postopen razvoj dokaj verjeten, posebej če upoštevamo kompeticijske prednosti, ki jih vid prinaša živalim (npr.



**Slika 2:** Povezava med evolucijsko zgodovino rastlin in sistematiko (A), evolucijski razvoj kot razlaga za podobnost in raznolikost organizmov (B) in temeljni procesi pri spolnem razmnoževanju (C). A: Namesto da sistematiko rastlin v šoli predstavimo le kot naštevane lastnosti posameznih taksonomskih skupin, jo lahko povežemo s postopnim evolucijskim osvajanjem kopnega in evolucijskim razvojem s tem povezanih prilagoditev. Kratke debele črte označujejo mesto v evolucijski zgodovini, ko se je določen znak prvič pojavil (ni nujno, da imajo vsi prestavniki evolucijsko mlajših skupin ta znak – npr. zelne kritosemenke nimajo lesa). Slika je prirejena po Levetin in McMahon (2006), strokovno svetovanje N. Jogan. B: Upoštevanje evolucije vodi do razumevanja vzrokov tako za temeljno podobnost med organizmi (skupni evolucijski izvor) kot za veliko raznolikost organizmov (naravni izbor, evolucijske prilagoditve na različne razmere v okolju). C: Pri spolnem razmnoževanju vseh organizmov sta temeljna procesa mejoza in oploditev; s tem je povezano prehajanje med stanjem z dvojno in enojno garnituro kromosomov.

sposobnost za zaznavanje plena ali plenilca). Najverjetneje se je oko kot struktura za vid v evlucijski zgodovini neodvisno razvilo kar štiridesetkrat (Dawkins, 1996).

Pri sodobnem pouku biologije mora biti tudi sistematika prikazana z evlucijskega vidika (filogenetski razvoj). S takšnim pristopom lahko golo naštevanje značilnosti taksonomskih skupin nadgradimo z razumevanjem postopnega

razvoja evlucijskih prilagoditev, ki organizmom omogočajo preživetje v različnih okoljih. Zanimiv primer je, denimo, sistematika rastlin, ki jo lahko nadgradimo z razlago o postopnem evlucijskem prehodu rastlin iz vodnega okolja na kopno, pri čemer so se razvile različne prilagoditve, ki rešujejo življenjske probleme, povezane z življenjem na kopnem (slika 2A). Kutikula tako zmanjšuje izgubo vode skozi površino telesa (problem

**Preglednica 2:** Izbor rezultatov testa naravoslovnega znanja, opravljenega med študenti 1. letnika biološko usmerjenih študijskih programov. Vprašanja v testu so bila izbrana iz nabora objavljenih vprašanj mednarodne raziskave TIMSS. Pisni test so reševali študenti študijskega programa biologije (Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani; BF; 68 študentov) in študenti 1. letnika Pedagoške fakultete Univerze v Ljubljani (dvopredmetni študij, vezavi kemija-biologija in biologija-gospodinjstvo; PEF; 52 študentov). Pravilni odgovori so prikazani v krepki pisavi. Prikazan je tudi delež pravilnih odgovorov slovenskih učencev 8. oz. 9. razreda osnovne šole, ki so bili vključeni v raziskavo TIMSS. drugo – brez odgovora, obkrožena dva odgovora ipd.; a odgovori modificirani oz. dodani (spremembe originalnega vprašanja iz raziskave TIMSS).

Št. vprašanja		Delež odgovorov (%)				
Test	TIMSS	Vprašanje	OŠ 8. razred TIMSS	Vsi študenti N = 120	Biologija N = 68	PEF N = 52
6	S012039	<b>Lastnosti se prenašajo iz generacije v generacijo</b> A. samo preko spermijev B. samo preko jajčnih celic <b>C. preko spermijev in jajčnih celic</b> D. samo preko testisov E. preko testisov in maternice <sup>a</sup> <i>drugo</i>	<b>76</b>	<b>98</b>	<b>100</b>	<b>94</b>
13	S022275	<b>Trije izmed plinov v Zemljinem ozračju so ogljikov dioksid, dušik in kisik. Katero zaporedje prikazuje njihovo razvrstitev od plina, ki ga je v ozračju največ, do plina, ki ga je v ozračju najmanj?</b> A. <b>dušik, kisik, ogljikov dioksid</b> B. dušik, ogljikov dioksid, kisik C. kisik, dušik, ogljikov dioksid D. ogljikov dioksid, kisik, dušik <i>drugo</i>	<b>30</b>	<b>61</b>	<b>76</b>	<b>40</b>
18	S032595	<b>S katero od naštetih živali je mačka najbolj sorodna?</b> A. krokodil <b>B. kit</b> C. žaba D. pingvin <i>drugo</i>	<b>31</b>	<b>74</b>	<b>88</b>	<b>56</b>
19	S032083	<b>Iz katerih organizmov so nastali fosili, ki jih najdemo v najstarejših plasteh sedimentnih kamnin?</b> A. <b>samo iz organizmov, ki so živeli v morju</b> B. samo iz organizmov, ki so živeli na kopnem C. samo iz organizmov, ki so živeli v zraku D. iz organizmov, ki so živeli v morju, na kopnem in v zraku <i>drugo</i>	<b>55</b>	<b>73</b>	<b>79</b>	<b>63</b>

23	S032682	<b>Telo živali je zgrajeno iz številnih atomov. Kaj se zgodi s temi atomi, ko žival umre?</b>				
		A. Nehajo se gibati in se ustavijo. <sup>a</sup>		2	0	4
		B. Izhlapijo v ozračje.		0	0	0
		<b>C. Reciklirajo se nazaj v okolje.</b>	<b>40</b>	<b>64</b>	<b>78</b>	<b>46</b>
		D. Spremenijo se v druge elemente.		12	10	13
		E. Razcepijo se v preprostejše delce in nato sestavijo v nove atome. <sup>a</sup>		11	9	13
		F. Ko se žival do konca razgradi, ti atomi ne obstajajo več. <sup>a</sup>		8	1	15
		<i>drugo</i>		4	1	8
26	H05	<b>Človek dobi energijo iz hrane, ki jo poje. Od kod prihaja energija, ki je shranjena v hrani?</b>				
		A. iz gnojil		3	3	2
		<b>B. iz Sonca</b>	<b>14</b>	<b>64</b>	<b>90</b>	<b>31</b>
		C. iz vitaminov		13	1	27
		D. iz prsti		17	6	31
		<i>drugo</i>		4	0	10

zaradi majhne zračne vlage), listne reže omogočajo privzem CO<sub>2</sub> kot surovine za fotosintezo iz zraka (problem je omogočanje privzema CO<sub>2</sub> ob čim manjši izgubi vode iz telesa), les kot oporna struktura omogoča rast v višino in uspešno tekmovanje z drugimi rastlinami za svetlobo (problem je manjši vzgon zraka kot vode, zato so na kopnem potrebne močne oporne strukture).

Kljub temu da je bila doslej sistematika v učnih načrtih dokaj obsežno zastopana, pa je vprašljivo, koliko smo s poukom dejansko dosegli. Tako, denimo, kar četrtnina študentov 1. letnika biološko usmerjenih študijev, ki so pisali preizkus splošnega naravoslovnega znanja, ni znela odgovoriti, da je mačka bolj sorodna s kitom kot s krokodilom, žabo ali pingvinom (preglednica 2, vprašanje 18). Postavlja se vprašanje, ali so se ti študenti v procesu izobraževanja večkrat zaporedoma le na pamet učili, da je kit sesalec (kar je v nasprotju s pogosto napačno predstavo, da je kit riba), ali pa smo jih kdaj seznanili z zanimivim dejstvom, da so sesalski predniki kitov živeli na kopnem, in z dokazi za to trditev. Relativno slabo je bilo tudi poznavanje fosilnih dokazov za evlucijsko zgodovino, saj četrtnina študentov ni vedela, da so najstarejši fosili v sedimentnih kamninah nastali iz morskih organizmov (preglednica 2, vprašanje 19).

Na koncu velja omeniti še eno novost – molekulska evolucija, katere osnove morajo dijaki v srednji šoli nujno spoznati (Moore, 2008). Z uporabo sodobnih orodij molekulske biologije smo namreč pridobili nove pomembne dokaze, ki podpirajo in dopolnjujejo evlucijsko teorijo.

### Celica kot živi sistem

Celica je zelo majhna, zato z njo učenci nimajo predhodnih lastnih izkušenj. Njihova predstava o celici je zato odvisna predvsem od pouka v šoli. Pogosto si jo učenci predstavljajo tako, kot je narisana v učbeniku, kot statičen kvader ali celo dvodimenzionalni pravokotnik. Dvodimenzionalno predstavo lahko vzpodbuja tudi opazovanje celic z mikroskopom, če učitelj pri tem ne poudari dovolj, da je mikroskopska slika sicer navidezno dvodimenzionalna, vendar je celica tridimenzionalna. Predstavo o celici kot dinamičnem tridimenzionalnem sistemu lahko pri pouku vzpodbudimo s pomočjo računalniških animacij.

Dobre predstave o tem, da je celica zgrajena iz mnogih različnih molekul, ki se neprestano gibajo in trkajo med seboj, učenci pogosto nimajo celo po zaključku gimnazije. Po drugi strani pa je precej razširjena napačna predstava, da molekule v celici »vedo«, kam se morajo gibati (npr. skozi membranski kanalček).

Znanje o delovanju celice, funkcijah celičnih organelov in povezanosti med njimi je pri učencih pogosto fragmentarno in ne temelji na globljem razumevanju. Študenti 1. letnika tako znajo, denimo, brez težav naštetih razlike med živalsko in rastlinsko celico, ne znajo pa navesti temeljnih skupnih lastnosti vseh celic in vzrokov zanje (npr. biotska membrana, beljakovine kot nosilci celičnih funkcij, DNA kot nosilec dedne informacije). Ta primer kaže tudi na to, da pri razmišljanju o celici ne uporabljajo koncepta evolucije, ampak je njihovo znanje faktografsko – v nji-

hovem predstavnem svetu so na primer lastnosti prokariotske in evkariotske celice shranjene v dveh ločenih »predalčkih«. Zgradba in delovanje celice je samo ena izmed mnogih tem v biologiji, pri kateri lahko uporabimo koncept evolucije za razlago tako temeljnih podobnosti med živimi sistemi kot tudi njihove velike raznolikosti (slika 2B).

### Geni in dedovanje

Pogovori s srednješolci v ZDA so pokazali, da mnoge napačne in nepopolne predstave o genetiki izvirajo iz slabega razumevanja vloge beljakovin v celici. Učenci pogosto ne razumejo, da so beljakovine nosilci celičnih funkcij – da torej opravljajo različne oblike celičnega dela (npr. membranske transportne beljakovine, encimi, motorične beljakovine). Veliko učencev ne zna navesti niti enega primera dela, ki ga v celici opravljajo beljakovine. Celo učenci, ki znajo opisati princip delovanja encimov (ključ in ključavnica), tega ne povezujejo s celičnim delom. Učenci, ki sicer zadovoljivo opišejo zaporedje korakov od DNA prek mRNA do beljakovine, nimajo širše predstave – da zaporedje nukleotidov v DNA določa zaporedje aminokislin v beljakovini, to pa določa obliko beljakovine, s katero je povezana njena funkcija (Roseman in sod., 2006). Zato je pomembno, da imajo učenci dokaj dobro predstavo o pomenu beljakovin za zgradbo in delovanje celice, preden se začnejo učiti o DNA, o izražanju genov in o mehanizmih dedovanja.

V še širši predstavi pa so lastnosti beljakovin povezane s fenotipskimi znaki. Pogosto se pri pouku povsem izgubi povezava med molekulsko genetiko (beljakovina, DNA) in klasično, Mendlovo genetiko, kjer nenadoma govorimo samo o fenotipskih znakih, kromosomih in alelih, nič pa o genskih produktih (beljakovinah) ali celo o povezavi med genskim produktom ter dominantnostjo oz. recisivnostjo znaka. Za celostno razumevanje genetike je ta povezava nujna, pa tudi če si idealiziran in poenostavljen primer delno ali v celoti izmislimo (npr. rdeča barva cvetov je odvisna od delovanja encima, ki brezbarven prekursor pretvori v rdeče barvilo – dominantna lastnost; bela barva cvetov je posledica mutacije, ki povzroči nefunkcionalnost tega encima – recesivna lastnost). Sicer pa danes dokaj zanesljivo poznamo molekulske osnove za tri izmed sedmih znakov pri grahu, katerih dedovanje je preučeval Mendel. Oblika semena (gladko / nagubano) je povezana z genom za encim, ki sodeluje pri sintezi škroba med zorenjem semena (Bhattacharyya in sod.,

1993). Višina stebela (visoko / nizko) določa gen za encim, ki pretvori hormon giberelin iz neaktivne v aktivno obliko (Lester in sod., 1997). Barva semena (rumena / zelena) pa je povezana z genom za beljakovino, ki uravnava razgradnjo klorofila med zorenjem semena (Sato in sod., 2007). Podobno lahko z geni in beljakovinami povežemo tudi krvne skupine pri človeku.

Seveda je dobro razumevanje genetike tudi temelj za razumevanje mehanizmov evolucije (npr. učinki mutacij, pogostost alelov v populaciji, spolno razmnoževanje kot vir genetske variabilnosti).

### Razmnoževanje

Poučevanje o razmnoževanju je še vedno pretežno usmerjeno v poudarjanje razlik med organizmi, iz česar izhaja tudi izjemna obremenjenost tega vsebinskega sklopa z naštevanjem cele množice različnih izrazov. Pri tem se popolnoma izgubi osnovno sporočilo: principi razmnoževanja so pri vseh organizmih enaki, obstajajo pa razlike med vrstami pri izvedbi teh osnovnih principov. Razlog za to podobnost in raznolikost lahko spet najdemo v evoluciji (slika 2B).

Posebno zmedeno in nepovezano je znanje učencev o spolnem razmnoževanju. Zaskrbljujoče je, da izmed 120 študentov 1. letnika, vključenih v preizkus naravoslovnega znanja, trije niso vedeli, da se dedne informacije prenašajo v naslednjo generacijo prek spermijev in jajčec (preglednica 2, vprašanje 6). Vsi trije študenti so maturanti splošne gimnazije, dva sta opravila maturo iz biologije.

Splošno razširjeno je prepričanje, da pravzaprav spolno razmnoževanje rastlin in živali nimata dosti skupnega, kar je predvsem posledica neustreznega pouka. Za spolno razmnoževanje vseh organizmov sta pomembna dva procesa – mejoza in oploditev, pri čemer oba prispevata k nastanku novih genetskih kombinacij pri potomcih. S tem je povezano prehajanje med stanjem z enojno in dvojno garnituro kromosomov oziroma, nekoliko posplošeno, med haploidnim in diploidnim stanjem (slika 2C). Pouk bi moral biti čim bolj usmerjen v razumevanje, na kakšen način pri spolnem razmnoževanju nastanejo nove genetske kombinacije (npr. dobro razumevanje principa mejoze, povezava z genetiko in evolucijo). To je osnovna splošna razlaga, ki jo lahko nadgradimo s primeri različnih izvedb spolnega razmnoževanja pri različnih vrstah. Ovira za razumevanje je tudi uporaba neustreznih »tra-

dicionalnih« strokovnih izrazov. Tako pri spolnem razmnoževanju rastlin ne smemo govoriti o nespolni in spolni generaciji, saj sta obe »generaciji« dejansko le del celovitega procesa spolnega razmnoževanja. Še več, nastanek »nespolne generacije« temelji na oploditvi, ki je ključni proces spolnega razmnoževanja, v (nekaterih) celicah nespolne generacije pa poteče mejoza, drugi ključni proces spolnega razmnoževanja.

Izraz nespolno razmnoževanje je rezerviran za vse oblike razmnoževanja po principu kloniranja (potomci genetsko enaki staršu). Tako se rastline, denimo, nespolno razmnožujejo s pritlikami. Ob takšni uporabi strokovnih izrazov odpade označevanje nespolnega razmnoževanja rastlin z vegetativnim razmnoževanjem. Dodatni izraz vegetativno razmnoževanje namreč izhaja iz dejstva, da smo v klasični biološki terminologiji uporabljali izraz nespolna generacija za del spolnega razmnoževanja.

Pri spolnem razmnoževanju rastlin učenci pogosto ne razumejo razlike med oprahitvijo in oploditvijo. Naj navedem razlago študenta 1. letnika: »Pri spolnem razmnoževanju je za oploditev potrebno neko živo bitje. Pri jablani je to čebela.« Pri obravnavanju načinov opravevanja (žuželke, veter) in s tem povezanih značilnosti cvetov pa premalo uporabljamo priložnost, da bi snov povezali z evolucijo. Izjemna raznolikost žužkocvetnih cvetov je namreč povezana s koevolucijo (povezanim evolucijskim razvojem) rastlin in žuželk. Podoben primer je koevolucija rastlin in živali, ki so raznašalci semen.

### Ekologija

Ekologija je kompleksna in obsežna tema, ki zahteva uporabo in povezovanje znanja z vseh drugih področij biologije, pa tudi znanja matematike, kemije in fizike. Pri tem učenci pogosto naletijo na težave z razumevanjem (McComas, 2002).

Ekologija je veda (področje biologije), ki preučuje odnose med organizmi in interakcije organizmov z neživim okoljem. Že Haeckel (1866) je v svoji izvorni definiciji ekologije pravzaprav bolj poudaril pomen biotskih kot pa abiotskih dejavnikov okolja, pa tudi sodobna biološka znanost daje velik pomen biotskim dejavnikom (Chapin in sod., 1997). Kljub temu so pri pouku v šoli pogosto predvsem poudarjeni abiotski dejavniki. Ti so sicer pomembni, saj predstavljajo temeljne fizikalno-kemijske razmere v okolju, na katere mora biti organizem prilago-

jen, če naj v tem okolju preživi. Vendar pa so predvsem biotski dejavniki (interakcije med organizmi) pomembno gonilo evolucijskega razvoja. Pomislimo samo na ribnik ali morje, kjer v skoraj enakih abiotskih razmerah živi cela množica zelo raznolikih vrst organizmov. Ali pa na veliko raznolikost žužkocvetnih cvetov, katerih evolucijsko spreminjaje poganja koevolucija z oprahovalci, in na raznolikost prilagoditev živalskih vrst, ki so plenilci ali plen. Biotski dejavniki določajo tudi zgradbo združb. Tako lahko ob relativno podobnih abiotskih dejavnikih nastanejo povsem različne združbe.

Tudi pri terenskem pouku je pogosto poudarek na merjenju abiotskih dejavnikov, kar je verjetno povezano z dejstvom, da je te mnogo lažje ovrednotiti kot biotske (npr. vrstno pestrost, vrste oprahovalcev). Vendar pa je vprašljivo, koliko se učenci iz takšnih enkratnih meritev abiotskih dejavnikov naučijo. Konec koncev, denimo, kot abiotski dejavnik ni pomembna trenutna temperatura zraka, ampak letoletno spreminjanje temperature, torej podnebne razmere. Tudi tu je že Haeckel (1866) kot abiotski dejavnik navedel podnebje kot celoto.

Na slabo razumevanje pomena biotskih dejavnikov kaže tudi dejstvo, da študenti na vprašanje, kaj lahko predstavlja sprememba v okolju organizma, praviloma naštevajo abiotske dejavnike (npr. spremembe različnih podnebnih dejavnikov), skoraj nikoli pa ne omenijo biotskih dejavnikov (npr. priselitev novega plenilca, kompetitorja ali patogenega organizma v ekosistem).

Učenci imajo precej preglavic tudi z razumevanjem prilagoditev (adaptacij) organizmov na okolje v kontekstu evolucijskega razvoja. Tako se, denimo, v trditvi, da genetska raznolikost potomcev tem omogoča, da postanejo bolj prilagojeni na okolje, skriva napačna predstava, da je zaradi genetske raznolikosti bolj prilagojen vsak posamezni osebek (Yip, 1998). Pri tem manjka širše razumevanje pomena genetske raznolikosti osebkov znotraj populacije za dolgoročno evolucijsko prilagajanje populacije oz. vrste na spremembe v okolju. Učenci si pogosto predstavljajo prilagoditev kot sposobnost osebkov, da nekako povzročijo spremembe v zgradbi in delovanju svojega telesa in se s tem prilagodi na razmere v okolju, kar približno ustreza kvečjemu akomodaciji. Verjetno tovrstne napačne predstave učencev vzpodbuja in utrjuje tudi neustrezna ali zavajajoče poenostavljena razlaga pri pouku in v učbenikih (American Association for the Ad-

vancement of Science, 1993). Pri razlaganju prilagoditev pogosto poudarjamo predvsem prilagoditve na abiotske dejavnike (npr. gosta dlaka za preživetje hladnih obdobij, prilagoditve rastlin na sušo) in manj biotske (npr. prilagoditve plenilcev, obramba rastlin pred rastlinojedi).

Med temeljne ekološke koncepte sodi pretok energije in kroženje snovi v ekosistemih. Pri preizkusu naravoslovnega znanja, ki so ga pisali študenti, sta dve vprašanji segali na to področje. Tretjina študentov ni znala pravilno odgovoriti, da energija, ki je shranjena v človekovi hrani, prihaja iz Sonca (preglednica 2, vprašanje 26). Najpogostejši napačni odgovor je bila prst kot vir energije. Razumevanje tega, da se med fotosintezo svetlobna energija pretvori v kemijsko energijo, shranjeno v organskih molekulah, je povezano s splošnim fizikalno-kemijskim znanjem o tem, da molekule sploh lahko vsebujejo kemijsko vezano energijo, da različne spojine vsebujejo različno količino kemijsko vezane energije ter da se del te energije lahko sprosti pri različnih reakcijah. Študenti so slabo odgovarjali tudi na vprašanje o tem, kaj se zgodi z atomi, ki sestavljajo telo živali, ko ta žival umre. Tudi tu sta le dve tretjini študentov izbrali pravilni odgovor, da se atomi reciklirajo nazaj v okolje (preglednica 2, vprašanje 23). Tretjina študentov je izbrala napačne odgovore – da se atomi spremenijo v druge elemente, da se razcepijo v manjše delce in nato sestavijo v nove atome ter da atomi po razgradnji živali ne obstajajo več. Tudi ti odgovori kažejo na slabo poznavanje osnov kemije in fizike (razumevanje tega, kaj je atom, element, molekula; povezava med zakonom o ohranjanju mase in usodo atomov med razgradnjo živali).

Pogosta je napačna predstava, da celice, ki vsebujejo kloroplaste, ne potrebujejo mitohondrijev ali da rastline sploh nimajo mitohondrijev. To napačno predstavo podpira neustrezna razlaga o pomenu fotosinteze za rastline, pri kateri se zgodba konča z nastankom sladkorja. Študenti 1. letnika praviloma ne znajo ustrezno razložiti, kaj rastlina potem s proizvedenimi sladkorji »naredi« oziroma za kaj te sladkorje sploh potrebuje. Njihov najpogostejši odgovor je, da rastlina sladkorje shrani v obliki škroba, pri čemer ne znajo pojasniti, za kaj rastlina potrebuje škrob. Študenti torej nimajo celovite predstave o tem, da rastlina sladkorje uporabi kot »gorivo« (za pridobivanje energije v obliki, ustrezni za poganjanje življenjskih procesov – ATP; celično dihanje), kot »surovino« za izgradnjo lastnih snovi (sladkorji so prekurzorji

za izgradnjo vseh organskih snovi v telesu rastline) in kot začasno »zalogo« (pri čemer založne snovi kasneje uporabi bodisi kot gorivo bodisi kot surovino).

Z zgornjimi nepopolnimi in napačnimi predstavami je povezano tudi dokaj razširjeno prepričanje, da je »smisel« obstoja rastlin to, da proizvajajo kisik in hrano, ki ju porabljajo drugi organizmi. Ta predstava kaže na pomanjkanje poznavanja in razumevanja cele vrste bioloških konceptov, predvsem pa je v popolnem nasprotju s konceptom boja za preživetje oziroma tekmovanja med organizmi.

Učenci si pogosto prehranjevalne spletke predstavljajo dosti enostavnejše, kot so v resnici. Pogosto so prepričani, da organizmi, ki so višje v prehranjevalnem spletu, jedo vse vrste, ki so umeščene nižje. Imajo tudi pomanjkljive predstave o mreži povezav med organizmi v ekosistemu, pri čemer niso pomembni samo neposredni prehranjevalni odnosi, ampak tudi cela vrsta drugih (tudi posrednih) interakcij. Veliko učencev ob tako pomanjkljivih predstavah ekosistema kot celote ne razume kot živi *sistem* (McComas, 2002).

Tudi pri spoznavanju ekoloških konceptov je za postopno izgradnjo celostnega razumevanja pomembno zaporedje vsebin. V naših šolah so doslej učenci antropogene ekosisteme spoznavali pred naravnimi na podlagi argumenta, da antropogene ekosisteme učenci iz lastnih izkušenj bolje poznajo kot naravne. Ta pristop k poučevanju ne omogoča postopnega razvijanja celostnega razumevanja o tem, kako ekosistemi delujejo, in lahko vodi do napačnih in nepopolnih predstav. Antropogeni ekosistemi (njiva, vinograd ipd.) so namreč izjemno nestabilni; njihov obstoj je mogoč samo z neprestanim človekovim poseganjem vanje (oranje, gnojenje, sejanje, uporaba pesticidov, odstranjevanje konkurenčnih rastlin – »plevelov«). Zato je na primeru antropogenih ekosistemov zelo težko oz. nemogoče učencem razložiti temeljne principe ekologije, na primer da v ekosistemu obstajajo prehranjevalni spleti (človek neprestano posega v prehranjevalne spletke antropogenih ekosistemov z uporabo pesticidov; vrh prehranjevalnega spleta je človek v vlogi rastlinojeda in ne mesojedi plenilec, kot je to navadno v naravnih ekosistemih) in da v ekosistemu snovi krožijo (človek neprestano odnaša biomaso iz antropogenih ekosistemov, s čemer prekinja kroženje snovi). Učenci, ki se začnejo seznanjati s konceptom ekosistema na temelju



antropogenih ekosistemov, pogosto pridejo do napačnega sklepa, da mora človek za vse ekosisteme neprestano skrbeti in da so nekateri organizmi koristni, drugi pa škodljivi. Ustreznejši pristop k poučevanju ekologije je, da učenci najprej dobro spoznajo delovanje naravnih ekosistemov, nato pa obravnavajo še antropogene ekosisteme kot poseben (in v resnici dokaj zapleten) primer. Učenci morajo denimo najprej spoznati princip kroženja snovi v naravnih ekosistemih, da lahko nato to znanje nadgradijo z razumevanjem, zakaj moramo njivo gnojiti.

V sodobni pouk biologije sodi tudi ozaveščanje učencev o tem, da je blaginja človeštva tesno povezana s stanjem ekosistemov. Zaradi hitre rasti prebivalstva, dviganja življenjskega standarda in velikih potreb človeštva po virih energije in surovin je v zadnjih 60 letih človekov pritisk na ekosisteme postal tako velik, da resno ogroža nadaljnji gospodarski razvoj človeštva (Millenium Ecosystem Assessment, 2005; Holdren, 2008).

Eden izmed sodobnih problemov, povezanih s človekovim vplivom na okolje, so tudi globalne podnebne spremembe, pri čemer veliko govorimo o naraščajoči koncentraciji CO<sub>2</sub> in drugih toplogrednih plinov v ozračju. Pogosta napačna predstava je, da je učinek tople grede sam po sebi škodljiv. Pri tem ravno učinek tople grede omogoča vzdrževanje temperature na našem planetu v območju, ki je primerno za življenje; problem je *ojačanje* učinka tople grede. Ravno tako je pogosta napačna predstava, da je CO<sub>2</sub> v ozračju zelo veliko, pri čemer ga je dejansko le približno 0,04% ali 4 molekule na 10.000 molekul. Pri preizkusu naravoslovnega znanja je pline kisik, dušik in ogljikov dioksid pravilno razvrstila od njihove največje do najmanjše koncentracije v ozračju le dobra polovica študentov (preglednica 2, vprašanje 13). Vedenje o tem, da je koncentracija CO<sub>2</sub> v ozračju zelo majhna, je temelj za razumevanje tega, kako je sploh mogoče, da lahko človek s svojo dejavnostjo bistveno spremeni koncentracijo tega plina. Poleg tega je majhna koncentracija CO<sub>2</sub> v ozračju pomembna tudi za razumevanje velikih izgub vode pri kopenskih rastlinah zaradi transpiracije. Ker je CO<sub>2</sub>, ki je glavna surovina za fotosintezo, v ozračju tako malo, morajo imeti rastline precej dolgo odprte listne reže, da privzamejo zadostne količine CO<sub>2</sub>. Pri tem zaradi difuzije skozi listne reže izgubijo veliko vode (relativna zračna vlaga je navadno znotraj lista precej višja kot v okolici lista).

### Ekologija ni varstvo okolja

Pri pouku moramo učencem jasno razložiti, kaj je to ekologija, in jih opozoriti na pogosto napačno uporabo oziroma zlorabo te besede, pri čemer gre predvsem za zamenjevanje ekologije z varstvom okolja. Ekološko (biološko) znanje je sicer temelj za razumevanje problematike varstva okolja, česar pa se ljudje pogosto ne zavedajo in se za ekološke oklicujejo vsi – od politikov do ekonomistov. Različne stroke za izkazovanje kvaziaktualnosti in prijaznosti do okolja uvajajo različne »ekologije«, pri čemer pa gre večinoma za tehnološke, politične ali ekonomske rešitve, usmerjene v omilitev vplivov človeka na okolje. Tovrstne dejavnosti so povezane z varstvom okolja in ne z ekologijo kot področjem biološke znanosti.

Tako kot v Sloveniji tudi v drugih državah obstaja problem neustreznih predstav pri povezovanju ekološke znanosti s političnimi agendami okoljevarstvenega gibanja. Pri tem različni ljudje svoja prepričanja in delovanje v smislu varstva okolja oblikujejo na temelju zelo pomanjkljivega ekološkega znanja, pa vseeno mislijo, da gre pri tem za ekologijo (McComas, 2002).

V sodobni šoli je obravnavanje okoljevarstvene problematike nujno, saj učencem omogoča pridobivanje širšega in bogatejšega razumevanja biologije kot mreže medsebojno povezanih konceptov. Pridobljeno znanje lahko uporabijo za reševanje konkretnih problemov, kar vzpodbuja tudi njihovo ozaveščenost o povezavah med naravoslovno znanostjo in družbo (McComas, 2002).

V naše šole vnaša zmedo medpredmetno področje okoljska vzgoja, pri oblikovanju katerega praviloma ne sodelujejo strokovnjaki za ustrezno področje biologije (ekologijo). Posledica je osiromašeno, mehanicistično obravnavanje okoljevarstvenih problemov, ki pridobljenega biološkega znanja učencev ne nadgrajuje in povezuje z družbenimi problemi, ampak ga prej spodkopava.

Kakovostna okoljska vzgoja temelji na uravnovešenem interdisciplinarnem pristopu. Pri tem je biološko znanje temelj za razumevanje problemov in iskanje rešitev, saj je velika večina okoljskih problemov povezana s škodljivimi vplivi človeka na žive sisteme. Tako je, denimo, izpuščanje strupenih snovi v okolje problem, ker imajo te snovi škodljive učinke na organizme, kar je tudi definicija strupenosti. Izpuščanje dušikovih spojin in fosfatov v vodna telesa spremeni zgradbo in delovanje vodnih eko-

sistemov. Ozonska luknja je problem zaradi škodljivih učinkov UV-sevanja na organizme. Globalne podnebne spremembe vplivajo na zgradbo in delovanje ekosistemov (npr. suše, požari, poplave) in ogrožajo oskrbo človeštva s hrano (problem vzgoje prehranskih rastlin v spremenjenih podnebnih razmerah).

Poseben problem predstavlja zloraba izraza *ekološki* (predpona *eko-*), *biološki* (predpona *bio-*) in *organski* v namene reklame in zavajanja potrošnikov. Tudi o tem bi morali naše učence dobro seznaniti. Naj navedem kar citat iz članka Mateje Hrstar (2007): »Šla sem še na sobotno ekološko tržnico v prestolnici. /.../ Pa mi res ni bilo jasno, v čem se berivka z eko bio kmetije razlikuje od berivke moje ljubljanske branjevke. Ali zakaj so bio eko koprive na tržnici vredne 2 evra četrt kile, tiste na mojem dvorišču pa so opsovane s plevelom? /.../ Bio eko organsko je čudodelna nalepka, ki hrani zvišuje ceno. /.../ Pa so Zelandci v *bio eco organic* mrzlici iznašli proizvod, ki se v mesecih čezoceanske plovbe ne kviri. Prvi teden zelandskega prehranjevanja sem se šalila, da je pri njih vse tako bio eko, da je še voda organska. Po kakšnem tednu pa sem v trgovini zagledala *Virgin Kiwi, certified organic water*. Kaj so nas res v tistih socialističnih šolah narobe naučili, da je voda anorganska snov? Sedaj pa mi tukaj neki Zelandci prodajajo organsko vodo. Po 3 evre za osem deci.«

Seveda je prav, da besedo prepustimo tudi drugemu »taboru« (Walker, 2004): »Naravna presna živila vsebujejo življenje v atomih in molekulah, ki jih sestavljajo. To ŽIVLJENJE imenujemo ENCIMI. Hrana, bogata z encimi, pridelana na pravilno pripravljene zemlji, si zasluži ime organska hrana. Hrana, v kateri je encime uničila previsoka temperatura, pa je ANORGANSKA. /.../ Morska voda je po najinem mnenju neprecenljiva. Pijeva morsko vodo CATALINA, ki jo kupiva v trgovini z zdravo hrano. To vodo zajemajo iz Tihega oceana, in sicer zelo daleč zahodno od Kalifornije, za otokom Catalina. Ugotovila sva, da je to živa organska voda, ki vsebuje vseh 59 elementov.« Ob tem je prav pomenljiv citat z začetka knjige: »Modrost lahko dosežemo le s pomočjo resnice in znanja.« In še: »Nepojmljivo je, da domnevno inteligentni ljudje slepo verjamejo trditvam, katerih namen je dezinformirati in zavajati.«

Ob poplavi raznih ekoizdelkov (npr. izdelki z malo embalaže, energijsko varčni izdelki) smo v zadnjem času dobili še ekošole, ki seveda nimajo ničesar skupnega z

ekologijo kot področjem biologije. V večini primerov, tudi v tem, je uporaba predpone eko- napačna; ustrezen izraz je »okolju prijazen«.

### Kako deluje znanost

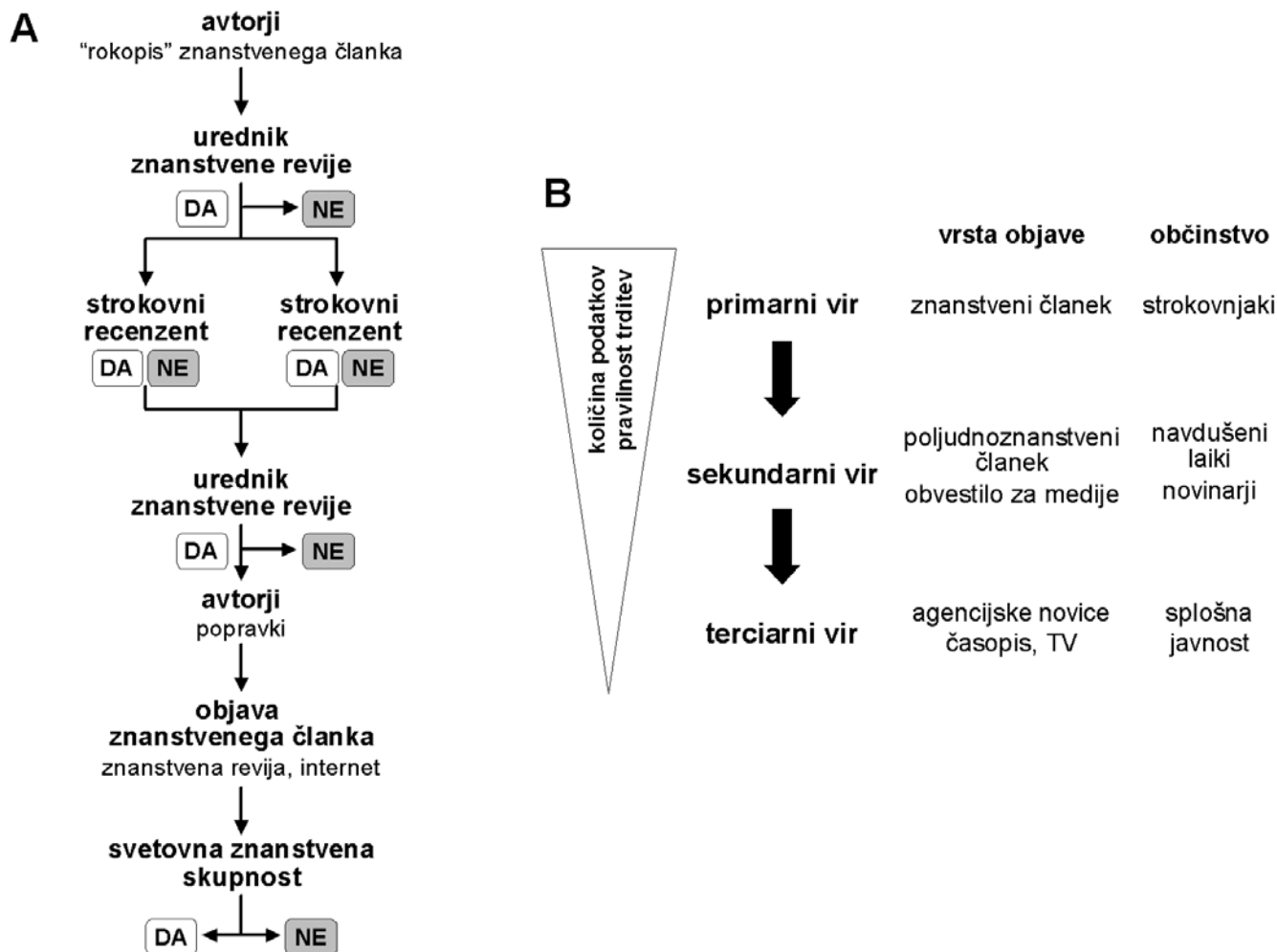
Pomembni del naravoslovnega izobraževanja je tudi ozaveščanje mladih o tem, kako znanost deluje. V sodobnih učnih načrtih nekaterih drugih držav, s katerimi se radi primerjamo, so temu vidiku izobraževanja namenjeni samostojni vsebinski sklopi (National Research Council, 1996; Department for Education & Qualifications and Curriculum Authority, 2004; California Department of Education, 2004). Pri tem je poudarek na zgodovinskih, osebnih in družbenih vidikih naravoslovne znanosti (npr. zgodovina znanosti, pomen naravoslovnega znanja pri sprejemanju osebnih in družbenih odločitev, prelivanje naravoslovnega znanja v tehnološke aplikacije za izboljšanje kakovosti človekovega življenja) in sama narava znanosti (npr. metoda znanstvenega dela; znanost kot proces, v katerem sodeluje skupnost znanstvenikov z vsega sveta; znanost nima dokončnih odgovorov na vprašanja, ampak s strogim postopkom preverjanja zbranih dokazov nenehno nadgrajuje človekovo razumevanje delovanja sveta; razlika med znanstvenim člankom in člankom v časopisu ali besedilom v reklami).

Uspešnost in verodostojnost znanosti temelji na nenehnem nadgrajevanju obstoječega znanja in na kritičnemu vrednotenju dokazov za določeno razlago o delovanju sveta. Namesto da bi učenci v šoli spoznali, da je znanost proces, jim znanost pogosto napačno predstavimo kot seznam dokončnih razlag in večnih resnic. Bistvo znanosti je skrajno demokratičen sistem, v katerem se sprejme mnenje vsakogar, ki za svoja stališča predstavi dovolj trdne dokaze oz. argumente. V tem duhu je Richard Feynman znanost označil kot prepričanje, da se lahko tudi največji strokovnjaki motijo (Feynman, 1968).

Dejansko do sedaj v procesu izobraževanja učencev večinoma sploh nismo seznanili s postopkom objave znanstvenega članka, s pomenom strokovne recenzije pri tem in končno tudi s kritično presojo objavljenih dognanj s strani svetovne znanstvene skupnosti (slika 3A). Kot primer slabe seznanjenosti javnosti z naravo znanosti lahko navedem oddajo Intervju na 1. programu TV Slovenija (6. julij 2008), v kateri se je novinar Lado Ambrožič pogovarjal s prof. Lučko Kajfež Bogataj, predstavnico Slovenije v Medvladnem odboru za podnebne spremembe

pri Organizaciji združenih narodov (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC). Na izjavo prof. Kajfež Bogataj, da »poročila IPCC temeljijo na recenzirani zna-

nosti«, je se novinar odzval z vprašanjem: »Omenili ste recenzirana poročila vašega foruma. Kaj to pomeni? Da vas cenzurirajo vlade?«



**Slika 3:** Postopek objave znanstvenega članka (A) in pretok informacij znanstvenega značaja skozi sistem obveščanja (B). A - Postopek objave znanstvenega članka: Potem ko znanstveniki zasnujejo in izvedejo raziskavo, njen izid in zaključke opišejo v rokopisu znanstvenega članka, ki ga pošljejo uredniku znanstvene revije (ta je po navadi znanstvenik). Urednik odloči, ali je članek načelno (npr. po temi) primeren za objavo v tej znanstveni reviji. Urednik določi najmanj dva strokovna recenzenta (ugledna znanstvenika z ožjega znanstvenega področja, ki ga obravnava članek). Vsak recenzent neodvisno napiše recenzijo, v kateri uredniku predlaga, da se članek objavi ali ne, in predlaga morebitne popravke članka. Urednik na podlagi recenzij odloči, ali bo članek objavljen ali ne. Avtorjem pošlje recenzije in zahteva ustrezne popravke, ki so jih predlagali recenzenti. Recenzije so anonimne – avtorji ne poznajo imen recenzentov. Avtorji lahko vsak predlagani popravek sprejmejo ali ne. Če popravka ne sprejmejo, napišejo znanstveno utemeljitev o tem, zakaj popravek ni potreben. Urednik pregleda popravke in komentarje avtorjev in odloči, ali je članek v končni obliki primeren za objavo. Objavljeni znanstveni članek je izpostavljen kritični presoji celotne znanstvene skupnosti – drugi znanstveniki lahko ponovijo raziskavo ter kritično ovrednotijo interpretacijo rezultatov in zaključke. B -Pretok informacij znanstvenega značaja skozi sistem obveščanja: Primarni vir znanstvenih informacij je znanstveni članek, ki je bil objavljen po strogem postopku znanstvene recenzije (glej A). Glavna dognanja, ki so opisana v znanstvenem članku, so na poljudnoznanstveni ravni povzeta v obvestilih za medije in v poljudnoznanstvenih revijah. Na ravni sekundarnega vira so avtorji besedil po navadi osebe z univerzitetno izobrazbo s področja, ki ga članek obravnava. Pri terciarnih virih informacij so pogosto avtorji novinarji, ki nimajo izobrazbe z ustreznega strokovnega področja. V procesu pretoka informacij pride do serijskih krajsanj besedil in prevajanja iz angleščine (standardni jezik za objavo znanstvenega članka) v druge jezike. V tem procesu se kakovost in verodostojnost informacije manjša (sistem otroške igre »telefončki«), zato so terciarni viri znanstvenih informacij pogosto skrajno nezanesljivi in mora imeti občinstvo do njih kritičen odnos.

Zavedanje o tem, kako znanost deluje, je izjemnega pomena za upoštevanje argumentov znanstvenikov ob sprejemanju družbenih odločitev. Dejstvo je, da znanstveniki ne morejo podati dokončnih odgovorov na vprašanja, lahko pa presodijo verjetnost, da je določena razlaga pravilna. Slaba naravoslovna pismenost tako politikov kot njihovih volivcev neprestano botruje zlorabam znanosti v politične namene in iz tega izhajajočim neustreznim družbenim odločitvam (npr. primer BSE v Veliki Britaniji; omalovaževanje mnenja znanstvenikov o vzrokih za globalne podnebne spremembe, češ da nimajo 100-odstotno zanesljivega dokaza za trditve). Razumevanje delovanja znanosti je ključnega pomena za demokratično sprejemanje družbenih odločitev, aktivno državljanstvo in kritičen odnos do vsebin s kvaziznanstveno vsebino v medijih in reklamah (slika 3B), zato moramo védenje o tem pri učencih postopno nadgrajevati skozi celo izobraževalno vertikalo, od vrtca do zaključka izobraževanja.

### ***Splošni problemi pri preseganju napačnih in nepopolnih predstav***

#### **Pomen kakovosti učiteljev, učnih načrtov in učbenikov**

Učitelji so glavni posredniki naravoslovnih predstav ter navdušenja za razmišljanje in spraševanje o tem, kako svet deluje. Zato je kakovost učiteljev ključnega pomena za kakovost naravoslovnega izobraževanja. Pri tem pa je pomembno vprašanje, kaj je tisto, kar določa dobrega in učinkovitega učitelja.

Pred nekaj leti so v ZDA pripravili poročilo o celovitem pregledu strokovne literature o kakovosti učiteljev (U.S. Department of Education, 2003). Ugotovili so, da raziskave s tega področja kot kriterij za presojo kakovosti oz. učinkovitosti učiteljev večinoma uporabljajo dosežke njihovih učencev, pri čemer ima posamezni učitelj velik vpliv na znanje učencev. Vpliv učitelja na dosežke učencev je bistveno večji od vpliva drugih dejavnikov, kot so velikost razreda ali količina domače naloge. Več raziskav kaže, da obstaja zelo močna korelacija med učiteljevimi splošnimi kognitivnimi sposobnostmi in njegovo učinkovitostjo. Tudi učiteljevo vsebinsko znanje matične stroke je tesno povezano z dosežki učencev (Toh in sod., 2006). Po drugi strani pa zaenkrat obstajajo le šibki dokazi o tem, da je za kakovost učitelja bistvenega pomena njegova izobrazba s področja didaktike ali trajanje pedagoške prakse med študijem, čeprav je nedvomno tudi to znanje do neke

mere pomembno (U.S. Department of Education, 2003). Dejstvo je, da samo učitelj, ki neko snov odlično razume, lahko o tem učinkovito uči tudi druge. Ob upoštevanju hitrega napredka biološke znanosti in s tem povezanih sprememb pri poučevanju biologije je jasno, da bi morali imeti učitelji biologije dobro podporo matične stroke in veliko možnosti za stalno strokovno izpopolnjevanje.

Učni načrti kot krovni dokument določajo, kaj sodi v sodobno splošno izobrazbo. V različnih državah učni načrti za biologijo v zadnjem času doživljajo korenite spremembe, pri čemer učitelji pogosto prenovljene in konceptualno naravnane učne načrte interpretirajo »po svoje«. Zlasti je problem to, da učitelj pogosto prebere in pri poučevanju upošteva skoraj izključno naslove vsebinskih sklopov (npr. Celica, Ekologija), pri čemer pod ta ali oni naslov v novem učnem načrtu stlači vse, kar je učil prej, in to v enaki obliki kot prej (npr. faktografsko namesto konceptualno). Zaradi tega učinka so pred uvedbo posodobljenih učnih načrtov za naravoslovje v ZDA razmišljali celo o tem, da bi naslove vsebinskih sklopov v celoti ukinili (American Association for the Advancement of Science, 2001a). Vsekakor je odgovornost učitelja, da učni načrt v celoti (vključujoč koncepte, cilje, didaktična priporočila) upošteva kot vodilo pri posodobitvi svojega poučevanja.

Po drugi strani nekateri učitelji za »bližnjico« pri načrtovanju pouka kot glavno vodilo uporabljajo učbenike. Pri tem velja opozoriti, da je učence mnogo lažje ozaveščati o medsebojni povezanosti in soodvisnosti živih sistemov ter kompleksnosti procesov v naravi pri pouku in ob aktivni interakciji z učenci kot pa z učbenikom. Učbenik mora namreč pregledno in sistematično podati snov, pri čemer lahko pretirano pogosto sklicevanje na povezave z drugimi vsebinami zmanjša preglednost in jasnost osnovnega sporočila besedila.

Posebej v majhnem slovenskem prostoru je problematična tržna naravnost pri izdajanju učbenikov, pri čemer se zdi, da postaja obilica slikovnega gradiva in s tem vizualna privlačnost učbenika pomembnejša od vsebinskih razlag. Da dobrega sodobnega učbenika za biologijo nikakor ni lahko napisati, kaže strokovna analiza desetih široko uporabljenih srednješolskih učbenikov za biologijo v ZDA, ki so si vsi po vrsti prislužili zelo slabe ocene kakovosti, med možnimi vzroki za tako stanje pa je navedena tudi tržna naravnost učbenikov (American Association for the Advancement of Science, 2000).

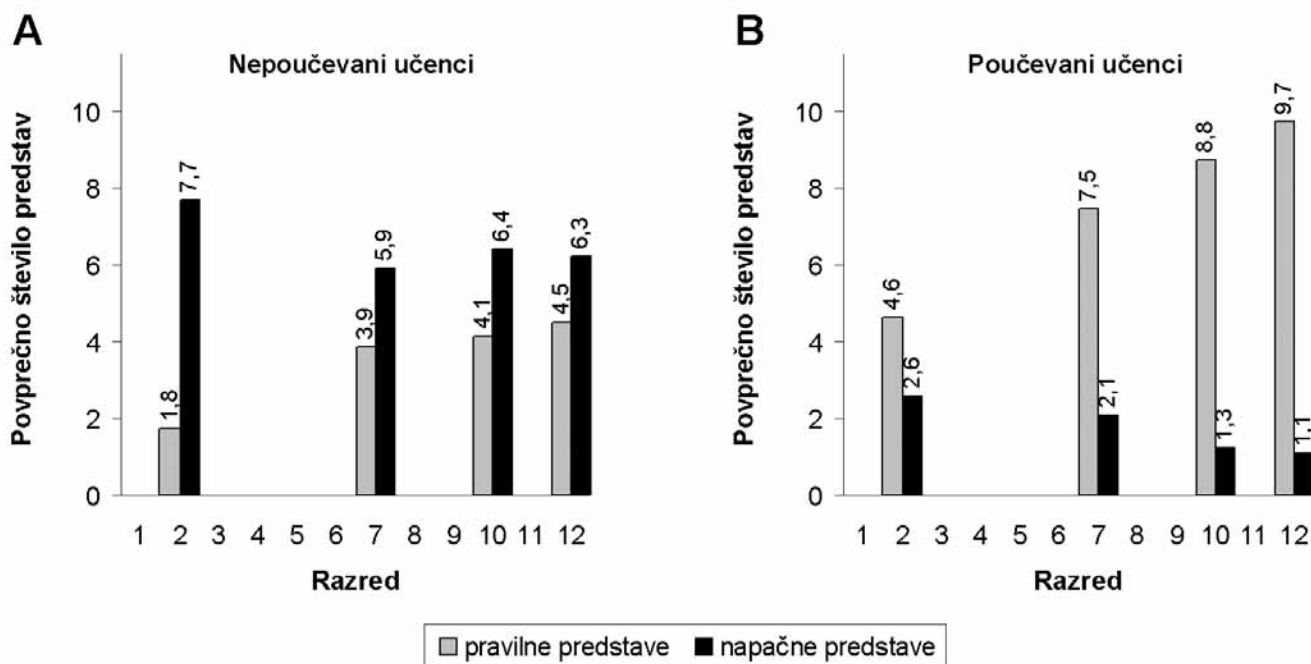
### Katera snov je za učence pretežka

Pri umeščanju vsebin v učni načrt se postavlja vprašanje, katera snov je za učence določene starosti pretežka. Pri tem učitelji pogosto trdijo, da učenci določene snovi, predvsem tiste, ki je v učnem načrtu nova, ne morejo razumeti. Pri razlaganju naravoslovnih konceptov, tako enostavnih kot bolj kompleksnih, je predvsem pomembno, da ima učitelj dobro strokovno znanje o poučevanih vsebinah. To je temelj za prilagoditev poglobljenosti in podrobnosti razlage kognitivnim sposobnostim učencev. Pri tem mora biti poenostavljena razlaga strokovno korektna in nadgradljiva v nadaljnjem izobraževanju ter pri učencih ne sme ustvarjati napačnih predstav.

Ob tem je zanimivo, denimo, splošno razširjeno prepričanje, da majhni otroci niso sposobni razumeti abstraktnih naravoslovnih konceptov in da jih moramo zato vsaj na začetku osnovne šole poučevati predvsem na deskriptivni ravni, z opisovanjem fizikalnih in bioloških pojavov. To prepričanje ne temelji na rezultatih empiričnih pedagoških raziskav. V obsežni raziskavi, izvedeni v sedemdesetih in osemdesetih letih 20. stoletja, se je skupina učencev v prvem in drugem razredu osnovne šole v ZDA (starost 6 do 8 let) učila o dveh temeljnih naravoslovnih

konceptih: o energiji in o tem, da so snovi zgrajene iz delcev, ki se imenujejo molekule (Novak, 2005). Kontrolna skupina učencev se o tem ni učila. Napredek obeh skupin učencev, poučevane in nepoučevane (kontrolne), so raziskovalci spremljali skozi 12 let šolanja, do konca srednje šole. Poučevani učenci, ki so si osnovne naravoslovne predstave ustvarili že v prvem in drugem razredu, so na vseh stopnjah izobraževanja izkazali bistveno boljše razumevanje naravoslovnih konceptov kot nepoučevani učenci. Poučevani učenci so imeli tudi manj napačnih predstav kot nepoučevani učenci (slika 4; Novak, 2005). Na temelju teh rezultatov avtor raziskave ugotavlja, da sedanji zvezni standardi naravoslovnega znanja v ZDA (American Association for the Advancement of Science 1993, 2001b, 2007; National Research Council, 1996), ki so po zahtevnosti podobni slovenskim (učenje o delcih in energiji pri starosti približno 11 let), bistveno podcenjujejo sposobnost otrok za konceptualno učenje.

Pri tej raziskavi se je tudi izkazalo, da je pomembna ovira pri postavljanju učenčevih temeljnih naravoslovnih predstav slabo strokovno znanje učiteljev, ki lahko vodi do trdovratnih napačnih predstav. Zato je avtor raziskave učiteljem celo prepovedal, da bi pri pouku sploh omenja-



**Slika 4:** Primerjava števila pravilnih in nepravilnih naravoslovnih predstav pri učencih, ki so se v prvem in drugem razredu osnovne šole učili o energiji in snovnih delcih (B), in pri učencih, ki tega dodatnega pouka niso bili deležni (A; kontrolna skupina). Za dodatna pojasnila glej glavno besedilo. Prirejeno po Novak (2005).

li energijo in snovne delce, kar sicer tudi ni bil del učnega načrta za prvi in drugi razred. Poučevani učenci so se o energiji in snovnih delcih seznanili izključno iz kratkih razlag, posnetih na kasete, ki so jih raziskovalci skrbno pripravili in prilagodili kognitivnim sposobnostim učencev (Novak, 2005). Opisani primer kaže, da lahko celo majhni otroci razumejo abstraktne naravoslovne koncepte, če so ti podani na ustrezen in strokovno korekten način.

### **Kaj je pomembnejše – didaktični pristop in zabavnost pouka ali vsebina?**

V skupnosti, ki se ukvarja z naravoslovnim izobraževanjem, je v zadnjem času splošno razširjeno prepričanje, da je glavni problem naravoslovnega izobraževanja didaktični pristop, pri čemer naj bi bil najboljši način poučevanja naravoslovja raziskovalno (izkustveno) učenje in ne neposredno poučevanje. Raziskovalno učenje na temelju praktičnih izkušenj naj bi vodilo v globoko in dolgotrajno razumevanje naravoslovnih pojavov in raziskovalnih postopkov. Pri tem je predstava, da raziskovalno učenje zagotavlja smiselno učenje, neosnovana, saj ni podprta z empiričnimi rezultati pedagoških raziskav. Prepričanje, da je uporaba raziskovalnih metod učenja edini način za doseganje konstruktivističnega učenja, predstavlja zmotno interpretacijo oz. zlorabo konstruktivistične teorije učenja (Mayer, 2004).

Dejansko empirične raziskave v zadnjih petdesetih letih dosledno kažejo, da je učenje na temelju lastnih izkušenj z minimalnim vodstvom učitelja bistveno manj učinkovito kot metode poučevanja, ki imajo večji poudarek na vodenju učencev med procesom učenja (Klahr in Nigram, 2004; Mayer, 2004; Novak in Cañas, 2006; Kirsher in sod., 2006; Sweller in sod., 2007). Učinkovite (konstruktivistične) metode poučevanja označuje *miselna* in ne *vedenjska* aktivnost ter vodenje med učenjem in ne popolnoma samostojno raziskovanje (Mayer, 2004). Če učenci nimajo vsaj osnovnega prehodnega konceptualnega razumevanja pojava, ki ga raziskujejo, potem s praktično dejavnostjo pogosto ne pridobijo nič relevantnega znanja in praktična dejavnost ni nič več kot samo navidezna zaposlenost (Novak in Cañas, 2006). Ravno tako razvijanje sposobnosti za pridobivanje znanja in za iskanje relevantnih informacij ne more nadomestiti potrebe po razumevanju naravoslovnih konceptov, posebej v hitro se spreminjajočem svetu 21. stoletja, v katerem mora biti naravoslovno znanje nadgradljivo (Sweller in sod.,

2007). Torej mora biti poučevanje osredotočeno okoli razumevanja naravoslovnih konceptov, pri čemer se lahko premišljeno in uravnovešeno uporabljajo različne metode poučevanja – celoten spekter metod od frontalnega predavanja do raziskovalnega učenja. Seveda morajo biti ob tem praktične dejavnosti integralni del pouka, nikakor pa ne smejo biti same sebi namen ali celo glavni namen naravoslovnega izobraževanja.

Ob tem so zanimive izkušnje s poučevanjem naravoslovja na Norveškem, kjer so s kurikularno prenovo leta 1997 v ospredje postavili aktivne metode učenja (učenje z dejavnostjo) in procesne cilje, doseganje vsebinskih ciljev pa je postalo manj pomembno. Rezultati mednarodnih raziskav TIMSS 2003 in PISA 2003 so pokazali izrazit padec ravni naravoslovnega znanja pri norveških učencih. V obsežnem poročilu raziskovalci ta padec znanja v veliki meri pripisujejo pretiranemu posvečanju dejavnostim pri pouku in premajhnemu poudarku na postopnem razvijanju razumevanja naravoslovnih konceptov (Institute for Teacher Education and School Development, 2006). Opozarjajo, da je veliko stvari učencem treba *razložiti* in da ne morejo vsega sami *odkriti*. Ugotovili so tudi, da je padec kakovosti naravoslovnega poučevanja vodil do socialnega razslojevanja učencev, pri čemer so učenci iz višjih socialnih slojev izkazali več znanja kot tisti iz nižjih. Če je pouk v šoli slab, potem zavzetost staršev za izobraževanje lastnih otrok postane pomemben dejavnik, ki vpliva na pridobljeno znanje.

Današnja šola je izpostavljena pritiskom zaradi popkulture in sprememb družbenih vrednot. Mladi rastejo v svetu, v katerem naj bi celo informacija zabavala in kjer je skoraj vsaka stvar v trenutku dosegljiva s samopostrežno ponudbo na internetu. Šole se morajo tem trendom upreti, saj bližnjic do znanja ni in osebni napredek lahko temelji samo na trdem delu. Ravno tako lahko šola ob vse večji vključenosti učencev pri odločanju podleže pritiskom, da bi se učenci učili samo tisto, kar jih trenutno zanima in zabava. Vendar pa ni pomembno, ali učence neka tema ali oblika pouka zabava, ampak predvsem to, kaj se lahko iz tega naučijo (Institute for Teacher Education and School Development, 2006). Široka splošna izobrazba je namreč temelj za uspešno vseživljenjsko učenje, ki ga vse bolj zahteva spreminjajoča se globalizirana družba, in tudi za dolgoročno delovno fleksibilnost (Delors in sod., 1996). Ob naraščanju pomena naravoslovne pismenosti in hitrem prelivanju novih znanstvenih spoznanj v tehnološke

aplikacije je pomemben hiter prenos novega vsebinskega znanja v naravoslovno izobraževanje. V 21. stoletju je tako sodoben pouk naravoslovja mogoč samo s tesnim sodelovanjem med znanstveniki in šolami. Zato v mnogih državah vzpodbujajo vzpostavitev dolgoročnih partnerstev med znanstvenoraziskovalnimi ustanovami in šolami (Tanner in sod., 2003; Dolan in Tanner, 2005; Peplow, 2004; Leshner, 2007). Sodelovanje znanstvenikov je ključnega pomena tudi pri razvoju novih raziskovalnih aktivnosti, pri katerih se učenci srečajo s pravim duhom znanosti (Bhattacharjee, 2005; Moore, 2007).

### Biologija in družba

Zagotavljanje sodobne splošne izobrazbe od učitelja biologije med drugim zahteva, da v pouk vključuje družbeno aktualne teme. Nekatera nova odkritja biološke znanosti namreč kmalu postanejo tema družbenih razprav (npr. gensko inženirstvo, kloniranje, človekov vpliv na ekosisteme). Obravnavanje teh tem pri učencih razvija sposobnost za uporabo pridobljenega biološkega in naravoslovnega znanja na konkretnih primerih, povezanih z osebnimi in družbenimi odločitvami. Pri tem se učitelj biologije sooča z dodatnim izzivom, saj celostna obravnava družbeno pomembnih tem zahteva tudi upoštevanje etičnih načel, zakonodaje, mnenj ekonomistov ipd.

### Zahvala

Zahvaljujem se mag. Minki Vičar, Zavod RS za šolstvo, in dr. Alu Vrezcu, Nacionalni inštitut za biologijo, za zanimive razprave o problemih biološkega izobraževanja.

### Literatura

- American Association for the Advancement of Science (1993): *Benchmarks for Science Literacy*. New York, Oxford.
- American Association for the Advancement of Science (2000): *Big Biology Books Fail to Convey Big Ideas, Reports AAAS's Project 2061*. <http://www.project2061.org/about/press/pr000627.htm> (dostop 7. 7. 2008).
- American Association for the Advancement of Science (2001a): *Designs for Science Literacy*. New York, Oxford.
- American Association for the Advancement of Science (2001b): *Atlas of Science Literacy – Volume 1*. Washington D.C., American Association for the Advancement of Science, ZDA.
- American Association for the Advancement of Science (2007): *Atlas of Science Literacy – Volume 2*. Washington D.C., American Association for the Advancement of Science, ZDA.
- Anderson D. L., Fisher K. M., Norman G. J. (2002): Development and evaluation of the conceptual inventory of natural selection. *Journal of Research in Science Teaching* 39: 952–978.
- Bhattacharjee Y. (2005): New Curricula Aim to Make High School Labs Less Boring. *Science* 310: 224–225.

Ker sodobna biologija pri pouku ni ustrezno predstavljena, se za študij bioznanosti pogosto odločajo dijaki, ki si biologijo predstavljajo na izrazito zastarel način in ne kot »trdo« znanost, ki kot temeljna orodja uporablja znanje matematike, fizike, kemije, računalništva ipd. Ta napačna predstava dijake tako pri nas kot v drugih državah vodi v izbiro neustreznega študija, dolgoročno pa predstavlja oviro za nadaljnji razvoj bioznanosti. Posodobljena predstavitev biologije pri pouku mora biti usmerjena tudi v preseganje tega problema in v ozaveščanje učencev o pomenu naravoslovne znanosti in tehnologije pri zagotavljanju blaginje človeštva in trajnostnega razvoja (Holdren, 2008).

### Sklep

Posodobitev biološkega izobraževanja je zahtevna naloga, pri kateri je nujno tesno sodelovanje med učitelji in strokovnjaki za posamezna področja biologije. Ustrezno splošno izobrazbo, ki bo našim državljanom omogočala aktivno družbeno in osebno odločanje v 21. stoletju, bomo lahko dosegli le z dolgoročno podporo učiteljem. Ti so odločilni posredniki obstoječega znanja prihodnjim generacijam, zato jim moramo omogočiti tako dovolj intenzivno sprotno strokovno izobraževanje kot tudi dostop do kakovostnih učnih pripomočkov in gradiv.

- Bhattacharyya M, Martin C, Smith A. (1993): The importance of starch biosynthesis in the wrinkled seed shape character of peas studied by Mendel. *Plant Molecular Biology* 22: 525–531.
- Brodie M., Needham R., Bullough A., Mannion K. (2002): *Transforming Teaching and Learning in KS3 Science*. London, Learning Matters.
- California Department of Education (2004): *Science Framework for California Public Schools - Kindergarten Through Grade Twelve*. Kalifornija, ZDA.
- Chapin F. S. III, Walker B. H., Hobbs R. J., Hooper D. U., Lawton J. H., Sala O. E., Tilman D. (1997): Biotic control over the functioning of ecosystems. *Science* 277: 500–504.
- Dawkins R. (1996): *Climbing Mount Improbable*. Viking, London.
- Delors J. in sod. (1996): *Learning: the Treasure Within. The report to UNESCO of the International Commission on Education for the Twenty-first Century*. UNESCO Publishing.
- Department for Education & Qualifications and Curriculum Authority (2004): *Science - The National Curriculum for England. Key stages 1-4*. Velika Britanija, Anglija.
- Dolan E., Tanner K. (2005): Moving from Outreach to Partnership: Striving for Articulation and Reform across the K–20+ Science Education Continuum. *Cell Biology Education* 4: 35–37.
- Feynman R. P. (1968): What is Science? *The Physics Teacher* 7: 313–320 [http://www.fotuva.org/feynman/what\\_is\\_science.html](http://www.fotuva.org/feynman/what_is_science.html) (dostop 7. 7. 2008).
- Haeckel E. (1866): *Generelle Morphologie der Organismen*. G. Reimer, Berlin.
- Holdren J. P. (2008): Science and technology for sustainable well-being. *Science* 319: 424–434.
- Hrastar M. (2007). Stoodstotno organska voda - Ali smo obsedeni z bioprehrano? *Mladina*. [http://www.mladina.si/tehdnik/200716/clanek/kul-femina\\_sceptica--mateja\\_hrastar/](http://www.mladina.si/tehdnik/200716/clanek/kul-femina_sceptica--mateja_hrastar/) (dostop 7. 7. 2008).
- Institute for Teacher Education and School Development (2006): *Norwegian reports from TIMSS and PISA 2003. Short English versions*. University of Oslo, Norveška.
- Khodor J., Gould Halme D., Walker G. C. (2004): Hierarchical Biology Concept Framework: A Tool for Course Design. *Cell Biology Education* 3: 111–121.
- Kirschner P. A., Sweller J., Clark R. E. (2006): Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist* 41: 75–86.
- Kinchin I. M. (2001): If concept mapping is so helpful to learning biology, why aren't we all doing it? *International Journal of Science Education* 23: 1257–1269.
- Klahr D., Nigam M. (2004): The equivalence of learning paths in early science instruction: Effects of direct instruction and discovery learning. *Psychological Science* 15: 661–667.
- Klymkowsky M. W., Garvin-Doxas K., Zeilik M. (2003): Bioliteracy and teaching efficacy: What biologists can learn from physicists. *Cell Biology Education* 2: 155–161.
- Leshner A. I. (2007): Outreach training needed. *Science* 315: 161.
- Lester D. R., Ross J. J., Davies P. J., Reid J. B. (1997). Mendel's stem length gene (Le) encodes a gibberellin 3 $\beta$ -hydroxylase. *The Plant Cell* 9: 1435–1443.
- Levetin, E., McMahon, K. (2006): *Plants and Society*. 4. izdaja. McGraw-Hill.
- Löfgren L., Hellden G. (2007): Following young students' understanding of three phenomena in which transformations of matter occur. *International Journal of Science and Mathematics Education*. doi 10.1007/s10763-006-9064-5.
- Mayer R. E. (2004): Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? The case for guided methods of instruction. *American Psychologist* 59: 14–19.
- McComas W. F. (2002): The ideal environmental science curriculum: history, rationales, misconceptions and standards. *American Biology Teacher* 64: 665–672.
- Millar R. (2005): *Teaching about energy*. University of York, Department of Educational Studies, Research Paper 2005/11; 21 str..
- Millennium Ecosystem Assessment (2005): *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, D.C.
- Moore A. (2007): Biološko izobraževanje v hitro spreminjajočem se znanstvenem in socialno-ekonomskem kontekstu. V: *GENI-alna prihodnost – genetika, determinizem in svoboda*. Zbornik prispevkov posveta, ZRSŠ in MŠŠ, str. 224–228.
- Moore A. (2008): Science teaching must evolve. *Nature* 453: 31–32.



- National Research Council (1996): *National Science Education Standards*. National Academy Press, Washington DC, ZDA.
- Novak J. D. (2004): A science education research program that led to the development of the concept mapping tool and a new model for education. *Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping*, Pamplona, Španija.
- Novak J. D. (2005): Results and implications of a 12-year longitudinal study of science concept learning. *Research in Science Education* 35: 23–40.
- Novak J. D., Cañas A. J. (2006): *The theory underlying concept maps and how to construct and use them*. Technical Report IHMC CmapTools 2006-01 Rev 01-2008, Florida, Institute for Human and Machine Cognition. <http://cmap.ihmc.us/Publications/ResearchPapers/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf> (dostop 7. 7. 2008).
- Peplow M. (2004): Doing it for the kids. *Nature* 430: 286–287.
- Roseman J. E., Caldwell A., Gogos A., Kurth L. (2006): *Mapping a coherent learning progression for the molecular basis of heredity*. Project 2061, American Association for the Advancement of Science. Predstavljeno na simpoziju The National Association for Research in Science Teaching Annual Meeting, 4. april 2006, San Francisco, ZDA. <http://www.project2061.org/publications/articles/papers/narst2006.pdf> (dostop 7. 7. 2008).
- Sato Y., Morita R., Nishimura M., Yamaguchi H., Kusaba M. (2007). Mendel's green cotyledon gene encodes a positive regulator of the chlorophyll-degrading pathway. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104: 14169–14174.
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2005): *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*. Luchterhand, Nemčija.
- Sweller J., Kirschner P. A., Clark R. E. (2007): Why minimally guided teaching techniques do not work: A reply to commentaries. *Educational Psychologist* 42: 115–121.
- Tanner K., Chatman L., Allen D. (2003): Approaches to biology teaching and learning: Science teaching and learning across the school–university divide—cultivating conversations through scientist–teacher partnerships. *Cell Biology Education* 2: 195–201.
- Tanner K., Allen D. (2005): Approaches to biology teaching and learning: understanding the wrong answers - teaching toward conceptual change. *Cell Biology Education* 4: 112–117.
- Toh K.-A., Ho B.-T., Riley J.P., Hoh Y.-K. 2006. Meeting the highly qualified teachers challenge. *Educational Research for Policy and Practice* 5: 187-194.
- U.S. Department of Education (2003): *Meeting the Highly Qualified Teachers Challenge: The Secretary's Second Annual Report on Teacher Quality*. U.S. Department of Education, Office of Policy Planning and Innovation, Washington, D.C.
- Vilhar B. (2007): Pomen biološkega znanja za splošno izobrazbo. V: *GENialna prihodnost – genetika, determinizem in svoboda*. Zbornik prispevkov posveta, ZRSŠ in MŠŠ, str. 229–238.
- Vilhar B., Zupančič G., Gilčvert Berdnik D., Vičar M. (2008a): *Učni načrt za predmet naravoslovje v 6. in 7. razredu osnovne šole* (vsebinski sklop Živa narava). Sprejeto na Strokovnem svetu RS za splošno izobraževanje, v pripravi za tisk.
- Vilhar B., Zupančič G., Gilčvert Berdnik D., Vičar M., Zupan A., Sobočan V., Devetak B., Sojar A. (2008b): *Učni načrt za predmet biologija v 8. in 9. razredu osnovne šole*. Sprejeto na Strokovnem svetu RS za splošno izobraževanje, v pripravi za tisk.
- Vilhar B., Zupančič G., Vičar M., Sojar A., Devetak B., Gilčvert Berdnik D., Sobočan V. (2008c): *Učni načrt za predmet biologija v gimnaziji*. Sprejeto na Strokovnem svetu RS za splošno izobraževanje, v pripravi za tisk.
- Vilhar B., Zupančič G., Vičar M., Sojar A., Devetak B., Gilčvert Berdnik D., Sobočan V. (2008d): *Učni načrt za predmet biologija v strokovnih gimnazijah*. Sprejeto na Strokovnem svetu RS za splošno izobraževanje, v pripravi za tisk.
- Walker N. W. (2004): *Zdrava prehrana in solate – Vegetarijanski vodnik*. Aura. <http://www.aura.si/slike/1.pdf> (dostop 7. 7. 2008).
- Yip D. Y. (1998): Identification of misconceptions in novice biology teachers and remedial strategies for improving biology learning. *International Journal of Science Education* 20: 461–477.
- Yip D. Y. (2001): Promoting the development of a conceptual change model of science instruction in prospective secondary biology teachers. *International Journal of Science Education* 23: 755–770.

## TAKSONOMIJE IN ZNANJE

### Janez Justin

Pedagoški inštitut, Gerbičeva 62, 1000 Ljubljana; e-naslov: janez.justin@guest.arnes.si

---

*Janez Justin se je rodil leta 1951 v Ljubljani. Na Filozofski fakulteti Univerze v Ljubljani je diplomiral iz književnosti, jezikoslovja in filozofije. Podiplomski študij opravil na Ecole des Hautes Etudes en Sciences sociales v Parizu in na Faculty of Linguistics na Univerzi v Antwerpnu, doktoriral je na Univerzi v Ljubljani iz epistemologije. Sodeloval je pri več raziskovalnih projektih s področja izobraževanja (državljska vzgoja, učbeniki, učinki učenja), teorije znanja in analize razgovora. Bil je nacionalni koordinator za vse IEA študije, v katerih je sodelovala Slovenija. Trenutno je vodja Centra za uporabno epistemologijo na Pedagoškem inštitutu v Ljubljani, kjer izvajajo IEA študije in raziskavo Pisa. Od leta 1995 do 2001 je bil direktor Pedagoškega inštituta, od 1998 do 2006 je bil vodja Nacionalnega sveta za evalvacijo izobraževanja, zdaj pa je njegov član. Je profesor na Inštitutu Studiorum Humanitatis na Fakulteti za podiplomski humanistični študij, Ljubljana.*

### Izvleček

Bloomova taksonomija ciljev vzgoje in izobraževanja v Sloveniji že desetletja vpliva na kurikularno načrtovanje in preverjanje znanja, med drugim tudi pri predmetu biologija. Avtor besedila skuša pokazati, da je bil ta vpliv vseskozi problematičen. Strokovna besedila in celo uradni šolski dokumenti pogosto potvarjajo taksonomijo. Sporna je tudi izvorna različica taksonomije. Nastala je na opisnih in izkustvenih izhodiščih, kar jo uvršča med klasifikacije, ki so nastajale v času pred Linnéjem. V taksonomijo je vgrajena logika, ki neustrezno razdvaja psihološko in epistemsko razsežnost učenja. Avtorji taksonomije se zavzemajo za načelo učenčeve avtonomnosti, vendar se v njihovi razlagi to načelo nanaša le na psihološko razsežnost učenja. Bloomova skupina je znanje enačila z informacijami, čeprav so že sočasne spoznavne teorije skoraj enotno trdile, da je znanje sestavljeno iz pojmov. Zato taksonomija ne upošteva dejstva, da je vse (tudi biološko) znanje perspektivno. Kako sporne zamisli so vgrajene v Bloomovo taksonomijo, je mogoče pokazati na primeru biološkega pouka in znanja.

## TAKSONOMIES AND KNOWLEDGE

### Janez Justin

Educational Research Institute, Gerbičeva 62, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: janez.justin@guest.arnes.si

---

*Born in 1951 in Ljubljana. Graduated from literature, languages and philosophy at the Faculty of Arts, University of Ljubljana. Postgraduate studies: École des hautes études en sciences sociales, Paris, and Faculty of Linguistics, University of Antwerp. Obtained his Ph. D. from epistemology at the Faculty of Arts, University of Ljubljana. Carried out a considerable number of research projects in the areas of education (civic education, textbooks, learning achievements), theories of knowledge, and discourse analysis. National coordinator for all IEA studies in which Slovenia has been participating. At present head of the Centre for Applied Epistemology at Educational Research Institute where IEA studies and the PISA study are being conducted. From 1995 to 2001 director of the Educational Research Institute, Ljubljana. From 1998 to 2006 head of the National Council for the Evaluation in Education, now member of that body. Professor at the Institutum Studiorum Humanitatis – Ljubljana Graduate School for Humanities.*

## Uvod

Na Slovenskem neka *taksonomija ciljev vzgoje in izobraževanja* že desetletja vpliva na kurikularno načrtovanje in sisteme preverjanja ter ocenjevanja znanja. Znana je kot *Bloomova taksonomija vzgojno–izobraževalnih ciljev*, čeprav je v resnici izdelek skupine, v kateri so imeli poleg Blooma pomembno vlogo še Engelhart, Furst, Hill in Kratwohl. Taksonomija je začela nastajati ob koncu štiridesetih let prejšnjega stoletja, leta 1956 pa je bila objavljena v knjigi, ki ima zaradi podrobnih navodil za rabo taksonomije naravo priročnika (Bloom, Engelhart, Furst, Hill, Kratwohl, 1956). Bloomova skupina je razlikovala med tremi *področji vedénja* (behavior): spoznavnim, čustvenim in psihomotoričnim področjem. Tu se bom posvetil le prvemu, spoznavnemu področju. V nadaljevanju bom izraz ‘taksonomija’ uporabljal le za ta del.

V šolskem letu 2009/10 naj bi pouk biologije v 8. in 9. razredu osnovne šole stekel po prenovljenih učnih načrtih. Učni načrti se v tistem delu, kjer so podana priporočila za učitelje, opira na pojem *taksonomske ravni znanja* in pojem *taksonomije znanj*. Zdi se, da so omembe ‘višjih’ taksonomskih ravni v njem povezane s specifično interpretacijo (beri: potvorbo) ‘Bloomove’ taksonomije, ki je nastala na Slovenskem. Tu je nekaj odlomkov iz učnih načrtov za predmet: »Pričakovani dosežki so zapisani splošno, kar pomeni, da jih bodo učenke/učenci dosegli v različnem obsegu in na različnih taksonomskih stopnjah.« »V okviru načrtovanja pouka naj bodo poleg ostalih elementov jasno razvidni cilji, pričakovani dosežki (razumevanje konceptov in razvijanje procesnih ciljev), predvideni načini preverjanja predznanja, stopnje doseganja ciljev in ocenjevanja izkazanega znanja na različnih taksonomskih ravneh...« »Ob zaključku predmeta je učiteljica/učitelj biologije dolžna/-an pri učenkah in učencih doseči pričakovane dosežke na čim višjih taksonomskih ravneh glede na njihove zmožnosti.« »Medpredmetno povezovanje naj bo načrtovano tako, da razvija znanje na višjih taksonomskih ravneh ...«

V besedilu bom skušal utemeljiti naslednje teze:

1. V pedagoškem govoru na Slovenskem se vsaj ena od taksonomij, ‘Bloomova’ taksonomija, pogosto prikazuje v potvorjeni obliki, v kateri imata osrednjo vlogo pojma ‘nižje’ in ‘višje taksonomske ravni’.
2. Ta taksonomija je nastala na opisnih in izkustvenih izhodiščih, kar je s stališča današnjih teorij klasificiranja sporno.

3. Logika ‘Bloomove’ taksonomije neustrezno razdvaja psihološko in epistemsko razsežnost učenja.
4. Avtorji taksonomije se zavzemajo za načelo učenčeve spoznavne *avtonomnosti*, vendar se v njihovi razlagi načelo nanaša le na *psihološko razsežnost učenja*. Avtorji predvidevajo, da si učenec *psihološko prilagaja* prejeta znanje, ne predvidijo pa možnosti, da bi posegal v osnovno pojmovno oziroma *epistemsko* zgradbo prejetega znanja.
5. Bloomova skupina je znanje enačila z *informacijami*, čeprav so že sočasne spoznavne teorije skoraj enotno trdile, da je znanje sestavljeno iz *pojmov*, ki se povezujejo v večje skladenjske celote; zato je skupina povsem obšla vprašanje *perspektivnosti* znanja.
6. Vsaj nekatere kritične ugotovitve o ‘Bloomovi’ taksonomiji je mogoče prenesti na druge taksonomije vzgojno–izobraževalnih ciljev.

## ‘Bloomova’ taksonomija in behaviorizem

V štiridesetih dvajsetega stoletja je imel pomembno vlogo v ameriški psihologiji behaviorizem. Zastavlja se vprašanje, ali je vplival na ‘Bloomovo’ taksonomijo vzgojno–izobraževalnih ciljev, pri nastanku katere so sodelovali šolski psihologi. V desetletjih po objavi taksonomije v knjigi so številne kritike letele ravno na njeno domnevno behavioristično zasnovo. So bile upravičene?

Bloomova skupina je svoje opise ciljev na spoznavnem področju opisala kot opredelitev »načinov, kako naj bi se učenci [opomba 1] v vzgojno–izobraževalnem procesu spremenili ..., torej načinov, kako naj bi se spremenili v mišljenju, čustvovanju in delovanju« (str. 26).

Avtorji taksonomije vzgojno–izobraževalnih ciljev so bili prepričani, da je mogoče *načrtno vplivati* na mišljenje, čustvovanje in delovanje učencev. V svoji knjigi so obžalovali, ker so ti vplivi vselej omejeni (str. 26). Med drugim so zapisali: »... poudarek je na ugotavljanju, koliko so se učenci naučili vedénja, ki je cilj poučevanja ...« (str. 13). Skupaj s predstavo o načrtnem vplivanju nas besedna zveza »učenje vedénja« res spominja na behaviorizem, vendar to ne zadošča, da bi sodbo o zvezi med taksonomijo in to smerjo v psihologiji lahko posplošili.

Taksonomijo sestavljajo opisi vedénja učencev, ki ga avtorji taksonomije označujejo kot ‘zeleno’. Opisi so sestavljeni iz *glagolov delovanja* (action verbs). Tako so

na primer glagoli 'povezati', 'razvrstiti', 'primerjati', 'izračunati', 'razlikovati' in 'razložiti' namenjeni opisom tiste vrste mentalnega vedanja, ki ga avtorji opišejo kot *razumevanje*. Raba glagolov delovanja je bila povod za najostrejše napade na taksonomijo. Nanje meri H. A. Dougthy, tik preden se loti zares ostre kritike 'Bloomove' taksonomije vzgojno–izobraževalnih ciljev:

»Skrb za glagole delovanja kaže na to, da so (avtorji taksonomije – J. J.) zavezani nečemu, kar bi lahko imenovali 'behavioristična vzgoja' ... od premalo plačanih delavcev, sestradanih podgan in študentov pričakujejo, da bodo postali izraziti uporabniki otipljivih nagrad. Takšno brezumno tekmovanje poteka v vsej naši družbi; bistvo izobraževalne različice tekmovanja je v tem, da študenti povlečejo ustrezní vedénjski vzvod, zato da bi pri študiju dobili svoj košček hrane (diplomo). Ni naključje, da družba, ki je obsedena z 'učinkovitostjo', z 'doseganjem ciljev', z 'učenjem in denarjem', tako poudarja vedénje, ki je vidno za zunanjega opazovalca in natančno merljivo; zdi se, da v našem sistemu behavioristična vzgoja deluje, ampak saj so delovali tudi električni šoki!« (Dougthy, 2006, str. 19).

Namigi na povezavo med taksonomijo in poskusi, ki so jih behavioristi izvajali na živalih, so zaradi svoje drastičnosti sicer zanimivi, vendar so šibko utemeljeni. Behaviorizem je nasprotoval mentalistični in introspektivni psihologiji. 'Bloomova' taksonomija pa temelji na mentalističnih izhodiščih in domnevi, da je introspekcija bistveni del učenja. Številna pojasnila k taksonomiji so v resnici opisi kompleksnih mentalnih procesov in zavesti. Tako v knjigi beremo o 'lestvicah zavesti ali zavedanja'; Bloomova skupina sodi, da so se učenci, ki so reševali probleme, bolj *zavedali* procesov, ki so potekali v njihovi zavesti, kot učenci, ki so reševali preprostejše naloge (str. 19–20). S temi in drugimi podobnimi formulacijami so se avtorji taksonomije navezali na fenomenološko usmerjeno psihologijo zavesti.

### Širša in ožja področja, razredi

Avtorji taksonomije so spoznavno področje vzgoje in izobraževanja razdelili na dve ožji področji. Prvo so opisali kot »priklicevanje in prepoznavanje znanja«, drugo pa kot »razvoj sposobnosti in veščin« (str. 7). Prvo ožje področje se v celoti prekriva s prvim od šestih *razredov spoznavnega vedanja*, ki sestavljajo taksonomijo. Drugo ožje področje pa obsega naslednjih pet razredov taksono-

mije. Celotna taksonomija obsega naslednjih šest razredov spoznavnega vedenja:

1. znanje  
-----
2. razumevanje
3. uporaba (znanja)
4. analiza
5. sinteza
6. evalvacija

V skladu z delitvijo na dve podpodročji sem posebej označil mejo med prvim razredom in ostalimi petimi razredi. Kot bo postalo razvidno kasneje, črta v resnici ne ločuje le dveh podpodročij spoznavnega področja vzgoje in izobraževanja, temveč tudi dve razsežnosti učenja.

Avtorji so ob vsakem razredu navedli vrsto nalog, ki naj bi služile merjenju sposobnosti učencev, da izpeljejo spoznavne dejavnosti, ki spadajo v posamezni razred. Vsakega od razredov taksonomije je tako mogoče opisati z izrazi, ki se nanašajo na spoznavne dejavnosti, ali z izrazi, ki se nanašajo na ustrezne sposobnosti učencev. Poenostavljeni opis šestih razredov taksonomije bom podal kot opis različnih sposobnosti učencev.

Oznako *znanje* so avtorji taksonomije uporabljali za sposobnost učencev, da prikličejo informacije, ki so jih predhodno prejeli, in prepoznajo objekte, ki so jim bili predstavljeni (str. 32).

Oznako *razumevanje* so uporabili za sposobnost učencev, da dojamajo pomen tistega, kar jim nekdo posreduje, in da prepoznajo namero, s katero jim je gradivo nekdo posredoval (str. 144). Razumevanje so opredelili tudi kot sposobnost učenca, da dojamajo *pomen dobesednega sporočila* (str. 89), in kot sposobnost, da ideje in gradivo – metode, teorije, načela (str. 120) –, ki jim jih posreduje učitelj, tako ali drugače uporabijo (str. 89). Gradivo naj bi razumel tisti učenec, ki pravilno reši nalogo, potem ko je dobil napotek, katero enoto znanja mora uporabiti (str. 120).

Sposobnost za *uporabo* znanja naj bi pokazal učenec, ki pravilno reši nalogo (problem), ne da bi prejel napotek, katero enoto znanja naj uporabi. Učenec naj bi bil sposoben uporabiti znanje, če je poprej razumel sporočila, ki jih je prejel (str. 120, 144).

Sposobnost za *analizo* naj bi imel učenec, ki uspešno razstavi neko gradivo na njegove sestavne dele, prepozna razmerja med njimi in način, po katerem je celota urejena (str. 144).

Sposobnost za *sintezo* naj bi pokazal učenec, ki na izvirni način sestavi in poveže dele nekega gradiva ter tako oblikujejo nove strukture in vzorce (str. 162).

Sposobnost za *vrednotenje* naj bi imel učenec, ki o gradivih, pojavih in rešitvah problemov izdeluje kvalitativne ter kvantitativne sodbe, ki v nasprotju z navadnim mnenjem temeljijo na jasnih in zavestnih merilih ali standardih (str. 185–186) pa tudi na predhodnih spoznavnih dejavnostih, zlasti na razumevanju in analizi (str. 186).

Značilnost 'Bloomove' taksonomije je, da je v njej vsak naslednji razred učenčevega mentalnega vedénja bolj *kompleksen* od predhodnega razreda, hkrati pa predhodne razrede  *vključuje* in jim nekaj dodaja (str. 16). Če bi torej neko preprosto spoznavno vedénje označili kot vedénje A, potem kompleksnejšega spoznavnega vedénja, ki spada v naslednji razred, ne bi smeli opisati kot vedénje B, temveč kot vedénje AB, saj naj bi obsegalo tudi preprostejše vedénje A. Vedénje, ki je še kompleksnejše od vedénja AB, bi morali opisati kot vedénje ABC itd.

V taksonomiji je z izjemo razreda *uporabe* vsak od razredov dalje razčlenjen v podrazrede. Tako je *znanje* dalje razčlenjeno v znanje o posebnostih in znanje o načinih ter sredstvih za rokovanje s posebnostmi; pa tudi vsak od teh ožjih razredov je dalje razčlenjen. Opisov ožjih razredov tu ne bom povzel.

### **Prenovljena različica taksonomije**

Izvirna (angleška) poimenovanja razredov 'Bloomove' taksonomije imajo samostalniško obliko: 'knowledge', 'comprehension', 'application' itd. Zato so dvoumna. Izraz 'analiza' se lahko nanaša na dejavnost ali na rezultat dejavnosti, na izsledke analize. Iz konteksta je sicer razvidno, da so avtorji taksonomije imeli v mislih *mentalno dejavnost* učencev ali še natančneje – njihovo mentalno vedénje. A če bi hoteli to nedvoumno izraziti, bi morali razrede svoje taksonomije poimenovati z glagolskimi oblikami; tako bi na primer namesto izraza 'comprehension' morali uporabiti izraz 'understanding'. Dvoumnost v poimenovanjih sta očitno opazila avtorja, ki sta štiri desetletja po izidu knjige, ki

jo je uredil Bloom, prenovila taksonomijo (Kratwohl, Anderson, 2001). Vse taksonomske razrede sta poimenovala z angleškimi glagolniki (gerundiji). Namesto 'knowledge' sta zapisala 'remembering', potem pa sledijo glagolniki 'understanding', 'applying', 'analyzing' itd. V slovenščini dobi ta različica taksonomije naslednjo obliko:

1. spominjanje
2. razumevanje
3. uporabljanje
4. analiziranje
5. vrednotenje
6. ustvarjanje

To so nedvoumni opisi spoznavnega vedénja, ne pa njegovih rezultatov. Taksonomija je v omenjenem delu doživela še nekaj sprememb. Iz nje je na videz izginilo 'znanje'. Vendar je v implicitni obliki še tu; spominjanje pač predpostavlja neko spoznavno vsebino, znanje. Spremenila sta se peti in šesti razred. Sintezo je nadomestilo ustvarjanje, vendar to v taksonomijo ni vneslo novih prvin. Ustvarjanje sta si avtorja prenovljene taksonomije zamislila kot povezovanje prvin na nove načine, kot izvirno sintezo, kot ustvarjanje novega, kot obliko kreativnosti, o kateri je – resda malce bolj previdno – pisala tudi že Bloomova skupina.

Vrednotenje se je v prenovljeni taksonomiji pomaknilo za mesto naprej. Anderson in Krathwohl sta menila, da navadno najprej ovrednotimo tisto, kar nam je dano, šele potem pa iz danih prvin ustvarimo novo sintezo.

Kljub spremembam je očitno, da ima prenovljena različica taksonomije podobno zasnovu kot skoraj pol stoletja starejši izvirnik.

### **'Bloomova' taksonomija in teorija klasificiranja**

Teorija klasificiranja se med drugim ukvarja z ločnico med *klasifikacijami* (taksonomijami) in navadnimi *inventarji*. Slednji so popisi celote, razdeljeni v razrede, ki so določeni po mehanskih ali konvencionalnih kriterijih. Takšne so knjižnične 'klasifikacije', ki so v resnici inventarji. Knjige so razvrščene po abecedi, po konvencionalno določenih zvrsteh ali po tematskih področjih. Po čem pa se prava klasifikacija razlikuje od inventarjev?

Odgovor lahko izhaja iz razvoja klasifikacijskih sistemov. V tem razvoju, ki je potekal od antike (Aristotela)

do Linnéja, Lamarcka, Lavoisiera, Mendeljejeva in naj-novejših klasifikacij v fiziki, biologiji ter drugih disciplinah, se kaže težnja po *odmiku* od kriterijev, izpeljanih iz neposrednega *opazovanja* in *opisov* pojavov. Ena prvih klasifikacij snovi – antična razvrstitev snovi na zemljo, zrak, vodo in ogenj – ki je seveda v celoti izhajala iz zaznavnih lastnosti snovi, je stoletja zavirala napredek v razumevanju zgradbe materije (prim. Travers, 1980, str. 17). Novoveške klasifikacije so se vse bolj oprijemale abstraktnih kriterijev. (V nekem smislu tudi poljubnih, a s tem se tu ne morem ukvarjati [opomba 2].) Raziskovalci niso govorili o *razredih*, *redih*, *rodovih* in *vrstah* z namenom, da bi opredelili ločnice med skupinami opazljivih pojavov, temveč z namenom, da bi skupine pojavov ločili med seboj v skladu s svojo teorijo o delovanju ali razvoju pojavov. Večina klasifikacij danes temelji na kriterijih, ki se nanašajo na nekaj, kar je pod pragom vidnega (na primer periodni sistem elementov). Tako so številne današnje klasifikacije živih bitij izdelane v (filo)genetski perspektivi. Kriteriji razvrščanja so izpeljani iz modelov, ki pojasnjujejo evolucijo, se pravi iz teoretske rekonstrukcije preteklega razvoja.

‘Bloomova’ taksonomija je nastala na drugačnih izhodiščih. Rečeno je bilo, da se razredi, iz katerih je sestavljena taksonomija, nanašajo na različne vrste mentalnega vedénja študentov. Avtorji so kot osnovno enoto tega vedénja opredelili vedénje, ki je pogoj za pravilno rešitev neke *naloge* ali *problema*, predstavljenega v izpitnem gradivu za študente (učence). Do opisov teh enot je Bloomova skupina prišla po poti, ki je z vidika sodobne teorije klasificiranja sporna. Člani skupine so se na začetku knjige predstavili kot člani »komiteja izpitnih pooblaščenecv za kolidže in univerze«. Pri oblikovanju taksonomije so se oprli na izpitna gradiva za študente. Ko je skupina opredeljevala razrede taksonomije, se je zgledovala po opisih zaželenega mentalnega vedénja študentov, ki so jih izdelali učitelji na ameriških kolidžih (Bloom, str. 13). Taksonomija torej ni izpeljana iz takšne ali drugačne teorije spoznavanja, učenja ali znanja, temveč je nastala kot poskus urejenega opisa izkušenj; njeni oblikovalci so povzeli prevladujoče presoje in opažanja neke skupine učiteljev. Travers (1980, str. 16) je opozoril, da so takšna izhodišča vodila izdelavo botaničnih klasifikacij v času pred Linnéjem.

### **Potvorba taksonomije na Slovenskem**

V tistem delu slovenskega pedagoškega govora, ki se sklicuje na ‘Bloomovo’ taksonomijo, najdemo številne omembe ‘nižjih’ in ‘višjih’ ravni znanja ali spoznavanja. O ‘višjih taksonomskih stopnjah’ beremo na primer v dokumentu, ki naj bi usmerjal preverjanje znanja v osnovni šoli (Izhodišča za pripravo nacionalnih preizkusov znanja v devetletni osnovni šoli, III – Opredelitev znanja). Podobne formulacije najdemo v učnih načrtih, na pr. v novem učnem načrtu za biologijo, ki učiteljem priporoča, naj z medpredmetnim načrtovanjem pri učencih razvijajo znanje na ‘višjih taksonomskih ravneh’. Kasneje bom skušal pokazati, da je omenjanje ‘višjih’ in ‘nižjih’ ravni sporno, tudi če ni izrecno omenjeno, da gre za ‘Bloomovo’ taksonomijo.

Bloomova skupina je trdila, da ima taksonomija hierarhičen ustroj (str. 18), vendar to pomeni le, da naj bi vsak *naslednji* razred mentalnega vedénja vseboval *predhodne razrede* (prav tam). Avtorji uporabljajo izraza, ki sem ju pravkar zapisal ležeče, in ne govorijo o ‘nižjih’ in ‘višjih razredih’, prav tako ne o ‘nižjih’ in ‘višjih’ ravneh znanja. Slovenski pedagoški govor pogosto tolmači ‘Bloomovo’ taksonomijo z izrazi, ki v resnici temeljno zamisel te taksonomije grobo potvarjajo. V tem govoru se izrazoma ‘nižji’ in ‘višji’ pogosto pritaknejo vrednostni pomeni, ki učitelja spodbujajo, naj spoznavno dejavnost učencev čim prej in v čim večjem delu preusmeri od ‘nižjega’ k ‘višjemu’. V nadaljevanju bom skušal pokazati, da je pedagoška praksa, ki nekritično sprejema te pobude, lahko močno sporna.

Na nekem mestu v knjigi, ki jo je uredil Bloom, je resda govor o tem, da je določeni razred učenčevega vedénja višje ali nižje v klasifikacijskem redu (str. 120), vendar moramo to povezati s prostorsko predstavo, ki si jo ustvarimo na osnovi grafičnega prikaza klasifikacije, ne pa z naravo tistih dejavnosti, ki spadajo v posamezne razrede taksonomije. Poleg tega avtorji taksonomije ne govorijo o *ravnih*, temveč dosledno o *razredih*, in sicer o razredih spoznavnih dejavnosti, ki jih je pričakovati *prej*, in razredih, ki jih je pričakovati *pozneje* v logičnem zaporedju spoznavnih dejavnosti. Ko na nekem mestu (str. 185) avtorji *vrednotenje* izjemoma označijo kot stopnjo (stage) in ne kot razred (class), o njej ne zapišejo, da je *najvišja* stopnja v spoznavanju, temveč pravijo, da je to stopnja, ki nastopi *pozno* v razvoju: »Vrednotenje smo postavili

na to mesto, ker je splošno prepričanje, da se pojavi na sorazmerno pozni stopnji v zapletenem procesu, ki obsega kombinacijo vseh drugih vedenj, znanja, razumevanja, uporabe, analize in sinteze« (str. 185). Avtorji pravijo tudi, da so »postavili vrednotenje na zadnje mesto na spoznavnem področju« (str. 185) – torej ne na najvišjo raven. Besedni zvezi 'pozna stopnja' in 'zadnje mesto' se nanašata na mesto pojava v *logičnem zaporedju* spoznavnih dejavnosti, ne pa na *ravni* v zgradbi spoznavnega procesa.

Bloomova skupina se je torej zavestno izogibala izrazom, kot sta 'nižja' in 'višja raven', ki ju slovenski uporabniki taksonomije tako pogosto uporabljajo. V izvorniku bere mo, da je taksonomija le »*opisna shema*«, v kateri je vsak cilj opisan v *nevtralni* obliki. Avtorji zagotavljajo, da se želijo *izogniti vrednostnim sodbam* o razredih vedjenja, ki sestavljajo taksonomijo (str. 14). Izrecno tudi pravijo: »Dogovorili smo se, da se bomo pri izdelavi taksonomije na vsak način skušali izogniti kakršni koli vrednostni sodbi o ciljih in vrstah vedjenja« (str. 6). S tem so hoteli doseči, da bi taksonomija lahko služila posameznikom in skupinam, ki različno razumejo cilje vzgoje in izobraževanja (str. 6–7). Avtorji sicer zapišejo: »Kot učitelji nameravamo spremeniti učenčevo vedenje tako, da bo naredil korak od preprostejšega tipa h kompleksnejšemu tipu, pri čemer drugi nekako vključuje prvega.« (str. 16) Vendar v izvornih opisih taksonomije ni prostora za sodbo, da so razredi spoznavnega vedjenja, ki v logičnem zaporedju spoznavnega delovanja nastopijo pozno (na primer sinteza in vrednotenje), sami po sebi pomembnejši ali vrednejši od razredov, ki v nastopijo bolj zgodaj.

Bloomova skupina je opozorila, da si morajo razredi spoznavnega vedenja slediti v logičnem zaporedju. Pri tem je opozorila na človekovo težnjo, da prehitro izdela vrednostne sodbe o predmetu spoznavanja, sodbe, ki so pogosto izrazito egocentrične (str. 185). Pokazala je na nevarnost, da učenci vrednotijo in ocenjujejo pojave na preozkih spoznavnih podlagah, še preden pojave razčlenijo in jih razumejo (str. 186; prim. Justin, 1989).

### ***Implicitna teorija znanja***

Avtorji taksonomije se niso neposredno ukvarjali z vprašanjem o naravi in definiciji znanja. Vendar je v njihovem delu prepoznati vsaj *implicitno teorijo znanja*. Sestavljena je iz prvin realistične, relativistične, konvencionalistične in utilitaristične teorije znanja.

Bistvo realistične teorije znanja je v predstavi, da je znanje, ki je shranjeno v spominu ali simbolnih zapisih, nastalo tako, da se je v um ali zapise enolično preslikala stvarnost, ki biva neodvisno od delovanja uma (prim. Justin, 2007). Pozorno preberimo naslednji odlomek iz besedila, ki pojasnjuje 'Bloomovo' taksonomijo: »Reševanje problemov ali razmišljanje ne more potekati v vakuumu, temveč mora temeljiti na poznavanju nekaterih 'realnosti'. Znanje je pogoj za intelektualne sposobnosti, opisane v taksonomiji« (str. 33). Avtorji so hoteli reči, da bi učenčev razum deloval *in vacuo*, če ne bi vzpostavil spoznavnega stika z 'realnostmi'. Z narekovaji ob izrazu 'realnosti' so se avtorji želeli izogniti klasičnim ontološkim vprašanjem, ki se odprejo s splošnostmi, kakršne so 'gozd', 'površina kvadrata' ali 'družbeno razmerje'. Kljub narekovajem besedna zveza »poznavanje 'realnosti'« nakazuje, da naj bi se znanje neposredno nanašalo na nekaj, kar obstaja neodvisno od našega razuma. To pa je seveda značilna realistična teza, žal v pretirano preprosti in skoraj naivni različici.

Iz česa je sestavljeno znanje? Bloomova skupina je menila, da iz *informacij*. Na mnogih mestih (str. 31, 32, 38 itd.) je znanje povsem izenačila z informacijami o 'realnosti'. O tem bom govoril kasneje.

Na nekaterih mestih v besedilu naletimo na fragmente nekakšne relativistične in konvencionalistične teorije znanja. Avtorji med drugim zapišejo, da tisto, kar je znano v nekem obdobju, morda ni bilo znano v predhodnem obdobju; kar ve neka skupina, družbeni razred ali kultura, morda ne vedo drugi (str. 32); znanje za avtorje ni nekaj, kar bi bilo večno resnično (str. 33). Na nekem mestu (str. 32) zapišejo: »... priznavamo stališče, da sta resnica in znanje le relativna in da ni nikakršnih trdih in trdnih resnic, ki bi veljale za vse čase in vse prostore« (str. 32). Drugje spet pravijo: »Pozorni moramo biti na to, da so veljavnost, natančnost in smiselnost informacij na mnogo načinov relativne in vedno vezane na neko časovno obdobje. Tako na primer tisto, kar je znano leta 1955, nekako ni bilo znano v predhodnem obdobju in bo po vsej verjetnosti doživelo nekaj sprememb v prihodnosti. Primerjajmo, kako smo si predstavljali atom pred dvajsetimi leti in kako ga vidimo danes« (str. 32).

Ko avtorji taksonomije razpravljajo o tem, kako koristno je znanje za ljudi, se z njihovimi argumenti mestoma razkrije utilitaristično razumevanje znanja. Ne da bi se v tej

točki spuščal v podrobno preiskavo, lahko ugotovim, da je 'Bloomova' implicitna teorija znanja, ki je del prikritih izhodišč za taksonomijo, izrazito *eklektična*. V njej vseeno prevladuje sestavina, ki jo lahko označimo kot spoznavno teoretski realizem, vendar v dokaj preprosti in naivni različici.

### **Odmik od nevtralnosti**

Čeprav se je Bloomova skupina izogibala vrednostnim sodbam o posameznih razredih spoznavnega vedanja, pa je iz opisov taksonomije razbrati, da ima po njenem mnenju spominsko *znanje* pogosto preveliko vlogo v izobraževanju. Kot rečeno, se oznaka 'znanje' nanaša na spominski *priklic* in *prepoznanje* znanja, ki ga Bloomova skupina enači z informacijami. Po njenem mnenju naj bi imelo znanje tako veliko vlogo v šolah zato, ker ga učitelji zlahka nadzorujejo in ocenjujejo (str. 34). To naj bi bila značilnost celotne zahodne kulture (prav tam).

Avtorji taksonomije so svoj odnos do prevelike vloge spominskega znanja izrazili z navedbo zgodbe, v kateri nastopa Dewey (str. 29). Ta je ob obisku neke šole vprašal učence, kaj bi našli, če bi proti središču Zemlje izkopali luknjo. Učenci na vprašanje niso znali odgovoriti. Učiteljica je Deweyja opomnila, da vprašanja ni prav oblikoval. Sama je potem zastavila vprašanje učencem v drugačni obliki: »V kakšnem stanju je središče Zemlje?« Učenci so zdaj na vprašanje zlahka odgovorili: »V stanju žareče taline.« Dewey je menil, da so učenci tokrat odgovorili brez težav zato, ker je učiteljica vprašanje zastavila v obliki, v kateri jim je predhodno posredovala 'informacijo'. V svoji predhodni učni razlagi ni omenjala možnosti, da bi kdo lahko kopal proti središču Zemlje, temveč je središče Zemlje preprosto *opisala* s stavkom: »Središče Zemlje je v stanju žareče taline.« Učenci so si opis dobesedno zapomnili, na učiteljičino vprašanje pa so odgovorili tako, da so opis priklicali.

Na istem mestu je Bloomova skupina opozorila na razliko med spominskim znanjem in razumevanjem: »... znanje je le malo vredno, če ga ne moremo uporabiti v novih položajih ali v obliki, ki je zelo drugačna od oblike, v kateri smo ga prvič srečali« (str. 29). V zgodbi, ki jo je navedla Bloomova skupina, je Deweyev vprašanje zaradi nove predstave o kopanju proti središču Zemlje zahtevalo od učencev, da prejeta znanje uporabijo v *novi obliki*. (Kot bom pokazal kasneje, se je Bloomova skupina resda za-

vzemala za to, da bi učenec znanje uporabljal v različnih oblikah, a je pri tem poudarjala, da morajo biti vse oblike 'vzporedne' z osnovno obliko prejetega znanja. Pokazal bom tudi, kaj pomeni izraz 'vzporedne'.)

Taksonomija torej ni nevtralna. Vanjo je vgrajena pristranskost – avtorji so očitno dali prednost spoznavnim dejavnostim, v katerih učenci *presežejo* spominsko znanje. Zdi se, da je to povsem v skladu z današnjimi pedagoškimi normami. Vseeno pa bom skušal pokazati, da je v taksonomijo vgrajeno neko zelo enostransko in močno sporno razumevanje zahteve po preseganju spominskega znanja.

### **Vprašanje o znanju: informacije ali pojmi**

Bloomova skupina je z nekaj zgledi pokazala, iz kakšnih enot naj bi bilo sestavljeno (spominsko) znanje, med drugim z zgledom:

»Žuželke imajo šest nog.« (str. 30)

Današnje spoznavne, logiške in jezikoslovne teorije opisujejo spoznavno ali logično vsebino tovrstnih stavkov kot *propozicije*. Zato lahko rečemo, da imajo avtorji taksonomije tedaj, ko govorijo o znanju, v mislih predvsem *propozicijsko znanje*. V skladu s tem bodo moja kasnejša kritična opažanja o 'Bloomovi' taksonomiji vezana na to znanje ali vsaj na znanje, ki ga je mogoče izraziti s propozicijami.

Ko se je Bloomova skupina vezala na predstavo o propozicijskem znanju, se je hkrati tudi odmaknila od nje. Spoznavne, logiške in jezikoslovne teorije skoraj povsem enotno zagovarjajo tezo, da so propozicije sestavljene iz *pojmov*, avtorji taksonomije pa trdijo, da je znanje sestavljeno iz *informacij*. Natančneje si moramo ogledati nasledke enega in drugega razumevanja propozicijskega znanja.

Bloomova skupina je o znanju med drugim zapisala naslednje: »Znanje opredeljujemo kot nekaj, kar je komaj kaj več od spominjanja neke ideje ali pojava v obliki, ki je zelo blizu obliki, v kateri smo se z njima prvič srečali« (str. 29). Ko učenec dokazuje svoje spominsko znanje, ni avtonomen: obnoviti mora osnovno obliko znanja, ki ga je *prejel od drugih* (učiteljev, avtorjev učnih načrtov, učbenikov, leksikonov itd.) v obliki *sporočila* (str. 89). Iz opisov naslednjega razreda spoznavnih dejavnosti, razre-



da *razumevanja*, je razvidno, da v teh dejavnostih učenec že pridobi več avtonomnosti. Predvsem lahko spreminja *obliko* prejetega znanja–sporočila, jo mentalno preuredi tako, da postane zanj pomenljivejša. Prejeto znanje–sporočilo lahko prevede v druge jezikovne izraze (str. 89) in ga v novi obliki uporabi za reševanje problemov. V dejavnostih, ki sodijo v naslednje razrede, lahko učenec prejeta znanje–sporočilo ‘prevaja’, ‘interpretira’ in ‘ekstrapolira’ (str. 89–91). Lahko ga prilagodi svojim spoznavnim sposobnostim, spoznavnemu interesu in spoznavnemu slogu; tedaj je spoznavno še bolj avtonomen. Zdaj se moramo vprašati, o kakšni *vrsti* učenčeve avtonomnosti je tu govor. Jedro odgovora je v ugotovitvi, da se pojem avtonomnosti, kakor ga razume Bloomova skupina, v resnici nanaša le na *psihološko razsežnost učenja*. Razredi učenčevega spoznavnega delovanja, ki sledijo zapomnjenju, so prikazani kot *psihološko prilagajanje* in *uporaba* prejetega znanja, vendar tudi kot dejavnost, ki ne spreminja osnovne pojmovne oziroma epistemske vsebine prejetega znanja. Iz tega izhaja, da naj bi bil učenec v odnosu do epistemske vsebine poučevanja in učenja izrazito *neavtonomen*.

V to tolmačenje taksonomije nas silijo nekateri opisi tistih razredov spoznavnih dejavnosti, ki po mnenju Bloomove skupine presegajo spominsko znanje. Učenec dokaže, da prejeta znanje–sporočilo *razume*, s tem, da si *mentalno prilagodi* njegovo obliko (str. 89). Na naslednji stopnji *uporablja* prilagojeno znanje–sporočilo kot *orodje* za reševanje problemov. Natančneje, učenec v tem primer nanese *metode, teorije, načela* in *posplošitve*, ki jih spominsko priključuje, na neko gradivo z namenom, da bi rešil problem (str. 120 in 144). (Omembra metod, teorij, načel in posplošitev daje slutiti, da je znanje sestavljeno tudi iz abstraktnih pojmovnih sestavin, ki niso le ‘informacije’.) Bloomova skupina pa nikjer v besedilu ne dopusti možnosti, da bi se učenec *spraševal* o pojmovni (epistemski) vsebini prejetega znanja–sporočila. Skupina je sicer menila, da učenec lahko spravi to vsebino v novo obliko ali celo nov jezik, ki mu *psihološko* ustreza, vendar z omejitvijo, da mora biti nova oblika ali nov jezik *vzporeden prejetemu dobesednemu sporočilu* (str. 89), torej znanju, ki ga učenec prejme od *drugih* (učitelja, avtorja učbenika itd.).

Misel o nujni vzporednosti s prejetim sporočilom se neposredno sicer nanaša samo na *razumevanje*. Naslednji razred spoznavne dejavnosti, *analizo*, si avtorji takso-

nomije zamislijo kot avtonomno dejavnost. Učenec naj bi se v analizah »usmeril na tehnike in sredstva, ki mu v neki komunikaciji posreduje pomen« (str. 144), prepoznaval naj bi »neizrečene domneve, ki se skrivajo v tistem, kar je rečeno«, in domneve, do katerih lahko pridemo le s sklepanjem (str. 145–146), opravljal naj bi »kritično analizo« (prav tam). To je gotovo več kot le psihološko prilagajanje prejetih sporočil. Vendar je v opisih tovrstne učenčeve dejavnosti neka omejitev. Avtorji taksonomije ne predvidevajo, da bi se učenec spraševal o *znanju v ožjem pomenu* besede (metoda, teorijah, načelih in posplošitvah), ki ga prejme od drugih zato, da bi z njim *reševal probleme*. Takšno možnost izključuje tudi sama logika taksonomije. Da bi to razumeli, se moramo vrniti k razredu spoznavne dejavnosti, opredeljenemu kot uporaba znanja.

V besedilu se nakazuje predstava, da učenci prejeta znanje uporabljajo tako, kot uporabljamo orodje, ki visi na steni delavnice. Potem ko si znanje–orodje (psihološko) prilagodijo, ga uporabljajo za reševanje problemov. Sposobnost za rabo – intelektualnih ali ročnih – orodij je danes v uradniški in politični govorici poimenovana kot ‘*kompetenca*’. Oglejmo si naslednji odlomek iz besedila, ki ga je napisala Bloomova skupina:

»Potrebujemo nekakšen dokaz, da učenci lahko z znanjem nekaj naredijo, tj., da uporabijo informacijo v novih položajih ... Ko učenec naleti na nov problem ali položaj, pričakujemo, da bo izbral ustrezno tehniko za spopad z njima in uporabil potrebno informacijo, bodisi dejstvo ali načelo... Najsplošnejša operativna definicija teh sposobnosti in veščin je v tem, da je posameznik v svojih predhodnih izkušnjah sposoben najti ustrezno informacijo in tehniko in ju uporabiti v novih problemih in situacijah ... To zahteva v ozadju nekaj znanja ali metod, ki so že pripravljene za to, da jih uporabimo.« (str. 38)

Pozornost pritegne zlasti misel, da so »znanje in metode že pripravljene za to, da jih uporabimo«. Nekdo drugi jih je ustvaril za učence in zdaj so jim – kot orodje na steni namišljene intelektualne delavnice – na razpolago. Kako uspešno bodo učenci uporabili znanje–orodje, je odvisno predvsem od njihove ‘kompetence’. Iz opisov taksonomije izhaja, da analiza *sledi* uporabi znanja; analiza je torej spoznavna dejavnost, do katere naj bi prišlo *kasneje* kot do uporabe znanja pri reševanju problemov. Če je znanje predvsem orodje za reševanje problemov in če je ‘kompetentni’ učenec z njim že uspešno rešil nekaj pro-

blemov, si je težko predstavljati, da bi se potem *spraševal* o orodju, ki se je izkazalo za učinkovito, in ga *kritično analiziral*.

Za katera sporočila pa potem avtorji taksonomije sploh predvidevajo, da bi se o njih učenec na stopnji analize posebej spraševal? Če to ne velja za prejeta znanje–sporočilo, velja za različna pisna besedila, ki niso primarni vir (privilegirane, objektivirane) znanja, temveč so *drugotni* vir informacij o *subjektivnih* spoznavnih sodbah (stališčih, argumentacijah) posameznikov. Tako moramo sklepati zato, ker Bloomova skupina takrat, ko govori o kritični analizi, le–to veže na pisna besedila, v katerih prevladujejo osebna stališča in argumenti njihovih piscev. Po mnenju skupine naj bi bil učenec sposoben, da kritično analizira *avtorjeve* domneve (str. 145), *avtorjeva* gledišča in stališča (str. 147), *avtorjeva* pojmovanja znanosti, filozofije ali zgodovine (str. 148) ipd. Ne gre torej za znanje v ožjem pomenu besede, znanja, ki se je že *objektiviziralo* v »metodah, teorijah, načelih in posplošitvah« in je učinkovito orodje za reševanje problemov.

Skušal bom pokazati, zakaj je problematično, če predvidevamo, da bodo učenčeve spoznavne predstave na vseh stopnjah spoznavanja v bistvu ostale '*vzporedne*' prejetemu znanju–sporočilu. (Ko govorim o 'učencih', mislim tudi na dijake in študente, saj se izvorni izraz 'students' nanaša tudi nanje.).

Kot sem že dejal, je Bloomova skupina menila, da je znanje sestavljeno iz *informacij*, propozicijske teorije znanja pa temeljijo na tezi, da je znanje sestavljeno iz *pojmov*. Kaj v okviru enega in drugega pojmovanja pomeni pravkar omenjeno predvidevanje o zgradbi učenčevih spoznavnih predstav? Vprašanje zahteva malce daljše pojasnjevanje, vendar je odgovor, do katerega bomo slednjič prišli, nemara vreden naše pozornosti.

V razpravah o tem, kaj je pojem, so se izoblikovale različne razlage. Internalistične teorije zagovarjajo tezo, da je pojem *mentalna predstava* o nečem, kar biva zunaj razuma, ali *mentalni prototip* zunanjih bitnosti. Eksternalistične teorije vidijo v pojmu *spoznavni učinek skušne izkušnje* z zunanjimi dejstvi (pojem vode naj bi nam bil skupen zato, ker imamo z vodo enako izkušnjo). Za avtorje semantičnih teorij je pojem preprosto istoveten s *pomenom izrazov*. Dokaj soglasno pa je sprejeta teza, da pojme v mišljenju povezujemo v 'misli', ki po zgradbi

ustrezajo logični vsebini stavkov naravnega jezika, torej propozicijam. Nekatere internalistično usmerjene spoznavne teorije opisujejo 'misli' kot kompleksne *pojmovne predstave*, mišljenje pa kot nekakšno *mentalno roko-vanje* s temi predstavami (Sperber, Wilson, 1986).

Med raziskovalci spoznavnih procesov je vse več zanimanja za tezo, da pojem neizogibno postavi naše mišljenje o pojavih v takšno ali drugačno *perspektivo*. S *perspektivnostjo* pojmov so se ukvarjali filozofi (Wittgenstein, 1953; Quine, 1960) in predstavniki spoznavnega jezikoslovja (Langacker, 1987). M. Tomasello (Tomasello, 1999) pravi, da jezikovni simbol – ali natančneje, pojem, katerega nosilec je simbol – izbere za nas eno od *možnih* perspektiv, enega od možnih načinov gledanja na neki pojav (Tomasello, 1999, str. 95). Ko izberemo neki pojem in ga ubesedimo za drugo osebo, *usmerimo* spoznavni proces, ki poteka v tej osebi; nekateri teoretiki (Tomasello, van Dijk idr.) pravijo, da pri tem rokujemo (manipuliramo) s pozornostjo druge osebe. Ker so pojmi perspektivni, lahko govorec/pisec odloči, v kateri perspektivi bo poslušalec/bralca videl (razumel) neki pojav: »Perspektivna narava jezikovnih simbolov neskončno pomnoži možnosti, kako lahko manipuliramo s pozornostjo drugih oseb, in to izjemno vpliva na naravo spoznavnih predstav ...« (Tomasello, 1999, str. 107) Za omenjeno lastnost pojmov se zanimajo današnje *protirealistične* spoznavne teorije. Njihov motiv razumemo, če prepoznamo osnovno stališče zagovornikov nasprotne, tj. *realistične* spoznavne teorije. Oglejmo si ga. Realnost je sestavljena iz objektivnih dejstev, »ki so to, kar so, ne glede na to, kaj si mislimo o njih« (Russel, 1979, str. 23). Ta dejstva torej niso stvaritve našega uma in prepričan; govorijo nam o zunanjem svetu (Russel, 1979, str. 24). Imeti znanje o dejstvih pomeni, da se dejstvo *enolično* preslika v naše predstave o njih ali v stavke, ki jih izrekamo o njih. Zdaj ni težko uganiti, da je za nasprotno, torej *protirealistično* spoznavno teorijo sporna predvsem ideja enolične preslikave. Če so naši *opisi dejstev* sestavljeni iz pojmov in če so pojmi perspektivni, je vselej mogoče izdelati *različne*, nemara celo enakovredne opise tistega, kar imamo za realnost. Noben posamezni pojmovni opis realnosti ni nevtralen in objektivni opis. Z vsakim novim pojmovnim opisom le postavimo realnost v novo perspektivo, ali kot bi dejali radikalni protirealisti (konstruktivisti), *izdelamo* novo različico 'realnosti'. Tu se seveda ne morem podrobneje ukvarjati z razmerji med dvema nasprotujočima si usmeritvama v spoznavnih

teorijah, prav tako tudi ne z nekaterimi nedomišljenimi tezami protirealističnih spoznavnih teorij. Zadovoljiti se moramo s tem shematičnim in poenostavljenim povzetkom.

Kaj natanko pomeni, da so pojmi perspektivni? Vzemi mo preprost pojav, na primer človekovo naglo gibanje s pomočjo mišic. Lahko ga mislimo kot *vadbo* (teka), kot *hitenje* (na vlak), kot *preganjanje* (tatu), kot *beg* (pred nevarnostjo) ali še kako drugače. Z izbiro enega od teh pojmov se miselno postavimo na *gledišče*, določeno s specifičnim motivom osebe, ki se naglo giblje. Gledišče nam narekuje neko povsem določeno *razumevanje* gibanja ali kot malce manj natančno – metaforično – pravi Tomasello, določen način gledanja.

Zdaj se lahko vrnemo k vprašanju, ki sem ga zastavil zgoraj. Najprej moramo ugotoviti, kaj v okviru 'Bloomove' taksonomije pomeni, da oblike znanja, ki si ga učenec psihološko prilagaja in ga kot orodje uporablja pri reševanju problemov, vendarle ostajajo 'vzporedne' oblike prejetega znanja. Ko je Bloomova skupina zapisala, da je znanje sestavljeno iz *informacij*, je v slednjih videla *objektivno* znanje, ki ob vsem psihološkem prilagajanju vendarle lahko obstaja le v *eni osnovni različici*. Učenec lahko učinkovito uporablja prejeta znanje le, če ne spreminja njegove epistemske vsebine ali – rečeno v terminologiji Bloomove skupine – njegovega informacijskega jedra. Zdi se, da je ta sestavina taksonomije povezana s prevladujočo spoznavno–teoretsko usmeritvijo Bloomove skupine, ki sem jo že omenil, torej z njenim (naivnim) realizmom.

Zahteva po 'vzporednosti' med obliko *prejetega* znanja in obliko *prilagojenega* znanja pa dobi drugačen pomen, če sprejmemo tezo, da je propozicijsko znanje sestavljeno iz *pojmov* in ne *informacij*. Zahteva v tem primeru pomeni, da mora učenec ostati pri spoznavnih glediščih in perspektivah, vgrajenih v tiste *pojmovne opise realnosti*, ki mu jih je šola posredovala kot znanje.

### Zgled

Z razčlenitvijo naloge, ki je v referenčni mednarodni raziskavi PISA služila merjenju *spособnosti* učencev za »pojasnjevanje in interpretacijo pojavov ter uporabo znanstvenih pojmov« na področju *biologije*, bom skušal pokazati, kako vprašljiv je spoznavni položaj, v katerega bi učenca postavila pedagoška praksa, ki bi sledila *logi-*

*ki* 'Bloomove' taksonomije. Naj obnovim najbolj sporno sestavino te logike: Učenec si lahko tedaj, ko prehaja k poznejšim razredom ('višjim ravnem') spoznavne dejavnosti, prilagaja oblike prejetega znanja, vendar nove oblike ostajajo 'vzporedne' osnovni oblike prejetega znanja. Pokazal sem, kakšne nasledke ima to v primeru, če sprejmemo tezo, da je propozicijsko znanje sestavljeno iz *pojmov*. V tem primeru pričakujemo, da učenec na vseh stopnjah spoznavnega procesa ostaja na glediščih, ki so jih zanj pripravili pojmovni opisi realnosti, katere je prejel od učiteljev, avtorjev učbenikov itd.

Tu je besedilo naloge:

»Kaj so prednosti redne telesne vadbe? Pri vsaki od izjav obkroži »Da« ali »Ne«.

Ali je tole ena od prednosti redne telesne vadbe:

- Telesna vadba prispeva k zmanjšanju možnosti, da bi obolelo srce in žilje. Da Ne
- Telesna vadba vodi k bolj zdravemu načinu prehranjevanja. Da Ne
- Telesna vadba pripomore k temu, da se izognemo preveliki telesni teži. Da Ne

(PISA 2006, *Science Competencies for Tomorrow, Volume 1: Analysis, OECD, 2007, str. 97.*)

V vprašanju, ki ga naloga zastavlja učencu, je neka pojmovna sestavina – z njo pa tudi gledišče in perspektiva – ki bi zaslužila prav toliko učenčeve pozornosti kot zveza med telesno dejavnostjo in zdravjem srca ter žilja. Gre za pojem *vadbe*. Vprašanje usmerja učenca proč od možnosti, da bi se spraševal o tem pojmu. Če hoče uspešno rešiti nalogo, mora sprejeti *vse* pojmovne sestavine vprašanja, vključno s pojmom vadbe, kot *izhodišče* za iskanje odgovora. Oglejmo si to podrobneje.

Če se vsaj na prvi pogled zdi, da spada pojem *zdravja* med pojme, ki niso občutljivi za kulturni kontekst – med pojme, ki ne vzpostavljajo specifične perspektive, veza ne na neko določeno kulturo – pa tega za pojem telesne vadbe gotovo ni mogoče trditi. Ta vadba je le *ena* od telesnih *dejavnosti*, ki lahko prispevajo k zdravju srca in žilja. Podobne učinke kot *vadba* imajo tudi druge telesne dejavnosti, na primer redno telesno *delo* ali vsakdanje *pešačenje* v službo. Pojem vadbe nas postavi na gledišče, ki ga določa neki specifični motiv za telesno dejavnost, namreč motiv, ki se nanaša *predvsem* na ohranjanja

zdravja (nemara še pridobivanja moči, hitrosti, vzdržljivosti itd.). Pojma dela in pešačenja pa nas postavita na drugačno gledišče, določeno z drugačnimi neposrednimi motivi (pridobivanje dobrin, premikanje v prostoru); motiv ohranjanja zdravja je v tem primeru le možni vzporedni motiv. Pojem in prakso telesne vadbe ter motiv zanjo so razvile le nekatere kulture, zato lahko rečemo, da gre za *kulturne tvorbe*. V raziskavi PISA sodelujejo predvsem razvite države, katerih prebivalstvo se pretežno ukvarja z umskim delom in so različne oblike telesne vadbe ter motiv zanjo pri njem zelo razširjeni. Zato je za kalifornijske in skandinavske učence misel o vzročni zvezi med redno telesno vadbo ter zdravjem srca in žilja zlahka dostopna. Vendar omenjeno raziskavo izvajajo tudi v nekaterih deželah (npr. v Braziliji), kjer se pretežni del prebivalstva preživlja s telesnim *delom*. Misel o povezavi med telesno *vadbo* in zdravjem je za učence v teh okoljih bistveno težje dostopna. Najbrž je celo preprosto neresnična – pri množici brazilskih pridelovalcev kave bi redna telesna *vadba* po vsakodnevnem telesnem *delu* najbrž ne izboljšala zdravja srca in žilja.

Naloga postavlja učence iz držav, kakršna je Brazilija, v neenakopraven položaj, saj je 'pravilni' odgovor zanje spoznavno težje dostopen kot za učence iz zelo razvitih

držav. Vendar naloge tu nisem prikazal zaradi tega. Pravi razlog je v tem, da lahko naloga deluje zavajajoče na učence iz *vseh*, tudi razvitih držav (torej tudi na slovenske učence). Učenci, ki so reševali nalogo, so vedeli, da gre za veliko mednarodno raziskavo in da isto nalogo rešujejo učenci na različnih celinah. Zato so nemara zmotno dojeli telesno *vadbo*, ki je invencija *ene* od človeških kultur, kot obrazec za ohranjanje zdravja, ki je *univerzalen* in ga uporabljajo v vseh kulturah.

Seveda osamljena naloga, sposojena iz sicer skrbno pripravljene raziskave, v resnici ne more močneje vplivati na predstave učencev o telesnih dejavnostih in zdravju srca ter žilja ali na veljavnost rezultatov raziskave, ki so za Slovenijo nedvomno pomembni. Z nalogo sem želel pokazati, kako težko je nadzorovati perspektivnost, ki je vgrajena v pojme in spoznavne predstave, iz katerih je sestavljeno znanje. Hkrati sem z njo želel pojasniti, koliko spoznavnega potenciala bi se izgubilo v pouku, ki bi – skladno z logiko, ki je vgrajena v 'Bloomovo' taksonomijo – učence *sistematično* odvrčal od premisleka o perspektivah, prikrito vgrajenih v domnevno objektivno in globalno znanje, torej v znanje, ki je dojeto kot univerzalno orodje za reševanje problemov, hkrati pa kot orodje, ki samo ne more postati predmet spraševanja.

## Opombe

- [1] V besedilu knjige se ponavlja angleški izraz 'students', ki ga v slovenščino lahko prevajamo kot 'učenci', vendar tudi kot 'dijaki' ali 'študenti'. Kadar je iz konteksta razvidno, da avtorji govorijo o študentih ameriških kolidžev, uporabljam tretjo prevodno različico, sicer pa prvo.
- [2] Tezo, da je vsaka klasifikacija poljubna, na grotesken način osvetli zgled klasifikacije, s katerim so se ukvarjali Borges, Foucault in Lakoff. Borges je v zgodbi Analitični jezik Johna Wilkinsa (Borges, 2001) povzel klasifikacijo živali, ki naj bi jo F. Kuhn našel v neki kitajski enciklopediji. Živali naj bi se delile na:
- (a) pripadajoče cesarju,
  - (b) nagačene,
  - (c) dresirane,
  - (d) odojke,
  - (e) sirene,
  - (f) bajne,
  - (g) razpuščene pse,
  - (h) vključene v to razvrstitev,
  - (i) ki se tresejo kot nore,
  - (j) brezštevilne,
  - (k) narisane z zelo tenkim čopičem,
  - (l) in tako dalje,

(m) ki so pravkar razbile zelo velik vrč,

(n) ki so od daleč videti kot muhe. (Borges, 2001, str. 135)

Nenavadno klasifikacijo živali, ki jo navaja Borges, je M. Foucault (1966) povzel v uvodu v svoje delo *Besede in stvari* ter zapisal, da je v njej našel izhodišče za svojo analizo razmerij med sfero jezika in sfero stvari. Kaj v Borgesovi (Kuhnovi) klasifikaciji je zbudilo Foucaultovo zanimanje? Pozoren je postal na motiv, ki se skriva za našimi poizkusi, da bi »konkretne vsebine zblížali, osamili, razčlenili, prilagodili, razporedili v predalčke« (Foucault, 1966, str. 11). Nihče ne bi mogel bolje od Foucaulta opisati fantazmo, ki nemara botruje vsaj nekaterim klasifikacijam, namreč domnevo, da je red, ki ga vnašamo v stvari in pojave, nekaj naravnega in od nekdanega, ne pa nekaj, prek česar *izdelujemo* resničnost: »Red v stvareh se nam daje kot njihovo notranja zakonitost, skrivno omrežje, s pomočjo katerega stvari nekako opazujejo druga drugo, hkrati pa kot nekaj, kar obstaja le v mreži nekega pogleda, neke pozornosti, nekega jezika; in le v belih poljih tega mreženja se red kaže kot nekaj, kar je tam, v globini, vseskozi bilo in tiho čakalo na trenutek, ko bomo to izrekli.« (prav tam).

O klasifikaciji, ki jo je navedel Borges, so nekateri sodili, da bi lahko bila proizvod shizofrenega uma. Drugačnega mnenja je bil Lakoff. Po njegovem je Borges pokazal, da kulture s svojimi klasifikacijami za svoje pripadnike zelo različno konstruirajo svet in da nobena klasifikacija realnosti ni bolj ustrezna, objektivna, utemeljiva ali naravna od nobene druge (Lakoff, 1987, str. 92). Lakoff se je ob tem skliceval na odkritje jezikoslovca R.M.W. Dixona, ki je preučeval jezik djirbal, ki ga govorijo avstralski domorodci. Kadar koli govorci tega jezika poimenujejo neko bitnost, morajo z eno od štirih besed – baji, balan, balam, bala – pokazati, v kateri razred bivajočega sodi poimenovana bitnost. Klasifikacija stvarnosti, po kateri se ravna domorodci, ni daleč od tiste, ki je pri Borgesu tako zelo prevzela Foucaulta. Takole govorci jezika djirbal klasificirajo svoje vesolje:

1. Baji: možje, kenguruji, vrečar, večina kač, večina rib, nekateri ptiči, večina žuželk, mesec, nevihte, mavrica, bumerang, nekatera kopja ...
2. Balan: ženske, vse kar je povezano z vodo ali ognjem, podgane, psi, kljunači, nekatere kače ...
3. Balam: vse užitno sadje in rastline, na katerih raste, gomolji, praprot, med, cigarete, vino, kolači.
4. Bala: deli telesa, meso, čebele, veter, nekatera kopja, večina dreves, blato ...

To ni slovnična klasifikacija, ki bi bila vezana na spol samostalnikov ali neko drugo slovnično kategorijo, temveč semantična klasifikacija v smislu t. im. ekstenzionalne semantike, tj. tiste semantike, ki se nanaša na razmerja med 'besedami in stvarmi'.

## Literatura

- Bloom B. S., Engelhart M. D., Furst E. J., Hill W. H., Kratwohl D. R. (1956): *Cognitive Domain. V: Taxonomy of Educational Objectives – The Classification of Educational Goals*. David McKay Company, New York.
- Borges J. L. (2001): Analitični jezik Johna Wilkina. V: *Borges: Izbrana dela – 6 (Eseji)*. Cankarjeva založba, Ljubljana, str. 133–136.
- Doughty H. A. (2006): Blooming Idiots: Educational Objectives, Learning Taxonomies and the Pedagogy of Benjamin Bloom. *College Quarterly*, Fall 2006, vol. 9, number 4.
- Foucault M. (1966). *Les mots et les choses, Une archéologie des sciences humaines*. Gallimard, Paris.
- Izhodišča za pripravo nacionalnih preizkusov znanja v devetletni osnovni šoli (gradivo strokovno posvetovalne skupine za pripravo nacionalnih preizkusov znanja v programu devetletne osnovne šole)*.
- Justin J. (1989): Alternative v konceptiji družboslovnega izobraževanja in problem mednarodnih standardov. *Teor. praksa*, 26, 11/12: 1560–1568.
- Justin J. (2007). Sokrat sanja o objektu, *Monitor ISH*, IX/2: 21–44.
- Kratwohl D. R., Anderson L. W. (ur.) (2001): *A Taxonomy for Learning, Teaching and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. Longman, New York.
- Langacker R. (1987): *Foundations of Cognitive Grammar, vol 1*. Stanford University Press, Stanford.
- Lakoff G. (1987): *Women, Fire and Dangerous Things*. Chicago University Press, Chicago.
- Miller G. A., Johnson–Laird P. N. (1976): *Language and Perception*. Harvard University Press, Cambridge, Mass.
- PISA 2006, *Sciences Competencies for Tomorrow's World, Vol. 1 – Analysis*, OECD, 2007.
- Russel B. (1979): *Filozofija logičnega atomizma*. Cankarjeva založba (zbirka Nobelovci, 54), Ljubljana.

- Quine W. (1960): *Word and Object*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Sacks, H., Harvey Sacks – Lectures 1964–65 (ur. G. Jefferson), *Special Issue of Human Studies*. 12, (3–4): 183–404.
- Sperber D., Wilson D. (1986): *Relevance – Communication and Cognition*. Blackwell, Oxford.
- Tomasello M. (1999): *The Cultural Origins of Human Cognition*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Travers R. M. W. (1980): Taxonomies of Educational Objective and Theories of Classification, *Educational Evaluation and Policy Analysis*, March–April, Vol. 2(2): 5–23.
- Wittgenstein L. (1953): *Philosophical Investigations*. MacMillan, New York.

## IZOBRAZBA IN DEMOKRACIJA

### Andreja Barle

Ministrstvo za šolstvo in šport, Kotnikova 38, 1000 Ljubljana; e-naslov: andreja.barle@gov.si

*Andreja Barle, doktorica socioloških znanosti je zaposlena na Uradu za razvoj šolstva na Ministrstvu za šolstvo in šport. Je tudi visokošolska predavateljica na Univerzi v Mariboru. Ukvarja se predvsem s področjem sociologije vzgoje in izobraževanja ter s področjem upravljanja in vodenja šol. Je avtorica strokovnih člankov in monografij z navedenih področij.*

### Izvilleček

Sodobna družba je privzdignila pomen znanja. Govorimo celo o družbi znanja; znanje je tisto, ki zagotavlja družbeni razvoj in pomembno vpliva na položaj posameznika. Na njegovo zmožnost, da je subjekt družbenega delovanja v sicer kompleksnem svetu. Prav zato se zdi naravno, da ima šola, ki je bila ustanovljena za posredovanje znanja, v sodobni družbi poseben položaj. Posebnost njenega položaja se kaže v tem, da je v večini držav obvezna za določen del populacije, in to celo vse daljši čas. Po drugi strani se šola še nikoli ni soočala s perečimi vprašanji absentizma, šolsko neuspešnostjo, nemotiviranostjo učencev za učenje, upadanjem radovednosti, želje po novem znanju. Šola naj bi v preteklosti mnogo lažje načrtovala, kakšno in katero znanje učenci potrebujejo. Danes pa se zdi, da mladi preprosto ne pristajajo več na opise sedanjosti (sveta), kot jo prikazujemo starejši. Kako v spremenjenem dojetanju našega bivanja (prostora in časa) in ob še večji kompleksnosti prihodnjega sveta premišljati o tem, kaj naj bo dediščina in popotnica mlajšim generacijam? Kako v tem svetu razumeti poslanstvo pedagoškega dela?

## EDUCATION AND DEMOCRACY

### Andreja Barle

Ministry of Education and Sport, Kotnikova 38, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: andreja.barle@gov.si

*Andreja Barle, PhD of social sciences, is employed at the Education Development Office at the Ministry of Education and Sport. She is also a lecturer in the University of Maribor. She is mainly active in the field of the sociology of education and of school management. She is the author of several professional papers and monographs from these fields.*

### Abstract

The modern society has elevated the significance of knowledge. Nowadays we can even talk about the society of knowledge; for knowledge is the driving power for social development and considerably influences the individual's standing and his/her ability of being a socially active subject in complex world. For this it seems naturally that educational establishment, which was founded to mediate the knowledge, has a unique position in the modern society. Its speciality is expressed by its obligation for a particular part of the population in many countries, and the time of education has been even prolonged. On the other hand, in school man has to struggle with absenteeism, failure, pupils' unmotivation to study, decline of curiosity and desire for new knowledge. In the past, it was supposedly easier to plan the variety and quality of the required knowledge. Today it seems that young people refuse to accept the description of the present time and world as given by the older generations. What should be the heritage to younger generations in changed comprehension of our being in time and space, combined with even larger complexity of the world in the future? In this situation, what is the mission of the pedagogical work/activity.

## Uvod

Razpravljanje o krizah in zgodovinskosti trenutka področju edukacije nikoli ni bilo tuje. Našteli bi lahko vrsto razlogov, ki spodbujajo tovrstne razmisleke v sodobni družbi. Zagotovo je že intenzivnost sprememb tista, ki jo najprej opazimo. Odraža se tako v vsakdanjem življenju posameznika kot tudi na širših družbenih področjih. Morda je bolj kot intenzivnost sprememb pomembno dejstvo, da znanost vse hitreje prinaša spoznanja, ki usmerjajo v temeljito rekonceptualizirajo osnovne bivanjske kategorije. Gre za povsem nov odnos do temeljnih bivanjskih kategorij, kot sta npr.: prostor in čas. Razumevanje prostora in časa je že Durkheim opredelil kot osnovno logično kategorijo človeškega razuma, katere razumevanje bistveno opredeljuje način mišljenja, videnje sveta. "Čas ni moj čas, temveč je čas, ki ga objektivno dojemajo ljudje civilizacije, ki ji pripadam. Če ljudje ne bi enotno pojmovali osnovnih kategorij, npr. časa, prostora, potem bi bilo vsako sporazumevanje med njimi in s tem vsako skupno življenje nemogoče, zato je v vsaki družbi potreben minimalni logični konformizem." (Durkheim, v Ivkovič, 1985: 47)

Durkheim je opozarjal, da na pojmovanje logičnih kategorij v sodobnem svetu pomembno vplivata jezik in znanost. Jezik nam namreč omogoča, da se vzdignemo nad čisto čutnost in hkrati jasneje izrazimo svoje ideje. Razlog za neobhodnost znanstvene kulture pa naj bi bil v kompleksnosti sodobne družbe, ki mora delovati s pomočjo razuma (Durkheim, v Ivkovič, 1985: 92). Znanost naj bi tako vse bolj vplivala na oblikovanje temeljnih pojmov in strukture našega mišljenja, zato družba zahteva, da jo usvoji vsak posameznik.

Prav so znanstvena spoznanja hkrati tista, ki s svojimi dognanji vse bolj majejo temeljne bivanjske kategorije kot npr.: razumevanje prostora in časa. Znanstvena spoznanja postavljajo na preizkušnjo celo minimalni logični konformizem naše civilizacije. Eden najvplivnejših fizikov sodobnega časa Hawking (2007: 131) razlaga: »A teorije strun pesti večji problem: zdi se, da so skladne le, če ima prostor-čas bodisi deset bodisi šestindvajset dimenzij namesto običajnih štiri! /.../ Zakaj ne opazim teh dodatnih dimenzij, če zares obstajajo? Zakaj zaznavamo le tri prostorske in eno časovno dimenzijo? Fiziki domnevajo, da ostale dimenzije niso podobne tistim, ki smo jih vajeni. Zvite so v prostor zelo majhne velikosti,

približno milijoninko milijoninko milijoninko milijoninko milijoninko centimentra. To je tako malo, da preprosto ne opazimo: vidimo le časovno dimenzijo ter tri prostorske, v katerih je prostor-čas razmeroma raven. /.../

V teoriji strun je tako tudi s prostor-časom: v zelo majhnem merilu je deset dimenzionalen in zelo ukrivljen, a ukrivljenosti dodatnih dimenzij v velikem merilu ne vidimo. /.../ Vendar je to velik problem tudi za znanstvenike: Zakaj so v majceno kroglo zvite le nekatere dimenzije, ne pa vse? Domnevno so bile v začetku vesolja vse dimenzije zelo zvite. Zakaj so se tri prostorske in ena časovna dimenzija izravnale, medtem ko so ostale še vedno tesno zavite?

Antropično načelo ponuja enega od mogočih odgovorov na vprašanje, zakaj so se razvile dodatne dimenzije teorije strun. Zdi se da dve prostorski dimenziji ne zadostujeta za razvoj zapletenih bitij, kot smo mi.

Dvodimenzionalna bitja, ki žive na krogu (na površini dvodimenzionalne Zemlje), bi morala na primer plezati ena čez drugo, ko bi hotela mimo ...Tudi z več kot tremi dimenzijami bi imeli težave. Gravitacijska sila med dvema telesoma bi z razdaljo padala hitreje kot v treh dimenzijah. Zaradi tega bi bile orbite planetov okrog Sonca nestabilne: že najmanjša motnja ki bi planet premaknila iz krožne orbite, bi povzročila, da bi se planet v spirali oddaljil od Sonca ali se mu približal. Na Zemlji bi tako zmrznili ali zgoreli ...«

Sodobna znanstvena spoznanja v veliki meri spreminjajo tradicionalne (včasih celo mitske) predstave o svetu, našem bivanju. Znanstveniki (npr.: Rifkin, 2004; Hawking, 2007) celo opozarjajo, da naravoslovna dognanja tako temeljito spreminjajo temeljne bivanjske kategorije, da je nujen humanističen in družbosloven premislek o posledicah teh odkritij za razumevanje sebe, sveta, v katerem živimo. Predvsem pa naj bi bil potreben premislek o etičnih dimenzijah našega bivanja.

Očitno nuji po premisleku oziroma rekonceptualizaciji bivanja v sodobnem času ne more uiti nič več, niti koncept prostora in časa. Morda se zdijo tovrstna razglabljanja zelo oddaljena in vsaj na videz ne vplivajo neposredno na naša življenja. Vsekakor pa izzivi, s katerimi se srečujemo danes, vse bolj jasno nakazujejo, da problemov ni mogoče reševati na enak način, kot so bili ustvarjeni.



Kličejo k ponovnem premisleku o razumevanju sebe, drugih, naravnega in družbenega okolja, pa tudi k premisleku o vlogi in naravi institucij, ki pomembno vplivajo na naša življenja.

Chomsky, ki ga zaradi vplivnosti njegove misli nekateri poimenujejo kar »Rousseau našega časa«, poudarja, da morajo tudi preproste odločitve v institucijah, ki so podrejene človeški volji, opraviti preizkus legitimnosti. Če ga ne izpolnijo, jih lahko zamenjajo druge, ki so bolj svobodne in pravične (Chomsky, 2005: 75). To seveda velja tudi za šolo oziroma za organiziran sistem javne edukacije.

### ***Izvi in priložnosti sodobnega sveta***

Eno pomembnih vprašanj, s katerimi se sooča sodobni svet, je vprašanje energetskih virov. Zaostrena energetska vprašanja naj bi bila znamenja zatona druge industrijske revolucije, ki je temeljila na nafti. Hkrati se soočamo z dramatično rastjo izpušnih plinov, s povečevanjem temperature na Zemlji in drugimi učinki tople grede, z drastičnimi klimatskimi spremembami in vsemi učniki, ki jih ta civilizacija prinaša ekosistemom. Največji izzivi sodobnih družb naj bi bili tako povezani z razreševanjem energetskih in okoljskih vprašanj ter z razreševanjem vprašanj, povezanih z demografskimi spremembami, kot sta staranje populacije ter migracije.

Rifkin (2004) navaja nekaj značilnosti zadnjih dveh desetletij, in sicer: dramatično povečanje cene energije, izjemno povečanje stroškov za raziskovanje in razvoj, vse krajša življenjska doba proizvodov (ti so vse hitreje nadomeščeni z novimi, modernejšimi), vse višja cena delovne sile, globalizacija, vse manjši ekstraprofiti, vse manjši učinek hierarhično organiziranih struktur (Rifkin, 2004: 190). Poudarja, da je globalizacija še bolj zaostрила neučinkovitost hierarhično organiziranih družb in zato se zdi, da je horizontalno povezovanje – povezovalje v mreže – edini možni odgovor na tako zahtevne izzive. Posledice povezovanja in delovanja v mrežah so vidne tudi v spremenjenem načinu razumevanja fizične in intelektualne lastnine. Rifkin (2004) poudarja pomen spremenjenega razumevanja koncepta privatne lastnine, saj naj bi pomembno vplival na strukturiranje medčloveških odnosov. Znanje in informacije so oblike lastnine, ki najbolje ponazarjajo, da so jasne teritorialne meje pri pojmovanju lastnine (pojmovanje lastnine glede na to,

kje stvar fizično je, npr. zemlja, hiša ...) v sodobni družbi močno zabrisane. Rifkin povzema MacPhersonove teze, da koncept lastnine, ki izhaja iz 17. in 18. stoletja, v današnjem času ne vzdrži več, saj je takrat temeljil na filozofiji izključevanja – omejenega dostopa do lastnine (in ugodnosti, ki iz tega izhajajo). Ena najpomembnejših pravic danes pa naj bi bila pravica, da z lastnino tržiš, da lastnina ne izključuje, temveč daje priložnost za sodelovanje, vendar proti določenemu nadomestilu (plačevanje dostopnosti do). Lastnik je torej zainteresiran za čim večjo dostopnost, vendar za določeno nadomestilo (pravica do uporabe ...).

Podobna naj bi bila ideja Nobelovca Prigogina, ki je že pred dvajsetimi leti opozarjal na spremembe v odnosu do lastnine in svobode (v Rifkin, 2004: 195). Prigogin je ideje o spremenjenem odnosu do svobode in lastnine utemeljeval s spremembami v energiji, energetskih tokovih, ki lahko ogrozijo kompleksne sisteme. V globalizirani ekonomiji, kjer sta prostor in čas tako skrčena in je vse zelo povezano, so sistemi čedalje bolj ranljivi. Mreže so edina možna rešitev, model, ki vsaj do neke mere zmanjšuje tveganja globalne ekonomije. Globalizacija in povečanje odvisnosti naj bi tako spodbudila horizontalno mreženje subjektov in struktur.

K oblikovanju mrežnega povezovanja naj bi močno prispevale tudi sodobne tehnologije, ki po eni strani tak način dela dopuščajo, po drugi strani pa tudi razvoj sodobnih tehnologij ni več mogoč na temelju starih vzorcev. Modus operandi visoke tehnologije je nenehno povezovalje (mreženje) in hkrati decentralizirano delovanje. Revolucija programske opreme, moč osebnih računalnikov, www, brezžično povezovanje/komunikacije so dejavniki, ki so spremenili način komuniciranja – od vertikalnega k horizontalnemu, od centraliziranega usmerjanja in nadzora k decentralizirani možnosti interaktivnega dela.

Rifkin (2004: 215) napoveduje, da se bo nekaj podobnega zgodilo tudi na področju energije. Od »elitnih« energetskih virov, kot so nafta, jedrska energija, premog, bo uporaba alternativnih virov energije (sonce, veter, biomasa, geotermalni viri) prispevala k decentralizaciji moči, ki upravlja z energetskimi viri.

Ne glede na razvoj tehnologije, ki omogoča večjo možnost demokratične uporabe pomembnih elementov našega bivanja (upravljanje s komunikacijami, z viri energije

je), pa Chomsky (2004) opozarja, da je moč opaziti oba procesa – disperzijo in hkrati (včasih celo bolj prikrito) koncentracijo moči. Še več. Že danes smo priča razvoju t. i. inteligentnih tehnologij, ki temeljijo na principih kibernetike (tj. teorije, ki se ukvarja z vprašanji, kako vzpostaviti interakcijo med sporočili oziroma deli informacij, zato da bi zagotovili predvidljive rezultate; je teorija, ki se ukvarja z vprašanji, kako se stroji samouravnava – samoregulirajo – v spremenjenem okolju). Vpeljava inteligentnih informacijskih in komunikacijskih naprav, ki imajo vgrajeno možnost feedback zank, je spremenila naravo tehnologije in oblikovala možnost novih metafor mišljenja, pa tudi možnost oblikovanja drugačnih odnosov med ljudmi.

Vpeljava novih tehnologij spreminja ne samo odnose med ljudmi, temveč tudi načine vodenja, vladanja, oblikovanja politik. Ni več mogoče govoriti o enem centru moči, gre za difuzno in decentralizirano vodenje in upravljanje, gre za vlado brez centra (Rifkin, 2004: 222). Nove tehnologije tako temeljito vplivajo na razumevanje suverenosti države. Nekateri postmodernistični politologi poudarjajo, da je v svetu stalnih sprememb, sprememb v razumevanju prostora in časa, vladanje (oblikovanje in izvajanje politik) bolj povezovanje, ustvarjanje prostora za mreženje kot pa nadzorovanje določenega (fizičnega) prostora. Znanost tako vse bolj vpliva na oblikovanje temeljnih pojmov in strukture našega mišljenja.

Morda še bolj kot spremembe v delovanju države, v vodenju in upravljanju države so sodobne tehnologije omogočile aktivno vključevanje civilne družbe, različnih nevladnih organizacij, prostovoljnih združenj, neprofitnih organizacij. Obseg delovanja organizacij civilne družbe v zadnjem desetletju (z razvojem nove tehnologije, ki to omogoča) skokovito narašča. Prav tako tudi njihov delež pri zagotavljanju storitev in uslug. Organizacije civilne družbe so z načinom svojega delovanja vnesle novo dimenzijo participatorne demokracije.

Eden od pomembnih izzivov sodobne evropske družbe so migracije. Migracijska gibanja, tako kot znanstveni in tehnološki napredek, kot vprašanja, povezana z energijo, in kot vprašanja, povezana z upravljanjem in vodenjem politik (npr. okoljske), ponovno zastrujejo nujno po rekonceptualizaciji temeljnih bivanjskih kategorij, npr. prostora. Zdi se, da razsvetljsko pojmovanje (na katerem je v zadnjih stoletjih temeljilo razumevanje) pro-

stora preveč omejeno za današnji globaliziran, povezan, soodvisen, svet. Razsvetljsko pojmovanje prostora je temeljilo na jasno začrtanih mejah, potrebi po širjenju fizičnega prostora. Rifkin (2004: 264) navaja, da Milbank opozarja, da je bil prostor v srednjem veku razumljen mnogo širše – bolj kot odnos kot teritorij. Meje so bile zato manj trdno določene in bolj prožne, predvsem pa niso temeljile na omejevanju razumevanja prostora kot geografske kategorije. Tako je že Foucault opozoril, da je srednjeveško razumevanje prostora povezano z razumevanjem prostora kot posvečenega, svetega ali običajnega prostora, kot zaprtega ali odprtega prostora, kot urbanega ali ruralnega prostora. Šlo je za hierarhijo prostora, kjer je intersekcija posameznih prostorov ustvarila srednjeveško razumevanje prostora – prostor kot umeščanje.

Pojmovanje prostora kot geografske kategorije ustvarja meje, omejuje razumevanje da ljudje živijo hkrati v različnih (socialnih) prostorih, oblikujejo različne identitete. Prav zato je eden od izzivov sodobnega sveta tudi rekonceptualiziranje pojmovanja prostora, teritorija (države). Morda to nalogo najbolj ponazarja izjava enega od vodij mirovnih operacij OZN, in sicer da izguba udobja, ki so ga zagotavljale geografske meje, zahteva učinkovito vodenje o tem, kaj oblikuje vezi med ljudmi in kaj oblikuje družbene skupnosti (Rifkin, 2004: 266). Če je torej razumevanje prostora mnogo bolj kompleksno od geografskih razsežnosti, potem je oblikovanje socialnega prostora (oblikovanje družbene skupnosti) toliko težje.

Migracijska gibanja naj bi (Rifkin, 2004; Chomsky, 2004) še toliko bolj zaostila vprašanja, povezana z uredničenjem človekovih pravic in pravic državljanov. Ob tem kar nekaj avtorjev (npr. Bauer, 2005) poudarja, da je prav vloga edukacijskih ustanov – šole –, da razvijejo sposobnost »živeti skupaj«, sposobnost empatičnosti, razumevanja in spoštovanja različnih kultur. »Empatija je nov povezovalni element družbe, človekove pravice pa legalna koda za promocijo globalne zavesti.« (Rifkin, 2004: 272)

Med strokovnjaki, ki opozarjajo na pomen razvoja nove družbenosti (Whitty, 2003), je Urry (v Rifkin, 2004: 274), ki poudarja, da se bo moralo tudi razumevanje državljanstva v prihodnosti spremeniti. Naštevava šest novih dimenzij državljanstva, in sicer: priznavanje in spoštovanje različnih kultur, priznavanje pravic in polnopravnega državljanstva migrantom ter pripadnikom manjšin,

pravica do naravnega in družbenega okolja, ki temelji na načelih trajnostnega razvoja, pravica vstopanja v različne socialne mreže brez vmešavanja države, pravica do neoviranega dostopa do dobrin (tudi informacijskih) ter pravica do neovirane mobilnosti. Tovrstno pojmovanje v bistvu rekonceptualizira državljanstvo, zasnovano na teritorialnem načelu.

Sodobni družbeni procesi (demografska gibanja, razvoj znanosti in tehnologije, ki zahteva mreženje, horizontalno upravljanje in vodenje, globalizacija), tako vplivajo ne samo na spremenjeno razumevanje državljanstva, temveč tudi na spremenjeno razumevanje svobode in človekovih pravic. Globalizacija ne prinaša samo izjemne povezanosti in soodvisnosti, temveč v bistvu ne dopušča možnosti, da se lahko izolira cele skupine ljudi, saj čim širše vključevanje ni več luksuz, temveč je nuja preživetja. Prav uresničevanje človekovih pravic naj bi zagotavljalo ter kodificiralo priznavanje in vključevanje vseh. Ob tem Rifkin priznava, da je tovrstna strategija (spoštovanje, priznavanje in vključevanje vseh) včasih boleča, vendar je nujna za nadaljnji razvoj družbe.

Navedeni pogledi se morda zdijo idealistični. Aktualna družbena dogajanja in drugačni načini bivanja (globalizacija, vloga informacijsko-komunikacijskih družb, vloga multinacionalk) podpirajo potrebo po rekonceptualiziranem videnju državljanstva, načinov sodelovanja »življenja skupaj«. Vendar pa ni mogoče pričakovati samo optimističnega scenarija. Chomsky (2004) tako razkriva številne dokaze, s katerimi bi lahko podprli tezo, da učinki globalizacije, razvoja znanosti in tehnologije samo še bolj utrjujejo razlike med ljudmi. Morda je zato mogoče ideje o razvoju nove družbenosti, uresničevanju človekovih pravic, rekonceptualizaciji državljanstva razumeti kot poziv k spreminjanju družbenih odnosov v drugačno smer, kot smo jim pogosto priča danes.

Pred bolj konkretnim naštevanjem procesov in izzivov, s katerimi se srečujejo sodobne družbe (predvsem države v okviru EU), velja opozoriti še na vprašanja, povezana z razvojem znanosti in tehnologije. Izjemna inteziteta znanosti in tehnologije odpira nova vprašanja kot npr.: Do kod seže svoboda znanstvenega raziskovanja? Ali nekritično sprejemati in vpeljevati znanstvene dosežke? Kako spodbujati ustvarjalnost in inovativnost? Prav zato ker navedena vprašanja zahtevajo ponoven premislek o temeljnih vprašanjih znanstvenoraziskovalnega dela Ri-

fikin (2004: 315), to obdobje poimenuje obdobje drugega razsvetljenstva.

Eno od pomembnih vprašanj je, kdaj je mogoče znanstvene dosežke implementirati v praksi. Doba med odkritjem, novo rešitvijo in uvedbo v prakso, celo v množično proizvodnjo je vse krajša. Ravno zato nekateri opozarjajo na vse krajšo življenjsko dobo posameznega proizvoda. Vendar tovrstno skrajševanje časa ni brez nevarnosti. Vprašanje je, ali so rešitve dovolj preizkušene in ali vemo, kakšni so mogoči stranski učinki uporabe nove rešitve, novega proizvoda. Države k tem vprašanjem pristopajo na zelo različne načine. Nekateri so v imenu napredka pripravljene tvegati veliko, druge preprosto rešitev nimajo sankcioniranih na državni ravni, temveč so »prepuščene delovanju trga« (npr. ZDA), medtem ko je bil v EU uveden predpis, s katerim je prepovedano uvajati proizvod oz. storitev ob najmanjšem dvomu o nezadostnosti dokazov o neškodljivosti učinkov delovanja. Morda je uvedba tega predpisa odraz zavedanja o povezanosti naravnega in družbenega okolja (kot pravi Capra – »the web of life«), zavezanosti k trajnostnemu razvoju, lahko pa je tudi (kot opozarja Rifkin) odraz naravnosti Evropejcev k najmanjšemu možnemu tveganju (v nasprotju z ameriško družbo).

### ***Vloga šole***

Pedagoško delo je v bistvu spraševanje o tem, kaj naj bo dediščina in hkrati popotnica mlajšim generacijam. Odgovori na to vprašanje so neposredno povezani z videnjem sodobne in prihodnjih družb. Sodobna tehnologija nam že danes omogoča, da živimo v svetu vzporednih svetov. Dinamika in kompleksnost sveta, v katerem živimo, daje občutek, da *je čas izgubil trajanje in se je doživljanje prostora in časa zaradi hitrosti zlilo – prostor je postal časen in čas je postal prostoren*. Kot da bi živeli v nenehni sedanosti, ki jo je sploščila hitrost. Živimo torej v času, ki povsem rekonceptualizira razumevanje temeljnih bivanjskih kategorij – prostora in časa. Kako v tako spremenjenem dožemanju našega bivanja in ob še večji kompleksnosti prihodnjega sveta premišljati o tem, kaj naj bo dediščina in popotnica mlajšim generacijam? Kako v tem svetu razumeti poslanstvo pedagoškega dela ?

Sodobna družba je privzdignila pomen znanja. Govorimo celo o družbi znanja, znanje je tisto, ki zagotavlja družbeni razvoj in pomembno vpliva na položaj posame-

znika. Na njegovo zmožnost, da je subjekt družbenega delovanja v sicer kompleksnem svetu. Prav zato se zdi naravno, da ima šola, ki je bila ustanovljena za posredovanje znanja, v sodobni družbi poseben položaj. Posebnost njenega položaja se kaže v tem, da je v večini držav obvezna za določen del populacije, in to celo vse daljši čas. Po drugi strani se šola še nikoli ni soočala s perečimi vprašanji absentizma, šolsko neuspešnostjo, nemotiviranostjo učencev za učenje, upadanjem radovednosti, želje po novem znanju.

Tudi izobraževalne politike so postavljene pred številne izzive in pogosto nasprotujoče zahteve. Kako zagotoviti enakost možnosti in hkrati odličnost – kakovost izobraževanja, kako zagotoviti šolanje, ki bo upoštevalo enkratnost in neponovljivost posameznika in hkrati oblikovalo temelje za »živeti skupaj«, za ustvarjanje nove družbenosti.

### **Kje se je torej zapletlo?**

Eden od možnih odgovorov je, da mladi preprosto ne pristajajo več na opise sedanjosti (sveta), kot jo prikazujemo starejši. Šola naj bi v preteklosti mnogo lažje načrtovala, kakšno in katero znanje učenci potrebujejo. Usvojeno znanje so ravno zato lahko učenci uporabljali kot orodje. Usvajanje znanja je bilo jasno določeno in sistematično nadgrajevano. Koncepti, ki so oblikovali šolo, so izhajali iz dobro znanega socialnega, etičnega, ekonomskega in političnega okvirja, saj so bistvu temeljne bivanjske kategorije stoletja ostajale nedotaknjene. Danes, ko se *majejo temeljne bivanjske kategorije, odgovori niso enoznačni. Zdaj, ko živimo v svetu, ki prinaša revolucijo pomenov*, soglasja o tem, kaj učenci potrebujejo, ni več. Že pogled na internetno stran dokazuje, da je vstopov v določeno znanje lahko več.

Zaradi vsega že navedenega so očitno potrebni ponovni premisleki o konceptih usvajanja in posredovanja znanja ter o načinih njegovega vrednotenja. Odgovorov na vse večje izzive več ni mogoče iskati v okviru istih paradig, konceptov in na enak način kot v preteklosti.

Sodobna šola je dedič principov organiziranja in vodenja pedagoškega procesa in šole, ki se je oblikoval kot učinkovit odgovor na zahteve po množičnem šolanju. Morda je ravno zaradi teže zahtev po množičnosti postajal pedagoški proces vse bolj instrumentaliziran in je izgubljal utopično razsežnost.

Bernstein (2004) opozarja na *pedagoške strategije, ki so se oblikovale kot odgovor na množično šolanje in so večinoma zasnovane na jasnem določanju korakov in časa*, potrebnem za njihovo izpeljavo. Podrobnemu načrtovanju pedagoškega procesa navadno sledi evalvacija, ki verjetno kaže, da koraki niso mogli biti povsem uresničeni, da načrtovano ni moglo biti povsem natančno izpeljano. Kako bi le lahko bilo, če pa so namenjeni učencem, tako različnim, enkratnim in neponovljivim posameznikom? Ali torej načrtovanje pedagoških strategij ni mogoče? Verjetno gre bolj za vprašanje, na čem temeljijo pedagoške strategije. Je pedagoški proces ujet v okvire instrumentalnega, gospodarnosti (čim več v čim krajšem času), v nujo poročanja, preverjanja, zagotavljanja vsem enako, je učenec sploh lahko še subjekt in učitelj sooblikovalec procesa učenja? Razrešitev navedenih vprašanj gotovo ni odvisna le od učitelja, njegove usposobljenosti, temveč zadeva širša družbena vprašanja *demokratizacije šole*.

Z instrumentalnim razumevanjem vzgoje in izobraževanja postopoma spreminjamo vlogo učitelja in učenca. Zanimarjamo bistvo vzgoje in izobraževanja, ki je v tem, da *učitelj in učenec proces učenja sooblikujeta*. Vzgoja in izobraževanje bi namreč morala ustvarjati prostor, kjer je omogočeno uresničevanje posameznika kot subjekta in kjer so pedagoški delavci soodgovorni, da učencem omogočijo njihovo uresničevanje v pluralnem in hitro spremenljivem svetu.

Ob tem se vzpostavlja kompleksno vprašanje odgovornosti pedagoškega delavca, ki je prepogosto razumljena preveč poenostavljeno. Procesu učenja je namreč imanentno, da vključuje tveganje in da je učenje vsaj do neke mere usvajanje nečesa zunanjega. *Tveganje* tega, da se ne boš naučil, kar si želiš, kar bi se moral, da se boš naučil nečesa, kar te ne zanima in česar ne boš potreboval ali celo ne želiš (npr. kaj o sebi). Poleg tega je vsako *učenje vsaj do neke mere usvajanje nečesa zunanjega*, nečesa, kar je obstajalo pred učencem, kar je rezultat učenja in šele postaja last učenca. Učenje je lahko zato dojet tudi kot nekaj motečega, nekaj, kar nas vznemirja. Učenje namreč ni le usvajanje znanja, temveč zadeva učenčevo osebnost, njegovo odpiranje in vstopanje v svet. V procesu usvajanja znanja učitelj zato pogosto ne more predvideti vsega, ne more predvideti vseh posledic, izidov procesa učenja.

Učitelj tako v pedagoškem procesu nosi odgovornost *do nečesa, kar ni vnaprej znano*, določeno, brez védenja,

kakšen bo rezultat. Prav zato je toliko bolj pomembno vprašanje, kako vzpostavljati *demokratične, sodelovalne odnose* med učiteljem in učencem, pri čemer učitelj ni več nosilec moči, ki jo podeljuje po lastnem premisleku, temveč je *soustvarjalec opolnomočenja učenca*. Učitelj je namreč tisti, ki ustvarja pogoje za oblikovanje *etičnega prostora*, za opolnomočenje učenca, da deluje kot subjekt, da se lahko uresničuje.

Biesta (2007) poudarja, da izobraževanje ni le za posredovanje védenja preteklih generacij, niti le za socializacijo v pomenu discipliniranja ali moralnega treninga, temveč bi morali biti v procesu šolanja usmerjeni v razvijanje *človeškosti posameznika* in humanosti v najširšem pomenu. Ob tem poudarja, da humanizma ni mogoče vnaprej definirati kot seznam lastnosti, ki naj bi jih imel človek. Gre preprosto za prepoznavanje in uresničevanje posameznika kot enkratnega in neponovljivega bitja, ki pa se kot tak lahko uresničuje le v fizičnem, socialnem in etičnem prostoru. Moji enkratnost in neponovljivost se torej definirata v *odnosu do drugega*, v intersubjektivnem, tako etičnem prostoru. Kar me konstituira kot enkratno in neponovljivo bitje, *ni abstrakten klic k humanizmu, temveč sem jaz, sooblikovan(a), poklican(a) od drugih*. Moja človeškost se lahko uresničuje samo v odnosu do drugega in drugih, samo v tem odnosu se lahko razvije moja odgovornost.

Posameznik se uresničuje kot edinstveno bitje le, če je avtonomen. Avtonomnost pa se povezuje s potrebo po tem, da bi znal in smel skrbeti zase, da ima nadzor nad svojim ravnanjem, da obvladuje dogajanja okoli sebe, se sebe zaveda in, kar je še posebno zanimivo, da mu je dovoljeno skrbeti za druge. Prav zadnja od navedenih potreb dokazuje družbenost posameznika, potrebo, da je vpet v socialne mreže, da je sicer avtonomen, vendar hkrati pripadajoč. Morda zato ni nenavadno, da so varovalni dejavniki, ki učencu zagotavljajo, da je uspešen, tisti, ki mu omogočajo, *da se uresničuje kot subjekt pedagoškega procesa*, kar vključuje sprejetost, spoštovanje,

sočutje, zanimanje zanj, zaupanje vanj in predvsem razvijanje razumevanja ciljev ter namena procesa učenja in odpiranje novih perspektiv.

### Sklep

Vse navedeno spet poudarja nujno po prevrednotenju temeljnih konceptov učenja in poučevanja. Očitno je, da so strategije učenja in poučevanja, ki so bile oblikovane med razvojem množičnega šolanja, omogočile veliko zanimivih izkušenj in dokazale svojo učinkovitost, sicer se ne bi obdržale toliko časa. Hkrati pa naloge, s katerimi se srečuje sodobna šola, narekujejo razmislek o nadaljnjem razvoju pedagoških strategij in organizacije vzgoje in izobraževanja v sodobnem svetu. Zdi se, da bo treba iskati rešitve *v smeri demokratizacije šole kot institucije* (vzgojno-izobraževalne institucije) in v sklopu tega aktualizacije tistih pedagoških strategij, ki krepijo učenca kot subjekt procesa učenja, ki krepijo proces učenja kot soustvarjanja. Šola pri tem ne opušta velikega pričakovanja do učencev, vendar pa hkrati zagotavlja skrb in podporo za uspešnejše doseganje ciljev. Učencu torej zagotavlja *varen prostor za učenje* (kjer je učencu dopuščeno, da česa ne razume ali da kaj razume drugače) in omogoča udeležnost pri sooblikovanju učenčevega izvirnega projekta učenja.

Ne gre torej za to, da mora šola, ki želi uspešno uresničevati svoje poslanstvo, zmanjšati pričakovanje. Nasprotno. Uspešnost učencev je največja v šolah, ki učencem v procesu učenja zagotavljajo *skrb in podporo ter jasno izražajo velika pričakovanja* do vseh. V šolah, kjer je temeljna pedagoška strategija razvijanje sodelovalnega učenja, kjer poučevanje in učenje ni razumljeno kot tehnika in metoda, temveč kot sodelovanje, pogovor (Čačinovič Vogrinčič, 2008). *Znanje v tako oblikovanem procesu ni last učitelja ali učenca, temveč je rezultat soustvarjanja*. Tovrstna strategija poudarja, da učenje ni individualen proces, temveč je »dragocena vaja v sodelovanju« (Čačinovič Vogrinčič, 2008).

### Literatura

- Bauer J. (2005): *Warum ich fühle was du fühlst*. Hoffmann und Campe, Hamburg.
- Bernstein B. (2004): Social Class and Pedagogic Practice. V: Ball S (ur.): *The RoutledgeFalmer reader in sociology of education*. Routledge Falmer, London.

Biesta J. J. G. (2006): *Beyond Learning: Democratic Education for a Human Future*. Paradigm Publishers, London.

Chomsky N. (2005): *Enajsti september*. Založba Sanje, Ljubljana.

Čačinovič Vogrinčič G. (2008): *Soustvarjanje v šoli: učenje kot pogovor*. Zavod RS za šolstvo, Ljubljana.

Hawking S. (2007): *Krajša zgodovina časa*. Učila, Tržič.

Ivković M. (1985): *Vaspitanje i društvo*. Gradina, Niš.

Rifkin J. (2004): *The European Dream*. Penguin, Tarcher.

Whitty G. (2003): *Making sense of education policy*. Paul Chapman Publishing, London.

## PROGRAM

## PROGRAMME

ČETRTEK, 2. OKTOBER 2008

THURSDAY, OCTOBER 2, 2008

7.30 – 9.15 *Registracija*

*Registration*

9.30 – 10.00 Uvodni pozdrav:  
**Gregor Mohorčič**, direktor Zavoda RS za  
 šolstvo  
 Nagovor pokrovitelja posveta:  
**Danilo Türk**, predsednik Republike Slovenije

Welcome address:  
**Gregor Mohorčič**, the Director of the National  
 Educational Institute of Slovenia  
 Opening speech by the Patron of the  
 Symposium:  
**Danilo Türk**, the President of the Republic of  
 Slovenia

**Tematski sklop I:**  
**ZGRADBA IN RAZVOJ**  
**EKOSISTEMA**

*Povezovalka: Alenka Gaberščik*

**Session I:**  
**ECOSYSTEM STRUCTURE AND**  
**DEVELOPMENT**

*Chair: Alenka Gaberščik*

10.00 – 10.50 **Eva Jablonka**: Odgovor na razmere v okolju:  
 Epigenetska variabilnost pri dedovanju in  
 evoluciji

**Eva Jablonka**: Responding to the  
 environment: Epigenetic variations in heredity  
 and evolution

10.50 – 11.15 **Igor Jerman**: Okolje in evolucija

**Igor Jerman**: Environment and evolution

11.15 – 11.55 *Odmor za kavo*

*Coffee break*

11.55 – 12.20 **Andrej Šmuc in Jernej Pavšič**: Vpliv  
 podnebnih sprememb na organizme v geološki  
 zgodovini

**Andrej Šmuc and Jernej Pavšič**: Effect  
 of climate changes on the organisms in the  
 geological past

12.20 – 12.45 **Al Vrezec**: Medvrstni odnosi krojijo strukturo  
 življenjskih združb: večvrstni interakcijski  
 kompleksi v ekosistemih

**Al Vrezec**: Interspecific interactions are  
 structuring natural assemblages: multispecies  
 interaction complexes in ecosystems

12.45 – 13.10 **Davorin Tome**: Ekologija populacij

**Davorin Tome**: Population ecology

13.10 – 14.40 *Kosilo*

*Lunch*

**Petek, 3. oktober 2008**

**Friday, October 3, 2008**

**Tematski sklop III:  
ČLOVEK JE DEL EKOSISTEMOV**

*Povezovalac: Gorazd Urbanič*

- 9.00 – 9.25 **Boris Kryštufek:** Izumiranje  
9.25 – 9.50 **Alenka Gaberščik:** Ohranjanje ekosistemskih storitev – osnova našega preživetja

9.50 – 10.15 **Tadeja Trošt Sedej:** Ekosistem in okoljske spremembe

10.15 – 10.55 *Odmor za kavo*

10.55 – 11.20 **Lučka Kajfež Bogataj:** Globalno ogrevanje: podnebne spremembe so že tu

11.20 – 11.45 **Drago Kos:** Spoznavanje narave in družbe – SND

11.45 – 12.10 **Metka Kralj:** Odpadki v regulacijski povratni zanki ohranjanja ekološkega ravnovesja

12.10 – 12.35 **Gorazd Urbanič:** Varstvo ekosistemov

12.35 – 14.00 *Kosilo*

**Tematski sklop IV:  
ZNAJJE IN IZOBRAŽEVANJE  
O EKOSISTEMIH ZA DRUŽBO  
PRIHODNOSTI**

*Povezovalka: Simona Strgulc Krajšek*

14.00 – 14.25 **Andrej A. Lukšič:** Vzgoja in izobraževanje za trajnostni razvoj v luči različnih konceptov trajnostnega razvoja

14.25 – 14.50 **Barbara Vilhar:** Napačne in nepopolne predstave o živih sistemih

14.50 – 15.15 **Janez Justin:** Taksonomije in znanje

15.15 – 15.55 *Odmor za kavo*

15.55 – 16.20 **Andreja Barle Lakota:** Izobrazba in demokracija

16.20 – 17.50 **OKROGLA MIZA**

*Povezovalac: Alexis Zrimec*

17.50 – 18.05 Zaključek:  
**Gregor Mohorčič**

**Session III:  
HUMANS AS A FUNCTIONAL PART  
OF ECOSYSTEMS**

*Chair: Gorazd Urbanič*

- Boris Kryštufek:** Extinction  
**Alenka Gaberščik:** Conservation of ecosystem services – the basis of human survival

**Tadeja Trošt Sedej:** Ecosystem and environmental changes

*Coffee break*

**Lučka Kajfež Bogataj:** Global warming: Climate has already changed

**Drago Kos:** Cognition of nature and society

**Metka Kralj:** Wastes in regulating feedback of conservation of ecological balance

**Gorazd Urbanič:** Ecosystem conservation

*Lunch*

**Session IV:  
THE IMPORTANCE OF EDUCATION  
ABOUT ECOSYSTEMS FOR THE  
FUTURE SOCIETY**

*Chair: Simona Strgulc Krajšek*

**Andrej A. Lukšič:** Education for sustainable development in perspective of different concepts of sustainable development

**Barbara Vilhar:** Misconceptions about living systems

**Janez Justin:** Taxonomies and knowledge

*Coffee break*

**Andreja Barle Lakota:** Education and democracy

**ROUNDTABLE DISCUSSION**

*Chair: Alexis Zrimec*

Closing of the symposium:

**Gregor Mohorčič**



**Tematski sklop II:  
DELOVANJE EKOSISTEMOV**

*Povezovalka: Tadeja Trošt Sedej*

- 14.40 – 15.05 **Hardy Pfanz:** Koncept ekosistema
- 15.05 – 15.30 **Ivan Kos:** Življenjska združba kot subjekt življenja
- 15.30 – 15.55 **Mihael J. Toman:** Vodni ekosistemi – struktura in funkcija
- 15.55 – 16.35 *Odmor za kavo*
- 16.35 – 17.00 **David Stopar:** Mikrobna oaza v tleh
- 17.00 – 17.25 **Kazimir Tarman:** Pedofavna – njena raznovrstnost in vloga pri razkrojevanju organskih ostankov v tleh
- 17.25 – 17.50 **Peter Schönswetter:** Molekulski markerji in njihova uporaba v biogeografiji
- 17.50 – 18.15 *Odmor*
- 18.15 – 19.45 **OKROGLA MIZA**

*Povezovalec: Alexis Zrimec*

**Session II:  
ECOSYSTEM FUNCTIONING**

*Chair: Tadeja Trošt Sedej*

- Hardy Pfanz:** The ecosystem concept
- Ivan Kos:** Biotic community as a component of life
- Mihael J. Toman:** Freshwater ecosystems – structure and function
- Coffee break*
- David Stopar:** Microbial oasis in the soil
- Kazimir Tarman:** Pedofauna – variability and its role in decomposition of organic matter in soil
- Peter Schönswetter:** Molecular markers and their application in biogeography
- Short break*

**ROUNDTABLE DISCUSSION**

*Chair: Alexis Zrimec*

