



HIDROGEOKEMIJA i ZAŠTITA PODZEMNIH VODA

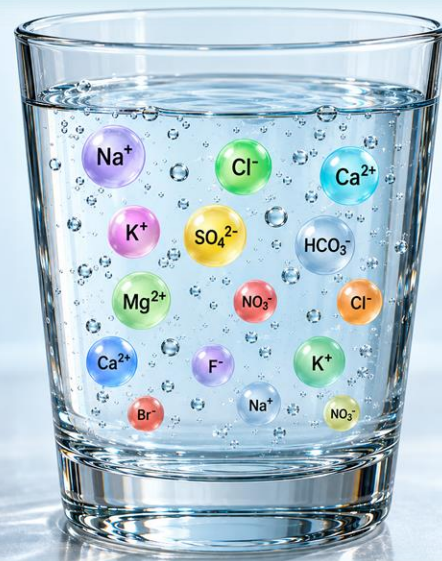
Prof. dr. sc. Sanja Kapelj

Dr. sc. Željka Fiket
zeljka.fiket@irb.hr

HIDROGEOKEMIJA i ZAŠTITA PODZEMNIH VODA



HIDROGEOKEMIJA i ZAŠTITA PODZEMNIH VODA



HIDROGEOKEMIJA i ZAŠTITA PODZEMNIH VODA





HIDROGEOKEMIJA i ZAŠTITA PODZEMNIH VODA

NASTAVA U ZIMSKOM I LJETNOM SEMESTRU	
ISPITNI ROKOVI / KOLOKVIJI	
NENASTAVNI DANI	DRŽAVNI PRAZNICI I BLAGDANI
DAN I NOĆ NA PMF-U 9. TRAVNJA 2027.	
DAN FAKULTETA 8. LIPNJA 2027.	

rujan 2020.							
	P	U	S	Č	P	S	N
L	28	29	30				

	P	U	S	C	P	S	N
I.				1	2	3	4
II.	5	6	7	8	9	10	11
III.	12	13	14	15	16	17	18
IV.	19	20	21	22	23	24	25
V.	26	27	28	29	30	31	

studeni 2026.							
	P	U	S	C	P	S	N
V.							
VI.	2	3	4	5	6	7	8
VII.	9	10	11	12	13	14	15
VIII.	16	17	18	19	20	21	22
IX.	23	24	25	26	27	28	29
X.	30	31					

prosinae 2026.							
	P	U	S	C	P	S	N
X.		1	2	3	4	5	6
XI.	7	8	9	10	11	12	13
XII.	14	15	16	17	18	19	20
XIII.	21	22	23	24	25	26	27
	28	29	30	31			

siječanj 2027.							
	P	U	S	Č	P	S	N
XIII.	4	5	6	7	8	9	10
XIV.	11	12	13	14	15	16	17
XV.	18	19	20	21	22	23	24
XVI.	25	26	27	28	29	30	

veljača 2027.							
	P	U	S	Č	P	S	N
1.	1	2	3	4	5	6	7
2.	8	9	10	11	12	13	14
3.	15	16	17	18	19	20	21
4.	22	23	24	25	26	27	28

	P	U	S	C	P	S	N
I.	1	2	3	4	5	6	7
II.	8	9	10	11	12	13	14
III.	15	16	17	18	19	20	21
IV.	22	23	24	25	26	27	28
V.	29	30	31				

	P	U	S	C	P	S	N
V				1	2	3	4
VI	5	6	7	8	9	10	11
VII	12	13	14	15	16	17	18
VIII	19	20	21	22	23	24	25
IX	26	27	28	29	30		

svibanj 2027.							
	P	U	S	C	P	S	M
IX.						1	2
X.	3	4	5	6	7	8	9
XI.	10	11	12	13	14	15	16
XII.	17	18	19	20	21	22	23
XIII.	24	25	26	27	28	29	30
XIV.	31						

	P	U	S	C	P	S	N
XIV.		1	2	3	4	5	6
XV.	7	8	9	10	11	12	13
XVI.	14	15	16	17	18	19	20
1	21	22	23	24	25	26	27
2	28	29	30				

srpanj 2027.							
	P	U	S	C	P	S	N
				1	2	3	4
3.	5	6	7	8	9	10	11
4.	12	13	14	15	16	17	18
	19	20	21	22	23	24	25
	26	27	28	29	30	31	

kolovoz 2027							
	P	U	S	C	P	S	M
	2	3	4	5	6	7	8
	9	10	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	21	22
1	23	24	25	26	27	28	29
2	30	31					

bulan 2027.							
	P	U	S	C	P	S	N
3	6	7	8	9	10	11	12
4	13	14	15	16	17	18	19
	20	21	22	23	24	25	26
	27	28	29	30			

Vrsta nastave	Ukupno
Predavanja	30
Vježbe u praktikumu	15

Kolokvij I – 23.11.2026.
Kolokvij II – 25.01.2027.

HIDROGEOKEMIJA

1. Put vode od oborine do vodonosnika
2. Trošenje silikata
3. Karbonatna ravnoteža i krš
4. Izotopi vode
5. Izotopi ugljika i vrijeme zadržavanja
6. Redoks procesi
7. Sorpcija, koloidi i mobilnost tvari

ZAŠTITA PODZEMNIH VODA

8. Ranjivost, opasnost i rizik od onečišćenja podzemnih voda
9. Procjena prirodne ranjivosti krških vodonosnika: pristupi i metode
10. Specifična ranjivost i ponašanje onečišćivala
11. Procjena opasnosti od onečišćenja i izrada karte opasnosti
12. Procjena rizika od onečišćenja podzemnih voda i mjere zaštite

HIDROGEOKEMIJA

1. Put vode od oborine do vodonosnika
2. Trošenje silikata
3. Karbonatna ravnoteža i krš
4. Izotopi vode
5. Izotopi ugljika i vrijeme zadržavanja
6. Redoks procesi
7. Sorpcija, koloidi i mobilnost tvari

Ishodi prvog dijela kolegija:

1. Objasniti kako voda tijekom prolaska kroz atmosferu, tlo i stijene mijenja svoj kemijski sastav.
2. Povezati trošenje silikata i otapanje karbonata s glavnim ionima u podzemnoj vodi.
3. Primijeniti osnovne kemijske odnose i ravnoteže pri tumačenju sastava prirodnih voda.
4. Koristiti stabilne izotope vode za razmatranje podrijetla i miješanja podzemnih voda.
5. Tumačiti izotopne pokazatelje ugljika i vodika pri procjeni vremena zadržavanja vode.
6. Prepoznati moguće redoks procese iz kemijskih pokazatelja podzemne vode.
7. Objasniti kako sorpcija i koloidi utječu na mobilnost tvari u podzemlju.
8. Povezati različite kemijske i izotopne podatke u svrhu određivanja podrijetla i razvoja podzemne vode.



HIDROGEOKEMIJA

Put vode od oborine do vodonosnika

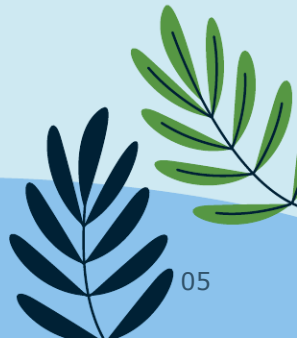
- 01 Hidrogeokemija
- 02 Svojstva vode
- 03 Hidrološki ciklus – I. dio

01 Što proučava hidrogeokemija?

Hidrogeokemija proučava kemijski sastav prirodnih voda i kako se on mijenja dok voda prolazi kroz geološki okoliš.

Pritom istražuje međudjelovanje vode s mineralima i stijenama, uz utjecaj biogeokemijskih procesa.

Na temelju sastava vode možemo zaključivati o njezinu podrijetlu, putu kroz podzemlje i mogućim izvorima onečišćenja.

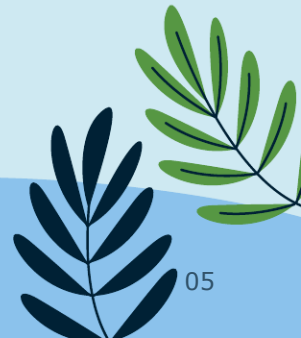


01 Primjena hidrogeokemije

U zaštiti voda koristi se za istraživanje porijekla onečišćenja voda i mogućnosti njihovog pročišćavanja;

U hidrogeologiji nezamjenjive su spoznaje o hidrogeokemijskom facijesu za određivanje porijekla podzemnih voda i geneze njihovog kemijskog sastava;

U tehničkom znanstvenom području istražuje se djelovanje voda na geotehničke i hidrotehničke objekte pri čemu je najvažniji kemijski sastav voda, a ispituje se i kemijsko djelovanje voda na stabilnost tla, sedimenta i stijena pri čemu je najvažnije poznavati kemijski sastav voda i porijeklo voda.



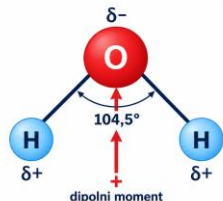
02 Svojstva vode

Svojstvo	Zašto se javlja?	Što to znači u prirodi?
Polarnost	Kisik jače privlači elektrone od vodika, pa molekula ima djelomično negativnu i djelomično pozitivnu stranu.	Voda može okružiti mnoge ione i polarne tvari. Zato tijekom prolaska kroz tlo i stijene prima otopljene sastojke i mijenja kemijski sastav.
Kohezija i površinska napetost	Polarne molekule vode privlače se i povezuju vodikovim vezama.	Voda se drži na okupu, stvara kapljice i zadržava se u sitnim porama tla i stijena.
Isparavanje i kondenzacija	Molekule mogu prijeći iz tekućine u paru i natrag; temperatura pritom snažno utječe na količinu vodene pare.	Sunčeva energija pokreće isparavanje, nastanak oblaka i oborinu – hidrološki ciklus .
Manja gustoća leda	Pri smrzavanju vodikove veze raspoređuju molekule u otvoreniju strukturu.	Led pluta. Voda se pri smrzavanju širi; u pukotinama može pridonijeti raspadanju stijena.
Kiselost vode i otopljeni plinovi	Voda može primati plinove, primjerice CO ₂ , i sudjelovati u kemijskim ravnotežama.	Oborina već sadrži otopljene tvari, a CO ₂ utječe na njezinu kiselost i kasnije na reakcije vode sa stijenama.

02 Svojstva vode

Svojstvo	Zašto se javlja?	Što to znači u prirodi?
Polarnost	Kisik jače privlači elektrone od vodika, pa molekula ima djelomično negativnu i djelomično pozitivnu stranu.	Voda može okružiti mnoge ione i polarne tvari. Zato tijekom prolaska kroz tlo i stijene prima otopljene sastojke i mijenja kemijski sastav.

Polarna molekula vode (H₂O)



Kisik jače privlači elektrone od vodika.

Zbog takve raspodjele naboja i kutnog oblika, molekula vode ima dipolni moment.

Polarnost je važna jer određuje **s čim voda može stupiti u interakciju.**

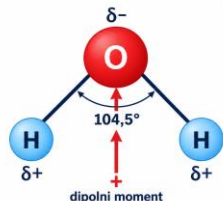
Voda otapa i prenosi tvari. Može okružiti mnoge ione, primjerice Ca²⁺, Na⁺ i Cl⁻. Zato voda na putu kroz tlo i stijene dobiva svoj kemijski sastav, ali može prenositi i onečišćivala.

Voda sudjeluje u kemijskim reakcijama. Nije samo „prijevozno sredstvo”: dok prolazi kroz podzemlje, reagira s mineralima i otopljenim tvarima te može potaknuti otapanje ili nastanak novih minerala.

02 Svojstva vode

Svojstvo	Zašto se javlja?	Što to znači u prirodi?
Polarnost	Kisik jače privlači elektrone od vodika, pa molekula ima djelomično negativnu i djelomično pozitivnu stranu.	Voda može okružiti mnoge ione i polarne tvari. Zato tijekom prolaska kroz tlo i stijene prima otopljene sastojke i mijenja kemijski sastav.

Polarna molekula vode (H₂O)

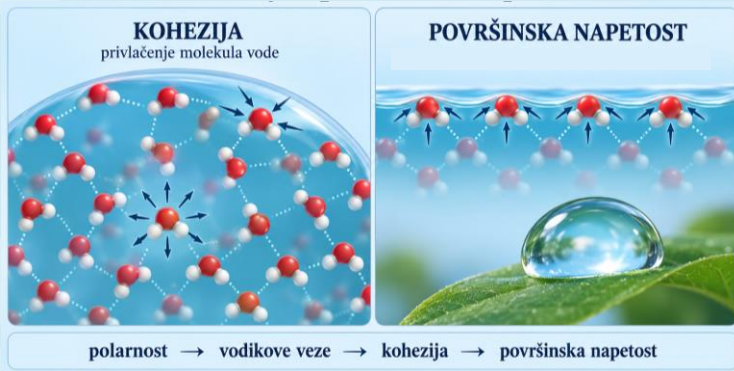


Kisik jače privlači elektrone od vodika.

💡 **Zlatno pravilo kemije – "slično se otapa u sličnome"** (*similia similibus solvuntur*). Budući da je voda izrazito polarno otapalo, ona će otapati sve što je polarno ili građeno od iona. S druge strane, **nepolarne tvari** (poput ulja, masti i voskova) u vodi se ne mogu otopiti jer njihove molekule nemaju naboj koji bi privukao molekule vode.

02 Svojstva vode

Svojstvo	Zašto se javlja?	Što to znači u prirodi?
Kohezija i površinska napetost	Polarne molekule vode privlače se i povezuju vodikovim vezama.	Voda se drži na okupu, stvara kapljice i zadržava se u sitnim porama tla i stijena.



Pozitivni dio jedne molekule vode privlači negativni dio druge te nastaju **vodikove veze**.

Vodikove veze nisu trajne, neprestano nastaju i prekidaju se, ali ih u vodi istodobno postoji mnogo.

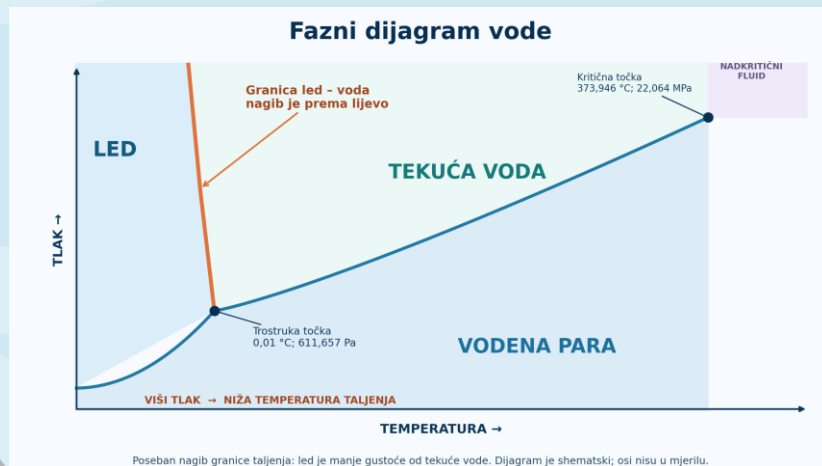
Molekule vode povezuju se u molekulske grupe, a one u klastere (skupine ili grupe). Klasteri se stalno raspadaju i stvaraju. Broj molekula u klasterima ovisi o temperaturi - pri nižim temperaturama broj klastera je veći.

Zbog toga voda ima izraženu **koheziju i površinsku napetost**.

U prirodi to vidimo u nastajanju kapljica i ponašanju vode u sitnim porama tla i stijena.

02 Svojstva vode

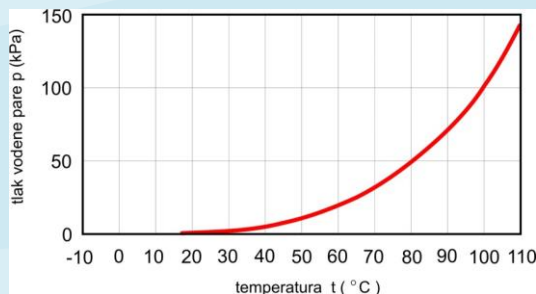
Svojstvo	Zašto se javlja?	Što to znači u prirodi?
Isparavanje i kondenzacija	Molekule mogu prijeći iz tekućine u paru i natrag; temperatura pritom snažno utječe na količinu vodene pare.	Sunčeva energija pokreće isparavanje, nastanak oblaka i oborinu – hidrološki ciklus .



Pri višim tlakovima led se tali ispod 0°C, a svako povećanje tlaka za oko 100 kPa snižuje talište leda za oko 0,01 K.

02 Svojstva vode

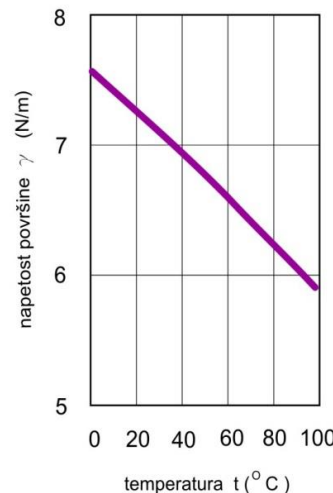
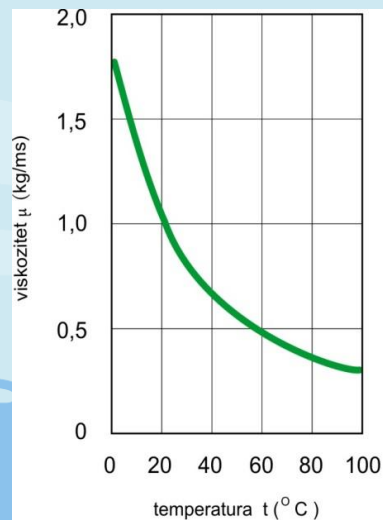
Svojstvo	Zašto se javlja?	Što to znači u prirodi?
Isparavanje i kondenzacija	Molekule mogu prijeći iz tekućine u paru i natrag; temperatura pritom snažno utječe na količinu vodene pare.	Sunčeva energija pokreće isparavanje, nastanak oblaka i oborinu — hidrološki ciklus.



Tlak vodene pare naglo raste s porastom temperaturom.

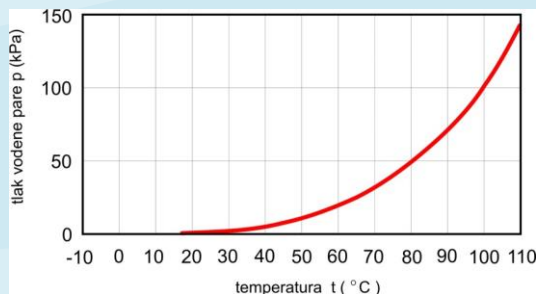
Viskoznost vode se s porastom temperature smanjuje. (Zašto?)

Površinska napetost u dodiru sa zrakom se također s porastom temperature smanjuje. (Zašto?)



02 Svojstva vode

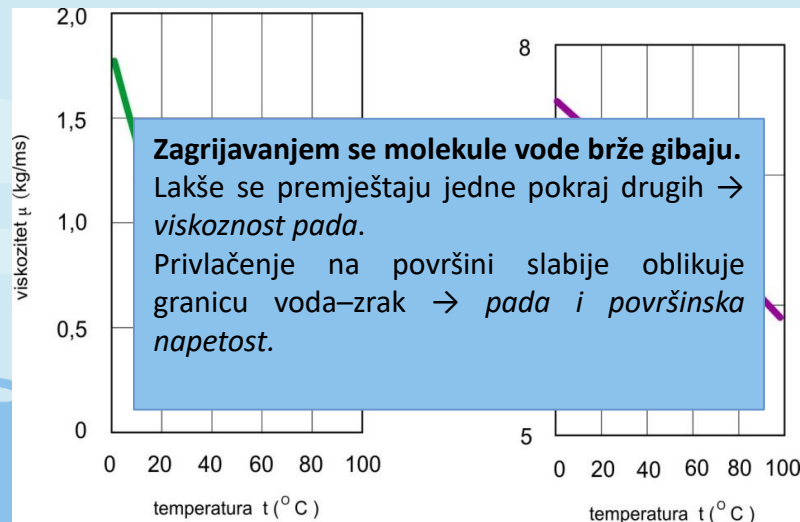
Svojstvo	Zašto se javlja?	Što to znači u prirodi?
Isparavanje i kondenzacija	Molekule mogu prijeći iz tekućine u paru i natrag; temperatura pritom snažno utječe na količinu vodene pare.	Sunčeva energija pokreće isparavanje, nastanak oblaka i oborinu — hidrološki ciklus.



Tlak vodene pare naglo raste s porastom temperaturom.

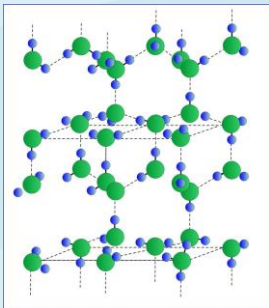
Viskoznost vode se s porastom temperature smanjuje. (Zašto?)

Površinska napetost u dodiru sa zrakom se također s porastom temperature smanjuje. (Zašto?)



02 Svojstva vode

Svojstvo	Zašto se javlja?	Što to znači u prirodi?
Manja gustoća leda	Pri smrzavanju vodikove veze raspoređuju molekule u otvoreniju strukturu.	Led pluta. Voda se pri smrzavanju širi; u pukotinama može pridonijeti raspadanju stijena.



U strukturi leda svaka molekula okružena je s četiri susjedne strukturne čestice (molekule) što strukturu čini vrlo šupljikavu i male gustoće.

Zaleđivanjem voda povećava volumen za oko 10 % u odnosu na tekuće stanje.

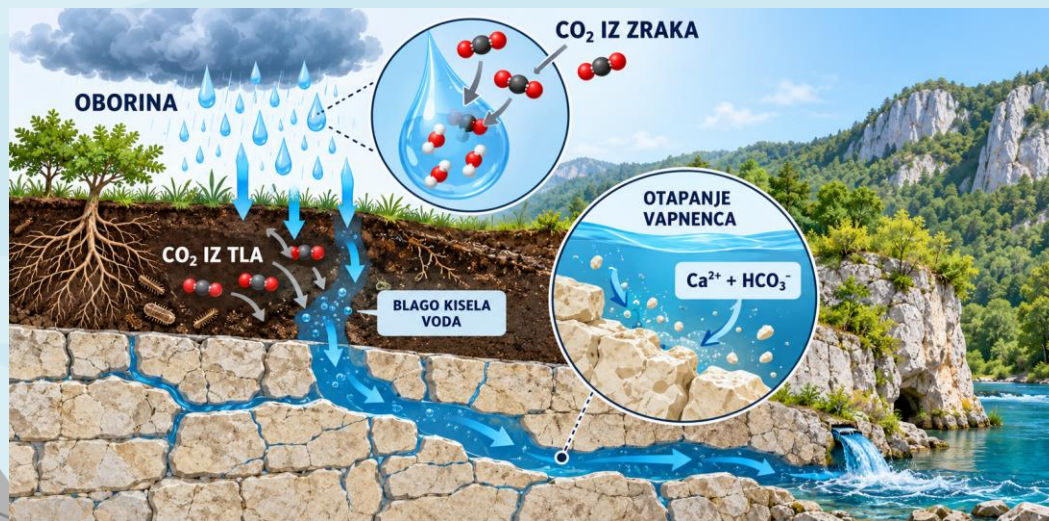
→ To uzrokuje naprezanja u pukotinama i šupljinama stijena, sedimenata i tla.

Vrlo često u porama tla voda je pod tlakom pa i pri 0°C ostaje u tekućem stanju, a samo se manji dio smrzava.

Oko nastalih kristala leda u preostaloj tekućoj vodi nastanu vlačne sile koje uvlače nove količine tekuće vode pa na nekim mjestima dolazi do nagomilavanja leda često u obliku leća. → Tlakovi koji pritom nastaju često prelaze čvrstoću materijala, što dovodi do pucanja i drobljenja tla i/ili stijenske mase.

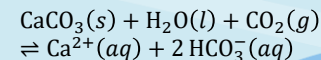
02 Svojstva vode

Svojstvo	Zašto se javlja?	Što to znači u prirodi?
Kiselost vode i otopljeni plinovi	Voda može primiti plinove, primjerice CO ₂ , i sudjelovati u kemijskim ravnotežama.	Oborina već sadrži otopljene tvari, a CO ₂ utječe na njezinu kiselost i kasnije na reakcije vode sa stijenama.

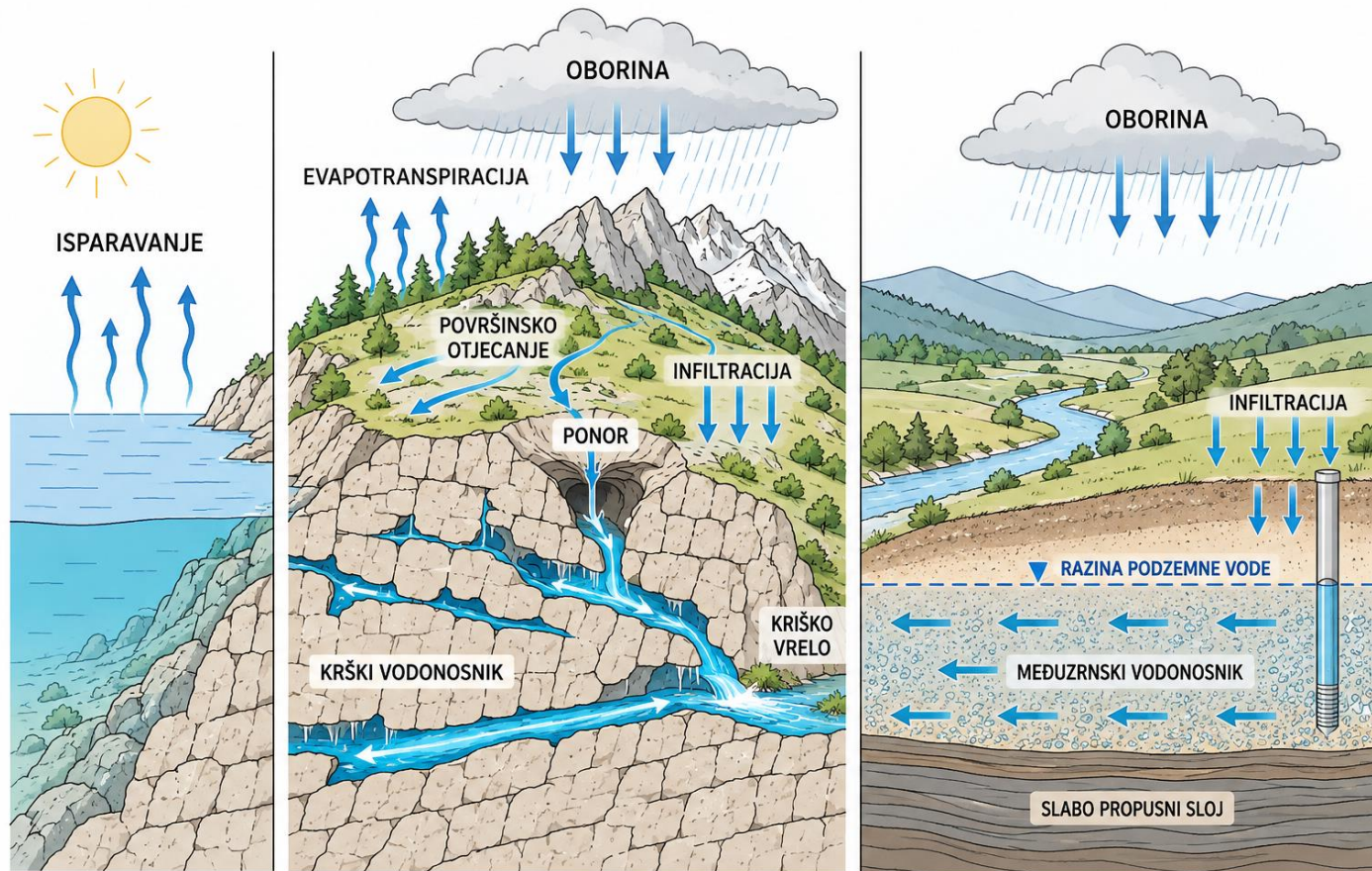


Kad se procjeđuje kroz tlo, voda može primiti još CO₂ koji nastaje disanjem korijenja i razgradnjom organske tvari.

Zbog otopljenog CO₂ voda je **blago kisela**, pa pri prolasku kroz vapnenac može ga otapati i primiti kalcij i hidrogenkarbonat.



03 HIDROLOŠKI CIKLUS



03 HIDROLOŠKI CIKLUS

BILANCA VODA NA ZEMLJI

MORA I OCEANI	97 %
LEDENI POKROVI	2 %
PODZEMNE VODE	0,65 %
JEZERA I RIJEKE	0,15 %
ATMOSFERA	0,001 %

03 HIDROLOŠKI CIKLUS – oborine



1. Što sve sadrži oborinska voda?

- **Otopljeni plinovi:** N_2 , O_2 , Ar , CO_2 i drugi.
- **Ioni mnogih soli:** Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , itd.
- **Krute čestice prašine:**
 - *anorganskog* sastava
 - *organskog* sastava
 - *biološkog* sastava (spore, bakterije, virusi, pelud itd.)

2. O čemu ovisi sastav oborina?

Sastav izravno ovisi o **mjestu i načinu formiranja oborina:**

- **Udaljenost od mora i oceana:**
 - Iznad mora prevladavaju ioni Na^+ i Cl^- , pa je mineralizacija viša. Udaljavanjem od obale smanjuje se udio soli i opada ukupna mineralizacija.
- **Vulkanska aktivnost:**
 - Unosi vulkanski pepeo i plinove (SO_2 , NO_x , H_2S , CH_4 , itd.).
- **Ljudski utjecaj (onečišćenje zraka):**
 - Npr. izgaranjem fosilnih goriva povećava se koncentracija dušičnih, sumpornih i ugljičnih plinova, što dovodi do pojave **kiselih kiša**.

03 HIDROLOŠKI CIKLUS – oborine



Tvar u oborini	Morski doprinos	Prirodni kopneni doprinos	Ljudske aktivnosti
Na^+, Cl^-	morski aerosol	mineralna prašina; manji doprinos kopnenih soli	industrijske emisije; za Cl^- i izgaranje/industrijski izvori
$\text{Mg}^{2+}, \text{Ca}^{2+}$	morski aerosol	prašina tla i stijena	cementna industrija, građevinska prašina
K^+	morski aerosol	prašina tla, biogeni aerosol	gorenje biomase, poljoprivredna prašina
H^+ (kiselost)	—	prirodni izvori kiselih plinova i atmosferske reakcije	SO_2 i $\text{NO}_x \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ i HNO_3
SO_4^{2-}	morski aerosol; oksidacija biogenog DMS-a	vulkanski plinovi, mineralna prašina	izgaranje fosilnih goriva, industrija, gorenje biomase
NO_3^-	—	atmosferska oksidacija prirodnog NO_x , uključujući munje	promet, izgaranje fosilnih goriva i biomase
NH_4^+	biološki procesi nad morem	emisije NH_3 iz tla i razgradnje organske tvari	stočarstvo, mineralna i organska gnojiva, otpad
PO_4^{3-}	morski i biogeni aerosol vezan uz čestice	prašina tla i biološke čestice	poljoprivredna prašina, gnojiva, gorenje biomase
HCO_3^-	—	CO_2 –karbonatna ravnoteža; karbonatna prašina	uglavnom neizravan doprinos
$\text{Si}, \text{Al}, \text{Fe}$	vrlo mali/mogući doprinos morskog aerosola	mineralna prašina – glavni izvor	građevinska, industrijska i rudarska prašina

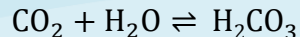
03 HIDROLOŠKI CIKLUS – oborine

pH vrijednost kiše ovisi o tlaku ugljikovog dioksida (CO_2) u atmosferi jer se taj plin otapa u kapljicama vode i s njima kemijski reagira stvarajući kiselinu.

Kada se atmosferski CO_2 otopi u kišnici, dolazi do kemijske reakcije koja se odvija u nekoliko koraka:

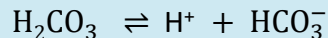
1. Otapanje plina: Ugljikov dioksid iz zraka otapa se u vodi (H_2O). Prema Henryjevom zakonu, količina otopljenog plina izravno je proporcionalna njegovom parcijalnom tlaku u atmosferi. Veći tlak znači više otopljenog CO_2 .

2. Nastanak kiseline: Otopljeni CO_2 reagira s vodom i stvara slabu **ugljičnu kiselinu**



03 HIDROLOŠKI CIKLUS – oborine

3. Otpuštanje vodikovih iona: Ugljična kiselina odmah djelomično disocira (raspada se) u vodi, pri čemu se oslobađaju vodikovi ioni (H^+) i bikarbonatni ioni (HCO_3^-):



4. Budući da je pH vrijednost zapravo mjera za koncentraciju vodikovih iona H^+ , povećanje njihova broja izravno **snižava pH vrijednost**, čineći kišu kiselijom.

Zbog prirodne razine CO_2 u atmosferi, čak i potpuno čista, neonečišćena kiša nije neutralna (pH 7), već je prirodno blago kisela s **pH vrijednošću od oko 5,6**. Ako se tlak (koncentracija) CO_2 u atmosferi poveća, u vodi će se otopiti više plina, stvorit će se više vodikovih iona, a pH vrijednost kiše dodatno će pasti.

03 HIDROLOŠKI CIKLUS – oborine

1. Matematički izračun: Kako dolazimo do pH ~5,6?

Izračun se temelji na kemijskoj ravnoteži između plinovitog CO₂ u zraku i otopljene kiseline u kapljici vode pri temperaturi od 25 °C.

Korak 1: Koncentracija otopljenog CO₂

Prema Henryjevom zakonu, koncentracija otopljenog plina CO₂ ovisi o njegovom parcijalnom tlaku u atmosferi pCO₂ i Henryjevoj konstanti (K_H):

- ✓ Ugljikov dioksid u atmosferi čini oko 0,042% zraka (oko 420 ppm), što daje parcijalni tlak od približno **4,2 x 10⁻⁴ atm**.
- ✓ Henryjeva konstanta za CO₂ na 25 °C iznosi **3,4 x 10⁻² M/atm**.

$$[\text{CO}_{2(aq)}] = K_H \times p\text{CO}_2 = 3,4 \times 10^{-2} \times 4,2 \times 10^{-4} = \mathbf{1,43 \times 10^{-5} \text{ M}}$$

03 HIDROLOŠKI CIKLUS – oborine

1. Matematički izračun: Kako dolazimo do pH ~5,6?

Izračun se temelji na kemijskoj ravnoteži između plinovitog CO_2 u zraku i otopljene kiseline u kapljici vode pri temperaturi od 25 °C.

Korak 2: Disocijacija i konstanta kislosti (K_a)

Kada se CO_2 otopi, stvara ugljičnu kiselinu koja otpušta vodikove ione H^+ i bikarbonatne ione HCO_3^- . Prva konstanta disocijacije (K_{a1}) za ovaj sustav iznosi **$4,3 \times 10^{-7}$** :

$$K_{a1} = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_{2(aq)}]} = 4,3 \times 10^{-7}$$

Budući da svakim raspadom molekule kiseline nastaje točno jedan ion H^+ i jedan ion HCO_3^- , njihove su koncentracije jednake ($[\text{H}^+] = [\text{HCO}_3^-]$). Jednadžbu možemo pojednostaviti:

$$K_{a1} = \frac{[\text{H}^+]^2}{[\text{CO}_{2(aq)}]}$$

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_{a1} \times [\text{CO}_{2(aq)}]}$$

03 HIDROLOŠKI CIKLUS – oborine

1. Matematički izračun: Kako dolazimo do pH ~5,6?

Izračun se temelji na kemijskoj ravnoteži između plinovitog CO_2 u zraku i otopljene kiseline u kapljici vode pri temperaturi od 25 °C.

Korak 3: Izračun pH vrijednosti

Uvrštavanjem dobivenih vrijednosti tražimo koncentraciju H^+ iona:

$$[\text{H}^+] = \sqrt{4,3 \times 10^{-7} \times 1,43 \times 10^{-5}} = 2,48 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$$

Sada izračunavamo negativni logaritam te koncentracije kako bismo dobili pH:

$$\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+] = -\log_{10} (2,48 \times 10^{-6}) \approx 5,60$$

03 HIDROLOŠKI CIKLUS – oborine

2. Kako dalje pada pH s kiselim kišama?

Iako povećanje CO_2 u atmosferi polako snižava pH kiše, taj je pad ograničen jer je ugljična kiselina slaba kiselina. Međutim, **prave "kisele kiše"** nastaju zbog ljudskog onečišćenja – izgaranjem fosilnih goriva u industriji i prometu oslobađaju se **sumporov dioksid (SO_2)** i **dušikovi oksidi (NO_x)**.

Ovi plinovi u atmosferi prolaze kroz potpuno drukčije reakcije i stvaraju **jake kiseline**:

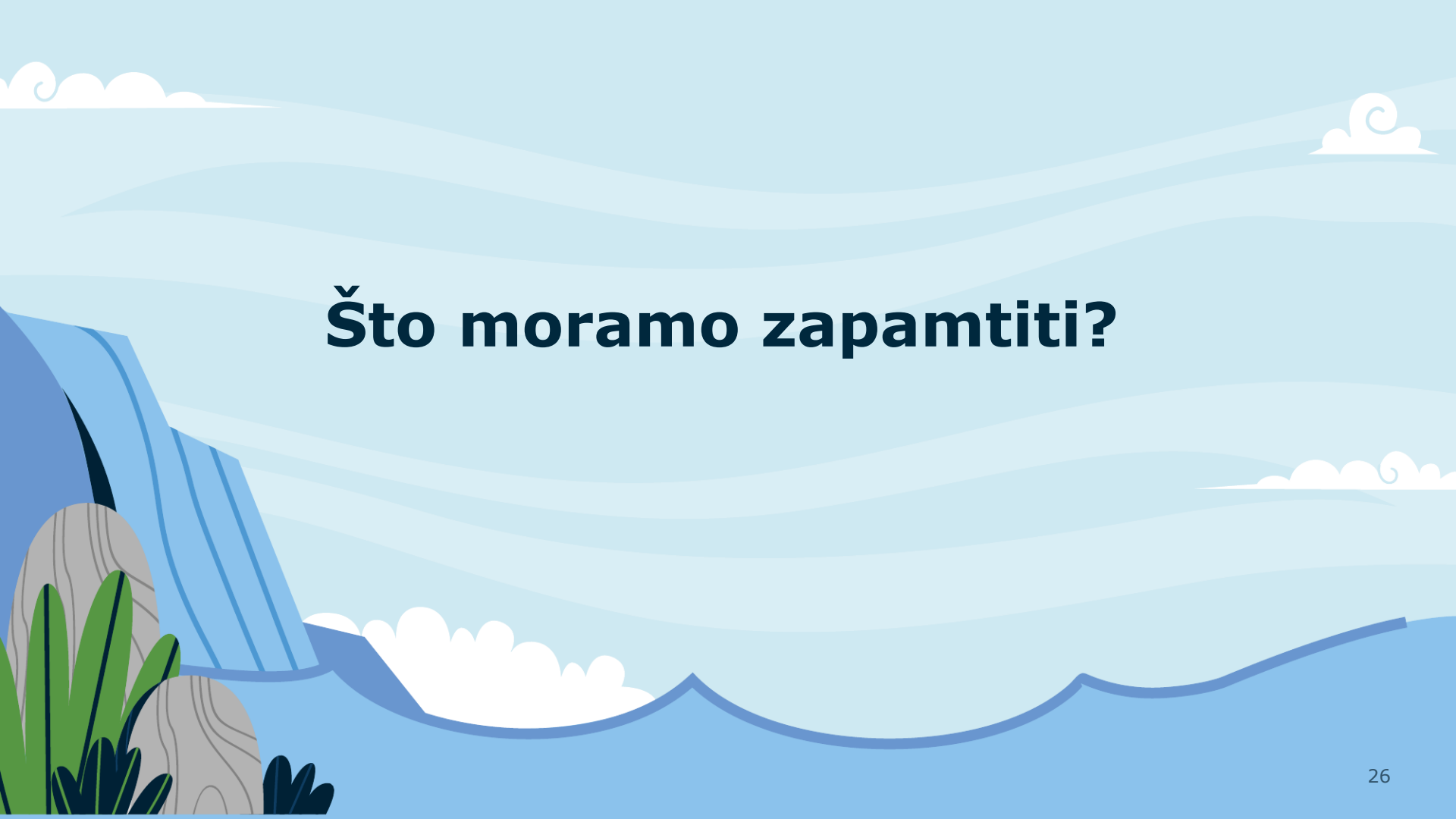
Plin onečišćivač	Reakcija u atmosferi	Nastala kiselina	Posljedica u oborini
Sumporov dioksid (SO_2)	Oksidira u atmosferi i reagira s vodom	Sumporna kiselina (H_2SO_4)	$\uparrow \text{H}^+$ i $\text{SO}_4^{2-} \rightarrow$ snižavanje pH
Dušikovi oksidi (NO_x)	Oksidiraju u atmosferi i reagiraju s vodom	Dušična kiselina (HNO_3)	$\uparrow \text{H}^+$ i $\text{NO}_3^- \rightarrow$ snižavanje pH

03 HIDROLOŠKI CIKLUS – oborine

2. Kako dalje pada pH s kiselim kišama?

Zašto pH kod kiselih kiša pada tako drastično (često na 4,0 ili čak 3,0)?

1. **Jaka vs. slaba kiselina:** Za razliku od ugljične kiseline koja u vodi otpusti jedva 1% svojih vodikovih iona, sumporna i dušična kiselina u vodi disociraju **gotovo 100%**.
2. **Logaritamska priroda pH skale:** pH skala nije linearna nego logaritamska. Svaki pad za 1 cijeli broj na pH skali znači da je kiselost porasla **10 puta**.
 1. Kiša s **pH 4,6** je **10 puta kiseli**ja od prirodne kiše (pH 5,6).
 2. Kiša s **pH 3,6** je **100 puta kiseli**ja od prirodne kiše.
 3. U ekstremno onečišćenim industrijskim područjima zabilježene su magle i kiše s **pH oko 3,0**, što je čak **400 puta kiseli**je od normalne čiste kiše.

The background is a stylized illustration. On the left, a waterfall flows over a grey rock formation with green plants. The bottom of the image shows blue waves. The sky is light blue with white, stylized clouds. The text is centered in the upper half of the image.

Što moramo zapamtiti?

Hidrogeokemija i svojstva vode

POLARNOST

KOHEZIJA I POVRŠINSKA NAPETOST

ISPARAVANJE I KONDENZACIJA

MANJA GUSTOĆA LEDA

KISELOST I OTOPLJENI PLINOVI

POSLJEDICA

Ova svojstva određuju kako se voda kreće, što otapa i prenosi te kako reagira s okolišem.

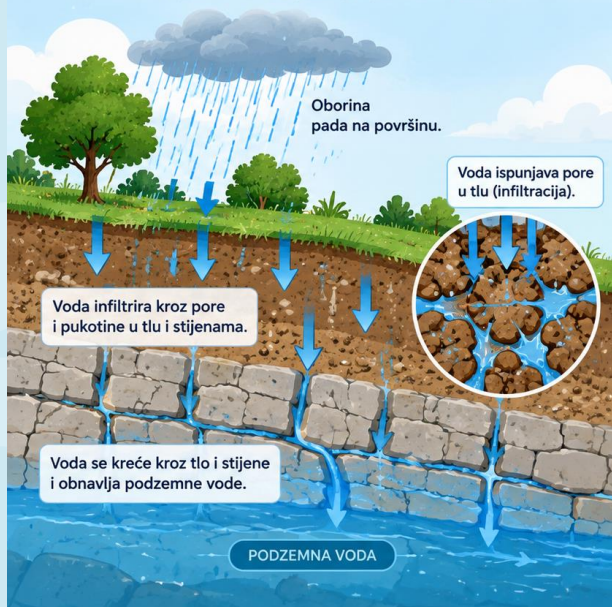
Hidrološki ciklus



Hoće li voda otjecati ili infiltrirati?

1. Voda se infiltrira u tlo

Propusno tlo, vegetacija, prirodno stanje



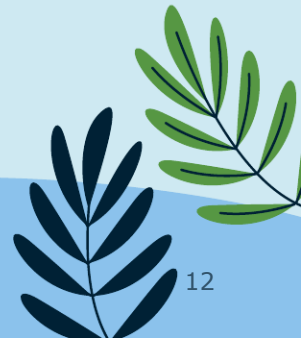
Odlučuju svojstva tla i stijene, nagib te vegetacija.

2. Voda otječe po površini

Nepropusne površine, zbijeno tlo, mali nagib ili velika oborina



Važni su i intenzitet oborine te stanje tla prije kiše.



Oborina već ima kemijski sastav

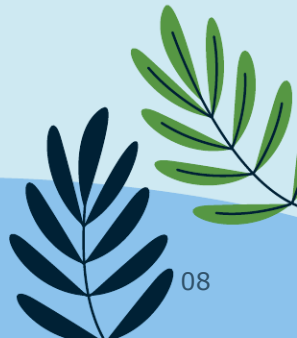
Plinovi: CO₂, O₂, itd.

Čestice i aerosol: morska sol, mineralna prašina, biološki materijal.

Emisije i atmosferske reakcije mogu povećati sadržaj sulfata, nitrata, metala i sl.

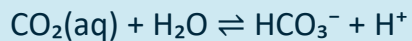
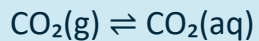
Kemijski sastav oborine početna je točka hidrogeokemijskog puta vode.

Voda zatim prolazi kroz tlo i stijene, gdje joj se sastav dalje mijenja.



Zašto pH oborine nije 7?

RAVNOTEŽA



POS LJEDICA

CO_2 doprinosi blago kiseloj reakciji modelne oborine. Sama vrijednost pH ne otkriva sve izvore otopljenih tvari.

The background is a stylized illustration. On the left, a waterfall flows over a grey rock formation with green plants. The bottom of the image shows blue waves. The sky is light blue with white, stylized clouds. The title 'VJEŽBE' is centered in the upper half.

VJEŽBE

Vježba 1: Slučaj Vrilo

OBORINA

pH 5,6
EC 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$
 Ca^{2+} 1 mg/L

Voda tek ulazi u sliv.

IZVOR VRILO

pH 7,3
EC 460 $\mu\text{S}/\text{cm}$
 Ca^{2+} 68,4 mg/L

Što se dogodilo na putu?

*EC = električna vodljivost vode (electrical conductivity); sposobnost vode da provodi električnu struju, koja ovisi o koncentraciji i vrsti otopljenih iona te temperaturi. Zato se EC često koristi kao brzi pokazatelj mineralizacije vode.

Vježba 1: Slučaj Vrilo

OBORINA

pH 5,6
EC 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$
 Ca^{2+} 1 mg/L
 HCO_3^- 2 mg/L

IZVOR VRILO

pH 7,3
EC 460 $\mu\text{S}/\text{cm}$
 Ca^{2+} 68,4 mg/L
 HCO_3^- 236,8 mg/L

Koji procesi mogu objasniti razliku? Koji podatak nedostaje?

Vježba 1: Slučaj Vrilo

OBORINA

pH 5,6
EC 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$
 Ca^{2+} 1 mg/L
 HCO_3^- 2 mg/L

IZVOR VRILO

pH 7,3
EC 460 $\mu\text{S}/\text{cm}$
 Ca^{2+} 68,4 mg/L
 HCO_3^- 236,8 mg/L

Koji procesi mogu objasniti razliku? Koji podatak nedostaje?

ŠTO ZNAMO?

Sastav izvora razlikuje se od oborine.
Otapanje minerala u slivu uvjerljiva je hipoteza.

ŠTO NE ZNAMO?

Točan put vode, udio različitih dotoka, trajanje zadržavanja i važnost drugih izvora iona.

Vježba 2: Dvije kiše, dva puta



PODRUČJE A

Plitko tlo, vapnenac, pukotine i ponor. Nakon jakog pljuska voda brzo stiže u podzemlje.

PODRUČJE B

Dublje tlo, slabiji nagib i vegetacija. Voda se većinom procjeđuje difuzno.

Gdje očekujete brži odziv izvora? Gdje dulji kontakt s tlom?

