



ERC STARTING GRANT 2019

123STABLE

VPRAŠANJA IN ODGOVORI

Kakšen je naslov projekta?

Naslov projekta v angleščini: Towards Nanostructured Electrocatalysts with Superior Stability

Naslov projekta v slovenščini: Naproti nanostrukturiranim elektrokatalizatorjem s superiorno stabilnostjo

Akronim projekta je '123STABLE' (123STABILEN).

Na katero področje sega projekt in kaj je namen oz. cilj projekta?

Gre za projekt, ki v najširšem kontekstu sega na področje čiste energije oziroma vodikove ekonomije. Slednja velja za enega od prihodnjih stebrov nizkoogljične družbe, saj je vodik pomemben obnovljiv nosilec energije (energijski vektor), njegove zaloge pa so tako rekoč neomejene. Vodikova ekonomija temelji na uporabi gorivnih celic in elektrolizerjev, naprav, ki s pomočjo katalizatorja iz plemenitih kovin vodik pretvarjajo v elektriko (gorivna celica) in obratno, to je z elektriko cepijo vodo na vodik in kisik (elektrolizer). Za učinkovito pretvorbo potrebujemo učinkovite katalizatorje in namen raziskav v okviru pridobljenega ERC Starting Grant projekta je doprinesti k razvoju naprednejših katalizatorjev.

Cilj projekta je ugotoviti, kako se spreminja atomska struktura nanodelcev elektrokatalizatorjev pri delovanju v nizkotemperaturnih gorivnih celicah in elektrolizerjih. Pridobljeno znanje bo osnova za načrtovanje novih stabilnih struktur nanodelcev katalizatorjev. To je izjemno pomembno, saj so najboljši katalizatorji plemenite kovine, denimo platina, ki so zelo drage, zato jih moramo optimalno izkoristiti. Da bi to dosegli, jih razdrobimo oz. razstavimo na nanodelce, da dobimo čim večjo površino. Ker pa jim s tem poslabšamo stabilnost, moramo najti oblike in načine, kako te nanodelce stabilizirati. Pri tem pa moramo seveda poznati njihovo atomsko strukturo, saj prav ta določa lastnosti in delovanje katalizatorjev.

Raziskave stabilnosti plemenitih kovin bodo torej vodile do boljših in naprednejših katalizatorjev, kar predstavlja pomemben doprinos v razvoju vodikove ekonomije.

Kakšen je kontekst projekta in njegov širši pomen za razvoj družbe?

Podnebne spremembe se neizpodbitno dogajajo in v veliki meri so posledica človeških vplivov na okolje. Eden glavnih izzivov sodobne družbe je zato prehod na čisto energijo, ki ne temelji na fosilnih gorivih. To je omogočeno s preходом na vodikovo ekonomijo z uporabo gorivnih celic in elektrolizerjev. V obeh napravah se uporablja katalizator iz plemenitih kovin, ki pretvarja vodik v elektriko in obratno.

V prihodnje bo vse več primerov elektrifikacije industrijskih procesov in družbe na splošno (Industrija 4.0). Večina bo temeljila na elektrokemijskih (npr. baterije) in elektrokatalitičnih reakcijah (npr. gorivna celica). S širjenjem zavedanja o možnostih uporabe obnovljivih virov energije ozaveščamo širšo družbo,



ki bo na ta način lažje razumela in sprejela prehod na vodikovo ekonomijo. S tem vsekakor vplivamo tudi na slovensko družbo, ki trenutno še ni zrela za delovanje brez fosilnih goriv in za popolno krožno gospodarstvo brez odpadkov.

Raziskave stabilnosti plemenitih kovin v okviru pridobljenega ERC projekta bodo vodile v boljše katalizatorje in hkrati do novih zelenih načinov recikliranja le teh. To je dr. Hodnik že pokazal leta 2016 z dosežkom zelenega recikliranja plemenitih kovin, ki je bil objavljen v ugledni reviji Nature Communications (<https://www.nature.com/articles/ncomms13164>).

V duhu podnebnih sprememb oziroma podnebne krize so tehnologije, ki jih razvijamo v skupini za Elektrokatalizo Kemijskega inštituta, izredno zanimive, saj ponujajo rešitve oziroma poti, ki bi omogočile neodvisnost od fosilnih goriv. Tudi če ne verjamemo znanstvenim dokazom o kopičenju in vplivu ogljikovega dioksida na segrevanje ozračja, je prehod na obnovljive vire zanimiv zaradi energetske neodvisnosti in popolne elektrifikacije vsega.

Kaj je katalizator?

Katalizator je snov, ki omogoči oziroma pohitri kemijsko reakcijo, brez da bi se sama porabljala. V veliki večini kemijske industrije (95 %) se uporablja neke vrste katalizator. Če gorivna celica vsebuje platino, ki velja za enega najboljših katalizatorjev, le-ta deluje veliko bolj učinkovito, kot če v gorivni celici ne bi bilo platine. V praksi je ta razlika ogromna, saj bi bila brez platine pretvorba vodika v elektriko skorajda nična.

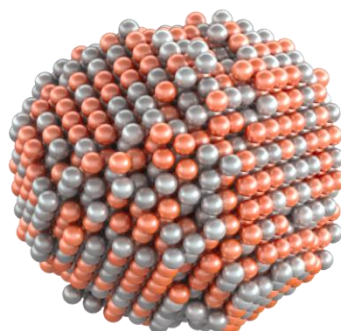
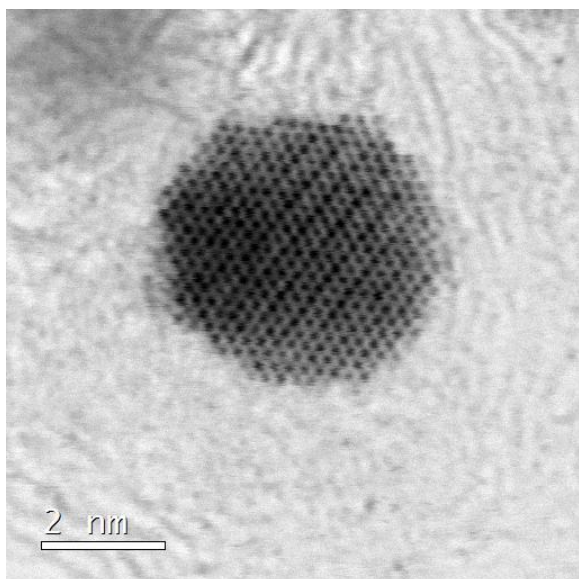
Zakaj kot katalizatorje uporabljamo ravno plemenite kovine?

Ker imajo to posebno lastnost, da izredno dobro katalizirajo reakcije. A kot že omenjeno, so plemenite kovine redke in predvsem drage, zaradi česar je nujno zagotoviti njihov optimalni izkoristek. To dosežemo z drobljenjem na nanodelce, saj s tem dobimo največjo možno površino. Tu pa nastopi težava, saj imajo nanodelci slabo stabilnost. Znanstveniki morajo tako najti oblike in načine za stabilizacijo nanodelcev katalizatorjev, kar je eden glavnih ciljev pridobljenega projekta.

Kaj so nanodelci katalizatorja in kakšna je njihova atomska struktura?

Nanodelci so delci v velikosti nekaj nanometrov (nm), to je milijardo-krat (1.000.000.000) manjši kot 1 meter. Če damo te številke v perspektivo: človeški lasje imajo premer približno 75 mikronov (okrajšano 75 μm) ali 75.000 nm (nanometrov). Razmerje med nanometrom in lasmi je podobno razmerju med kilometrom in centimetrom - en kilometer je 100.000 centimetrov. Še nekaj primerov za primerjavo: človeška rdeča krvna celica je dolga od 6.000 do 8.000 nm, virus ebola pa je dolg približno 1.500 nm in širok 50 nm.

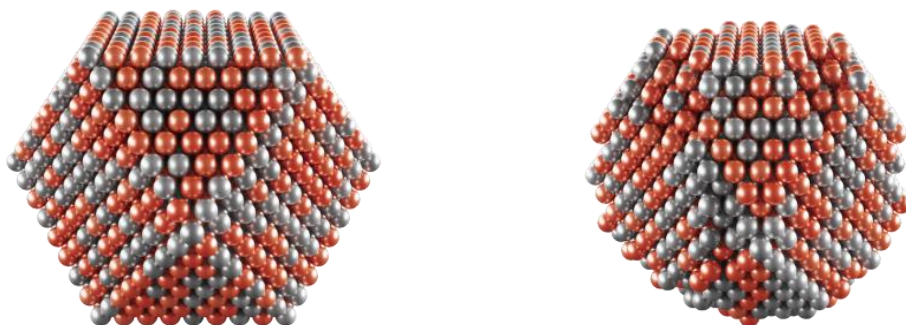
V primeru omenjenih katalizatorjev se velikosti običajno gibljejo od 1 do 100 nm. Za lažjo predstavbo - atom platine je po velikosti malo manjši kot 0,2 nm velika kroglica. Nanodelec velikosti 2 nm iz platine ima približno 300 atomov, ki so kot kroglice tesno stisnjene skupaj v urejeno strukturo – kristalno strukturo (glej sliko 1). Pri velikosti 4 nm je to približno 2.000 atomov (slika 1), pri velikosti 5 nm je to 4.000 atomov, pri velikosti 8 nm pa več kot 20.000 atomov. Pri gorivnih celicah so to platinski atomi, ki imajo primešane še druge kovine kot so baker, nikelj, kobalt, idr. Pri elektrolizerjih pa je ta osnova skoraj izključno iridij.



Slika 1: Levo (bright field STEM) slika nanodelca platinske zlitine s presevnim elektronskim mikroskopom atomske ločljivosti. Desno shematski prikaz tega delca sestavljenega iz približno 2.000 atomov (srebrni atomi so platinski in rdeči baker).

Zakaj je pomembno poznati atomsko strukturo katalizatorjev?

Popolnost na svetu skoraj ne obstaja. Skoraj vsi znani materiali imajo na atomski ravni pomanjkljivosti (primer na sliki 2). Te nepopolnosti oziroma defekti (manjkajoči atomi, dodani atomi, ali pa atomi, ki so zamenjan z drugimi) določajo lastnosti in delovanje katalizatorjev. S temi nepopolnostmi se že lep čas ukvarja veliko znanstvenikov po svetu in tudi pri nas. V okviru projekta 123STABLE pa bodo raziskovalci, za razliko od dosedanjih študij, preučevali, kako se atomska struktura katalizatorja spreminja s časom njegovega delovanja. Ko bodo poznali in razumeli mehanizme spreminjanja atomske strukture katalizatorja, bodo lahko načrtovali stabilne nanodelce, to pa bo vodilo v boljše katalizatorje in posledično v znatno učinkovitejšo pretvorbo vodika v elektriko.



Slika 2: Desno popolni nanodelec, levo realna struktura tega nanodelca, ki ga dejansko najdemo v katalizatorju (srebrni atomi so platinski in rdeči baker).



Kaj bo omogočil ERC projekt in kje se bo izvajal?

ERC je izjemno prestižen raziskovalni projekt, ki ga dodelijo posameznemu raziskovalcu z vrhunsko idejo in odličnim življenjepisom. Pridobitev projekta znanstveniku omogoči, da sam sestavi raziskovalno skupino, ki jo vodi ves čas trajanja projekta. Pri tem lahko sodeluje tudi z zunanjimi raziskovalci in ustanovami. Dr. Nejc Hodnik bo tako v začetku prihodnjega leta vzpostavil novo raziskovalno skupino, ki bo pridobljeni projekt izvajala na Kemijskem inštitutu.

Koliko časa bo trajal projekt in kakšna je njegova finančna struktura?

Projekt bo trajal pet let in je vreden nekaj manj kot 1,5 milijona EUR. Ta sredstva bodo namenjena zaposlitvi novih sodelavcev za potrebe izvedbe projekta, za nakup nove opreme in za obisk znanstvenih konferenc.

Zakaj je projekt pomemben za Kemijski inštitut ter za celoten slovenski znanstveni prostor? In zakaj je pomemben v evropskem oz. širšem merilu?

ERC projekti sodijo med najbolj zaželeno raziskovalne projekte na svetu, saj omogočajo raziskovalno svobodo raziskovalcev ter zagotavljajo dovolj sredstev in časa za razvoj ambicioznih konceptov. Z ERC projekti se zato rade pohvalijo tudi najbolj ugledne raziskovalne institucije v Evropi. Gre za izjemno kompetitiven razpis, kjer je poudarek na prebojnosti idej in odličnosti prijaviteljev z vrhunskimi znanstvenimi objavami. Na razpise za ERC projekte se prijavljajo najuglednejši raziskovalci iz Evrope in ostalega sveta. ERC projekt dr. Hodnika odpira novo področje raziskovanja, ki premošča različne tematike, s katerimi se že ukvarjajo različni odseki Kemijskega inštituta.

Še posebej pomembno je, da je '123STABLE' že tretji slovenski ERC projekt na Kemijskem inštitutu. Prvi je bil projekt z naslovom 'MaCChines', ki ga vodi prof. dr. Roman Jerala, drugi 'RNP Dynamics', ki ga bo vodil prof. dr. Jernej Ule. Z na novo pridobljenim projektom si Kemijski inštitut tako v Sloveniji kot v svetu utrjuje ugled kot ena najbolj prebojnih znanstvenih ustanov.

Katera vrhunska raziskovalna oprema bo uporabljena pri izvedbi projekta?

Glavni del raziskav bo potekal na vrhunskem presevnem elektronskem mikroskopu (Jeol, model ARM 200 CF viden na Sliki 3), ki je del raziskovalne infrastrukture Kemijskega inštituta. Ta mikroskop omogoča atomsko resolucijo in kemijsko analizo kovinskih nanodelcev (<https://www.ki.si/odseki/d10-odsek-za-kemijo-materialov/elektronska-mikroskopija-in-katalizatorji/elektronska-mikroskopija/>). Z inovativnim pristopom namreč omogoča preučevanje istega delca pred in po degradaciji. Hkrati bo pri izvedbi projekta uporabljena še mnoga druga napredna raziskovalna oprema, ki je na voljo na Kemijskem inštitutu.



Slika 3: Dr. Nejc Hodnik pri delu na visokozmogljivem presevnem elektronskem mikroskopu na Kemijskem inštitutu.

Kdo je nosilec projekta?

Nosilec projekta je dr. Nejc Hodnik (Slika 3, in Slika 4), raziskovalec na Kemijskem inštitutu, ki deluje na Odseku za katalizo in reakcijsko inženirstvo pod vodstvom doc. dr. Blaža Likozarja. Pri svojem raziskovalnem delu dr. Hodnik sodeluje z Odsekom za materiale pod vodstvom prof. dr. Mirana Gabrščka in Odsekom za analizo kemijo pod vodstvom dr. Sama Hočvarja.

Nejc Hodnik je obiskoval osnovno šolo Kolezija ter Gimnazijo Vič. Diplomiral in leta 2013 tudi doktoriral je na Fakulteti na kemijo in kemijsko inženirstvo Univerze v Ljubljani. Med doktoratom je bil kot mladi raziskovalec zaposlen na Kemijskem inštitutu pod vodstvom dr. Stanka Hočvarja, ki je vodil raziskave na temo gorivnih celic. Leta 2014 je, na podlagi individualne prestižne štipendije Marie-Curie (sedaj Marie Skłodowska-Curie), odšel na podoktorsko izobraževanje v Düsseldorf v Nemčiji na Institut Maxa-Plancka, njegov mentor je bil prof. dr. Karl Mayrhofer. Leta 2016 se je vrnil v Slovenijo in začel delovati na Odseku za katalizo in kemijsko inženirstvo Kemijskega inštituta. Med drugim je pridobil podoktorski projekt Slovenske raziskovalne agencije (ARRS) in leta 2017 je s štipendijo ARRS tri mesece deloval pri vodji ERC projekta v Italiji. Leta 2019 je bil imenovan za pridruženega profesorja na Univerzi v Novi Gorici, kjer deluje pri doktorskem programu Materiali (3. stopnja).

Hodnik je leta 2018 od Gospodarske Zbornice Slovenije prejel zlati certifikat za inovacijo recikliranja pametnih plemenitih kovin. Slovenska raziskovalna agencija ARRS ga je izbrala v »Odlični v znanosti leta 2017«. Prijavil je patent za recikliranje plemenitih kovin ter sodeloval pri patentu in dveh patentnih prijavih za sintezo elektrokatalizatorjev. Objavil je 47 znanstvenih člankov, od katerih je v 13ih prvi avtor in v 32ih korespondenčni avtor.



Dr. Hodnik ima strokovno znanje iz elektrokemije, elektrokatalize, sinteze, korozije, TEM analize, kemijskega inženiringa, fizikalne in analitične kemije, razvoja novih metod, ipd. Ima edinstveno ozadje združevanja elektronske mikroskopije in elektrokatalize za preučevanje korozije elektrokatalizatorjev iz plemenitih kovin.



Slika 4: Dr. Nejc Hodnik

Kaj je ERC in kaj pomeni ERC Starting Grant?

ERC je Evropski raziskovalni svet, ki ga je leta 2006 ustanovila Evropska komisija. To institucijo upravljajo znanstveniki in glavni cilj ERC je privlačno in dolgoročno financiranje odličnih raziskovalcev in njihovih raziskovalnih skupin za izvajanje prelomnih in tveganih raziskav, ki obljublajo nova temeljna spoznanja. Raziskave, ki jih financira ERC, naj bi vodile k napredku obstoječega znanja in k postavitvi jasnih ciljev za temeljne raziskave v Evropi. Znanstvena odličnost je edini kriterij za podeljevanje finančnih sredstev. Evalvacijo ERC prijav izvajajo "peer-review" paneli. Prijave so lahko z vseh znanstvenih področij. Prijavitelj ali prijaviteljica je lahko v času prijave kjerkoli na svetu, zavezati pa se mora, da bo ERC projekt izvajal(-a) na eni izmed evropskih institucij. Cilj ERC je tudi izboljšanje kariernih možnosti in neodvisnosti raziskovalcev v začetnih stopnjah kariere.



ERC vsako leto objavi Delovni program ERC, ki je podlaga za naslednje raziskovalne razpise v tekočem letu:

- ERC razpis za začetek samostojne poti raziskovalca ali raziskovalke (2-7 let po prejemu doktorskega naziva) - **Starting Grant**
- ERC razpis za utrjevanje samostojne poti raziskovalca ali raziskovalke (7-12 let po prejemu doktorskega naziva) - **Consolidator Grant**
- ERC razpis za priznanega raziskovalca ali raziskovalko - **Advanced Grant**
- ERC razpis za sinergijske projekte, pri katerih koordinirano sodelujejo 2-4 vodilni raziskovalci - **Synergy Grant**

Kratek opis projekta '123STABLE' v angleščini:

Hodnik's ERC project, entitled '123STABLE', will study how electrocatalytic noble metal nanoparticles are changing with their operation at the atomic level. As the activity of electrochemical reactions are quite well established (structure-activity relationships), the fundamentals of stability are still poorly understood (structure-stability relationships). 123STABLE proposes to employ (1) identical location, (2) online monitoring and (3) modeling of noble metals based nanoparticles changes with the state-of-the-art electron microscopy equipment and online dissolution and evolution analytics using electrochemical flow cell coupled to online mass spectrometers. This unique approach is based on observations of the same nanoparticles before and after electrochemical treatment where weak and stable atomic features and events can be recognized, followed, understood and finally utilized. The 123STABLE project will feature platinum- and iridium-based nanostructures as they still possess the best electrocatalytic properties for the future electrification of society through the Hydrogen economy. However, their electrochemical stability is still not sufficient. Coupled with the fact that their supply is hindered by extremely scarce, rare and uneven geological distribution, the increase in their stability is of immense importance.

Project: 123STABLE

Researcher: Nejc Hodnik

Host Institution: National Institute of Chemistry, Slovenia

ERC Funding: € 1,5 million for five years

Kontakt za medije:

Nataša Jager Radin, natasa.jager.radin@ki.si, 031 336 838 ali 01 476 04 78

Brigita Pirc, brigita.pirc@ki.si, 041 960 396 ali 01 4760 225