

Naslov članka/Article:

Kako se temperatura tal spreminja čez dan in skozi leto?

How Does Soil Temperature Change During the Day and Throughout the Year?

Avtor/Author:

prof. dr. Jože Rakovec

DOI:

CC licenca



Priznanje avtorstva-Nekomercialno-Brez predelav



Fizika v šoli št. 1/2022, letnik 27

ISSN 1318-6388

Izdal in založil: Zavod Republike Slovenije za šolstvo

Kraj in leto izdaje: Ljubljana, 2022

Spletna stran revije:

<https://www.zrss.si/strokovne-revije/fizika-v-soli/>

Kako se temperatura tal spreminja čez dan in skozi leto?

prof. dr. Jože Rakovec

upokojeni profesor Univerze v Ljubljani

Izvleček

Članek obravnava periodično spreminjanje temperature tal, katerih površina se čez dan segreje, ponoči pa ohladi oziroma se poleti segreje in pozimi ohladi. Pri tem so globlje v tleh spremembe temperature vse manjše, tako da je na neki globini temperatura konstantna. Kolikšna je ta globina, je odvisno tako od lastnosti tal kot od tega, ali gre za krajše, dnevne cikle ali za dolge, letne cikle. Lastnosti tal – toplotna prevodnost, specifična toplota in gostota tal – skupaj tvorijo t. i. toplotno difuzivnost (imenovano tudi temperaturna ali termalna difuzivnost). Temperaturne spremembe pa se z globino ne le manjšajo, ampak tudi čedalje bolj časovno zaostajajo.

Ključne besede: temperatura tal, difuzivnost, zmanjšanje amplitude, časovni zaostanek

How Does Soil Temperature Change During the Day and Throughout the Year?

Abstract

This paper considers the periodic variation in soil temperature, where the surface warms up during the day and cools down at night or warms up in summer and cools down in winter. The greater the depth below the ground surface, the smaller the shifts. It follows, then, that the temperature remains constant at a certain depth. The depth depends on both, the properties of the soil as well as on whether there are short, daily cycles, or long, annual cycles. Soil properties, namely, thermal conductivity, specific heat, and soil density form the so-called thermal diffusivity. With depth, not only do the magnitudes of temperature changes decrease, but they also lag behind.

Keywords: soil temperature, diffusivity, amplitude reduction, time lag.

Temperatura v tleh

Dandanes je zanimanje za temperaturo v tleh dosti večje, kot je bilo pred nekaj desetletji. En vzrok so toplotne črpalke, ki pozimi iz globine od nekaj metrov do okrog deset metrov zajemajo toploto za ogrevanje hiš, poleti pa z obrnjenim delovanjem hiše hladijo tako, da iz njih »porivajo« toploto v tla. Drug dokaj pomemben razlog za povečano zanimanje pa so vse višje temperature v subarktičnih območjih, kjer se zato talijo sicer ves čas zamrznjena tla – permafrost. Razmehčan permafrost je precejšnja težava za vse, kar je človek zgradil na njem: stavbe, ceste, železnice, naftovode in plinovode ... Zelo zanimivo je na primer, kaj vse so morali narediti Kitajci ob gradnji železnice v Tibetu, ki več kot tisoč kilometrov poteka prek permafrosta, da se jim nasutja, mostovi, viadukti ne posedajo. Za razliko od prejšnjih sistemov t. i. toplotnih sifonov so vgradili na metre debela nasutja kamenja s precej zraka med kamni, ki so po eni strani izolator za tla, po drugi pa neke vrste pasivni hladilnik tal. Opisi te gradnje so npr. na Earth data [1] ali v kakem dokumentarcu [2, 3].

Na meteoroloških postajah že kako stoletje in več merijo tudi temperaturo v različnih globinah v tleh. Pred stoletjem seveda ni bilo na razpolago drugega kot stekleni živosrebrni ali alkoholni termometri, tako dolgi, da je njihova lestvica segala nad površino tal. Seveda niso mogli biti poljubno dolgi – največ do pol metra. Za večjo globino pa so izvrtali ozko luknjo

Razmehčan permafrost je precejšnja težava za vse, kar je človek zgradil na njem.

in vanjo spustili termometer, privezan na vrstico. Ob času meritve so ga povlekli navzgor, odčitali temperaturo ter ga spustili nazaj v izvrtino. Tako so torej merili v globinah 2, 5, 10, 20, 30, 50 in 100 cm globoko (še globlje pa so z gumijasto cevjo, napolnjeno z vodo, v še globlji luknji preverjali samo, do katere globine so tla morda zamrznjena – do katere globine je cev trda, zamrznjena, od kod pa gibljiva, mehka). Danes je seveda drugače: termočleni, uporovni termometri, termistorji ... omogočajo meritve tudi zelo globoko.

Kakšna je torej temperatura v tleh in kako se spreminja s časom in globino?

Obravnavali bomo periodične spremembe čez dan, ko se temperatura izrazito spreminja ob lepem, sončnem vremenu, pa tudi povprečne mesečne temperature, ki pokažejo spremembe skozi letne čase. Vsi vemo, da se površina tal čez dan in poleti precej segreje, čez noč in pozimi pa ohladi. Ob sončnem poletnem dnevu se tla lahko celo toliko segrejejo, da po njih ne moremo hoditi bos – npr. po kaki peščeni ali mivkasti plaži, proti jutru pa se ohladijo npr. do rose na tleh ali celo slane, pozimi tudi do zamrzovanja gornje plasti tal. Pozimi tla lahko zamrznejo do neke globine, spomladi pa se spet ogrejejo in odtalijo. Od česa je to odvisno? Kako globoko v tleh se spreminja temperatura?

Spreminjanje temperature v tleh je odvisno od ogrevanja ali ohlajanja površine tal in od prenosa toplote v globino in iz nje, torej od ogrevanja ali ohlajanja globlje v tleh. Pomembne so toplotna prevodnost tal λ , gostota tal ρ in specifična toplota c pa tudi to, ali morda opazujemo dnevne spremembe ali letne, torej čas dogajanja τ . Toplotna prevodnost λ pove, kakšen je toplotni tok $P = \Delta Q/\Delta t$ skozi nek presek S pri neki temperaturni razliki ΔT na neki razdalji Δz : $P = -\lambda S \Delta T/\Delta z$. Gostota tal ρ pove, kolikšna je masa m v prostornini tal V : $\rho = m/V = m/S\Delta z$. Specifična toplota c pa pove, za koliko se poviša temperatura masi m , če ji dovedemo ΔQ toplote, torej $\Delta T = \Delta Q/mc$. Te lastnosti: toplotna prevodnost, gostota in specifična toplota, pa so odvisne od vrste tal.

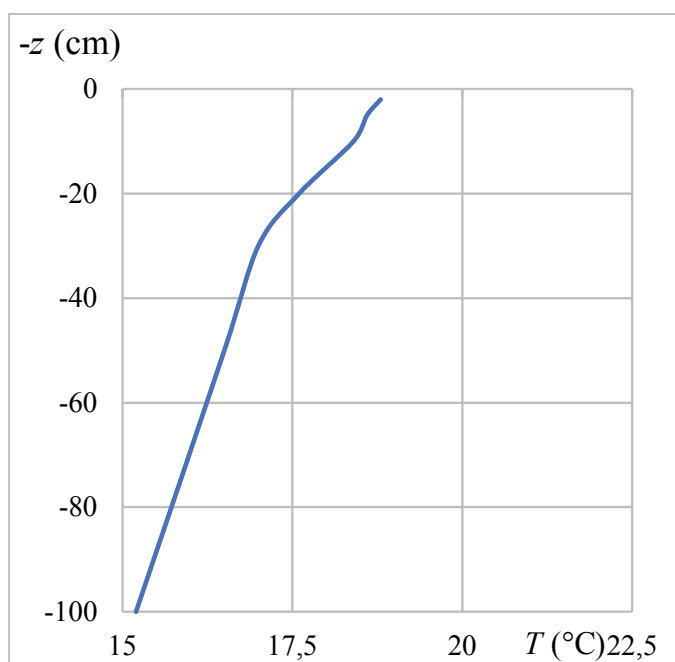
Če bi se temperatura v tleh z globino spreminjala linearno, bi bile razlike ΔT skozi vse plasti enake debeline Δz enake in tok toplote po vsej globini enak. Toda ni tako: meritve kažejo, da je temperaturni gradient (stopnja spreminjanja temperature z globino $\Delta T/\Delta z$) po navadi največji pri površini, v globini pa vse manjši; en primer za poletne razmere je na sliki 1.

Če pa se gradient temperature z globino spreminja, potem tudi tok toplote po globini ni enak: v primeru na sliki je gradient zgoraj večji in zato je tok toplote večji, globlje pa manjši. Torej v neko plast debeline Δz od zgoraj prihaja več toplote, kot jo od njenega dna teče naprej navzdol. Razlika med dotokom toplote skozi zgornjo ploskev S in odtokom skozi enako veliko spodnjo ploskev te plasti vanjo v času Δt dovede ΔQ toplote, kar v tem času plast segreje za ΔT .

$$mc \Delta T/\Delta t = \Delta Q/\Delta t = S \lambda [(\Delta T/\Delta z)_{zg} - (\Delta T/\Delta z)_{sp}].$$

Gre torej za razmere, ki se spreminjajo tudi v času – za nestacionarno dogajanje. Na sliki 1 so prikazane povprečne junijske razmere. Prej, pozimi in zgodaj spomladi, so tla hladnejša, pozneje, poleti, pa še toplejša. Podobno pri dnevnem dogajanju: zjutraj je površina tal najhladnejša, dopoldne toplejša, okrog poldneva pa najtoplejša: temperatura se spreminja tako z globino kot s časom.

Spreminjanje temperature v tleh je odvisno od ogrevanja ali ohlajanja površine tal in od prenosa toplote v globino in iz nje.



Slika 1: Povprečna temperatura tal v Lescah junija (1971–2000) po podatkih iz [4]. Graf $T(z)$ je narisano malo drugače, kot smo navajeni, saj je odvisna spremenljivka na vodoravni osi, neodvisna pa na navpični navzdol. A to je kar smiselno, saj globina pač narašča navpično navzdol.

Ko v enačbi $mc \Delta T/\Delta t = S \lambda [(\Delta T/\Delta z)_{zg} - (\Delta T/\Delta z)_{sp}]$ upoštevamo še, da je $m = \rho S \Delta z$, vidimo, da velja $\rho S \Delta z c \Delta T/\Delta t = \lambda S [(\Delta T/\Delta z)_{zg} - (\Delta T/\Delta z)_{sp}]$. Enačbo delimo z $\rho c S \Delta z$ in dobimo enačbo s kvocientom razlik temperature v času (Δt) in po globini (Δz):¹

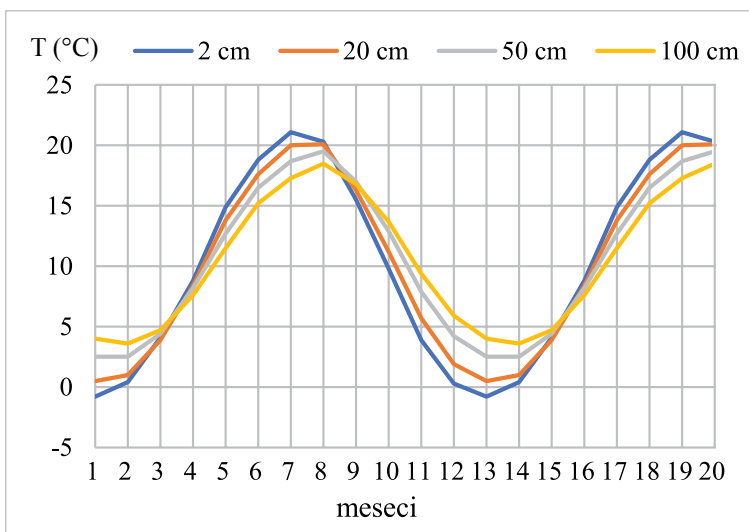
$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{\lambda}{\rho c} \frac{\Delta T/\Delta z_{zg} - \Delta T/\Delta z_{sp}}{\Delta z} = \frac{\lambda}{\rho c} \frac{\Delta(\Delta T/\Delta z)}{\Delta z}$$

Kvocient $\lambda/\rho c$, ki je odvisen od lastnosti tal, označujejo z različnimi črkami, npr. z α : $\alpha = \lambda/\rho c$, pa tudi imen ima lahko več.²

Za segrevanje plasti se morajo torej temperaturne razlike z globino zmanjševati – to pa obenem pomeni tudi, da je gostota toka toplote v vse večjih globinah vse manjša in manjša. Če se del toka toplote porabi v zgornjih plasteh, v globino pride manj toplote. To pomeni, da bo tam tudi ogrevanja manj: velikost temperaturnih sprememb je z globino vse manjša.

Še nekaj: zjutraj (ali pomladi) je temperatura v tleh lahko po vseh globinah precej enaka. To pomeni, da mora za to, da toplota začne teči navzdol, sonce najprej segreti površino tal. Potem začne toplota prodirati skozi površinsko plast tal navzdol in nekaj časa traja, da se ogreje tudi plast tik pod površino. Zato se šele čez nekaj časa pojavijo tudi temperaturne razlike malo globlje v tleh – in spet traja nekaj časa, da se ogreje naslednja plast po globini. Torej temperaturne spremembe globlje v tleh niso samo manjše, ampak imajo tudi vse večji časovni zaostanek. To se lepo vidi, če pogledamo, kakšne so v Lescah povprečne mesečne temperature na različnih globinah v tleh (slika 2).

Da se lepše vidi, kako se temperatura periodično spreminja iz meseca v mesec, skozi letne čase, potekov temperature nismo narisali samo za eno leto, ampak smo jih ponovili še v naslednje leto. Da pa slika ne bi bila prepolna, smo narisali samo letne poteke za štiri globine v tleh. Vidimo, da se tla najbolj segrejejo pa tudi ohladijo ob površini (2 cm), globlje pa so spremembe vedno manjše. Vidimo tudi, da je najvišja temperatura v globini 2 cm dosežena julija, v globini en meter pa mesec pozneje – avgusta. Podobno velja za najnižje temperature: v globini 2 cm januarja, en meter globoko pa februarja. Torej je med tema globinama en mesec časovnega zamika.



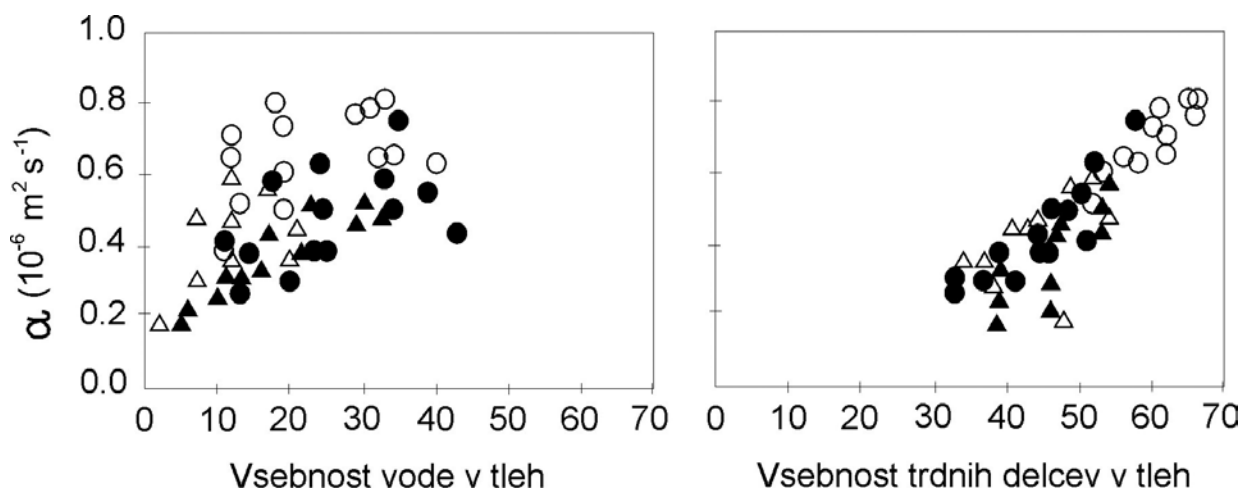
Slika 2: Povprečna mesečna temperatura tal v Lescah v različnih globinah v obdobju 1971–2000 (po podatkih [4])

Kaj pa vpliva na različno velika segrevanja in ohlajanja v različnih globinah in na časovne zamike?

Ja, v zapisani enačbi nastopa razmerje $\lambda/\rho c = \alpha$, ki opisuje lastnosti tal. Tla so sestavljena iz trdnih delcev (mineralov, organskih snovi), med njimi je ob suši zrak, včasih pa voda, ki bolj ali manj zapolni predele med trdnimi delci. Čim več je v tleh prostorčkov z zrakom, torej čim bolj so tla suha, tem manjša je toplotna prevodnost tal λ , saj je zrak dober toplotni izolator. Zrak v talnih porah pomeni tudi, da je gostota ρ takih tal manjša, prav tako specifična toplota c . Na-

¹ Če bi v tej enačbi s kvocientom razlik obravnavali neskončno (infinitesimalno) majhne spremembe v prostoru in času ($\Delta t \rightarrow 0$ in $\Delta z \rightarrow 0$), bi enačba prešla v diferencialno enačbo (parcialno diferencialno enačbo). Za našo obravnavo pa zadostuje kar enačba z (majhnimi) končnimi razlikami.

² Glede na to, da je v tej enačbi odvisna spremenljivka temperatura, nekateri kvocient $\lambda/\rho c$ imenujejo temperaturna difuzivnost. Ker gre za posledice prenašanja toplote, pa kvocient nosi tudi ime toplotna difuzivnost. Včasih pa mu rečejo kar termalna difuzivnost, kar naj bi bilo povezano tako s temperaturo kot tudi s toploto.



Slika 3: Odvisnost temperaturne difuzivnosti $\alpha = \lambda/\rho c$ od volumskega deleža vode Θ in od volumskih deležev trdnih delcev V_s v tleh (prirejena po [5])

sprotno pa – ko so pore v tleh zapolnjene z vodo – se toplotna prevodnost λ poveča, poveča se gostota ρ pa tudi specifična toplota c in s tem se spremeni tudi njihova kombinacija $\alpha = \lambda/\rho c$.

Na gostoto, toplotno prevodnost in specifično toploto tal ter njihovo razmerje $\alpha = \lambda/\rho c$ torej zelo vpliva delež vode v tleh, kar kaže tudi slika 3, povzeta iz [5]. Tu je Θ volumski delež vode v tleh, V_s pa volumski delež trdnih delcev v tleh (med njimi je ali zrak ali pa voda).

Tako se difuzivnost α v nekih tleh lahko poveča glede na suha tla za okrog trikrat, če so tla nasičena z vodo. Pri tem je vrsta tal (štiri različne tipe tal predstavljajo prazni in polni krogi in trikotniki na sliki 3) sicer tudi zelo pomembna – npr. lahka šotasta, težje peščena ali morda ilovnata ... A na neki lokaciji so tla pač taka, kakršna so, vseeno pa imajo lahko manjšo ali večjo vsebnost vode. Torej: po teh slikah je α nekako med $0,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ za suha tla in $0,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ za mokra tla oz. za lahka ali težka tla. Če to izrazimo na dan, dobimo za α vrednosti od 0,02 do 0,07 m^2/dan , za eno leto pa od 6 do 25 m^2/leto za suha in/ali lahka oziroma za mokra in/ali težka tla.

Koliko meritve na meteoroloških postajah v Sloveniji povedo o tem, kako težka so tla? (Kot že rečeno – meteorologija meri le do globine enega metra.) Ponovno pogledjmo Lesce (tabela 1): tam je razpon v globini 1 m ($14,9 \text{ }^\circ\text{C}$) okrog 2/3 razpona na globini 2 cm ($21,9 \text{ }^\circ\text{C}$). Ali so tla v Lescah torej dokaj mokra/težka? Primerjajmo te podatke še s Celjem in Biljami. Tabela kaže

Tabela 1: Mesečna p ovprečja temperature v tleh 2 cm globoko in 100 cm globoko v Biljah, Celju in Lescah za obdobje 1971–2000

Temperature T (°C)	jan.	feb.	mar.	apr.	maj	jun.	jul.	avg.	sep.	okt.	nov.	dec.	letni razpon
Bilje 2 cm	2,1	3,8	8,3	12,8	18,9	23	25,5	24,4	19,8	13,7	7,3	2,9	23,4
Bilje 100 cm	5,7	5,6	7,5	10,8	14,9	18,7	21,3	22,3	20,1	16,6	12	7,8	16,6 (0,71 x 23,4)
Celje 2 cm	-0,1	1	5,3	10,6	16,8	20,8	22,5	21,5	17,1	11	5,1	1,1	22,6
Celje 100 cm	5,5	4,8	5,6	8,3	11,8	15,4	17,7	18,9	17,8	15,2	11,5	7,6	13,4 (0,59 x 22,6)
Lesce 2 cm	-0,8	0,4	4,1	8,8	14,9	18,8	21,1	20,3	15,5	9,8	3,9	0,3	21,9
Lesce 100 cm	4	3,6	4,7	7,6	11,5	15,2	17,3	18,5	16,8	13,7	9,4	5,9	14,9 (0,68 x 21,9)

Podatki nakazujejo, da so tla v Biljah »najtežja« (fliš) (razpon v globini enega metra je 71 % razpona 2 cm globoko), v Celju pa »najlažja« (meter globoko je razpon 59 % razpona v globini 2 cm).

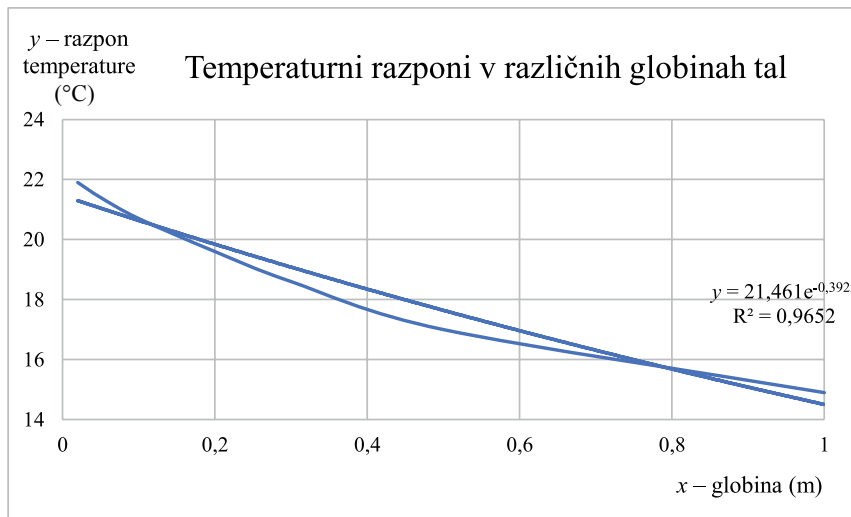
povprečne mesečne temperature tal v globini 1 m še za Bilje, kjer je razpon v globini glede tistega pri površini največji (71 % – težja tla), in za Celje, kjer je najmanjši (68 % – lažja tla); Lesce pa so vmes – iz arhiva ARSO [4].

Pa pogledjmo še več podatkov o povprečnih mesečnih temperaturah v tleh v Lescah za obdobje 1971–2000. V arhivu podatkov ARSO najdemo povprečne podatke, navedene v tabeli 2.

Tabela 2: Temperaturni podatki za Lesce na več globinah v tleh v °C.

Globina	jan.	feb.	mar.	apr.	maj	jun.	jul.	avg.	sept.	okt.	nov.	dec.	razpon
2 cm	-0,8	0,4	4,1	8,8	14,9	18,8	21,1	20,3	15,5	9,8	3,9	0,3	21,9
5 cm	-0,6	0,5	4,1	8,8	14,7	18,6	20,8	20,3	15,7	10,1	4,3	0,6	21,4
10 cm	-0,1	0,7	4,2	8,9	14,5	18,4	20,6	20,4	16,1	10,6	4,9	1,2	20,7
20 cm	0,5	1	3,9	8,4	13,8	17,6	20	20,1	16,3	11,2	5,7	1,9	19,6
30 cm	1,1	1,4	3,9	8,1	13,1	17	19,3	19,7	16,4	11,7	6,4	2,7	18,6
50 cm	2,5	2,5	4,4	8,2	12,7	16,5	18,7	19,5	17	12,9	7,9	4,2	17
100 cm	4	3,6	4,7	7,6	11,5	15,2	17,3	18,5	16,8	13,7	9,4	5,9	14,9

Če pogledamo razpone temperatur (najvišja – najnižja) za vse globine, lahko ocenimo, kako z globino upadajo razponi povprečnih temperatur v tleh. Kakšno bi utegnilo biti upadanje razponov? Obravnavajmo samo prvi in zadnji stolpec tabele 2 in vrednostim poskusimo prilagoditi npr. eksponentni upad. To lahko naredimo npr. v Graphmatici, Geogabri ali pa Microsoftovem Excelu: narišemo podatke (v Excelu začnemo z ukazom Vstavite grafikon, izberemo način Razpršeno, kliknemo na narisano črto ter izberemo Dodaj trendno črto skupaj s Prikaži enačbo in Prikaži R²). Dobimo diagram na sliki 4.



Slika 4: Letni razpon temperature tal v različnih globinah v tleh v Lescah 1971–2000

S prilagajanjem eksponentne funkcije tem podatkom ugotovimo, da je eksponentni približek upadanja letnih razponov temperatur po globini v Lescah $e^{-(0,392/m)z} = e^{-z/2,5m}$ – s precej visoko zanesljivostjo glede vrednosti 2,5 m: $R^2 = 0,965^3$. Torej za tla v Lescah na meteorološki postaji lahko ocenimo, da je karakteristični faktor eksponentnega upadanja razponov temperature okrog 2,5 m.

Poskušajmo še kaj ugotoviti! Kako se nam splača obravnavati časovne poteke in kako globino v tleh, ko pa gre lahko za periodične dnevne ali pa letne spremembe, in sicer v lahkih peščenih tleh ali pa v težkih, mokrih ilovnatih tleh?

S primerno obravnavo časa to ugotovimo zelo hitro: če gre za sinusne periodične spremembe, se te ponavljajo na vsake 2π : torej je smiselno, da čas merimo v delih števila π kot $t^* = 2\pi t/\tau$.

3 Resnici na ljubo moramo povedati, da bi se podatkom še bolj kot eksponentna prilagala kvadratna funkcija. Toda eksponentni upad bi znali razložiti, medtem ko za kvadratni upad ne bi znali najti razlage.

Normalizacijski faktor za brezdimenzijski čas je torej $\tau/2\pi$ in ta velja tako za dnevno ($\tau = 24$ ur) kot za letno spreminjanje ($\tau = 365$ dni).

Kaj pa za globino v tleh z različnimi lastnostmi?

Tudi globino se splača obravnavati s tako kombinacijo vseh odločujočih količin λ , c , ρ in $\tau/2\pi$, ki bo imela dimenzije razdalje – pa bomo dobili brezdimenzijsko globino. Obstaja metoda, kako se tega lotiti zares in sistematično (imenuje se dimenzijska analiza), a tukaj namesto tega kar malo poskušajmo. Edina kombinacija λ , c , ρ in $\tau/2\pi$, pri kateri dobimo za difuzivnost $\alpha = \lambda/\rho c$ dimenzijo dolžine, je $\sqrt{(\lambda/\rho c) \cdot (\tau/2\pi)} = \sqrt{\alpha\tau/2\pi}$. Tega, da pa je pravi normalizacijski faktor d za brezdimenzijsko globino $z^* = z/d$ v resnici brez dvojke, torej $d = \sqrt{\alpha\tau/\pi}$ (in ne $\sqrt{\alpha\tau/2\pi}$!), pa nam žal tudi podrobna dimenzijska analiza ne bi znala povedati.⁴

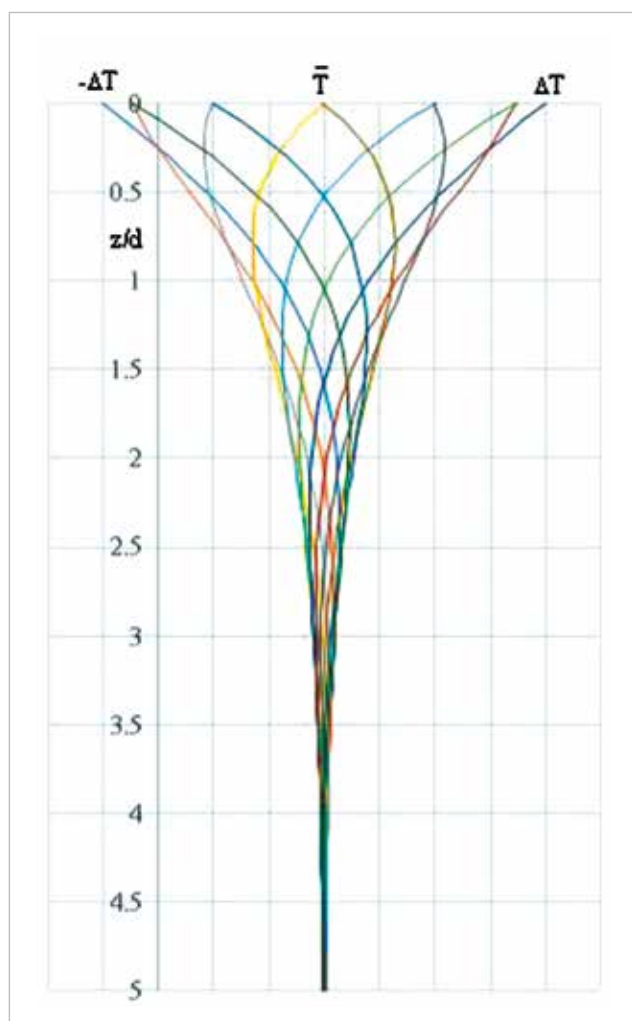
Sedaj torej vseeno posezimo po kaki enačbi $T(z, t)$ ob periodičnem sinusnem časovnem poteku temperature pri površini in s konstantno temperaturo \bar{T} globoko v tleh. Enačbo bi dandanes lahko poiskali na svetovnem spletu (npr. [6, 7, 8] ipd.), a kdor se zadovolji kar s spletnim kalkulatorjem, ki ga je objavil g. Zorko Vičar [7], lahko rezultate dobi tako tabelarično, v obliki grafa. Ta kalkulator nam pove, kako se ob ponavljajočih, periodičnih spremembah na površini (skozi dan in noč ali skozi letne čase) spreminja temperatura v homogenih tleh v različnih globinah: tako, kot kaže slika 5.

Slika velja tako za dnevne kot za letne spremembe temperature, le da je čas ene periodične spremembe v prvem primeru $\tau_{\text{dan}} = 24$ ur, v drugem pa $\tau_{\text{leto}} = 365$ dni pa tudi povprečna vrednost in razpon temperatur na površini sta lahko drugačna. V prvem primeru zato velja, kot da so narisani poteki temperature na vsaki dve uri, v drugem pa za vsak mesec ena.

Pri tem je treba upoštevati tudi, da je globina v tleh narisana v brezdimenzijski skali $z^* = z/d$, pri čemer je normalizacijski faktor d odvisen od vseh za dogajanje pomembnih količin $d = \sqrt{\alpha\tau/\pi}$.

Še nekaj spoznanj iz globljih vrtin. Pri nas imajo geologi za raziskovalne namene tudi globlje vrtine. Taka je sto metrov globoka vrtina v Malencah pri Kostanjevici na Krki [9]. Tam tla do globine 16 m sestavlja mešanica glin, peska in proda, globlje pa je lapor. Izmerili so, da se na globini 5 m temperatura med letom še znatno spreminja – za okrog ± 1 °C, v globini 10 m pa je že konstantna (slika 6a). Ko to primerjajo s temperaturami po enačbi $T(t, z)$ (slika 6b), pa se pokaže, da se do globine okrog 4 m meritve približno skladajo z izračunanimi vrednostmi, globlje pa temperatura narašča tja do globine 100 m: približno 5,8 °C/100 m – kajti na tem območju so v globinah geotermalne vode!

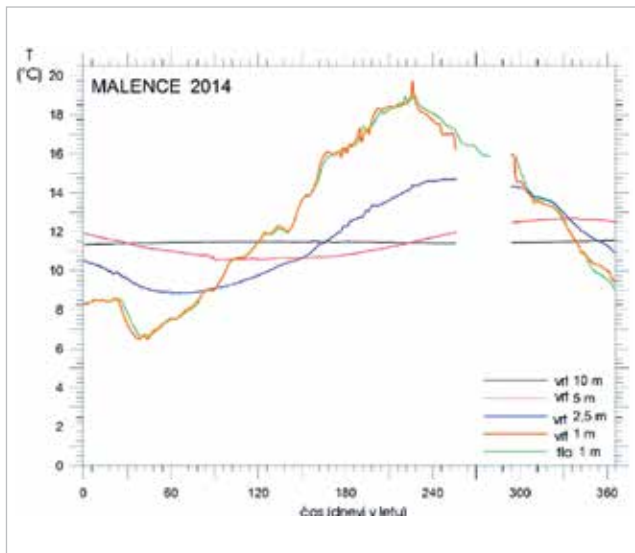
Zanimivi so tudi podatki o sezonskih spremembah temperature v tleh v območju permafrosta. V izlivu reke Lene v arktični ocean so naplavine in otoki iz teh naplavin. Ker reke v zgornjih delih toka odlagajo naplavine večjih dimenzij, najdrobnejše pa nosijo do svojih izlivov, je



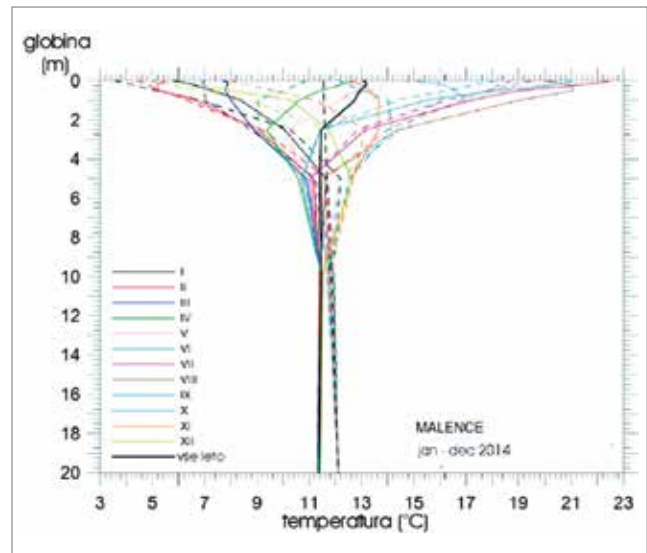
Slika 5: Po enačbi $T(t, z) = T - \Delta T_0 e^{-z/d} \cos(2\pi t/\tau - z/d)$ izračunani poteki temperature (na horizontalni osi od $-\Delta T$ do $+\Delta T$) v odvisnosti od brezdimenzijske globine z/d .

⁴ Ta metoda je neodvisna od merskega sistema: lahko je sistem SI, lahko britanski, ameriški ... Z njo ugotovimo, katere spremenljivke so za obravnavo pomembne in katere ne ter s kakšnimi kombinacijami spremenljivk se nam splača meriti neodvisne spremenljivke – v našem primeru čas in globino v tleh. Več o metodi npr. na https://sl.wikipedia.org/wiki/Razsežnostna_analiza.

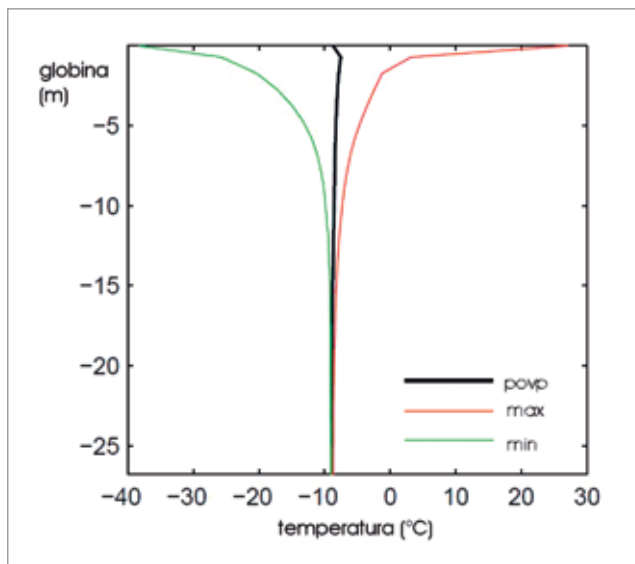
a)



b)



Slika 6: a) Letne spremembe temperature v tleh v vrtni 8/86 v Malencah pri Kostanjevici na Krki in b) primerjava med izmerjenimi ter izračunanimi vrednostmi, povzeto iz [9]



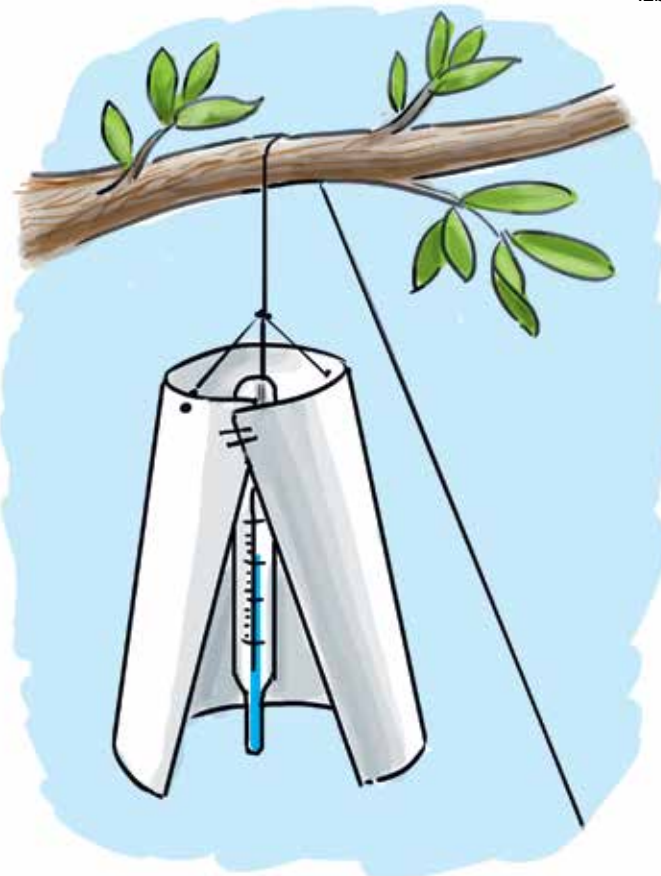
Slika 7: Poteki temperature v tleh na področju permafrosta na otoku Samojlov v ustju reke Lene med letoma 2006 in 2011, povzeto iz [10]

za take lokacije kar smiselna predpostavka, da so tam tla precej homogena (droben pesek in mulj), do precejšnje globine pa tudi dokaj »vlažna«, saj je med zrnici teh naplavin ves čas led. Slika 7 kaže temperaturne spremembe na otoku Samojlov v tej delti Lene in tam so izmerili povprečne amplitude temperature okrog ± 1 °C celo 15 m globoko [10].

Pokazali smo torej, da se iz izmerjenih podatkov o spreminjanju temperature v tleh lahko opredeli marsikatera lastnost tal. V lahkih in suhih tleh zanesljivo merljive spremembe temperature segajo manj kot deset metrov globoko, v globokih in težkih ter mokrih tleh pa lahko globlje – tudi deset, 15 ali celo več metrov globoko.

Merjenje zmanjšanja amplitude in časovnega zaostanka v zraku nad tlemi

Zmanjšanje amplitude dnevnega spreminjanja temperature in zaostanek v času lahko opazujemo tudi v zraku nad tlemi, saj se tudi zrak čez dan ogreva od tal (ponoči pa ob tleh ohlaja). Iz izkušenj vemo, da so tla najbolj vroča okrog poldneva, zrak nad tlemi pa okrog dveh popoldne. Zrak je namreč za sončno svetlobo prozoren, zato čez dan sonce ogreva le tla, od njihove površine pa se toplota prenaša navzgor s prevajanjem, z mešanjem zraka in z infrardečim sevanjem: tok toplote gre čez dan navzgor, ponoči pa navzdol – torej proč od površine in proti njej, kot v tleh – a seveda v nasprotni smeri.

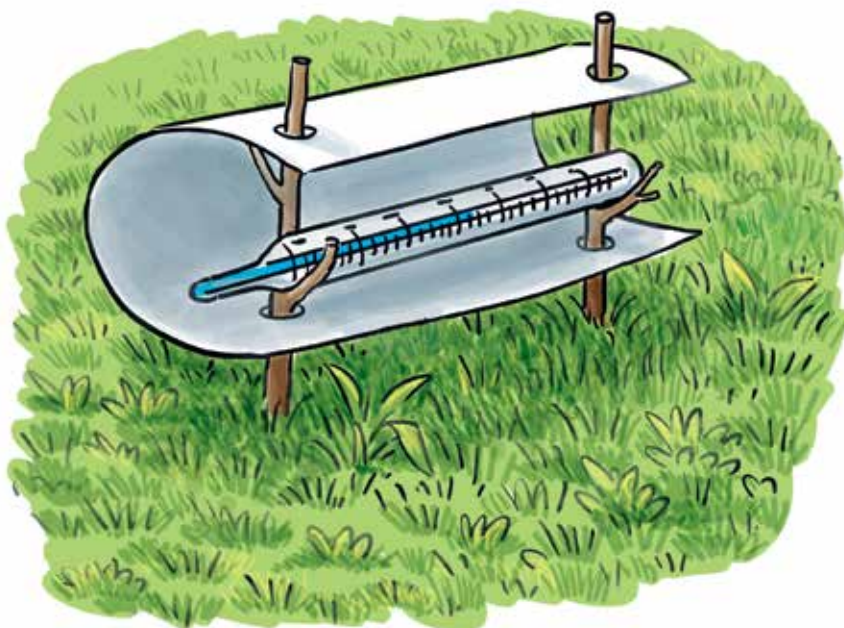


Izberemo lego, na katero ves dan sije sonce. En termometer postavimo malo nad tla, drugega pa z vrvico obesimo preko rogovile na palici zapičene v tla ali pa kake veje (ki pa ne sme metali sence na tla!). Tako lahko izmerimo, kakšna je najvišja temperatura malo nad tlemi in kdaj se pojavi pa tudi koliko se največ segreje zrak višje in kdaj se to zgodi. To je najboljše meriti ob sončnem vremenu, a je treba poskrbeti, da sta oba termometra »v senci«, saj s termometrom »na soncu« temperature zraka sploh ne moremo izmeriti. Termometer namreč ni prozoren kot zrak, ampak bi ga segrevala tudi prejeta sončna energija in bi se segrel nad temperaturo zraka. Preprosto zaščito pred soncem lahko naredimo kar iz belega papirja ali pa (če želimo meriti dalj časa, ko se lahko zgodi tudi kak dež) iz belih platnic kake plastične mape. Torej: dva lista belega papirja ali polietilena, spenjalnik za papir in vrvica za zgornji termometer ter luknjalnik za papir in dve vejici iz bližnjega grma za zaščito spodnjega termometra. Nekateri termometri imajo na vrhu stekleno okrogolino in okrog njenega vratu lahko zavežemo vrvico. Če je naš termometer nima, pa morda uporabimo kak odporen lepilni trak ...

Najnižje so temperature okrog sončnega vzhoda, torej je za minimume treba meriti zgodaj zjutraj. Ker je blizu tal najvišja temperatura malo čez poldne, je smiselno s spodnjega termometra odčitavati vrednosti npr. na deset minut od 12.00 do 13.00 po sončnem času. Višje maksimum zaostaja, lahko tudi za dve uri – torej bi bilo smiselno meriti na deset minut med 13.30 in 14.30 – malo pa je eno in drugo odvisno tudi od vremena.

Če je napovedanih več zaporednih sončnih dni, lahko merimo večkrat in potem rezultate tudi povprečimo in s tem povečamo zanesljivost ugotovitev.

Še to: meteorološke službe po vsem svetu merijo temperaturo zraka 2 m nad tlemi pa tudi na višini 5 cm nad tlemi. Morda lahko vrvico z zgornjim termometrom speljete prek kake veje in potem povlečete termometer do te višine ter konec vrvice nekam privežete. Ko preverjate temperaturo, termometer spustite, na hitro odčitajte temperaturo in ga povlecite nazaj na dvometrsko višino. Potrudite se postaviti bučko spodnjega termometra 5 cm nad tla, ščitnik pa naj ne sega prav do tal, da bo pod njim omogočen neoviran preprih.



Viri in literatura

- [1] Earth data <https://earthdata.nasa.gov/learn/sensing-our-planet/riding-the-permafrost-express> (31. 3. 2022).
- [2] https://www.youtube.com/watch?v=_8oX2H6-Wfs (31. 3. 2022).
- [3] https://www.youtube.com/watch?v=b_SKUWiMsaM (31. 3. 2022).
- [4] Arhiv meritev ARSO <http://www.meteo.si/met/sl/agromet/period/soiltemp/> (31. 3. 2022).
- [5] T. E. Ochsner, R. Horton, Tusheng Ren, 2001: Simultaneous Water Content, Air-Filled Porosity, and Bulk Density Measurements with Thermo-Time Domain Reflectometry, Journal Paper No. J-18890 of the Iowa Agriculture and Home Economics Exp. Stn., Ames, IA, Project No. 3287. <https://eurekamag.com/research/003/935/003935021.php> (31. 3. 2022).
- [6] Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_diffusivity (31. 3. 2022).
- [7] Z. Vičar: Temperatura tal – enačba letnega hoda na različnih globinah. Spletni kalkulator na http://www2.arnes.si/~gljsentvid10/temperatura_tal_dif_enacba_tjs.html (31. 3. 2022).
- [8] Soilphysics: <http://soilphysics.okstate.edu/software/SoilTemperature/document.pdf> (31. 3. 2022).
- [9] A. Strgar, D. Rajver in A. Gosar. (2017). Investigations of the air – ground temperature coupling at location of the Malence borehole near Kostanjevica, SE Slovenia. Geologija 60/1, 129–143, <https://doi.org/10.5474/geologija.2017.010> (31. 3. 2022).
- [10] J. Boike idr. (20 avtorjev) (2013). Baseline characteristics of climate, permafrost and land cover from a new permafrost observatory in the Lena River Delta, Siberia (1998–2011). Biogeosciences, 10, 2105–2128, <https://bg.copernicus.org/articles/10/2105/2013/bg-10-2105-2013.pdf> (31. 3. 2022).

Iz digitalne bralnice ZRSŠ

www.zrss.si/digitalna-bralnica/

V digitalni bralnici lahko prelistate najrazličnejše strokovne publikacije: monografije in priročnike, ter druge publikacije, ki so izšle na Zavodu RS za šolstvo in so vam BREZPLAČNO dosegljive tudi v PDF obliki.

