

## novosti i zanimljivosti

Uređuje: Mirko Klaić, dipl. ing.

### Uloga optike u telekomunikacijama

Ogromni tehnički napredak 20. stoljeća značajno je promijenio važna područja svakodnevnog života unutar manje od 50 godina i od našeg društva učinio komunikacijsko i informatičko društvo. Pristup informacijama nije više primarno omogućen dobro sređenim bibliotekama, nego danas stoji na raspolaganju široko i nepregledno mnoštvo globalnih i aktualnih informacija svakome na privatnom ekranu preko interneta uz nisku cijenu i na udoban način. Usporedo s korištenjem svjetskih izvora informacija doživljavamo val komunikacijskih mogućnosti s jeftinom globalnom telefonijom, stalnom dostupnošću pomoću izgrađenih mobilnih mreža, E-mailom ili internetom. Te tehničke mogućnosti ostavile su značajne tragove u socijalnim i komunikacijskim odnosima, i ne zadnje – i kao posljedicu »*Anglobalisation*« zbog jake migracije engleskih izraza u druge jezike.

S tehničkog gledišta postignute su poznate transformacije našeg društva pionirskim tekovinama u mnogim područjima znanosti. Probojima u elektronici, i to prije svega u tehnici poluvodiča, omogućeno je funkcioniranje i minijaturizacija, do snažnih mikroprocesora, koji se danas nalaze u svakom računalu i mobilnom telefonu. S time povezani nagli razvoj digitalne tehnike rezultirao je u univerzalno primjenjivim i lako prilagodljivim komponentama za različite primjene, što je bio ključ za nastanak masovnog tržišta. S digitalnom tehnikom tijesno je vezana digitalna tehnika prijenosa, koja je isto tako univerzalno primjenjiva: čim je omogućena komunikacija audio-, video- i tekstnih informacija, moguće je provesti prijenos na daljinu, memoriranje ili daljnju obradu. Osim toga digitalna tehnika omogućuje prijenos informacija bez ikakvog gubitka kvalitete. Prednosti digitalne tehnike dopuštaju operaterima mreža korištenje konvergentnih mreža za sve primjene – od mobilnog radija do interneta i televizije – umjesto prema primjeni specifičnih mreža, koje su morali imati prije kao autonomne mreže. Težnja prema konvergentnim mrežama predstavlja danas jedan od glavnih zadataka za mnoge operatere mreža i već je u nekom smislu realnost.

Konvergentna digitalna telekomunikacijska mreža sastoji se iz mreže za prijenos na velike udaljenosti i od više pristupnih mreža. Svaka mreža sastoji se od vodova koji su odgovorni za prijenos informacija i od čvorišta s prekapčanjem, u kojima se prema potrebi ostvaruju spojevi vodova. Optička tehnika danas se prije svega koristi za prijenosne linije i uvjetno također u čvorištima za prekapčanje. S danas širom svijeta intenzivnom primjenom spajanja privatnih pretplatnika (»*Fiber to the Home*«) prodire optička tehnika već u područje pristupnih mreža.

#### Optika u prijenosu podataka

Prema zahtijevanom funkcioniranju unutar mrežnog segmenta poseže se za raznim digitalnim prijenosnim tehnikama. Izbor podobne tehnike za određeni segment ravna se prema cijeni uz uzimanje u obzir:

- zahtijevane širine pojasa,
- duljine prijenosa,
- zahtjeva na mobilnost krajnjih stanica,
- mogućnost korištenja vodova i
- mogućih zakonskih ograničenja.

Različite komunikacijske tehnologije često se uspoređuju pomoću najvažnijih parametara: najvećeg kapaciteta prijenosa (data rate) i najveće udaljenosti preko koje se može prenijeti signal bez regeneracije a da se signal ne izgubi. Isto tako je karakteristični parametar umnožak širine pojasa i udaljenosti. Najmanji umnožak širine pojasa i udaljenosti je kod pokretne telefonije, što je cijena za fleksibilnost i mogućnost veza između velikog broja sudionika. Satelitski sustavi omogućuju velike udaljenosti (najčešće su to geostacionarni sateliti na visini od oko 36 000 km), ali im je kapacitet prijenosa ograničen.

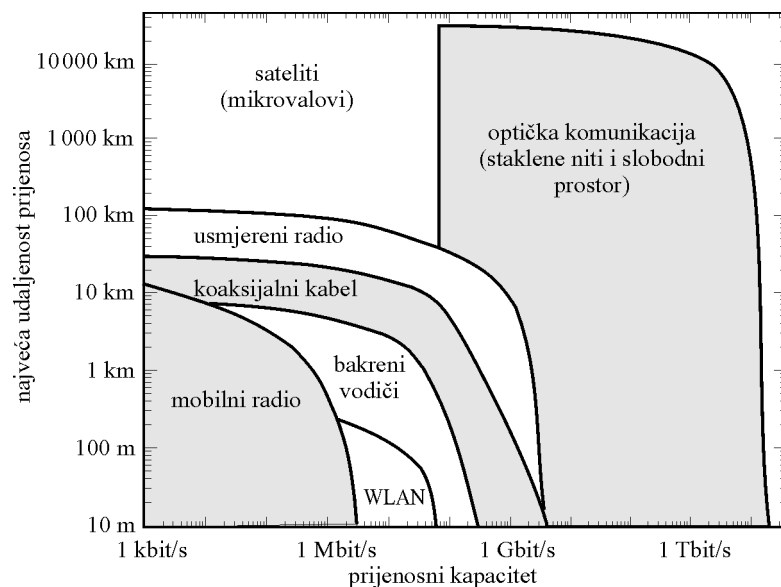
Bežične prijenosne tehnike osiguravaju veliku fleksibilnost i mobilnost, ali su osjetljive na interferencije i smetnje zbog nekih pojava u atmosferi i podložne su zakonskim ograničenjima frekvencijskih pojaseva i najveće snage odašiljača. Zbog toga se prijenosi obavljaju preko vodova gdje već postoje, ili ih se uz prihvatljive troškove može položiti. Koriste se i bakreni vodiči koji uz mo-

derne digitalne metode obrade signala mogu postići značajne prijenosne kapacitete uz manje udaljenosti. Tako se primjenjuju za ethernet spojeve u lokalnim mrežama i postižu kapacitet prijenosa 10 do 100 Mbit/s. Bolja kvaliteta prijenosa se postiže koaksijalnim kabelima, koji se koriste za televizijske i internet veze. U slučaju pristupnih vodova, ako ih treba polagati, danas su optički s obzirom na troškove značajno povoljniji od bakrenih vodova.

Bitno veći umnošci širine pojasa i udaljenosti mogu se postići optičkim komunikacijskim tehnologijama, pri čemu se misli na vodove od staklenih niti. Procjenjuje se da je do danas već položeno više od 750 milijuna kilometara optičkih niti. Staklene niti imaju ekstremno malo gušenje od oko 0,2 dB/km kod komercijalno korištenih duljih valova svjetlosti od 1530 do 1625 nm. (Tom pojasu duljine valova odgovara širina pojasa komunikacijskog kanala od 11,5 THz pri srednjoj frekvenciji od 190 THz!). Za usporedbu koaksijalni kabeli, prema izvedbi, imaju 100 do 1000 puta veće gušenje uz korisnu širinu pojasa kanala od samo jednog GHz. Postižu se prijenosne udaljenosti staklenih niti od nekoliko kilometara kod pristupnih mreža do više tisuća kilometara kod prijenosa podmorskim kabelima između kontinenata. Komercijalni zemaljski optički kabeli mogu danas prenositi već nekoliko Tbit/s na udaljenosti od nekoliko tisuća kilometara. U razvojnim laboratorijima nedavno postignuti rekord prijenosnog kapaciteta jedne jedine staklene niti promjera 125  $\mu\text{m}$  iznosi 25,6 Tbit/s.

Pored optičkih komunikacija staklenim nitima ostvarene su pojedinačno također optičke komunikacije zrakama svjetlosti u slobodnom prostoru. Tu su postignute prijenosne daljine od nekoliko stotina metara u zemaljskim optičkim usmjerenim sustavima do više tisuća kilometara u komunikacijama između satelita. Prednost optičkih usmjerenih veza pred uobičajenim mikrovalnim usmjerenim vezama je osim velike raspoložive širine pojasa i u maloj divergenciji zraka svjetlosti. To s jedne strane daje nisko inherentno gušenje kanala i s druge strane izaziva manje elektromagnetskih interferencija, što omogućuje bolje korištenje čitave širine kanala. Razumljivo, zbog tanke zrake je usmjeravanje dviju optičkih antena jedne na drugu otežano. Dalje može pri zemaljskim primjenama atmosfersko gušenje, uvjetovano stanjem u atmosferi, biti vrlo visoko (npr. preko 100 dB/km pri gustoj magli). Optičke satelitske veze ili u višim slojevima atmosfere leteće platforme rade bez atmosferskih utjecaja, a ostvaren ih je ograničen broj.

Konačno treba spomenuti optiku kao širokopoljnu tehniku za ekstremno kratke udaljenosti, koje dolaze u obzir za nekoliko desetaka metara duge međuspojeve između elemenata mreže. Još kraći optički spojevi dolaze u obzir za čvorišta prekapčanja. Najkraće optičke veze će se primjenjivati u budućnosti na štampanim pločicama pa do njihove primjene kao integralnih komponenata paralelnih mikroprocesorskih arhitektura.



Najveće prijenosne daljine i prijenosni kapaciteti, koji se postižu danas uobičajenim digitalnim tehnikama

### Optika u čvorištima za prekapčanje

Pored njihove primjene u transportu velikih količina podataka na ogromne udaljenosti, mogu optičke metode uvjetno biti primijenjene za prekapčanja u čvorištima mreža. Važno je razlikovati prekapčanje vodova od prekapčanja paketa podataka.

Pri prekapčanju vodova ostvaruje se stalni spoj između dva sudionika u komunikaciji, neovisno o tome da li sudinici stalno izmjenjuju informacije ili ne. Takvi spojevi mogu se optički vrlo djelotvorno realizirati tako da se različite duljine valova svjetlosti u jednom čvorištu optički usmjere na različite, već konfigurirane izlazne niti. Za to potrebne komponente napravljene su npr. od kombinacije disperzivnih optičkih ele-

menata za odvajanje kanala prema valnoj duljini i mikro ogledala za njihovo skretanje na različite izlazne niti.

Suprotno prekapčanju vodova moraju mrežna čvorišta za prekapčanje paketa dijelove paketa analizirati, preinačiti i dalje ih raspodijeliti točno prema algoritmu. Za vrijeme algoritamske prerade mora paket podataka biti memoriran prije nego što bude poslan na neki izlazni vod. Kako je optičko rješenje memoriranja podataka zbog prirode svjetlosti vezano s mnogo problema, takva rješenja se ne koriste. Umjesto toga mogu se prednosti obiju tehnologija spretnom kombinacijom elektronike i optike koristiti za usmjeravanje paketa podataka. Tako se elektroničke metode koriste za memoriranje i procesiranje, a optičke metode za prekapčanje ovisno o duljini vala od ulazne strane čvorišta na izlazne vodove.

### Zaključak

Temeljna snaga optike je u raspoloživim velikim širinama pojaseva i širenju svjetlosti u svjetlovodima praktički bez gubitaka. U tehnici prekapčanja optičke metode se mogu koristiti samo u iznimnim slučajevima budući da elektronika nudi znatno bolja rješenja za algoritamsku preradu i međumemoriranje.

e & i, 6/2007

## Antene s digitalnim upravljanjem zračenja

Tvrtka IMST GmbH i Tehnički fakultet Hamburg-Harburg, Njemačka predstavili su prototip elektronički upravljane antene s digitalnim oblikovanjem dijagrama zračenja i zakretanjem snopa zračenja za mobilne satelitske komunikacije. To omogućava radiovezu između zrakoplova i satelita bez pokretnih mehaničkih dijelova. Projekt pod nazivom *Santana (Smart Antenna Terminal)* podržao je Njemački centar za zračni i svemirski promet (DLR) uz sredstva države. Sa *Santanom* je u Njemačkoj postavljen kamen temeljac za kompletne terminalske antene. Cilj istraživačkih aktivnosti je razvoj djelotvornih elektronički upravljanih antena, čiji se željeni oblik dijagrama zračenja postiže digitalno uz podršku računala. Jedan fleksibilni model izgrađen na integriranim modulima sa 16 antenskih elemenata uključujući kompletnu elektroniku odašiljača i prijamnika je jamstvo za jeftinu i prilagodljivu antenu.

Prilikom predstavljanja 30. svibnja 2007. godine u laboratorijima IMST-a u Kamp-Lintfortu, Njemačka, prikazan je privremeni demonstracijski sustav od 64 antenska elementa. Prototip još nije pot-

puno minijaturiziran, ali pokazuje već sve prednosti potpuno elektronički upravljanog zračenja antene. Funkcionalnost prototipa dokazana je nedavno na zrakoplovu u letu.

Mobilne radiokomunikacije u područjima viših frekvencija dosad su zahtijevale mehanički zakretljive antene, koje su se podešavale prema kretanju objekta. Kao alternativa sada dolaze elektronički upravljani antenski sustavi. Nacionalna agencija za promet u svemiru u Njemačkom centru za zračni i svemirski promet (DLR) u Bonnu podržava uz sredstva države od 2003. godine konzorcij od vodećih razvojnih tvrtki za antene: TH Hamburg-Harburg, IMST, EADS Astrium i DLR Oberpfaffenhofen. Elektroničkim zakretanjem dijagrama zračenja omogućuju se širokopolasni i varijabilni komunikacijski kanali između mobilnih platforma s jedne strane i stacionarnih ili pokretnih objekata, kao što su sateliti s druge strane. Pritom se postižu visoki kapaciteti prijenosa približno usporedivo s DSL vezama. *Santana* je u prvom redu podesna kao antena integrirana u trup zrakoplova, da bi se ostvarila komunikacija sa satelitom.

Namjera Santane bila je postaviti kamen temeljac za kompletnu aktivnu terminalsku antenu satelitske komunikacije u frekvencijskom pojasu Ka (od 20 do 30 GHz).

Kapaciteti prijenosa podataka demonstracijskog primjerka različiti su za odašiljač i prijamnik tako da nastaje za mnoge primjene tipično asimetrični prijenos podataka: mali kapacitet prijenosa (bruto 400 kbit/s, BPSK) pri odašiljanju (*Uplink*), veliki kapacitet prijenosa (bruto 28 Mbit/s, OPSK) kod prijama (*Downlink*) – s kompletnim antenskim poljem s oko 64 modula.

ntz, 5/2007

## »Otisak prsta« atoma

Odrediti što je koja tvar kada se radi o čeliku, opeki, drvetu ili plastici, jako je jednostavno, ali ne i na razini atoma kada nema informacija o uobičajenim obilježjima. Koristeći *atomic-force microscope* (AFM), ipak je međunarodni tim fizičara razvio način dobivanja »otiska prsta« atoma, kojim se može odrediti kemijski identitet pojedinih atoma u smjesi nekoliko vrsta atoma.

»Sve do sada nije bilo tehnike koja bi nam omogućavala identifikaciju 'atom po atom' i da se to istodobno 'vidi'«, kaže Rubén Peréz Autonomous University u Madridu. Koristeći AFM, Óscar Custance i njegovi suradnici na fakultetu u Osaki, Japan, zajedno s Peréзом i njegovim suradnicima, uspjeli su prepoznati kositar, silicij i olovo, koji su kemijski slični. Dobivena slika atoma nalikuje

zrnatoj strukturi, gdje su »zrna« atomi. Radilo se o slitini triju navedenih kovina.

Mogućnost identifikacije i manipulacije atomima javila se 1989. godine kada su znanstvenici tvrtke IBM logo svoje tvrtke složili od atoma ksenona. Tada su fizičari koristili skenirajući tunelski mikroskop (STM), koji atome detektira pomoću slabog toka elektrona između šiljka mikroskopa i atoma. Prema tome takav mikroskop može identificirati samo atome električki vodljivih tvari.

Za razliku, tehnika AFM-a za dobivanje »otiska prsta« se može primijeniti i za električne vodiče i za izolatore, a sličan je fonografu. AFM koristi ultra tanku iglu na savitljivom kraku. Kako se igla jednoliko kreće po površini, pomiče se gore i dolje kada naiđe na atom na površini. Te oscilacije nastaju zbog privlačnih sila između silicija na šiljku i atoma na površini.

Japansko-španjolski tim pokazao je da frekvencija oscilacija ovisi o vrsti atoma. Istraživači moraju biti dobro uvježbani da bi mogli identificirati vrstu atoma u mnoštvu sličnih. Perez kaže »Slično raspoznavanju drveta u velikoj spletenoj šumi«.

U prethodnom radu Custance i njegov tim prikazali su kako mogu pomoću AFM-a pomicati atome kositra po površini germanija i napisati slova »Sn« (kemijski simbol kositra). Kombiniranje te metode s metodom »otiska prsta« atoma otvara uzbudljivu mogućnost za AFM – istraživači bi mogli učiniti »vidljivim reakcije s rezolucijom atoma«, napominje Custance. I dodaje kako se mikroelektronika u dimenzijama smanjuje i ide u područje nanometra – 2000 današnjih tranzistora moglo bi se smjestiti na širinu ljudske kose – slaganjem nekoliko atoma prema unaprijed definiranom uzorku, mogle bi se postići željene osobine uređaja«.

Sciam, june 2007

## Spajanje fotona

Dva zelena čine plavi: istraživači Instituta *Max Planck* za istraživanje polimera u Mainzu i znanstvenog laboratorija tvrtke *Sony* u Stuttgartu uspjeli su proizvesti foton plave svjetlosti velike energije od dva fotona zelene svjetlosti manje energije osvjetljavanjem zelenom svjetlošću rastvora dviju fotoaktivnih supstancija. Takav proces nastaje i kod fotona Sunčeve svjetlosti. I prije je postojala mogućnost pretvaranja koherentne svjetlosti manje energije u svjetlost veće energije fotona. Mogućnost sparivanja fotona Sunčeve svjetlosti mogla bi pomoći povećanju stupnja djelovanja Sunčevih ćelija.

Sunčeve ćelije ne mogu pretvoriti dugovalnu svjetlost male energije u elektricitet što značajno smanjuje njihov stupanj djelovanja. Spomenuti znanstvenici su uspjeli pretvoriti dugovalnu svjetlost Sunca u svjetlost kraćih valova i veće energije kada fotoni potječu od istog izvora kao što je Sunce. Na taj način, dio svjetlosti koji je sada izgubljen, mogao bi se iskoristiti u Sunčevoj ćeliji.

Istraživači su proveli dugovalnu zelenu svjetlost kroz rastvor platinskog oktaetil porfirina i difenil-antracena. Dvije aktivne supstancije kombiniraju dva zelena fotona u jedan plavi. Prije je takvo sparivanje bilo moguće samo s fotonima laserske zrake, premda je to postignuto na drugačiji način: bombardirane fotonima lasera, neke molekule apsorbiraju dva fotona istodobno i nakon toga emitiraju jedan veće energije. Ako svjetlost iz zajedničkog izvora nije dovoljno jaka, nije vjerojatno da će u tom slučaju doći do sparivanja fotona.

Novo otkriveni rastvor dvije fotoaktivne supstancije kombinira fotone zajedničkog izvora koristeći drugačiji mehanizam: triplet-triplet interakciju. Molekule supstancije platinskog oktaetil porfirina služe kao antene za fotone zelene svjetlosti. One akumuliraju energiju svjetlosti i prelaze u uzbuđeno stanje i tada je predaju supstanciji difenil-antracen, čije molekule prelaze u uzbuđeno stanje. Ako se dvije uzbuđene molekule difenilantracena sudare, jedna predaje energiju drugoj koja tada posjeduje veliku energiju. Ona se vrlo brzo vraća u osnovno stanje i pritom emitira foton plave svjetlosti. Iako taj foton svjetlosti ima veću energiju nego prvotno emitirana zelena svjetlost, ukupno gledajući, nije stvorena nova energija, nego je energija dvaju fotona sada u jednom fotonu.

Da bi se osiguralo da dvije fotoaktivne supstancije rade zajedno, kemičari moraju pažljivo koordinirati procese. Osim toga, uzbuđene molekule-antene moraju čuvati energiju dovoljno dugo i ne smiju je predati nigdje drugdje nego samo emiter-skoj molekuli. Za triplet-triplet interakcije, emitirajuća molekula mora primiti paket energije od molekule-antene i držati ga dok se ne sudari s drugom uzbuđujućom molekulom.

Istraživački tim zna za više supstancija koje ispunjavaju zahtjeve za postizanje fuzije fotona i druge boje svjetlosti. Stoga se vjeruje da bi se moglo postići potpuno iskorištenje širokog Sunčevog spektra. Istodobno istraživački tim pokušava integrirati fotoaktivne supstancije u polimernu matricu da bi izvedba bila podesna za primjenu kod Sunčevih ćelija.

Max Planck Research 1/2007

## Vodik na tračnicama

O vodiku kao gorivu budućnosti mnogo se piše kada je riječ o primjeni u automobilima, na što će se čekati još dobar niz godina. S druge strane, malo se objavljuje o primjeni vodikovih gorivnih ćelija u području željeznice i industrije, gdje je više eksperimenata u tijeku.

Objektivno se kod prometnih uređaja koji rade pod zemljom ili u prostorijama dobro gleda na vodik i rado bi se primjenjivao umjesto električnih akumulatora. Radi se o malim željeznicama u rudnicima, tvornicama i vojnim bazama. Razmjerno je jednostavno zamijeniti opremu kod dizelelektričnih lokomotiva podzemnih linija s gorivnim ćelijama tako da se zadrže elektromotori i potrebne instalacije. Jedna od vodećih tvrtki u tom razvoju je *Vehicle Projects LLC*, Denver, SAD.

U jednom poslu *Vehicle Projects* preuređuje dizelelektričnu manevarsku lokomotivu od 109 tona na pogon gorivnim ćelijama tipa PEM, i vodikom kao gorivom. U gorivnim ćelijama proizvedenim u tvrtki *Nuvera Fuel Cells Inc.*, Cambridge, Massachusetts, SAD, odvijaju se kemijske reakcije između vodika i kisika, a rezultat je proizvedena toplina, voda i električna energija za napajanje elektromotora lokomotive ukupne snage 1200 kW. Ugrađeno je ukupno osam gorivnih ćelija od po 150 kW. Projekt sufinanciraju ministarstva obrane i energije, SAD, vlada Japana i *National Automotive Center*, Warren, Michigan, SAD. Sedmogodišnji projekt započeo je 2003. godine.

»Armija je zainteresirana za lokomotive s gorivnim ćelijama jer mogu poslužiti i kao pokretna postrojenja za napajanje električnom energijom vojnih baza ili slično«, govori A. R. Miller, predsjednik tvrtke *Vehicle Projects*. »Lokomotiva s gorivnim ćelijama ukupne snage 1200 kW u prvom redu će služiti kao manevarska lokomotiva u željezničkom sustavu baze. U slučaju napada na bazu, raspada elektroenergetskog sustava ili neke prirodne katastrofe kao što je bio uragan *Katrina*, može lokomotiva otići tamo gdje je potrebna i davati energiju za oko 1000 domaćinstava ili pomoći ljudima ovisnim o respiratorima ili dijalizi«.

*Vehicle Projects* je poznat kao prva tvrtka koja je napravila lokomotivu s gorivnim ćelijama. Njihova prva lokomotiva od 3,6 tona i 15 kW napajana vodikom – za koju je gorivne ćelije tipa PEM proizvela *Nuvera* – dovršena je 2002. godine i demonstrirala je svoje mogućnosti u rudniku u Ontariu. »Pregradili smo lokomotivu s akumulatorima, budući da je već imala električni pogon«, kaže Miller. Rudnička lokomotiva služi i kao potvrda koncepta lokomotive s gorivnim ćelijama. Da li je

dovoljno sigurna? Može li se lako i sigurno napuniti gorivom? Može li dati dovoljno snage za industrijske, komercijalne i gradsko/prigradske primjene? Bila su to najčešća pitanja. »Uspješno može zamijeniti lokomotivu s baterijama, ima dva puta veću snagu i može biti s dovoljno sigurnosti napunjena vodikom u 30 do 45 minuta u usporedbi s potrebnih 8 sati kod akumulatora«.

*Vehicle Projects* sudjeluje također u gradnji prve lokomotive s gorivnim ćelijama za gradske/prigradske željeznice. Isporučuje kompletne gorivne ćelije snage 150 kW s dodatnom opremom (crpke, ventilatori) tokijskom Željezničkom tehničkom istraživačkom institutu (RTRI), koji će graditi za *Japan Rail East* prvu lokomotivu s gorivnim ćelijama za putničke vlakove.

RTRI planira dvodijelnu lokomotivu – jedan dio nosit će elektromotore, transformator i akumulator za energiju kočenja, a drugi dio sklopove gorivnih ćelija i cilindrični rezervoar vodika. Najveća brzina vlaka bit će 120 km/h i moći će prevaliti 300 do 400 km s jednim rezervoarom vodika. Očekuje se da će vlak biti dovršen do 2010. godine, a prototip s četvrtinom snage konačne izvedbe već se ispituje.

Eksperti za željeznicu s pogonom na vodik (*hydraulic*), vjeruju da će se širom svijeta uvoditi lokomotive s alternativnim gorivom, budući da se može očekivati vrlo veliki porast cijena dizelskog goriva. »Željeznica gleda što se događa u zračnom prometu gdje su stvoreni vrlo veliki gubici pretežito zbog porasta cijena goriva«, kaže Miller.

Danska planira oko 2010. godine uvesti vlak pogonjen vodikom na liniji dugoj 59 km koja spaja tri grada u zapadnom Jutlandu. Lokomotive bi koristile jednim dijelom vodik oslobođen u kemijskoj proizvodnji i drugim dijelom vodik dobiven elektrolizom uz korištenje energije iz vjetroelektrana. Sada Danska vjetroelektranama pokriva oko 35 % od ukupno proizvedene elektroenergije, tako da su planeri projekta sigurni da postoji podoban izvor energije.

Danski projekt pod nazivom *The Hydrogen Train* je pod nadzorom europskog konzorcija. U tom konzorciju participiraju *Hydrogen Innovation and Research Center* (HIRC), koji je već razvio malo vozilo za trgovine i mali ribarski brod s gorivnim ćelijama, Danski tehnološki institut, H Logic, tvrtka koja projektira, proizvodi i prodaje gorivne ćelije i opremu za proizvodnju i spremanje vodika, i *Vemb-Lemvig-Thyboron Jernbane*. Skupina, koja namjerava uvesti lokomotive s vodikovim gorivnim ćelijama oko 2010. godine izračunala je da je energija koju proizvodi vjetroelektrana snage 1 MW dovoljna za napajanje vlaka od dva vagona.

Službeno, HIRC izjavljuje da će uvesti vodik kao gorivo u dvije faze: prvo će kod preuređene dizelelektrične lokomotive vodik izgarati u cilindrima motora, a nakon toga će se ugraditi gorivne ćelije i akumulator za spremanje energije kočenja.

Vodik je u međuvremenu postao gorivo izbora i za druge industrijske primjene. Prashant S. Chintavrar, direktor u tvrtki *Nuvera*, kaže da njihovi ugovori sadrže statičke izvore energije, traktore za prtljagu u zračnim lukama i gradske autobuse s gorivnim ćelijama.

IEEE Sp. August 2006.

## Povratna veza kod stakleničkog učinka

Oceani upijaju gotovo trećinu ugljičnog dioksida kojeg čovječanstvo ispušta u atmosferu. Što je više stakleničkih plinova u zraku, to više bi se trebalo otopiti u morima. To ipak nije tako. U najmanju ruku u južnim dijelovima oceana primjećuje se u zadnjih 25 godina učinak zasićenja. To je nedavno po prvi puta mjerenjima dokazao međunarodni tim istraživača pod vodstvom Instituta *Max Planck* za biokemiju u Jeni, Njemačka. Iako je emisija ugljičnog dioksida porasla za 40 % prema vremenu prije 1980. godine, južni dijelovi oceana ne upijaju odgovarajuće više ugljičnog dioksida. Krivac je povratna veza: promjene klime, izazvane ugljičnim dioksidom, ometaju kružni tok ugljičnog dioksida oceana.

Izgorene šume, mnogi dimnjaci i također mnoga područja mora geokemičari označavaju kao izvore ugljika. Uzima li jedna šuma ili ocean više ugljičnog dioksida nego što ga daje, govori se o uvoru ugljika. I u najmanju ruku trebala bi atmosfera utiskivati u more više ugljičnog dioksida ako ga više sadrži. Južni dijelovi oceana bi se tako od izvora pretvorili u uvore i kada bi se dalje držali toga načela, mogli bi oslabiti već zamjetljive promjene klime. »Ipak promjene klime čine to da mora upijaju manje ugljičnog dioksida«, kaže prof. dr. Martin Heimann, direktor u spomenutom Institutu: »Tako ostaje više ljudskim aktivnostima stvorenog ugljičnog dioksida u atmosferi, što opet pojačava promjene klime«.

Tu pozitivnu povratnu vezu utvrdio je nedavno mjerenjima po prvi puta međunarodni tim znanstvenika, u kojem su osim ostalih, surađivali također istraživači sveučilišta East Anglia i British Antarctic Survey. Znanstvenici su pri teoretskim razmatranjima taj učinak već prije pretkazali. Sada su znanstvenici iz Instituta *Max Planck* u Jeni proveli mjerenja na 42 stanice rasute po čitavoj

Zemlji. Mjerne stanice su djelomice registrirale koncentraciju stakleničkih plinova u svojoj okolini već od početka 1980-ih godina. Koliko se razlikuju koncentracije između pojedinih stanica, ovisi osim ostalog i o strujanju zraka, ali i od toga koliko plina uvori uzimaju iz zraka. Iz podataka mjerenja može se izračunati koliko se kapacitet uvo-ra promijenio u zadnjih 25 godina.

Zapravo bi trebali južni dijelovi oceana danas upijati više stakleničkih plinova nego na početku mjerenja, jer je koncentracija ugljičnog dioksida u atmosferi značajno porasla. Umjesto toga stagnira upijanje u zadnjih 25 godina, kako je tim znanstvenika utvrdio. Krivac je promjena klime, koja potiče vjetrove iznad oceana. Ovi mijenjaju morska strujanja. Tako se dovodi na površinu više vode već zasićene ugljikom. Slični fenomeni mogu se očekivati i na drugim mjestima: »Mi moramo polaziti od toga da takve povratne veze pojačavaju promjene klime i u drugim dijelovima svijeta«, kaže Heimann.

Max Planck Forschung, 2/2007

## Pohranjivanje plina CO<sub>2</sub> u podzemlje

Duboko u srcu Texasa, nešto istočnije od Houstona, istraživački projekt predviđen da odgovori na neka tehnička pitanja o spremanju ugljičnog dioksida u podzemlje dao je svoje prve rezultate. Znanstvenici vjeruju da odvajanje i skladištenje ugljičnog dioksida može pomoći da se popravi stanje s obzirom na globalno zatopljenje a da se ne naštetiti lokalnom okolišu. Prethodni podaci s tog objekta, s nazivom *Frio Formation*, ipak izazivaju različita razmišljanja.

Uklanjanje ugljičnog dioksida može biti važan izbor za suzbijanje globalnog zatopljanja. »U 2050. godini čovječanstvo će trebati ukloniti pet do deset milijardi tona ugljičnog dioksida svake godine«, govori geolog Julio Friedmann iz *Lawrence Livermore National Laboratory*, SAD. Kapaciteti za skladištenje CO<sub>2</sub> za nekoliko desetaka godina postoje u podzemlju.

Formacije pješčenjaka kojih su pore ispunjene slanom vodom su jedan od najboljih, vrlo rasprostranjenih, kandidata. Ali znanstvenici trebaju mnogo informacija o tome. »Mi znamo da je ugljični dioksid utiskivan u zemlju – prije 30 godina naftne tvrtke su dobivale više nafte iscrpljivanjem izvora na taj način«, govori Sally Benson iz *Lawrence Berkeley National Laboratory*. »Ono što mi ne znamo su detalji o utiskivanju i o tome koliko dugo će plin biti dolje«.

Komercijalni porivi postoje – oko 10 godina prije na platformi za plin *Sleipner* u Sjevernom moru u vlasništvu norveške tvrtke *Statoil*, počeli su utiskivati godišnje oko milijun tona ugljičnog dioksida u debele slane prostore. Ali projekti kao što je *Sleipner* nisu pogodni za istraživanje, govori geolog Sušan D. Hovorka s tekstaškog sveučilišta u Austinu. Da bi korigirali svoje modele s obzirom na događanja u podzemlju, istraživači trebaju potpuno promatrati eksperiment utiskivanja plina. Komercijalni objekti su zbog zaposlenosti nepodobni za takva ispitivanja, navodi Hovorka.

U pravo vrijeme je došao projekt *Frio*. U 2004. godini, projekt vrijedan 6 mln dolara, pod vodstvom Hovorke, počeo je s komprimiranjem 3000 tona ugljičnog dioksida u superkritični fluid uz zagrijavanje na 15 °C i utiskivanje u 23 metra debele slojeve pješčenjaka na dubini oko 1600 metara. »Mi ne znamo kako se ugljični dioksid kreće kroz pore u stijeni, topi u slanoj vodi i čak stvara nove minerale«, govori Hovorka. Zadovoljan je što trodimenzionalni seizmički prikaz i druge metode mjerenja pokazuju da je gotovo sav ugljični dioksid utisnut u *Frio* smješten u porama ili otopljen u slanoj vodi.

Za razliku od Hovorke, američki geokemičar Yousif Kharaka i njegovi suradnici vjeruju da otopljeni ugljični dioksid čini vodu kiselijom. Takva voda otapa neke minerale u pješčenjaku, oslobađajući vapnenac i kovine, pretežito željezo. To može biti dobro i loše. Otapanje nekih sastojaka stijene oslobađa više prostora za skladištenje ugljičnog

dioksida. Ali oslobođene kovine mogu putovati prema površini i izazvati ekološku opasnost. Neka slana područja npr. mogu sadržavati arsen i uran, za koje je bolje da ostanu netaknuti.

Kharaka iznosi da su iskorištene slane šupljine stabilne i odlična mjesta za skladištenje ugljičnog dioksida, i uz dobro brtvljenje pri zatvaranju tekućine neće izlaziti. Kisela slana voda može razarati cement upotrijebljen za bušotinu, tako da je bolje upotrijebiti cement otporan na kiseline te treba izbjegavati stare napuštene izvore.

Podaci iz projekta *Frio* također pomažu u procjeni drugih lokacija, komentira inženjer kemije Howard Herzog sa MIT-a. »Jedna je stvar opredijeliti se samo za dobre lokacije a druga je imati znanje za skladištenje ugljičnog dioksida i u slučaju velikih razlika među lokacijama«, kaže Herzog. Detaljni podaci o tome kako se CO<sub>2</sub> kreće kroz formacije mogu doći samo od istraživačkog projekta kao što je *Frio*, dodaje on.

Hovorka i suradnici moraju brzo raditi: uskoro dolaze sasvim konkretni poslovi. Prošlog ljeta je Japan objavio plan za skladištenje 200 mln tona ugljičnog dioksida godišnje do 2020. godine. Ove godine naftni div BP namjerava početi graditi postrojenje vrijedno milijardu dolara u blizini Los Angelesa za proizvodnju vodika iz nusproizvoda rafinerije nafte. Pritom nastaje oko četiri milijuna tona ugljičnog dioksida godišnje, koji treba negdje uskladištiti.

sciam, NOV 2006