



Sustavi

Godina 2, broj 4
Travanj 2007.
ISSN 1846 5080

ZNANSTVENO-POPULARNI ČASOPIS ZA RAZUMIJEVANJE SUSTAVA

Cijena 18 kn

NATJECANJE
Opisujemo sustave

Tema broja

Voda



**Izdavač:**

Hrvatsko interdisciplinarno društvo,
www.idd.hr,
Šimunčevačka 38b,
10360 Sesvete

Kontakt:

ured@idd.hr,
www.idd.hr/forum

Priprema:

Kolumna d.o.o.

Tisak:

Stega tisak d.o.o.

Glavni i odgovorni urednik:

doc. dr. sc. Josip Stepanić

Urednica:

Mirna Grgec Pajić, prof.

Urednica za kulturu:

mr. sc. Nikica Viličić

Direktor:

Krešimir Čanić

Uredništvo:

dipl. inž. Petar Ćurković,
mr. sc. Predrag Đukić,
dipl. oec. Željko Grgić,
mr. sc. Mladen Iličković,
dr. sc. Josip Kasać,
dipl. inž. Zvonko Kostanjčar,
dipl. soc. Boško Kuzmanović,
mr. sc. Armano Srblijinović,
mr. sc. Tatjana Tkalčec

Savjet:

prof. dr. sc. Vjekoslav Afrić,
prof. dr. sc. Aleksa Bjeliš,
prof. dr. sc. Juraj Božičević,
doc. dr. sc. Tino Bucak,
prof. dr. sc. Igor Čatić,
prof. dr. sc. Vesna Dušak,
prof. dr. sc. Bojan Jerbić,
prof. dr. sc. Melita Kovačević,
doc. dr. sc. Mladen Kučinić,
prof. dr. sc. Mirjana Pejić Bach,
doc. dr. sc. Karin Šerman,
prof. dr. sc. Marko Tadić

Lektorica:

Valerija Karačić, prof.

Prevoditeljica:

mr. sc. Jasmina Božić

Grafičko oblikovanje:

Tomislav Alajbeg

Tehnički savjetnik:

Igor Cerin

ISSN: 1846-5080

Izlaze četiri broja godišnje.

Tema broja: Voda



- 10** **Tekućine kao sustavi**
Nikola Biliškov
- 13** **Neobična molekula vode**
Dijana Žilić
- 17** **Izvori – jedinstvena staništa i točke biološke raznolikosti**
Mladen Kučinić i Vlatka Mičetić
- 21** **Globalna kriza pitke vode**
Hrvoje Juretić
- 27** **Voda i društveni sustav**
Gabrijela Sabol

Pogled u dubinu

- 32** **Urbana revolucija**
Ivan Čipin i Goran Jovanović
- 36** **Sto pedeset godina od polaganja prekoatlantskog telegrafskog kabela**
Tomislav Fancev

Aktivnosti HID-a

- 4** **Opisujemo Sustave**
Nikica Viličić
- 7** **Liga kumpanija**
Josip Stepanić

Zahvaljujemo **Mirjani Randić-Barlek**, muzejskoj savjetnici i **Aidi Brenko**, kustosici iz Etnografskog muzeja u Zagrebu na ustupljenim slikama (str. 29, 30) koje su bile dio postava izložbe Voda.

Zahvaljujemo **Marini Fruk** iz Instituta za povijest umjetnosti na slici na str. 28.

Autor slike na naslovnici je **Nadir Mavrović**, a autor slika na zadnjoj strani korica je **Jovan Kliska**.

Uvodnik

Drage čitateljice i čitatelji!

Pozdravljamo vas u četvrtom broju časopisa *Sustavi*.

Jeste li kada tijekom vrućeg ljetnog dana osjetili dugo neutaženu žeđ i sanjali o nekoliko kapi osvježavajuće tekućine? Što ste prvo poželjeli, sok, kavu, vino...? Ne, nego vodu, *običnu vodu* – nestrpljivo iščekujući trenutak kada ćete se okrijepiti i vratiti organizam u *normalu*. To je samo jedan segment u životu iz kojeg vidimo koliko nam je voda neophodna za život.

Zašto vam o tome pričam? Jednostavno iz razloga što tema ovog broja je voda.

Vodu sve više vidamo pakiranu u bočicama, slušamo kako zbog nje u svijetu započinju ratovi, saznajemo da sve više ljudi nema vode za piće, slušamo o zagađenjima voda. To su samo neke činjenice vezane uz tu dragocjenu tekućinu.

Iako je Hrvatska peta u Europi po izvorima vode, to obilje nas samo obvezuje što ne znači da se njome trebamo razbacivati ili ju zagađivati.

U ovom broju po prvi puta objavljujemo i pisma čitatelja koje smo primili. Očekujemo i dalje vaše komentare, a također i vaše prijedloge koje možete poslati na našu poštansku adresu, adresu elektroničke pošte ili javiti se na mrežni forum Hrvatskog interdisciplinarnog društva.

Od aktivnosti Hrvatskog interdisciplinarnog društva donosimo vam izvješće o drugom natjecanju *Opisujemo sustave* koji se odvijao početkom ožujka u Samoboru. Saznajte kako je bilo na natjecanju, koje su teme obrađivane i koji su radovi proglašeni najboljima. Tijekom ovih mjeseci održana su dva susreta *Lige kumpanija* o kojima, također, možete pročitati u ovom broju.

Svojim sveprisustvom voda nam se čini obična te mislimo da je dobro poznajemo. Ulazeći u svijet molekula vode u koji nas uvode autori Dijana Žilić i Nikola Biliškov, saznajemo da je voda sve samo ne *obična*. U člancima pročitajte i doznajte u čemu je njezina posebnost. O izvorima kao jedinstvenim staništima saznajte više u članku Mladena Kučinića i Vlatke Mičetić. Čovjek svojim načinom života utječe na vodu, a na koje sve načine mijenja život u vodi i mijenja sastav vode pročitajte u članku Hrvoja Juretića. Jeste li kada bacili novčić u fontanu i zašto? Od kada potječe taj običaj? Pronađite odgovor u tekstu Gabrijele Sabol.

Rubrika *Pogled u dubinu* donosi dva zanimljiva članka. U članku Ivana Čipina i Gorana Jovanića možete saznati živi li više ljudi u gradovima ili na selu i koji je trend u svijetu.

U ovom broju obilježavamo i stopedesetgodišnjicu polaganja prekoatlanskih kablova s iscrpnim opisom polaganja i napora koji su se uložili u ostvarenje tog pothvata, a o tome nas izvještava Tomislav Fancev.

Zahvaljujemo Mirjani Randić-Barlek, muzejskoj savjetnici i Aidi Brenko, kustosici iz Etnografskog muzeja u Zagrebu na ustupljenim slikama koje su bile dio postava izložbe *Voda*.

Autor slike na naslovnici, snimljene na Cresu, je Nadir Mavrović, a autor slika na zadnjoj stranici korica je Jovan Kliska.

Do sljedećeg broja, pozdravljam vas,

Mona Gyac-Pajčić



Nikica Viličić

Ove školske godine održano je drugo po redu natjecanje *Opisujemo sustave* za učenice i učenike srednjih škola Republike Hrvatske koje organizira Hrvatsko interdisciplinarno društvo. Završni dio natjecanja održan je 1. ožujka 2008. u gradu Samoboru.

Struktura natjecanja

Pravila natjecanja *Opisujemo sustave* ove su godine bila slična kao i prethodne. Razlika je što su ekipe uključivale točno dvoje učenika, dok su prošle godine ekipe mogle biti i brojnije. Učenici koji su odlu-

Opisujemo sustave je natjecanje ekipe učenika srednjih škola u Republici Hrvatskoj na temu opisa cjelina iz naše okoline, uz primjenu znanja iz znanosti o sustavima. S obzirom da učenici koriste znanstveni pristup u kreativnom razmišljanju te povezuju znanja iz različitih područja koja uče na redovnoj nastavi, natjecanje je interdisciplinarnog tipa.

čili sudjelovati u natjecanju poslali su na adresu naše udruge naziv teme i sažetak rada. Svaka ekipa odabrala je mentora, odnosno profesora koji je pratio proces rada te s povjerenstvom za ocjenjivanje eseja procjenjivao primjerenost teme, predznanje i raspoloživo vrijeme učenika. Učenici su samostalno obrađivali odabrani sustav i pisali svoj esej uz stručno vodstvo mentora. Tijekom izrade eseja na raspolaganju im je bio mrežni forum Hrvatskog interdisciplinarnog društva (<http://www.idd.hr/forum>) za rasprave o temama seminara i za konzultacije s članovima povjerenstva natjecanja.

U eseju su natjecatelji opisali i pojasnili odabrani sustav, izabrali ključne varijable te iznijeli svoja mišljenja koja su potkrijepili odgovarajućim argumentima. Ključni dio eseja, koji nosi i najviše bodova, jest uzročno-posljedični dijagram. Drugim riječima, dijagramom su natjecatelji shematski prikazali sustav koji obrađuju, a potom ga pojasnili u tekstualnom dijelu. Dijagram zapravo prikazuje promatrani sustav koji čine međusobno povezani elementi.

Nakon što su učenici uobličili i napisali esej te ga prosljedili na adresu HID-a, uz naznaku »Opisujemo sustave – esej«, stekli su pravo prolaska prvog dijela natjecanja. Tako je slanjem eseja završen je prvi dio natjecanja. Ove godine bilo je prijavljeno 27 tema, a zaprimljen je 21. esej. Poslane eseje procijenilo je tročlano povjerenstvo u sastavu:

Svaki sustav, bilo da se radi o biološkom, tehnološkom ili društvenom sustavu, karakteriziraju elementi, struktura i funkcija te postizanje stanja ravnoteže (homeostaza), kontrolom povratnih sprega (feedback). Elementi čine dijelove određenog sustava, struktura predstavlja sustav veza, dok funkcija označava ulogu sustava u njegovoj okolini. Ovisno o suodnosu uzroka i posljedica među promatranim varijablama, donose se zaključci o postojećem stanju sustava.

dipl. ing. Zvonko Kostanjčar, doc. dr. sc. Josip Stepanić i mr. sc. Nikica Viličić; nakon čega su predstavnici svakog zaprimljenog rada bili obaviješteni o broju bodova. Smjernice za dodjelu bodova navedene su u prethodnom broju časopisa *Sustavi*. Na završni susret s javnim izlaganjem pozvani su autori i mentori 17 radova. Od toga su 4 rada pozvana za izlaganje u grupi A, koja obuhvaća I. i II. razrede, a 13 za grupu B, grupu III. i IV. razreda.

Radovi 2008.

Prema redosljedu izlaganja

GRUPA B 1. SKUPINA					
r.br.	NAZIV RADA	AUTORI	MENTOR	ŠKOLA	RAZRED
1.	Atom	Zrinka Bertić, Dunja Stolnik	Verica Jovanovski	Opća gimnazija Gaudeamus Osijek	3.
2.	Sustav zračenja	Damir Frančić, Ivan Kelava	Neven Maleš	Tehnička škola Ruđera Boškovića, Zagreb	4.
3.	Opis sustava funkcioniranja i razlike među najrazvijenijim civilizacijama predkolumbovske Amerike	Tajana Marić, Luka Togonal	Tatjana Blagojević	II. gimnazija Osijek	3.
4.	Zlostavljanje	Ines Poljak, Tamara Krušlin	Slaven Koštrun	Škola za medicinske sestre Vrapče, Zagreb	3.
GRUPA B 2. SKUPINA					
r.br.	NAZIV RADA	AUTORI	MENTOR	ŠKOLA	RAZRED
5.	Memorijski sustav čovjek računalo	Nikola Božić, Antonio Petrinić	Neven Maleš, Darko God	Tehnička škola Ruđera Boškovića	4.
6.	Veslanje kao sustav	Marcela Milošević, Ines Ferenac	Maša Mikšić	Gimnazija Karlovac	3.
7.	Krvožilni sustav	Goran Jagić	Neven Maleš	Tehnička škola Ruđera Boškovića	4.
8.	Sustav obnovljivih izvora energije	Paula Bjažević, Frane Martinis	Slavica Dražić	Antun Matijašević Karamaneo, Vis	3., 4.
GRUPA B 3. SKUPINA					
r.br.	NAZIV RADA	AUTORI	MENTOR	ŠKOLA	RAZRED
9.	Učenički pristup pismenom ispiti vanju	Lucia Ivković, Mateja Jagatić	Maša Mikšić	Gimnazija Karlovac	3.
10.	Ciljano izostajanje s nastave	Nina Marčac, Sabina Frketić	Maša Mikšić	Gimnazija Karlovac	3.
11.	Utjecaj stresa i (ne)ispavanosti na imunološki sustav učenika	Dajana Dević	Renata Banjan	III. gimnazija Osijek	4.
12.	Sustav za dobivanje omekšane vode	Dario Iličić, Tomi slav Marković	Neven Maleš	Tehnička škola Ruđera Boškovića	4.
13.	Željeznički putnički promet	Tihana Barić, Monika Mihalić, Katarina Vranesić	Maša Mikšić	Gimnazija Karlovac	3.
GRUPA A					
r.br.	NAZIV RADA	AUTORI	MENTOR	ŠKOLA	RAZRED
14.	Sustav zrakoplovnih nesreća	Marin Buzančić, Hrvoje Stojanović	Ana Marija Kukuruzović	V. Gimnazija Zagreb	2.
15.	Crne točke prometnog sustava grada Karlovca	Mateja Lukežić, Maja Trupković	Maša Mikšić	Gimnazija Karlovac	2.
16.	Međumrežje	Sandra Hrnčić, Zrinka Gavran	Ana Marija Kukuruzović	V. Gimnazija Zagreb	2.
17.	Mladi i spolne bolesti	Matea Bunjevac, Kristina Žgela	Đurđica Maskalan	Gimnazija Velika Gorica	2



Poštovano uredništvo!

Sa iznimnim zanimanjem sam pročitala prvi i drugi broj vašeg časopisa.

Teme su raznolike i obrađene na interesantan način. U slijedećim brojevima bih voljela čitati o geopolitičkim sustavima, sustavima moći i upravljanja unutar velikih korporacija, te kako se sustavski može obraditi funkcioniranje neke političke stranke.

Mišljenja sam da se znanost o sustavima mora malo intenzivnije reklamirati.

Čitateljica

Poštovana urednice!

Časopis Sustavi se na najbolji mogući način predstavio javnosti izborom jezika kao teme prvog broja. Svojedobno je L. Mumford napisao u svojoj knjizi »Mit o mašini« da je jezik najveće dostignuće ljudskog roda. Slažem se.

Međutim ovaj broj svjedoči tvrdnju da »svijet počinje kada smo postali znanstvenicima ili nastavnicima«. Pregledao sam sa zanimanjem popis literature inače vrhunskih stručnjaka i znanstvenika mlađe generacije. Tako čitateljstvo nije saznalo da je svojedobno načinjena sustavna raščlamba hrvatskog jezika (Prilog sustavnoj analizi hrvatskog jezika, Rasprave Zavoda za hrvatski jezik, 20(1994), 19-30.). Kako to nisu čitali oni koji su trebali, dio toga je ponovljen u drugom kontekstu u časopisu »Jezik« (Odnos jezikoslovaca i stručnjaka u stvaranju nazivlja 54(2)50-55(2007)).

Vjerujem da će Sustavi nastaviti s dobrom praksom izbora pravih tema.

Igor Čatić
Zagreb



Pobjednice grupe B, Lucia Ivković i Matea Jagić (lijevo)

Pobjednici grupe A, Marin Bužančić i Hrvoje Stojanović (dolje)



Drugi dio natjecanja

Drugi dio natjecanja održan je u Samoboru, u Srednjoj strukovnoj školi. Natjecanje je započelo u 9:00 sati u ugodnoj atmosferi jedne učionice. Javna izlaganja ekipa bila su ograničena na 10 minuta. Prvi dio obuhvatio je grupu B, odnosno ekipe trećih i četvrtih razreda. Grupnu B ocjenjivalo je tročlano povjerenstvo u sastavu prof. dr. sc. Mirjana Pejić-Bach, mr. sc. Maja Rujnić Sokele i mr. sc. Željko Jakopović, savjetnik. Ove godine imali smo priliku čuti ukupno 17 kvalitetno pripremljenih javnih izlaganja. Uz zanimljive i dinamične rasprave nakon svakog rada, vrijeme je prošlo nevjerojatno brzo. Prvo mjesto u B skupini postigao je rad pod nazivom *Učenički pristup pismenom ispitivanju*, koji su izradile Lucia Ivković i Matea Jagić iz gimnazije Karlovac, uz mentorsko vodstvo prof. Maše Mikšić. Drugo mjesto pripalo je radu pod nazivom *Utjecaj stresa i neispavanosti na imunološki sustav učenika*, koji je pripremila Dajana Dević iz III. gimnazije Osijek, uz stručnu pomoć mentorice prof. Renate Banjan, a treće mjesto podijelile su Sabina Frketić i Nina Marčac iz gimnazije Karlovac s radom *Ciljano izostajanje s*

nastave, pod mentorstvom prof. Maše Mikšić. Svi pozvani natjecatelji dobili su priznanja za uloženi trud i pripremljeni esej, uz prigodni poklon USB od 256 Mb, koje je donirao Marin Belić. Tri istaknuta rada dobili su diplome i prigodne poklone (uređaje MP4, MP3 i 4Gb USB). Nakon dodjela priznanja, zahvalnica i svečanog proglašenja najboljeg rada, te proglašenja drugog i trećeg mjesta grupe B, uslijedila je pauza za ručak.

Zanimljivo je što se ove godine natjecanje *Opisujemo sustave* poklopilo s obilježavanjem Bitke kod Samobora iz 1441. godine. Tako su učenici i njihovi mentori iz grupe B imali priliku vidjeti kako se Vugrinščak podno Samobora pretvara u viteški vojni tabor s konjanicima, oklopljenim vitezovima, mačevaocima, strelčarima, kuburama, bojnim spravama, katapultima, kolskim taborom, fortifikacijama... Dok su se natjecatelji ekipa prvih i drugih razreda uputili nazad u školu kako bi se borili za prvo mjesto u skupini A. Javna izlaganja grupe A ocjenjivalo je tročlano povjerenstvo u sastavu: mr. sc. Maja Rujnić Sokele, mr. sc. Armano Srbljinović i Zvonko Kostanjčar, dipl. ing. Prvo mjesto skupine A zaslužili su učenici V. gimnazije iz Zagreba, Marin Buzančić i Hrvoje Stojanović, s radom *Sustav zrakoplovnih nesreća*, koji su izradili uz stručno vodstvo prof. Ane-Marije Kukuruzović. Učenici V. gimnazije su za svoj trud nagrađeni MP4 *playerom*.

Za kraj bismo se željeli zahvaliti domaćinu ovogodišnjeg natjecanja, Srednjoj strukovnoj školi u Samoboru i ravnatelju prof. Mirku Marasu na podršci i osiguranim primjerenim uvjetima za radni dio natjecanja. Također, veliku zahvalu upućujemo svim natjecateljima i njihovim mentorima, koji su pomagali svojim učenicima u kvalitetnoj razradi tema. 📧

Liga kumpanija

Josip Stepanić

Od zadnjeg spominjanja Lige kumpanija u prošlom broju časopisa *Sustavi*, održana su dva susreta. Ovdje ukratko opisujemo kako su prošli.

Prije samih susreta, pokojom rečenicom opišimo ukratko sam projekt, radi onih koji nisu čitali njegov detaljniji opis u prošlom broju časopisa *Sustavi*.

Liga kumpanija su susreti grupa srednjoškolaca na kojima se demonstrira sposobnost upravljanja mobilnim robotima i obavljanja postavljenih zadataka.


I. susret

Prvi susret sa zadacima održan je u Tehničkoj školi Ruđera Boškovića u Zagrebu, 26. siječnja 2008. Na susretu je sudjelovalo svih pet ekipa, njihovi mentori i organizatori. Susret je trajao od 10 h do 15 h.

Ekipe učenika rješavale su nekoliko zadataka. Prvi zadatak im je zadan i proslijeđen elektroničkom poštom tjedan dana prije susreta, drugi su zadatak dobili na samom susretu, a treći zadatak je bilo zajedničko razmatranje zadane teme.

Prvi zadatak sastojao se u slijedeću staze bez uporabe senzora. Dakle, ni senzor za slijedeće linije, niti drugi senzori nisu se smjeli koristiti, nego je putem kontrole rada oba motora trebalo reproducirati zadani oblik staze. Prikaz staze možete vidjeti na forumu *Lige kumpanija*, u okviru foruma HID-a, <http://www.idd.hr/forum>.

U drugom zadatku robot se kretao po stazi iz prvog zadatka na kojoj je bila postavljena prepreka. Robot je morao stati na unaprijed zadanoj udaljenosti od prepreke. Budući da se prilikom rješavanja drugog zadatka javilo više dodatnih pitanja, ona su odabrana za temu zajedničkog razmatranja. U razmatranju su sudjelovali zajednički svi učenici, a suradnici na projektu, studenti Fakulteta



Sudionici tijekom rada na I. susretu Lige kumpanija.

strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, Teodor Tomić i Nikola Hranja, modelirali su diskusiju.

Na mrežnim stranicama foruma HID-a, kao i na mrežnim stranicama škole domaćina, Tehničke škole Ruđera boškovića u Zagrebu, <http://www.tsrb.hr>, možete pogledati fotografije i video zapise koje su sami učenici pripremili kao prikaz susreta.

II. susret

Drugi susret održan je u Strojarskoj tehničkoj školi u Osijeku, 23. veljače 2008., također uz prisutnost i sudjelovanje svih ekipa i mentora.

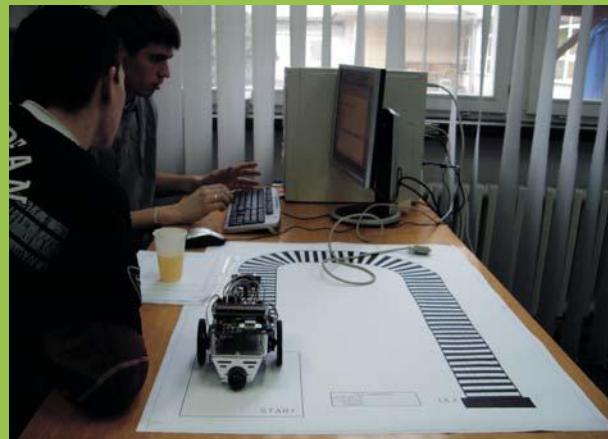
Slično prvom susretu, prvi zadatak proslijeđen je sudionicima prije susreta, a drugi su rješavali na samom susretu. Prvi zadatak sastojao se u slijedeću staze praćenjem pruga čijim je nizanjem postavljena (uobičajeno, na forumu HID-a je prikaz staze s potankostima). Drugi zadatak uključivao je prepreku, koju je ovaj put trebalo zaobići.

Tijekom susreta, Davor Galamboš, absolvent Elektrotehničkog fakulteta u Osijeku, prezentirao je svoj rad s prialogdom robota IntelliBrain za gašenje plamena svijeće. Davor Galamboš je počeo s robotom raditi prošle godine, tijekom *Prozora snova*.

Prozor snova je radionica o upravljanju robotima koju Hrvatsko interdisciplinarno društvo uz potporu Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa provodi već nekoliko godina za studente, o čemu ćemo pisati u sljedećem broju časopisa *Sustavi*.

Iz prikaza dostupnih na stranicama foruma HID-a i mrežnim stranicama

škole domaćina susreta, Strojarske tehničke škole u Osijeku, <http://www.sstrojarska-tehnicka-os.skole.hr>, možete vidjeti kao se susret odvijao.



Pripremanje robota za prolazak staze na drugom susretu.

Osvrt na susrete

Dosadašnji su susreti protekli u učinkovitoj i radnoj atmosferi kojoj su doprinijeli primjereni uvjeti škola domaćina. Za trud oko organizacije susreta zahvaljujem se u ime svih sudionika susreta školama koje su organizirale susrete.

Susreti, osim prikazivanja znanja koje su učenici usvojili u upravljanju mobilnim robotima, pružaju priliku za osmišljavanje daljnjih zadataka i upotpunavanje određenih cjelina za koje su učenici pokazali dodatni interes.

Sljedeći susret održat će se 24. travnja 2008. u I. tehničkoj srednjoj školi Tesla u Zagrebu, tijekom trajanja Državne smotre robotike. 📦

Tema broja

Voda

*Voda je izvor svega,
iz vode je sve, i sve se
u vodu vraća.*

Tales iz Mileta, oko 600. pr. Kr.

Tekućine kao sustavi

Nikola Biliškov

Nikola Biliškov znanstveni je novak na Institutu Ruđer Bošković

Voda je tekućina koja nas okružuje. Ona je posvuda oko nas, u nama. Navikli smo se na njenu sveprisutnost i zato smo skloni sve ostale tekućine doživljavati kao *nešto slično vodi*. Međutim, realnost je sasvim drukčija. U stvarnosti voda je vrlo neobična tekućina, sustav je to čija svojstva jako odudaraju od svojstava ostalih tekućina. Zbog toga voda, tvar s kojom smo toliko bliski, izmiče našem razumijevanju. Odista, svojstva većine tekućina danas su na relativno zadovoljavajući način pojašnjena. S vodom je situacija mnogo složenija i voda zadaje velike glavobolje znanstvenicima. Zašto je tomu tako, pokušat ćemo pojasniti u ovom članku.

Opis tekućina ne može biti tako jednostavan kao opis drugih agregatnih stanja. Karakter sila koje vladaju među molekulama u tekućem stanju bit će presudan pri opisivanju. Te sile mogu biti raznovrsnih karaktera i prema njima možemo klasificirati tekućine.

»Egzotične« tekućine

U prvu skupinu spadaju tzv. Lennard-Jonesove tekućine. To su najjednostavnije tekućine, a radi se o slučaju kad su čestice koje čine naš uzorak kuglice i to tvrde. Među tim kuglicama djeluje samo vrlo slaba Lennard-Jonesova sila. U stvarnosti, sustavi koji se ponašaju kao najpribližnje Lennard-Jonesove tekućine su ukapljeni plemeniti *plinovi*. Trebamo naglasiti da bismo iz ove skupine trebali odmah *izbaciti* tekući helij jer u tom slučaju ne možemo zanemariti neke efekte

koji ovaj sustav dodatno kompliciraju i zato tekući helij spada u, tzv. kvantne tekućine.

Druga krajnost su ionske tekućine. To su taline ionskih spojeva, a neke od njih su u tekućem stanju i pri sobnoj temperaturi zbog čega u zadnje vrijeme takve tekućine nalaze sve veću primjenu kao otapala u industriji. Čestice koje čine taj sustav su kationi i anioni, a među njima djeluje, naravno, elektrostatska interakcija.

Taline metala su zasebna klasa. Iako je njihova struktura relativno neuređena, ipak se u njima zadržavaju neka svojstva krutih metala, kao što je kratkosežna uređenost. Pri opisu ovih sustava, najbolje rezultate je dao model *skoro slobodnih elektrona*. Zanimljivo je da živa, jedini metal koji je tekuć pri sobnoj temperaturi, ovo svoje svojstvo može zahvaliti relativističkim efektima, što dolaze do izražaja u njenoj zadnjoj elektronskoj ljusci.

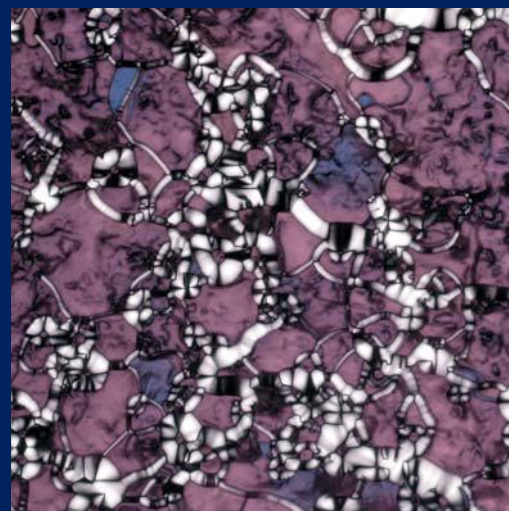
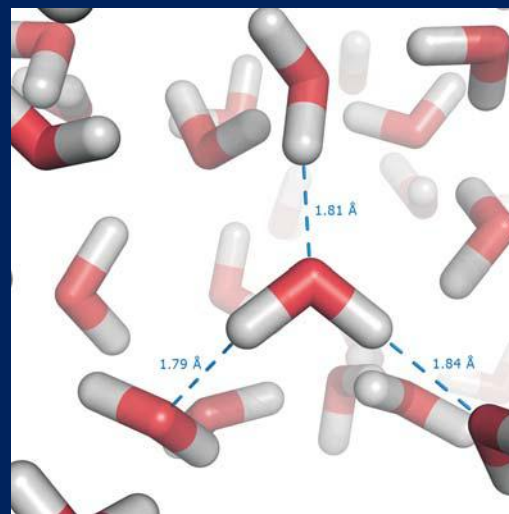
»Svakidašnje« tekućine

Sve dosad opisane klase tekućina su ipak poprilično egzotične, ali i u svakodnevnom životu okruženi smo tekućinama koje se sastoje od molekula među kojima djeluju sile: ono što pijemo, pogonsko gorivo naših automobila, različita otapala koja koristimo u kućanstvu. Sve su to molekulske tekućine. Zastupljenost tih sustava u našem svakodnevnom životu čini tu klasu tekućina najvažnijom, najproučavanijom što, međutim, ne znači i da su te tekućine najbolje opisane.

Naime, bolje je opet spomenuti da kvaliteta našeg poznavanja pojedinačne molekulske te-

Svi znamo za tri osnovna agregatna stanja u kojima postoje tvari što nas okružuju – kruto, tekuće i plinovito stanje. Na molekularnoj razini, kruto stanje karakterizira uređenost strukture, u kojoj molekule nemaju pretjerane slobode gibanja. Drugim riječima, u krutom stanju molekule vibriraju i tvore nakupine vezane međumolekulskim silama. Propustimo li snop rendgenskog zračenja kroz kruti uzorak, na slici raspršenog zračenja redovito ćemo uočavati karakteristične uzorke, što je upravo odraz uređenosti strukture. Plinovito stanje karakterizirano je potpunim neredom. Pogonjene toplinskom energijom, molekule u plinu prevaljuju velike slobodne putove, rotiraju se, međusobno se sudaraju. Slika rendgenskog zračenja raspršenog na plinu neće imati nikakvih karakterističnih oblika, što je lijep dokaz vrlo visokog stupnja kaotičnosti.

Tekućine su stanje između krutog i plinovitog, dakle, one se nalaze negdje između reda i nereda. Najevidentnije svojstvo tekućina, po kojemu ih na prvi pogled svatko od nas razlikuje od krutog i plinovitog stanja, jest činjenica da one zauzimaju određeni volumen, koji je zadan posudom u kojoj se tekućina nalazi. Možemo zamisliti kako se ta naša tekućina sastoji od nebrojivog mnoštva čestica koje se međusobno gibaju prilično slobodno. Ipak, kad bismo tim česticama dozvolili potpunu slobodu, ništa ih ne bi priječilo da se razlete po čitavom raspoloživom prostoru. U tom slučaju ne bismo mogli zadržavati vodu u čaši. Između čestica u tekućini djeluju neke sile, koje mogu biti jače ili slabije. Opet, jasno je da te sile ne smiju biti ni prejake jer u tom slučaju uzorak više ne bi bio tekuć, nego krut.



Gusta mreža vodikovih veza u tekućoj vodi (gornja slika, preuzeto iz: Wikipedia). Faza tekućih kristala koja nastaje u otopini molekula DNA (donja slika, preuzeto iz: Karen McNulty, Mona S. Rowe, Brookhaven National Laboratory News

kućine ovisi o silama koje djeluju među njenim molekulama. Međumolekulske sile dobro poznamo. Isto tako, dobro su opisane i manifestacije tih sila na ograničenom broju molekula. Međutim, u tekućinama upravljamo s ogromnim brojem čestica što, samo po sebi, znatno komplicira situaciju. Što su slabije te međumolekulske sile, to će situacija biti jednostavnija.

Van der Waalsova sila

Zbog toga, opis tekućina u kojima prevladavaju van der Waalsove interakcije bit će najpotpuniji. Radi se o tekućinama koje se sastoje od nepolarnih molekula. Njihovo međudjelovanje svodi se na uzajamnu deformaciju elektronskog oblaka molekula zbog okruženja drugim mo-

lekulama. Primjeri su tetraklorugljik, CCl_4 , čiju molekulu karakterizira vrlo visoka, tetraedarska simetrija, benzen i tekući ugljikovodici, od kojih nam je najbliži benzin, kojega upotrebljavamo kao gorivo.

Dipol-dipol interakcija

Kad molekule imaju stalni dipolni moment, među njima će prevladavati dipol-dipol interakcija koja se temelji na jednostavnom privlačenju pozitivnog naboja negativnim. Dakle, imamo molekulu na kojoj naboj nije jednoliko raspoređen. Zato će susjedne molekule biti prisiljene međusobno se orijentirati u antiparalelni položaj. Primjeri takvih tekućina su vrlo brojni. Velik broj organskih otapala možemo navesti kao primjere.



Plava boja našega planeta potječe uglavnom od tekuće vode a vidljiva je iz svemira

Vodikova veza

Mnoge molekule sadrže skupine koje čini neki elektronegativni atom na koji je vezan vodikov atom. Česte će biti -NH ili -OH skupine. Ovakve skupine odgovorne su za jednu posebnu i vrlo važnu vrstu međumolekulskih sila, a to je vodikova veza. Karakteristika ove veze je njena izrazita usmjerenost, što je, uz njenu jakost, čini različitom od dipol-dipol interakcije. Ipak, ova je veza vrlo slaba, usporedimo li je s kovalentnom. Vodikovu vezu nalazimo u nama najvažnijim tekućinama: alkoholima, karboksilnim kiselinama, aminima, amidima, ali i u daleko najvažnijoj tekućini – vodi. Ipak, zbog same prirode vodikove veze, koja nipošto nije jednostavna, opis tekućih sustava s vodikovim vezama je vrlo kompliciran i takve tekućine najuspješnije izmiču našem detaljnom razumijevanju. Zbog njihove važnosti, one su i predmet vrlo živahne znanstvene aktivnosti i to već duže vrijeme.

Nezgodna je činjenica vezana uz molekulu vode što ona ima dva vodikova atoma koji mogu stvarati dvije vodikove veze s dva slobodna elektronska para na atomu kisika. Ovo nevjerojatno komplicira situaciju. Vodi su najslabije molekule alkohola, ali alkoholi imaju jedan vodikov atom sposoban za stvaranje vodikove veze sa slobodnim elektronskim parovima na kisiku. Već je to puno jednostavnije, što se odražava u svojstvima alkohola, koja je neusporedivo lakše objasniti nego u slučaju vode.

Teoretsko poznavanje tekućina


Teoretsko poznavanje tekućina temelji se na nekoliko funkcija koje opisuju potencijalnu energiju međumolekulskih interakcija. Onda se računaju Newtonove jednadžbe gibanja velikog broja molekula u sustavu i to su simulacije molekulske dinamike. Iako su ti potencijali, na današnjoj razini teorije dosta uspješni, svi oni podbacuju u slučaju vode. Zato su za vodu razvijeni brojni posebni potencijali, koji se razlikuju u tome koliko se interakcijskih mjesta na molekuli uzima u obzir. Ti potencijali jesu uspješni u reprodukciji nekih svojstava, ali ni jedan od njih nije uspio obuhvatiti na zadovoljavajući način veći broj svojstava.

Eksperimentalni podaci

Na temelju eksperimentalnih podataka danas znamo da su u tekućoj vodi sve molekule međusobno vezane u gustu mrežu vodikovih veza i da svaka molekula tog sustava daje dvije i prima dvije vodikove veze. Međutim, ta mreža nije statična tvorevina, već se stalno reorganizira. Dinamika te mreže, pokazano je, ne temelji se na kidanju vodikovih veza, kao što bismo mogli pomisliti, već se temelji na rotacijama velikih amplituda molekula vode oko vodikovih veza. Te rotacije su u jakoj sprezi s drugim vibracijama molekule vode, tako da tu spregu ne možemo zaobići. To, konkretno, znači da je za opis tekuće vode potrebno uključiti i kvantnomehaničke efekte, uz istovremeno uzimanje u obzir vrlo velikog broja molekula pri simulacijama. Nikome to još nije uspjelo, a izgleda da ćemo još dugo čekati na to.

Tekućina s kojom smo u najintimnijoj vezi, tekućina koja život kakvoga poznajemo čini mogućim, uporno izmiče našoj spoznaji. Međutim, čini se da je upravo ono što leži u temelju tih evidentnih poteškoća, ključno i za tu nezamjenjivu ulogu vode u životu svakog živog bića na Zemlji. Voda ima vrlo jednostavnu kemijsku formulu, H_2O i očekivali bismo da je jednostavna i kao tekućina. Međutim, istina je da se radi o jednom od najkompleksnijih sustava među čistim tvarima koje poznajemo u kemiji. Svakodnevno susretanje s vodom navodilo je ljude da, pri pojašnjavanju svojstava tekućina, sve moguće tekućine uspoređuju s njom. Međutim, pokazalo se da bi to bilo isto kao da, pojašnjenje papirnatog aviona temeljimo na poznavanju *space shuttlea*.

Za vrijeme pisanja ovog članka bio sam sa svojom djecom u jednoj od igraonica ispunjenih šarenim lopticama. Sin je uživajući u *plivanju* u tim lopticama u jednom trenutku viknuo: »Tata, vidi me, ja sam u vodi!« na što sam ja odgovorio: »Ne, nisi u vodi, ti si u najobičnijoj Lennard-Jonesovoj tekućini.« ☺



Neobična molekula vode?

Poznajemo li vodu?

Voda je najjednostavniji spoj dva najreaktivnija elementa u Svemiru, vodika i kisika. Ona je neophodna za život na Zemlji jer bez nje život ne bi mogao nastati, razviti se niti se održati. Ona je istinski i jedini medij života što potkrepljuje i spoznaja da je čovjek sazdan od 2/3 vode. Kao fluid podmazuje mehanizam stanica i prenosi tvari te pomaže odvijanje kemijskih reakcija koje nas pokreću. Zbog svoje bitnosti jedan je od najčešće proučavanih spojeva, ali zbog brojnih anomalija još uvijek je predmet intenzivnog znanstvenog istraživanja. Tek kad vodu usporedimo s drugim tekućinama, počinjemo shvaćati koliko je ona uistinu – neobična.

Fizička i kemijska svojstva vode potpuno su drugačija od svojstava sličnih spojeva kao što su primjerice H_2Te , H_2Se ili H_2S . Ekstrapolirajući svojstva ovih tvari na vodu, dolazimo do zaključka da bi voda trebala imati talište na $-100^\circ C$, a vrelište na $-30^\circ C$. Dakle, pri normalnim uvjetima voda bi trebala biti plin. Slična odstupanja između predviđenih i stvarnih vrijednosti mogu se naći i u drugim fizičko-kemijskim svojstvima.

Temperaturna anomalija i veliki specifični kapacitet vode

Najpoznatija specifičnost je, tzv. temperaturna anomalija vode koja je djelomično odgovorna za stvaranje i očuvanje života. Dok se većina tekućina skuplja sa sniženjem temperature, voda se počinje širiti ispod $4^\circ C$. Ova neobična pojava bila

je primijećena već prije tristo godina. Led pliva na površini vode, za razliku od drugih rastaljenih tvari. Londonska Temza je nekoć zimi (tijekom Malog ledenog doba, koje je trajalo od sredine 16. do sredine 19. stoljeća) bila pokrivena debelim ledom; na površini bi se održavale tržnice i sajmovi, a ispod leda je protjecala tromna vodena struja. Kada bi led tonuo u vodi, život u jezeru nikad ne bi preživio zimu. Ova najranije otkrivena anomalija, ustvari, samo je indikacija *istinske nastranosti* što se krije duboko u naravi vode.

Druga značajna anomalija je velik specifični toplinski kapacitet vode (pogledati tablicu br. 1). Posljedica toga je prenošenje velikih količina topline posredstvom tople oceanske struje. Svaki

Dijana Žilić

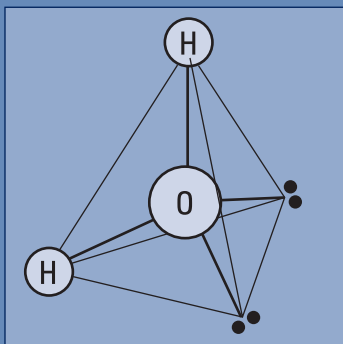
Dijana Žilić znanstveni je novak u Laboratoriju za magnetske rezonancije, Instituta Ruđer Bošković

»Od svih poznatih nam tekućina, vodu su vjerojatno najviše proučavali i najmanje shvatili.«

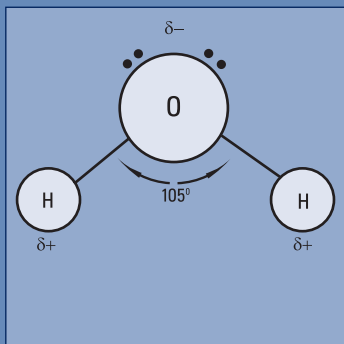
Felix Franks, stručnjak za fiziku i kemiju vode

dan se iz tropske Južne Amerike prenese preko Atlantskog oceana na sjever dvaput više topline, nego što se dobije izgaranjem sveukupnog iskopanog ugljena tijekom čitave jedne godine. Zbog toga je sjeverna Europa znatno toplija nego što bi inače bila, s obzirom na svoju geografsku širinu.

Danas se zna da voda ima čak 63 anomalije. Pored spomenutih, tu su: velika viskoznost, mala kompresibilnost, mali koeficijent termičkog šire-



Slika br. 1: Tetraedarski oblik molekule vode.



Slika br. 2: Shematski prikaz strukture molekule vode.

Molekula vode ima oblik tetraedra (Platonovo pravilno geometrijsko tijelo s četiri vrha), dva kraja tetraedra zauzimaju vodikovi atomi, a druga dva kraja tetraedra zauzimaju slobodni elektronski parovi na kisiku (slika br. 1). Tetraedarski raspored omogućuje najveću udaljenost između dva vodikova atoma i dva elektronska para. Kad bi raspored bio savršeno tetraedarski, kut H-O-H iznosio bi 109.5° . Zbog malo jače odbojnosti elektronskih parova međusobno, nego prema vodikovim atomima, taj kut iznosi oko 105° .

Kisik je mnogo elektronegativniji od vodika pa su obje O-H veze jako polarizirane. Zajednički valentni elektroni u ovim vezama su privučeni kisikovim atomom koji zbog toga postaje negativan u odnosu na vodik. Zbog toga se u cjelini gledano, molekula vode ponaša kao da ima stalne dipolne momente koji su usmjereni prema krakovima kuta H-O-H (slika br. 2).

nja, porast brzine zvuka s temperaturom, visoka kritična točka, (možda) dvije kritične točke, molarna toplina isparavanja, površinska napetost, dielektrična konstanta... Voda nije niti jedinstvena niti ekstremna po broju anomalija, ali svakako je ekscentrik među tekućinama.

Vodikova veza

Dopadljiv način prikazivanja vodikovih veza je da zamislimo molekulu vode kao čovjeka. Ruke tada predstavljaju vodikove atome, a noge slobodne elektronske parove. Stanemo u lagani raskorak (ako je moguće pod kutom od 105° , ali ne treba se prisiljavati), zakrenemo se u bokovima za 90° te ispružimo ruke – i pretvorili smo se u molekulu vode kao na slici br. 3. Udruživanje molekula ima samo jedno pravilo – ruke se mogu samo hvatati za noge. To hvatanje je vodikova veza.

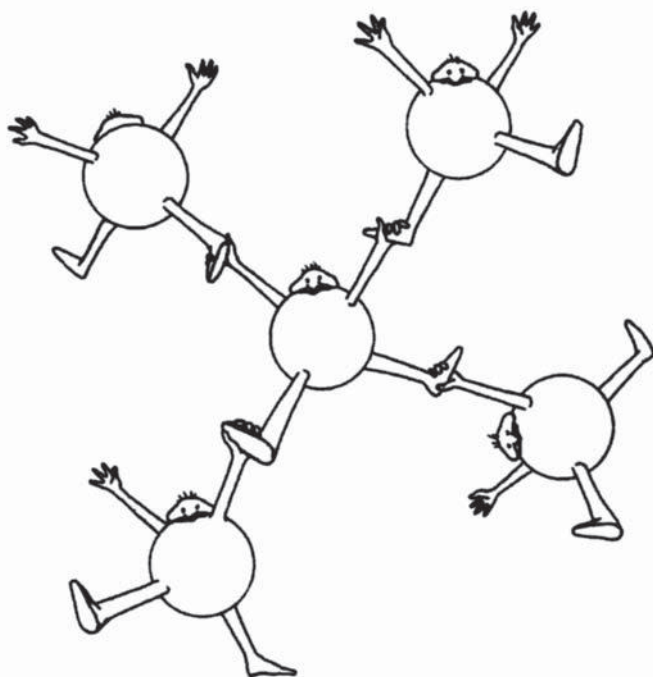
Tetraedarska struktura unutar molekule proširuje se na tetraedarski razmještaj susjeda oko molekula vode tako da je u svakom vrhu tetraedra jedan atom kisika. Zbog toga je voda uređenija i jasnije strukturirana od ostalih tekućina. Više je slična kristalu nego plinu. Struktura tekuće vode na neki je način slična strukturi leda. Termokemijska mjerenja i infracrvena spektroskopija pokazuju da se struktura leda ne uništava u potpunosti s taljenjem. U tekućoj vodi postoje klasteri sačinjeni od molekula vode međusobno povezanih vodikovim vezama. Oni se smanjuju s povećanjem temperature. Oko temperature taljenja u klasterima se nalazi oko 90-650 molekula

H_2O , dok ih je oko temperature isparavanja samo oko 25-75. Ovo je uzrok temperaturne ovisnosti viskoznosti vode.

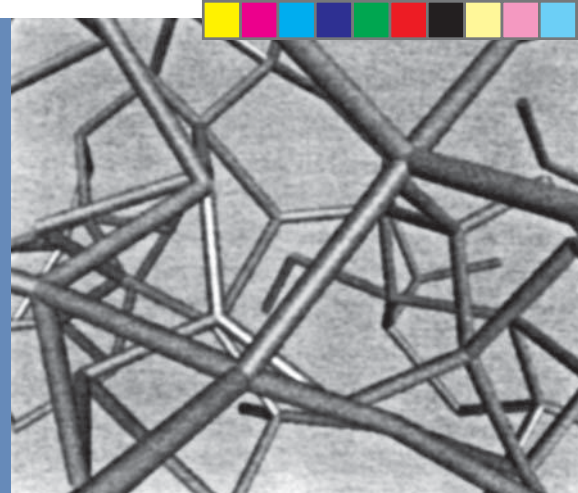
Nemethy i Scheraga su predložili model u kojem su molekule u tekućoj vodi zarobljene u različite klastere za koje se smatra da se nalaze u stalnom gibanju. Prema njima pojavljuju se i netetraedalne strukture. Raspored vodikovih veza promijeni se otprilike svaki milijarditi dio sekunde jer vodikova veza titra s frekvencijom oko $5 \times 10^{12} \text{ Hz}$. Srednje vrijeme života pojedinog klastera iznosi oko 10^{-10} - 10^{-11} s. To znači da će se svaka vodikova veza formirati 100-1000 puta sa istim kisikovim atomom, prije nego što se poveže s drugim. Zbog ovakvog tipa dinamike, koristi se naziv titrajući klaster (eng. *flickering cluster*). Računalne simulacije daju neprekidnu, neuređenu i dinamičnu mrežu vodikovih veza kao na slici br. 4.

S obzirom da je ta mreža savitljivija, iskrivljenija i defektnija od mreže u ledu, molekule mogu zauzeti i dio međuprostora te je zbog toga javlja mogućnost gušće tekućina od krutine. Stupanj defektnosti se penje od 0°C i dostiže maksimum pri 4°C , to pojašnjava zašto je voda najgušća pri toj temperaturi. Iznad te temperature, dovoljan broj vodikovih veza je raskinut te se voda počinje ponašati *normalnije*.

Neobičnost vode izvire uglavnom iz njenih vodikovih veza. Iako nije jedini spoj koji ima te veze, niti jedan drugi ne dopušta takvo širenje mreže vodikovih veza kroz prostor. U personifikaciji molekula, zakretanje bokovima je bilo ključno za otvaranje treće dimenzije. Vodikove



Slika br. 3: Slikovit prikaz vezivanja molekula vode vodikovim vezama. Vodikovi atomi su ruke, slobodni elektronski parovi noge, a kisik je čovjekov trup. Hvatanje rukama za susjedove noge dovodi do tetraedarskog rasporeda susjeda oko svake molekule. (preuzeto iz: P. Ball, *Biografija vode*, Izvori, Zagreb, 2004.)

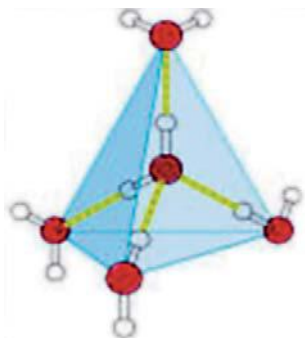


Slika br. 4: Računalne simulacije tekuće vode. Kaotična i neuređena dinamička struktura prikazana je rešetkom koju predstavljaju vodikove veze. Kisikovi atomi nalaze se na mjestima gdje se te veze sijeku. (preuzeto iz: P. Ball, *Biografija vode*, Izvori, Zagreb, 2004.)

veze nameću vodi strukturu krajnje neobičnu za tekućine, što ima za posljedicu neobična fizikalna svojstva.

13 vrsta leda

Život se susreće s velikim poteškoćama zbog činjenice da se voda u okolišu hladi ispod ledišta, ali temperaturna anomalija vode djeluje u korist vodenih životinja čuvajući jezera i rijeke ispod leda u tekućem stanju. Prema najnovijem popisu postoji bar trinaest vrsta leda. Nije poznata nijedna druga tvar koja se kristalizira u tako puno oblika.



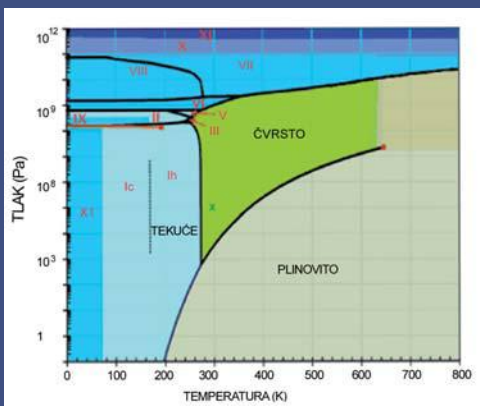
Slika br. 5: Tetraedarska struktura vode u ledu Ih. (preuzeto sa: [http://ijolite.geology.uiuc.edu/04SprgClass/geol117/images/Water cluster.jpg](http://ijolite.geology.uiuc.edu/04SprgClass/geol117/images/Water%20cluster.jpg), 28.12.2007.)

Tetraedarska struktura, prikazana na slici br. 5, izgrađena je na način da su kisikovi atomi uvijek povezani vodikovim vezama s dva vodikova atoma susjednih molekula. Molekule H_2O su točno tetraedarno i jednoliko raspoređene u heksagonalnu strukturu jedino u kristalnom ledu Ih. To su led i snijeg koje svakodnevno susrećemo. Ipak, vodikovi atomi u ledu pri normalnim uvjetima nisu uređeni. Ne mogu se jednoznačno pridružiti ni jednom atomu kisika, iako su ovi fiksirani (na čvorovima tetraedra). Vodikovi atomi mogu biti uređeni, ali samo ako se primijeni tlak veći od 20kbara na temperaturama manjim od $0^\circ C$. To je led VIII (slika br. 6). Pri različitim tlakovima i

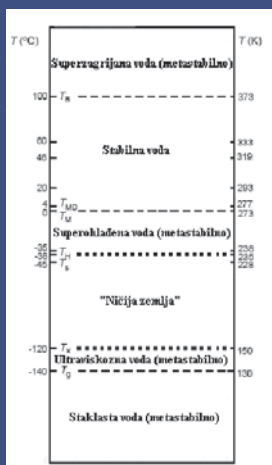


»Ničija zemlja«

Misteriozna svojstva vode naročito postaju izražena u superohlađenom području ispod $0^\circ C$ (slika br. 7). Na primjer, ako koeficijente termičkog širenja, izotermne kompresije i specifične topline pri istom tlaku ekstrapoliramo ispod najnižih temperatura pri kojima je ova svojstva moguće mjeriti (oko $-38^\circ C$ pri 1 baru), dolazimo do toga da oni postaju beskonačni pri temperaturama $T_x \approx -45^\circ C$, pa je i cijeli pojam *tekućeg stanja* tu teško održiv. Naime, u faznom dijagramu vode postoji područje koje su znanstvenici prozvali *ničija zemlja* jer je to područje u kojem nije moguće provesti eksperimente. Ispod temperature homogene nukleacije pri normalnom tlaku $T_H \approx -38^\circ C$, superohlađena voda se spontano smrzava, a iznad temperature kristalizacije $T_X \approx -120^\circ C$, amorfni led kristalizira tako da je u području između T_H i T_X zbog smrzavanja nemoguće napraviti eksperimente na superohlađenoj tekućoj vodi. To donekle podsjeća na pojavu koju astrofizičari zovu *svemirska cenzura*, nemogućnost promatranja singulariteta u crnoj rupi.



Slika br. 6: Fazni dijagram vode. Tekuća voda se smrzava u različite oblike kristalnog leda, ovisno o temperaturi i tlaku. Pri normalnim uvjetima, led je heksagonalna mreža u kojoj su protoni iz vodikovih veza jednako dijeljeni i ne mogu se pridružiti određenim kisikovim centrima (led Ih). Kompaktniji oblici (led IX) ili više uređeni oblici (led VIII), razaznaju se pri niskim temperaturama i visokom tlakovima. x označava sobne uvjete. Dvije crvene točke označavaju kritične točke vode. (prema M. Chaplin, <http://www.lsbu.ac.uk/water/index.html>, 28.12.2007.)



Slika br. 7: Shematski prikaz različitih temperaturnih domena vode pri atmosferskom tlaku. (prema: O. Mishima and H. E. Stanley, *Nature (London)* **396**, 329; 1998.)

Za one koji žele znati više

<http://hr.wikipedia.org/wiki/Voda>

M. Chaplin, <http://www.lsbu.ac.uk/water/index.html>, 28.12.2007.

P. Ball, *Biografija vode*, Izvori, Zagreb (2004.)

<http://www.physchem.co.za/Heat/Specific.htm>, 09.01.2008.

H.E. Stanley, P. Kumar, L. Xu, Z. Yan, M.G. Mazza, S.V. Buldyrev, S.-H. Chen and F. Mallamace, *Physica A* **386**, 729 (2007.)

R. Glaser, *Biophysics*, Springer Berlin Heidelberg New York (2000.)

C.A. Angell, *Annu. Rev. Phys. Chem.* **55**, 559 (2004.)

O. Mishima, L.D. Calvert and E. Whalley, *Nature (London)* **310**, 393 (1984.)

O. Mishima and H.E. Stanley, *Nature (London)* **396**, 329 (1998.)

temperaturama vodu se može prisiliti da poprimi različite oblike koji su nestabilni pri normalnim uvjetima. Tako voda može imati, primjerice pentagonalnu strukturu (led IX). Složeni fazni dijagram vode prikazan je na slici br. 6. Zajedničko svim strukturama leda je da su dva vodikova atoma uvijek ekvivalentna u molekuli vode te da uvijek vrijedi, tzv. *pravilo leda*: dva vodikova atoma u blizini svakog kisika, po jedan vodikov atom na svakoj O--O vezi. Ne postoji jak dokaz da je H-O-H kut u bilo kojem razvojnom stupnju leda bitno drukčiji od onog u izoliranoj molekuli vode. Granice faza leda X i XI pri izuzetno visokim tlakovima tek se moraju eksperimentalno utvrditi.

Amorfni oblici vode

Ako je temperatura niža od temperature staklastog prijelaza čvrsta voda može postojati i u amorfnom stanju. Amorfnu led ili staklasta voda prvi put u laboratoriju dobiven je 1935. kada su Burton i Oliver napravili depoziciju molekula vode na hladnu podlogu. Dobiva se na jedan od sljedećih načina: pothlađivanjem, depozicijom vodene pare na hladnu podlogu i mljevenjem kristalnog leda pod tlakom. Pored već spomenutih anomalija, za vodu je karakterističan i poliamorfizam – pojava da čisti materijal može postojati u različitim amorfnim oblicima. Dakle, i amorfnu led također može postojati u različitim oblicima, koje imaju različita fizikalna svojstva kao što su, npr. gustoća i vibracijski spektri.

Amorfni oblici su neravnotežna stanja i njihova svojstva ovise o njihovoj povijesti tako da jedinstveni uvjeti koji postoje pri nastanku amorfnih materijala, mogu dovesti do nastanka različitih amorfnih oblika. Zbog toga nije najjasnije koliko različitih amorfnih oblika vode uopće postoji. Prema nekim podacima, voda može postojati u čak šest različitih amorfnih oblika.

Kritična točka i kritične točke

Kritična točka označava mjesto u p-T dijagramu gdje svojstva dviju različitih faza više nije moguće razlikovati. Za vodu je karakteristično da možda ima dvije takve točke. Na slici br. 6 te točke su označene crvenom bojom.

Iza kritične točke u tekućina-plin prostoru, kada tekuće stanje ne možemo razlikovati od plinovitog, voda je superkritična, tj. postoji u obliku malih klastera unutar kojih su molekule vezane vodikovim vezama kao u tekućini, ali se nalaze unutar plinovite faze. Fizikalna svojstva tog novog fluidnog stanja ovise o gustoći, koja može biti mala kao u plinu, ali i velika kao u tekućini. Svojstva superkritične vode su bitno različita od onih *normalne* vode. Primjerice, superkritična voda je vrlo loše otapalo za elektrolite, ali odlično za nepolarne molekule zbog male dielektrične konstante i malog broja vodikovih veza.

Druga kritična točka vode i crvena linija u prostoru leda I, razdvaja amorfnu led niske (LDA) i visoke (HDA) gustoće. Iako je općenito prihvaćeno, postojanje ove druge, možda metastabilne kritične točke, je još uvijek nemoguće dokazati budući da se ona nalazi na *nijoj zemlji*.

U tristo godina kako je otkrivena anomalija vode pri 4°C, mnoge znanstvene zagonetke su riješene, ali tajna vode još uvijek nije, unatoč njezinoj izuzetnoj važnosti. ☹



Izvori

Jedinstvena staništa i točke biološke raznolikosti

Izvor Cetine

Vode na Zemlji podijeljene su na morske i kopnene. Oceani i mora odlikuju se jedinstvenim kemijsko-fizičkim, hidrološkim i biološkim značajkama, kao i vode na kopnu. Osnovna su obilježja mora i oceana: izraženi salinitet, morske struje, periodične i pravilne izmjene oseke i plime, koje u nekim slučajevima mogu iznositi i više od 10 m, temperaturna kolebanja koja ovise o geografskoj širini, godišnjem periodu, morskim i oceanskim strujama, te znatne dubine koje na području, primjerice *filipinske brazde*, iznose i više od 11 000 m.

Sama pojava kopnenih tekućica i izvora kao i drugih voda kopnenih biotopa, sekundarnog je karaktera. Njihova je pojava omogućena u pravilu nakon završetka određenih geoloških procesa i formiranja planinskih masiva. Nastajanjem kopna stvaraju se preduvjeti za zadržavanje oborinskih voda u obliku tekućica i stajaćica. Na oblik i značajke pojedine tekućice i stajaćice, osim ge-

oloških izuzetno su značajni i utjecaji klimatskih te vegetacijskih značajki određenog područja, koji uz hidrološke značajke, dominantno utječu na karakteristike određene kopnene tekućice ili stajaćice.

Vode na kopnu znatno se razlikuju po svojim hidrološkim, kemijskim i ekološkim značajkama. Podijeljene su na tekućice i stajaćice, a opće je poznato da im je salinitet znatno manji nego u morima. U kopnene stajaćice ubrajamo jezera, močvare, bare i lokve, dok kopnenim tekućicama pribrajamo različite tipove vodotoka kao što su potoci i rijeke. Po veličini vodotoci mogu biti mali, srednji i veliki.

Kod duže kopnene tekućice razlikujemo njen izvorišni dio, gornji, srednji i donji tok. Svaki od tih dijelova razlikuje se po svojim određenim hidrološkim i fizikalno-kemijskim značajkama sa specifičnom faunom koja u njima obitava. Specifičnost se tekućica ogleda u podzemnim vodama jer svaki nadzemni tok prati znatno jači i snažniji

Mladen Kučinić i Vlatka Mičetić

Mladen Kučinić docent je na Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Vlatka Mičetić asistentica je na Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Reokreni izvori su izvori s jakim prozračivanjem vode i stjenovitom podlogom, koji izbijaju na površinu iz podzemlja pod pritiskom, neposredno tvoreći potok.

Odlikuju se znatnim pritiskom vode. Izviru direktno, najčešće iz stijena, a mogu biti i izuzetno jaki kada stvaraju tok tekućice odmah nakon izviranja vode.

Limnokreni izvori su izvori s jakim prozračivanjem vode i stjenovitom podlogom, koji izbijaju na površinu iz podzemlja pod pritiskom, neposredno tvoreći potok. Odlikuju se specifičnom hidrološkom značajkom koja se ogleda u stvaranju malog jezerca iz kojeg onda istječe početni dio tekućice. Postoje i određeni tipovi izvora koji se na području našega krša odlikuju karakteristikama koje ih smještaju između ove dvije osnovne skupine krških izvora.



podzemni tok tekućice. Na području našega krša jedna od značajki pojedinih tekućica, kao primjerice rijeke Korane ili Čikole, je presušivanje nadzemnog toka, ali podzemni, nevidljivi dio toka, postoji tijekom cijele godine. U stalnim podzemnim tokovima postoje brojne komunikacije različitih nadzemnih tokova.

Jedno od najzanimljivijih značajki kopnenih tekućica su izvori, odnosno izvorišna, gornja područja tekućica. U kontinentalnom dijelu Hrvatske izvori su najčešće maleni i mogu u odnosu na klimatske značajke i količine oborina mijenjati, u manjem opsegu, svoju lokaciju i tijekom ljetnog perioda presušiti. Spajanjem više malih vodotokova najčešće nastaju veće tekućice. Posebno su zanimljivi izvori na području dinarskoga krša koji obuhvaća veliki dio područja Hrvatske. Izvori na krškom području mogu se podijeliti u dvije osnovne skupine: limnokreni izvori i reokreni izvori.

U skupinu većih reokrenih izvora na području Hrvatske spada izvor Crne rijeke i potoka Plitvice na području Nacionalnog parka *Plitvička jezera*, izvor potoka Bužim u Lici, izvor rijeke Čabranke i Vitunjčice u Gorskom kotaru, rijeke Krupe u Dalmaciji te mnogobrojni manji izvori,

kako u krškom tako i u kontinentalnom području Hrvatske. Veći limnokreni izvori posebno su brojni u krškom području Hrvatske, npr. izvor rijeke Kupe i Kupice u Gorskom kotaru, izvor rijeke Kostelke i rijeke Gacke u Lici, rijeke Slunjčice i Dretulje na Kordunu, rijeke Cetine, Rude i Rumina u Dalmaciji i mnogi drugi. Postoji i određeni broj izvora koji svojim hidrološkim i geomorfološkim značajkama djelomično objedinjuju značajke, u manjoj ili većoj mjeri, limnokrenih i reokrenih izvora, najčešće ne izvirući direktno iz stijene, ali i ne tvoreći tipično jezerce značajno za limnokrene izvore. Primjeri takvih izvora su izvor Bijele rijeke na području Nacionalnog parka *Plitvička jezera* i izvor rijeke Krke kod Knina.

Najdublja su jezera limnokrenih izvora na području Hrvatske u svakom slučaju izvori rijeke Slunjčice, Rude, Cetine, Kupice i Kupe. Najdublji do sada izmjereni limnokreni izvor je glavni izvor rijeke Cetine (izvor Glavaš) s dubinom koja premašuje 120 m. Zapravo, dubina izvora nije do kraja niti izmjerena.

Na hidrološku povezanost područja krša Hrvatske sa susjednim područjima ukazuje činjenica, da najveća količina vode dalmatinske rijeke Cetine dolazi s područja Livanjskog polja i Ku-



presa u Bosni i Hercegovini. Isto tako, znatna količina vode izvora rijeke Rude dolazi iz akumulacije Buško Blato smještenog također u Bosni i Hercegovini.

Izvorišna područja, odnosno izvori, kontakti su s podzemnim vodama koje svojim izlaženjem na površinu tvore početne dijelove kopnenih tekućica. Izvori se odlikuju specifičnostima koje su određene geomorfološkim, pedološkim i hidrološkim značajkama određenoga područja na kome se nalaze. Budući da dolazi iz podzemlja, voda po svojim kemijskim i fizičkim parametrima pokazuje određene razlike u odnosu na vodu u ostalim dijelovima tekućice. Prvenstveno se to odnosi na temperaturu koja pokazuje izuzetno male varijabilnosti u odnosu na ostale dijelove toka, kao i manja količina otopljenog kisika. Kao primjer stalnosti temperature, mogu nam poslužiti dugogodišnja mjerenja temperature na izvorima Bijele i Crne rijeke na području Plitvičkih jezera u kojima temperatura varira od 7,4 do 7,7 °C. Tako mala kolebanja temperatura značajna su upravo za izvorišna područja jer je i temperatura podzemnih tokova stalna pa se to odražava i na temperaturu vode u izvorima.

Zbog navedenih specifičnih značajki izvorišnih područja i samih izvora, dolazi do formiranja i specifičnih životnih zajednica kako u samim izvorima, tako i u gornjim tokovima pojedine tekućice. Takve specifičnosti postoje i u drugim dijelovima tekućica jer tamo djeluju drugačiji fizikalno-kemijski faktori koji direktno utječu na sastav i strukturu životnih zajednica. Biološka posebnost izvora je velik broj životinjskih vrsta iz različitih skupina od kojih mnoge pokazuju endemski karakter te tako izvori postaju točke velike biološke raznolikosti na određenom području.

Dodatnu zanimljivost fauni izvora daju životinjske vrste koje su nošene vodenom strujom iz podzemlja *izbačene* u nadzemne tokove. Te vrste su u pravilu prave podzemne životinje, ali žive i u izvorišnim dijelovima tekućica kao primjerice neke vrste rakova roda *Niphargus*. Budući da su mnoge vrste beskralješnjaka u podzemlju dinarskoga krša endemske, tada njihov nalaz u izvorima dodatno obogaćuje i čini još posebnijom i zanimljivijom taj segment faune naših tekućica.

Jedna od najvažnijih značajki izvora je brzina vode koja uz temperaturu vode djeluje na formiranje živog svijeta, odnosno vrsta koje žive u

Bijela rijeka, Nacionalni park Plitvička jezera (gore lijevo)

Izvor rijeke Krke (gore)



Barijera Labudovac,
Nacionalni park Plitvička
jezera

izvorima. Osim vrsta koje se mogu pronaći i u drugim dijelovima pojedine tekućice, u izvorišnim dijelovima nalazimo vrlo često vrste koje kao primarno stanište imaju upravo izvore, te ih u drugim dijelovima tekućica ne možemo pronaći.

Vrlo često postavlja se pitanje što je izvor, a što izvorišno područje ili gornji tok pojedine tekućice. U pogledu određivanja područja izvora postoje različite osnove kojima se određuju. Dosadašnje prihvatljive teorije navode da su izvori područja gdje dolazi do promjena u temperaturnom režimu do 2 °C, dok nove spoznaje govore o temperaturnim varijabilnostima od 1 °C, a područje koje izvori obuhvaćaju iznose do 5 metara od početka izvora. Takvi rezultati uvjetovani su detaljnom analizom životnih zajednica koji se već nakon tako male udaljenosti znatno mijenjaju po svom sastavu vrsta, njihovoj gustoći, mikrodistribuciji, tipu staništa i slično.

Jedan određeni broj biologa posvetio se istraživanju faune izvora na području Hrvatske i dinarskoga krša. U skupinu najzanimljivijih organizama u izvorišnim područjima pribrajamo vodene kukce koji pripadaju redu *Trichoptera* (tulari). To su mali do srednje veliki kukci (od 2 do 3 mm, a najveći do 4 cm) koji u stadiju jajašca, ličinke i kukuljice u pravilu žive u vodi. Odrasli kukac izlijeće iz kukuljice i boravi na kopnu gdje se pari. Ženka nakon tog procesa polaže jajašca u vodu. Najzanimljiviji rod iz skupine tulara koji naseljava samo izvore i izvorišna područja, u pravilu planinskih potoka, je rod *Drusus*. Rod *Drusus* na području Europe broji više od sedamdeset vrsta i pripada među najbrojnije rodove tulara. Razlog tako velike brojnosti uvjetovan je upravo životom u izvorima i međusobnoj udaljenosti što dovodi do odvajanja populacija i procesa specijacije (specijacija – odjeljivanje i razvoj novih populacija, tj. nastanak novih vrsta. Naziva se i populacijska divergencija) čime nastaju nove vrste. Osim toga roda zanimljivi su i mnogi drugi rodovi kukaca, ali i ostalih životinja u izvorima kao jedinstvenom tipu staništa. Tako je primjerice na izvoru rijeke Čabranke pronađena i opisana 2007. godine, nepoznata vrsta za znanost koja je ime dobila upravo po izvoru rijeke gdje je nađena, *Rhyacophila cabrankensis*. Osobito zanimljive životinje u izvorima su vrste koje podzemna voda donese u gornje tokove, posebice iz skupine rakova.

Izuzev tulara, naročito su zanimljivi predstavnici najbrojnijeg reda kukaca – *Coleoptera* ili kornjaša. Većina kornjaša su kopneni kukci, ali ih se, otprilike deset tisuća, svrstava u vodene kukce. Veliki broj vrsta živi uz vodu, a preferencije ličinke i odraslog stadija se mogu znatno razlikovati. Neki predstavnici žive u vodi i kao ličinka i kao imago (odrasli stadij), a neki samo kao ličinka. Mnogi vodeni kornjaši odlažu svoja jaja u vodu, pokraj bilja ili u samo bilje, poput predstavnika porodice *Dryopidae*. Neki od tipičnih primjeraka porodice *Hydrophillidae*, također stvaraju zračne kolone unutar kojih će se razvijati mlade ličinke i to u ljetnim mjesecima. Zbog spomenutih karakteristika izvora i izvorišnog područja (stalna temperatura i što je važnije, količina kisika) postoje uobičajeni rodovi vodenih kornjaša koje tu nalazimo. To su primjerice rodovi *Elmis* i *Dryops* koji su samim time izvanredni bioindikatori za vode. Drugim riječima, spomenute rodove ćemo nalaziti samo u čistim i hladnim vodama pa će nam svojom prisutnošću, odnosno odsutnošću, mnogo toga reći o stanju u određenom tipu vodenih staništa.

Očuvanje izvora bi trebao biti jedan od prioriteta Hrvatske, posebice na prostoru dinarskog krša. Razlog tomu su biološke i geomorfološke komponente te izuzetno ispecifične pejzažne značajke izvora. I ne samo izvora, nego u što većoj mjeri svih vodotokova zbog očuvanja kvalitete vode i njene upotrebe, prvenstveno za piće. Potrebna je dobro isplanirana strategija očuvanja i održavanja, kako naših izvora tako i vodotoka, jer hidrološke značajke krša upućuju na jedinstveni i povezani sustav koji se manifestira mnogobrojnim nadzemnim tekućicama, ali i puno značajnijom hidrološkom komunikacijom u podzemlju. Zaštita tih segmenata prirodnih značajki Hrvatske, trebala bi biti jedna od bitnih i ograničavajućih smjernica u našem razvoju u budućnosti. Nikakva materijalna dobra ne mogu zamijeniti jedan dobar i kvalitetan izvor, vodu i faunu koja ga obilježava te simbol života i svih njegovih manifestacija koji jedan takav izvor, izvor života, može predstavljati. 🐞

Globalna kriza pitke vode

Kada bi svu vodu na Zemlji predočili ispunjenim vrčem volumena 10 L, slatkovodni dio bi jedva stao u čašu volumena 0,25 L iz koje bi nam za izravnu uporabu bila dostupna tek koja kap! Nažalost, ni ta kap nije raspodijeljena jednoliko, a za nju će se uskoro otimati sve veći broj stanovnika našeg planeta. Čini se kao da su riječi engleskog pjesnika iz 19. st. Samuela T. Coleridgea »Water, water everywhere, but not a drop to drink«, proročki upućene upravo naraštajima našega doba. Voda se u današnjem svijetu s pravom smatra ograničavajućim čimbenikom razvoja modernog društva, tj. naftom 21. stoljeća.

Potkrijepimo uvodni tekst brojkama. Voda je najrasprostranjenija mineralna tvar na Zemljinoj površini i prekriva približno 71% njene površine. Velika većina, preciznije 97,4% od ukupno procijenjenih 1385 milijuna km³, otpada na oceane i mora. Oko 2% je u formi leda, dok se samo

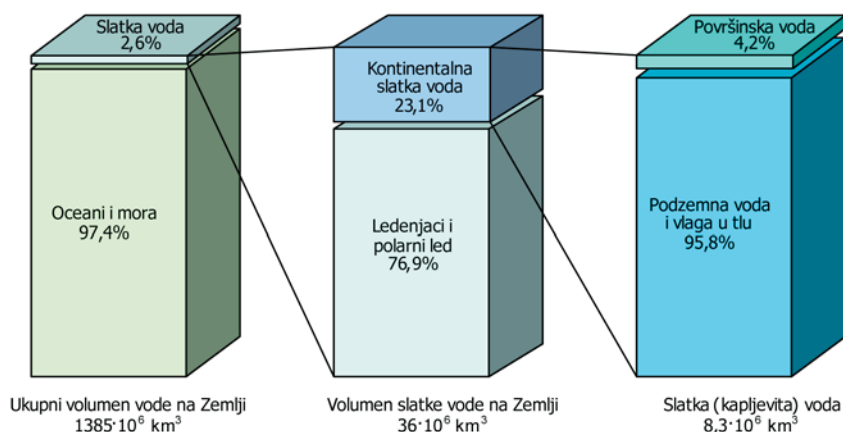
0,6% ukupnog volumena vode na Zemlji odnosi na kontinentalne slatkovodne resurse koji uključuju površinske i podzemne vode te vlagu u tlu. No, to je približno 8 milijuna km³. Kopnene zalihe površinske slatke vode na Zemlji iznose 350000 km³, a otprilike 13000 km³ vode nalazi se u atmosferi u formi vodene pare (Degremont, 2007). Nažalost, od sveukupnog volumena vode na Zemlji tek 0,014%, odnosno 200000 km³ preostaje kao raspoloživa količina slatke vode za ljudsku uporabu.

Kruženje vode u biosferi – hidrološki ciklus

Svi organizmi međusobno su povezani globalnim sustavima koji se još nazivaju i biogeokemijskim ciklusima. U tim sustavima molekule, atomi i ioni hranjivih tvari neophodnih za život, rast i reprodukciju organizama neprekidno kruže iz-

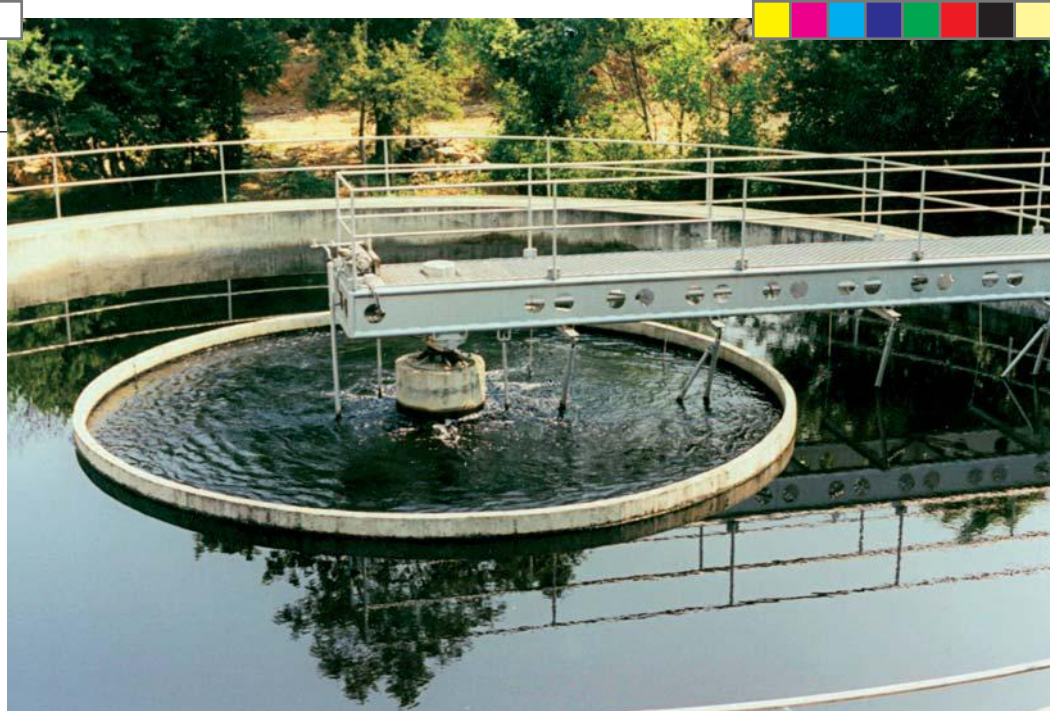
Hrvoje Juretić

Hrvoje Juretić viši je asistent na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Doktorirao je na temi *Pripreme vode visoke kvalitete* kao Fulbrightov stipendist.



Slika 1. Procijenjena distribucija vode na Zemlji

##potpis



među zraka, vode, tla i organizama. Ovi ciklusi uključuju niz manjih, također složenih ciklusa poput ciklusa ugljika, kisika, dušika, fosfora te hidrološki ciklus.

Hidrološki ciklus obuhvaća prikupljanje, pročišćavanje i raspodjelu zaliha vode na našem planetu. Voda evaporacijom, isparavanjem, napušta oceane i odlazi u atmosferu. Dio vode iz atmosfere u oborinama se vraća izravno u oceane. Preostali dio oborina završi na kopnu. To je pročišćena slatka voda. Evaporacija se također događa na jezerima, rijekama, tlu, ali i na snijegu i ledu te obuhvaća i sublimaciju. Evaporacija vode kroz sićušne pore u lišću biljaka naziva transpiracijom. Nadalje, postoji i evapotranspiracija, dakle spoj evaporacija, sublimacija i transpiracija. Naposljetku dolazimo do pet značajnijih procesa u hidrološkom ciklusu: kondenzacija, oborine, infiltracija, otjecanje i evapotranspiracija.

Prethodni odjeljak ćemo, kao i uvodni, potkrijepiti brojkama, Približno polovica Sunčeve energije utroši se za evapotranspiraciju oko 505000 km³ vode godišnje. Pritom 90% vode oborinama ponovno svoje mjesto nađe u oceanima i morima. Preostala količina od oko 50000 km³ vode padne na kopno. Njoj treba pridodati oko 60000 km³ oborina neoceanskog porijekla (zbog evaporacije s kopna) što čini godišnju količinu oborina od oko 110000 km³. Tu silnu količinu daju kapljice kiše i pahulja snijega. Kad bi se ta količina vode raspodijelila po površini Hrvatske, činila bi stupac visine od oko 2 km. Jedna trećina ukupnih oborina na kopnu, tj. približno 34000 km³ vode, vraća se u oceane rijekama i otjecanjem podzemnih voda.

Procijenjena vrijednost obnovljivih globalnih vodnih resursa (World Resources Institute) iznosi 54228 km³ godišnje. U tablici I. prikazana je godišnja raspodjela obnovljivih vodnih resursa

Obnovljivi vodni resursi		
Područje	Stanovništvo u milijunima	Vodni resursi m ³ /st./god.
Azija (bez Bliskog istoka)	3685	3948
Srednja Amerika i Karibi	191	6653
Europa	728	10686
Bliski istok i Sjeverna Afrika	470	1398
Sjeverna Amerika	337	16558
Oceanija	34	52674
Južna Amerika	385	44816
Podsaharska Afrika	785	6957
SVIJET	6615	8210

Tablica I. Prilagođeno iz Aktualni obnovljivi vodni resursi (World Resources Institute [online] <http://earthtrends.wri.org/text/water-resources/variables.html> [cited 2008-01-22]) <http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/shiklo-manov/summary/html/summary.html> (Igor Shiklo-manov – za one koje žele znati više!)

Posljedice	Sedimentacija	Eutrofikacija	Terminacija	Otopljenje	Zakiseljavanje	Mikrobiološka kontaminacija	Zasojavanje	Meta u trgovinu	Živa	Nemetan toksin	Pesticidi	Uglikovodici	Deficit mikronutrijenata
Sektor													
Poljoprivreda	•	•	•			•	•	•			•		
Urbane sredine	•	•	•	•		•	•	•			•	•	
Šumarstvo	•	•	•								•		
Hidroelektrane i akumulacije	•	•	•	•					•				•
Rudarstvo	•	•	•	•	•			•		•			
Industrije	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	

s obzirom na područje, pripadajuću populaciju te vrijednosti obnovljivih vodnih resursa po stanovniku godišnje.

Područja u kojima godišnje zalihe vode po stanovniku padnu ispod 1700 m³ označuju se kao područja koja doživljavaju vodni stres – stanje u kojima se pomanjkanje vode može često javljati. U područjima u kojima godišnje zalihe vode padnu ispod 1000 m³ po stanovniku, okolnosti su daleko ozbiljnije i štetno utječu na proizvodnju hrane i cjelokupni gospodarski razvitak. Prema analizi iz 1995. godine (The PAGE analysis), 41% tadašnje svjetske populacije, tj. 2,3 milijarde ljudi živjelo je u riječnim slivovima s manje od 1700 m³ po stanovniku godišnje od kojih je 1,7 milijardi obitavalo u uvjetima visokog vodnog stresa s godišnjim zalihama vode ispod 1000 m³ po stanovniku.

Obnovljivi vodni resursi Republike Hrvatske procjenjuju se na 105,5 km³/god. ili 23161 m³ po stanovniku godišnje. Indeks siromaštva vodom (WPI – *Water Poverty Index*) za Hrvatsku iznosi 68. Što je zapravo WPI? To je broj između 0 i 100 kojim se mjeri utjecaj nestašice vode i stvaranja potrebne količine vode za stanovništvo. Niže vrijednosti indeksa upućuju na nestašicu vode i slabiju vodoopskrbu. WPI se računa na temelju pet doprinosa – vodni resursi, dostupnost, kapacitet, potrošnja i okoliš. Za dodatne informacije o izračunu ovog indeksa pogledajte mrežnu stranicu <http://www.keele.ac.uk/depts/ec/wpapers/kerp0219.pdf>.

Tablica 2. Utjecaj ljudske aktivnosti po sektorima na kvalitetu vode (Water Quality for Ecosystem and Human Health, UNEP GEMS/ Water Programme, 2006.)

Kako ljudske aktivnosti utječu na hidrološki ciklus?

Hidrološki ciklus označava, dakle, stalno kruženje vode među dijelovima Zemlje. Molekule vode su stalno iste i znamo im kemijski sastav. Ali, voda kao tekućina koju pijemo i na druge načine koristimo, osim molekula vode uključuje i druge sastojke. Posebice je bitan utjecaj ljudi na sastav vode.

Tijekom minulih stotinjak godina, ljudski rod se uplitaio u Zemljin hidrološki ciklus na različite načine. Navedimo ukratko neke od svojstvenijih načina. Primjerice, prekomjerno zahvaćanje slatke vode iz rijeka, jezera i zdenaca. Kako podzemne vode kvalitetom uglavnom nadmašuju površinske, njihove zalihe se iscrpljuju u većoj mjeri, što u nekim gusto naseljenim ili intenzivno navodnjavanim područjima dovodi do snižavanja razine podzemne vode. U priobalnim područjima kao posljedica intenzivnog iscrpljivanja podzemnih voda može doći do prodora slane morske vode u vodonosnike.

Zatim, na hidrološki ciklus, ljudi utječu i uklanjanjem vegetacije. Posljedice su povećano otjecanje voda i odgovarajuće smanjenje infiltracije zaslužne za napajanje podzemnih voda, povećavanje opasnosti od poplava i ubrzanje erozije tla.

Nadalje, kvaliteta vode se mijenja zbog davanja nutrijenata (fosfati i nitrati iz gnojiva) i drugih sličnih, sporo razgradivih ili nerazgradivih tvari. Time se utječe na promjenu prirodnih procesa kojim se pročišćavaju vode.

U tablici 2. naznačene su promjene vode zbog različitih ljudskih djelatnosti. Neke promjene mogu djelovati neuobičajeno, poput pojave povećane količine žive u akumuliranim količinama vode.

Nastavimo s pojavama kojima ljudi mijenjaju hidrološki ciklus. **Transport sedimentata** u površinske vode posljedica je aktivnosti vezanih uz iskorištavanje zemljišta i industriju. Povećanje unosa sedimentata u vodne sustave nepovoljno utječe na fizikalno-kemijske karakteristike voda. Tako povišena mutnost smanjuje količinu Sunčeve svjetlosti i tako utječe na proces fotosinteze; može izravno naštetiti ribama iritiranjem škrga; odnosno neizravno smanjenjem uspješnosti riba, vizualnih predatora. Vrlo fini sedimenti (promjera manjeg od šezdesetak mikrometara), često su kemijski aktivni i stupaju u razne kemijske reak-

cije. Brojni toksični spojevi kao što su pesticidi i njihovi razgradni produkti, lako se talože u mulj, glinu i organski ugljik koji se prenose rijekama. Konačno, zbog veće količine sedimenata može porasti temperatura površinskih voda (tzv. termalna polucija, a o njoj je više napisano u posebnom odjeljku) zbog povećanog upijanja svjetlosti.

Eutrofikacija je proces unosa hranjivih tvari u vodene ekosustave, tj. obogaćivanje površinskih i podzemnih voda nutrijentima – spojevima koji sadrže dušik i fosfor. Na prvi pogled unos hranjivih tvari može djelovati korisno, ali ne previše jer ni to nije dobro. Zbog veće količine hranjivih tvari nastupa pretjerani rast algi, nakon čega slijedi njihovo pojačano raspadanje. Sve je praćeno iscrpljivanjem kisika zbog čega dolazi do pomora riba i drugih životinja. Posljedica eutrofikacije na ljude su pogoršanje okusa i mirisa vode u sustavima javne vodoopskrbe, proizvodnja toksina modrozelenih algi i sl.

Termalna polucija je promjena temperature površinskih voda uzrokovana ljudskim utjecajem. Najistaknutiji primjer je promjena temperature vodenih ekosustava nizvodno od termoenergetskih i nuklearnih postrojenja. Zagrijana rashladna voda iz ovih postrojenja za proizvodnju električne energije može povisiti lokalnu temperaturu vode za više stupnjeva celzijusa. Temperatura vode je iznimno značajna za živa bića jer utječe na neke životno važne procese. Na primjer, temperatura vode utječe na stupanj zasićenja vode pojedinim plinovima (otopljeni kisik, CO₂ i dr.), kao i na metabolizam organizama.

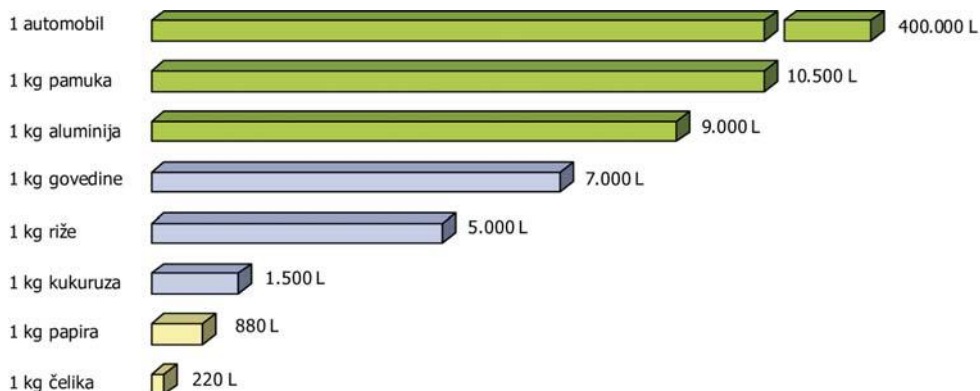
Zakiseljavanje površinskih voda javlja se kao posljedica istjecanja kiselih voda iz uglavnom napuštenih rudnika ugljena i metala (engl. *acid mine drainage*), istjecanja neobrađenih in-

dustrijskih otpadnih voda i emisija sumpornih i dušikovih oksida u atmosferu. Budući da se pH-vrijednosti površinskih voda pretežno kreću u rasponu od 6 do 8,5, spuštanje pH-vrijednosti vode ispod 6, može ozbiljno poremetiti vodeni ekosustav. Pored toga, kisele vode mobiliziraju metale (npr. aluminij), koji mogu biti toksični za pojedine vrste.

Mikrobiološka kontaminacija prvenstveno nastaje u poljoprivrednom sektoru i urbanim sredinama. Epizodnog je karaktera, tj. javlja se u razdobljima povoljnim za mikrobiološki rast. Površinske i podzemne vode mogu biti inficirane mnoštvom patogena. Međutim, ispitivanje i praćenje svih patogena nije moguće zbog visokih popratnih troškova i tehničkih poteškoća u detektiranju organizama pri niskim koncentracijama u kemijski složenom sustavu poput površinskih voda. Stoga se u pravilu koriste indikatorski organizmi. Tako određena koncentracija bakterije *Escherichia coli* ukazuje na postojanje fekalne kontaminacije. Ukupni koliformi upućuju na zagađenije nefekalnog porijekla.

Zasoljavanje vode, salinizacija, jedan je od očividnijih fenomena degradacije njene kvalitete. Tijekom prošlog stoljeća mnogi vodonosnici i riječni slivovi postali su neprikladni za korištenje, zbog povišenja koncentracija soli u vodi. Salinizacija je globalna pojava koja mijenja kemijski sastav vodnih resursa, degradira kvalitetu vodoopskrbe osobito u poljoprivrednom sektoru, pridonosi gubitku bioraznolikosti, potiče dominaciju halotolerantnih vrsta, utječe na gubitak plodnog tla i propadanje poljoprivredne i ribarske industrije te mijenja lokalne klimatske uvjete.

Metali u tragovima i živa štetno djeluju na organizme koji žive u vodi. Uzrokuju smanjenu



Slika 2. Količina vode potrebna za proizvodnju nekih uobičajenih poljoprivrednih i industrijskih proizvoda (G.T. Miller, *Living in the Environment*)



###potpis

brzinu rasta i reprodukciju, a ponekad i smrt organizma. Također nepovoljno utječu na zdravlje ljudi zbog biokoncentracije i bioakumulacije u hranidbenom lancu. Pritom razlikujemo anorgansku živu i metil živu. Anorganska živa se transformira u metilživu mikroorganizmima. Metilživa se lagano apsorbira i bioakumulira u izloženim organizmima te ulazi u hranidbeni lanac.

Pesticidi se često primjenjuju u poljoprivrednom sektoru, šumarstvu i urbanim sredinama. Razgrađuju se u okolišu tvoreći nusprodukte od kojih su neki izrazito toksični. Akutno toksično djelovanje može utjecati na preživljavanje i reprodukciju vrsta u vodi te dovesti do gubitka bioraznolikosti. Organizmi koji žive u vodi mogu koncentrirati ove kemijske spojeve u svojim tkivima. Biokoncentracija može voditi k biomagnifikaciji, procesu u kojem se koncentracije pesticida i drugih štetnih kemijskih spojeva sve više uvećavaju prema vrhu hranidbenog lanca. Kronično djelovanje ovih tvari na organizme u vodi očituje se u pojavi tumora, lezija, reproduktivnoj inhibiciji, poremećaju imunološkog i endokrinog sustava, oksidacijskom oštećenju stanica i deformacijama.

I tu još uvijek nije kraj utjecaja ljudi na hidrološki ciklus. **Nemetalni toksini** poput dioksina,



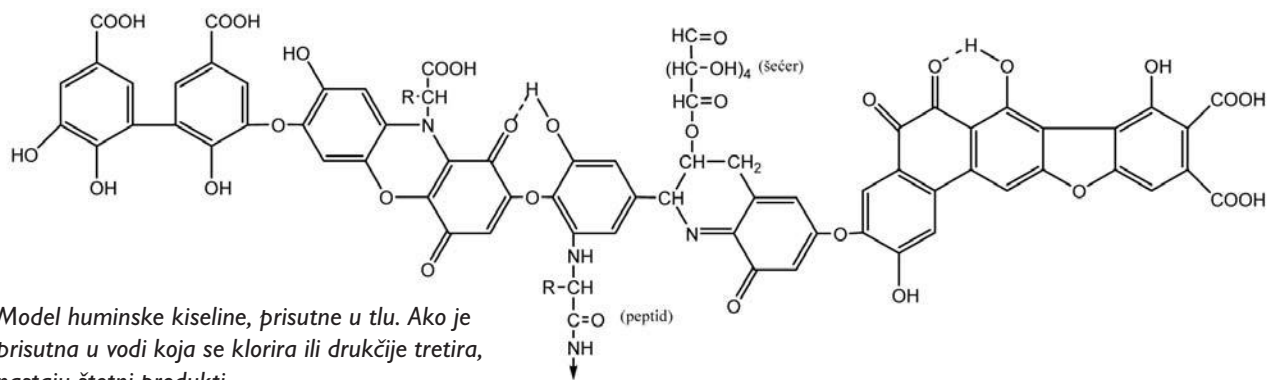
Značajnija fizikalno-kemijska svojstva vode

Temperatura vode utječe na brzinu kemijskih reakcija, metabolizam organizama u vodi i na topivost plinova, a razlikuje se sezonski s promjenom temperature zraka. Organizmi koji žive u vodi izrazito su osjetljivi na promjenu temperature čak i umjerene promjene temperature vode mogu dramatično utjecati na život u vodi (bakterije, alge, beskralješnjaci i ribe).

Otopljeni kisik se često uzima kao prvi pokazatelj kvalitete vode jer vode bogate otopljenim kisikom uglavnom pokazuju i druge značajke kvalitete. Kisik ulazi u vodu difuzijom preko njene površine, brzim premještanjem vode, kao kod slapova i vodopada (aeracija), te kao nusprodukt fotosinteze. Sadržaj otopljenog kisika u vodi snažno ovisi o temperaturi vode i u manjoj mjeri o atmosferskom tlaku. Naime, sadržaj bilo kojeg plina otopljenog u vodi je obrnuto proporcionalan temperaturi vode porastom temperature vode opada sadržaj otopljenih plinova. Salinitet također utječe na sadržaj otopljenog kisika u vodi na način da se njegova koncentracija smanjuje porastom sadržaja soli u vodi.

pH-vrijednost vode se određuje kao negativni dekadski logaritam molarne koncentracije vodikovih iona (odnosno H_3O^+ iona) tj., $pH = -\log [H^+]$. Samo je mali dio molekula H_2O disociran u vodi i pri $25\text{ }^\circ\text{C}$ množina tih disociranih molekula u litri iznosi 10^{-7} mol. Ako je sadržaj vodikovih iona u vodi veći od sadržaja hidroksidnih iona, voda se smatra kiselom i njena pH-vrijednost se nalazi ispod 7. Iznad pH 7, voda se nalazi u lužnatom području jer dominiraju OH^- ioni. S druge strane, **alkalitet** vode pruža informaciju o puferskom kapacitetu vode sadržaj karbonata (CO_3^{2-}), hidrogenkarbonata (HCO_3^-) i hidroksidnih iona (OH^-) mjera su otpornosti vode na promjenu njene pH-vrijednosti. Dakle, što je veći puferski kapacitet vodi će se manje mijenjati pH zbog određene količine dodanih tvari, što je itekako važno za stabilnost metabolizma živih bića.

Niz je svojstava koje se određuje za vodu, poput mutnoća, količine suspendirane tvari, saliniteta i specifične vodljivosti, tvrdoće vode, nutrijenta, metala i organskih tvari.



Model huminske kiseline, prisutne u tlu. Ako je prisutna u vodi koja se klorira ili drukčije tretira, nastaju štetni produkti.

Sublimacija – prijelaz tvari iz čvrstog u plinovito stanje bez prethodnog prijelaza u tekućinu.

Evaporacija – prijelaz tvari iz tekućeg stanja u plinovito.

Transpiracija – proces isparavanja vode kroz biljku preko lista, stabljike i drugih njezinih dijelova. Oko 70 do 100% ukupne količine isparene vode otpada na aktivnu transpiraciju kroz puči (stomata), a ostatak na pasivnu, koja teče preko biljne opne, kutikule.

Evapotranspiracija – Gubitak vode iz tla ili vegetacije. Potencijalna evapotranspiracija se može izračunati iz fizikalnih odlika okoliša, kao što je sunčevo zračenje, brzina vjetra i temperatura. Stvarna evapotranspiracija će obično pasti iza potencijalne, ovisno o dostupnosti vode iz padalina i njenom zadržavanju u tlu.

Količina obnovljivih vodnih resursa raspoloživih pojedinoj zemlji – maksimalna teoretska količina koja se definira kao zbroj unutarnjih i vanjskih obnovljivih vodnih resursa. Unutarnji obnovljivi vodni resursi sastoje se od prosječnih godišnjih riječnih tokova i napajanja podzemnih voda generiranih endogenim oborinama. Vanjski obnovljivi vodni resursi dio su ukupnih obnovljivih vodnih resursa koji nisu generirani unutar zemlje. Ti resursi koji uključuju površinsku i podzemnu vodu uzvodnih zemalja te dio vode pograničnih jezera ili rijeka.

furana i policikličkih aromatskih ugljikovodika (engl. PAHs – Polycyclic Aromatic Hydrocarbons), nastaju nepotpunim izgaranjem u proizvodnim procesima, pri spaljivanju otpada i u požarima. Ovi izrazito toksični spojevi štetno djeluju na organizme u vodi i mogu uzrokovati pojave zloćudnih tumora, poremećaj endokrinog sustava, naslijeđena genetska oštećenja i reproduktivne smetnje. S obzirom na to da su postojani, tj. otporni na razgradnju, svrstavaju se u skupinu postojećih organskih polutanata (POPs – Persistent Organic Pollutants).

Kako koristimo svjetske zalihe slatke vode?

Približno 70% ukupno zahvaćene vode diljem svijeta koristi se za navodnjavanje, 18% svjetskih obradivih zemljišta i proizvodnju, približno 40% svjetske hrane. Industrije potroše godišnje oko 20% zahvaćene vode, a urbana područja i domaćinstva preostalih 10%. Poljoprivreda i proizvodni procesi ogromni su potrošači slatkovodnih resursa (slika 2.).

Pokazatelji kvalitete vode

Upravljanje kvalitetom vode doprinosi izravno i neizravno ostvarenju svih osam Milenijskih ciljeva razvoja definiranih Milenijskom deklaracijom Ujedinjenih naroda, mada je ono što ostavlja premalo prostora povezano sa sedmim Milenijskim ciljem razvoja – osiguranjem održivosti okoliša. Pokazatelji kvalitete vode mogu se primijeniti za praćenje napretka u postizanju Milenijskih ciljeva razvoja.

Kvaliteta vode se u pravilu određuje uspoređivanjem fizikalno-kemijskih svojstava uzoraka vode s vrijednostima propisanim smjernicama ili standardima. Na primjer, smjernice i standardi koji propisuju kvalitetu pitke vode omogućuju opskrbu zdravstveno ispravnom vodom za piće (primjerice, Smjernice Svjetske zdravstvene organizacije koje se mogu naći na web stranici http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq0506.pdf ili Direktiva o kvaliteti vode za piće – 98/83/EC, čiji se neslužbeni prijevod na hrvatski jezik može naći na internetskim stranicama Hrvatskih voda <http://www.voda.hr/Default.aspx?sec=201>). U Republici Hrvatskoj trenutno je na snazi Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće iz 2004. godine (N.N. 182/04). Osim za pitku vodu, postoje i druge smjernice poput onih kojima se osigurava odgovarajuća kvaliteta vode za rekreacijske, poljoprivredne i industrijske aktivnosti. ☺

Voda i društveni sustav

Priroda i društvo su dva sustava za koje nam se čini da su jasno odvojeni. Ova se dva sustava uči razlikovati od škole, razlikuje ih se u većini djelatnosti te se tako stvara stav kako su priroda i društvo nešto što je jedno od drugoga odvojeno i neovisno.

Postoji puno primjera koji pokazuju kako klima, konfiguracija terena, obilje ili nestašica prirodnih resursa, vulkani i oceani i dr. utječu na oblikovanje i održanje određenog društvenog sustava. A to vrijedi i za vodu. Riječ je o opsežnoj temi, a za ovu priliku ilustrirat ćemo je pomoću nekoliko primjera.

Voda zauzima veliki dio zemljine ekološke sfere i nužna nam je za opstanak. Zbog te svoje univerzalne važnosti unutar svih društvenih sustava, od vremena kad možemo registrirati ljudsku povijest, uočavamo kako voda ima važno mjesto u oblikovanju socijalnog, političkog i religijskog sustava.

Hidraulička društva

Karl August Wittfogel (1896.-1988.), američki povjesničar njemačkog porijekla bavio se orijentalnim despocijama ili tzv. hidrauličkim društvima u svojoj najpoznatijoj knjizi *Oriental Despotism: A Comparative Study of Total Power (1957)*. Oslanjajući se na radove sociologa Maxa Webera o Kini i Indiji kao o »hidrauličko-birokratskim državama«, analizirao je ulogu navodnjavanja u starim civilizacijama Azije. Osim toga, opisao je strukturu birokratskog aparata koji je bio potreban da se tako veliki poduhvati i provedu, te kakav je to imalo utjecaj na tadašnje društvo i oblik drža-

ve. Njegova su istraživanja pokazala da su mnoge azijske civilizacije gradile i održavale velike i kompleksne sustave za navodnjavanje. Kako bi to postigle, država je morala imati na raspolaganju i prema potrebi mobilizirati, velike količine jeftine (robovske ili prisilne) radne snage. To je pak nadalje zahtijevalo kompleksni sustav obrazovanih i pismenih birokrata koji su takve projekte provodili i kontrolirali. Takva je hijerarhijska struktura mogla biti stabilna samo tada kada je niti jedna društvena skupina nije dovodila u pitanje. Zbog toga su sve te civilizacije (stari Egipat, Mezopotamija, Indija, Kina...) bile despociji – moćne, stabilne i bogate.

Religija, mitovi i bajke

U mnogim se kulturama vjeruje da božanska bića obitavaju u vodi ili da su na neki način blisko povezani s vodom. Tako su se prvi moreplovcima molili Neptunu za sigurno putovanje i mirno more. Druidi su vjerovali da je voda sveto mjesto prelaska u podvodni svijet gdje vlada Posejdon, a magla i sumaglica su posrednicima između tih dvaju svjetova. U mnogim kulturama se danas vjeruje u bogove i duhove mora i rijeka.

Većina religija koristi vodu u svoje simboličke svrhe. Kada je osoba potopljena u vodi ili joj se voda izljeva na glavu, simbol je to povratka izvornom *duhu* ili prapočetku. Na ovaj je način čovjek očišćen, ostaje bez grijeha i može krenuti *ispočetka*. Voda se često koristi i u trenucima smrti. Jedno od vjerovanja je da se u susret *stvoritelju* može krenuti tek kada je tijelo očišćeno od svijeta gri-

Gabrijela Sabol



##potpis

jeha. Tako se u mnogim kulturama mrtve pokapa u jezerima ili morima, što simbolizira ponovni povratak početku. Ovi rituali povezani s trenucima života i smrti izuzetno su važni za zajedništvo ljudi. Zajednica u obredu *procesira* neki traumatični doživljaj – bilo to rođenje ili smrt, vjenčanje ili suđenje. Svaki od tih događaja je moguća kriza, možda pogubna za stabilnost neke zajednice. Zato je potrebno zajednicu svaki put ispočetka, korištenjem rituala koji su uvijek isti (stilizirani) postupci, umiriti i potvrditi njezino jedinstvo.

U svakoj kulturi, rasi i religiji postoje bajke povezane s vodom. Mnoga božanska bića dolaze iz mora, dok neka druga žive pored vode. Neki mitovi opisuju oluje koje nastaju kada morske vještice sjedeći uz more češljaju svoje kose, kao što su česti i likovi morskih ljepotica pa se tako morske sirene javljaju u pričama usamljenih ribara i mornara na dugim putovanjima. Grci su imali mnogo bogova i božica, a jedna od najpoznatijih je Afrodita, boginja ljubavi, za koju priča govori da je rođena iz morske pjene. Rimsku božicu Dianu poštovali su kao božicu plodnosti, a bacanje novčića u izvor vode kao dar donosilo bi ostvarenje želja. Još i danas ljudi bacaju novčiće u fonta-

ne, bez obzira nalaze li se one u *šoping* centrima, poslovnim zgradama ili na javnim trgovinama.

U staroj Grčkoj postojale su situacije kada je trebalo donijeti neku tešku odluku i tada bi se u većini slučajeva koristile usluge proročišta. Smatralo se da mrtvi koriste vodu kao sredstvo za prenošenje poruke. Mediji, osobe koje su trebale stupiti u kontakt s onostranim, u podzemnim su špiljama najprije danima, a ponekad i tjednima meditirali, a zatim ih se dovodilo pred veliku posudu ispunjenu vodom. Naime vjerovalo se da će u vodi imati vizije predaka koji ih mogu mudro savjetovati, kao i vizije budućih događaja.

Priče o morskim čudovištima, zmajevima ili sjedinjavanje opasnih životinja koje vrebaju iz mora, samo su maleni dio onoga što je svatko od nas čuo u usmenom predanju naših starijih.

Mistika i duhovnost povezani s vodom nisu stvar davnih vremena, prošlosti i organizirane religije. Mnogi oblici vjerovanja u nadnaravno povezano s vodom, naziru se i u moderno vrijeme. Slavni psihijatar Freud, smatrao je da voda predstavlja podsvjesno, žensku stranu osobe, odnosno majku. Nije teško dokučiti izvore takvih interpretacija. U svojoj slavnoj knjizi *Tumačenje snova* iz 1900. godine, u kojoj analizira i pojašnjava



va snove svojih pacijenata, snove o vodi vidi kao izuzetno značajne i pojašnjava ih kao iskazivanje snažnog majčinskog instinkta ili afirmacijom potisnutih dijelova psihe.

Vodu kao značajan simbol danas nalazimo i u društvima koja se diče svojom svjetovnošću. Možemo primijetiti da se u suvremenoj ikonografiji (primjerice filmu) često koristi motiv vode kako bi se prikazale snažne emocije. Također, u marketingu se scene slapova, tirkiznog tropskog mora ili planinskog potoka često koriste kako bi se osnažila neka prodajna poruka, a to je upravo zbog izrazitog emotivnog učinka koji voda ima na ljude.

Povijest kupališta – susret duhovnog i tjelesnog

Osim svoje simbolične funkcije, voda, naravno ima i sasvim praktičnu primjenu. Mada je i kupanje, kako će priča pokazati *evoluiralo* od pukog čišćenja tijela, nečistoće do čišćenja duše.

Već su u trećem stoljeću javna kupališta postala više nego popularna. Ona nisu bila namijenjena svima, već odabranoj eliti koja je tako oblikovala i potvrđivala svoj identitet. Stari Rimljani su pred-

njačili u broju, veličini i opremljenosti kupališta. Ondje su sklapani poslovi, ali se i ogovaralo, jelo, pilo i stupalo u seksualne veze. Arheološki ostaci pokazuju da su neka kupališta bila toliko velika i luksuzna da su najvjerojatnije sadržavala i dvorane za predavanje, umjetničke galerije, sobe za meditaciju ili molitvu. Osim toga, bilo je tu i puno malih apartmana za *osobne potrebe*.

Veća kupališta su uvijek kombinirala lječilišnu praksu s zabavom, društvenim događanjima i njegovanjem tijela. Bio je običaj da se vojnici poslije bitke ili rata tamo oporavljaju i pripremaju za ponovni ulazak u društvo. Tu su mogli zaliječiti i svoje ratne rane, jer su lječilišta zapošljavala i tada najbolje liječnike. Većina tih kupališta je bila, sudeći prema arheološkim ostacima, zaista spektakularna, a mogla su najednom primiti i do 6 000 kupača. Elita je, osim toga, sa sobom dovodila i posluhu koja je obavljala razne poslove, posluživala im hranu ili ih masirala.

Mada su Grci i Rimljani otkrili čari kupanja negdje u isto vrijeme, njihovi su običaji u kupanju bili različiti. Rimljani su se kupali da bi bili zdravi i lijepi, a Grci su smatrali da jedino žene mogu zaroniti cijelo tijelo u vodu. Za Grke je funkcija vode bila očistiti tijelo nakon cjelodnevnog rada

##potpis

ili pripremiti ga za sudjelovanje u nekom poslu, filozofskoj raspravi ili za sudjelovanje u bitci.

Grci su sagradili puno lijepo dizajniranih i ukrašena kupališta, ali u daleko manjoj mjeri od onih rimskih. Turci su, opet, imali svoju inačicu luksuznog kupališta, elitno mjesto opuštanja u vrućim kupeljima, okruženi zlatom i srebrom, ćilimima i tapiserijama. U muslimanskome svijetu postoji odredba i običaj da je potrebno očistiti svoje tijelo prije ulaska u džamiju i prije molitve, tako da nije bila rijetkost da se kupalište nalazi u istoj ulici kao i džamija.

Ipak, sjaj i slava kupališta nije dugo trajao. Voda je brzo prenosila bolesti poput kuge i drugih epidemija koje su se brzo proširile Europom i Engleskom. Prvi akvadukti bili su rađeni od olova, za koje se kasnije utvrdilo da je toksično. Osim što su ljudi obolijevali od zaraznih bolesti ili trovanja, naglo se širila i neplodnost. Vrlo je brzo otkrivena veza između tih pojava i vode iz kupališta pa su polako zatvarana i napušтана.

U kasnom 16. stoljeću te narednih dvjestotinjak godina, kupanje je izgubilo na popularnosti. Jedan su razlog bile zarazne bolesti koje su se lako širile vodom, a drugi je bilo jačanje ugleda i moći katoličke crkve. Ona je, naime, osuđivala *grešno ponašanje* koje nije bila rijetkost u kupalištima, a posljedica kojeg je bio i zabrinjavajući

porast broja izvanbračne djece. Takvoj se je *ne-moralnoj* praksi trebalo stati na kraj. Jačao je novi kršćanski trend koji je osuđivao zaokupljenost vlastitim tijelom i njegovom njegom kao slabost i grijeh. Zanemarivanje vlastitog tijela bio je dokaz uzvišenog duha i duhovne čistoće. Osim toga, vjerovalo se da nečistoća čini tijelo otpornijim na bolesti.

Ovo je vjerovanje brzo došlo u pitanje jer je kuga ponovno poharala Englesku početkom 19. stoljeća i tad je zaključeno da bi svakako trebalo uvesti vodu u sve domove jer kao što je dio problema, tako je voda djelom rješenja za zarazne bolesti. Nakon te spoznaje utrošeno je puno vremena i različitih saznanja kako bi Engleska postala vodećom zemljom u *kupaonskoj tehnologiji*. Voda je ponovno postala opće dostupna, a pojavili su se i popularizirali novi načini ozdravljenja. Voda je ponovno liječila sve – od tifusa do vrućice.

Porast popularnosti i zanimanja za toplicama je učinila svoje pa su hidroterapija i termalno liječenje podučavani i u medicinskim školama. Odlazak i terapija u toplicama se danas, u nekim Europskim zemljama (pa i Hrvatskoj), propisuju bolesnicima u okviru standardnog vladinog zdravstvenog programa.

##potpis



##potpis



Diljem svijeta ljudi se danas slično odnose prema vodi svjesni da im ona omogućava čistoću, zdravlje pa i ugodno druženje.

Ekonomija i moderna mitologija

Voda danas ima i vrlo značajan ekonomski učinak. S jedne strane nestašica vode je pokrenula razvoj tehnologija koje će omogućiti učinkovitije korištenje vode, navodnjavanje i desalinizaciju. Voda je pretvorena u strateški resurs. Nije nevjerojatno u bliskoj budućnosti očekivati da će se umjesto ratova za naftu voditi ratovi za vodu. Pojedine nacionalne ekonomije temelje svoj ekonomski napredak na turizmu, nudeći turistima svoje more.

Valja napomenuti još jedan fenomen čiji su ekonomski efekti toliko vidljivi, da ga valja promotriti s nekoliko stajališta. Prije tridesetak godina pitka voda u bocama, gotovo da nije niti postojala, a danas je to jedan od unosnijih poslova. Amerikanci su samo prošle godine na vodu u boci potrošili 15 milijardi dolara, a ove će godine potrošiti i milijardu više. Ove i slične brojke zasigurno vrijede i za Europu, a u sve većoj mjeri i za Hrvatsku.

Flaširana voda je hranidbeni, marketinški i modni fenomen novoga doba. Činjenica da je pitka voda iz vodovoda najkontroliranija namirnica koju konzumiramo, no ipak se sve češće i u sve većoj mjeri uz znatno više utrošenog novca, kupuje voda u boci. Analitičari predviđaju da će, ako se nastavi ovim tempom za desetak godina prodaja flaširane vode nadmašiti prodaju gaziranih pića. Boca od pola litre vode u ruci postala je simbol. Ljudi koji konzumiraju *brendiranu* vodu u boci poručuju sebi i svojoj okolini da se brinu za svoje zdravlje i kako imaju dovoljno novaca da si je mogu priuštiti što nadalje govori kako imaju dovoljno stila i ukusa izabrati *pravu* vodu. Voda je postala kao i vino. Znalci tvrde da voda *Fiji* nije ista kao voda *Evian*, *Perrier* ili *Jana*. Neki osuđuju ovaj trend i nazivaju ga snobizmom. Jer, dok je nama u Europi i Sjevernoj Americi voda dostupna i praktički besplatna, u cijeloj Africi i velikom dijelu Južne Amerike to nije slučaj.

Voda bez sumnje predstavlja važan faktor u oblikovanju i održanju društvenog sustava. A kako voda s vremenom poprima i nova simbolička, strateška i geopolitička značenja, vjerojatno je da će se njezin utjecaj na društveni sustav nastaviti. 🗨

Tko želi znati više:

Wittfogel, Karl A. (1957.) *Oriental Despotism: A Comparative Study of Total Power*. New Haven: Yale University Press.

<http://www.waterhistory.org/>

Strang, V (2004.) *The Meaning of Water*. Berg Publishers.

<http://witcombe.sbc.edu/water/>



Urbana revolucija

Udio urbanog stanovništva u svijetu je ove godine dostigao brojku od 50%. Prema UN-ovim procjenama do 2030. godine ta brojka trebala bi se povećati na 60%, a do sredine ovog stoljeća i do 70%.

Ivan Čipin

Ivan Čipin, asistent na Ekonomskom fakultetu, Sveučilišta u Zagrebu na Katedri za demografiju.

Goran Jovanić

Goran Jovanić, student na Ekonomskom fakultetu, Sveučilišta u Zagrebu, studiju Ekonomije, smjeru Makroekonomije.

O čemu je zapravo riječ?

2008. godina bit će zapamćena po jednoj činjenici koju su temeljiti statističari iz Ujedinjenih naroda uredno izračunali i objavili. Naime, 2008. godina je prema podacima Ujedinjenih naroda iz *World Urbanization Prospects*, prekretnica u smislu udjela urbanog stanovništva koje živi na zemlji. O čemu je zapravo riječ? O tome da je po prvi

puta u povijesti, a gotovo sigurno i posljednji put, udio urbanog stanovništva na svijetu prešao granicu od 50% te će prema svim relevantnim procjenama i prognozama nastaviti svoj nepovratni put rasta barem do sredine 21. stoljeća. Uistinu, u pravu su oni stručnjaci koji gore navedenu pojavu nazivaju »urbana revolucija«, unatoč tome što arheolozi i antropolozi smatraju da je proces urbane revolucije započeo daleko u prošlosti, na

Odabrane definicije:

- A) **Urbano** ⇒ naselje ili regija definira se kao urbana po nacionalnim statističkim kriterijima
- B) **Urbanizacija** ⇒ proces tranzicije iz ruralnog u urbano društvo. Statistički, urbanizacija je reflektirana kao povećanje udjela stanovništva u ukupnoj populaciji koje živi u područjima koje su definirane kao urbana
- C) **Razina urbanizacije** ⇒ postotak od ukupnog broja urbanog stanovništva
- D) **Stopa rasta urbanizacije** ⇒ stopa po kojoj raste urbano stanovništvo
- E) **Urbani rast** ⇒ Povećanje broja stanovnika koji žive u gradovima, mjereno u apsolutnim ili relativnim terminima
- F) **Priradni prirast** ⇒ razlika između broja rođenih i broja umrlih u određenoj populaciji
- G) **Urbana tranzicija** ⇒ prelazak sa većinski ruralnog na većinski urbano društvo

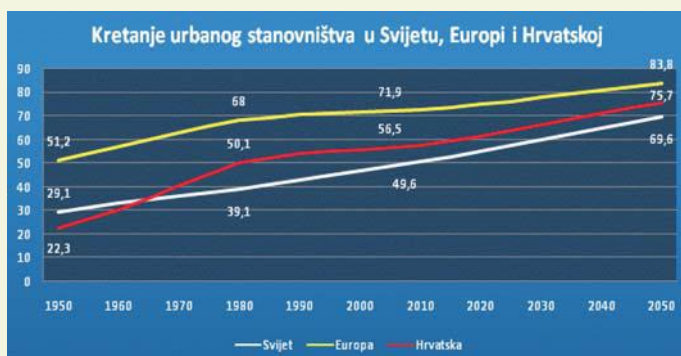
Gradovi u Hrvatskoj

U ovome trenutku u svijetu 84% urbane populacije živi u malim i srednje velikim gradovima, dok u Hrvatskoj 56% urbane populacije živi u malim i srednje velikim gradovima što čini 97,62% ukupnog broja gradova u Hrvatskoj. Trend je u Hrvatskoj živjeti u velikim

gradovima, tako u tri najveća grada (Zagreb, Split i Rijeka) živi 44% stanovnika i to samo u 2,38% gradova. Samo u Zagrebu, prema popisu stanovništva iz 2001. godine živi 30% urbanog stanovništva

tva Hrvatske. Ako pretpostavimo da je Zagreb za Hrvatske prilike megagrad, onda možemo reći da u odnosu na svijet kod nas dvostruko više urbanog stanovništva živi u megagradovima.

	Broj stanovnika	Udjel u ukupnom stanovništvu (%)	Broj gradova	Udjel u ukupnom broju gradova (%)
Do 10 000 stanovnika	357.659	16	89	70,63
10 001 - 50 000,	628.649	28	30	23,81
50 001 - 100 000,	277.203	12	4	3,17
101 001 - 250 000,	318.940	14	2	1,59
250 001 i više stanovnika,	691.724	30	1	0,79



prostoru drevne Mezopotamije, prostoru današnjeg Iraka. Dakle, urbana revolucija nije nova pojava, a taj je termin uveo australski arheolog Vere Gordon Childe i on označava proces u kojemu se mala naselja s nepisanim agrarnim stanovništvom transformiraju u socijalno kompleksne, civilizirane urbane sredine. Za razliku od prošle urbane revolucije koja je za sobom ostavila mnoga čovjekova postignuća vrijedna divljenja poput piramida, organizirane religije, kalendara ili matematike, današnja nova urbana revolucija, kada po prvi put u povijesti 50% stanovnika svijeta živi u gradovima (ili onim što svaka pojedina država smatra urbanom sredinom), za sobom ostavlja mnogo toga pozitivnog ali isto tako i neizbježne probleme s kojima se prvenstveno suočavaju najmanje razvijene zemlje i tzv. zemlje u razvoju. U njima će se trend urbanizacije najbrže nastaviti i na njih se uglavnom referiramo u ovom radu jer se u razvijenim zemljama, koje su već danas veoma visoko urbanizirane, očekuje samo lagani rast procesa urbanizacije. Ovdje je potrebno napomenuti da moramo paziti kako interpretirati

podatke jer se od zemlje do zemlje razlikuje definicija urbane sredine.

Nakon što smo vidjeli kako se broj i udio urbanog stanovništva svijeta kontinuirano povećava, moramo se zapitati koji su to osnovni izvori rasta urbanog stanovništva? Oni su u prvom redu demografski. Prvi način je najvidljiviji, a iskazuje se rastom temeljenim na migracijama iz sela u gradove (tzv. ruralno-urbane migracije). Takav primjer urbanizacije imamo u Kini, a imali smo ga i u Hrvatskoj, posebice 1960. – 1970. godine. Migracije na svjetskoj razini ne utječu na povećanje ukupnog broja stanovnika, ali itekako utječu na povećanje urbanog stanovništva. One su bile i ostale jedan od temeljnih generatora rasta mnogih velikih gradova, a mnogi danas niskonatalitetni gradovi u Europi rastu samo zahvaljujući migracijama, odnosno doseljavanju. Drugi način porasta urbanog stanovništva jest kroz prirodni porast, tj. rast već postojeće urbane populacije većim brojem živorođenih od umrlih. UN procjenjuje da se ovim putem generira oko 60% urbanog rasta u zemljama u razvoju. I na kraju, treći način urbanizacije je administrativan, kada se neko područje reklasificira iz ruralnog u



Klasifikacija urbanog područja

Kada govorimo o urbanim područjima treba biti posebno oprezan, jer na prvu loptu kada se spomene urbano područje, odmah se pomisli na grad. No, to uvijek ne mora biti tako. Različite zemlje na različite načine tretiraju neko područje urbanim. Tri glavne metode po kojima se određuje je li neko područje urbano ili ruralno su broj stanovnika, administrativni i ekonomski kriterij. Moguće su i kombinacije ovih kriterija. Tako se u Hrvatskoj koristi kombinacija broja stanovnika i administrativnih kriterija. Minimalan broj stanovnika koje treba imati jedna općina da bi je se proglasilo gradom u Hrvatskoj je 10.000, dok se od administrativnih kriterija koriste povijesni, gospodarski značaj ili ako je općina središte županije. Tako u Hrvatskoj samo 30% gradova prelazi prvi kriterij (broj stanovnika), dok su ostali gradovi dobili status grada na temelju administrativnih kriterija.

20 najvećih gradova u Hrvatskoj

		Broj stanovnika*			Broj stanovnika*
1	Zagreb	691 724	11	Šibenik	37 060
2	Split	175 140	12	Sisak	36 785
3	Rijeka	143 800	13	Velika Gorica	33 339
4	Osijek	90 411	14	Vinkovci	33 239
5	Zadar	69 556	15	Dubrovnik	30 436
6	Slavonski Brod	58 642	16	Vukovar	30 126
7	Pula	58 594	17	Bjelovar	27 783
8	Karlovac	49 082	18	Koprivnica	24 809
9	Sesvete	44 914	19	Požega	20 943
10	Varaždin	41 434	20	Đakovo	20 912

Napomena*: Podatci se odnose na popis stanovništva iz 2001. godine i gradsko područje bez okolnih naselja.

20 najvećih aglomeracija u svijetu

	Grad	Broj stanovnika u mil.		Grad	Broj stanovnika u mil.
1	Tokyo, Japan	35.2	11	Dhaka, Bangladesh	12.4
2	Mexico City, Mexico	19.4	12	Los Angeles, USA	12.3
3	New York, USA	18.7	13	Karachi, Pakistan	11.6
4	São Paulo, Brazil	18.3	14	Rio de Janeiro, Brazil	11.5
5	Mumbai, India	18.2	15	Osaka Kobe, Japan	11.3
6	Delhi, India	15.0	16	Cairo, Egypt	11.1
7	Shanghai, China	14.5	17	Lagos, Nigeria	10.9
8	Calcutta, India	14.3	18	Beijing, China	10.7
9	Jakarta, Indonesia	13.2	19	Manila, Philippines	10.7
10	Buenos Aires, Argentina	12.6	20	Moscow, Russia	10.7

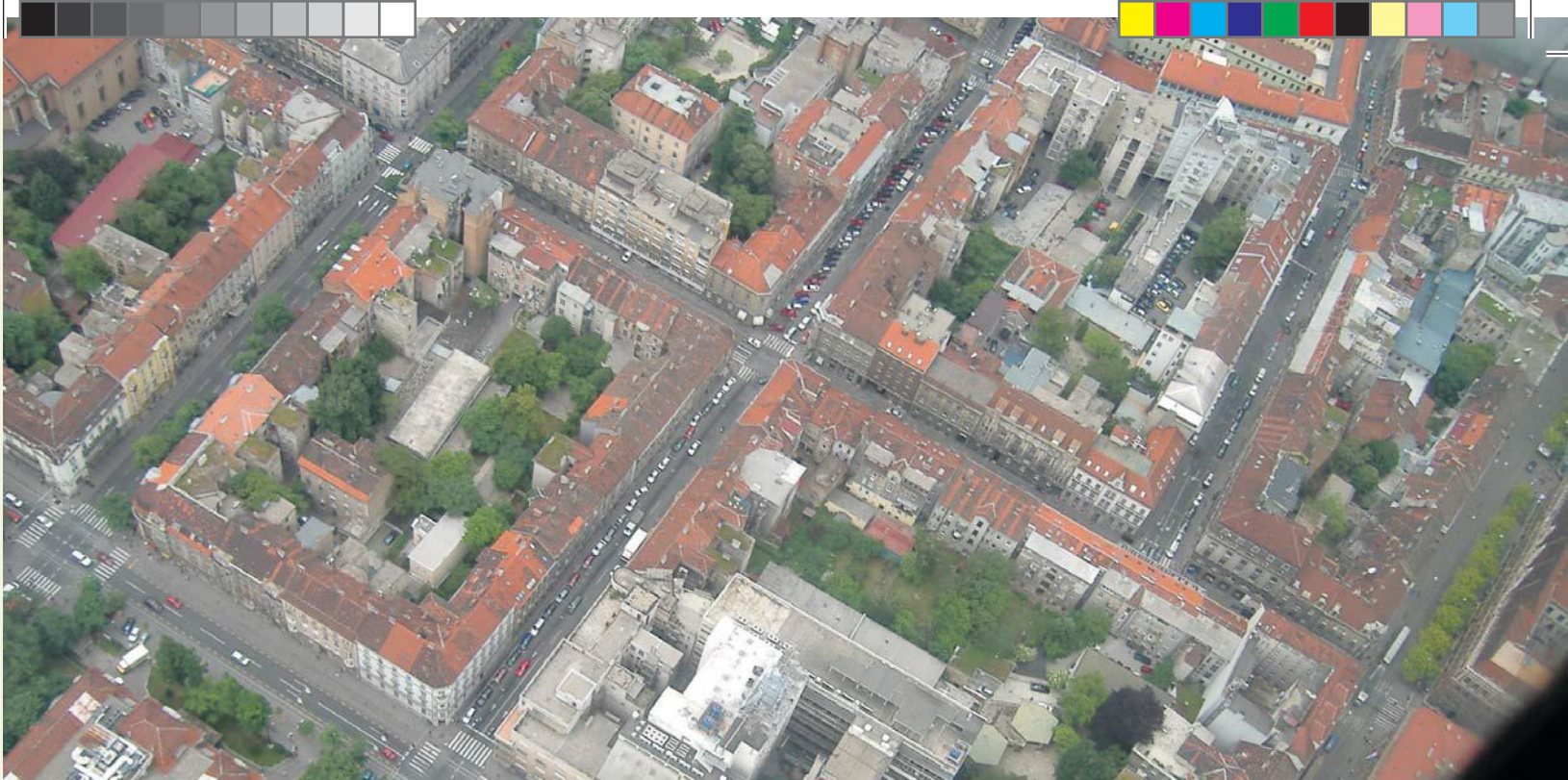
urbano područje. Toga smo svjedoci i kod nas pri nastanku nekih novih gradova.

Proces urbanizacije, premda u većini zemalja u svijetu ima pozitivan predznak, nije ujednačen. Kao što je već rečeno, nemaju sve zemlje isti stupanj urbanizacije. Najveći rast urbanih regija imat će zemlje u razvoju, dok će razvijene zemlje imati neznatan rast u nadolazećim desetljećima. Nerazvijene zemlje imat će ubrzan rast u urbanim regijama. Niti unutar jedne zemlje, sve regije nemaju isti stupanj urbanizacije, tj. neki gradovi privlače više ljudi nego drugi. U ovom trenutku 84% svjetske urbane populacije živi u malim i srednje velikim gradovima, tj. samo 16% urbane populacije živi u megagradovima (gradovi s više od deset milijuna stanovnika) čiji je rast u posljednjih tri deset godina bio značajan. Sljedećih deset godina predviđa se rast megagradova u metagradove (gradovi s više od dvadeset milijuna stanovnika) kao što je Tokyo, a pored njega u tu kategoriju spadali bi još i Mumbai, Sao Paolo i Mexico City. Problemi urbanizacije se multipliciraju u megagradovima, posebno ako je urbanizacija ubrzana. Oni nisu karakteristika zemalja u razvoju već pogađaju i najbogatije zemlje svijeta. Primjerice u New Yorku, vjerovali ili ne, 20% stanovnika se smatra siromašnima, što je uistinu iznenađujuće.

Koristi i posljedice urbanizacije

Čimbenici koji potiču urbanizaciju mnogobrojni su, no mogu se izdvojiti u tri grupe: ekonomski – zaposlenost u gradovima je veća, ujedno i plaća; društveni – kvalitetniji život u gradovima u smislu boljeg i dostupnijeg obrazovanja, kvalitetnijih zdravstvenih usluga...; politički čimbenici – neke mjere je lakše primijeniti u gradovima, primjerice POS stanovi kod nas. Optimisti tvrde da urbanizacija ima pozitivne učinke na cijelo gospodarstvo, tvrde da je urbanizacija prirodni proces tranzicije iz niskoproduktivnog agrokulturnog u visokoproduktivan industrijski sektor i sektor usluga. Oni nadalje tvrde da i sela imaju koristi od migracija u gradove, te da to koristi njihovom razvoju. Ta tvrdnja je djelomično točna i to iz dva razloga. Prvo, najčešće migrira siromašno stanovništvo, što smanjuje postotak siromašnih na selu. Drugo, oni koji su se preselili u grad šalju dio svojih nadnica natrag na selo i tako doprinose razvoju sela. Napomenimo da ovo uglavnom vrijedi za nisko-razvijene zemlje.


Općenito, urbanizacija je pozitivna pojava, ali ako je brza i nametnuta može naštetiti razvoju i stvoriti ekološke probleme. Povećanje broja stanovnika u gradovima povećava i zagađivanje okoliša, kroz povećanje prometa, koncentraciju industrije i neadekvatne sustave odlaganja otpada. Druga stvar je povećanje udjela siromašnih u gradovima. Kao što smo prije spomenuli, siro-



mašni sloj sa sela seli u gradove u potrazi za poslom. Kako su u gradu skupi stanovi, oni najčešće sele u sirotinjske četvrti (u 2007. godini milijarda je ljudi živjela u siromašnim četvrtima gradova u svijetu) gdje ne postoje jednakovrijedni uvjeti za život (nepostojanje pitke vode, sanitarnih prostora). Kada se spoje neprimjereni uvjeti za život i siromaštvo, dolazi do pothranjenosti što dalje vodi do povećane stope mortaliteta. Svi ovi uvjeti stvaraju socijalne probleme. Kako su mogućnosti zapošljavanja u takvim četvrtima male, stanovništvu ne ostaje ništa drugo, nego da se bave kriminalom kako bi mogli preživjeti.

Kada se sve sagleda, urbanizacija ima i dobrih (povećanje stupnja zdravstvene skrbi, povećanje stupnja obrazovanosti stanovništva i sl.) i loših strana (povećanje zagađivanja okoliša, povećanje stope kriminala, poskupljenje troškova života). Istraživanje koje je proveo UN u zemljama u razvoju, pokazalo je da je čak $\frac{3}{4}$ vlada zemalja u razvoju nezadovoljno s ubrzanom urbanizacijom, što znači da su svjesni problema koje ona nosi i da su je pokušali zaustaviti. Smatramo da je urbanizaciju teško zaustaviti, stoga je neophodno prilagođavati joj se konkretnijim i učinkovitijim sustavima planiranja razvoja gradova. Proces prilagođavanja sastoji se u tome da se izgradi odgovarajuća infrastruktura (ceste, bolnice, škole, odlagališta otpada) i da vlasti svojim primjerom pokažu kako treba čuvati okoliš (npr. ugradnja bio-plina u javni prijevoz i stvaranje tzv. *okolišu prijateljskih gradova*).

Urbanizacija u Hrvatskoj – gdje smo mi?

Već smo naveli da će ove godine svjetska populacija dosegnuti brojku od 50% urbanog stanovništva. Kakvo je stanje u Hrvatskoj? Mi smo taj postotak dostigli još prije osamnaest godina. Nakon Drugog svjetskog rata uslijed nametnute industrijalizacije (koja se koncentrirala u gradovima i otvarala nova radna mjesta što je stvorilo plodno tlo za migracije) i manjka posla u poljoprivredi (zbog inovacija u poljoprivredi bilo je potrebno sve manje poljoprivredne radne snage), dolazi do masovnih migracija u gradove. Tako smo u trideset godina udvostručili udio urbanog stanovništva. Do danas, u zadnjih dvadeset godina, urbanizacija je usporena i bilježi rast od otprilike 7%, što je uzrokovano ratom i tranzicijskim razdobljem. Procjene UN-a kažu da ćemo do polovice ovog stoljeća doseći 75% urbanog stanovništva, čime ćemo, unatoč smanjivanju jaza, i dalje biti ispod europskog prosjeka udjela urbanog stanovništva (vidi sliku). Možda to nije ni loše jer ipak netko treba ostati na selu. 

Više o tematici:

<http://www.dzs.hr/hrv/census/census2001/census.htm>
<http://esa.un.org/unup/>
<http://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/2007/09/bloom.htm>

Sto pedeset godina od polaganja prekoatlantskog telegrafskog kabela

Ove godine obilježava se sto pedeset godina otkako je izvedeno prvo uspješno polaganje telegrafskog podmorskog kabela ispod Atlantika. To je jedan u nizu rezultata velikih napora i domišljatosti mnogih ljudi. Ova vrsta kabela i drugi njemu slični kablovi u korijenu su moderne eksplozije komunikacijskih sredstava. Na kakve se probleme nailazilo prije i tijekom polaganja kabela, kako su ga ljudi koristili i druge podatke vezane uz njega pročitajte u ovom članku.

Prethodnice telegrafa

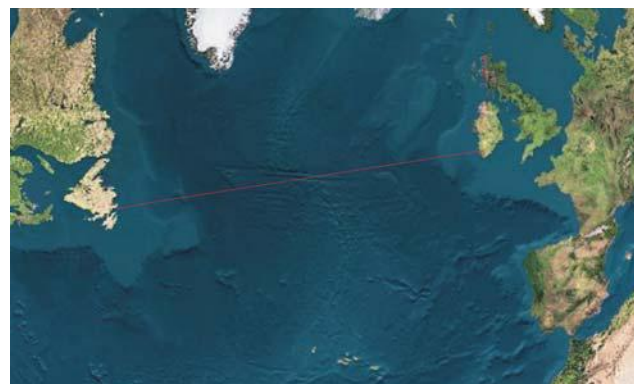
Prve telegrafske naprave za prijenos pisanih poruka na velike razdaljine, a bez fizičkog prijenosa slova/pisma (grč. *tele* (τηλε) = daleko, *graphein* (γραφειν) = pisati), moguće je promatrati od davnina kada su poruke bile prenošene dimnim i svjetlosnim signalima (vatrom).

Prve telegrafske mreže i uređaje nalazimo u Francuskoj u kojoj su krajem 18. stoljeća do prve polovice 19. stoljeća u upotrebi bili optički telegrafi koje je zamislio francuski izumitelj Claude Chappe. Mrežom semafora, s razmakom relejnih tornjeva 15 – 25 km, bilo je moguće prenijeti do dvije riječi u minuti.

Početak 19. stoljeća u Europi i Americi pojavljuju se različite inačice električnih telegrafa:

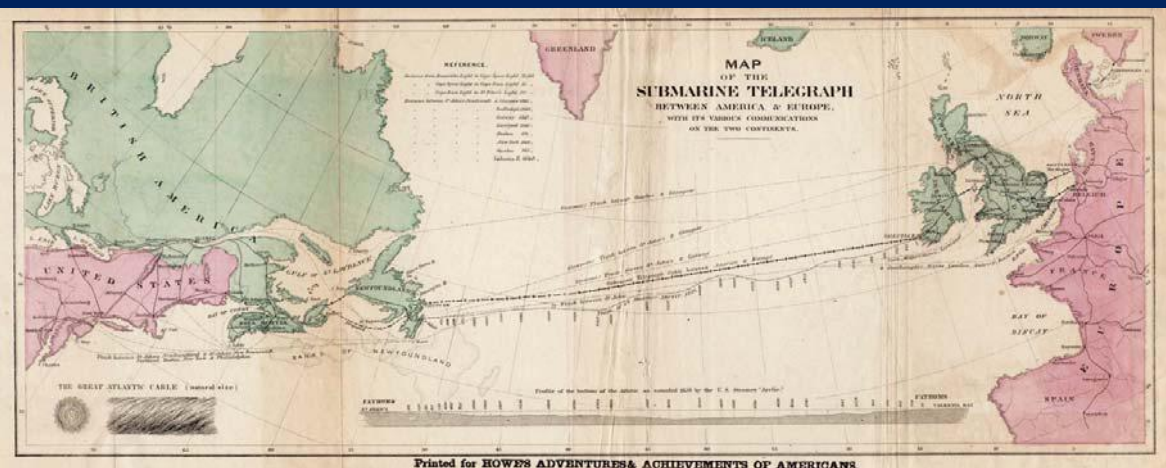
- ⇒ elektrokemijski (Samuela Thomasa von Sömmeringa, 1809.)
- ⇒ elektromagnetski (Barona Schillinga, 1832. godine i Carla Friedricha Gausa i Wilhelma Webera, 1833. godine)
- ⇒ električni (Williama Fothergilla Cookea, 1839. godine i Giovannija Casellija, 1855. godine)
- ⇒ preteča faksimil uređaja Alexandera Baina (1843. godine) itd.

Za širu primjenu električnih telegrafa najzaslužniji su Samuel F. B. Morse (bio je ujedno američki slikar i izumitelj), razvio je i patentirao uređaj u SAD-u (1837. godine), te njegov asistent, strojar i izumitelj Alfred Vail. Njih dvojica razvili su sustav kodova (točkica i crtica) za definiranje 26 slova en-



Slika 1. Područje Atlantskoga oceana između Newfoundlanda (SAD, lijevo) i Irske (Europa, desno), s označenim smještajem telegrafskog kabela položenog 1858. godine (pogled s visine 10 km; <http://fourmilab/ch/cgbin/Earth>).

Morska milja (ili nautička milja), jedinica je duljine (1852 m; ~ duljina luka jedne minute zemljopisne širine uzduž bilo kojeg meridijana). Iako nije SI jedinica, njezina je uporaba iznimno dopuštena, primjerice u navigaciji, brodskom i avionskom prijevozu te pomorskom pravu vezanom uz granice teritorijalnih voda. U avijaciji se koristi oznaka »NM«; IEEE (*The Institute of Electrical and Electronics Engineers*), preporuča »nmi«. Oznaka »nm« u nesuglasju je sa SI oznakom nanometra; hrvatski »MM« (za morsku milju) u djelomičnom/fonetskom je nesuglasju s milimetrom (mm)...



Slika 5. Područje Atlantskog oceana između Irske (Europa) i Newfoundlanda (SAD), s rutom položenog kabla, s ucrtanim profilom dna te izgledom kabla. (© 2007 FTL Design; Internet stranica: <http://atlantic-cable.com>).

gleske abecede, 10 znamenaka dekadskog brojevnog sustava i za razmake slova, riječi, te rečenica (*Morseovo pismo*).

Pioniri podmorskih kabela

Ideji polaganja prvog prekoatlantskog podmorskog kabla, pogodovala su ostvarenja braće Johna W. i Jacoba Bretta. Oni su od francuske vlade 1847. godine dobili koncesiju za polaganje kabla između Engleske i Francuske. Iako prvi kabel nije bio duga vijeka, drugi, 1851. godine nalazio se na potezu Dover-Calais u duljini 25 morskih milja (25 MM), smatra se prvim na svijetu komercijalno dostupnim podmorskim telegrafskim kablom.

U ožujku 1854. godine C. W. Field, okuplja američke i engleske istomišljenike zainteresirane za investicije u prekoatlantski podmorski kabel. Na sastanku iz manjih američkih tvrtki *New York* i *Newfoundland* te engleske tvrtke *London Telegraph Company*, nastaje korporacija *Atlantic Telegraph Company* – ATC kojem je na čelu prvim predsjednik, industrijalac, investitor i filantrop iz

New Yorka – Peter Coper. Ova je korporacija osmislila, sustavno organizirala, ali ne i bez teškoća provodila višegodišnje, vrlo složene i zahtjevne projekte.

Prvi telegrafski podmorski kabel preko Atlantskog oceana položen je 5. kolovoza 1858. godine, dok je prva čitljiva poruka poslana je 13. kolovoza iste godine sa Newfoundlanda, a u prvom čitljivom odgovoru iz Irske (16. kolovoza) pisalo je:

»Europe and America are united by telegraphy.

Glory to God in the highest, on earth peace, goodwill towards men.«

Slijedile su razmjene telegrama Njene visosti Viktorije, kraljice Velike Britanije i Njegova veličanstva Jamesa Buchanana, predsjednika Sjedinjenih Američkih Država. Od 732 poruke poslana u nastavku, dvije vojnog karaktera (naredbe o povratku dvije engleske regimente iz Halifaxa i Montreala u Englesku), uštedjele su Britanskoj Vladi oko 60 000 tadašnjih funta.

A onda, 20. rujna iste godine, nastaje komunikacijska tišina. Kabel je bio uništen. Savjetnik tvrtke *Transatlantic Telegraph Cable*, tijekom ek-

Tomislav Fancev

Tomislav Fancev, dipl. inž. strojarstva, stručni je suradnik na Zavodu za visoki napon i energetiku Fakulteta elektrotehnike i računarstva u Zagrebu. Bavi se primjenom metode konačnih elemenata u rješavanju problema čvrstoće materijala, termodinamike, mehanike fluida i elektrostatike; inženjer je osiguranja kvalitete za poslove zavoda prema Nuklearnoj elektrani Krško (Slovenija). Bavi se i nizom tema kod vodiča, poput suvremenih konstrukcija dalekovoda (nadzemnih vodova) i problemima odvođenja topline podzemnih vodova (energetskih kablova).



Slika 2. Optički telegraf (telegraf na svjetlosvjetlosni telegraf) Claudea Chappea u Littermon-tu (blizu Nalbacha, Njemačka).

sperimentiranja radi poboljšavanja prijema signala, propuštao je kroz kabel električne impulse napona 2000 V što je uništilo kabel.

Zanimljivo je istaknuti značajni doprinos lorda Kelvina pri polaganju kabela, kako teorijski tako i praktično.

Uporni C.W. Field uspješno, 1866. godine polaže novi kabel (1853 MM) između Heart's Contenta na istoku Newfoundlanda i Foilhommeruma na otoku Valentia na zapadu Irske. Po povratku u Newfoundland na bliskoj lokaciji uspijeva popraviti godinu dana prije postavljeni, a već prekinuti kabel na dnu mora. Sudbina nije bila naklonjena Fieldu, naime pri kraju života je bankrotirao.

Australija je telegrafski povezana 1872. godine, a područje Tihog oceana trideset godina kasnije.

< s čime su povezani? >

U Jadranskom moru prvi je podmorski telegrafski kabel položen 1862. godine između Pelješca i Hvara.

U ekspedicijama polaganja kabela 1857. godine i 1858. godine, sudjelovala su dva velika ratna broda, *Her Majesty's Ship (HMS) Agamemnon* i *USS Niagara* s nekoliko manjih brodova u pratnjama.

Bojni brod u službi Kraljevske mornarice *HMS Agamemnon*, naručen je od Admiraliteta 1849. kao odgovor na prijetnju Francuske koja u posjedu tada već ima brodove klase *La Napoléon* s devedeset topova, a po prvi puta i s brodskim vijcima (propulzorima, propelerima) pogonjenih parnim strojevima.

Drugi brod u zajedničkom poduhvatu fregatni je jedrenjak *USS Niagara* tona, inače drugi po redu brod istog imena u američkoj mornarici. *Niagara* također ima brodski vijak pogonjen parnim strojem, a mogla je postići brzinu od 10.5 čvora (10.5 MM/h).

Isti taj brod u svojoj sljedećoj misiji, u rujnu iste godine, vraća iz Charlestonea u Južnoj Karolini, dvije stotine Afrikanaca oslobođenih ropstva, natrag kući u Monroviju (Liberija), a dvije godine kasnije njime se vozi prva japanska diplomatska misija u Sjedinjenim Američkim Državama.

Uz posade mornara u ekspediciji je djelovala i nekolicina stručnjaka – najmljenih električara i strojara. E.O.W. Whitehouse, glavni električar koji je provjeravao kablove, poslao prvu poruku, ali i na kraju bio odgovoran za uništavanje kabela, zbog bolesti nije ni došao na brod. Samuel Morse na *USS Niagari*, malo je bio od koristi zbog teških simptoma morske bolesti. Već naviknut na vodu (u studentskim danima veslač je u osmercu *Cambridgea*), profesor Thomson bolje se snašao na *HMS Agamemnonu*. U sljedećim ekspedicijama u kojima je sudjelovao – 1865. i 1866. godine surađuje sa C.W. Fieldom, dok 1869. godine pomaže u polaganju francusko-atlantskog kabela, a 1873. godine kabela *Para-Pernabuco* na brazilskoj obali. Thomson je izrastao u pravog morskog vuka, prkoseći čudima mora i nemogućim uvjetima na brodovima, a istovremeno uspješno rješavao i najteže praktične probleme, često zasukanih rukava i uprljanih ruku.

O ekspedicijama govore zapisi iz brodskih dnevnika, sve što su investitori prenijeli tiskovinama, ali i zapisi stručnog osoblja, npr. detaljna



Slika 4. Ilustracija osnivača tvrtke Atlantic Telegraph, na kutiji za cigare (marketing, 1895.) s lijeva: Cyrus W. Field, Chandler White, S.F.B. Morse, Moses Taylor, Marshall O. Roberts i Peter Cooper. (© 2007 FTL Design; Internet stranica: <http://atlantic-cable.com>).

»... što se dubine mora tiče ... od Newfoundlanda do Irske, udaljenost najkraćih točaka je nekih 16 stotina milja; i dno mora između tih mjesta je visoravan (ploča) koja izgleda da je tamo upravo da bi primila žice podmorskog telegrafa i da bi ih zaštitila. Visoravan nije preduboka, ali ni preplitka – dovoljno je duboka kako bi žice koje tamo jednom legnu bile zauvijek izvan dosega brodskih sidara, ledenjaka i bilo kakvih nevolja, a opet toliko plitka da su žice već mogle biti tamo. [Ne] pretvaram se tražeći odgovore na pitanja o vjerojatnosti dovoljno dugog trajanja lijepog vremena s mirnim morem, o dovoljno dugoj žici, o dovoljno velikom brodu, o izradi i namatanju žice duljine 16 stotina milja;

vjerujem da će izazov i genijalnost vremena u kojem živimo biti spremni sa zadovoljavajućim i praktičnim rješenjima odgovoriti na postavljena pitanja.«

Matthew Maury (1856);
(u slobodnijem prijevodu autora).

Tako je mornarički poručnik Matthew Maury, prvi ravnatelj Mornaričkog observatorija u Washingtonu, odgovorio na upit američkog biznismena, investitora i vizionara Cyrusa Westa Fielda o izvedivosti polaganja prekoatlantskog kabla između Europe i Amerike.



Slika 8. HMS Agamemnon (porinut 1852. godine)



Slika 8. HMS Agamemnon (porinut 1852. godine)

William Thomson rođen 26. lipnja 1824. godine u Belfastu, Irska; umro 17. prosinca 1907. godine u Largsu, Škotska prvi baron *lord Kelvin*, irski je matematički fizičar i inženjer; po mišljenju mnogih (tako je i pokopan), nalazi se uz bok veličini Isaaca Newtona najglasovitijeg engleskog fizičara, matematičara, astronoma, teologa i filozofa.

Lord Kelvin ostavio je na stotine znanstvenih članaka u područjima matematičke analize elektriciteta i termodinamike, a također se bavio prirodnom filozofijom i astronomijom. Uza sve to bio je i odličan teoretičar te još veći praktičar prijavio sedamdesetak patenata i definirao Kelvinovu apsolutnu temperaturnu skalu, postavio teoriju električnih oscilacija, pionir je razvoja uređaja za precizna mjerenja električnih veličina (elektrometar, *Kelvinov most*).

Bavio se problemima naprezanja kabla pri polaganju u more i problemima ekonomičnosti/isplativosti njihovih presjeka. Razvio je sustav podmorskog telegrafa (1858.), s prijenosom jednog slova svake tri i po sekunde. Unaprijedio je tehniku pozicioniranja brodova te konstruirao uređaj za najavu dolaska plime. Pretečom sonara u obliku uređaja s klavirskom žicom, omogućio je mjerenje dubine mora s brodom u punoj brzini plovidbe što mu je pomoglo usavršiti brodske kompase, a ujedno se zalagao za primjenu *Morse-Vailove* koncepcije kratkih i dugih paljenja svjetala svjetionika ...

1893. godine u međunarodnoj je komisiji za izbor ponuđenih konstrukcija za hidroelektranu na Niagara Fallsu, a 1896. godine odao je počast Nikoli Tesli na njegovu najvećem udjelu u razvoju elektrotehničke znanosti.

A što se još događalo te 1858. godine?

- 9. siječnja – u pedeset i devetoj godini života, razočaran izbornim rezultatima, ubio se peti i posljednji predsjednik Republike Texas – doktor, biznismen i kongresmen Anson Jones
- 25. siječnja – na vjenčanju Viktorije (kćeri istoimene kraljice) i princa Friedricha od Prusije, odsviran je i postaje popularnim *Svadbeni marš* njemačkog kompozitora, pijanista i dirigenta Jakoba Ludwiga Felixa Mendelssohna,
- 14. siječnja – izveden je u Parizu neuspješni atentat na Napoleona III. Više je ljudi ubijeno i ozlijeđeno od posljedica bombaškog napada. Četvorica atentatora su uhvaćena. Dvojica su giljotinirana 13. ožujka, a druga dvojica utamničena na Đavoljem otoku. Kao kuriozitet, jedan od njih, Carlo/Charles di Rudio, je pobjegao u Ameriku, postao časnikom 7. konjičke armije, sudjelovao i preživio u bitci kod Little Big Horna u kojoj je stradao George Armstrong Custer.
- 30. ožujka – olovku s gumicom patentirao Hyman Lipman
- 11. svibnja – Minnesota postala 32. država SAD-a
- 1. srpnja – u londonskom *Linnean Societyu*, pročitani su članci Darwina i Wallacea o najavi teorije *Evolucija prirodnim odabirom*...

inventura položene duljine kabla po plovidbenim miljama i s profilom dubine mora koju je mjerila brodica *HMS Cyclops* iz flote *HMS Agamemnona*. Prva je ekspedicija završila neslavno (11. 08. 1857. godine) s prekidom kabla u trenutku kad se s pretjeranim kočenjem nastojalo zaustaviti nekontrolirano *istjecanje* kabla iz broda. U moru je ostalo kabl duljine preko 380 milja.

Nakon neuspjeha prve ekspedicije razmišljalo se o odustajanju započetog projekta i prodaji preostalog kabla za podmirenje dijela troškova. Međutim, tvrdoglavom upornošću C.W. Fielda i optimističnim uvjerenjem profesora Thomsona u rješivost uočenih praktičnih problema, bitka s morem je nastavljena.

29. 07. 1858. godine *HMS Agamemnon* i *USS Niagara* uspjeli su se susresti na sredini Atlantika, spojiti krajeve kabla i krenuti svatko prema svojem kontinentu. 5. kolovoza *Niagara* donosi svoj kraj spojenog kabla na obalu Brills Mouth Islanda (Newfoundland), a u istom danu i *Agamemnon* polaže svoj dio na obalu Irske.

Nemoguće je nabrojiti, a kamoli opisati sadržajem ovog članka velik broj materijala, alata i naprava, čitavih tehnologija, većinom brodograđevnih i elektrostrojarskih, a koji su razvijani uporedo s polaganjima kabla, sve do današnjih dana. U kratkim su crtama ipak dotaknute konstrukcije kabla, a u nastavku je ukratko opisana i sama tehnika polaganja kabla.

Razvoj konstrukcije podmorskih kabela

Od pojava prvih kablova za polaganje u more, moguće je pratiti stalna usavršavanja konstrukcije i primjene sve kvalitetnijih materijala izrade, prvo telegrafskih, a kasnije i telefonskih podmorskih kablova.

Prvi kabl u plitkim vodama između Calaisa i Dovera (25 MM, 1850./1851.) bakreni je vodič, okrugloga i ispunjenog/punog presjeka. Pet godina kasnije (na potezu Newfoundland – Cape Breton, 85 MM), prvi se puta primjenjuje isprepleteni vodič (vodič u pletivu, ujedno i s različitom armaturom za plitke i duboke vode). Od 1893. godine (kabl u Kamerunu i kabl Portugal – Azori, 180+1053 MM), primjenjuju se višeslojne konstrukcije vodiča. Prvi koaksijalni telefonski kablovi (sa željeznom jezgrom/žicom izoliranom od bakrene trake kao vanjskim vodičem), položeni su 1921. godine između Key Westa i Havane (tri kabla u ukupnoj duljini 3×103 MM). Od 1923. godine (Kolombo-Penang, 1459 MM), u tropskim se područjima uobičajeno koristi izolacija od gume.

Prvi *brzi* telegrafski kabl pojavljuje se 1924. godine (New York – Fayal, 2329 MM), ubrzo nakon pojave nove legure, slitine Permalloy 1921. godine magnetična slitina nikla i željeza s velikom relativnom permeabilnošću¹ i s malim gubicima histereze², učetverostručila je brzine prijenosa. Četiri godine kasnije uvedene su nove legure, žice iz Mumetala i nova *duplex* tehnika prijenosa informacija (Bay Roberts – Fayal, 1341 MM). Duktilnija od Permalloya, Mumetal legura je omogućila proizvodnju tanjih žica i njihovo helikoidalno namatanje oko bakrenog vodiča.

U vihoru drugoga svjetskog rata (1942. godine), prvi se puta primjenjuje potopljeni ponavljač (repetitor) u koaksijalnom nosaču telefonskoga kabla (43 MM, na potezu Anglesea – Isle of Man).

Kasnije, kablovi već imaju na desetke repetitora (npr. dva kabla po ~2206 MM položena 1959. godine, na potezu Newfoundland – Penmarch, Francuska, svaki s pedeset i sedam repetitora).

¹ permeabilan – koji se može probiti, koji propušta tijelo koje probija; promočiv, propustan, propustljiv

² histereza – pojava u kojoj rezultati nekog djelovanja traju i po uklanjanju uzročnika toga djelovanja



Slika 7. Brodska sidra, uz ribarske mreže, najveći su neprijatelji podvodnih kabela.

Prvi prekoatlantski (36 kanalni) telefonski kabel položen je 1956. godine (Gallanach Bay, Scotland – Clarenwille, Newfoundland).

Prvi podmorski kabel sa svjetlovodnim vlaknima (40000 telefonskih linija u simultanom pozivu; 1988. godine), spojio je Tuckerton (New Jersey, USA), Widemouth Bay (England) i Penmarch (Francuska). Projekt su zajednički financirali AT&T, France Telecom i British Telecom, a ukupni su troškovi bili 335 miliona \$.

Tehnika polaganja kabela na morsko dno

Podmorski, komunikacijski i energetska, kablovi polažu se s posebno projektiranim brodovima. Njihove unutrašnjosti moraju spremati na tisuće kilometara kablova, ali biti i u mogućnosti odgovarajuće količine kablova, u kontinuiranim duljinama i u potrebnim vremenima, isporučivati vitlastim spuštalicama na krmama. U prosjeku, kablovi se polažu s brzinom 5 – 6 čvorova (morskih milja na sat).

Kablovi se pakiraju u duljinama od 40 km, a nakon svake položene duljine paketa ugrađuju se

odgovarajuća pojačala napona. Kablovi, potopna pojačala, te posebno njihovi spojevi moraju izdržati opterećenja polaganja kabela. To su savijanja i trenja prolascima kroz odgovarajuće koloture i kanale vitla, vlačna opterećenja, dinamička i udarna opterećenja. Vlačna opterećenja nastaju zbog težine čitave one duljine kabela koja još nije polegla na dno (ta opterećenja oslabljuje Arhimedov uzgon – težina mora istisnuta volumenom iste te duljine kabela). Dinamička opterećenja nastaju na dijelovima kabela izvan krmenog dijela broda, kao reakcije na složena gibanja broda na valovima: zastajanja i ljuljanja, zanošenja i posrtanja, poniranja i zaošijanja. Naravno da to zahtjeva posebne tehnike plovidbe, ali i posebne kontrolne uređaje. Udarna i smična opterećenja pogađaju dijelove kabela koji padaju na tvrde i oštre podvodne hridi.

Konstrukcija kabela mora spriječiti prodor vode u svoju unutrašnjost (zbog velike dubine i nešto veće gustoće mora s povećanim hidrostatičkim tlakom), mora biti otporna na učinke slanosti i kiselosti mora, mora biti otporna na alge, lišajeve, školjke, rakove. Elektromagnetska polja zbog struja s kojima se napajaju podvodna

Tko želi znati više...

<http://www.atlantic-cable.com>
http://en.wikipedia.org/wiki/Dictionary_of_American_Naval_Fighting_Ships + <Pomorska enciklopedija>



Slika 11. Suvremeni brod polagač kabela Global Sentinel (lijevo) i »White Holly« (desno) u misiji polaganja kabela za observacijsku stanicu MARS (u Monterey Bayu, ožujak 2007. godine).

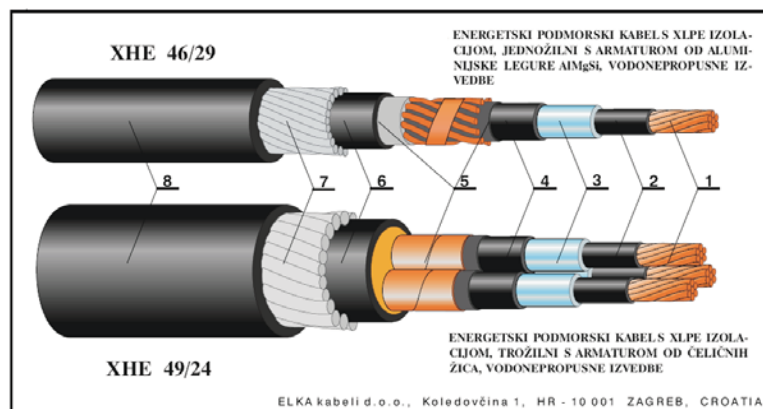
pojačala, privlače morske pse pa se skupi kablovi u plitkim vodama, s robotima i podmorskim pluvovima, ukopavaju u pješčana dna.

U samim počecima primjene kabela za polaganje u more, teža se armatura vodiča koristila u stjenovitom priobalju i na mjestima visokih plimnih valova, dok je laganija armatura (od tada dostupnog željeza), našla primjenu u dubokim vodama. Danas je uobičajeno koristiti čelične armature s vlačnom čvrstoćom oko 220 MPa za plitke, te vlačnom čvrstoćom između 400 i 600 MPa za duboke vode.

<primjer – vlačna čvrstoća sajli za liftove i sl.>

Energetski podvodni kablovi moraju biti u stanju kroz dugi niz godina izdržati i velik broj cikličkih termičkih opterećenja (promjena temperature), zbog promjenljivih uvjeta pogona.

Vrlo velika vrijednost položenih kablova i dosta česte havarije istih (prekidi za vrijeme polaganja, brodskim manevrima pri sidrenjima, povlačenjima ribarskih mreža i sl.) razlozi su razvoja postupaka i alata za popravke kablova. Suvremeni pristupi koriste prvo sofisticirane uređaje za nalaženje mjesta prekida, zatim podmornice-robote s TV kamerama i nezamjenjive robotske ruke.



Slika 12. Presjeci kroz jednožilni i trožilni energetski podmorski kabel s »XLPE« izolacijom:

1. vodič od zbijenog (kompaktnog) i vodonepropusnog bakrenog užeta,
2. ekran vodiča izveden kao poluvodljivi sloj na vodiču,
3. izolacija od XLPE materijala,
4. ekran izolacije izveden kao poluvodljivi sloj na izolaciji,
5. uzdužno i poprečno vodonepropusna električna zaštita/ekran od bakrenih žica (jednožilni) ili bakrene trake (trožilni)
6. unutrašnji plašt od PE-HD materijala,
7. armatura vodonepropusne izvedbe iz posebne Al ili čelične okrugle žice
8. vanjski plašt iz PE-HD materijala.

Energetski kablovi za polaganje u more

Podmorski kablovi za prijenos električne energije mogu biti istosmjerni (DC, *direct current*) ili izmjenični (AC, *alternating current*). Sustavi s istosmjernom strujom mogu, u principu, koristiti samo jedan vodič i morsku vodu kao povratan vod. To se nastoji izbjeći zbog utjecaja elektrokemijskih reakcija elektroda na biljni i životinjski morski svijet, zbog velike impedancije takvog povratnog voda, ali i zbog elektromagnetskih utjecaja koje takva rješenja imaju na sustave magnetskih kompasa plovila.

Duljine podmorskih kablova izmjenične struje (s tri vodiča), ograničene su s kapacitancijom aktivnih vodiča i okolnog metalnog omotača jer nakon neke duljine takvih vodova reaktivna snaga preuzima čitavu prijenosnu moć vodiča i prijenos korisne snage više nije moguć. Stoga se za podmorski prijenos velike snage na velikim duljinama koriste sustavi s istosmjernom strujom u kojima su vodiči.

Kako izgledaju suvremeni energetski podmorski kablovi za srednje visoke napone moguće je vidjeti na presjecima kabela domaćeg proizvođača (slika u prilogu). 📄