



TEHNOLOŠKE ZABILJEŠKE

Uređuje: Dušan Ražem

Bezbrojne mogućnosti primjene grafenskih kvantnih točaka u različitim područjima

Kvantni skokovi

Otkako je 2004. godine prvi put izoliran, grafen se pokazuje kao jedan od najsvestranijih materijala ikad otkrivenih. Jedinstvena kombinacija svojstava čini da su njegove potencijalne primjene predmet mnogih područja znanstvenih istraživanja, ali već se zna da je deset puta jači od čelika i da se odlikuje malom otrovnošću, kemijskom postojanošću i dobrom vodljivošću topline i električnosti, te da stoga može biti veoma koristan na brojnim područjima.

Grafen može imati mnogo različitih oblika. Jedan od njih su grafenske kvantne točke (GKT), napredni višefunkcionalni materijal koji se sastoji od jednog sloja ili, što je vjerojatnije, do deset slojeva grafena, a tanji je od 30 nanometara. GKT iskorištava jedinstvena svojstva grafena, pri čemu jedinstvena optička, električna, spinska i fotoelektrična svojstva omogućavaju brojne i značajne primjene, tako da se GKT drži važnim novim materijalom.

Umjetni atomi

Istraživačka skupina s Tehničkog sveučilišta u Beču zajedno sa znanstvenicima sveučilišta u Aachenu i Manchesteru upotrebljava umjetne atome kako bi istražila svojstva elektrona u grafenu. Elektroni zarobljeni u sićušnim kvantnim stupicama ponašaju se potpuno različito od slobodnih elektrona: u tim stupicama elektroni mogu zauzimati samo diskretne razine energije što podsjeća na ponašanje elektrona u atomu. Stoga se ti "zatvori za elektrone" zovu umjetni atomi. Već je bilo pokazano da se elektroni mogu zarobiti u malenim stupicama u poluvodičkim materijalima kao što je galijev arsenid. U tim umjetnim atomima elektroni su prisiljeni zauzeti diskretna kvantna stanja, slično kao što u stvarnim atomima zauzimaju striktno određene orbitale. Takvi umjetni atomi, osim svojstava koje pokazuju obični atomi, mogu imati i dodatna svojstva, koja mogu imati mnoge potencijalne primjene u kvantnom računanju i na drugim područjima. Jedan od sudionika u istraživanjima, profesor Joachim Burgdorfer kaže da mogućnost "ugađanja" svojstava umjetnih atoma pruža znanstvenicima izvanredne mogućnosti za neke tipove eksperimenata i otvara niz mogućnosti za daljnja istraživanja.

Istraživačka skupina s Tehničkog sveučilišta u Beču pokazala je, rabeći grafen, da umjetni atomi imaju niz potencijalno korisnih svojstava. Prva zadaća pred istraživačima bila je razviti novu metodu za stvaranje takvih dobro kontroliranih umjetnih atoma u grafenu, što se pokazalo većim izazovom od očekivanog. Iz materijala se izrezuju tanke ljuskice u koje se ubacuju elektroni; ne može se postići da rubovi tih ljuskica budu savršeno glatki, što znači da je simetrija materijala narušena i da je jedinstveni četverostruki multiplicitet stanja elektrona u grafenu sveden na konvencionalni dvostruki. Stoga je tim odlučio razviti drugačiju metodu, čijom bi se primjenom očuvao četverostruki multiplicitet. Otkrili su da mogu stvoriti sićušno područje na površini grafena tako da ga podvrgnu električnom polju koje stvara pretražni tunelirajući elektronski mikroskop. Simultano podvrgavanje magnetskom polju prisiljava niskoenergetske elektrone na kruženje po zatvorenim putanjama, koji tako ostaju zarobljeni na tom po-

dručju. Florian Libisch, jedan od istraživača, objašnjava potrebu da se za stvaranje umjetnih atoma doda magnetsko polje: "Ako bismo upotrebljavali samo električno polje, kvantni učinci omogućili bi elektronima brzo napuštanje stupice." Libisch nastavlja tumačiti što grafen čini tako svestranim za dobivanje umjetnih atoma: "U većini materijala elektroni mogu zauzimati dva različita kvantna stanja pri nekoj energiji. Visoka simetrija grafenske rešetke dopušta postojanje četiriju različitih kvantnih stanja. To otvara nove mogućnosti za obradu i uskladištenje informacija."

Postojanje četiri moguća kvantna stanja omogućava da lokalizirani elektroni u grafenu pohrane više informacija i sačuvaju neke superpozicije tijekom duljih razdoblja, što ih čini idealnim za kvantne primjene. Dodatna posebna prednost nove metode je mogućnost njezine primjene u različitim mjerilima: teorijski je moguće smjestiti mnogo umjetnih atoma na mali čip, što otvara brojne potencijalne primjene za kvantno računanje.

Pretvaranje CO₂ u gorivo

Skupina znanstvenika sa Sveučilišta Rice u Houstonu, Texas, pokazala je da se grafenske kvantne točke u kombinaciji s atomima dušika mogu upotrijebiti za pretvorbu otpadnog ugljikova dioksida u tekuće gorivo, što bi moglo imati odlučujući utjecaj na smanjenje atmosferskog ugljika i štete koju on uzrokuje u okolišu. Prema istraživanjima objavljenim u *Nature Communications* takve dušikom dopirane grafenske kvantne točke (NGKT) djeluju kao učinkovit elektrokatalizatori koji od ugljikova dioksida prave složene ugljikovodike. Postupak uključuje dodavanje dušikovih atoma grafenskim kvantnim točkama jedan nanometar debljine i nekoliko nanometara širine, što omogućava odvijanje različitih kemijskih reakcija kad se dovede ugljikov dioksid i pusti električna struja. Istraživačka skupina Sveučilišta Rice koju predvodi Pulickel Ajayan tako je dobila etilen i etanol iz CO₂.

Istraživači su otkrili da su NGKT kao katalizator gotovo jednako učinkovite kao bakar, čiju su sposobnost da katalizira pretvorbu otpadnog ugljikova dioksida u gorivo također istraživali. U laboratorijskim pokusima pokazali su da NGKT reducira do 90 % CO₂ i oko 45 % pretvara u etilen ili alkohol, što je usporedivo s bakrenim elektrokatalizatorima.

Ajayan napominje da su rezultati bili neočekivani: "Već su bile iskušane razne vrste katalizatora i nije pronađen materijal bolji od bakra. Mislim da je otkriće zanimljivo jer pruža učinkovit način za ispitivanje novih tipova katalizatora za pretvorbu ugljikova dioksida u vrjednije proizvode." Točke zadržavaju svoju katalitičku aktivnost dulje vremena. Međutim istraživači priznaju da u ovom trenutku ne razumiju u potpunosti mehanizam djelovanja. Postizanje boljeg razumijevanja motivacija je za daljnja istraživanja.

Ajayan nastavlja: "Ugljik uopće nije katalizator. Jedno od pitanja je zašto je to dopiranje dušikom tako učinkovito. Kad se dušik ugrađuje u šesterokutnu grafitnu rešetku, on može zauzeti razne položaje. Svaki od njih, zavisno o tome gdje se nalazi dušik, ima različitu katalitičku aktivnost. To je zagonetka, pa iako je u posljednjih pet do deset godina napisano mnogo radova o dopiranom i defektnom ugljiku kao katalizatoru, zagonetka nije odgonetnuta."

Postupak pretvorbe otpadnog CO₂ u tekuća goriva od vidljive je koristi za postizanje ciljeva u zaštiti okoliša. Jedan od tekućih prioriteta Europske komisije za smanjivanje atmosferskog ugljika je energijski intenzivna industrija, a pretvorba otpadnog ugljika u goriva i kemikalije mogla bi biti rješenje ako se pokaže da je komercijalno isplativa. Paul Kenis sa Sveučilišta Illinois, koautor studije, tumači potencijal tehnologije: "Ako bismo uspjeli pretvoriti znatan dio ugljika koji se sada emitira u atmosferu, mogli bismo zaustaviti porast atmosferskog ugljikova dioksida koji se povezuje s klimatskim promjenama." Dok se elektrokataliza pokazala učinkovita u laboratorijskom mjerilu, preostaje mnogo posla da bi se pokazala njezina učinkovitost u komercijalnom mjerilu. Industrija se trenutačno oslanja na termičku katalizu za proizvodnju goriva i kemikalija i nije vjerojatno da će prihvatiti NGKT bez dodatnih napora i investicija. Zajedno s istraživanjima kemijskih procesa koji čine tu katalizu uspješnom istraživači planiraju povećati koncentraciju dušika u NGKT da bi ispitali koje će učinke to imati na prinos ugljikovodika koji se mogu dobiti u procesu.

Opažanje elektrona

Valnu prirodu elektrona teško je opaziti u komadima metala koji su veći od nekoliko atoma po širini jer je u takvim metalima gustoća elektrona velika. To je još jedno područje na kojemu se pokazuje korisnost grafena: budući da ima debljinu od samo jednog atoma, elektronska gustoća grafena mnogo je manja, a može se i promijeniti tako da se napravi tranzistor, što znači da je valnu prirodu elektrona, kako je opisuje kvantna mehanika, lakše opaziti. Rabeći grafen, skupina istraživača s Tata Institute of Fundamental Research iz Indije poduzela je pionirsko istraživanje gibanja elektrona i feromagnetskih svojstava što ih stvaraju njihova međudjelovanja. U metalima kao što je bakar elektroni se raspršuju svakih 100 nm. Međutim, stavljanje grafena između slojeva borova nitrida – koji u kristalnoj rešetki sadrži nekoliko defekata koji usporavaju protok – elektroni mogu putovati i do 100 puta dalje do udaljenosti od desetak mikrometara. Smanjivanjem broja defekata elektronima se omogućava da putuju još dalje, a komunikaciju između njih postaje još lakše pratiti. Istraživači taj proces uspoređuju sa smirivanjem buke u nekoj prostoriji dok se ne uzmgogne čuti šapat između pojedinih govornika. Upotreba borova nitrida s manje defekata omogućava istraživačima da oslušuju "šapat" mnoštva elektrona u međusobnim interakcijama.

Istraživači su ustanovili da se isti rezultat može postići s tri sloja grafena, što bi im omogućilo opažanje međudjelovanje elektrona u istoj vrsti "tišine" koja bi se dobila u kombinaciji grafena i borova nitrida. Skupina koju predvode doktorski student Biswajit Datta i profesor Mandar Deshmukh ustanovila je postojanje jakih elektronskih međudjelovanja i do sada neopaženog tipa kvantnog feromagnetizma između slojeva grafena. Istraživanje je pokazalo da taj novi tip magnetizma između tri sloja grafena opstaje čak i na temperaturi od -272 °C i omogućava uvid u to kako to i druga otkrivena svojstva čine grafen idealnim materijalom za upotrebu u elektroničkim napravama.

Grafenski mikročipovi

U međuvremenu su istraživači u Ujedinjenom kraljevstvu razvili inovativnu novu tehniku koja rabi grafen, a mogla bi revolucionirati inženjerstvo optoelektroničkih materijala, tj. naprava koje

proizvode, detektiraju i kontroliraju svjetlo. Prema tom istraživanju, tehnika ima niz potencijalnih primjena; npr. mogla bi se primijeniti za stvaranje najsuvremenijih višenamjenskih mikročipova koji bi mogli biti brži, učinkovitiji i imati veći kapacitet od onih koji se trenutačno nalaze na tržištu. Mikročipovi bi također mogli biti jeftiniji i lakši za proizvodnju od onih koji se dobivaju konvencionalnim metodama.

Znanstvenici iz Centra za istraživanje grafena Sveučilišta u Exeteru poslužili su se sintetskom kemijom i tehnologijom poznatom kao mikrofluidika, koja uključuje niz minijaturnih kanalića za kontrolu protoka sićušnih volumena tekućine. Da bi napravili mikročipove, istraživači su dodali ljuskice grafena oksida u kanaliće; kako su ljuskice od grafena dvodimenzionalne, upotrijebili su svjetlo da bi olakšali formiranje trodimenzionalnih struktura mikročipova.

Voditeljica istraživanja dr. Anna Baldycheva uzbuđena je potencijalom koji bi nova tehnologija mogla imati u računarstvu i novim materijalima. "Nadam se da će taj prodor dovesti do preokreta u razvoju ključnih novih materijala za računalsku elektroniku. Naš rad pruža solidnu osnovicu za razvoj sljedeće generacije optoelektroničkih naprava. Povrh toga, materijali i metode koji se upotrebljavaju iznimno mnogo obećavaju u razvoju drugih novih mogućih primjena izvan neposrednog razvoja uređaja kojima se mi ovdje bavimo." Osim što dokazuje valjanost novih metoda, znanstveno istraživanje djeluje i kao vodič koji omogućava drugima da naprave jednake čipove koje je napravio znanstveni tim, što potvrđuje da će te nove revolucionarne naprave moći postati komercijalno dostupne u bliskoj budućnosti.

Otkrivanje raka

Skupina znanstvenika u Indiji izgradila je senzor na osnovi GKT-a koji otkriva mutacije gena koje prate rak gušterača. Tim u Combichem Bioresource Center Nacionalnog kemijskog laboratorija iz Pune osmislio je tiskani senzor DNA koji može otkriti rane promjene u genu p16 (tumor suprimirajući gen), koje su povezane s nastupanjem raka pankreasa. Rak pankreasa jedan je od vodećih uzroka smrti u svijetu. Teško se otkriva budući da se simptomi razvijaju tek u kasnim fazama bolesti. Petogodišnje preživljavanje iznosi samo 2 – 7 % i zato se tim usredotočio na rano otkrivanje.

Primjenjujući niz elektrokemijskih tehnika, među njima diferencijalnu pulsnu voltametriju i spektroskopiju elektrokemijske impedancije te elektronsku mikroskopiju i spektroskopiju u vidljivom i ultraljubičastom, tim je proizveo senzor hibridizacije DNA za gen p16, koji je pokazao neočekivanu sposobnost detekcije.

Budući da su za razvoj senzora primijenjene grafenske kvantne točke, tim istraživanjem utvrđena je njihova primjenjivost kao senzorskog matriksa, što otvara nov pristup detekciji mutacije gena na čipu. Tim očekuje da će daljnji razvoj tehnologije dovesti do integralnog prenosivog sustava ranog otkrivanja raka.

Kad je grafen bio prvi put izoliran 2009. godine, pojavilo se niz predviđanja o njegovim raznovrsnim primjenama. Usporedbe s novim istraživačkim rezultatima pokazuju da su ta predviđanja zapravo bila ograničena. Očito je da su istraživanja grafena u svrhu rješavanja problema u zdravstvu, okolišu, kemiji i drugim područjima tek na početku.

Izvor: Pan European Network, broj 22 od 18. 4. 2017.



ZAŠTITA OKOLIŠA

Uređuje: Vjeročka Vojvodić

Pariški sporazum – Okvirna konvencija Ujedinjenih naroda o klimatskim promjenama

Pariški sporazum o klimatskim promjenama prvi je opći pravno obvezujući globalni klimatski sporazum. Potpisan je 22. travnja 2016., a Europska unija ratificirala ga je 5. listopada 2016.

Ratifikacija

Pariški sporazum o klimatskim promjenama bio je otvoren za potpisivanje u sjedištu Ujedinjenih naroda u New Yorku od 22. travnja 2016. (Dan planeta Zemlje) do 21. travnja 2017. Sporazum je stupio na snagu trideset dana nakon što je 55 stranaka Konvencije, koje čine i 55 % emisija položilo isprave o potpisivanju, ratifikaciji i pristupanju Sporazumu, uvjet koji je postignut 4. listopada ratifikacijom Europske unije (ratifikacije država članica Unije koje zahtijevaju vlastitu ratifikaciju to su učinile već sljedećeg dana).

Pariški sporazum o klimi stupio je na snagu 4. studenoga 2016.

Napuštanje SAD-a

Američki predsjednik Donald Trump zvanično je priopćio u Bijeloj kući kako Amerika, jedna od najznačajnijih industrijskih zemalja i poslije Kine sljedeća zemlja s najvećom emisijom stakleničkih plinova, napušta Pariški klimatski sporazum, čime je ispunio još jedno od svojih obećanja iz predizborne kampanje. Na taj način, Trump koji želi revitalizirati američku industriju ugljena, proglasio je ništavnim Sporazum, koji je njegov prethodnik Barack Obama snažno zagovarao i prema kojem se Amerika obvezala smanjiti emisiju stakleničkih plinova. Trumpova nespornost da prihvati globalni klimatski sporazum, koji je potpisalo 195 zemalja uznemirio je brojne državljane SAD-a, europske zvaničnike, ali i njegove savjetnike. Smatra se da povlačenje SAD-a predstavlja težak udarac borbi protiv klimatskih promjena.

Predsjednik Europske komisije Jean-Claude Juncker ocijenio je da bi Europa trebala jasno reći SAD-u da napuštanje Pariškog sporazuma nije jednostavan proces i da bi postizanje dogovora o potpunom napuštanju moglo trajati godinama.

Njemački političari pozvali su na otpor Trumpu upozorivši da će oni koji se ne usprotive postati suučesnici te da prodajom oružja i nemarom za klimu ugrožavaju mir u Europi.

O globalnom zatopljenju u Hrvatskoj

Sa stranica Državnog hidrometeorološkog zavoda prenosimo dijelove iz teksta "Klima i klimatske promjene" autorice mr. sc. Mirte Patarčić. (datum prijena 8. lipnja 2017.)

Zagrijavanje atmosfere i efekt staklenika

Prirodno zagrijavanje atmosfere odvija se na način da atmosfera, uključujući oblake, apsorbira dugovalno zračenje površine Zemlje te ga emitira u svim smjerovima. Dio tog zračenja koji je usmjeren prema površini Zemlje uzrokuje daljnje zagrijavanje te površine i donjeg sloja atmosfere, što se naziva efektom staklenika.

Među najvažnijim plinovima koji se prirodno nalaze u atmosferi i koji apsorbiraju dugovalno zračenje Zemlje, te ih stoga nazivamo plinovima staklenika, su vodena para i ugljikov dioksid (CO₂), a zatim metan (CH₄), dušikov oksid (N₂O) i ozon (O₃).

Ciljevi Pariškog sporazuma kojim se želi ograničiti globalno zagrijavanje na manje od 2 °C, a odnosi se na razdoblje od 2020. godine nadalje, ugroženi su.

Pitanje je koje ćemo brojke ispisivati u odnosu na planove UN-ova programa za okoliš, da će 2030. godišnje emisije stakleničkih plinova biti 12 do 14 milijardi tona ugljikova dioksida veće od planiranih 42 milijarde tona. U 2014. godini iznosile su 52,7 milijardi tona.

Izmjereno zagrijavanje na globalnoj razini i u Hrvatskoj

Prema Četvrtom izvješću Međuvladinog panela za klimatske promjene (engl. *The Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*) iz 2007. godine globalna koncentracija ugljikova dioksida (CO₂) u atmosferi povećala se s **280 ppm** (ppm – udio molekula stakleničkog plina u milijun molekula suhog zraka) u predindustrijskom dobu na **379 ppm** u 2005. godini. Najveća stopa porasta koncentracije ugljikova dioksida izmjerena je u razdoblju od 1995. do 2005. godine.

Globalna atmosferska koncentracija metana (CH₄) i dušikov oksida (N₂O) povećala se sa 715 odnosno 270 ppb (ppb – udio molekula stakleničkog plina u milijardi molekula suhog zraka) u predindustrijskom dobu na 1774 odnosno 319 ppb u 2005. godini.

Prema 100-godišnjem nizu mjerenja (1906. – 2005.) porast globalne prizemne temperature zraka, procijenjen iz linearnog trenda, iznosio je 0,74 °C. Promatra li se posljednjih 50 godina tog razdoblja, porast je bio gotovo dvostruko veći nego u cijelom 100-godišnjem razdoblju te još veći u posljednjih 25 godina, čemu je pridonijela činjenica da su, od kad postoje instrumentalna mjerenja temperature zraka (1850. godina), najtoplije godine bile 1998. i 2005., a zatim 2002., 2003. i 2004. godina.

Zatopljenje na Zemlji je globalnog karaktera, ali nije jednoliko u svim dijelovima Zemlje. Tako je zagrijavanje kopnenih masa veće od zagrijavanja oceana, osobito u razdoblju nakon 1970. godine. Stoga je, zbog raspodjele kopna i mora na Zemlji, zagrijavanje jače izraženo na sjevernoj nego na južnoj hemisferi s dvostruko većim povećanjem prosječne temperature zraka na Arktiku u odnosu na globalno zatopljenje unazad 100 godina.

Trend porasta temperature zraka u 20. stoljeću zabilježen je i na postajama u Hrvatskoj (Gajić-Čapka i sur. 2010.). Stoljetni nizovi mjerenja temperature zraka upućuju na porast između 0,02 °C i 0,07 °C na 10 god. Kao i na globalnoj razini trend porasta temperature zraka osobito je izražen u posljednjih 50, odnosno 25 godina.

Kao posljedica globalnog zagrijavanja na Zemlji dolazi do smanjenja snježnog pokrivača, osobito u proljeće i ljeti, te do topljenja leda. Također je zabilježen porast globalne razine mora koji je uzrokovan topljenjem kopnenog leda i toplinskim širenjem oceana zbog zagrijavanja.

Projicirane promjene prizemne temperature zraka i oborine u Hrvatskoj

Klimatske promjene u budućoj klimi na području Hrvatske dobivene simulacijama klime regionalnim klimatskim modelom RegCM prema scenariju A2* analizirane su za dva 30-godišnja razdoblja:

1. Razdoblje od 2011. do 2040. godine predstavlja bližu budućnost i od najvećeg je interesa za korisnike klimatskih informacija u dugoročnom planiranju prilagodbe na klimatske promjene.
2. Razdoblje od 2041. do 2070. godine predstavlja sredinu 21. stoljeća, u kojem je prema scenariju A2 predviđen daljnji porast koncentracije ugljikova dioksida (CO₂) u atmosferi te je signal klimatskih promjena jači.

Projicirane promjene temperature zraka

U prvom razdoblju buduće klime (2011. – 2040.) na području Hrvatske zimi se očekuje porast temperature do 0,6 °C, a ljeti do 1 °C (Branković i sur., 2012).

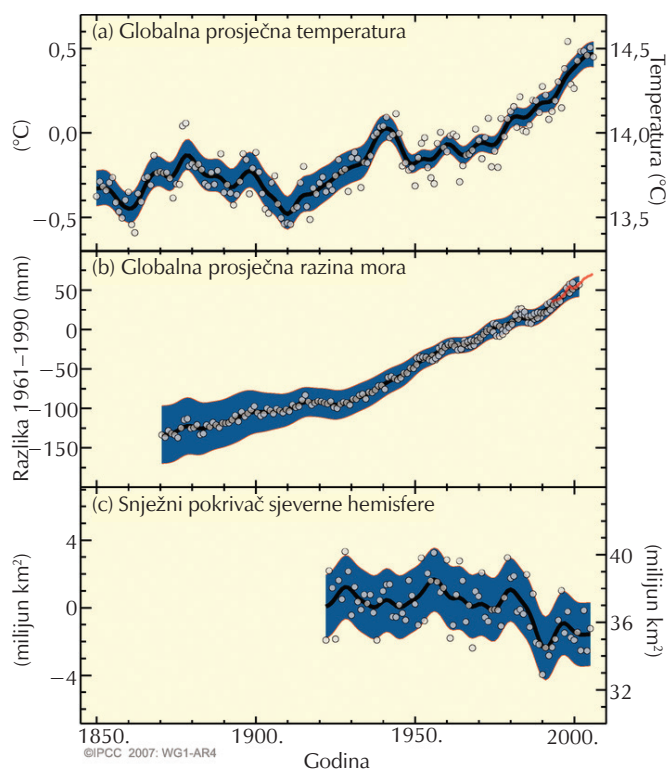
U drugom razdoblju buduće klime (2041. – 2070.) očekivana amplituda porasta u Hrvatskoj zimi iznosi do 2 °C u kontinentalnom dijelu i do 1,6 °C na jugu, a ljeti do 2,4 °C u kontinentalnom dijelu Hrvatske, odnosno do 3 °C u priobalnom pojasu (Branković i sur., 2010.).

Projicirane promjene oborine

Promjene količine oborine u bližoj budućnosti (2011. – 2040.) su vrlo male i ograničene samo na manja područja te variraju u predznaku ovisno o sezoni. Najveća promjena oborine, prema scenariju A2, može se očekivati na Jadranu u jesen kada RegCM upućuje na smanjenje oborine s maksimumom od približno 45 – 50 mm na južnom dijelu Jadrana. Međutim, to smanjenje jesenske količine oborine nije statistički značajno.

U drugom razdoblju buduće klime (2041. – 2070.) promjene oborine u Hrvatskoj su nešto jače izražene. Tako se ljeti u gorskoj Hrvatskoj te u obalnom području očekuje smanjenje oborine. Smanje-

* A2: Svijet u budućnosti karakterizira velika heterogenost sa stalnim povećanjem svjetske populacije. Gospodarski razvoj, kao i tehnološke promjene, regionalno su orijentirani i sporiji nego u drugim grupama scenarija. Svi literaturni izvori dostupni su u originalnom tekstu.



Slika – Izmjerene promjene globalne prosječne prizemne temperature zraka (a), globalne prosječne razine mora mjerene mareografom (plavo) i satelitom (crveno) (b) i snježnog pokrivača na sjevernoj hemisferi u razdoblju od ožujka do travnja (c). Sve promjene izračunate su u odnosu na pripadne srednjake iz razdoblja 1961. – 1990. Izgladene krivulje predstavljaju dekadne srednjake, a kružići označavaju godišnje vrijednosti. Osjenčana područja označavaju intervale neizvjesnosti. (Izvor: IPCC, 2007. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/figure-spm-3.html)

nja dosižu vrijednost od 45 – 50 mm i statistički su značajna. Zimi se može očekivati povećanje oborine u sjeverozapadnoj Hrvatskoj te na Jadranu, međutim to povećanje nije statistički značajno.

Literatura

- <http://eur-lex.europa.eu/homepage.html>.
- Č. Branković, I. Güttler, M. Patarčić, L. Srnc, Climate Change Impacts and Adaptation Measures – Climate Change scenario, u: Fifth National Communication of the Republic of Croatia under the United Nation Framework Convention on the Climate Change, Ministry of Environmental Protection, Physical Planning and Construction (2010) 152–166, url: http://unfccc.int/resource/docs/natc/hrv_nc5.pdf.
- M. Gajić-Čapka, K. Zaninović, K. Cindrić, Climate Change Impacts and Adaptation Measures – Observed Climate Change in Croatia, u: Fifth National Communication of the Republic of Croatia under the United Nation Framework Convention on the Climate Change, Ministry of Environmental Protection, Physical Planning and Construction (2010) 137–151, url: http://unfccc.int/resource/docs/natc/hrv_nc5.pdf.
- http://klima.hr/razno/publikacije/klimatske_promjene.pdf.
- Č. Branković, M. Patarčić, I. Güttler, L. Srnc, Near-future climate change over Europe with focus on Croatia in an ensemble of regional climate model simulations, Climate Research 52 (2012) 227–251, doi: <https://doi.org/10.3354/cr01058>.
- G. A. Meehl, T. F. Stocker, W. D. Collins, P. Friedlingstein, A. T. Gaye, J. M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J. M. Murphy, A. Noda, S. C. B. Raper, I. G. Watterson, A. J. Weaver, Z.-C. Zhao, 2007: Global Climate Projections, u Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, S. Solomon, S. D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, H. L. Miller (ur.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, SAD, 996 str.