



6. konferenca učiteljev/-ic naravoslovnih predmetov – NAK 2021

**IZZIVI AVTENTIČNOSTI V NARAVOSLOVNEM IZOBRAŽEVANJU**



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE,  
ZNANOST IN ŠPORT

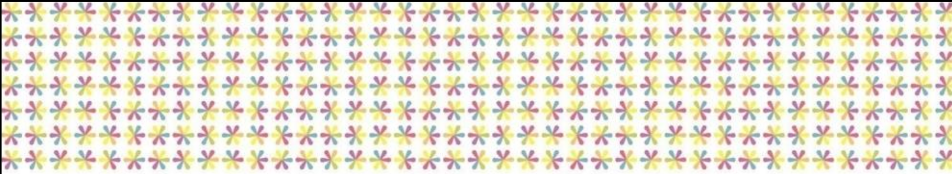
EVROPEJSKA UNIJA  
Evropski sklad za regionalni razvoj  
EVROPSKI SKLAD  
REGIONALNI RAZVOJ

Centar za izboljšanje  
kakovosti izobrazbe

Ured za izboljšanje  
kakovosti izobrazbe


Ured za izboljšanje  
kakovosti izobrazbe

Ured za izboljšanje  
kakovosti izobrazbe



**Zelena kemija ob uporabi projektne učnega dela**

V. Ferk Savec, K. Mlinarec in Š. Hrast  
Univerza v Ljubljani, Pedagoška fakulteta; Center KemikUm UL PEF



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE,  
ZNANOST IN ŠPORT

EVROPEJSKA UNIJA  
Evropski sklad za regionalni razvoj  
EVROPSKI SKLAD  
REGIONALNI RAZVOJ

Centar za izboljšanje  
kakovosti izobrazbe

Ured za izboljšanje  
kakovosti izobrazbe

Ured za izboljšanje  
kakovosti izobrazbe

Ured za izboljšanje  
kakovosti izobrazbe

6. konferenca učiteljev/-ic naravoslovnih predmetov – NAK 2021  
IZZIVI AVTENTIČNOSTI V NARAVOSLOVNEM IZOBRAŽEVANJU

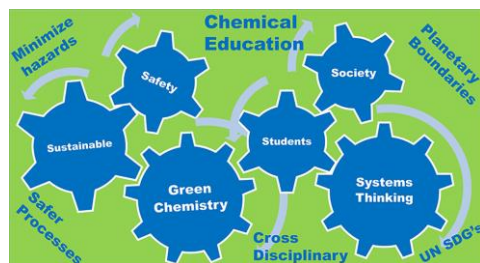
## Zelena kemija je del trajnostnega razvoja

### TRAJNOSTNI RAZVOJ <sup>[1, 2]</sup>

- širši pojem;
- zajema več različnih področij.

### ZELENA KEMIJA <sup>[1, 2]</sup>

- ožji pojem;
- spodbuja razvoj proizvodov in procesov, ki bistveno **zmanjšajo** uporabo in proizvodnjo nevarnih snovi.



[1]

[3]



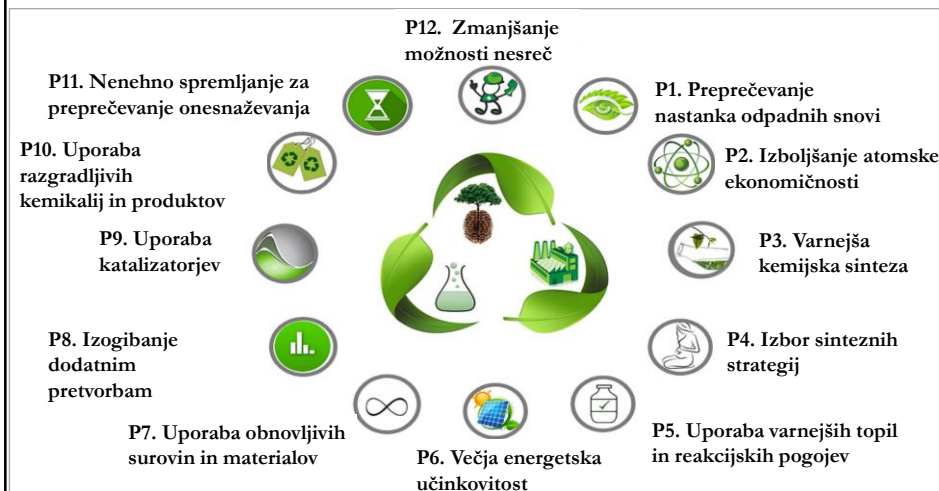
6. konferenca učiteljev/-ic naravoslovnih predmetov – NAK 2021  
IZZIVI AVTENTIČNOSTI V NARAVOSLOVNEM IZOBRAŽEVANJU



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE,  
ZNANOST IN ŠPORT



## 12 principov zelene kemije



[4]



6. konferenca učiteljev/-ic naravoslovnih predmetov – NAK 2021  
IZZIVI AVTENTIČNOSTI V NARAVOSLOVNEM IZOBRAŽEVANJU



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE,  
ZNANOST IN ŠPORT



## 12 principov zelene kemije



## Uporaba 12 principov zelene kemije v izobraževanju

### Vrednotenje primernosti izvedbe ED [6]:

- 1. korak: izračun preseženih reagentov  
– uporaba v povezavi s principom zelene kemije P2;
- 2. korak: preučitev reakcijskih pogojev (predvsem tlaka in temperature)  
– uporaba v povezavi s principom zelene kemije P6;
- 3. korak: preučitev izvedbe eksperimentalnega dela iz vidika nevarnosti za zdravje ljudi in nevarnosti za okolje  
– uporaba v povezavi s principi zelene kemije P1, P3, P5, in P9;  
ter iz vidika možnosti morebitnih nesreč in preostalih odpadnih nevarnih snovi in njihove embalaže  
– uporaba v povezavi s principom zelene kemije P12;



## Uporaba 12 principov zelene kemije v izobraževanju

### Vrednotenje primernosti izvedbe ED [6]:

- 4. korak: preučitev možnosti ponovne uporabe odpadnih snovi in možnosti njihove pretvorbe v neškodljive produkte  
– uporaba v povezavi s principoma zelene kemije P7 in P10;
- 5. korak: izogibanje nepotrebnim korakom eksperimentalnega dela  
– uporaba v povezavi s principom zelene kemije P8.



6. konferenca učiteljev/-ic naravoslovnih predmetov – NAK 2021  
IZZIVI AVTENTIČNOSTI V NARAVOSLOVNEM IZOBRAŽEVANJU



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE,  
ZNANOST IN ŠPORT



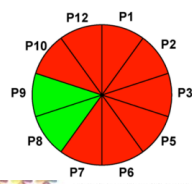
## Uporaba 12 principov zelene kemije v izobraževanju

### Metrika zelene kemije [6]

#### Zeleni krog

Binarni kriterij:

- 1- ne izpolnjen
- 2- izpolnjen

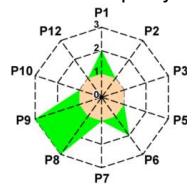


6. konferenca učiteljev/-ic naravoslovnih  
IZZIVI AVTENTIČNOSTI V NARAVOSLOV

#### Zelena zvezda

Trostopenski kriterij:

- 1- Ne izpolnjen
- 2- Delno izpolnjen
- 3- V celoti izpolnjen



#### Zelena matrika SWOT

Prednosti	Slabosti
Priložnosti	Nevarnosti



6. konferenca učiteljev/-ic naravoslovnih  
IZZIVI AVTENTIČNOSTI V NARAVOSLOV

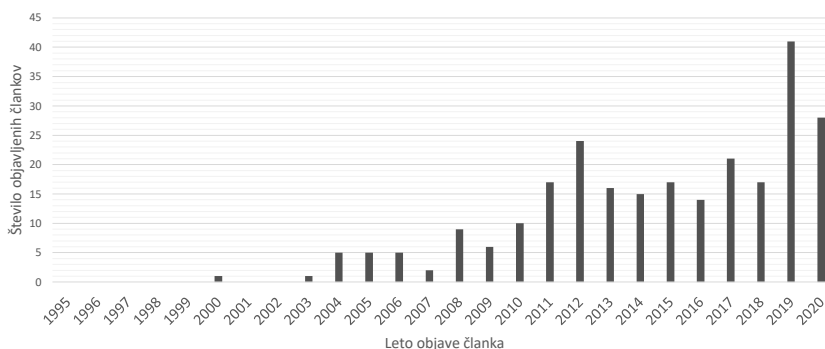


REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE,  
ZNANOST IN ŠPORT



## Zelena kemija in eksperimentalno delo v izobraževalnem procesu

Število objavljenih člankov v revijah – v obdobju 1995 do 2021



Graf 1: Število objavljenih člankov na temo eksperimentalnega dela z vidika zelene kemije v letih od 1995 do 2020, v bazah Web of Science, Scopus in ERIC. [7]



6. konferenca učiteljev/-ic naravoslovnih predmetov – NAK 2021  
IZZIVI AVTENTIČNOSTI V NARAVOSLOVNEM IZOBRAŽEVANJU

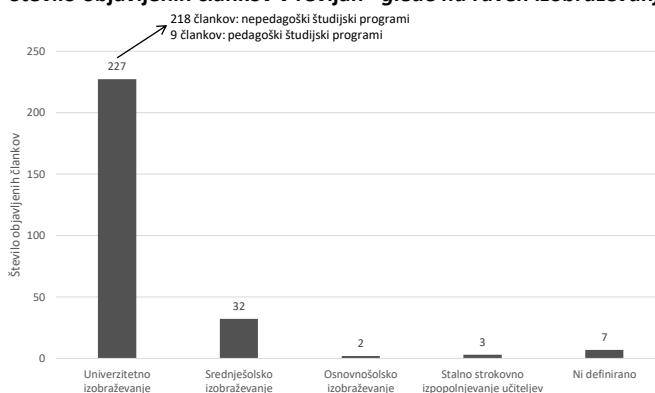


REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE,  
ZNANOST IN ŠPORT



## Zelena kemija in eksperimentalno delo v izobraževalnem procesu

Število objavljenih člankov v revijah - glede na raven izobraževanja



Graf 2: Število objavljenih člankov na temo eksperimentalnega dela z vidika zelene kemije v letih od 1995 do 2020, v bazah Web of Science, Scopus in ERIC glede na raven izobraževanja [7]. \*Opomba: nekateri članki so lahko naslavljali več ravni izobraževanja.



6. konferenca učiteljev/-ic naravoslovnih predmetov – NAK 2021  
IZZIVI AVTENTIČNOSTI V NARAVOSLOVNEM IZOBRAŽEVANJU

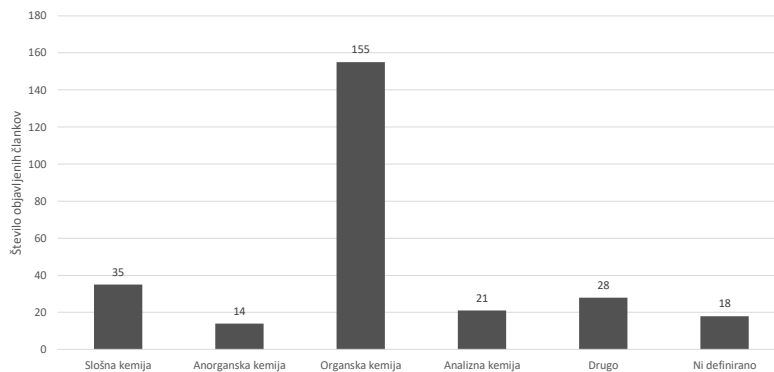


REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE,  
ZNANOST IN ŠPORT



## Zelena kemija in eksperimentalno delo v izobraževalnem procesu

Število objavljenih člankov - glede na področje kemije



Graf 3: Število objavljenih člankov na temo eksperimentalnega dela z vidika zelene kemije v letih od 1995 do 2020, v bazah Web of Science, Scopus in ERIC glede na kemijsko področje [7]. \*Opomba: nekateri članki so lahko naslavljali več področij kemije.



6. konferenca učiteljev/-ic naravoslovnih predmetov – NAK 2021  
IZZIVI AVTENTIČNOSTI V NARAVOSLOVNEM IZOBRAŽEVANJU



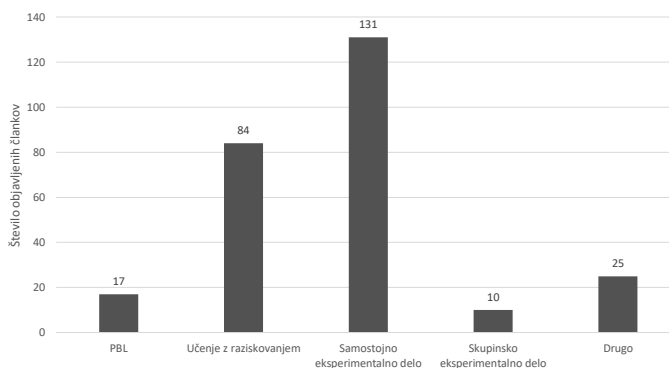
REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE,  
ZNANOST IN ŠPORT



EVROPSKA UNIJA  
Evropski sklad za regionalni razvoj  
IZOBRAŽEVANJE JE KLJUČNA VARNOSTI IN BUDNOSTI

## Zelena kemija in eksperimentalno delo v izobraževalnem procesu

Število objavljenih člankov - glede na uporabljen učni pristop



Graf 4: Število objavljenih člankov na temo eksperimentalnega dela z vidika zelene kemije v letih od 1995 do 2020, v bazah Web of Science, Scopus in ERIC glede na uporabljen pristop [7]. \*Opomba: nekateri članki so lahko naslavljali več pristopov.



6. konferenca učiteljev/-ic naravoslovnih predmetov – NAK 2021  
IZZIVI AVTENTIČNOSTI V NARAVOSLOVNEM IZOBRAŽEVANJU



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE,  
ZNANOST IN ŠPORT



EVROPSKA UNIJA  
Evropski sklad za regionalni razvoj  
IZOBRAŽEVANJE JE KLJUČNA VARNOSTI IN BUDNOSTI

## Zelena kemija in projektno učno delo

### Primer

Načrtovanje in izvedba projektne učnega dela z namenom optimizacije ED z vidika principov zelene kemije.

Stopnje projektne učnega dela (PUD)

**Glavne stopnje:**

- Inicijativa
- Skiciranje
- Načrtovanje
- Izvedba
- Sklepna faza

**Vmesni stopnji:**

- Usmerjevanje in
- Usklajevanje



Tabela 1a: Kriteriji izpolnjevanje principov zelene kemije pri oblikovanju zelene zvezde

PRINCIPI ZELENE KEMIJE	MERILA ZA IZPOLNJEVANJE PRINCIPA	ZELENI KROG Št. doseženih točk [1-2]	ZELENA ZVEZDA Št. doseženih točk [1-3]
P1 – Preprečiti nastanek odpadnih snovi	Odpadki niso proizvedeni, oziroma imajo nizko tveganje za zdravje ljudi in okolje.		
P2 – Povečati atomsko ekonomičnost	Reakcije brez presežnih reagentov ( $\leq 10\%$ ) in brez nastanka stranskih produktov.		
P3 – Varnejša kemijska sinteza	Vse snovi morajo imeti nizka tveganja za zdravje ljudi in okolje.		
P4 – Izbor sinteznih strategij za zmanjšanje toksičnosti vseh uporabljenih snovi	Priporočen izbor sinteznih strategij za zmanjševanje toksičnosti uporabljenih snovi v vseh stopnjah eksperimentalnega dela.		
P5 – Uporaba bolj varnih topil in reakcijskih pogojev	Uporaba topil in drugih snovi je minimalna. Če se topila uporabljajo, predstavljajo njihova uporaba nizko tveganje za zdravje ljudi in okolje.		
P6 – Večja energetska učinkovitost	Izvedba kemijskih reakcij pri sobni temperaturi in atmosferskem tlaku.		
P7 – Uporaba obnovljivih surovin in materialov	Uporabljene surovine so obnovljive.		
P8 – Izogibanje dodatnim prevorbam	Ce je le mogoče, se izognemo dodatnim prevorbam produktov kemijske reakcije.		
P9 – Uporaba katalizatorjev	Uporaba kataliziranih reakcij ima prednost pred ne-kataliziranimi. Ustrezen izbor katalizatorjev naj zmanjša selektivnost, zmanjša količino odpadkov, skrajša reakcijski čas.		
P10 – Uporaba kemikalij in produktov, ki se razgradijo po uporabi	Vse snovi, vključene v eksperimentalno delo, so razgradljive oziroma neškodljive produkte.		



6. konferenca učiteljev/-ic naravoslovnih predmetov – NAK 2021  
IZIVI AVTENTIČNOSTI V NARAVOSLOVNEM IZOBRAŽEVANJU



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE,  
ŠKOLSTVO IN ŠPORT



## Zelena kemija in projektno učno delo

**Primer:** Vpeljava principov zelene kemije v poučevanje in učenje o polimerih

Princip zelene kemije	Merila za izpolnjevanje principa	Predlogi možnosti optimizacije sinteze polimerov, povzeti po [8]
P1 – Preprečiti nastanek odpadnih snovi	Odpadki niso proizvedeni, oziroma imajo nizko tveganje za zdravje ljudi in okolje.	<b>Zmanjšati odpadke</b> zaradi nepopolnega poteka reakcije, iskanje <b>alternativnih topil</b> ali <b>novih polimerizacijskih tehnik</b> .
P2 – Povečati atomsko ekonomičnost	Reakcije brez presežnih reagentov ( $\leq 10\%$ ) in brez nastanka stranskih produktov.	Uporaba <b>katalizatorjev</b> .
P3 – Varnejša kemijska sinteza	Vse snovi morajo imeti nizka tveganja za zdravje ljudi in okolje.	Uporaba <b>polnil iz naravnih virov</b> : npr. <b>glina</b> , <b>naravna vlakna</b> (npr. celuloza, konoplja, lan, les) in <b>škrob</b> , namesto uporabe sintetičnih polnil (npr. silicijev dioksid, titanov dioksid, kalcijev karbonat, steklena in ogljikova vlakna).
P4 – Izbor sinteznih strategij za zmanjšanje toksičnosti vseh uporabljenih snovi	Premišljen izbor sinteznih strategij za zmanjševanje toksičnosti uporabljenih snovi v vseh stopnjah eksperimentalnega dela.	Uporaba <b>manj nevarnih snovi</b> : npr. <b>izhodiščnih surovin</b> (npr. monomeri iz biomase), <b>topil</b> , <b>katalizatorjev</b> in <b>drugih dodatkov</b> pri sintezi, predelavi in modifikaciji polimernih izdelkov.
P5 – Uporaba bolj varnih topil in reakcijskih pogojev	Uporaba topil in drugih snovi je minimalna. Če se topila uporabljajo, predstavljajo njihova uporaba nizko tveganje za zdravje ljudi in okolje.	Uporaba <b>okolju prijaznejših topil</b> .
P6 – Večja energetska učinkovitost	Izvedba kemijskih reakcij pri sobni temperaturi in atmosferskem tlaku.	<b>Optimizacije energetske učinkovitosti</b> izvedbe kemijskih reakcij, npr. izvedba pri <b>sobnih pogojih</b> , uporaba <b>mikrovalovalov</b> kot vira termične energije.



6. konferenca učiteljev/-ic naravoslovnih predmetov – NAK 2021  
IZIVI AVTENTIČNOSTI V NARAVOSLOVNEM IZOBRAŽEVANJU



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE,  
ŠKOLSTVO IN ŠPORT



## Zelena kemija in projektno učno delo

Princip zelene kemije	Merila za izpolnjevanje principa	Predlogi možnosti optimizacije sinteze polimerov, povzeti po [8]
<b>P7 – Uporaba obnovljivih surovin in materialov</b>	Uporabljene surovine so obnovljive.	<b>Uporaba obnovljivih surovin in materialov:</b> <b>rastlinskih olj:</b> sojino olje, ricinusovo olje, palmovo olje, repično olje, laneno olje, itd., <b>fragmentov lignina:</b> celuloza, hitin, hitozan, škrob, mlečna kislina itd., <b>sladkorjev, glicerola, citronske kisline, vinske kisline.</b>
	Če je le mogoče, se izognemo dodatnim pretvorbam produktov kemijske reakcije.	<b>Izogibanje dodatnim pretvorbam:</b> skupni vpliv dodatnih kemikalij, ki se uporabljajo pri proizvodnji polimerov, je je tudi v industriji sorazmerno majhen.
<b>P9 – Uporaba katalizatorjev</b>	Uporaba kataliziranih reakcije ima prednost pred stehiometrijskimi. Ustrezen izbor katalizatorjev naj poveča selektivnost, zmanjša količino odpadkov, skrajša reakcijski čas.	<b>Uporaba katalizatorjev:</b> <b>encimov, biokatalizatorjev.</b>
	Vse snovi, vključene v eksperimentalno delo, so razgradljive oziroma razpadejo na neškodljive produkte.	<b>Uporaba razgradljivih kemikalij:</b> npr. <b> biorazgradljivih polimerov iz obnovljivih virov</b> (biomase), kot tudi <b>neobnovljivih</b> (fosilnih) <b>virov</b> . Pomembni neobnovljivi viri so: dikarboksilne kisline, adipinska kislina, tereftalna kislina in jantarna kislina, obnovljivi viri pa: <b>polimlečna kislina (PLA), škrob, celuloza in lignin.</b>
<b>P11 – Nenehno spremljanje eksperimentalnega dela za preprečevanje onesnaževanja</b>	Zagotovljeno nenehno spremljanje vseh stopenj eksperimentalnega dela za preprečevanje onesnaževanja.	<b>Spremljanje eksperimentalnega dela za preprečevanje onesnaževanja:</b> npr. uporaba <b>senzorjev za spremljanje temperature in tlaka, kalorimetrija, plinska kromatografija, UV/VIS in IR spektroskopija.</b>
<b>P12 – Zmanjšati možnost nesreč</b>	Uporaba snovi, ob uporabi katerih je minimalna verjetnost nesreč.	<b>Zmanjšanje možnosti nesreč:</b> npr. Uporaba ustreznih <b>postopkov kontrole</b> (npr. prezračevanje, uporaba digestorijev), ustrezne <b>varovalne opreme</b> in <b>zamenjavo surovin na petrokemični osnovi s surovinami na biološki osnovi.</b>



6. konferenca učiteljev/-ic naravoslovnih predmetov – NAK 2021  
IZZIVI AVTENTIČNOSTI V NARAVOSLOVNEM IZOBRAŽEVANJU



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE,  
ZNANOST IN ŠPORT



## Še nekaj možnosti za razmisleke o uporabi zelene kemije v izobraževanju

Delavnica **Zelena kemija ob uporabi projektnega učnega dela**  
(Delavnica NAK, 15.10.2021: od 12.30 do 14.00 ure).

### Aktualni Erasmus+ projekti

(več na spletni strani Centra KemikUm UL PEF - <https://kemikum.si>):

- **Online Resources for Chemical Safety in Science Education: IO4 Green Chemistry.**
- **Competences4ESD.**



6. konferenca učiteljev/-ic naravoslovnih predmetov – NAK 2021  
IZZIVI AVTENTIČNOSTI V NARAVOSLOVNEM IZOBRAŽEVANJU



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE,  
ZNANOST IN ŠPORT







**Hvala za vašo pozornost.**


**Kontakt:**

Vesna Ferk Savec  
vesna.ferk@pef.uni-lj.si

Center KemikUm UL PEF  
kemikum@pef.uni-lj.si

Katarina Mlinarec  
katarina.mlinarec@pef.uni-lj.si

Špela Hrast  
spela.hrast@pef.uni-lj.si

**Viri**

[1] Bodner, G. M. (2015). *Understanding The Change Toward A Greener Chemistry By Those Who Do Chemistry And Those Who Teach Chemistry*. V I. Eilks in A. Hofstein (ur.), *Relevant Chemistry Education - From Theory to Practice* (pp. 263–284). Sense Publishers.

[2] Lancaster, M. (2016). *Green Chemistry: An Introductory Text*. Cambridge: Royal Society of Chemistry.

[3] Aubrecht, K. B., Bourgeois, M., Brush, E. J., MacKellar, J. in Wissinger, J. E. (2019). Integrating Green Chemistry in the Curriculum: Building Student Skills in Systems Thinking, Safety, and Sustainability. *Journal of Chemical Education*, 96 (12), 2872-2880, DOI: 10.1021/acs.jchemed.9b00354

[4] Anastas, P. T. in Warner, J. C. (1998). *Green Chemistry: Theory and Practice*. New York: Oxford University Press.

[5] O'Neil, N. J., Scott, S., Relph, R. in Ponnusamy, E. (2021). Approaches to Incorporating Green Chemistry and Safety into Laboratory Culture. *Journal of Chemical Education*, 98 (1), 84-91, DOI: 10.1021/acs.jchemed.0c00134

[6] Duarte, R. C. C., Ribeiro, M. G. T. C. in Machado, A. A. S. C. (2015). Using Green Star Metrics To Optimize the Greenness of Literature Protocols for Syntheses. *Journal of Chemical Education*, 92(6), 1024–1034.

[7] Ferk Savec V, Mlinarec K. (2021). Experimental Work in Science Education from Green Chemistry Perspectives: A Systematic Literature Review Using PRISMA. *Sustainability*, 13 (23), 12977. <https://doi.org/10.3390/su132312977>

[8] Dube, M. A. in Salehpour, S. (2014). Applying the principles of green chemistry to polymer production technology. *Macromolecular Reaction Engineering*, 8(1), 7-28. DOI: 10.1002/mren.201300103

