

**Lidija Runko Luttenberger**

E-mail: lidija.luttenberger@gmail.com

Komunalac d.o.o., Jurdani 50b, 51213 Jurdani

**Leila Luttenberger**

E-mail: leila.luttenberger@fer.hr

Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, Unska 3, 10000 Zagreb

---

## **Oživotvorenje energetskih rješenja za očuvanje morskog okoliša od zakiseljavanja i zagrijavanja**

### **Sažetak**

Učinci onečišćenja i klimatskih promjena nadmašuju rezilijentnost mora i oceana, pa su europska mora ugrožena povećanjem temperature i zakiseljavanjem. Zakiseljavanje mora koje se ocjenjuje jednom od najtežih i najizravnijih planetarnih prijetnji je posljedica rastućih koncentracija ugljičnog dioksida. U poštivanju načela predostrožnosti, rješenje je u trenutnom smanjenju ispuštanja ugljičnog dioksida. Samo proizvodnja električne energije značajno utječe na globalne emisije ugljičnog dioksida jer se najviše oslanja na ugljen, ugljično najintenzivnije fosilno gorivo. Autorice u radu daju pregled relevantnih istraživanja o tranziciji na obnovljive izvore uz prijedlog rješenja prihvata energije iz potencijalno brojnih obnovljivih izvora u elektroenergetsku mrežu u Republici Hrvatskoj.

**Ključne riječi:** zakiseljavanje mora, emisije ugljičnog dioksida, obnovljivi izvori, napredne mreže

### **1. Uvod**

Mora i oceani su najstarije obilježje planete, starije od granitnih kontinenata premda je njihovo bazaltno dno puno mlađe i neprestano se obnavlja procesima koje čovjek nije niti vidio sve do druge polovice 20-og stoljeća. More je mjesto rađanja cjelokupnog života na Zemlji i ono predstavlja jedinstveno mjesto života na jedinjoj planeti za koju je uopće poznato da ima života. Unatoč tome, o morima i oceanima se zna manje nego o topografiji Venere [1].

S druge strane, a možda upravo zbog tog nepoznavanja, čovjek je svojim industrijskim emisijama ugljičnog dioksida učinio mora kiselima i ugrozio koralje, školjke i ostale organizme koji su evoluirali upravo iskorištavanjem točno određene kemije mora, te sve koji o njima ovise.

Kao i klimatske promjene, zakiseljavanje mora je globalna pojava s globalnim posljedicama. Tako CO<sub>2</sub> i klimatske promjene utječu i na europska mora kroz njihovo zakiseljavanje i zagrijavanje [2].

U radu se obrađuje pojam zakiseljavanja mora uz opis kemijskih procesa, ukazuje na posljedice zakiseljavanja, izlaže doprinos energetske proizvodnje i potrošnje, raspravlja o doprinosu smanjenju emisija CO<sub>2</sub> integriranjem obnovljivih izvora energije u elektroenergetsku mrežu u Republici Hrvatskoj, te o financiranju razvoja. Naglasak je na proizvodnji električne struke koja može uvelike zamijeniti udio pogonskih fosilnih goriva u pomorskom i kopnenom prijevozu, te u grijanju i hlađenju.

## 2. Zakiseljavanje mora

U razdoblju od samo par stotina godina ljudi su povećali razinu atmosferskog CO<sub>2</sub> iznad razina viđenih u zadnjih 800 godina. Takva izrazito velika brzina promjene dovodi u pitanje sposobnost prilagodbe mnogih vrsta [3]. Naime, znanstvenici procjenjuju da je more apsorbiralo 1/3 sveukupnog ugljičnog dioksida proizvedenog ljudskim aktivnostima. Uklanjanje CO<sub>2</sub> iz atmosfere je nesporno pridonijelo obuzdavanju razmjera klimatskih promjena, ali je takva beneficija imala svoju cijenu jer apsorpcija CO<sub>2</sub> iz temelja mijenja kemiju mora započinjanjem reakcija koje more čine kiselijim. More je tako postalo 30% kiseliije nego što je bilo na početku industrijskog doba, a ta promjena je veća i brža od bilo koje u zadnjih 800.000 godina [4].

Osjetljiva ravnoteža između kiselina koje su ispuštali vulkani i baza koje su oslobođane trošenjem stijena opstojala je kroz vrijeme, pa je vrijednost pH morske vode ostala stabilna milijunima godina. Prije početka industrijskog doba prosječan pH površine mora je bio oko 8,2 (blago lužnato). Danas je 8,1. Iako se razlika može činiti malom, za slične prirodne izmjene je trebalo 5000 do 10000 godina. Čovjek je to učinio u samo 50 do 80 godina. Život u moru međutim uspijeva preživjeti samo duge, postupne promjene [5].

U prvoj polovici dvadesetog stoljeća su znanstvenici smatrali da će višak ugljičnog dioksida iz emisija fosilnih goriva preuzeti vegetacija i apsorbirati more bez akumuliranja u atmosferi, odnosno da će morska apsorpcija CO<sub>2</sub> regulirati atmosfersku promjenu. Klimatski znanstvenici su unos opisivali kao blagoslov za društvo, a kemičari mora su se nadali da će se naslage kalcijevog karbonata na morskom dnu otopiti u dostatnim količinama da nadoknade pad pH vrijednosti. Međutim, istraživanja su pokazala da brzina kojom se naslage otapaju ne prati veću brzinu zakiseljavanja [5].

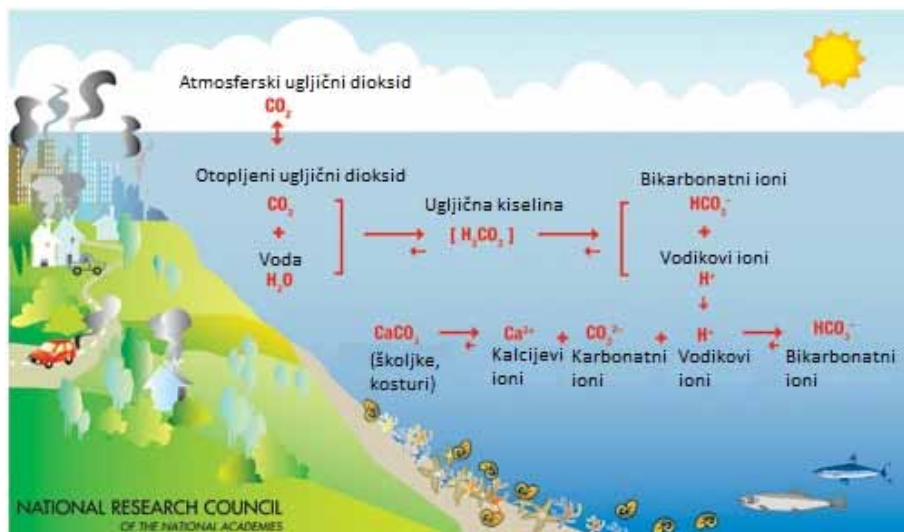
Članak kojega je 1957. godine objavio ravnatelj Scripps Institution of Oceanography Roger Revelle zajedno s kemičarom Hansom Suess postavlja hipotezu da bi ocean mogao apsorbirati ugljični dioksid puno sporije nego što se prethodno mislilo [6], što znači da nije moguće računati na beskonačnost pohrane CO<sub>2</sub> od strane mora i oceana.

Zakiseljavanje mora je novo područje istraživanja koje se dotiče velikog broja znanstvenih područja. Ono je bitan problem s kojim se donositelji politika, poslovođitelji u pomorstvu i znanstvenici zajednički suočavaju [7]. Prema nekim istraživanjima se zbog ispuštanja ugljičnog dioksida događa i zakiseljavanje slatke vode [8]. Treba isto

tako napomenuti da osim atmosfere, izvori ugljičnog dioksida su i otjecanje oborinskih voda i morsko dno [9].

### 3. Kemijski procesi zakiseljavanja

More apsorbira atmosferski ugljični dioksid gdje reagira s morskom vodom da bi tvorilo ugljičnu kiselinu ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Gotovo trenutno ugljična kiselina se raspada na bikarbonatne ione ( $\text{HCO}_3^-$ ) i vodikove ione ( $\text{H}^+$ ) kao što je prikazano na slici 1. Nešto suvišnog vodika reagira s karbonatnim ionima ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) za stvaranje više bikarbonata. To karbonatne ione čini manje brojnim – što je problem za mnoge morske vrste koje apsorbiraju karbonat iz morske vode i koriste ga za gradnju školjki i kostura iz kalcijeva karbonata. Povećana kiselost može čak uzrokovati rastvaranje nekih karbonatnih školjki i kostura. Vodikovi ioni reagiraju s krutim kalcijevim karbonatom ( $\text{CaCO}_3$ ) i pretvaraju ga u toplivi bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) i ( $\text{Ca}^{2+}$ ) [4].



Slika 1: Prikaz zakiseljavanja mora [4].

Oko 89 posto ugljičnog dioksida otopljenog u morskoj vodi dobiva oblik bikarbonatnog iona, oko 10 posto je karbonatni ion, a 1 posto je otopljeni plin. Sadašnji morski život je evoluirao da živi u takvoj kemiji [5].

Zakiseljavanje mora smanjuje stanje zasićenja za aragonit ( $\Omega_{\text{arag}}$ ), oblik kalcijevog karbonata kojega stvaraju mnogi morski organizmi.

#### 4. Posljedice zakiseljavanja

Biološki procesi na koje utječe zakiseljavanje mora su tvorba ljuštura mnogih životinja i nekih algi, održavanje metabolizma, jačanje fotosinteze i dobivanje esencijalnih minerala i hranjivih tvari [4].

Iako su spoznaje još nejasne, fosilni zapis kaže da je morski život doživljavao masovna izumiranja tijekom razdoblja brzo rastućih razina ugljičnog dioksida. Metabolizam morskih životinja je obično ugođen na uzak unutarnji raspon vrijednosti pH. Pored umanjena kalcifikacije kostura, kiselija voda će ukiseliti tjelesne tekućine, povećati respiratorni stres i ometati metabolizam [5].

Neke posljedice utjecaja CO<sub>2</sub> su vidljive i kod postojećih ekosustava u blizini prirodnih podvodnih istjecanja ugljičnog dioksida u Sredozemlju [4]. Predviđa se smanjenje raznolikosti i obilje mnogih ključnih vrsta koje podupiru sadašnje funkcioniranje morskih ekosustava [10]

#### 5. Planetarne granice

Steffen et al. [11] navode da je destabilizirano relativno stabilno 11,700 godina dugo razdoblje Holocena, jedinog stanje planete za koje se sigurno zna da može podržavati sadašnja ljudska društva.

Kombiniranjem znanstvenog poimanja funkcioniranja zemaljskog sustava sa načelom predostrožnosti [12] je skupina eminentnih stručnjaka 2009. godine objavila istraživanje [13] u kojem definira granice biofizičkih procesa koje određuju sposobnost Zemlje za samoreguliranje. Granice su sljedeće: promjena klime, osiromašenje ozona, zakiseljavanje oceana, bioraznolikost, korištenje slatke vode, globalni ciklusi dušika i fosfora, korištenje zemljišta, opterećenje aerosolom i kemijsko onečišćenje. Tri granice su već prekoračene, a to su promjena klime, brzina gubitka bioraznolikosti i ciklus dušika.

Dakle, umjesto poimanja okoliša, gospodarstva i društva kao tri stupa održivog razvoja, novost ovog pristupa je promišljanje da se održivi razvoj može odvijati samo unutar sigurnog radnog prostora kojega određuje biofizičko postojanje ključnih prirodnih pragova [14]. Ovdje valja napomenuti da granice nisu uvijek globalne, čak i kod procesa koji reguliraju stanje za cijeli planet, pa lokalne okolnosti mogu u konačnosti odrediti koliko će brzo nestašica vode ili gubitak bioraznolikosti dostići svoj kritični prag [15].

## 6. Utjecaj energetske proizvodnje i potrošnje

### 6.1. Energetske strategije

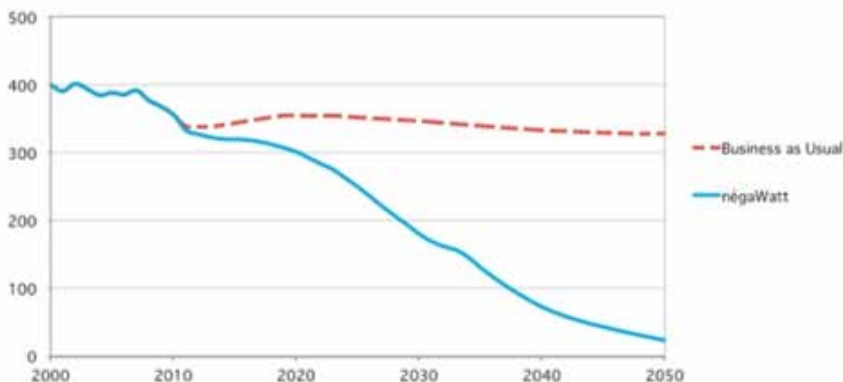
Dva su sektora u 2012. proizvela gotovo dvije trećine globalnih CO<sub>2</sub> emisija: električna energija i proizvodnja toplinske energije s udjelom od 42%, te prijevoz s 23% [16]. A upravo najveće probleme našeg vremena predstavljaju klimatske promjene, onečišćenje i energetska nesigurnost, čije rješavanje zahtijeva značajne promjene postojeće energetske infrastrukture. Jacobson i dr. [17] su analizirali mogućnost osiguravanja energije diljem svijeta za sve potrebe (električna struja, prijevoz, grijanje/hlađenje, itd.) korištenjem vjetra, vode i sunčeve svjetlosti, te zaključili da su prepreke takvom planu prvenstveno društvene i političke, a ne tehnološke i ekonomske. Isto tako su utvrdili da su ugljen sa skladištenjem ugljika, etanol iz kukuruza, celulozni etanol i nuklearna energija lošiji od opcija sunca, vjetra i vode u odnosu na utjecaj na okoliš i korištenje zemljišta. Iako su se uglavnom usredotočili na dobavu energije, oni također priznaju i naglašavaju značaj mjera očuvanja energije na strani potražnje. Takve mjere obuhvaćaju poboljšanje učinkovitosti kod potrošača (npr. s učinkovitijim vozilima, učinkovitijom rasvjetom, boljom izolacijom u kućama, te korištenjem izmjene topline), usmjeravanje potražnje na niskoenergetske načine korištenja (npr. korištenje javnog prijevoza umjesto vožnje), planiranje smanjenja potražnje za energijom bez dovodenja u pitanje gospodarske aktivnosti ili komfora (npr. osmišljanje gradova tako da se omogući veće korištenje nemotoriziranog prijevoza i bolje usklađivanje polazišta i odredišta, čime se smanjuje potreba za putovanjem), te projektiranje zgrada za izravno korištenje sunčeve energije (npr. s više dnevnog svjetla, solarno grijanje tople vode, te poboljšano pasivno grijanje zimi i hlađenje ljeti).

U drugom dijelu iste studije Delucchi i dr. [18] raspravljaju o metodama rješavanja promjenjive naravi energije iz obnovljivih izvora (sunce, vjetar, voda) kako bi se osiguralo da dobava energije pouzdano odgovara potražnji.

Kod izrade studija izvodljivosti prelaska na obnovljive izvore posebno treba voditi računa o tome da li se uzima u obzir cjelokupan životni vijek energenta [19].

U Francuskoj je skupina stručnjaka razmatrala pitanja uzimajući ponajprije u obzir potrebe za energijom, a potom njenu dobavu [20], vidi sl. 2. Smatraju da je prije svega potrebno grijanje, osvjetljenje, mobilnost, a ne uran, nafta ili drvo. Potom se mogu razmatrati najodrživiji načina zadovoljavanja tih potreba energetske usluga pristupom koji uzima u obzir sljedeće:

1. Razboritost u procjeni potreba i nalaženju pojedinačnih i skupnih načina davanja prvenstva onome što je najvrijednije, ograničavanju najrastronijih i prekidanju najškodljivijih uporaba energije
2. Učinkovitost napora za smanjenjem pojedinačne količine energije za zadovoljavanje određene potrebe, uglavnom putem tehnološkog odabira duž cjelokupnog lanca.
3. Obnovljive izvore kako bi se osiguralo da se prednost daje najmanje onečišćujućim i najodrživijim energetske izvorima.



Slika 2: Godišnje emisije CO<sub>2</sub> iz proizvodnje energije u scenariju zvanom „negavat“ (kada je snaga raspoloživa za druge namjene radi uštede energije ili snaga koja uopće ne mora biti proizvedena) i scenariju „poslovanja po starom“ (u MtCO<sub>2</sub>) [20].

Studija jedne od najvećih svjetskih organizacija za zaštitu okoliša ističe značaj učinkovitosti ili dobivanja „više sa manje“ držeći da je oživotvorenje energetske učinkovitosti jeftinije od svakog uvođenja nove energije [21].

## 6.2. Sunčeva energija

Rockström u [22] raspravlja da li je moguće promišljati rast svjetskog gospodarstva na sunčev pogon umjesto korištenja fosilnih goriva, što znači da bismo bili na sigurnom u vezi klime, a još uvijek zadržali visok stupanj suvremenog korištenja energije koja bi pokretala svjetski gospodarski razvoj? Odgovor na taj upit je pozitivan. Ali ukoliko se kombinira gospodarstvo bez ugljika s logikom kružnog gospodarstva [23] može se doista razmišljati o svijetu s kvalitetnim gospodarskim razvojem unutar sigurnog radnog prostora. To je kretanje ka visokoj tehnologiji, dobrom zdravlju i demokraciji, te velikoj višestrukoj koristi. Takvu budućnost visoke tehnologije Rockström naziva Tesla budućnost.

MIT u svojoj recentnoj studiji [24] smatra da je proizvodnja solarne električne energije jedan od malobrojnih oblika niskougljične energije koji ima potencijal da se razvije do ogromnih razmjera.

Samo za ilustraciju, solarni paneli na fasadama zgrada gdje odmah opskrbljuju potrošača se mogu staviti na sve vrste već urbaniziranih pokrova kao što su krovovi prostora za parkiranje, napušteni objekti industrijskih postrojenja, onečišćeno zemljište, napušteni kolosijeci i ceste, itd. Raspoložive površine su više nego dovoljne, tako da nije potrebno dodatno zauzimati primjerice poljoprivredno zemljište [25].

Ne smije se naime metnuti s uma da postoji jedan fuzijski reaktor velikih razmjera, dovoljno udaljen da zrake koje zrači budu neopasne, reaktor koji sam reciklira svoj vlastiti radioaktivni otpad, koji ima za sobom 7 milijardi godina besplatnog neprekinutog rada, bez ugovora o održavanju i osiguranja, te koji se sam grana da bi distribuirao energiju po cijeloj planeti. Reaktor koji se nalazi 15 milijuna kilometara iznad naših glava. A postoji i drugi nuklearni reaktor, ne fuzijski, već fisionuklearni, kao *što su i* sadašnje centrale. Ne nalazi se iznad naših glava, već ispod naših nogu, u srcu Zemljine jezgre, a ograđen je potpuno sigurno sa 6000 kilometara stijena kroz koje može proći jedino toplina, ona geotermalna. Postavlja se stoga pitanje zašto želimo imitirati na jedan nesavršen i opasan način ono što nam je priroda stavila na raspolaganje od davnina i do vječnosti [25].

## **7. Doprinos smanjenju emisija CO<sub>2</sub> integriranjem obnovljivih izvora energije u elektroenergetsku mrežu – studija za Republiku Hrvatsku**

### **7.1. Sadašnje stanje**

Prepreke korištenju obnovljivih izvora u Hrvatskoj se sveobuhvatno i podrobno analiziraju u [26]. Bitna prepreka u integraciji obnovljivih izvora energije nije u samoj tehnologiji proizvodnje električne energije, već u fleksibilnoj mrežnoj infrastrukturi prijenosa i distribucije koja omogućava prihvat i upravljanje tokovima snage radi sigurne i pouzdane isporuke električne energije. Obnovljivi izvori energije predstavljaju izazov u vidu planiranja pouzdanog rada elektroenergetskog sustava.

Današnja električna mreža u Republici Hrvatskoj projektirana je za rad u vertikalnoj strukturi koja se sastoji od proizvodnje, prijenosa i distribucije. U prijenosu električne energije takvim sustavima gubi se velika količina energije. Model centralizirane mreže je osmišljen i planiran prije otprilike 60 godina i donio je veliku korist gradovima i seoskim područjima, ali danas se mora suočavati s novim zahtjevima vezanim uz integraciju obnovljivih izvora energije i aktivnih potrošača, te brze tehnološke promjene. Operatori će morati implementirati sustav koji se temelji na obnovljivoj energiji, odnosno na velikom broju malih generatora s promjenjivom izlaznom snagom u vremenu.

### **7.2. Uvođenje naprednih mreža**

Suvremena mreža koja bi omogućila integraciju obnovljivih izvora energije će morati biti opremljena sustavima komunikacijske potpore i tehnikama mjerenja u realnom vremenu za pospješene otpornosti i predviđanja, te za zaštitu protiv unutarnjih i vanjskih prijetnji. Projektni okvir za suvremenu mrežu se temelji na razdvajanju i restrukturiranju energetskega sektora, te optimiziranju njegove kapitalne imovine. Rekonstruirana mreža treba biti u stanju rješavati nesigurnosti u rasporedu i prenositi

snage preko određenih područja, integrirati obnovljive izvore energije, optimizirati prijenosnu moć prijenosnih i distribucijskih mreža i zadovoljavati zahtjev za povećanje kvalitete i sigurnost opskrbe, upravljati i rješavati nepredviđene događaje i nesigurnosti u radu te oživotvoriti odlučnije planiranje. Ideja suvremene mreže, u ovom slučaju napredne mreže, je uravnoteženje potreba za energijom s raspoloživom energijom kako bi se ista učinkovito raspodijelila među korisnicima. Napredna električna mreža povezuje decentralizirane izvore obnovljive energije, kogeneraciju i raspodjeljuje energiju na najučinkovitiji mogući način [27].

Elektroenergetska tvrtka u Republici Hrvatskoj je u vlasništvu države, što danas predstavlja ključnu prednost u odnosu na one koji upravo zbog privatnog vlasništva glavnih opskrbenih i distribucijskih tvrtki vrlo teško mogu provesti tranziciju iz konvencionalnih u napredne mreže. U vidu smanjenje emisija ugljičnog dioksida važno je stvoriti poticajno okruženje za decentraliziranu proizvodnju energije na krovovima i iz biomase. Mjere za široku integraciju obnovljivih izvora energije su proizvodni portfelj, skladištenje električne energije i odziv na potražnju. Pod poticajno okruženje autorice ne smatraju samo korištenje državnih subvencija glede instaliranja obnovljivih izvora energije nego i integraciju potrošača kao aktivnih sudionika elektroenergetskog sustava. Potrošači električne energije u suvremenom sustavu postaju resurs putem tzv. mjera „odziva na potražnju“. Prema mnogim istraživanjima i praksi, mjere za uvođenje „odziva na potražnju“ podrazumijevaju da „resursi za energiju na strani potražnje“ sudjeluju u reguliranju energetskog sustava, pružajući mogućnost brzog odziva uključenja i isključenja obnovljivih izvora energije, poboljšavajući stabilnost i pouzdanost sustava i pospješujući integraciju obnovljivih izvora energije u određenoj mjeri [28]. Kako bi se potaknuli sustavi „odziva na potražnju“ regulator treba uvesti ekonomske mjere u tarifni sustav. Takav tarifni sustav trebao bi imati tarifne stavke definirane prema vremenskom periodu korištenja obzirom na trenutne proizvodne kapacitete u mreži. Na taj način korisnici bi postali svojevrsni resurs u pogledu izravnavanja krivulje opterećenja, što bi primjerice bilo uvelike izraženo u sustavu čija se proizvodnja energije temelji na vjetroelektranama. Korisnici bi bili aktivno uključeni u „peglanje“ krivulje u trenucima vršnog opterećenja i u „popunjavanje“ krivulje u trenucima niske potrošnje na način da ih se potiče na povećanje opterećenja kod niske potrošnje i smanjenje opterećenja kod visoke potrošnje kako bi se postigla ravnoteža između trenutne proizvodnje i potrošnje u sustavu. Povećanje cijene električne energije čini samostalnu proizvodnju i reguliranu potrošnju energije isplativijom za korisnika.

### 7.3. Sustavi pohrane

Za održavanje pouzdanog i sigurnog elektroenergetskog sustava s niskougljičnim obnovljivim izvorima energije promjenjive izlazne snage od velikog značaja su sustavi pohrane energije. Međunarodna energetska agencija (IEA) predviđa porast potrebe za skladištenje električne energije sa trenutnih 100 GW na 189 GW do 305 GW do 2050. godine, ovisno o instaliranim kapacitetima obnovljivih izvora energije [29].



Sustavi pohrane omogućavaju produljenje raspoloživosti npr. sunčeve energije kroz dulje vremensko razdoblje, rastezanjem moguće potrošnje tijekom večernjih i noćnih sati. Tehnologije za pohranu električne energije bilo mehaničke, elektrokemijske ili fizičke su danas dostupne, zbog čega postoji veliki spektar performansi i kapaciteta za različita područja i razmjer primjene. Kritičan čimbenik u izgradnji dodatnih kapaciteta za pohranu je ekonomična izvedba u odnosu na alternative. Ona uvelike ovisi o lokalnim uvjetima i koracima koji se moraju poduzeti da bi se osposobio sustav za pohranu. S obzirom na naše podneblje podoban sustav pohrane električne energije su reverzibilne hidroelektrane čiji je osnovni princip pohrane potencijalne energije između dva akumulacijska jezera na različitim visinama. Reverzibilne hidroelektrane su do sada pokrivali 99% ukupnih kapaciteta pohrane električne energije u svijetu, uravnotežujući proizvodnju i potrošnju na prijenosnoj razini sustava. Povećanje kapaciteta obnovljivih izvora energije zahtijevati će potrebu za manjim sustavima pohrane energije. Tehnologije će se razvijati u smjeru manjih sustava za pohranu, poput baterija [30].

Još jedan način pohranjivana električne energije je zadovoljavanjem potreba električnim vozilima. Očekuje se da će broj električnih vozila i kamiona rasti. Koncept „iz vozila u mrežu“ (engl. vehicle to grid) se primjerice temelji na električnim automobilima koji su opremljeni baterijama. Njihove baterije se mogu puniti tijekom razdoblja kada postoji višak obnovljive proizvodnje te se potom mogu prazniti tijekom vršnih razdoblja potrošnje radi opskrbe potrošača ili pomoćnih službi, dok su parkirana. Tijekom razdoblja vršnog opterećenja, automobili su obično parkirani u blizini glavnih centara opterećenja, primjerice izvan tvornica, što rješava problem mreže. Skladištenje električne energije jedan je od većih izazova vezanih za napredne mreže. Pohrana električne energije može pružiti naprednoj mreži fleksibilnost i uravnoteženje samog sustava. Lokalno može poboljšati upravljanje distribucijskom mrežom, smanjenjem troškova i povećanjem efikasnosti. Na taj način se može olakšati uvođenje i široka primjena obnovljivih izvora energije od strane korisnika, pružajući sigurnost, te učinkovitost prijenosnog i distribucijskog sustava, stabiliziranjem cijena električne energije na tržištu osiguravajući veću sigurnost opskrbe.

Decentralizirana proizvodnja električne energije i potrošnja će se morati izravnati putem baterijskih sustava radi upravljanja tokovima snaga, izbjegavanja zagušenja sustava i održavanja odgovarajuće naponske razine.

## 8. Financiranje razvoja

kada je riječ o troškovima neophodne energetske tranzicije, treba naglasiti da nismo u situaciji u kojoj je nečinjenje opcija, pa ublažavanje klimatskih promjena košta nemjerljivo manje od nepoduzimanja ničega. Mjere razboritosti ne koštaju ništa ili malo jer se odnose na odabir ponašanja, a korisne su jer se štedi energija i novac. Mjere učinkovitosti, unatoč početnom ulaganju, su dugoročno korisne, a mogu također

biti i kratkoročno. Obnovljivi izvori imaju male pogonske troškove i moguće veća početna ulaganja, ali troškovi neobnovljivih izvora ne obuhvaćaju eksternalije koji će se povećavati u budućnosti [20].

Potreban je program javno financiranog istraživanja velikih razmjera. Većina glavnih tehnoloških pomaka u posljednjih stotinu godina potječe iz javno financiranog istraživanja i razvoja – računar, poluvodiči, Internet, genetski nizovi, širokopojasne veze, satelitske veze, te nuklearna energija. S druge strane kod klimatskih promjena je glavna pažnja bila usmjerena na poticaje za privatni sektor: cijene ugljika, poticajne tarife i regulatorne norme. Navedeni su naravno bitni i moraju i dalje imati značaj za program klimatskih promjena tijekom narednih desetljeća, ali su javno financirano istraživanje, razvoj i demonstracija također ključni, a danas na obnovljive izvore otpada manje od 2% ukupno javno financiranog istraživanja i razvoja. Energetski sektor ne troši puno na istraživanje i razvoj jer je odnos prema prodaji manji od 2% u usporedbi sa 5% u potrošačkoj elektronici i 15% u farmaceutskoj industriji. Temperatura je klasično javno dobro – na nju utječe svatko od nas, a posljedicu naše osobne odluke o korištenju energije osjete gotovo u cijelosti drugi ljudi [31].

Električne mreže su složeni sustavi sa strogim zahtjevima koji se između ostalog odnose na dugoročnu pouzdanost. Elektroprivredne tvrtke su do sada iskazivale kako smatraju da su ulaganja u naprednu niskougličnu mrežu prevelika. Ulaganja u naprednu mrežu ne bi trebala biti veća od ulaganja u konvencionalne sustave ako napredne mreže imaju učinak koji konvencionalne mreže ne mogu pružiti ili ako mreže mogu učinkovitije raditi zahvaljujući naprednoj tehnologiji. Nadalje, ulaganja u konvencionalna rješenja se mogu pokazati izrazito skupa za dugoročni rad ako zahtijevaju veće troškove pogona i održavanja ili u slučaju da se određena ulaganja trebaju raspodijeliti kroz duži vremenski period.

Postoji nekoliko studija o troškovima integracije naprednih mreža koje dosta detaljno prikazuju projekcije cijena [32]. Sve te studije su još u eksperimentalnoj fazi, a kako se troškovi i cijene mijenjaju svakodnevno, u ovom radu nisu navedeni iznosi takvih ulaganja za pojedine sektore. Najveća ulaganja očekuju se u prijenosnoj mreži i uključuju senzore u prijenosnim vodovima, sustave za pohranu energije, fleksibilne prijenosne sustave izmjenične struje (FACTS) i visokonaponske istosmjerne vodove (HVDC), uređaje za ograničavanje struje kratkog spoja, komunikacijsku infrastrukturu za podršku prijenosnih vodova i transformatorskih stanica, informacijsku tehnologiju u postrojenju, kibernetiku zaštitu, inteligentne elektroničke uređaje i sinkronizirane mjerne jedinice. Osim uređaja potrebno je razviti računске alate koji su u stanju učinkovito planirati rad elektroenergetskog sustava. Ulaganje u infrastrukturu distribucijske mreže određena su proširenjem komunikacije između transformatorskih stanica, inteligentnih elektroničkih uređaja, nadzorom nad cjelokupnim distribucijskim sustavom, suradnjom distribuiranih funkcija kroz logičke čvorove i povećanom učinkovitošću sustava. Automatizacija distribucijske mreže uključuje integraciju sustava nadzora, upravljanja i prikupljanja podataka (SCADA), napredna distribucijska osjetila, napredne inteligentne elektroničke uređaje, transformatore, zaštitu te naprednu

dvosmjernu komunikaciju sustava za optimizaciju rada sustava. Povećana učinkovitost sustava i pad cijena komponenti mrežne infrastrukture utjecati će na buduća ulaganja u naprednu distribucijsku mrežu.

## 9. Zaključak

Zakiseljavanje i zagrijavanje mora zbog emisija CO<sub>2</sub> predstavljati izniman globalni i lokalni problem. Republika Hrvatska koja ima značajne koristi od morskih resursa također raspolaže značajnim potencijalom u korištenju obnovljivih izvora energije zbog njenog geografskog položaja i bogatstvo prirodnih resursa. Općepoznato ovdašnje tumačenje je da tromost današnje mreže ne dozvoljava integraciju obnovljivih izvora energije s promjenjivom izlaznom snagom. Svijest samih potrošača koji su korisnici elektroenergetske mreže je još uvijek relativno niska. Svaki korisnik redovno plaća tzv. mrežarinu odnosno naknadu za korištenje mreže prema operatoru prijenosne i distribucijske mreže što danas iznosi blizu 50% ukupnog iznosa računa za električnu energiju. Sami operatori sustava tako ne potiču potrošače da postanu aktivni sudionici mreže odnosno da sudjeluju u upravljanju vlastitom potrošnjom. Međutim, operatori prijenosnog i distribucijskog sustava su zakonski regulirana javna djelatnost te je njihova obveza ulaganje i planiranje razvoja mrežne infrastrukture u vidu suočavanja s izazovima vezanim uz prihvatanje energije iz obnovljivih izvora, što treba doprinijeti i očuvanju morskog okoliša od pogibelji zakiseljavanja i zagrijavanja.

## Literatura

1. „The Guardian view on ocean science: we should care more and invest more“, The Guardian, 7 August 2015
2. „The European Environment State and Outlook 2015“, European Environment Agency, 2015
3. „Ask the real experts about ocean acidification, not climate science deniers“, The Guardian, 16 April 2015
4. „Ocean acidification – Starting with the Science“, National Research Council of National Academies, 2011
5. „Rising Acidity in the Ocean: The Other CO<sub>2</sub> Problem“, Scientific American, 1 September 2008
6. REVELLE, R., SUESS, H.E.: „Carbon Dioxide Exchange Between Atmosphere and Ocean and the Question of an Increase of Atmospheric CO<sub>2</sub> during the Past Decades“, Tellus, Vol. 9, Issue 1, pp 18-27, February 1957
7. „Offshore renewable energy“, Marine Conservation Institute, [www.marine-conservation.org](http://www.marine-conservation.org), 5.10.2015.
8. „Ocean acidification: Not just for oceans anymore!“, Grist, 30 June 2015
9. VALERO CAPILLA, A., VALERO DELGADO, A.: „Thanatia: The Destiny of the Earth's Mineral Resources: a thermodynamic cradle-to-cradle assessment“, World Scientific Publishing, 2015
10. NAGELKERKEN, I., CONNELL, S.D.: „Global alteration of ocean ecosystems functioning due to increasing human CO<sub>2</sub> emissions“, PNAS, doi: 10.1073/pnas.1510856112, October 12, 2015
11. STEFFEN, W. ET AL.: „Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet“, Science, Vol. 347, Issue 6223, 13 February 2015
12. LUTTENBERGER, A., RUNKO LUTTENBERGER, L.: „Uloga pravosuđa u suzbijanju klimatskih promjena i zaštiti morskog okoliša“, Poredbeno pomorsko pravo, god. 54 (2015), 169, str. 515-531

13. ROCKSTRÖM, J. ET AL.: „Planetary boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity“, *Ecology and Society* 24(2), Art. 32
14. „Draft Declaration on Planetary Boundaries“, World Wildlife Fund (WWF) 2011., [www.wwf.org.uk](http://www.wwf.org.uk), 26.10.2011.
15. Nature 2009. Editorial, Vol. 461, Issue no. 7263, 24.9.2009.
16. „CO2 Emissions from Fuel Combustion Highlights“, International Energy Agency, 2014
17. JACOBSON, M.Z., DELUCCHI, M.A.: „Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials“, *Energy Policy* 39 (2011) 1154-1169
18. DELUCCHI, M.A., JACOBSON, M.Z.: „Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part II: Reliability, system and transmission costs, and policies“, *Energy Policy* 39 (2011) 1170-1190
19. LUTTENBERGER, A.; RUNKO LUTTENBERGER, L.: „Environmental life-cycle costing in maritime transport“, IAMU AGA 2015 Proceedings, University, of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, 2015, pp 217-223
20. „The négaWatt 2050 Scenario – Executive Summary“, Association négaWatt, 2013
21. „Energy [r]evolution“, Greenpeace Report 5th Edition 2015 World Energy Scenario
22. „One Scientist’s Hopeful View on How to Repair the Planet“, *Environment360*, 23 September 2015, <http://e360.yale.edu>
23. RUNKO LUTTENBERGER, L.: „Achieving resource efficiency through the intergration of energy, water and waste sectors“, *Inženjerstvo okoliša* (2015) vol. 2 No. 1, str. 23-28
24. „The Future of Solar Energy“, Massachusetts Institute of Technology, 2015
25. SALOMON, T., JEDLICZKA, M.: „Changeons d’Énergies“, *Actes Sud*, 2013
26. RUNKO LUTTENBERGER, L.: „The barriers to renewable energy use in Croatia“, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 49 (2015) 646-654
27. LUTTENBERGER, LEILA: “Koncept integracije naprednog doma, naprednog grada i naprednih mreža”, Diplomski rad, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, srpanj 2014.
28. SCHENGCHUN, YANG, JIANGUO, YAO, BEIBEI, WANG, HONGFA, DING, JIANTAO, LIU: “An Integrated Generation - Demand Response Scheduling Model on Supporting High Penetration of Renewable Energy Generation”, *IEEE*, 1701 – 1705, 20-22.10.2014
29. „Technology Roadmap-Energy Storage“, International Energy Agency, 2014
30. Portal croenergo.eu: „Mogućnost pohrane energije“, <http://www.croenergo.eu/mogucnosti-pohrane-energije-396.aspx>, 20.05.2014.
31. KING D. ET AL.: „A Global Apollo Programme to combat Climate Change“, Centre for Economic Performance, The London School of Economics and Political Science, 2015
32. MOMOH, J.; „Smart Grid – Fundamentals of Design and Analysis“, IEEE Press, Wiley, New Jersey, 2012

Lidija Runko Luttenberger, Leila Luttenberger

## **The Implementation of Power Generation Solutions that Preserve Marine Environment from Acidification and Warming**

### **Abstract**

The effects of pollution and climate change are overwhelming natural resilience of the seas and oceans so that European seas face the challenge of rising sea temperature and acidification. Acidification of the seas, judged as one of the gravest and most immediate planetary threats, is the consequence of rising concentrations of carbon dioxide. In complying with precautionary principle, the solution is in immediate reduction of carbon dioxide emissions. Since the very process of power generation significantly impacts the global emissions of carbon dioxide as it relies mostly on conventional sources, the authors provide an overview of relevant research work concerning the transition to renewable sources and propose the solutions for accommodating the power from potentially numerous renewable sources into power grid in the Republic of Croatia.

**Keywords:** ocean acidification, carbon dioxide emissions, renewable sources, smart grids, marine environment

