



INTERVJU

Dr Zoran S. Petrović

Profesor emeritus i akademik SANU

EKSKLUZIVNO

Profesor Zoran S. Petrović rođen je 1941. u Prokuplju. Diplomirao je na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu i doktorirao na *Strathclyde University*, Glasgow, Velika Britanija. Radio je u industriji 12 godina. Nakon toga prešao je na Tehnološki fakultet Univerziteta u Novom Sadu gde je predavao fizičku hemiju makromolekula i radio u Institutu za petrohemiju, gas, naftu i hemijsko inženjerstvo. Bio je predsednik Hemijskog društva Vojvodine u periodu 1988–1990. i inicijator osnivanja Sekcije za makromolekule u HDV-u 1980. i njen predsednik od osnivanja sve do odlaska u SAD 1992. Proveo je dve godine u *Polymer Science and Engineering Department, University of Massachusetts*, Amherst, SAD radeći na različitim istraživačkim projektima. Potom je 1994. prešao na *Pittsburg State University (PSU)*, Pittsburg, Kansas, SAD i osnovao *Kansas Polymer Research Center (KPRC)* na ovom Univerzitetu. Radio je kao Professor of Polymer Technology na *PSU* i Research Director i Senior Research Advisor u *KPRC*. U zvanje Professor Emeritus izabran je 2014. Profesorova posebna interesovanja jesu poliuretani, biopolimeri, mreže i gelovi, blende, kompoziti i nanokompoziti i karakterizacija polimera. Za inostranog člana Srpske akademije nauka i umetnosti izabran je 2009.

Profesora Petrovića živi i radi u SAD skoro 25 godina, ali često dolazi u Srbiju. Prilikom svog poslednjeg boravka u jesen 2016. prihvatio je predlog za dopisni intervju za „Svet polimera“.

Profesore Petroviću, diplomirali ste u Beogradu, doktorirali u Glasgowu, Velika Britanija, bili profesor Univerziteta u Novom Sadu i *University of Massachusetts*, Amherst, SAD i potom prešli na *Pittsburg State University*, Kansas, SAD gde ste i sada. Danas ste profesor emeritus i akademik SANU. Međutim, karijeru ste započeli u industriji. Kako je izgledao taj početni period vašeg profesionalnog angažovanja i čime ste se bavili?

Imao sam sreću da počnem svoj profesionalni razvoj u *Energoinvestu* koji je mnogo polagao na usavršavanje i obrazovanje svojih kadrova. U Istraživačko-razvojnom centru za elektroenergetiku (*IRCE*) interesovala me je interakcija izolacionih materijala sa električnim poljem, te sam u početku želeo da uđem u područje fizike čvrstog stanja, i razmatrali smo poslediplomski program sa beogradskim i zagrebačkim elektrotehničkim fakultetom. Ipak, na kraju nas četvoro firma je poslala na poslediplomske studije polimera u Zagreb na Tehnološki fakultet. Kako nisam imao uslova za eksperimentalni rad na magistarskoj tezi, konkurisao sam za odlazak u Britaniju na godinu dana da uradim magistraturu, što je potom produženo do doktorske disertacije. Radili smo u *IRCE*-u po učinku, tj. obezbeđena nam je minimalna plata, a ostalo smo morali da ostvarimo preko projekata iz naših fabrika. Svake godine nudili smo više projekata da bi fabrike *Energoinvesta* usvojile neke i obezbedile nam finansijska sredstva za rad. Firma mi je dozvolila da odem i na doktorske studije i budem i dalje formalno zaposlen, s tim da sam po povratku morao da odra-

dim vreme provedeno u inostranstvu. Na kraju doktorskih studija, kao kuriozitet, testirao sam se na nekom programu za zapošljavanje koji je Univerzitet nudio. Bio sam na čelu liste za Agenciju za nuklearna istraživanja, verovatno zbog mog znanja elektroizolacionih materijala.

Jedan ste od retkih naučnika na celom prostoru bivše države koji je došao na Univerzitet s velikim iskustvom iz privrede. Da li vam je to iskustvo pomoglo da kasnije težite tome da vaša naučna istraživanja imaju praktičnu primenu?

Rad u industriji mi je pružio određenu perspektivu gledanja na naučne probleme i pomogao da ih realno sagledavam. Na tehničkim fakultetima to je izuzetno korisno. Tehnološki fakultet je po prirodi usmeren na primenjena istraživanja i time sam se bavio sve vreme. Imao sam odličnu saradnju s fabricom polipropilena iz Odžaka, s *Borovom, Soda-So* i s nekim privatnicima. Jednom su mi došli dvojica koji su kupili sirovine za poliuretanske elastomere za industrijske primene, ali nije im išlo. Mene je stručno interesovao problem i hteo sam da im pomognem besplatno. Prvo sam analizirao komponente i našao da je jedna butandiol, jako hidrofilna supstanca. Kad sam ga osušio u vakuum sušnici, sistem je proradio. Onda su me pozvali u Pazovu ili Indiju, ne sećam se, i ponovili smo postupak, ali sušenjem na šporetu.

Posle uspešnog posla spakovali su mi veliku ošurenu gusku, moj jedinstveni honorar.

Univerzitetsku karijeru započeli ste dolaskom na Tehnološki fakultet Univerziteta u Novom Sadu 1978. gde ste bili redovan profesor i ostali više od 14 godina. Prvih godina bavili ste se epoksidnim smolama, a potom segmentiranim poliuretanskim blok-kopolimerima, karakterizacijom polimera, polimernim mrežama, blendama i kompozitima i sl. Od kada datira vaše interesovanje za poliuretane kojima ste posvetili gotovo celu svoju profesionalnu karijeru i šta im daje to posebno mesto među polimernim materijalima?

U *Energoinvestu* glavni izolacioni materijal bile su epoksidne smole. *Dow Chemical* nam je nudio svoje epoksidge i jednom me je pozvao u Švajcarsku na intervju za posao. Dok sam ja pričao o epoksidima oni su mi pokazivali laboratorije za poliuretanske pene, o kojima sam vrlo malo znao, i nudili mi da to radim, što nisam prihvatio. Na doktorskim studijama uzeo sam tezu o poliuretanskim „spandex“ vlaknima i zaljubio se u poliuretane i više ih nisam ostavljao. Lepota poliuretana je što vam kao korisniku omogućava izvanrednu kreativnost koju nemate s drugim polimerima. Izborom komponenata možete praviti gelove, elastomere, tvrde ili meke livene proizvode, pene, vlakna, lakove, lepkove i zaptivne mase. Područje pena je fascinantno s mnogo nauke, ali i zanata. Mnogi veštački organi prave se od poliuretana uključujući veštačko srce, seksualne organe i sl. zbog kompatibilnosti s našim tkivima. Velika fleksibilnost potiče i od relativno velike brzine reakcije izocijanata s nizom funkcionalnih grupa, mada to predstavlja i opasnost po zdravlje pa se moraju uvek uvesti adekvatne mere zaštite. Jedini problem poliuretana jeste niska termička stabilnost, te im se najviša dugotrajna radna temperatura ograničava na oko 120°C, a povremena na oko 150°C.

Segmentiranim poliuretanim bavite se više od 40 godina. Koji su bili glavni pravci vaših istraživanja tih poliuretanskih elastomera o kojima ste objavili veliki broj radova počev od 70-ih godina pa do danas?

Segmentirani poliuretani ili termoplastični poliuretanski elastomeri (TPU) jesu izvanredni materijali sa širokim dijapazonom primena. Industrija nam često dolazi s problemima i prvi naš pokušaj je s poliuretanim i tek ako ne ide pokušavamo s nečim drugim. Upravo smo poslali u štampu rad o TPU s memorijom oblika. Ovakvi materijali imaju veliku primenu u medicini, ali i u svakodnevnom životu. Materijal koji ima početni oblik deformišete u neki oblik koji je prelazan, a kad vam zatreba prvobitni – samo ga zagrejete i vraća se u početno stanje. Međutim, centar naše pažnje jesu materijali na bazi obnovljivih sirovina, pre svega biljnih ulja. Naše poliiole za tvrde i meke pene proizvodi firma *Cargill* po našoj licenci. Pošto sam predavao fizičku hemiju makromolekula, koja se bavi odnosom strukture i svojstava polimera, moj rad je u suštini pokušaj da neke principe tih zavisnosti ostvarimo u oblasti poliuretana od obnovljivih sirovina. Trenutno radimo sa alginim uljima jer se alge mogu genetski

modifikovati da daju željeni sastav masnih kiselina u trigliceridima.

Na Tehnološkom fakultetu rukovodili ste i međunarodnim projektima među kojima i projektom *Vodonične veze u poliuretanim* (1985–1987). Sa strane SAD rukovodilac je bio dr William J. MacKnight, *University of Massachusetts (UMass)*, Amherst s kojim ste objavili veći broj radova iz oblasti polimernih mreža. Kako je počela saradnja sa *UMass* i kako je došlo do toga da 1992. dođete na ovaj Univerzitet u SAD kao gostujući profesor?

Ovo je interesantna priča i pouka. U Jugoslaviji smo imali izvanrednu zajednicu polimernih istraživača i organizovali smo Letnje škole gde su predavači bili eminentni naučnici iz celog sveta. Na jednoj Školi u Dubrovniku pitao sam profesora MacKnighta da li bih mogao da dođem kod njega na Univerzitet u Massachusettsu, u vodeći polimerni institut u svetu, na godinu dana usavršavanja („sabbatical“). Rekao mi je da podnesem molbu, što sam i učinio. Kako nisam dobio odgovor, prilikom boravka u Nacionalnom institutu za standarde u Vašingtonu, s kojim sam imao zajednički projekat, odlučio sam da odem u Amherst da posetim koleginicu koja je tamo radila i vidim se sa MacKnightom. Kad sam ga pitao za ishod molbe, reče mi da mi je poslao odgovor – odbijenicu, ali pošto sam već tu, da porazgovaramo. Rezultat – došao sam na godinu dana radeći na teorijskim istraživanjima poliuretanskih mreža. Jedan rad na reologiji želiranja bio je najcitiraniji rad u *Journal of Rheology*, kako mi reče prošle godine jedan od editora časopisa. Dakle, lični kontakt i intervju vrede više od mnogih pisama. Kasnije sam dolazio preko leta da pomognem MacKnightovim studentima, jer sam se lično i kao profesor dugo bavio eksperimentalnim radom.

Kakve su bile osobenosti studijskog programa iz oblasti polimera na *UMass* i šta su bile glavne oblasti vašeg delovanja?

U SAD sam otišao 1992. sa familijom s namerom da ostanem duže zbog neprilika u Jugoslaviji. Trebalo je da radim na projektu koji bi finansirali MacKnight i jedan naučnik sa Nacionalnog instituta za standarde (*NIST*), ali nijedan nije momentalno imao pare. Profesor Farris mi je ponudio da radim na blendama. Blende su me uvek interesovale, ali je ovaj rad bio izuzetno interesantan. Naime, kad pomešate dva nemešljiva polimera – manja komponenta se izdvaja u posebnu fazu, često kao globule u masi većinskog polimera. Kad istopite tu blendu i naterate je da teče u jakom smicajnom polju, globula, sada kapljica, deformiše se u vlakno sve dok ne pređete neku kritičnu granicu smicanja. Ako zaledite takvu strukturu, dobićete matricu koja je ojačana drugim polimerom. Nedavno smo objavili dva rada gde smo poliuretansku matricu ojačali polipropilenom u jednom slučaju ili polilaktidom u drugom. Prvobitni pokušaj je bio da se poliestarska vlakna ojačaju tečnokristalnim polimerom. Dok sam to radio, firma *Converse* tražila je da im rešim jedan problem na gelovima u košarkaškim patikama, što sam i uradio. Tada su me uzeli za

konsultanta za rad na gelovima, što mi je znatno popravilo finansijsku situaciju koja je u početku bila loša. *Polymer Science and Engineering Department* na Univerzitetu ima samo poslediplomsku nastavu za razliku od naših programa u Novom Sadu i Beogradu. Kao profesora interesovala su me i predavanja pa sam posećivao niz kurseva. Ono što me je iznenadilo jeste da su neki odlični istraživači bili loši predavači i čini mi se da su neki moji studenti u Novom Sadu dobijali bolja znanja. Ja nisam učestvovao u nastavi, već samo u istraživanjima. Atmosfera na Univerzitetu bila je izvanredna za upoznavanje različitih specijalnosti i proširivanje vidika, ali je i instrumentalna opremljenost bila prvoklasna. Gostovali su vodeći ljudi u oblasti polimera iz čitavog sveta.

Na *Pittsburg State University (PSU)* u Pittsburgu, Kansas, SAD prešli ste 1994. Šta vas je motivisalo da donesete takvu odluku? Kako je organizovan program studija tehnologije plastike na *PSU*?

Pošto sam bio na tzv. „soft money“, tj. živio sam od projekata, tražio sam stalni posao. Jedan od doktoranata u mojoj grupi bio je iz Kanzasa, predavač na *PSU* i trebalo je da se vrati kad doktorira. Međutim, ponudili su mu dobar posao u firmi *3M*, što se ne odbija, i on me upita da li bih otišao na *PSU*. *PSU* je mali univerzitet po američkim standardima sa oko 7.000 studenata. Najviši stepen obrazovanja je *masters degree*, ali ima jedinstven smer za tehnologiju plastičnih masa, što mi je bilo privlačno. Primili su me odmah u jedan institut pri Univerzitetu koji se finansirao iz različitih izvora. Počeo sam od nule i gradio grupu za polimere da bismo na kraju izgradili novi institut – *Kansas Polymer Research Center (KPRC)*. U međuvremenu je Univerzitet dobio novac za program polimera koji obuhvata departman za hemiju, *KPRC* i *Plastics Technology* čiji je rukovodilac postao dr Petar Dvornić koji nam je došao iz Mičigena, bivši saradnik u *IHTM*-u. Odeljenje za plastiku je deo *Engineering Technology* koja obuhvata nekoliko inženjerskih departmana. To je jedan od nekoliko akreditovanih programa dodiplomske nastave kakvih ima svega nekoliko u Americi. Studenti se pre svega obrazuju za rad u industriji, a ne za naučni rad. Odeljenje ima najmoderniju opremu za brizganje, ekstruziju, presovanje, duvanje, rotaciono livenje, termoformiranje i kompozite, kao i 3D štampanje. Često firme doniraju novu

opremu na kojoj studenti rade da bi firme prodale kasnije tu opremu i zamenile novim modelima. Njihova politika je da upoznaju buduće kupce sa svojom opremom. Svršeni tehnolozi vode proizvodne pogone za preradu plastičnih masa po čitavoj Americi i odlično su plaćeni. Studenti slušaju hemiju na Odseku za hemiju, a neki rade na istraživačkim poslovima u *KPRC*-u.

Po dolasku na *PSU* osnovali ste 1994. pomenuti *Kansas Polymer Research Center (KPRC)* kao centar za istraživanje, razvoj i ispitivanje polimernih materijala i bili *Research Director* u *KPRC* više od 17 godina. Kakav je bio početak rada Centra kada je već prvi posao iz oblasti polimernih temperaturno osetljivih gelova za sportsku obuču naknadno rezultirao u čak šest U.S. patenata u periodu 1998–1999? U čemu je suština ovih pronalazaka?

BTI ili Institut za biznis i tehnologiju sastojao se od niza grupa, a ja sam bio prvi u jednoj grupi za tehnologiju. Nismo imali program, ni opremu ni laboratorije. Da bih došao do laboratorijskog prostora pristao sam da držim predavanja na Odseku za hemiju. Tražeći projekte našao sam vezu s firmom *Titleist* koja proizvodi golf opremu i dobio projekat na gelovima za cipele za golf. Tada mi se javio kolega iz Tuzle, moj doktorant iz Novog Sada, dr Ivan Javni i postao prvi saradnik. Prvi gel je bio na bazi mineralnog ulja s desetak procenata jednog kopolimera i ekspandirajućim mikrokuglicama. U zavisnosti od koncentracije polimera dobija se različita tvrdoća i čvrstoća gela. Potom smo razvili „inteligentni“ gel na bazi vode, polimera i površinski aktivnih supstanci. Koncentracijom polimera povećava se čvrstoća gela ali i temperatura prelaza. Podešavanje temperature se vrši površinski aktivnim dodacima. Interesantno je da smo za površinski aktivnu supstancu prvo uzeli dodecibenzen koji se koristi i u deterdžentima. Kako nismo imali čistu supstancu, uzeli smo sa sudopere deterdžent za pranje suđa. Taj deterdžent, između ostalog, ima i druge dodatke uključujući i neke alkohole. Ispostavilo se da je takav sastav davao najbolji rezultat, te smo u patentima morali da navedemo i ime i tip deterdženta. U međuvremenu je proizvođač promenio formulu i deterdžent nije više radio. Zato smo morali da naručujemo specijalno „stari deterdžent“. Taj gel je tečnost na sobnoj temperaturi i u cipeli se oblikuje



Predstavnici *Cargilla* i istraživači *KPRC*-a s priznanjem *Presidential Green Chemistry Challenge Award* (2007). Dr Zoran Petrović prvi sleva; dr Ivan Javni četvrti zdesna

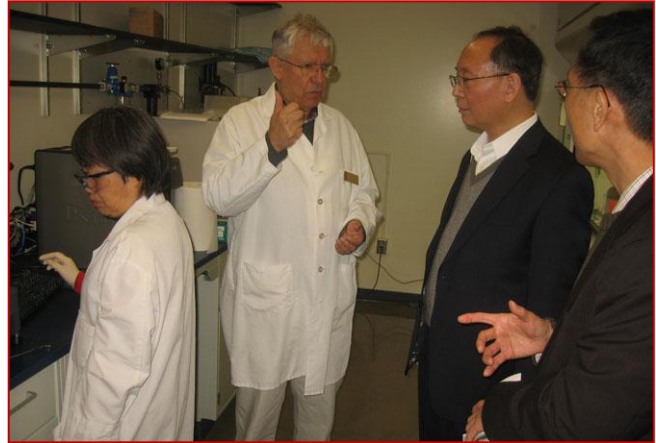
prema nozi, a kad dostigne temperaturu tela želira i daje maksimalnu ugodnost (komfor). Ta dva gela su proglašena u *Golf Digest* (mislim 1998) za najbolja poboljšanja u golf opremi, a korišćeni su u cipelama za golf. Imali smo pet patenata o tim materijalima i jedan o nečem drugom. Moj rad na gelovima počeo je još u vreme saradnje s *Converseom* gde sam zamenio vodeni gel s glicerinskim. To je bila viskozna tečnost pri sporoj deformaciji koja postaje guma pri brznoj deformaciji, odličan primer viskoelastičnog materijala. Neki su mi tražili da otkupe tehnologiju, ali je vlasnik intelektualne svojine bio *UMASS*, a korisnik *Converse*, te ja kao pronalazač nisam imao nikakva prava. *UMASS* nije imao pojma šta ja radim sa *Converseom*, a ova se firma raspadala (kupio ju je *Nike*). Čuo sam da su ti neki došli do formulacije od ljudi iz *Conversea* i zaradili na njoj \$13 miliona prodavši je proizvođačima igračaka koji su punili tim gelom različite mekane mece i kuce. Meni je ostala uteha da je neko ipak imao koristi.

Veliki napredak u istraživanjima Centra bio je kada je 1994. United Soybean Board odlučio da finansira istraživanja za dobijanje poliola iz sojinog ulja za proizvodnju poliuretana. Šta je omogućila ova podrška i koji su drugi važniji projekti realizovani u to vreme? Koje su organizacije i institucije finansijski podržavale rad Centra?

Naša grupa je bila deo *Kansas Technology Enterprise Corporation (KTEC)* koja je davala pare samo za dve plate, sve ostalo je finansirano iz naših projekata. Mi smo povećavali broj ljudi u zavisnosti od broja i veličine projekata, dakle poslujemo praktično kao privatna firma; jedino direktor dobija pola plate od Univerziteta. Svu opremu smo kupili sa projekata. Najveći projekti bili su nam sa Agencijom za poljoprivredu (*USDA*) i Agencijom za energiju *DOE*, a od industrije projekat s *Cargillom*. *USB* ili *United Soybean Board* je takođe bio naš stalni finansijer jer smo davali najbolje predloge projekata. Naša sreća je bila što smo bili prvi koji su ušli u oblast polimera na bazi ulja. U početku to su bili „interesantni“ radovi za koje smo dobijali pohvale, ali industrija nije imala posebnog interesa, a onda se odjednom situacija izmenila i korišćenje obnovljivih sirovina izleće u prvi plan, a s tim i naš položaj u svetu.

Kada ste se i kako zainteresovali za dobijanje polimera, posebno PUR-a, iz biološke osnove?

Kad sam odlazio sa *UMASS*-a pokojni profesor Porter mi je preporučio da se bavim polimerima na bazi poljoprivrednih sirovina. On je bio savetnik *USDA* a *Kansas* je poljoprivredna država. Na jednom sajmu u *Kansas* Sijtu sedeo sam na večeri s nekim koordinatorom za poljoprivredu i pričao o našim pronalascima. Impresioniran, rekao mi je: „Moram da ti dam neki projekat; šta možeš da napraviš sa uljima?“ U *Novom Sadu* se radilo s ricinusovim uljem a nešto ranije i u *Energoinvestu* na zalivnim masama s ricinusom. Predložio sam mu varijantu toga, jer još nisam imao ni opremu ni saradnike. Dao mi je projekat za početnih \$30.000. Kasnije smo konkurisali kod *USB* i bili presrećni kad smo dobili projekat. U početku smo imali neke ideje, ali se kasnije ispostavilo da knjiške ideje



Prof. Petrović (levo) u razgovoru s predstavnicima Spirit AeroSystems, Wichita, Kansas, o saradnji PSU i KPRC-a s ovom kompanijom koja je najveći svetski isporučilac komponenata za komercijalne avione

ne rade. Na greškama smo učili i došli do prvih vrednih rezultata. Pozivani smo na simpozijume da govorimo o korišćenju ulja za poliuretane i sticali nova poznanstva a s tim su dolazili i projekti. Imali smo projekte iz Koreje (*Samsung*), Argentine, a pozivan sam i u Kinu, Indiju, Brazil da predajem ili da organizujem sekcije o korišćenju ulja za industrijske proizvode.

Vaša istraživanja obuhvatala su širok dijapazon biljnih ulja, ali ste se najviše bavili dobijanjem poliola iz sojinog ulja. S obzirom da polioli na bazi biljnih ulja imaju veoma heterogenu strukturu te da se znatno razlikuju od petrohemijskih poliola, u kojim se oblastima nalaze najveće mogućnosti primene PUR-a na bazi ovih sirovina i zašto?

SAD su u svetu najveći proizvođač soje koja se prvenstveno koristi kao izvor proteina u ljudskoj i stočnoj ishrani. Sójino ulje je bilo višak koji se negde morao utrošiti, jer mu je ograničeno tržište u ljudskoj ishrani. Centralni deo *SAD* je prazan s velikim površinama za poljoprivredu i malom naseljenošću. *Kansas* ima 2,9 miliona stanovnika, a po površini je nešto manji od bivše Jugoslavije, te postoji interes da se povećaju površine pod sojom koja je i odličan izvozni proizvod. Agencije za soju su vrlo aktivne i stimulisale su razvoj novih primena sojinog ulja. Slično je i u Južnoj Americi (*Brazil*, *Argentina*). Situacija u Evropi je drugačija i preferirano ulje za industrijsku upotrebu jeste ono iz uljane repice, a u Aziji palmino ulje. Ulja imaju heterogenu strukturu i neke specifičnosti koje utiču na svojstva poliola za poliuretane. S druge strane, trigliceridi imaju nekoliko mesta u strukturi pogodnih za hemijski napad i uvođenje funkcionalnih grupa. Zato je planiranje primene vezano sa strukturom. Palmino ulje ima malo dvostrukih veza, pa se modifikacije vode radije preko estarskih grupa transesterifikacijom, ali to se može raditi i sa svakim uljem.

Počev od 2002. nižu se brojni patentni KPRC-a vezani za dobijanje poliola iz pretežno biljnih ulja za dobijanje PUR-a za elektro-industriju i elektroniku. Razvili ste postupke epoksidacije prirodnih ulja i njihove konverzije hidroksila-

cijom u poliole visokog kvaliteta. Kako ste prevazišli nedostatke ranijih konvencionalnih postupaka u kojima su se dobijali polioli s nedovoljnim sadržajem hidroksilnih grupa i neodgovarajuće viskoznosti?

Metodom probe i pogreške. Hemija koju smo koristili poznata je, samo je trebalo naći uslove pod kojima je trebalo dobiti željeni proizvod. Za meke pene koriste se polioli većih molekulske mase, dok se tvrde pene dobijaju od visokofunkcionalnih poliola male molekulske mase. Ulja imaju molekulske mase od oko 870, što je pogodno za tvrde proizvode ako nose oko četiri funkcionalne grupe, dok se za meke proizvode oligomerizacijom dobijaju molekulske mase u opsegu 3.000–5.000 sa oko 3 funkcionalne grupe kao kod petrohemijskih poliola.

U čemu je prednost PUR-a na bazi poliola koje ste vi razvili u odnosu na epoksidne smole koje se koriste za iste namene i koje su moguće primene? Koja su svojstva livenih PUR-a dobijenih iz poliola na bazi biljnih ulja?

Poliuretanske smole su jeftinije, reakcije očvršćavanja su brže te omogućavaju dobijanje pena, što je sa epoksidima teško. Biljna ulja su pre svega obnovljive sirovine i biljke se gaje u svim klimama i državama a pogotovo u Srbiji. Proizvodi su uglavnom biokompatibilni s ljudskim tkivima ako se koriste u medicini a često i biodegradabilni, mada umrežavanje smanjuje degradabilnost inače vrlo biodegradabilnih materijala kao što su skrob i ulja. U principu, uljni proizvodi su hidrofobniji od klasičnih poliuretana i pogodni gde se traži zaštita od kiše i vlage. Međutim, dugo izlaganje vlazi, pogotovo na povišenim temperaturama, izaziva hidrolizu estarske veze i smanjuje hidrolitičku otpornost.

Bavili ste se i sintezom izocijanatnog prepolimera iz epoksidovanih biljnih ulja za premaze, adhezive, elastomere i sl. Šta je u ovom istraživanju bilo najznačajnije za favorizovanje poželjne reakcije formiranja oksazolidona i u čemu je prednost ovog postupka u odnosu na dotad poznate i primenjivane?

Prepolimeri se koriste kao intermedijer u nizu proizvoda, jer uprošćavaju postupak prerade kao, na primer, kod jednodimenzionalnih pena, premaza i lepkova gde se očvršćavanje dobija interakcijom s vlagom iz vazduha. U pravljenju elastomera prepolimeri daju regularniju strukturu i bolje definisana svojstva. Oksazolidon je proizvod reakcije epoksida sa izocijanatom i ima veliku termičku otpornost. Nažalost, interne epoksidne grupe u uljima teško ili nikako ne daju oksazolidone, već sporedne proizvode, ali nekada korisnih svojstava.

Najveće priznanje koje je rezultat istraživanja naučnika KPRC-a bilo je *Presidential Green Chemistry Challenge Award* 2007. dodeljeno industrijskom partneru KPRC-a firmi *Cargill*. Priznanje je dodelila *U.S. Environmental Protection Agency* za komercijalizaciju i razvoj poliola na bazi sojinog ulja za fleksibilne PUR pene koje je razvio KPRC. U nagrađenom timu bili ste

vi, dr Ivan Javni, dr Andrew Guo i Alisa Zlatanić. Koji je glavni doprinos ovog projekta imajući u vidu da ideja dobijanja poliola iz biljnih ulja nije bila nova, ali su se do vašeg pronalaska dobijale pene nezadovoljavajućeg kvaliteta?

Mi smo razvili oligomerne poliole određene strukture, malog hidroksilnog broja pogodnog za meke pene. Najveći problem korišćenja uljnih poliola jeste direktna zamena petrohemijskih poliola bez promene recepture. Meke pene dobrog kvaliteta ne mogu se dobiti zasada samo od uljnih poliola, već se mešaju s petrohemijskim, a to je postignuto podešavanjem polarnosti. Međutim, *Cargill* je preveo istraživanja u komercijalni proizvod za svega dve godine, što je pre toga bilo nečuveno, a nagrada je i za uspešnu komercijalizaciju. Radi upoređenja, *Cargill* je potrošio dvadesetak godina od početka istraživanja do komercijalizacije polilaktida.

Istraživali ste i hiperrazgranate poliole na bazi biljnih ulja za fleksibilne PUR pene i premaze kao zamene za polimerne poliole; poliuretane dobijene iz trigliceridnih poliola ozonolizom za PUR premaze i adhezive i sl. Značajna su i istraživanja dobijanja poliola iz modifikovanih biljnih ulja koja su rezultirala patentom 2012, kao i dobijanje poliola hidroformilovanjem i hidrogenacijom ulja. U čemu je najveći značaj ovih istraživanja?

Mi smo dali značajan doprinos u hidroformilovanju ulja, tj. reakciji dvostrukih veza sa ugljen-monoksidom i vodonikom. Pri tom se dobija aldehid koji se hidrogenovanjem prevodi u primarne alkoholne grupe koje su mnogo reaktivnije od sekundarnih dobijenih epoksidovanjem. Dobijeni polioli se mogu razbiti u hidroksilovane metil-estre masnih kiselina koji se samo grejanjem polimerizuju u hiperrazgranate poliole pogodne za lakove. Dobro definisani monomeri za specijalne polimere mogu se dobiti ozonolizom masnih kiselina. Mi smo ovladali tom tehnologijom i danas je rutinski koristimo za specijalne zahteve.

Šta nam možete reći o polimernom betonu koji ste razvili i koje su njegove prednosti u odnosu na konvencionalne betone i one u kojima su uključeni polimerni aditivi? Kakve su mogućnosti primene PUR betona?



Priznanje *American Oil Chemists Society Award* za primenu glicerina, 2009. Zdesna nalevo: dr Mihail Ionescu, dr Zoran Petrović i dr Ivan Javni



Kansas Polymer Research Center na PSU

Polimerni beton se tradicionalno koristi kao podni materijal po ustanovama, bolnicama i industrijskim objektima, jer se lako održava. Glavna komponenta je neorgansko punilo i 5–10% polimernog veziva. Mi smo kao vezivo koristili poliuretane na bazi biljnih ulja. Dobijeni materijal je nekoliko puta čvršći od neorganskog betona, estetski privlačniji, brzo očvršćavajući i oko četiri puta skuplji. S jednom građevinskom firmom razvili smo verziju koja je upola manje specifične težine za zidne ploče. Ovde polimer nije aditiv, već vezivna komponenta.

Profesore Petroviću, koja su još važnija istraživanja KPRC-a koja biste istakli?

KPRC saraduje sa industrijom na tekućim problemima i rešava trenutne zahteve. S firmama koje proizvode pene radili smo na modifikaciji pena nanočesticama, s kooperantima radimo na modifikaciji alginih ulja, u oblasti elastomera razvili smo niz poliuretanskih sistema za primenu u obučarskoj industriji, polimerizovali smo ulja do željenih molekularnih masa i koristili kao plastifikatore u gumama, na bazi izosorbida koji se dobija iz skroba napravili smo vodorastvorne epoksidne smole. Radimo i na silikonima, materijalima za 3D štampanje i nizu primena.

KPRC ima status jednog od svetskih lidera u oblasti razvoja i istraživanja polimera, prevažno poliuretana, na bazi biljnih ulja za industrijske primene. Istraživački tim u KPRC-u internacionalan je, ali preovlađuju naučnici iz bivše Jugoslavije među kojima je i dr Ivan Javni s kojim najduže saradujete. Godine 2007. prešli ste u novoizgrađen Tyler Research Center. Kakvom opremom danas raspolaže Centar za koji smatrate da ima najbolje opremljene laboratorije za polimere u tom delu SAD?

Polovina našeg kadra sa ovih je prostora; kroz naše laboratorije prošle su desetine stručnjaka s novosadskog i beogradskog tehnološkog fakulteta i preko 30 studenata kroz naše poslediplomske studije. Cen-

Važnija priznanja: *Presidential Green Chemistry Challenge Award* (2007); *United Soybean Board Award* za industrijsku primenu biljnih ulja (2004); *American Oil Chemists Society Award* za primenu glicerina (2009); *American Chemical Society Industrial Innovation Award*

tar poseduje najmoderniju opremu za ispitivanje polimera, pre svega termičku laboratoriju, laboratoriju za reologiju, laboratoriju za karakterizaciju molekularnih masa, laboratoriju za spektroskopije, titracione metode i preradu. Posebno interesantna je oprema za ispitivanje zapaljivosti (konusni kalorimetar), kao i oprema za ispitivanje pena sa aparatom za ispitivanje gasova koje ispuštaju auto-sedišta.

Vaš poslednji patent iz 2015. vezan je za PUR pene. Koliko danas KPRC ima patenata i pronalazaka od kojih će se neki i patentirati? Koje su danas ključne oblasti istraživanja u KPRC-u?

Poslednji patent smo dobili ovog meseca za razvoj epoksidnih pena za termoizolaciju kako bismo izbegli toksične izocijanate. Trenutno imamo 20 patenata. Ključne oblasti su: poliuretani, silikoni i biopolimeri.

Pre izvesnog vremena proveli ste dva meseca na Southwest Forestry University, Kunming, Kina, u okviru programa kojim se pozivaju najistaknutiji svetski naučnici da predaju i pomognu u istraživanjima na tom Univerzitetu. Kakvi su vaši utisci i o kakvim se istraživanjima radilo?

Kineska vlada stimuliše saradnju sa svetskim ekspertima i pozivaju ih da održe kurseve i pomognu u definisanju programa istraživanja. Ja sam boravio na jednom od pet univerziteta u Kunmingu, glavnom gradu provincije Yunan, koji se nalazi na 1.800 m nadmorske visine. Za dva meseca sam održao jedan kurs o poliuretanima i pomagao im u istraživanjima. lako imam ugovor na tri godine, boravak na tolikoj visini i promena uslova života otežali su mi nastavak ugovora. Kina je čudesna zemlja jakih kontrasta koju ne možete opisati stereotipovima kakvi se javljaju u štampi. Na jednoj strani imate vrhunska istraživanja, a s druge prilično nizak nivo laboratorijskih kapaciteta, čak i u istoj ustanovi.

Ostvarili ste impresivnu naučnu karijeru u zemlji i svetu, objavili izuzetno veliki broj radova u najrenomiranijim svetskim časopisima, pisali knjige i poglavlja u knjigama, imate brojne patente. Dobitnik ste više značajnih priznanja. Za inostranog člana SANU izabran ste 2009. Šta smatrate svojim najvećim doprinosom u bogatom naučnom i istraživačkom radu i na šta ste posebno ponosni?

Ja sam imao više faza u svojoj karijeri: rad u industriji, ponosan sam na svoj doprinos oblikovanju programa *Sintetski polimeri* na Tehnološkom fakultetu u Novom Sadu, na stvaranju i razvoju KPRC i na svoj rad sa studentima. U naučnom radu čini mi se da sam dao doprinos u razumevanju veze strukture i svojstava u oblasti polimera, a naročito poliuretana. Naravno i korišćenju biljnih ulja za polimere. Moram da naglasim da je svaki uspeh kolektivan rad i da bez njih mnogo toga ne bih ostvario.

Profesore Petroviću, najlepše vam se zahvaljujem za intervju „Svetu polimera“ čime ste nam ukazali posebnu čast i zadovoljstvo i želim vam puno uspeha u životu i daljem radu.

Aleksandra Mihajlović