



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 inženjerstva 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.

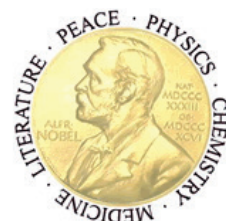
## Nobelova nagrada za kemiju za 2016. godinu – molekularni strojevi

|| 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.

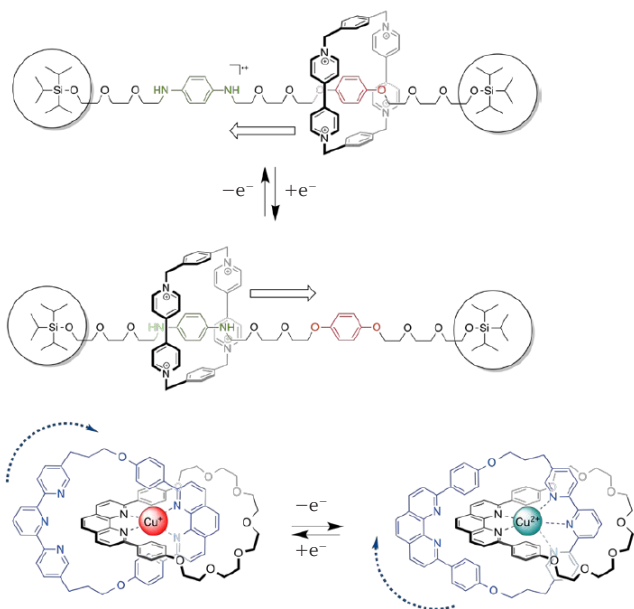
Fig. 1 – Nobel laureates 2016: Jean-Pierre Sauvage, Sir James Fraser Stoddart i Bernard (Ben) Lucas Feringa.

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

Ideja da bi se mogli napraviti strojevi od atoma i veza među njima (umjesto od poluga, zupčanika, lančanica itd.) potječe od Richarda Feynmana, koji ju je izložio još 1959. godine, premda istini za volju treba reći kako takve strojeve živa priroda poznaje već milijardama godina: mišićna vlakna i trepetiljke (cilije) jednostaničnih organizama zapravo su molekularni strojevi. No ovdje je riječ o strojevima napravljenima od čovjeka i za čovjeka, strojevima koji se mogu definirati, prema riječima dobitnika ovogodišnje Nobelove nagrade Jean-Pierrea Stoddarta kao "skup diskretnog broja molekularnih komponenti koje su projektirane da izvode stroju slična gibanja (*output*) kao rezultat odgovarajuće izvanjske stimulacije (*input*).” Drugim riječima radi se o molekulama ili supramolekularnim strukturama koje se ravnomjerno gibaju pri prijenosu naboja ili apsorpciji elektromagnetskog zračenja.

S čisto kemijske strane riječ je o prstenastim molekulama, katenanima i rotaksanima (slika 2).

Prvi spomenuti dobitnik ovogodišnje Nobelove nagrade **JEAN-PIERRE SAUVAGE** (r. 1944.), profesor na Sveučilištu u Strasbourgu, još je 1983. godine sintetizirao prvi katenan, a nedugo zatim i prvi molekularni stroj temeljen na toj "ulančanoj" molekuli. Njegov se stroj koristi prijelazom bakra između dva oksidacijska stanja (+I i +II) pri čemu je katenanski prsten rotirao uslijed promjene bakrove koordinacije (iz tetraedra u distordiranu kvadratnu piramidu).

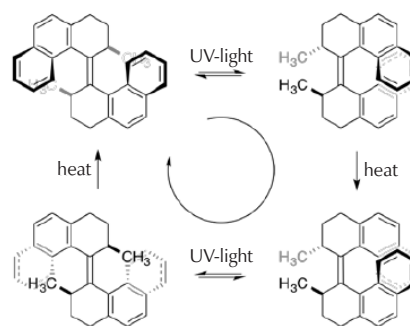


Slika 2 – Stoddartov molekularni stroj na bazi rotaksana i Sauvageov motor temeljen na katenanu

Fig. 2 – Stoddart's molecular machine based on rotaxane and Sauvage's motor based on catenane

Drugi dobitnik Nobelove nagrade škotski je kemičar Sir **JAMES FRASER STODDART** (r. 1942.), profesor na Sveučilištu u Sheffieldu. On je pak najzaslužniji za izgradnju rotaksanskih molekularnih strojeva, čiji se rad temelji na translacijskoj izomeriji. Kroz rotaksanski ciklofanski prsten provučen je polieterski lanac povezan benzenskim jezgrama. Privlačenje prstena i lanca temelji se na interakciji aromatskih fragmenata bogatih i siromašnih elektronima. Pri dodavanju ili oduzimanju elektrona ciklofanski prsten veže se naizmjenično za dva benzenska prstena gibajući se tako uzduž lanca (ili prelazeći iz jednog u drugi translacijski isomer).

Treći dobitnik Nobelove nagrade je **BERNARD (BEN) L. FERİNGA** (r. 1951.), koji radi na Stratinghovom kemijskom institutu Sveučilišta u Groningenu. Njemu pripada čast što je sintetizirao najmanji i najkompaktniji molekularni stroj. Riječ je o trocikličkim strukturama povezanim dvostrukom vezom oko koje se okreću nakon apsorpcije ultraljubičastog zračenja (frekvencijom od 12 MHz). Taj je slični motor Feringa konstruirao sa svojim suradnicima 1999. godine (slika 3).



Slika 3 – Shema rada Feringina jednosmjernog molekularnog motora  
Fig. 3 – Scheme of Feringa's unidirectional molecular motor

Kada se sve sažme, konstrukcija molekularnih strojeva dobro napreduje. Sauvage je izumio molekularni rotor, Stoddart motor s translacijskim gibanjem, a Feringa ne samo što je pojednostavio molekularni rotor i uveo novi, praktičniji oblik energije za njegovo pokretanje (elektromagnetsko zračenje) nego ga je konstruirao tako da se može okretati samo u jednom smjeru i to za 180° (*flip-flop*). Tako su trojica ovogodišnjih nobelovaca zaslužni za pronalazak triju "strojnih elemenata" strojeva nanometarskih dimenzija. O njihovoj budućoj primjeni možemo samo maštati.