

**ŽIVORAD ČEKOVIĆ**

Hemijski fakultet,  
Univerzitet u Beogradu,  
Beograd

**STRUČNI RAD**

**54.001.5"20"**

## **HEMIJSKI IZAZOVI NA POČETKU 21. VEKA**

*Oko dva veka hemija se nalazi u službi čoveka i značajno doprinosi poboljšanju kvaliteta i produženju ljudskog života. U tom periodu akumulirano je ogromno znanje, otvarane su nove oblasti, menjale su se metode ali su hemijski ciljevi ostali isti: razumeti materiju i njene promene kako u laboratorijskom balonu, tako i u industrijskom reaktoru i živom organizmu. Na kraju 20. veka hemijska naučna saznanja i dostignuća, hemijske supstance i materije ulaze u sve pore ljudskog života i svih naših delatnosti, pa se zbog toga budućem razvoju hemije, hemijske tehnologije i hemijskog inženjerstva pridaje sve veći značaj.*

Hemijska nauka u 21. vek ulazi s ogromnim naučnim otkrićima i znanjima, sa naučnim kapacitetima koji obezbeđuju sinteze više od milion novih jedinjenja godišnje i više od 700 hiljada naučnih publikacija, sa širokim spektrom primena, raspolaže snažnom podrškom hemijske industrije ali su ciljevi hemijske nauke ostali isti: što snažnije uticati na poboljšanje kvaliteta života i što dublje pronicati u strukturu materije i tokove hemijskih reakcija. Sa istim ciljevima ali sa novim, svremenijim metodama očekuje se još veći uticaj hemije kako na druge nauke tako i na naš svakodnevni život.

Centralni položaj nauke koja izučava materiju i njene promene snažno integriše hemiju u njoj bliske prirodne nauke kao što je biologija i fizika, povezuje je sa medicinom, agronomijom, naukom o materijalima, naukom o zaštiti životne okoline, zatim sa informacionim tehnologijama i drugim inženjerskim oblastima.

Ovde treba dodati i podatak da je u razvijenim zemljama sveta, hemijska industrija najveća proizvodna oblast i da čini više od 30% ukupne proizvodnje; u koju nisu uključene industrijske grane kao npr. elektronska i automobilska industrija, agrikultura i slične grane koje su veoma zavisne od procesne hemijske industrije.

\* \* \*

Američko hemijsko društvo na svakih desetaka godina vrši anлізу naučnih dostignuća u hemijskim naukama, s posebnim osvrtom na njihove primene, i na osnovu postignutih naučnih rezultata i zaheva sadašnjeg vremena, pravi projekciju razvoja hemijskih istraživanja za naredne decenije. Tako je ekspertska grupa američkih hemičara, koju su predvodili profesor hemije Ronald Breslow, sa Columbia univerziteta (Njujork) i profesor hemijskog inženjerstva Matthew Tirrell, sa Koledža za hemijsko inženjerstvo Kalifornijskog univerziteta (Santa

Barbara), ove godine, sačinila vizionarski projekat za sledeće decade po nazivom "Iza molekulskih granica: Veliki izazovi za hemiju i hemijsko inženjerstvo",

Pošto Američko hemijsko društvo ima najveći uticaj na razvoj hemijske nauke i na primene hemijskih proizvoda, materijala i metoda u svim segmentima ljudske delatnosti i svakodnevnog života to će ovde ukratko biti izložen kraći prikaz osnovnih smernica za hemijska istraživanja u narednom periodu prema viđenju najjače i najuticajnije asocijacije hemičara u svetu. Vizionarska projekcija "Iza molekulskih granica: Izazovi za hemiju i hemijsko inženjerstvo" predstavlja spisak velikih izazova koji nude široke mogućnosti hemičarima da daju doprinose ogromnih mogućnosti, a za dobrobit čovečanstva.

Vizionarsko gledanje na budućni razvoj hemije zasnovno je na dosadašnjem razvoju i sadašnjem stanju nauke, a njihovom ekstrapolacijom u buduće vreme u kombinaciji sa naučničkom maštom iskusnih hemičara, sačinjen je projekat o pravcima razvoja širokog spektra hemijskih nauka i hemijskog inženjerstva u dolazećim decenijama.

Ovde će biti izloženi kraći pregledi budućih pravaca razvoja u pojedinim oblastima hemijskih nauka kao što su: i. sinteze i industrijska proizvodnja, ii. hemija za medicinu i biologiju, iii. razvoj novih materijala, iv. hemijske i fizičke transformacije materije, v. doprinosi hemije u rešavanju energetske probleme i vi. hemija u zaštiti životne okoline.

### **SINTEZE I INDUSTRIJSKA PROIZVODNJA: NOVE SUPSTANCE I NOVE METODE**

Od alhemijskog perioda hemičari su nastojali da dosegnu prirodu i naprave molekule i strukture za koje se smatralo da samo priroda može stvoriti. Zato i sada na početku 21. veka, izazov hemičarima jeste ne samo da dosegnu prirodu već i da je prevaziđu. Od oko 40 miliona poznatih i okarakterisanih hemijskih jedinjenja znatno je veći broj jedinjenja koja su dobivena sintezom od jedinjenja koja su izolovana iz prirodnih materijala. Mada

Adresa autora: Ž. Čeković, Hemijski fakultet Univerziteta u Beogradu, Studentski trg 15, 11000 Beograd

Rad primljen: Mart 9, 2004

Rad prihvaćen: Mart 22, 2004

su izvršene sinteze i onih jedinjenja koja su izolovana iz raznih biljnih i životinjskih tkiva.

Stoga su i dalje najveći izazovi hemičarima da razvijaju nove metode i hemijske reakcije koje će omogućiti sinteze svih važnih molekula, a naročito onih koje priroda ne sintetizuje, ali i sinteze onih važnih prirodnih jedinjenja čiji postupak izolovanja i prečišćavanja je složen i skup.

Razvijajuće se nove hemijske transformacije i reakcije pomoću kojih se može ostvariti visoka selektivnost karakteristična za enzimatične reakcije, u kojima stereochemijski faktori postaju važniji od prave reaktivnosti molekula. Za ove svrhe primenjivaće se kompjuterske metode dizajniranja važnih krajnjih molekula kao i efikasnih intermedijera u njihovim sintezama. Za određivanje važnih, zadatih i očekivanih, osobina sintetizovanih molekula koristiće se i kombinatome metode.

Dizajniraće se novi sintetički procesi koji se mogu sistematski varirati sa ciljem da se optimizuju određene, projektovane i očekivane, osobine reakcionih proizvoda.

Sinteze na čvrstoj fazi i pomoću čvrstih katalizatora zahtevaju i što potpunije razumevanje hemijskih i fizioloških osobina površina kao reagenasa, što će biti predmet sistematskih i interdisciplinarnih istraživanja.

Očekuje se veliki napredak i u razvoju različitih pouzdanih sintetičkih metoda za dobivanje tvrdih materijala kao što su mikrostrukturni materijali, odnosno nano-čestice i porozni materijali.

U sintetičke procese ugrađivaće se prirodni ili modifikovani enzimi, kao katalizatori za laboratorijske i industrijske sinteze važnih materijala.

Sintetizovaće se nove supstance koje poseduju takve strukture koje se mogu spontano samo-uređivati i nagraditi organizovan sistem sa očekivanim i zadatim osobinama.

Za dobivanje svih važnih materijala i proizvoda važno je pronalaženje dobrih i efikasnih proizvodnih procesa, prihvatljivih za okolinu i bez neželjenih sporednih proizvoda, uz mali utrošak energije.

Intenzivirati proizvodne procese tako da budu kompaktni i efikasni sa ciljem da hemijske fabrike mogu, bezbedno i sa malim uticajem na životnu okolinu, proizvesti željene količine važnih hemijskih proizvoda.

Od nauke o sintezi očekuje se da kreira i napravi jedinjenja i supstance ne samo one koje su poznate u prirodi već da proširi prirodu i sintetizuje nepoznate strukture od praktičnog i primenjenog značaja i to ne samo za hemijsku nauku već i za medicinu, biologiju, agronomiju i druge naučne oblasti.

## HEMIJA ZA MEDICINU I BIOLOGIJU

Dužina ljudskog života u poslednjih sto godina skoro se udvostručila (muškarci sada prosečno žive oko 73 a žene oko 79 godina) i to ne samo zahvaljujući medicini već i drugim naukama, a naročito hemiji. Pronalaskom raznih antibakterijskih jedinjenja i antibiotika, njihovom industrijskom proizvodnjom i masovnom pri-

menom suzbivene su razne infektivne bolesti, uključujući i tuberkulozu i mnoge druge. Hemijska nauka otkrila je hemijska jedinjenja i sintetičke postupke za njihovo dobivanje, a hemijska industrija proizvela u dovoljnim količinama veliki broj farmakološki aktivnih jedinjenja koja farmaceutska industrija oblikuje u lekove, a medicina primenjuje u hemoterapiji.

U lečenju najviše zastupljenih bolesti savremenog doba kao što su razna stomačna i kardiovaskularna oboljenja, razne infektivne bolesti i depresivna stanja, koriste se hemijski preparati oblikovani u odgovarajuće lekove. Sve vrste lekova su tačno definisana hemijska jedinjenja čije sinteze su precizno utvrđene tako da ih hemijska industrija proizvodi u velikim količinama i često prema relativno jeftinim tehnološkim postupcima.

Tako je preko 1200 novih farmakološki aktivnih hemijskih jedinjenja uvedeno u farmaceutsku primenu u poslednjoj četvrtini dvadesetog veka, pa se sada modernim lekovima mogu suzbiti i lečiti mnoge bolesti koje su ranije bile fatalne.

O obimu i učešću hemijskih naučnih istraživanja u otkrivanju novih lekova najbolje govori podatak da prosečno od 10.000 ispitivanih hemijskih jedinjenja, sintetizovanih u laboratoriji ili izolovanih iz prirodnih materijala, samo jedno jedinjenje ulazi u primenu. Proces za uvođenje jednog leka, od laboratorijske sinteze do primene, veoma je dug i obično zahteva 8 do 15 godina. Hemičari sintetizuju brojna nepoznata i potencijalno farmakološki aktivna jedinjenja ili ih izoluju iz prirodnih proizvoda i određuju im preciznu strukturu i stereochemiju. Tek tako tačno definisana jedinjenja podvrgavaju se raznim farmakološkim testovima i izučavaju njihove farmakološke aktivnosti. Deo odabranih jedinjenja podvrgava se detaljnijim i kompletnim farmakološkim istraživanjima i opet samo manji deo jedinjenja prosleđuje se na klinička ispitivanja, koja takođe obuhvataju tri faze. Zato je postupak za uvođenje jednog leka, od određivanja strukture aktivnog jedinjenja do registracije leka i njegove primene, zahteva tako dug vremenski period. Naravno i postupak za uvođenje jednog leka je i veoma skup i najčešće košta od 300 do 500 miliona dolara. Zbog ovako skupog i dosta složenog postupka za uvođenje jednog leka u primenu ovakva naučna istraživanja mogu finansirati samo bogate zemlje i velike multinacionalne kompanije.

Uvođenje jednog leka u primenu najbolje govori o interdisciplinarnosti i uzajamnoj povezanosti sledećih nauka: hemije, medicine, biologije, farmacije, hemijske tehnologije i inženjerstva.

Pored toga hemijska nauka intenzivno i sistematično se bavi proučavanjem mehanizama životnih funkcija. Životni procesi smatraju se poznatim tek kada se razumeju njihovi molekularni detalji i promene na molekularnom nivou. Razumevanje biologije na molekularnom nivou je fundamentalno u razvoju dijagnostičkih metoda, pa stoga, molekularno razumevanje biologije igra glavnu ulogu i u otkrivanju farmakološki aktivnih i lekovitih jedinjenja. Bolje razumevanje molekularne osnove života i

bolesnih stanja omogućava razvoj metoda za brzo ispitivanje brojnih prirodnih i sintetičkih jedinjenja koja mogu da interaguju sa specifičnim molekulskim ciljem u živom tkivu i tako koriguju deformacije nekih životnih funkcija. Molekulska analiza živih ćelija obezbeđuje potrebne informacije molekulskim biolozima, neophodne za bolje razumevanje dvostruke spirale DNA.

Bolje razumevanje životne mašinerije omogućava dešifrovanje raznih misterija i stvaranju jasnije molekulske slike i to kako u životnim procesima tako i u kritičnim stanjima i bolestima.

### Perspektive i izazovi za 21. vek

U narednom periodu očekuje se još veća interdisciplinarnost i prožimanje između hemije, medicine i biologije koje treba da rezultuje boljim razumevanjem osnova hemije života. Objašnjenje životnih procesa u hemijskom smislu jedan je od najvećih izazova koji se nastavlja i u budućnosti. Očekuju se značajna i uzbudljiva otkrića koja se odnose na hemijsko tumačenje mehanizama mišljenja i pamćenja.

U skoroj budućnosti se očekuje bolje razumevanje procesa povezivanja različitih proteina i nukleinskih kiselina sa malim biološkim molekulima u hemijski definisane funkcionalne komplekse i dobivanje jasnije slike o složenim hemijskim interakcijama između različitih komponenta živih ćelija. U ovoj oblasti učinjen je veliki napredak i biologija sve više postaje hemijska nauka, a hemija sve više postaje nauka o životu. Medicinska hemija u osnovi će se promeniti i u budućnosti se očekuje nova era molekularne medicine.

Otkrivanje i pronalaženje sintetičkih metoda za proizvodnju efikasnih antivirusnih agenasa, antibiotika i drugih lekova za suzbijanje opasnih i neizlečivih bolesti, uključujući i one koje uzrokuju izazivači (bakterije i virusi) koji su otporni na lekove, biće predmet naučnih istraživanja kako u akademskim institucijama tako i u industrijskim naučnim centrima.

Pronalaženje lekova koji treba preventivno da suzbiju neka oboljenja koja ograničavaju normalne životne uslove kao što su kancerogena oboljenja, Alzheimerova bolest, mentalne bolesti i diabetis.

U hemoterapiji mnogih bolesti očekuju se novi, poboljšani, lekovi koji treba da poboljšaju kvalitet života. Očekuje se veliki napredak i u pronalaženju boljih sredstava i terapijskih metoda prema kojima se lekovita supstanca može kontrolisano dostaviti tačno do ciljanog, odnosno obolelog tkiva, čime bi se sprečili sporedni efekti leka i njegovi uticaji na zdrava tkiva. Već su razvijene neke terapijske metode za dostavljanje leka na pravo mesto, u pravo vreme i u potrebnoj količini, što povećava efikasnost lekovite supstance i smanjuje sporedne i negativne efekte leka na zdravim tkivima. U terapiji tumora mozga već su postignuti izvanredni rezultati u dostavljanju leka samo na obolelo tkivo. Konstruisana su polimerna sredstva koja predodređenom dinamikom otpuštaju lek u određenom periodu. Za ove svrhe sinteti-

zovani su biokompatibilni polimeri koji se raskidaju pod uticajem tečnosti u telu koja rastvara lek na lokalnom nivou i koji ubija kancerogene ćelije. Na veoma brz razvoj ove interdisciplinarnosti (medicina, hemija, farmacija, inženjerstvo) ukazuje podatak da je industrija koja proizvodi biokompatibilne materijale za selektivno dostavljanje leka (drug delivery) dostigla godišnji promet preko 20 milijardi dolara.

Istraživanja se vrše i u cilju pronalaženja novih biokompatibilnih materijala za zamenu organa kao što su veštačke kosti, tetive, zubi, veštačka jetra, koža i drugi.

Očekuju se poboljšane i još efikasnije diagnostičke metode koje treba da omogućе bržu i detaljniju identifikaciju bolesti i njeno lečenje u ranijoj fazi.

Kreirace se takvi aditivi hrani koji treba da omogućе bolju zaštitu i pojačaju dietu za veću bezbednost pacijenta.

Boljim razumevanjem mehanizama delovanja enzima a naročito njihove efikasnosti i selektivnosti mogu se dizajnirati veštački ("biomimik") katalizatori koji mogu delovati isto kao i pravi enzimi.

U narednom periodu očekuje se i bolje hemijsko razumevanje pitanja: da li i kako spontano može nastati život na zemlji ili na bilom kojoj drugoj planeti? Isto tako, da li će biti moguće organizovati hemijski sistem koji imitira funkciju biološke ćelije?

Biće od posebne važnosti detaljnije poznavanje hemijskih transformacija koje se vrše u ćeliji i kako promene zavise od fizičke organizacije ćelije i njenih komponenta.

Ovaj spisak izazova za budućnost o hemiji u službi zdravlja i medicini nije iscrpljen, već samo ukazuje na ogromne mogućnosti za interakciju hemijske nauke sa biologijom i medicinom. Jer ovako kompleksni naučni problemi zahtevaju bolje razumevanje susednih naučnih oblasti i nauka. Dolazeća vremena zahtevaju veoma vešte i uske specijaliste koji su istovremeno i generalisti. Da bi se postigao uspeh u ovoj oblasti potrebna je podrška kako fundamentalnih istraživanja u ovim naukama tako i povezanih interdisciplinarnih istraživanja.

Ne bez razloga, očekuje se da prvi deo 21. veka bude poznat kao "zlatne godine hemije života".

### RAZVOJ NOVIH MATERIJALA

Nauka o materijalima i inženjerstvo su neodvojivi od hemije i hemijskog inženjerstva. Važnost materijala meri se njihovim sve većim primenama i velikim uticajem na kvalitet života. Ne bez razloga, lista od 20 najvećih inženjerskih dostignuća u 20. veku sadrži mnoge materijale (npr. visoko-kvalitetne materijale za automobile i avione, elektronske materijale, materijale za kompjutere, telefone, optička vlakna), a koja uglavnom zavise od napredka nauke o materijalima i inženjerstva.

Pod pojmom materijal podrazumeva se supstanca ili supstance od kojih je neki predmet napravljen ili sastavljen. Za razumevanje materijala potrebno je sjediniti dobro razumevanje susptanci i znanje kako ih povezati u

korisnu i interesantnu skupinu. Hemičari sintetizuju i karakterišu proizvode i zatim konstruišu materijale. Oni to čine od molekulske veličine i nanometarskog nivoa, do polimera i elektronskih naprava submikro veličine, do obilnih i masovnih materijala kao što je keramika i cement.

Molekulsko razumevanje, sintetička kontrola i nove fabrikacije različitih materijala suštinski se zasnivaju na hemijskoj nauci i tehnologiji. Cilj primenjene hemije i hemijskog inženjerstva je da prerade i transformišu raspoložive supstance u korisne materijale, normalno menjajući njihov molekularni sastav i uređenje kontrolisanom sintezom, tehnološkim procesima i proizvodnim metodama.

Hemija je originalna sintetička nanotehnologija, dok je biologija originalna prirodna nanotehnologija. Hemičari dizajniraju i izvode konstrukcije molekula koje zahtevaju postavljanje svakog atoma, sa subnanometarskom preciznošću, na određena mesta. Dok hemijski inženjeri sintetičke transformacije izvode u velikim količinama i industrijskim razmerama.

Od polimernih materijala očekuje se da blok kopolimeri mogu biti interesantni i primenljivi. Naročito kopolimeri u kojima su pojedine faze razdvojene nanoskopskim veličinama (10–50 nm) jer oni mogu imati znatno korisnije osobine nego prosto pomešane i spojene dve komponente. Ovakvi kopolimeri su prvi primeri samouređujuće proizvodnje novih materijala. Arhitektura makromolekula je važna sintetička varijabla koja može da obezbedi nove materijale sa kontrolisanim razgranatim nizovima ili stereoregularnostima koje otvaraju izvanredne mogućnosti za razvoj novih materijala.

Fotolitografija je osnova tehnologije koja je najviše doprinela promenama u svetu, a koje su osnova kompjuterske i informacione revolucije. Materijali koji se koriste u fotolitografiji su hemijski precizno definisani makromolekuli, elementi i jedinjenja. U daljem progresu u ovoj oblasti očekuje se razvoj meke litografije.

Novi materijali se očekuju i u novim generacijama modernih elektronskih, optoelektronskih, ftonskih, superprovodničkih i magnetnih uređaja i naprava koje su našle primenu u mnogim instrumentima i aparatima koje svakodnevno koristimo.

Novi keramički materijali i ugljenične strukture nalaze sve veću primenu.

Slojeviti materijali i materijali za modifikacije površina imaju najrazličitije primene: kao materijali za površinsku zaštitu i za stvaranja biokompatibilnih površina nekih materijala nanošenjem biomimičnih slojeva na površinu materijala. Ova tehnika može da omogući proizvodnju raznih implantanata za medicinske potrebe.

Od hemičara i hemijskih inženjera, u narednom periodu, očekuje se da pronađu materijale poboljšanih struktura, koji su stabilni na visokim temperaturama a lako se mašinski obrađuju.

Očekuje se dobivanje materijala koji poseduju korisne električne i optičke osobine, uključujući i visokotem-

peraturnu električnu provodljivost, zatim materijale koji su lakši i jači, a lako se recikliraju. Od značaja su novi hrapavi i dugotrajni materijali za površinsku zaštitu (boje, premazi).

Potrebna su i nova saznanja i bolje razumevanje korisnih osobina materijala nano-veličine i nehomogenih materijala.

Proučavaju se i materijali koji mogu dati "odgovore" na razne impulse, koji postoje u fiziološkim sistemima kao što su mišići.

Ispituje se razvoj i proizvodnja materijala i supstanci u kojima se vrši spontano, ili sa minimalnim vođenjem, sakupljanje i uređivanje u kompleksne strukture tako da se dobivaju trajni sistemi za različite namene.

Očekuje se dobivanje novih materijala sa predvidljivim osobinama koji će obezbediti ostvarivanje značajnih i teških ciljeva pri dizajniranju i sintezi, a što može biti veliki izazov procesnim hemičarima i inženjerima.

## HEMIJSKE I FIZIČKE TRANSFORMACIJE MATERIJALE

Osnovni i najvažniji cilj hemijske nauke da može da izvodi hemijske i fizičke transformacije materijala, da razume promene i da može da utiče na njih, i to kako sa fundamentalnog tako i sa primenjenog i tehnološkog aspekta. Zato je potrebno što bolje razumevanje mehanizama hemijskih reakcija koje su otkrivene kao i transformacije koje se vrše u živim organizmima i prirodnom okruženju. Takva razumevanja pomoći će pri dizajniranju novih hemijskih transformacija.

Izazov hemičarima je da pronađu savršenija oruđa za studije reakcionih mehanizama hemijskih i biohemijskih reakcija. Oruđa kojima bi se procesi direktno posmatrali i sa dobivenim saznanjima dizajnirale nove sinteze.

Proučavaće se razvoj pouzdanih kompjuterskih metoda pomoću kojih se mogu predvideti detaljni putevi i brzine nepoznatih hemijskih reakcija, izbegavajući potrebu za njihovim izvođenjem i merenjem, da bi se odredila njihova praktična vrednost.

Potrebno je bolje razumevanje hemije i osobina velikih molekula, uključujući i biopolimere, razumevanje strukture do nivoa razumevanja hemije malih molekula.

Biće sistematski proučavano ponašanje molekula i supstanci u neobičnim uslovima, od ekstremno visokih temperatura i pritisaka, do njihovog ponašanja apsorbiranih na čvrstoj površini.

Hemijski procesi vrše se u opsezima vremenskih skala koje prihvata moć našeg poimanja. Neke hemijske reakcije, kao npr. promena dijamanta u grafit, pod normalnim uslovima su spore, a njihova brzina se meri milionima ljudskih vekova. Suprotno ovakvim procesima je direktno raskidanje hemijskih veza kada molekuli apsorbuju svetlost i takva foto disocijacija je veoma brza i dešava se u intervalu od 10 do 100 femtosekundi ( $10-100 \times 10^{-15}$  sek.). Naučnici su na kraju 20. veka pronašli oruđe da vrše kinetička merenja u celom opsegu čak i ovakvih reakcionih tokova.

Postoji naročito interesovanje za dublje razumevanje hemijskih mehanizama prema kojima se vrše razni biološki procesi kao npr. mehanizam višefazene sinteze ATP *in vivo*, zatim hemijski mehanizam u očima kojim se svetlost transformiše u signal koji se šalje mozgu koji stvara viziju.

Povećano je interesovanje za reakcije organometalnih jedinjenja koja povezuju organsku i neorgansku hemiju. Mnoge takve reakcije već se koriste u sintezama, a organometalni reagensi sve više se koriste kao važni katalizatori.

Mnogi detalji o reakcionim mehanizmima organometalnih jedinjenja još uvek nisu jasni i zato će razumevanje ovih mehanizama omogućiti razvoj novih reagenasa i katalizatora. Saznanja o vezivanju metalnih jona u nekim enzimima i katalizovanju nekih enzimatičnih reakcija doprineće konstrukciji biomimetičkih katalizatora.

Bolje razumevanje osobina enzima stalan je izazov naučnika. Kako oni ubrzavaju neke reakcije bioloških supstanci, kako izvršiti modifikacije aktivnosti enzima i kako za njih vezati neke inhibitore jeste, i nadalje će biti, predmet sistematičnih istraživanja, jer mnogi lekovi, npr. za smanjenje holesterola u krvi, deluju kao enzimski inhibitori.

## HEMIJA U REŠAVANJU ENERGETSKIH PROBLEMA

Hemija i hemijsko inženjerstvo suštinski su zainteresovani za proizvodnju i upotrebu energije. Energija je potrebna za proizvodnju, transport, zagrevanje i hlađenje, za pokretanje mašina i uređaja, osvetljenje i kuvanje. Smatra se da se 85% svetske energije dobiva sagorevanjem fosilnih goriva (nafte, uglja i prirodnog gasa) ali ovo uskoro mora biti promenjeno. Izvorišta ove energije postaju sve oskudnija, a i zbog toga što se sagorevanjem fosilnih goriva oslobađa ugljen-dioksid koji doprinosi nastajanju efekta "staklene bašte" kojim se sunčeva energija zadržava u atmosferskim slojevima i tako se zagreva planeta. Sagorevanje fosilnih goriva prema sadašnjim tehnologijama nastaju još i oksidi azota i sumpora, kao i drugi polutanti, koji utiču na rast i život biljaka i životinja.

Stoga je problem obezbeđivanja dovoljno čiste energije veoma bitan za čovečanstvo i njegov životni standard. Ljudima će uvek biti potrebna energija, a hemičari i hemijski inženjeri nastaviće da igraju centralnu ulogu, u ovoj multidisciplinarnoj oblasti, u pronalaženju uslova i metoda kako je proizvesti i upotrebiti.

Hemičari i hemijski inženjeri pridružiće se ekspertima iz drugih disciplina da pronađu nove puteve i metode za proizvodnju i transport energije za humanu upotrebu, da bi se obezbedilo dovoljno energije za potrebe narastajućeg stanovništva. Novi putevi i metode biće potrebni za racionalnije trošenje energije i njeno minimiziranje za humane aktivnosti uključujući i proizvodnju.

## Solarna energija

Skoro sva naša energija dolazi sa sunca. To je očigledno i kada sagoreva drvo u kome je bila akumulirana sunčeva energija nastala procesom fotosinteze. Kitovo ulje nekada je bilo značajno gorivo koje je indirektno takođe proizvedeno pomoću sunčeve svetlosti. Kitovi se hrane biljnim materijalom koji nastaje pomoću sunčeve svetlosti, a zatim se energija hrane prevodi u energiju kitovog ulja. Nafta, prirodni gas i ugalj takođe su stokirani oblici solarne energije iz biljaka i životinja, koje su ranije živjele na zemlji i izumrle. Dok hidro-energija i energija vetra takođe potiču od sunčeve energije, jer se okeanska isparavanja vode i vazдушna strujanja izazvana različitim atmosferskim pritiscima, događaju pod uticajem sunčeve energije.

U fotosintezi biljke prevode ugljen-dioksid u ugljenikova jedinjenja u biljkama i u kiseonik koji ostaje u vazduhu. Sagorevanjem biljaka ugljenik se ponovo vraća u ugljen-dioksid. Taj ciklus ugljen-dioksida pod uticajem svetlosti koji obuhvata stvaranje biljnih materijala i kiseonika, a zatim sagorevanjem biljnog materijala regeneriše se ugljen-dioksid i oslobađa se energija, samo je jedan od načina za "hvatanje" i iskorišćavanje sunčeve energije. Kritična faza je preopterećenje ciklusa bržom proizvodnjom ugljen-dioksida nego što se vrši njegovo recikliranje u biljni materijal. To je značajno upozorenje za sadašnji nivo ugljen-dioksida i nivo sagorevanja fosilnih goriva.

Jedan od načina za korišćenje sunčeve energije, slično prirodnoj fotosintezi jeste gajenje specijalnih (ili genetski modifikovanih) biljaka koje vrše efikasnu konverziju sunčeve svetlosti u biomasu koja se može prevesti u električnu energiju.

Hemičari u saradnji sa naučnicima u drugim naukama razvijaju materijale i uređaje za prevođenje sunčeve energije u toplotu ili električnu energiju ili pak sunčevu energiju koriste da stabilne molekule kao što su ugljen-dioksid, azot ili voda, prevedu u molekule sa većim sadržajem energije. Od naročitog interesa su projekti koji proučavaju fotohemijsko razlaganje vode, što znači korišćenje sunčeve energije za dobivanje vodonika kao energenta budućnosti.

U toku su ispitivanja stabilnih i jeftinih materijala i novih metode za sabiranje sunčeve energije i njene konverzije u druge oblike energije ili korisne proizvode.

Očekuju se pronalasci efikasnih fotokatalitičkih sistema sa dovoljno velikom efikasnošću za primenu u hemijskim procesima velikog obima kao što su razlaganje vode, redukcija ugljen-dioksida i amonijaka do azota.

## Ostali aspekti proizvodnje i trošenja energije

Hemičari i hemijski inženjeri pronašli su metode za povećavanje efikasnosti u utrošku energije, kao npr. povećavanje efikasnosti goriva u automobilima, zatim pronalaženju izolacionih materijala u građevinarstvu. Pronalaženje lakših materijala za izgradnju transportnih sredstava samo je još jedan od načina za efikasnije kori-

šćenje bilo kog oblika energije. Da bi se povećala efikasnost pri sagorevanju prirodnog gasa ili tečnih goriva može se očekivati "hvatanje" toplote izlaznih gasova koji se oslobađaju pri sagorevanju i tako proizvesti dodatna snaga u kogeneratoru.

Umesto sagorevanja nafte, uglja ili prirodnoig gasa i proizvodnje vodene pare za pokretanje električnih turbina, elektrohemijiskim putem može se dobiti električna energija iz hemijskih reakcija i tako izbegavati gubljenje energije pri prenosu i zagađivanje vazduha usled sagorevanja. Ovaj prilaz je naročito privlačan za energetske izvore u vozilima. Baterije se proizvode od mnogih parova hemikalija koji mogu da se oksiduju i redukuju. Neki sistemi mogu se regenerisati, na pr. kada se hemikalije u baterijama istroše i kada se primenom spoljne energije ostvari reversibilna reakcija i akumulira električna energija. Za mnoge primene kritična je težina ovih baterija, a naročito baterija, za telefone, laptop kompjutere, kamere i slične pokretne uređaje što vodi razvoju efikasnijih i lakših baterija zasnovanih na litijumu.

Stoga, izazov hemičarima i hemijskim inženjerima jeste i pronalazjenje baterija visokog kapaciteta, male težine, dugog trajanja, niske cene i mogućnosti brze regeneracije. Očekuje se dizajniranje jeftinih baterija-akumulatora visoke energetske gustine, koje se brzo pune i regenerišu, a koje mogu uvesti električne automobile u masovnu primenu.

Razvijajće se procesi, metode i infrastruktura za dobivanje, stokiranje, distribuciju i dostavu goriva za vozila na vodonični pogon.

Proučavaju se novi materijali i metode za praktične primene superprovodničkih materijala za distribuciju energije na velikim rastojanjima.

Poboljšavaju se tehnologije i katalizatori za čistiju upotrebu uglja kao goriva i za konverziju uglja u druga goriva. Razvijaju se nove metode i tehnologije za primenu biomase kao obnovljivog izvora energije.

Poboljšavaju se tehnologije i metode za ekstrakciju konvencionalnih fosilnih goriva, uključujući i nekonvencionalne izvore kao što su uljani škriljci, bituminozni pesak i metanski hidrati u dubokim morima.

Očekuje se pronalazjenje i proizvodnja jeftinijih, lakših, trajnijih, jačih, elastičnijih i za recikliranje podesnijih materijala za konstrukcije bezbednijih i težinski lakših vozila.

Takođe se očekuju i poboljšani procesi i materijali koji omogućavaju smanjenje energije u proizvodnji najvažnijih proizvoda za široke namene.

## HEMIJA U ZAŠTITI ŽIVOTNE OKOLINE

Osnovni izazov hemičarima i hemijskim inženjerima jeste da razumeju složenu hemiju na zemlji i u biosferi, kako bi time doprineli daljem održavanju života na njoj. U cilju očuvanja života na planeti hemijske procese treba dizajnirati tako da budu bezbedni, kompaktni, fleksibilni, energetske efikasni, neškodljivi po okolinu i da omogućavaju brzu komercijalizaciju novih proizvoda.

Veliki napredak je učinjen razvijanjem pokreta "zelena hemija" ali pošto su potrebe za novim proizvodima sve veće moraju se razvijati, za zemlju i njene stanovnike, potpuno bezopasni proizvodi i procesi.

Biće potrebno potpuno objasniti kompleksne hemijske interakcije u našoj biosferi –atmosferi, na zemlji, njenim rekama, jezerima i okeanima– i obezbediti naučnu osnovu za politiku očuvanja životne okoline.

Hemijisku proizvodnju i hemijske proizvode treba učiniti biološki bezopasnim i za okolinu neškodljivim. Treba naučiti kako napraviti proizvode koji su stabilni za ceo period njegove primene, a da zatim podležu degradaciji, znači da su aktivni u okolini ili u živim stvorenjima toliko dugo koliko je potrebno.

Potrebno je pronaći agro-hemikalije koje u biološkom smislu ne oštećuju nenamenske ciljeve i koji nisu suviše trajni.

Razvijajće se i selektivni katalizatori koji će omogućiti proizvodnju korisnih hemikalija bez stvaranja neželjenih otpadnih proizvoda i bez suviše primene energije.

Udruženja hemijskih industrijalaca i pokreti građana sačinili su programe, potpisali dokumenta, preduzeli aktivnosti i proizvođačima hemijskih proizvoda uputili apel da proizvode samo one hemijske supstance i materijale koji su bezopasni za okolinu i njene žive nastanjike i da primenjuju procese koji su biološki neškodljivi. Jedan od takvih pokreta i inicijativa je poznat kao Zelena hemija. Zajednička definicija Zelene hemije, koja istovremeno obuhvata i hemijsko inženjerstvo jeste "dizajnirati, razviti i primeniti hemijske procese i proizvode kojima se smanjuju ili eliminišu supstance štetne za zdravlje ljudi i za okolinu. Ova definicija sadržana je u sledećih 12 principa:

1. Bolje je sprečiti zagađenje nego čistiti nastalo "đubre".

2. Sintetičke metode treba realizovati tako da se upotrebljeni materijali što efikasnije ugrade u krajnji proizvod.

3. Koliko god je moguće treba primenjivati sintetičke metodologije koje koriste i koje stvaraju supstance koje nisu toksične ili su malo škodljive po ljudsko zdravlje i okolinu.

4. Treba dizajnirati hemijske proizvode koji će zadržavati efikasnu funkcionalnost a da se smanji njihova toksičnost.

5. Primena pomoćnih supstanci (npr. rastvarača, reagenasa za razdvajanje i sl.) treba da se učini nepotrebni, gde god je to moguće, a kada se upotrebe da su neškodljive.

6. Potrebe u energiji treba da se minimiziraju i primere utičaju na okruženje i cenu proizvoda. Sintetičke metode treba izvoditi na običnoj temperaturi i pritisku.

7. Sirovine radije treba da su obnovljive nego one čiji su izvori ograničeni i mogu biti iscrpljeni, bilo iz tehničkih ili ekonomskih razloga.

8. Koliko god je moguće treba izbegavati derivatizaciju sintetičkih intermedijera (zaštita funkcionalnih grupa, privremena modifikacija fizičkih i hemijskih procesa).

9. Radije upotrebljavati katalitičke količine nego stehiometrijske količine reagenasa.

10. Hemijske proizvode treba dizajnirati tako da na kraju njihove upotrebe svoju funkciju ne zadrže i u okruženju i da se razlože na neškodljive degradacione proizvode.

11. Treba i dalje da se razvijaju analitičke metode koje bi omogućile praćenje i kontrolu procesa i koje bi upozoravale pre nego što nastanu opasne supstance.

12. Oblik supstance upotrebljen u hemijskom procesu treba da bude tako odabran da se minimizira mogućnost hemijske havarije, uključujući eksplozije, vatru i izlivanje tečnosti.

### Lična i opšta bezbednost

Hemijska nauka ima važnu ulogu u borbi protiv terorizma i obezbeđivanja lične i nacionalne sigurnosti. Uloga hemije je da detektuje opasne i eksplozivne materije i oružje.

Od hemijske nauke se očekuju novi materijali i senzori. Potrebno je pronaći jače a lakše višenamenske materijale za bezbednija vojno-tehnička sredstva i zaštitnu odeću. Potrebno je napraviti osetljive senzore za detekciju hemijskih agenasa, droge, eksploziva, radioaktivnih materija, a zatim konstruisati pokretne analitičke uređaje za daljinsku primenu.

### SUMMARY

#### CHALLENGES FOR CHEMICAL SCIENCES IN THE 21<sup>st</sup> CENTURY

(Professional paper)

Živorad Čeković, Faculty of Chemistry, University of Belgrade, Beograd

Chemistry and chemical engineering have changed very significantly in the last half century. From classical sciences they have broadened their scope into biology, medicine, physics, material science, nanotechnology, computation and advanced methods of process engineering and control. The applications of chemical compounds, materials and knowledge have also dramatically increased.

The development of chemical sciences in the scientifically most advanced countries, at the end of the last century was extrapolated to the next several decades in this review and challenges for chemists and chemical engineers are described.

Research, discovery and invention across the entire spectrum of activities in the chemical sciences, from fundamental molecular-level chemistry to large-scale chemical processing technology are summarized. The strong integration of chemical science and engineering into all other natural sciences, agriculture, environmental science, medicine, as well as into physics, material science and information technology is discussed.

Some challenges for chemists and chemical engineers are reviewed in the following fields: i) synthesis and manufacturing of chemical products, ii) chemistry for medicine and biology, iii) new materials, iv) chemical and physical transformations of materials, v) chemistry in the solving of energy problems (generation and savings), vi) environmental chemistry: fundamental and practical challenges.

Očekuje se i usavršavanje postojećih i razvoj novih metoda i sredstava za ublažavanje hemijskih, radioloških i bioloških napada kao i dekontaminacija prostora takvih napada.

\* \* \*

Iz istorije nauke zna se da najveća otkrića kojima su otvarane nove oblasti razumevanja i praktične primene nisu bila unapred predviđana. Pa cilj ovog pregleda nije da pokuša da predviđa budućnost sa velikom jasnoćom već radije da ukaže da budućnost može biti uzbuđljiva, bogata i produktivna. Ali ipak sledeće predviđanje može biti tačno: u hemiji i hemijskom inženjerstvu pojavice se pronalasci i otkrića koja nisu obuhvaćena ovim pregledom i tada će naučnici reći: logično je, kako o tome nismo ranije mislili.

### LITERATURA ZA ČITANJE

- [1] R. Breslow, M.V. Tirrell, *Beyond the Molecular Frontier: Challenges for Chemistry and Chemical Engineering*, The National Academic Press, Washington, D.C., 2003.
- [2] *Critical Technologies: The Role of Chemistry and Chemical Engineering*, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C., 1992.
- [3] *The Age of the Molecule*, Royal Society of Chemistry, London, UK, 1999.
- [4] R. Breslow, *Chemistry Today and Tomorrow: The Central Useful and Creative Science*, American Chemical Society, Washington, D.C., 1997.
- [5] P. Ball, *Designing the Molecular World: Chemistry at the Frontier*, Princeton University Press, 1997.
- [6] P. Ball, *Stories of the Invisible: A Guided Tour of Molecules*, Oxford University Press, 2001.

Key words: Challenges for chemists and chemical engineers • Synthesis and manufacture • Chemistry and medicine • New materials • environmental chemistry •

Ključne reči: Izazovi za hemičare i hemijske inženjere • Sinteze • Proizvodnja • Hemija i medicina • Novi materijali • Životna sredina •