

Gledajući u 21. stoljeće, doba plastike

Donald V. ROSATO

Za Polimere pripremila: Đurđica ŠPANIČEK

Looking Forward to 21st Century Plastics Age

Dr. Donald V. Rosato is internationally recognized as a leader in plastics technology, business and marketing. He has developed numerous polymer-related patents, and is a participating member of many trade and industry groups. Relying on his unrivaled knowledge of the plastics industry, he is positioned to provide expert, inside view of potential future development of plastics materials entitled Looking forward to 21st Century Plastics Age. Presentation was held in April 2014 as a plenary lecture at ANTEC 2014.

Središnji skup američkog Udruženja polimerijskih inženjera (e. Society of Plastics Engineers, SPI) održava se svake godine u travnju ili svibnju pod nazivom ANTEC (e. Annual Technical Conference). To je tradicionalno najveći skup plastičara u svijetu. U nekim drugim vremenima okupljalo se i više od sedam tisuća sudionika. Svojedobno su na tom skupu sudjelovali članovi Katedre za preradu polimera Fakulteta strojarstva i brodogradnje i njihovi suradnici iz gospodarstva. Od 1976. do 2001. na tom skupu objavili su više od 50 referata.

Na prošlogodišnjem ANTEC-u jedan od plenarnih predavača bio je dr. sc. Donald V. Don Rosato, vodeći svjetski stručnjak na području razvoja proizvoda, prerade i tržišta polimera. Tekst Gledajući u 21. stoljeće, doba plastike pripremljen je na temelju njegove prezentacije, koju je stavio na raspolaganje časopisu Polimeri.

Cirkularno gospodarstvo relativno je nov opći pojam, pa tako i na području polimerstva, i obuhvaća sve aktivnosti, od proizvodnje polimera do niza operacija i područja potrebnih da bi gotov proizvod došao do kupca te završetak istrošenog proizvoda s nekim od oblika uporabe.

Bioplastika – sve važniji segment ukupne proizvodnje plastike

Zbog širine područja polimerstva izlaganje je podijeljeno prema područjima. Za svako, uz sadašnja postignuća, navedena su predviđanja za budućnost. Za početak odabrana je plastika na bioosnovi, kraće bioplastika, i ono što se smatra da će biti poticaji za razvoj tržišta konstrukcijske

bioplastike. Osnovni interes za bioplastiku, zapravo stare plastične materijale, temelji se na relativno visokoj cijeni nafte, koja je tijekom održavanja prošlogodišnjeg ANTEC-a iznosila 80 USD za barel (sada je blizu 50 USD), što se smatra ključnim pokretačem za to područje. Istodobno, brz rast i procvat dobivanja plina iz škrljevca dodatna je dimenzija investiranja u bioplastiku na području SAD-a. (op. p. Neovisno o cijeni nafte, treba koristiti otpadnu biomasu za proizvodnju plastike.)

Rastuće europsko tržište bioplastike, s godišnjim rastom od 15,20 %, ima dva pokretača: unutarnje i vanjsko industrijsko tržište.

Unutarnji pokretači su:

- unaprijeđeni proizvodni postupci
- mogućnost sniženja troškova te
- održivost i nove mogućnosti uporabe.

Vanjski pokretači su:

- visoka prihvaćenost među potrošačima (rezultat ekomarketinga)
- klimatske promjene
- porast cijene plastike na fosilnoj osnovi te
- ovisnost materijala o fosilnim sirovinama.

Veliki poticaji su i državna legislativa i inicijative za uporabu plastike na bioosnovi. Neke su kompanije već povećale udio obnovljivih materijala u svojim proizvodima.

Vežano uz to područje, razvijeni su i novi zeleni modifikatori za plastiku na bioosnovi koji

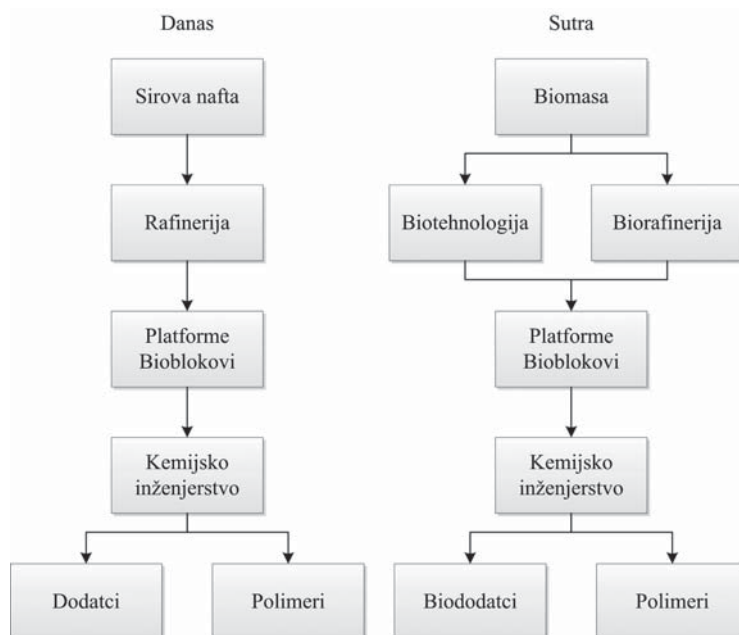
sadržavaju i više od 95 % obnovljive sirovine. Navodi se kao primjer polietilen visoke gustoće (PE-HD) dobiven od monomera iz obnovljivih izvora i modificiran maleinskom kiselinom. Takav PE-HD kao dodatak djeluje kao kompatibilizator za različite vrste polietilena s plastomernim škrobom, ali i kao vezivo pri uporabi odgovarajućih punila i ojačavala na bioosnovi. Na pitanje što se može očekivati na ovom području u budućnosti, navodi se nekoliko odgovora.

Očekuje se, premda bez određenog roka, iscrpljenje zaliha nafte, što snažno potiče razvoj polimera na bioosnovi. Tržište bioplastike zasniva se na obnovljivoj ugljiku i daljnje širenje ovisit će o povišenim zahtjevima na trajnija uporabna svojstva.

Sirovine za bioplastiku pomiču se na izvore koji nisu vezani uz prehranu, npr. lignoceluloznu biomasu, alge, otpadni materijal pri dobivanju hrane i biljke otporne na sušu (slika 1).

U tom će smislu suradnja između kompanija iz agrikulturnog, kemijskog i šumarskog sektora postati sve važnija. Novi postupci snizit će troškove proizvodnje bioplastike i time pridonijeti njezinoj većoj zastupljenosti na tržištu.

Treba napomenuti da države i veliki korisnici oblikuju politiku fokusiranu na obnovljivost.



SLIKA 1 – Sirovine za polimere na bioosnovi, danas i sutra

Pakiranje hrane je pokretač proizvodnje plastike

Ubrzani način života i povišeni raspoloživi prihodi povećavaju i zahtjeve za prikladnom svježom i kvalitetno pakiranom hranom te gotovim obrocima. To, ali i briga proizvođača za produljenu trajnost pakirane hrane, osnovni su pokretači na ovom području. Aktivno barijerno pakiranje koje može spriječiti kontaminaciju i kvarenje hrane veoma je važno. Osim toga potrošači žele i dobru prozirnost ambalaže kako bi mogli vidjeti hranu, žele lako otvaranje uz istodobnu dobru zaštitu od djelovanja kisika, vodene pare i mirisa.

Prisutnost nezasićenih masnoća osjetljivih na djelovanje kisika također potiče razvoj aktivne barijerne savitljive i krute ambalaže. Rješenje su poboljšana barijerna svojstva plastične ambalaže, koja mora biti sigurna, prikladna i kvalitetna.

Razvijen je novi film koji premošćuje jaz između aluminijske folije i prozirnoga oksidnog filma. Istraživanja su pokazala da nanočestice poboljšavaju barijerna svojstva ukotvljujući se u defekte i praznine. Aktivno reagirajući na tim mjestima, zadržavaju prodor vlage i kisika.

Rezultat je poboljšana nepropusnost za vlagu, do 10^{-6} g/m² pri 60 °C i 90 % relativne vlage. Film je učinkovit poput aluminijske folije, zadržava rastezljivost tijekom duljeg razdoblja uporabe, proziran je (85 %) i jeftiniji.

U budućnosti će prednost barijernog filma omogućiti dulju uporabu aseptički pakirane hrane koja ne zahtijeva hlađenje. To će uvelike smanjiti golem otpad hrane i osigurati bolju prehranu rastuće svjetske populacije.

Vremenski ovisni pokazatelji i ostala pametna pakiranja pomoći će potrošačima u boljoj prosudbi kvalitete hrane, a time i smanjiti nepotrebno odbacivanje još upotrebljive hrane temeljeno samo na datumu. Sigurnost hrane povećat će se integracijom antimikrobiota u plastičnu ambalažu, što će smanjiti rast štetnih mikroorganizama.

Novi načini pakiranja hrane omogućit će mikrovalnu pasterizaciju koja održava kvalitetu hrane i njezinu hranidbenu vrijednost tijekom produljenog skladištenja.

Trendovi i pokretači u automobilskoj industriji

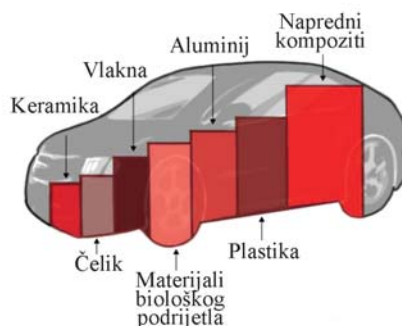
Iznimno je važno smanjenje ukupne mase automobila uporabom materijala koji nisu metalni. Pomno se istražuje svaka komponenta vozila radi određivanja potencijala za smanjenje težine. Taj potencijal posjeduju plastika i plastični kompoziti.

Vlaknima ojačani plastični kompoziti uobičajeno su, uz jednaku čvrstoću, 25 – 35 % lakši od odgovarajućih čeličnih dijelova.

Usavršeni materijali smanjuju težinu vozila

Uporaba novih materijala radi smanjenja ukupne mase vozila uključivat će (slika 2):

- veću uporabu plastike i plastičnih kompozita pri izradi automobilskih panela
- nove preradbene postupke za duga i kontinuirana vlakna namijenjena pravljenju strukturnih dijelova
- veću uporabu plastike ojačane ugljikovim vlaknima, kao i razvoj jeftinijih kompozita
- završni slojevi od polikarbonat/poli(metilmetakrilata), uključujući krov automobila i stražnji dio
- napredni, usavršeni poliamidi za dijelove pod poklopcem motora
- uporaba uobičajenih pjenastih proizvoda, kao i onih ojačanih staklenim kuglicama (sindiotaktička pjena), što dodatno smanjuje težinu proizvoda
- porast uporabe plastično-metalnih i organsko-hibridnih proizvoda te
- povećana uporaba magnezija i aluminija.



SLIKA 2 – Predviđeni porast uporabe materijala u automobilskoj industriji

Tvrtka *Teijin* načinila je novu vrstu ugljikovim vlaknima ojačanoga plastomernoga kompozita, *CFRTP* (e. *carbon fibres reinforced thermoplastic*). To omogućuje pravljenje lakših proizvoda, poput fotografskih kamera ili dijelova za automobilsku industriju. Primjerice, pri izravnom prešanju uporabom *CFRTP*-a skraćuje se ciklus u proizvodnji nekih automobilskih dijelova na manje od minute. Pravljenje istog proizvoda od metala traje najmanje pet minuta.

Oblaganje ugljikovih vlakana plastomerima omogućilo je razvoj triju vrsta *CFRTP* međuproizvoda pogodnih u masovnoj proizvodnji:

- *U-serija* – jednosmjerno ojačan međuproizvod koji daje ultravisoku čvrstoću u smjeru ojačavanja
- *I-serija* – izotropni međuproizvod te
- *P-serija* – plastomerni peleti s dugim vlaknima.

Razvijeni su i postupci za međusobno zavarivanje *CFRTP* dijelova, kao i za spajanje s drugim materijalima, npr. čelicima.

Za dijelove ispod poklopca motora razvijen je poliamid na biosnovi *EcoPaxx*, pogodan i za dizelske motore. *EcoPaxx* je PA410 sa 70 % biosnovom dobivenom od zrnja tropskog ricinusa. Materijal je certificiran kao 100 % neutralan za ugljik. Ima dobra mehanička svojstva pri povišenim temperaturama i izvanrednu žilavost, što ga čini idealnim materijalom za visoke zahtjeve u ekstremnim uvjetima. Poklopac koljeničaste osovine napravljen od takvog poliamida lakši je za 45 % u odnosu na uobičajeni aluminijski.

Kakva su očekivanja?

Svaki model automobila u budućnosti sadržavat će materijale koji mu smanjuju masu. Inovativni materijali zajedno s novim postupcima proizvodnje i ojačane strukture imat će pri tome važnu ulogu. Za sada oko 15 % ukupne mase automobila čine plastični materijali i njihova se uporaba ubrzano povećava. Trend zamjene metala plastikom dopušta funkcionalno integriranje, što kod metalnih izvedbi nije moguće. Sve se češće metalni dijelovi pogonskog stroja zamjenjuju plastikom. No treba spomenuti da je postignut napredak i u razvoju lakih metalnih konstrukcija.

Pokretači za primjenu plastike u elektronici

Tu prije svega treba naglasiti da dolaze novi zakoni i propisi vezani uz otpad i recikliranje.

Zahtjevi za proizvodnju kompaktnijih i lakših elektroničkih uređaja podrazumijevaju materijale koji će omogućiti izradu što manjih i tanjih komponenti sa svojstvima pogodnima za rad u vrućem okruženju pri visokim frekvencijama. To potiče razvoj polimernih materijala, osobito onih ojačanih vlaknima, ali i preradbenih postupaka. Visoki stupanj tecivosti dopušta izradu minijaturnih dijelova, a brži proizvodni ciklusi omogućuju sniženje cijene elektroničkih dijelova.

Energija vjetra

Primjena plastike na ovom području prije svega se odnosi na lopatice vjetroelektrana, a pokretači razvoja su zahtjevi za uporabu sve većih i lakših lopatica kako bi one hvatale što više vjetra uz manju rotacijsku inerciju. Stoga su razvijeni postupci izrade velikih lopatica bez kalupa i bez transportnih problema uobičajenih za tako velike izratke. Proizvode se *inteligentne* lopatice koje se prilagođavaju uvjetima vjetra, koje će svakako biti velik iskorak u iskorištavanju energije vjetra. Proizvode se i vertikalne osi za različite *off-shore* vjetroelektrane za različite dubine uranjanja.

Na važnosti će dobiti i mogućnost skladištenja električne energije koje je potrebno za mrežnu stabilnost proizvodnje električne energije.

Tehnička poboljšanja učinit će energiju vjetra i mora konkurentnu ostalim vrstama energije. Upravo energija vjetra te valova/plime i oseke zajedno s inovacijama na području plastičnih materijala obećava i imat će ključnu važnost za globalno stalno rastuće potrebe energije.

Kao primjer nastojanja da se udovolji zahtjevima na tom području, istraživački institut *Duwind* razvio je proces proizvodnje lopatica za vjetroeletre od plastomernog kompozita (TPC) primjenom anionskog poliamida 6 (PA6-A), reaktivnog plastomera koji se oblikuje kao duromer. U preradu dolazi kao niskoviskozna kapljevina koja se podvrgava lagano egzotermnoj temperaturno aktiviranoj reakciji. S obzirom na viskoznost od samo 10 mPas, što je desetina viskoznosti epoksidne smole, neizreagirana smola brže popunjava kalup. Niska viskoznost pogoduje i boljem ovlaživanju i povezivanju s tankim laminatom. Zbog posebne kemijske površinske obrade staklenih vlakana reaktivni plastomer stvara kemijske veze sa staklenim ojačavalom. Upravo zahvaljujući toj posebnoj obradi vlakana, nastali je materijal čvršći zbog postojanja kemijskih veza, a bolja je i postojanost na vlagu.

Upravo vjetroeletre nude mogućnost za znatan rast uporabe plastičnih kompozita, kao i ugljikovih vlakana kao ojačavala te ostalih usavršenih materijala.

Postavljanje *off-shore* vjetroeletre proširit će znatno područje korištenja snage vjetra. One mogu biti vrlo učinkovite, ali izazov je njihovo postavljanje, posebice onih plutajućih (slika 3). Upravo se tu najviše očekuje od inteligentnih lopatica koje se prilagođavaju vjetru.

Fotonaponsko tržište

Tri su osnovna poticaja daljnjem razvoju ovog područja: financijska potpora, orijentiranost

velikog broja zemalja na obnovljive izvore i sniženje proizvodnih troškova za korištenje solarne energije. Pri izgradnji solarnih panela, plastični materijali postali su nezaobilazni i to je područje njihova velikoga potencijalnog razvoja.

Velika je prednost fotonaponskih uređaja u tome što gotovo uopće nije potrebno održavanje, ili je minimalno, ne onečišćuju okoliš, tihi su, a iskorištavaju i slabu svjetlost. Njihova primjena ne dovodi do iscrpljivanja nekog materijala poput uređaja koji traže određeno pogonsko gorivo.

Nadalje, kao prednost treba navesti mogućnost uklapanja u građevni materijal. Kao primjer se navodi 3,5 km dug pokrov tunela brze željeznice u Belgiji, koji je pokriven sa 16 000 solarnih panela, a to znači oko 50 000 m² površine koja godišnje daje približno 3 300 MWh. Ta se energija koristi za željezničku infrastrukturu (slika 4).



SLIKA 4 – Solarni paneli nad željezničkom prugom u Belgiji

Radi se već i na *solarnim cestama*, pa je jedna kompanija, koja ih izrađuje, dobila ugovor vrijedan 700 000 USD za dvije godine. Novac je namijenjen za razvoj funkcionalnoga solarnog parkirališta.

Treba svakako napomenuti da je stalna potražnja za sve manjim prenosivim elektroničkim

uređajima još jedan od velikih pokretača ovog područja.

Fotonaponski izvori bit će u budućnosti još konkurentniji. U proteklih pet godina cijena instaliranih fotonaponskih sustava znatno je pala. Od 2008. do 2012. prosječna cijena modula na globalnom tržištu bila je oko 2,60 USD/W. Pouzdanost, ukupna proizvodnja energije i konkurentnost prevladavaju u sazrijevanju ovog tržišta. Sadašnji potresi u proizvodnji izazvani krizom imaju glavnu ulogu u uklanjanju nekonkurentnih proizvodnji. Zato se očekuje smanjenje broja proizvođača solarnih panela i tankih filmova, od njih gotovo 4 000 u 2011. na manje od 100 u 2016.

Trendovi primjene plastike u zelenoj gradnji

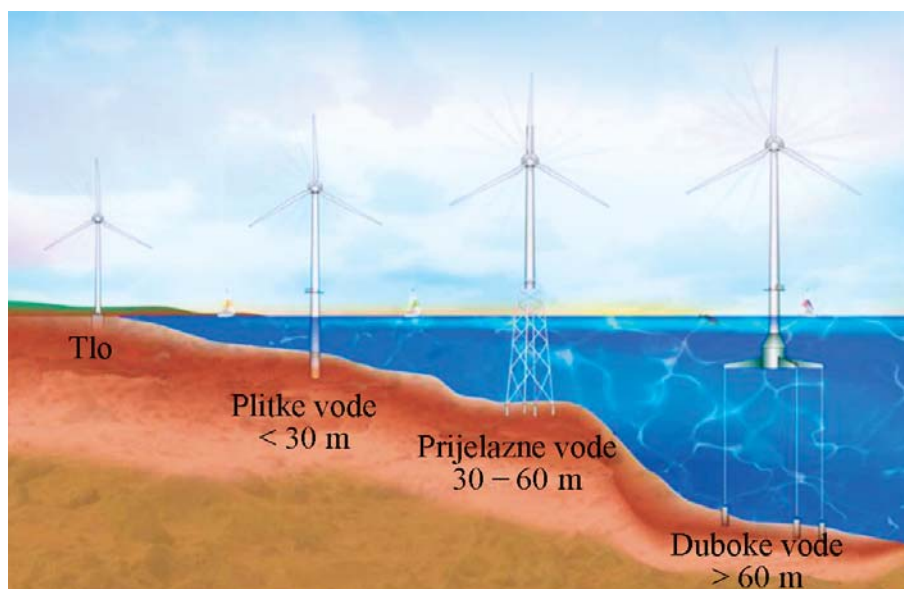
Sintagma *zelena gradnja* je od poštalice postala sofisticirani pojam koji redefinira način kako graditi i živjeti u zgradama koje ne samo da smanjuju potrošnju energije nego je i proizvode. Zgrada kao *proizvođač energije* implementira postupke i opremu za proizvodnju energije i povećanje obnovljivih izvora energije. To znači da treba uzeti u obzir solarne ćelije, solarne kolektore, kombinirane toplinske generatore i generatore snage te vjetroturbine. Za sve te uređaje nužna je plastika. Osim toga plastika ima veliku ulogu u *zelenoj* izvedbi fasada.

No plastika je sve prisutnija i u nosivim dijelovima zgrada. Razrađeni su sustavi betonskih podova sa šuplinama za uklanjanje nedjelotvornoga tzv. *mrtvog* opterećenja u betonskoj ploči i do 35 % uz zadržavanje potrebne čvrstoće. Šupljine tvore plastične puhanе kugle različitih veličina koje su u potpunosti napravljene od recikliranog PE-HD-a i polipropilena (PP). Radi jednostavnijeg rukovanja kugle su dobavljive kao moduli u čeličnim kavezima koji se stavljaju između gornjeg i donjeg ojačavala (armature) u ploči (slika 5).



SLIKA 5 – Puhane plastične kugle za stvaranje šupljina u betonskim podnim konstrukcijama

Time se postiže smanjenje ukupne mase ploče, moguća je izrada većih ploča, a povećana je sigurnost u slučaju potresa. Cijena takvih ploča



SLIKA 3 – Različiti tipovi *off-shore* vjetroeletre

povoljnija je od konvencionalnih, uz doprinos i obnovljivosti korištenjem recikliranih komponenti.

Državnim poticajima i nadalje će se podupirati programi za poboljšanje energijske učinkovitosti zgrada. Dodatni pokretač bit će i legislativa koja će se progresivno pomicati od energijski neutralnih do energijski pozitivnih zahtjeva za gradnju.

Plastika je prisutna i u izradi *zelenog* namještaja. Tu je uglavnom riječ o kompozitima s prirodnim vlaknima. Tako je inovativno akrilatno vezivo *Aerodur* na vodenoj osnovi pogodno za drvo i ostala prirodna vlakna. Ne sadržava fenol, izocijanate i formaldehid, gotovo je bez mirisa, može se kombinirati s dodacima kao što su kvasila, antipjenila, repelenti (sredstva za odbijanje vlage) i sl. Bez umreživanja je to tipični plastomer koji se iznad 150 °C ponaša kao duromer. Naslonjač kojemu su naslon i sjedalica napravljeni od *Aerodura* ojačanog prirodnim ojačevalom prikazan je nedavno na izložbi u Chicagu (slika 6). Naslonjač je napravljen postupkom aditivne proizvodnje (popularno 3D tiskanje), jako je krut i lagan. Udio prirodnih vlakana u kompozitu može iznositi 75 – 80 % ukupne mase proizvoda.



SLIKA 6 – Naslonjač od *Aerodura* ojačanog prirodnim vlaknima

Trendovi u primjeni plastike u medicini

Prednosti plastike potiču i vrlo snažan razvoj na području medicinskih uređaja i pribora. Implantati su pridonijeli naglom razvoju kiborgizacije ljudskih bića i povećali potražnju za savršenijom plastikom koja može podnijeti oštre, gotove surove uvjete u ljudskom tijelu tijekom duljeg razdoblja ili se pak u potpunosti resorbirati nakon što implantati ispune svoju zadaću bez štetnog utjecaja na pacijenta.

Alarmantan porast bolničkih infekcija i zabrinutost vezana uz širenje zaraza poput pandemije svinjske gripe doveli su do zahtjeva za antimikrobnom plastikom za medicinske potrebe. Ali istodobno raste zabrinutost zbog povećanoga medicinskog otpada, zbog rastuće uporabe raspoloživih medicinskih uređaja i pribora te problema gospodarenja tim otpadom. Zato je zamjena metala medicinskom plastikom, osobito za implantate, izazvala povećanu pozornost.

Jedan od primjera mogućih implantata je pumpa s baterijom od poli(eter-eter-ketona), PEEK, za bolesnike s previše tekućine u abdomenu.

Medicinski PEEK posebno je pogodan za uporabu u ljudskom tijelu, jer je kompatibilan i biostabilan. Za razliku od metala, pri uporabi PEEK pumpe koncentracija iona je nula pa nema reakcije s tijelom. PEEK implantat znatno je lakši od metalnoga, ne ometa prolaz X-zrakama. Može se injekcijski prešati u kompleksne oblike. Nakon što je dobio CE odobrenje, uveden je u vodeće hepatološke centre u Europi.

Globalizacija mijenja industrijsku dinamiku, koja će od proizvođača medicinskih uređaja i pribora u budućnosti zahtijevati usklađivanje s propisima. Povećani državni utjecaji u zdravstvu i pojačana briga za sigurnost medicinskih plastičnih proizvoda mogli bi usporiti njihov razvoj i cikluse odobravanja njihove uporabe.

Buduće inovacije za medicinske uređaje očekivano bi bile povezane s ovim glavnim područjima:

- umjetni organi, tkivo i kombinacije uređaj/biološka funkcija i uređaj/dobava
- elektronika
- detekcija/dijagnoza/promatranje
- minimalno invazivne metode
- decentralizirana njega te
- demografski orijentirana oprema.

Kao futuristički primjer navodi se prvi ugradivi bežično kontrolirani mikročip za dostavu lijeka. Proizvođač očekuje komercijalnu proizvodnju za četiri godine.

Tehnički trendovi na području vodljivih polimera

Opći razvoj

Vodljivi polimeri mogu biti vodljivi dodaci, ali se primarno koriste u tiskanoj elektronici, zaštitnim oblogama i specijalnim antistatičkim spojevima.

Spojevi s čađom, koja poboljšava vodljiva svojstva, imaju izvanredan omjer cijena/svojstva, ali nepovoljno utječu na mehanička svojstva. Tvrtka *Cabot* razvila je supervodljivu čađu *Vulcan Xcmax* koja uklanja taj problem omogućujući visoku vodljivost uz nizak sadržaj čađe.

Grafenski materijali postali su u vrlo kratkom roku komercijalno dostupni i smatraju se pogodnima za povećanje vodljivosti.

Atomski tanki dvodimenzijanski materijali *MXenes* sličnih su svojstava kao grafeni i imaju velik potencijal zbog svojih svojstava skladištenja energije.

Elektromagnetska izolacija usavršena je zaštita u materijalima i zaštitnim oblogama sa širokim rasponom primjene od navigacijskih satelita do

dječjih umjetnih pužnica, i tu se očituje važnost vodljivih polimera.

Razvoj ugljikovih mikrovlakana pruža nadu za nove uređaje za prostetičku komunikaciju s mozgom.

Novi termoelektrični materijali unapređuju mogućnost stvaranja energije za minijaturne elektroničke uređaje.

Istraživači su pronašli način dobivanja grafenskih filmova i grafenskih kondenzatora bez međusobnog lijepljenja. Na DVD je nanosen sloj plastike, zatim film grafitnog oksida, i to se onda umeće u standardni DVD uređaj. Grafenski film napravljen je u kondenzatoru ispunjavanjem praznine između dvije paralelne ploče laserski urezanoga grafena uz fosforu kiselinu kao elektrolit. Kondenzatori su jako savitljivi i posjeduju električna svojstva koja premašuju ona ostalih uređaja za spremanje energije. Zbog savitljivosti, predviđa im se primjena kao izvora energije u savitljivim računalima i sustavima za pohranu energije u kombinaciji s fotonaponskim uređajima.

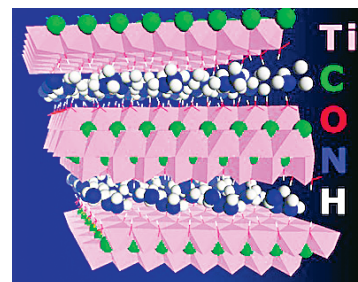
Budućnost vodljivih polimera

Trenutačno postoji velik broj poznatih istraživanja i onih u razvoju u institutima i na sveučilištima kojima je cilj pronaći nove polimere i nove vodljive dodatke za nove materijale i postupke. Očekuje se da će proizvodnja ugljikovih nanocjevčica (e. *carbon nanotube*, CNT) i grafena na industrijskoj skali dovesti do velikih promjena u primjeni plastike u elektroničkim uređajima.

Inovativne varijacije ugljikovih nanocjevčica i grafena kao što su *nanopupoljci*, nesloživi grafeni i grafenske pjene omogućit će konstruiranje lakih, savitljivih i koljenastih elektroničkih proizvoda.

Kako se proizvodnja uređaja na osnovi silicija približava svojoj fizičkoj granici, mnogi vide grafene kao novi materijal koji će omogućiti industriji poluvodiča razvoj sve manjih i bržih elektroničkih uređaja.

Razvija se nova porodica 2D karbida prijelaznih metala i/ili nitrida koji također obećavaju uz vodljive polimere (slika 7).



SLIKA 7 – Atomski tanki dvodimenzijanski materijali poboljšavaju vodljiva svojstva grafena

Usavršena vodljiva plastika otvara i nove mogućnosti za senzore ili protetiku nalik na kožu. Napredak u području termoelektričnih vodljivih polimera omogućit će obnovu topline kao pokretačke energije uređaja poput *pacemakera*, pumpe za inzulin, ali i za smanjenje potrošnje goriva u automobilima.

Trendovi u području temperaturno postojanih polimera

Sve je veći interes tržišta za polimernim materijalima visoke temperaturne postojanosti, ponajprije za više maksimalne temperature za kontinuiran rad, ali uz poboljšanu dimenzijsku stabilnost i bolja mehanička svojstva. Osobito su zanimljivi polimeri koji imaju temperaturnu postojanost iznad 200 °C.

Staklište poli(benzimidazola) (PBI) u rasponu je od 400 do 425 °C, što mu daje izvanrednu postojanost, ali se ne može praoblikovati uobičajenim postupcima za plastomere.

Drugu skupinu visokotemperaturno postojanog plastomera čine poliimidi (PI), s trajnom uporabnom temperaturom od oko 240 °C i staklištem T_g do 311 °C.

Razvijeni su i kapljevit plastomerni kristali s niskom temperaturom prerade, koji mogu biti dvoosno orijentirani/umreženi, a istodobno su dobro uravnoteženih mehaničkih svojstava.

Predstavljena je i nova generacija poliesteru s izvanredno postojanim svojstvom reflektiranja kakvo zahtijevaju LED paketi u displejima i

općenito pri osvjetljavanju. Materijal je po svojstvu reflektiranja, boja na toplini i svjetlu superioran uobičajeno primjenjivanom temperaturno postojanom poliamidu.

Postoje i varijante superbijele smjese punjene vlaknima koje također zadovoljavaju LED zahtjeve za reflektiranjem, sa sljedećim karakteristikama:

- visoko početno svojstvo reflektiranja
- visoka postojanost svojstva reflektiranja na toplini i pri svjetlu
- izvrsna povezivost sa silicijem
- izvrsna preradljivost
- izvrsna čvrstoća i savitljivost u usporedbi s temperaturno postojanim poliamidima te
- niska apsorpcija vlage.

Ovi poliesterski materijali lemljivi su bez olova s kratkotrajnom toplinskom postojanošću do 260 °C.

Što se od visokotemperaturne plastike može očekivati u budućnosti?

Inovativni materijali, osobito visokotemperaturna plastika, bitno će pridonijeti daljnjem smanjivanju ukupne mase vozila, posebice zamjenom metalnih dijelova pod poklopcem motora plastičnima.

Zahtjevi za izradu sve manjih uređaja potiču razvoj plastike koja će omogućiti proizvodnju sve manjih i tanjih elektroničkih komponenti postojanih pri visokim temperaturama i visoke električne frekvencije.

Osim toga i industrija plina i nafte rabi sve više elektroniku pri visokim temperaturama i u sve agresivnijim sredinama.

Kako se plastika sve više koristi u medicinskim uređajima, mogućnost steriliziranja i postojanost pri visokim temperaturama postaje ključan kriterij izbora.

I na kraju

Parafrazirajući poznatu scenu iz filma *Diplomac* (D. Hoffman, 1967.), kada se govori o budućnosti, umjesto ondašnje izreke *Samo jedna riječ: plastika* autor ovoga izvanrednog preglada o plastici naveo je, ocrtavajući trendove, *Samo jedna riječ: grafeni!*



INTERNATIONAL EXHIBITION FOR PLASTICS AND RUBBER INDUSTRIES

MILAN - May 5/9

Three satellite-shows in the largest exhibition for plastics and rubber in Europe in 2015

Rubber 2015 rubber

3D plast 3D printing and related technologies

Start plast innovative startup companies

plastonline.org

