



## Znanstveni projekt “Razvoj materijala za 3D-tiskanje mikroreaktora”

|| D. Vrsaljko\*

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije  
Marulićev trg 19  
10 000 Zagreb

Znanstveni projekt “Razvoj materijala za 3D-tiskanje mikroreaktora” – 3Dmicroreactors (eng. “Development of materials for 3D printing of microreactors”) istraživački je projekt koji u razdoblju od 1. srpnja 2015. do 30 lipnja 2018. kroz program “Uspostavni istraživački projekti” financira Hrvatska zaklada za znanost.

Additivna proizvodnja (eng. *additive manufacturing*), u široj javnosti češće nazivana tehnologija 3D-tiska ili 3D-printanje, dio je proizvodnoga strojarstva koji se bavi izradbom predmeta nanošenjem čestica u tankim slojevima (sloj po sloj). Tehnologija 3D-tiska relativno je jeftin, automatiziran i prilagodljiv način proizvodnje, koji omogućuje laboratorijima i malim poduzećima pristup kemijsko-inženjerskim alatima, poput onih u velikim industrijskim okruženjima. 3D-tiskanje sastoji se od izrade trodimenzionalnih fizičkih objekata iz digitalnih modela. 3D-pisač koristi se virtualnim dizajnom izrađenim računalnim CAD-programom (eng. *computer-aided design*) i reproducira sloj-po-sloj do konačnog objekta. Značajna prednost ove tehnike je u tome što se konstrukcija objekta može jednostavno kontrolirati.

Cilj projekta 3Dmicroreactors je istraživanje i razvoj polimernih kompozitnih materijala za upotrebu u aditivnoj proizvodnji mili- i mikroreaktora složene strukture. Članovi projektnog tima 3Dmicroreactors dolaze s različitih zavoda kao stručnjaci u različitim područjima znanosti o materijalima i kemijskog inženjerstva, što jamči multidisciplinarnost i interdisciplinarnost projekta. Istraživači s Fakulteta kemijskog inženjerstva i tehnologije (FKIT) Sveučilišta u Zagrebu uključeni u projekt su dr. sc. Ivana Grčić, doc. dr. sc. Krunoslav Žižek, doc. dr. sc. Igor Dejanović, dr. sc. Irena Kereković, doktorski student Vedrana Lovinčić, dr. sc. Zana Hajdari Gretić zaposlena je na dvije godine te glavni istraživač i voditelj projekta doc. dr. sc. Domagoj Vrsaljko. Na projektu surađuje i prof. dr. sc. Cédric Guyon zaposlen na *Chimie ParisTech* i *Institut Pierre-Gilles de Gennes*. Njegove aktivnosti odnose se na eksperimentalni rad vezan uz obradu materijala plazmom, plazmom pojačano taloženje iz parne faze – PECVD i dizajn mikroreaktora.

U projektu 3Dmicroreactors s pomoću polimernih kompozitnih materijala izradit ćemo mikroreaktore s velikom preciznošću, uključujući složenu geometriju i zamršene unutarnje strukture, kao što su kanali s jasno definiranim dimenzijama. Nadalje, integracija senzora i katalizatora u građevnom materijalu te razumijevanje odnosa svojstava materijala/katalizatora i kinetike procesa omogućit će projektiranje opreme, dopuštajući nam kombinaciju novih materijala i reakcijskih mehanizama u inovativnom dizajnu



FKITMCMXIX



Slika 1 – Laboratorij za aditivnu proizvodnju, SLS i FDM 3D-pisači

reaktora. Budući da proces proizvodnje potrebnih dijelova traje kratko, jedan od rezultata projekta bit će i jeftina procedura za izradu protočnih uređaja. Tehnologija 3D-tiska omogućit će kemijskim inženjerima jednostavan dizajn i osmišljavanje vlastitih reaktorskih sustava pritiskom na nekoliko tipki, nasuprot dosadašnjoj proizvodnji specijaliziranih reaktora od stakla.

Mikroreaktor je minijaturni reakcijski sustav koji se djelomično koristi mikrotehnologijom i preciznom mehanikom. Veličina mikrokanala unutar reaktora najčešće je od 10 do 100  $\mu\text{m}$  (dimenzije mikrokanala kreću se od 10 do 500  $\mu\text{m}$ ). U mikroreaktorima najčešće je laminarni tok, a  $Re$  se kreće od 1 do 1000 ovisno o dimenzijama kanala i brzini fluida. Specifična površina mikroreaktora kreće se od 10 000 do 50 000  $\text{m}^2/\text{m}^3$ , dok za klasične reaktore iznosi oko 100  $\text{m}^2/\text{m}^3$ . Brzina prijenosa topline iznimno je velika i iznosi i do 25 000  $\text{W}/(\text{m}^2 \text{K})$ , a za zagrijavanje se može upotrijebiti električno grijanje. Reaktorski volumen najčešće iznosi od 1 do nekoliko  $\mu\text{L}$ . Staklo je najčešće upotrebljavan materijal za izradu mikroreaktora zbog kemijske inertnosti i biološke kompatibilnosti. Konvencionalni postupci izrade mikrofluidne strukture na staklenim podlogama, kao što je vlažno jetkanje ili pjeskarenje, zahtijevaju uporabu šablona, pri čemu svaki novi dizajn mikroreaktora iziskuje izradu novih šablona. Mikroreaktori mogu biti proizvedeni i od polimera, metala i keramike primjenom raznih tehnika. S ciljem uspješne realizacije postavljenih ciljeva projekta bilo je nužno kupiti 3D-pisače. Tijekom projekta predviđena je nabava tri tipa pisača: 1. Zortrax M200 – pisač koji radi na principu taložnog srašćivanja – FDM (eng. *Fused Deposition Modeling*), omekšani polimerni materijal u obliku niti prolazi kroz sapnicu na ekstruderu i polaže se sloj po sloj; 2. Sinterit Lisa

\* Doc. dr. sc. Domagoj Vrsaljko  
e-pošta: dvrstal@fkit.hr



Slika 2 – Mikroreaktor izrađen tehnologijom 3D-tiska

– pisac koji radi na principu selektivnog laserskog srašćivanja – SLS (eng. *Selective Laser Sintering*), djelovanjem visoke temperature lasera dolazi do povezivanja zagrijanih čestica materijala, spuštanjem podloge nanosi se novi sloj praha koji se zagrijavanjem laserom povezuje na prethodni; 3. Formlabs Form 2 – pisac koji radi na principu stereolitografije (eng. *Stereolithography*), laser emitira ultraljubičastu svjetlost na sloj tekućega polimera koji uslijed toga

očvršćuje. U prvoj godini projekta kupljeni su pisaci FDM i SLS, a za drugu godinu predviđena je nabavka stereolitografskog pisca.

3D-tisak pomoću polimernih kompozitnih materijala omogućuje inženjerima izgradnju uređaja s visokom preciznošću, uključujući postizanje složene geometrije i zamršene unutarnje strukture poput kanala s jasno određenim dimenzijama. Redizajn mikrofluidne strukture može se brzo izvršiti jednostavnim podešavanjem 3D-CAD-podataka prema novim specifikacijama, što omogućuje učinkovito iterativno optimiranje različitih mikrofluidnih struktura i specijalno izrađene mikroreaktore. Osim dvodimenzionalne mreže mikrokanala, njihova dubina i oblik također može biti točno kontrolirana. Na primjer, nagib i presjeci mikrokanala (pravokutni, u obliku trapeza, kružni) mogu se precizno izraditi na temelju odgovarajućih 3D-CAD-podataka.

Predloženo istraživanje od iznimne je važnosti za kemijsko i reakcijsko inženjerstvo i znanost, pri čemu primjena navedenih tehnologija pruža nove aspekte i mogućnosti u području inženjerske materijala i ispitivanju kemijskih procesa. Ovladavanje 3D-tiskanjem mikroreaktora rezultat će ponovljivošću i brzim potencijalnim redizajnom i poboljšanjem strukture mikroreaktorskog sustava te na taj način omogućiti jednostavno optimiranje izrade reaktora.



Ovaj je rad financirala Hrvatska zaklada za znanost projektom UIP-2014-09-3154.

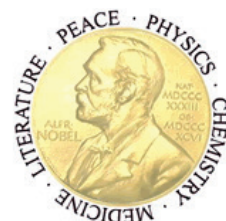
## Nobelova nagrada za kemiju za 2016. godinu – molekularni strojevi

|| N. Raos\*

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada  
Ksaverska c. 2, pp. 291  
10 001 Zagreb

Razvijenost kemije kao znanosti i kao djelatnosti vidi se i po tome za što se dodjeljuju Nobelove nagrade. Ni ove ni prošle godine nagrada nije pripala jednom čovjeku, pa čak niti jednom timu znanstvenika za neko izvanredno otkriće, nego je – mogli bismo reći – dodijeljena području istraživanja. To kažem zato što su ove, 2016. godine Nobelovu nagradu za kemiju dobila trojica istraživača (slika 1) koji su voditelji triju neovisnih istraživačkih skupina iz triju zemalja (Francuske, Ujedinjenog Kraljevstva i Nizozemske) i to za istraživanja koja traju još od osamdesetih godina prošloga stoljeća:

*Kraljevska švedska akademija znanosti odlučila je dodijeliti Nobelovu nagradu za kemiju Jean-Pierreu Sauvageu, Sir Jamesu Fraseru Stoddartu i Bernardu (Ben) L. Feringu "za projektiranje i sintezu molekularnih strojeva."*



Slika 1 – Trojica ovogodišnjih dobitnika Nobelove nagrade: Jean-Pierre Sauvage, Sir James Fraser Stoddart i Bernard (Ben) Lucas Feringa.

Fig. 1 – Nobel laureates 2016: Jean-Pierre Sauvage, Sir James Fraser Stoddart i Bernard (Ben) Lucas Feringa.

\* Dr. sc. Nenad Raos  
e-pošta: raos@imi.hr