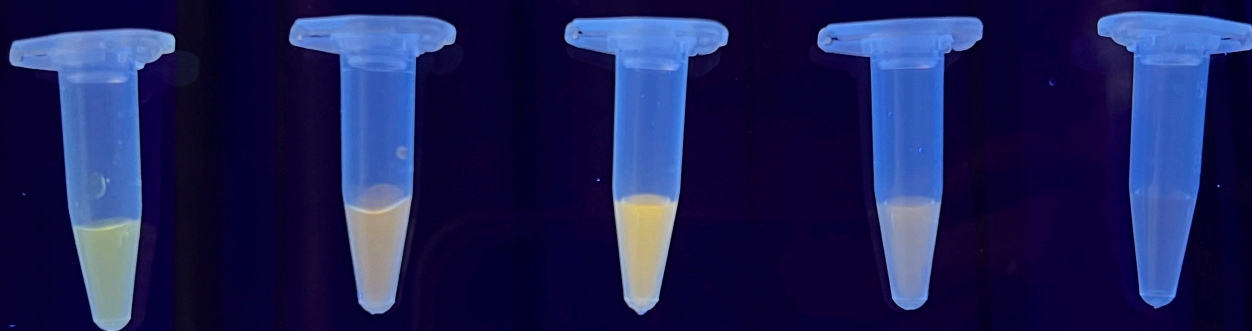




Erlenmayerica

JESEN 2025

ŠT. 5

Erlenmayerica

Glasilo študentov Fakultete za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani

jesen 2025 | št. 5

Naklada: 150 izvodov

Glavna urednica: Klara Razboršek

Uredniški odbor: Tinkara Butara, Julija Dolinšek, Ana Hočevar, Jan Hočevar, Anja Kokol, Pia Mencin, Tadej Vovk, Rene Zorman

Ustvarjalci: Veronika Bračič, Zara Bunc, Kaja Cunk, Daša Čebulj, prof. dr. Kristina Djinović Carugo, Julija Dolinšek, prof. dr. Vesna Ferk Savec, Andraž Fink, Tina Geč, Nejc Godec, Ana Hočevar, Jan Hočevar, Anja Kokol, Pia Mencin, Špela Puhov, Marcel Tušek, Tina Urh, Tadej Vovk, Rene Zorman

Recenzenti: doc. dr. Gregor Gunčar, prof. dr. Simon Horvat, doc. dr. Vera Župunski

Naslovnica in zadnja stran: Tinkara Butara

Oblikovanje: Gabriel Klančar, 068 682 711

Lektura: dr. Tomaž Petek
(Prispevek na straneh 46 - 49 ni lektoriran)

Tiskarna: Toriprint d.o.o.

ISSN: 2820-3194
E-ISSN: 2820-526X

Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, ŠS FKKT, Erlenmayerica, Večna pot 113, Ljubljana

Glasilo je brezplačno in je namenjeno študentom UL FKKT. Natis je financiral Študentski svet UL FKKT.

E-pošta: erlenmayerica@gmail.com

Draga študentka, dragi študent, prideš z nami v šolske klopi?

Leto je naokoli in to pomeni, da te na hodnikih že nestrpno pričakuje nova številka Erlenmayerice. Novi člani uredniške ekipe so prinesli nov zagon in sveže ideje, zaradi česar je tudi ta številka nekaj posebnega. Osrednja tema letošnje številke je izobraževanje z rahlo usmeritvijo na izobraževanje bodočih učiteljev kemije oziroma naravoslovja, saj smo le na fakulteti z nekaj kemijskimi laboratoriji. Želeli smo v ospredje podati malo manj obiskano študijsko smer, ki zaradi tega ni čisto nič manj pomembna, mogoče je celo najbolj pomembna, saj kdo pa bo poskrbel za nov pritok študentov skozi stavbo X, če ne oni? O nastanku današnjega izobraževanja kemije lahko povprašaš Tadeja, ki je časovnico nastanka FKKT, ki ga poznamo danes opisal na strani 8. Mogoče te navdušijo besede prof. Kristine Djinovic Carugo, ki poleg učenja bodočih magistrstrov biokemije deluje tudi kot direktorica EMBL Grenoble. Morda najdeš svoje odgovore na nekatera vprašanja o učenju in inštrukcijah, ki smo ti jih zastavili na našem Instagram profilu. Prav gotovo pa lahko vsi skupaj obujamo spomine na srednješolske klopi in na modre, rdeče, zelene in mogoče tudi rjave učbenike za kemijo. Več o prof. Andreju Smrduju in nastanku le-teh lahko prebereš na straneh 50. Če pa te zanima, kaj delajo tvoji kolegi in kolegice le pokukaj v rubriko Iz stroke in prve roke ter na stran 58, kjer nam je Zara zaupala, kako izvesti enega izmed večjih projektov, ki so potekali na naši fakulteti. Lahko pa samo prelistaš celotno revijo in se čudiš lepim fotografijam učnih in bralnih kotičkov svojih sošolk in sošolcev. Morda te celotna številka prepriča, da se tudi ti vpišeš na program Kemijskega izobraževanja?

Vsi poznamo občutek, kako je, ko prideš pred učilnico ali predavalnico, kjer nikogar ne poznaš. Morda te je to doletelo pri prehodu iz osnovne v srednjo šolo ali potem na fakulteti. Zato te vljudno vabimo, da prisedeš v našo šolsko klop in morda doprineseš k naslednji številki, kot član uredniške ekipe, z lepimi fotografijami, poezijo in prozo ali s svojim strokovnim člankom. Tudi sama sem se z letošnjim študijskim letom znašla pred vrati, za katerimi nisem vedela, kaj bo. Vesela sem, da se je naša šolska klop malo stisnila in danes na njej poleg mene sedi še 8 oseb, s katerimi lahko oblikujem ta prostor, to "učilnico".

Hvala Veronika in Anamarija, da sta začeli nekaj tako navdihujočega in hvala, da sta nam zaupali ta kreativni prostor. Upam, da vama bo ta številka in vse naslednje, všeč. Upam tudi, da bo všeč tebi draga kolegica in dragi kolega in da boš to številko z veseljem vzel s seboj.

Klara Razboršek

Glavna urednica Erlenmayerice

Klara



Nagovor preteklega koordinatorja tutorjev študentov

Leto je zopet naokrog in letos se najdete z mano na tem prečudovitem papirju, imenovanem Erlenmayerica.

Ko sem izvedel za to priložnost, sem bil izjemno počaščen, da lahko tudi jaz doprinesem k temu odličnemu projektu. Verjetno ste me že srečali na hodnikih, morda smo celo sošolci. V preteklih letih sem imel čast opravljati vlogo koordinatorja tutorjev študentov na naši fakulteti z upanjem, da lahko tudi jaz kako zapustim svoj pečat k izboljšanju življenja študentov. Zavedam se, da prehod iz srednjih šol na življenje fakultete ni lahek. Sam sem namreč izbral pot, da sem se iz ekonomske gimnazije odločil za študij biokemije. Pri tej spremembi so mi tutorji neizmerno pomagali, zato sem želel to podporo ponuditi tudi naslednjim generacijam. S tem namenom smo se odločili narediti popolnoma nov dogodek imenovan Fresher's day (Dan za bruce). Z njim smo želeli predstaviti, da naša fakulteta ni samo študij, temveč več. Tukaj se ne boste naučili le bodisi delovanja

Krebbsovega cikla, bodisi delovanja industrijskih reaktorjev, tukaj boste sklenili mnogo novih prijateljstev, mogoče tudi takih, ki bodo trajala do konca vašega življenja.

Ko sem imel priložnost predstaviti tutorstvo ostalim članicam Univerze v Ljubljani, smo ugotovili, da tam, kjer študentje vodimo tutorje, tutorstvo najbolj raste in cveti. S tem namenom sem želel pohvaliti tiste, ki izjemno doprinesejo k naši tutorski "družini". Izjemno sem hvaležen, da so me tutorji in vodstvo fakultete nominirali za prvega prejemnika "pohvale za neizmerno prostovoljno delo za fakulteto v sklopu tutorstva".

Tutorstvo je izjemna priložnost na naši fakulteti, kjer združujemo ljudi iz različnih okolij in mišljenj, združuje pa nas želja po čim lepšem času na naši fakulteti. Upam, da smo vam lahko našo željo prikazali in pričarali magijo, ki jo FKKT premore.

Marcel Tušek



Kazalo

01 Kratka zgodovina kemijskega izobražvenja na Slovenskih tleh	8
02.1 ASEF Ameriško-slovenska izobraževalna fundacija	16
02.2 VTIS Društvo v tujini izobraženih Slovencev	18
02.3 ZOTKS Zveza za tehnično kulturo Slovenije – spodbujanje ustvarjalnosti in inovativnosti mladih	20
03 Stik umetne inteligence in osebnih inštrukcij: dopolnilo ali nadomestilo?	22
04.1 Alternativna poliadenilacija – Ključ do celične raznolikosti in nova terapevtska obzorja	26
04.2 Diagnostika Alzheimerjeve bolezni z uporabo fluorescenčnih molekulskih sond	32
04.3 γ-aminomaslena kislina in anksioznost	38
05.1 Znanstveni kotichek s Prof. dr. Kristino Djinović Carugo	44
05.2 Kako do boljšega znanja in več veselja pri učenju in poučevanju kemije?	46
06 Intervju: Andrej Smrdu	50
07 Niso vsi, ki tavajo, izgubljeni	54
08.1 Ustanovitev dogodka BEST dnevi znanosti	58
08.2 Primankljaj učiteljev	62
09.1 Pogrešaj maturo? Preizkusi se v najslabše reševanih vprašanjih na maturi iz kemije!	64
09.2 Križanka Kako dobro poznaš laboratorij?	66
10 Izvenlaboratorijsko ustvarjanje	68

01

Kratka zgodovina kemijskega izobražvenja na Slovenskih tleh

Avtor: Tadej Vovk

Ko vstopiš v futuristično zgradbo naše fakultete, si ponosen, da lahko študiraš na tako sodobni in visokotehnološki fakulteti. Laboratoriji z omrežjem deionizirane vode, lični novi digestoriji, (dokaj) delujoče avtomatske pipete, drage »mašine« ... Ampak ni bilo vedno tako. Mnogi pred nami so trdo delali, da se lahko danes kemijskih znanj učimo na tako sofisticiran način. Kako pa smo se Slovenci spoznavali s kemijo? Sprehodi se skozi zgodovino in beri naprej, ti radovednež!

17. st.

V slovenskem naravoslovju se (skoraj) vse začne pri Janezu Vajkardu Valvasorju v 17. stoletju. Valvasor se je nad kemijo navdušil v gimnaziji, pozneje pa je svoje znanje še razširjal. Posebno pomemben je njegov patent Valvasorjeve zlitine, ki je prva tehniško-kemijska inovacija nastala na slovenskih tleh. S svojim delom je dosegel mednarodno priznanje in leta 1687 celo postal član londonske Royal Society, katere ustanovitelj je bil med drugimi tudi Robert Boyle (ja, tisti od tvojih najljubših plinskih zakonov). Kje pa danes vidiš Valvasorjevo delo? Če se po predavanjih sprehodiš do Levstikovega trga, boš na stebru uzrl Marijin kip (če so že končali s prenovo Marijinega stebra) – tega je vlil sam Valvasor in to prav s svojo zlitino.



18. st.

Prvi rudniški zdravnik v Idriji, Giovanni Antonio Scopoli, ki je leta 1761 objavil knjigo O idrijskem živem srebru, v kateri razpravlja o boleznih in zastrupitvah povezanih z živim srebrom. Kmalu zatem je bil v Idriji za kratek čas ustanovljen višji šolski zavod Katedra za kemijske in metalurške vede, kjer je Scopoli predaval kemijo in metalurgijo in zahteval gradnjo kemijskega laboratorija. Žal pa ga je poklicna pot prekmalu vodila drugam - takrat je delovanje zaključila prva višja šola s področja kemije v Sloveniji.



19. st.

V času Ilirskih provinc je kemija dobila predokus čisto pravega visokega šolstva. V okviru Ecola centrale in pozneje Academie de Laybach je kemijo predaval Janez K. Kersnik, prvi slovenski profesor kemije. Z odhodom Francozov pa je visoka šola v Ljubljani šla v zaton.

1852

Tega leta je kemija postala reden predmet na ljubljanski realki in njihov kemijski laboratorij je postal pravi mali znanstvenoraziskovalni center. Opravljali so raziskovalna in analitska dela za idrijski rudnik (šokantno, mar ne?), gorenjske železarne, posavske rudnike in topilnico v Škednju. Laboratorij je deloma izgubil pomen, ko so 1898 v Ljubljani ustanovili preizkuševališče Kmetijske družbe. V tem času pa so nastala tudi prva dela o kemiji v slovenščini, ki so osnova slovenske kemijske terminologije in nomenklature.



Kmetijska kemija

ali
natorne postave in kemijske resnice
obrnjene na
človeško in živalsko življenje,
na
kmetijstvo in njegove pridelke.

Spisal
Matija Vertovec,
fajmošter v Šent-Vidu nad Igavo, tovariš c. k. kmetijskih druš
na Kraskem, Štajarskem in Goriskem i. t. d.



(Drugi naslov.)

V Ljubljani.
Natisnil in založil Jožef Blaznik.
1856.

Fun fact

Od začetkov kemije v slovenščini, se elementov ne poimenuje enako. Prepoznaš pomeinovanja za termine kot jih je Matija Vertovec uporabljal leta 1847?

vogelnokisli gaz	ogljikov dioksid
kisloba	kislina
vogelc	ogljik
kislic	kisik
gnjilic	dušik

1919

Nastala je Univerza v Ljubljani – na Tehnični fakulteti se je predavala kemijska tehnologija, na Filozofski fakulteti pa kemija. Prvi, ki je dobil naziv rednega profesorja za področje kemije, je bil Maks Samec (tisti z nagrad, ja).



1920

Prvi doktorat na UL je prav iz kemije – Ana Mayer-Kansky je pod mentorstvom prof. Samca zagovarjala delo O učinkovanju formalina na škrob.



1923

Friderik Pregl prejme Nobelovo nagrado za kemijo za raziskave na področju kvantitativne mikroanalize.



Po 2. sv. v.

Zaradi industrializacije se povečuje potreba po kemijskih kadrih. Ustanavljajo se srednje kemijske šole v Ljubljani (na današnji Aškerčevi), Novi Gorici, Kranju, Novem mestu, Rušah, Postojni in Celju.

1946

Ustanovljen kemijski laboratorij SAZU, predhodnik Kemijskega inštituta in Fizikalni laboratorij SAZU, predhodnik Instituta Jožef Stefan.



1951

Ustanovljeno je Slovensko kemijsko društvo, ki še danes združuje strokovnjake z vseh vetrov kemije.

1961

Ustanovljeno združenje visokošolskih zavodov Maribor z višjo tehniško šolo, vključno s kemijskim oddelkom – pozneje se je ta šola povzdignila v Tehniško fakulteto UM (ustanovitev l.1975).

Fun fact

Prof. Meden je z nami delil anekdoto iz mladih let.

Kot mlad docent sem prisostvoval pogovoru starejših kolegov, uveljavljenih profesorjev o tem, koliko časa vzame pregledovanje in popravljanje zaključnih del, ker je treba natančno brati in ta dela (posebej doktorati) velikokrat kar obsežna. Pa se na to oglasi profesor Kolar, izjemen raziskovalec ter zelo cenjen pedagog in mentor, ki je slovel po zelo natančnem in dobronamernem, a kritičnem branju/popravljanju zaključnih del: »Pa saj ne vzame toliko časa. Saj ni treba vsega brati. Samo tam pogledaš, kjer je kaj narobe, pa si hitro skozi.«

1961

V Ljubljani ustanovljena Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo. Oddelek za kemijo se je delil na odseke za kemijo, kemijsko in tekstilno tehnologijo ter farmacijo. Leto pozneje se je kemija otresla tekstilnega in farmacevtskega odseka, ki sta postala samostojna oddelka.

1962 /63

Uveden podiplomski študij, magistrski program. Ta je bil v veliki meri prilagojen interesom študentom in se je delil v 4 smeri – anorgansko, organsko, fizikalno-kemijsko in biokemijsko smer.

Od
1970

V okviru študija kemije je v tretjem letniku možna izbira usmeritve; med drugim posebej tudi področje kemijskega izobraževanja.

1984

Jurij Brenčič in Franc Lazarini izdata učbenik Splošna in anorganska kemija - še do nedavnega biblija za vse študente prvih letnikov.

21. 12.
1994

Z Odlokom o preoblikovanju UL je bila ustanovljena Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, katere prvi dekan je bil prof. dr. Jože Škerjanc.

Fun
fact

Automatic servis servira premalo kofeina? prof. Lazarini ima rešitev!

Prof. Franc Lazarini je imel predavanja ob osmih zjutraj. Nekoč je utrujen študent med njegovim predavanjem zaspal. Lazarini je laborantki Nevi Grdadolnik potihoma naročil, naj pripravi aparaturo za elektrolizo vode. Počakal je, da se je nabrala precejšnja količina zmesi vodika in kisika, nato pa sprožil eksplozijo pokalnega plina. Od takrat so se med Lazarinijevimi predavanji študenti ščipali v roke, če jih je premagoval spanec.

1995

FKKT-ju se priključi Višja tehniška varnostna šola kot oddelek za tehniško varnost.

1998
/99

FKKT UL uvede povsem samostojen študijski program biokemija. V tem času se tudi zmanjša število vaj in predavanj na 750 ur na letnik. Ker se je Slovenija vse bolj nagibala k članstvu v EU, se je tako kot na vseh drugih fakultetah UL, tudi na FKKT uvedel ECTS sistem (European Credit and Transfer System), ki omogoča prost pretok študentov med evropskimi univerzami.

2006

Delovati začne Višja šola za tehnologijo polimerov v Slovenj Gradcu (danes Fakulteta za tehnologijo polimerov), ki se ukvarja tako s pedagoškim kot tudi z raziskovalnim delom.

2013

Dr. Marko Novinec kot prvi biokemik po osnovni izobrazbi pride do učiteljskega mesta.

Fun
fact

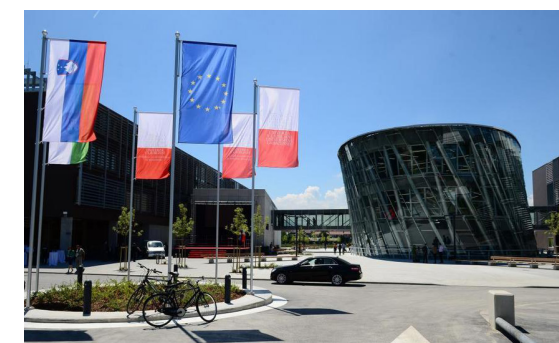
Si se kdaj vprašal, zakaj nekateri profesorji na predavanjih nosijo halje drugi pa ne? Je to kakšno pravilo ali odvisno od posameznika? Za odgovor smo povprašali prof. dr. Antona Medena.

“Ne vem, ali so bile kdaj za predavatelje obvezne. Ko sem jaz študiral (1983-87), so jih dosledno nosili profesorji pri predavanjih, kjer so kazali poskuse. Nekaterih pa že takrat nisem nikoli videl halji. Bilo pa je več razlik v barvah laboratorijskih halj. Danes so skoraj vse hale bele, že dolgo nisem videl kakšne drugačne. Takrat pa je kar nekaj profesorjev nosilo sive ali temno modre, nekateri tudi črne. Tudi med študenti, ki smo za vaje v laboratorijih tudi takrat morali dosledno nositi halje, smo nekateri imeli drugačne. Spomnim se, da je bila moja prva laboratorijska halja temno modra, pozneje sem imel še enkrat sivo, sicer pa večinoma belo.

Danes kot učitelj na predavanja z eksperimenti vedno oblečem haljo, včasih tudi za predavanja, kjer ni poskusov. Razlog je v praktičnosti. Halja ima velike žepe, kamor človek lahko spravi, kar potrebuje (dve pisali, ki jih je v predavalnicah sicer zmeraj veliko, a praviloma nobeno pošteno ne piše, kazalnik, rezervne baterije zanj, ključek za predal z daljincem, USB s predstavitevijo, mikrofona za večje predavalnice...). Praktično je tudi, ker halja varuje obleko – enkrat sem si s pisalom za belo tablo grdo umazal srajco, halja pa to običajno »prestreže«.

2014

Zgrajena nova stavba UL FKKT (kako bi še lahko izgledala naša stavba in koga moraš izslediti, ker ti je dal študentsko garderobo štiri nadstropja stran od laboratorija preveri s QR kodo).



VIRI SLIK:

M. Bešter-Rogač: Študij kemije na univerzi v Ljubljani 1919-2019. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, 2019. Dostopno na: https://fkkt.uni-lj.si/fileadmin/user_upload/o_fakulteti/zgodovina/100_let_studija_kemije_na_UL_.pdf (pridobljeno 27. 4. 2025)

M. Vertovec: Kmetijska kemija, to je natorne postave in kemijske resnice obrnjene na človeško in živalsko življenje, na kmetijstvo in njegove pridelke, 1847. Dostopno na: <https://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:DOC-PAKVALZF> (pridobljeno 27. 4. 2025)

Slovenska akademija znanosti in umetnosti: Maks Samec. Dostopno na: <https://www.sazu.si/clani/maks-samec> (pridobljeno 27. 4. 2025).

Golob, T.: Giovanni Antonio Scopoli. National Geographic Slovenija, 2014. Dostopno na: <https://www.nationalgeographic.si/giovanni-antonio-scopoli/> (pridobljeno 27. 4. 2025).

Wikipedija: Friderik Pregl. Dostopno na: https://sl.wikipedia.org/wiki/Friderik_Pregl (pridobljeno 27. 4. 2025).

KRAJI - Slovenija: Ljubljana - Marijino znamenje. Dostopno na: https://krajji.eu/slovenija/ljubljana_marijino_znamenje/slo (pridobljeno 27. 4. 2025).

VIRI:

M. Bešter-Rogač: Študij kemije na univerzi v Ljubljani 1919-2019. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, 2019.

S. J. Južnič: Valvasorjevi prispevki h kemijski tehnologiji. Acta Chimica Slovenica, 2015, 62, 97-107.

S. Južnič: Valvasor o vakuumu in tankostenskih kipih. Vakuumist. 2007, 27(3), 23-30

M. Vertovec: Kmetijska kemija, to je natorne postave in kemijske resnice obrnjene na človeško in živalsko življenje, na kmetijstvo in njegove pridelke, 1847.

Ustno izročilo prof. dr. Antona Medena

02.1

ASEF

Ameriško-slovenska
izobraževalna fundacija

Avtorici: Kaja Cunk, Tina Geč

Ameriško-slovenska izobraževalna fundacija (ASEF) je bila ustanovljena leta 2014 z namenom spodbujanja sodelovanja in izmenjave znanja med Slovenijo in svetom. Z različnimi programi in dejavnostmi ASEF ustvarja priložnosti za slovenske študente ter študente slovenskih korenin v zamejstvu in tujini, hkrati pa promovira slovensko kulturo in znanje na mednarodni ravni. V okviru dveletnega štipendijskega programa Raziskovanje v tujini lahko študentje opravijo 10-tedenski raziskovalni obisk pri slovenskem profesorju ali profesorici na ugledni univerzi ali raziskovalni ustanovi v tujini. Po vrnitvi domov se vključijo v mednarodne raziskovalne in tutorske skupine ter sodelujejo na različnih akademskih in strokovnih dogodkih, kot so predavanja Mladi umi, okrogle mize in delavnice.

Do danes je raziskovalni obisk opravilo več kot 200 štipendistov, ki so sodelovali z več kot 50 priznanimi mentorji na vrhunskih akademskih ustanovah v ZDA, Kanadi, Avstraliji, Novi Zelandiji, Evropi in v Združenem kraljestvu. Program ponuja edinstveno priložnost za strokovni in osebni razvoj, pridobivanje

dragocenih izkušenj ter razširitev mreže poznanstev. Štipendijski program je odprt za dodiplomske, magistrske in doktorske študente, vpisane na akreditirane visokošolske ustanove v Sloveniji ali tujini. Prijave potekajo vsako jesen, podrobnosti o postopku prijave in izbire pa so na voljo na www.asef.net.

Izkušnja štipendistke:

»Moj raziskovalni obisk na Texas Tech University pod vodstvom prof. dr. Klementine Fon Tacer je bil neprecenljiv. Pridobila sem ogromno strokovnega znanja, sklenila vseživljenjska prijateljstva, postala bolj neodvisna in odkrila, kaj me resnično osrečuje. Hvaležna sem ASEF za to priložnost ter dr. Fon Tacer za njeno izjemno mentorstvo in toplo dobrodošlico.«

– Lara Snoj, štipendistka ASEF, 2023



Fotografiji: Žana Brilej, štipendistka 2023 med raziskovalnim obiskom v Kaliforniji pod mentorstvom prof. dr. Jernej Murna.

02.2

VTIS

Društvo v tujini izobraženih Slovencev

Avtorica: Veronika Bračič

Društvo v tujini izobraženih Slovencev (VTIS) je bilo ustanovljeno leta 2014 z namenom povezovanja in zastopanja interesov slovenskih državljanov, ki so prek izobraževanja na visokošolskem študiju ali opravljanja raziskovalne dejavnosti del ali celoto svojih aktivnosti izvajali v tujini. Kot vodilna organizacija, ki povezuje v tujini izobražene Slovence ter spodbuja sodelovanje med Slovenijo in tujino na področju znanosti in gospodarstva, si društvo VTIS prizadeva tudi za premostitev zakonskih ovir, ki preprečujejo globalno kroženje znanja. Trenutna struktura društva VTIS zajema več kot 2.700 članov v 50 državah sveta, med katerimi so študentje, raziskovalci in znanstveniki, gospodarstveniki in drugi strokovnjaki. Delovanje društva sloni na prostovoljcih, ki jih je v letu 2025 kar 220 in delujejo na različnih področjih – geografskih in tematskih; obsega 16 lokalnih odborov in 20 interesnih skupin. Prek različnih dogodkov in iniciativ (npr. Simpozij slovenskih raziskovalcev doma in v tujini, Prvi VTIS, program VTIS Mentorstvo) **zmanjšujemo razdaljo med Slovenijo in svetom**. Članstvo v društvu je brezplačno, vanj pa se lahko včlani vsak,

ki verjame v moč povezovanja ter stremi k izboljšanju kroženja znanja med Slovenijo in tujino.



Afterwork pijača v Bruslju, LO Belgija



Praznovanje 10. obletnice Društva VTIS



Piknik Društva VTIS

02.3

ZOTKS

Zveza za tehnično kulturo Slovenije – spodbujanje ustvarjalnosti in inovativnosti mladih

Avtor: Jan Hočevar

Zveza za tehnično kulturo Slovenije (ZOTKS) je neprofitna organizacija, ki že več kot sedemdeset let deluje na področju spodbujanja tehnične kulture, naravoslovja in raziskovanja med mladimi v Sloveniji. Njeno poslanstvo je odkrivanje in razvoj talentov ter zagotavljanje kakovostnih priložnosti za dodatno izobraževanje in ustvarjalnost izven formalnega šolskega sistema.

Ena ključnih dejavnosti ZOTKS je organizacija različnih tekmovanj s področja znanosti, tehnike in inovativnosti, med katerimi so najbolj znana tekmovanja iz znanja kemije, biologije, fizike, matematike, računalništva in astronomije. Poleg tega organizira raziskovalne tabore, delavnice, seminarje in druge dogodke, kjer mladi lahko razvijajo svoje spretnosti ter se povezujejo z vrstniki in strokovnjaki iz različnih področij. ZOTKS ima pomembno vlogo tudi pri promociji znanstvenih in tehničnih poklicev ter pri

vzpostavljanju mostu med izobraževalnimi ustanovami in industrijo. S svojim delovanjem pripomore k razvoju inovativne in konkurenčne družbe, saj podpira mlade pri njihovih prvih korakih v svet raziskovanja in razvoja.

Sodelovanje v programih ZOTKS je odlična priložnost za vse mlade, ki jih zanima znanost, tehnika ali inovacije. Ponuja jim platformo za izražanje idej, razvijanje projektov ter možnost sodelovanja na mednarodnih tekmovanjih in konferencah, kjer lahko predstavijo svoje dosežke širši javnosti.

Če te zanima znanstveno raziskovanje, eksperimentiranje ali tehnološko ustvarjanje, je ZOTKS pravi naslov, kjer lahko svojo radovednost spremeniš v konkretne projekte in dosežke!



Izvedba izobraževanj mentorjev v sklopu državnih tekmovanj.

03

Stik umetne inteligence in osebnih inštrukcij: dopolnilo ali nadomestilo?

Avtorici: Julija Dolinšek, Anja Kokol

Umetna inteligenca in orodja, ki jo vključujejo, nas dandanes spremljajo že skoraj na vsakem koraku. Tudi za nas, študente, postaja njihova uporaba pri našem vsakdanu, vključno s študijem, neizogibljiva. Pomaga nam poenostaviti zapletenejše razlage učne snovi, predvsem pa je koristna za hitrejši in preprostejši dostop do iskanih informacij. Zelo uporabna je lahko tudi pri izdelavi učnega načrta in organizacije časa, saj dobra organizacija prispeva k produktivnejšemu učenju. Evolucija umetne inteligence in s tem jezikovnih modelov, kot so ChatGPT, Gemini idr., je pripomogla ne le k takojšnjemu dosegu podatkov in razlag, ampak nas vsakodnevno vodi v skušnjo, povezano z upadom samostojnosti in samoiniciativnosti, kar s seboj prinaša ogromno slabosti, ki imajo lahko negativni vpliv na našo nadaljnjo karierno pot. Seveda se uporabi teh orodij ne bomo mogli izogniti, lahko pa premislimo, kje je smiselna njihova aplikacija in kaj lahko naredimo sami, pa tudi če bomo za to porabili več časa.

Ali bo umetna inteligenca v prihodnosti

pomagala osebnim inštruktorjem ali mogoče nadomestila njihovo delo, pa je vprašanje časa in družbe ter količine zaupanja, ki jo bomo ljudje pripravljeni vložiti v tehnologijo. Ker se nama je to vprašanje zdelo zelo aktualno, sva želeli podrobneje spoznati, kakšen je odnos študentov FKKT do umetne inteligence ter o njeni uporabi in pomembnosti pri učni pomoči v obliki osebnih inštrukcij. Da bi rezultate pridobili najhitreje in na najučinkovitejši način, sva anketo predstavili kar na našem Instagramu. Študente sva najprej povprašali o načinih učenja in tehnikah, ki jim pri tem pomagajo, v drugem delu pa sva se osredinili na uporabo umetne inteligence v učne namene in osebne inštrukcije ter kako številčne so izkušnje študentov z njimi.

Po podatkih najinega poizvedovanja največji del učne literature za študente predstavljajo lastni zapiski s predavanj (81 %), ki jih anketirani podkrepijo s spletnimi viri (13 %) in z razlagami. Ugotovili sva, da učbeniki predstavljajo le manjši del (6 %). Študije kažejo veliko prednosti skupinskega učenja, in ker je tudi nama tak

način poglabljanja v učno snov všeč ter pogosto tudi zabaven (če ostaneš pri stvari in te prehitro ne zamotijo kakšni drugi pogovori), sva o tem povprašali tudi študente. 55 % anketirancev je odgovorilo pritrdilno, kar je potrdilo najino domnevo, da učenje v skupini združuje prijetno s koristnim. Študentom, ki se sami težko prebijajo skozi določene tematike, pogosto koristi vpogled v razmišljanje prijatelja ali sošolca, ki lahko snov predstavi z drugega zornega kota.

Seveda je pri učenju pomemben tudi učni prostor. Ta mora vsebovati dovolj naravne svetlobe, mora pa nam biti tudi prijeten. Moramo se počutiti varno in sproščeno. V njem ne sme biti preveč distrakcij, saj to pomembno vpliva na kakovost našega učenja in rezultate, ki temu sledijo. V anketi sva predlagali učenje doma, v prostorih na faksu, v knjižnicah (CTK,

Mestna knjižnica, NUK ...), v kavarni. Kot pričakovano, se najmanj študentov odloči za učenje v kavarni (2 %), mogoče pa bi bilo to pogosteje izbrano za skupinsko učenje in skupinske projekte. Kadar učenje zahteva veliko povezovanja informacij in visoko raven zbranosti, so verjetno primernejši drugi prostori. Z 8 % je sledilo učenje na faksu, tj. v knjižnici ali po koticah na hodnikih. Naša knjižnica se zdi ustrezen prostor, saj ponuja dovolj tišine in odmik od distrakcij za kakovosten študij, 21 % anketiranih študentov koristi druge knjižnice po Ljubljani, večini pa učenje doma. Pomembno je, da si uredimo udoben prostor, v katerem nas nihče ne moti. Nas študij zahteva ogromno razumevanja in poglabljanja v snov, zato nikar ne podcenjujmo pomembnosti učnega okolja, ki ima nedvomno pomemben vpliv na naš uspeh.



Veliko poznanih metod in učnih konceptov lahko bistveno izboljša učinkovitost učenja in nam prihrani čas. Od tistih anketirancev, ki se poslužujejo predlaganih tehnik, se jih je največ odločilo za »flashcards« oziroma spominske kartice (43 %); temu so sledile mnemotehnike in metoda pomodoro (vsaka 26 %) ter najmanj Feynmanova metoda. Mnemotehnike so mentalne oporne točke, ki temeljijo na povezovanju pomembnih podatkov s kraticami, stavki, z barvami, začetnicami ali z zgodbami. Možgani si z njihovo uporabo lažje zapomnijo povedano, saj neznane podatke umestijo v nevronske mreže že znanih podatkov. Na podoben princip deluje tehnika spominske palače, pri kateri podatke povežemo s predmeti v nam dobro znanem prostoru in tako ustvarimo mentalno palačo ter neznanke umestimo v znano okolje. Spominske kartice omogočajo aktiven priklic informacij, saj se moramo pri vsaki ponovitvi natančno spomniti naučenega, kar krepi mentalne povezave. Med učenjem metoda pomodoro poskrbi, da lažje ostanemo zbrani, ne da bi pregoreli. Temelji na izmenjavi kratkih časovnih intervalov z vmesnimi premori,

ki pripomorejo k boljši osredotočenosti in kakovosti učenja.

Pri uporabi opisanih tehnik učenja (npr. »flashcards«) nam lahko pomagajo orodja umetne inteligence. Za veliko ljudi so ta dandanes nepogrešljiv vir informacij in pomoči pri razlagi snovi. Orodja, ki temeljijo na umetni inteligenci, s katerimi si anketirani študentje najpogosteje pomagajo, so: ChatGPT, Copilot, LeChat, LMnotebook. Čeprav so ta orodja uporabna, se pojavi nevarnost, da se študent prehitro zadovolji z odgovori, brez poglobljenega razumevanja snovi. Umetna inteligenca pa lahko služi tudi kot odskočna deska za celovitejše učenje, saj nam v kratkem času zbere veliko količino podatkov, ki nam omogočajo boljši vpogled v snov. Mnenja so razdvojena, vendar večina anketirancev meni, da umetna inteligenca ne spremeni njihovega pristopa k razumevanju in poglobljanju v učno tematiko. Ključ se torej skriva v načinu uporabe, ali orodja uporabljamo kot bližnjico ali kot izhodiščno točko za novo znanje.

Dandanes je pot do znanja lažja kot kdaj koli pred tem. Kljub možnosti uporabe umetne inteligence pa človeški stik in individualna personalizirana razlaga, ki jo lahko nudijo inštruktorji posameznih predmetov, velikokrat hitreje pripelje do želenega rezultata. Tako se je opredelilo 51 % anketirancev ob vprašanju, ali lahko umetna inteligenca nadomesti inštrukcije.

Veliko študentov ima med študijem vsaj eno izkušnjo z inštrukcijami – ali so jih deležni ali pa jih sami izvajajo ter pomagajo drugim. 54 % jih ima izkušnje z nudenjem inštrukcij, 7 % jih hodi oziroma so hodili na inštrukcije, 39 % anketirancev pa z inštrukcijami še nikoli ni imelo izkušenj.

Hiter potep po spletu nas seznani z možnostmi inštrukcij: zasebni inštruktorji, ki svoje znanje oglašujejo v za to namenjenih skupinah na Facebooku, podjetja, ki obljublajo kakovostne in strokovne inštrukcije za množico predmetov, ter učitelji in profesorji, ki se po končanem pouku učencem posvečajo še individualno. Kakovost in izkušnost tako od inštruktorja do inštruktorja variirata; ali izbrati študenta, ki z zasebnimi inštrukcijami zasluži nekaj dodatnega denarja, ali se obrniti na uveljavljeno podjetje? Gre v obeh primerih za isto stvar?

Julijina izkušnja

Inštruiranje je do študentov prijazno delo, saj velikokrat omogoča fleksibilnost in samostojno urejanje urnika, vendar gre za delo z ljudmi, ki zahteva veliko potrpežljivosti in premagovanja preprek. Kot inštruktorica naravoslovnih predmetov za mlajše, nekoliko starejše in najstarejše študente sem se dnevno spoprijemala z veliko nepredvidenimi izzivi. Večina se na inštruktorje obrne, ko res ni druge možnosti, ocenjevanja pa so tik pred vrati, kar na obe strani naloži veliko pritiska. V kratkem času je treba nadomestiti ogromno snovi, to pa zahteva zbranost, potrpežljivost in dobro voljo

na obeh straneh. Učenci (velikokrat tudi njihovi starši) želijo nekoga, ki bo pripravljen ponuditi pomoč vsak dan v tednu in ob točno določeni uri, tudi cena naj bo čim nižja, kakovost izvajanja pouka pa na najvišji ravni. Inštruktor mora tako do potankosti razumeti kurikulum, znati podajati primere in naloge, razložiti koncepte in za popotnico pustiti uporabne zapiske. Delo učiteljev in profesorjev se naenkrat zazdi veliko težje in premalo cenjeno, a vendar ne ostane nenagrajeno. Ponujanje inštrukcij mi je odprlo povsem drugačen pogled na učenje in potrpežljivost. Vsak učenec ima svoj način razumevanja snovi, kar zahteva prilagajanje in kreativnosti pri razlagi. Najlepši trenutki so tisti, ko učencu »klikne« in končno razume koncept, ki mu je bil prej tuj. Veliko študentov v najini anketi je prepoznalo Feynmanovo metodo učenja – razlaga snovi samemu sebi, kot da bi učil nekoga brez predznanja –, kar dejansko ponazarja delo inštruktorjev. Proces učenja drugih mi je pomagal poglobiti svoje znanje in razviti samozavest. Ne gre le za pomoč drugim, ampak za pomoč samemu sebi in dragoceno izkušnjo osebne rasti.

Čeprav na naši fakulteti že obstaja sistem tutorstva, izsledki ankete kažejo, da je med študenti močno prisotna želja po njegovi nadgradnji in večji vsebinski podpori. Kar 75 % anketirancev meni, da bi bila pomoč starejših študentov dobrodošla, 68 % si želi tutorje za posamezne predmete, 15 % pa bi bilo pripravljenih sodelovati kot tutorji. Ti podatki nakazujejo, da med študenti obstajata interes in pripravljenost za sodelovanje, kar odpira možnosti za vzpostavitev bolj strukturirane oblike medletniške pomoči. Na nas je, da ta potencial izkoristimo, idejo razvijemo naprej in soustvarimo okolje, v katerem se znanje deli, izkušnje prenašajo in odnosi med letniki krepijo. Naj fakulteta postane več kot le prostor predavanj in izpitov – naj postane prostor skupnosti.



04.1

Alternativna poliadenilacija – Ključ do celične raznolikosti in nova terapevtska obzorja

Avtorica strokovnega članka: Tina Urh

Recenzent: prof. dr. Simon Horvat

Da dobimo funkcionalne proteine, mora mRNA – prepis gena v jedru celice tudi uspešno dozoreti. To vključuje več procesov, med katere spada dodajanje 5' kape in poliA-repa na 3' konec prepisa ter spajanje oz. izrezovanje (angl. splicing), kjer se s pomočjo spliceosoma izrežejo introni in združijo eksoni gena. Znano dejstvo je, da spajanje velikokrat poteka alternativno – pri tem se določeni eksoni preskočijo ali skrajšajo, manj poznana pa je tudi alternativnost procesa poliadenilacije.

Alternativna poliadenilacija (APA) je postala nova paradigma regulacije človeških genov. Ti lahko z uporabo različnih mest poliadenilacije skrajšajo ali podaljšajo nekodirajoče regije na 3' koncu (3' UTR) prepisa gena in s tem vplivajo na njegovo prevajanje, lokalizacijo prevedenega proteina in interakcije le-tega z drugimi proteini neodvisno od stopnje izražanja mRNA ali nivoja spajanja. Tako lahko raznolikost poliadenilacije pomembno vpliva na razvoj in napredovanje številnih bolezni.

Poliadenilacija

Poliadenilacija je pri evkariontih kotranskripcijski proces dodajanja poliA repa (50 - 250 adenzin monofosfatov) na pre-mRNA, kar poleg drugih korakov procesiranja zagotavlja zrelo mRNA za nadaljnje prevajanje. Ocenjujejo, da kar 30 – 70 % genov proizvaja izooblike mRNA z različnimi 3' nekodirajočimi regijami. **Mesto poliadenilacije** (angl. **PAS**) določajo

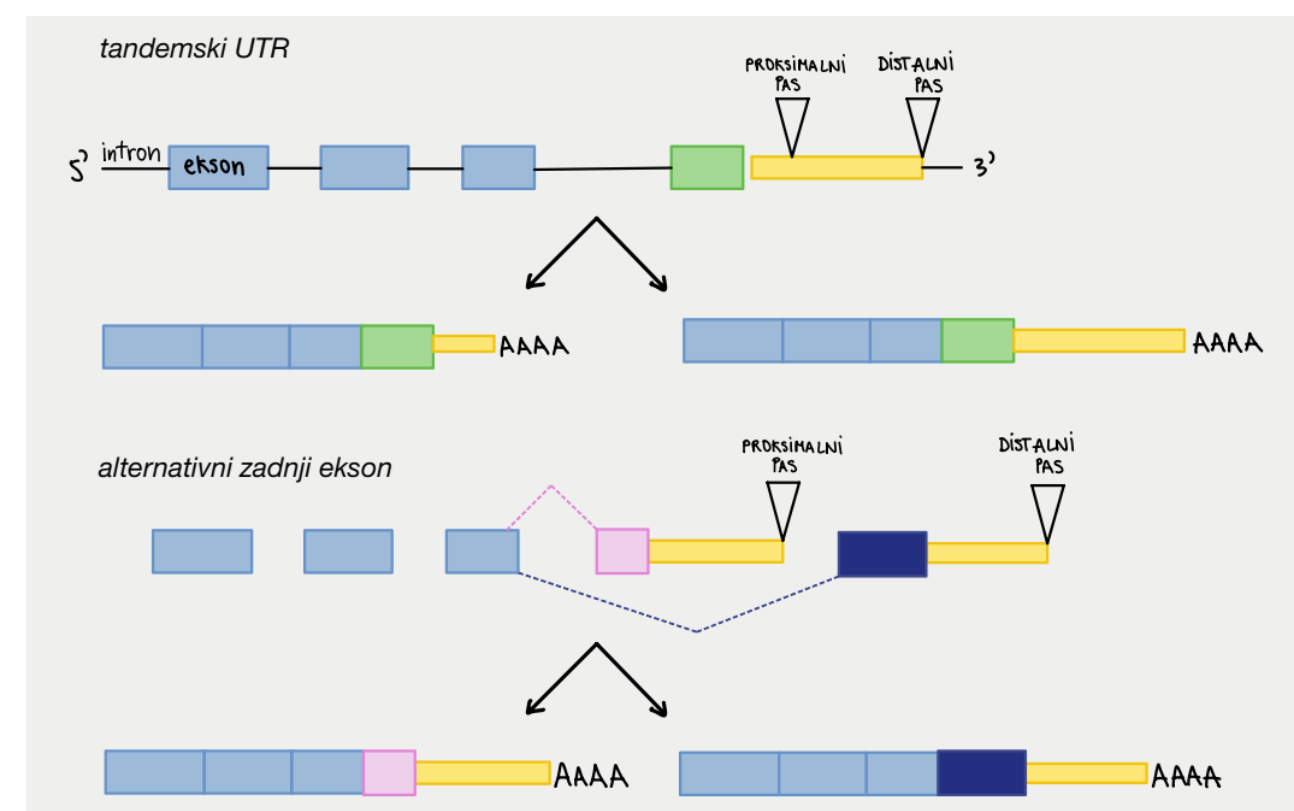
različni elementi - DNA zaporedja, ki delujejo kot signali za vezavo različnih faktorjev. Kot bi pričakovali, proces poliadenilacije zagotavlja interakcija večih proteinov, ki mora biti tudi natančno regulirana. mRNA vretenčarjev navzgor od mesta, kjer se zgodi cepitev in poliadenilacija, vsebuje heksamere nukleotidov A(A/U)UAAA, U-bogate elemente in UGUA elemente. Navzdol od poliadenilacijskega mesta je regija, bogata z G/U, ponovitve CA pa se

nahajajo neposredno ob mestu cepitve. Osrednji mehanizem za cepljenje in poliadenilacijo sestavljajo štirje kompleksi, kamor spada kar 20 glavnih proteinov. Ko je pre-mRNA razcepljena na izbranem mestu, poliA polimeraza ob pomoči jedrnega poliA-vezavnega proteina (angl. PABPN1) na 3' konec doda poliA rep, kar je ključnega pomena za stabilnost in izvoz mRNA.

Obstajajo različice mesta poliadenilacije, ki mu skupaj z drugimi dejavniki določajo njegovo učinkovitost. Procesi v celicah se večinoma izvajajo tkivno specifično, zato **veliko genov** vsebuje **več možnih mest poliadenilacije**. Ker se mRNA enakega gena v različnih tkivih začne različno zgodaj poliadenilirati, nastanejo **kratke in dolge izooblike zrele mRNA**, ki vplivajo tako na mRNA kot tudi na končne proteine. Z izbiro proksimalnega ali distalnega mesta, celice določijo dolžino 3' nekodirajočega dela (in včasih tudi kodirajočega) in s tem nivo izražanja genov.

Alternativna poliadenilacija

Alternativna poliadenilacija je pri evkariontskih organizmih **mehanizem genskega uravnavanja**, je tkivno specifična ter pomembna za celično proliferacijo in diferenciacijo. Proliferajoče celice izražajo transkripte s krajšimi 3' nekodirajočimi regijami v primerjavi z ne-proliferajočimi, medtem ko se med celično diferenciacijo 3' UTR podaljšujejo. Pri tem posamezne celice običajno izražajo le eno od možnih izooblik. Različno dolge mRNA izooblike so med drugim pomembne tudi v imunskem sistemu. Klasičen primer je gen za težko verigo imunoglobulina M (IgM), ki v plazemskih celicah s pomočjo intronskega PAS ustvari skrajšan zapis, in s tem kodira topno, izločeno protitelo IgM, medtem ko limfociti B uporabljajo distalni PAS za membranskim eksonom in s tem proizvedejo membransko vezane oblike IgM.



Slika 1: Dve glavni obliki dogodkov alternativne poliadenilacije. Pri tandemski 3' UTR alternativni poliadenilaciji nastanejo različno dolge izooblike mRNA z enakim kodirajočim zaporedjem, poliadenilacija na različnih zadnjih eksonih pa privede do različno skrajšanih, pogosto nefunkcionalnih proteinov.

Dogodki APA se na splošno delijo na dve glavni obliki: **tandemska 3'UTR APA** in **alternativna APA zadnjega eksona** (Slik 1). Pri tandemski 3' UTR UTR alternativni poliadenilaciji, ki je najpogostejša, je znotraj enega terminalnega eksona vključenih več PAS. Nastanejo izooblike mRNA, ki imajo enako kodirajoče zaporedje, vendar se razlikujejo po dolžini 3' UTR – krajši UTR nastane pri uporabi proksimalnega, daljši pa pri uporabi distalnega mesta. Protein, ki se prevede iz teh dveh oblik, je tako enak, saj se regija UTR nahaja za STOP kodonom translacije. Poliadenilacija na različnih zadnjih eksonih pa privede do različnega kodirajočega zaporedja, saj se ob preskočitvi enega eksona spremeni C-končno zaporedje proteina. Pride lahko do **skrajšanja proteina**, ki je lahko **nefunkcionalen**, ali pa se protein sploh ne izrazi, ker je takšna mRNA bolj dovzetna za degradacijo. Enako se lahko zgodi tudi, če se PAS nahaja znotraj introna, vendar je to zelo redko. Uporaba takših mest lahko deluje kot mehanizem za inhibicijo izražanja gena, kar izkoriščajo rakave celice.

Kontranskripcijsko?

Ker je reakcija cepitve in poliadenilacije mehansko in funkcionalno povezana s prekinitvijo transkripcije (RNA-polimeraza II nima določenega mesta za prekinitev transkripcije), se je vedno domnevalo, da vsi dogodki uravnavanja alternativne poliadenilacije potekajo kotranskripcijsko. Pri tem bi bila v skladu s prejšnjim modelom "kdor prej pride, prej melje" izbira proksimalnih PAS (signalov, ki se nahajajo bližje 5' koncu mRNA in se prepišejo najprej) neodvisna od izbire distalnih PAS (signali navzdol od proksimalnih, ki so večinoma močnejši). Izkazalo se je, da temu ni tako. Dokazali so, da je večkrat dolga izoblika le vmesna stopnja do nastanka kratke. Novi model zaporedne poliadenilacije predlaga, da se **več regulatornih dogodkov ne zgodi kotranskripcijsko**. RNA-polimeraza II najprej

potuje čez šibke proksimalne PAS, dokler ne naleti na distalnega. Če na proksimalni PAS ni vezanega nobenega poliA-faktorja, na distalnem kotranskripcijsko potečeta cepitev in poliadenilacija, dolga 3' UTR izoblika pa se hitro sprost v citoplazmo. V primeru, da so okoli proksimalnega PAS zbrani faktorji za cepitev ali so v pomanjkanju faktorji, ki preferenčno uporabljajo distalne signale oz. olajšujejo izvoz iz jedra, se dolge izooblike zadržijo v jedru. Tam potečeta dodatno posttranskripcijsko spajanje in cepitev na proksimalnih PAS, šele nato se obdelani (skrajšani) transkripti sprostijo v citoplazmo.

Uravnavanje APA

Alternativna poliadenilacija je regulirana tako na kotranskripcijski kot posttranskripcijski ravni. Pomembne so spremembe v izražanju ali količini osrednjih faktorjev ter njihova aktivnost. Preklop IgM v topno obliko se na primer zgodi ob povečani koncentraciji podenote poliadenilacijskega strojčka CPSF2, kar vodi do izbire proksimalnega alternativnega mesta. Kotranskripcijsko uravnavanje vključuje transkripcijske faktorje podaljševanja in terminacije, RNA-zaporedja (PAS heksamer in elementi navzgor in navzdol od PAS) ter DNA-zaporedja in strukture (G-kvadrupleksi in druga mesta, ki zaustavljajo podaljševanje RNA-polimeraze II). Prav tako obstaja več proteinskih povezav med glavnimi elementi spliceosoma in poliadenilacijskimi faktorji. Posttranskripcijsko uravnavanje zagotavljajo faktorji izvoza RNA in regulatorji njene stabilnosti in prevajanja, kot so miRNA in RNA-vezavni proteini. Regulacijsko vlogo imajo tudi fiziološke spremembe, kot je gostota nukleosoma. Čeprav so bili dogodki procesiranja 3' konca mRNA odkriti že pred desetletjem, še vedno poznamo le nekatere proteine, ki jih regulirajo, mehanizmi pa ostajajo v veliki meri nepojasnjeni.

Učinki APA

Alternativna mesta poliadenilacije imajo večplastne učinke, saj 3' UTR velikokrat vsebujejo pomembne elemente, ki vplivajo na **stabilnost mRNA**, kot so vezavna mesta za mikroRNA (miRNA) in RNA-vezavne proteine (RBP). APA lahko te elemente vključuje ali pa izključuje. Izooblike z daljšimi 3' UTR lahko vsebujejo destabilizacijske motive ali mesta miRNA, ki povzročajo manjšo stabilnost, medtem ko se krajše izoforme 3'UTR lahko takšni regulaciji izognejo. APA vpliva tudi na **lokalizacijo mRNA**; tu so pomembni cis-regulatorni elementi v 3' UTR, ki uravnavajo, kje v celici se bo po prevajanju znašel protein. V nevronih se na primer mRNA s podaljšanimi 3' UTR pogosto lokalizirajo v dendritih ali sinapsah. Sprememba v krajšo izobliko 3' UTR lahko prepreči takšno lokalizacijo in mRNA ostane v celici. Čeprav večina dogodkov APA ne spremeni zaporedja beljakovin, so izjeme pogosto ključne za diferenciacijo in delovanje celic. Poleg že omenjene spremembe topnega v membranski IgM s pomočjo APA, ta spremeni tudi funkcijo gena TCF7L2. Skrajšana oblika tega transkripcijskega faktorja je pogosto visoko izražena v bolnikih s sladkorno boleznijo tipa 2. Pomemben je tudi biološki pomen alternativne poliadenilacije v procesih, kot so vstop v celični cikel, odzivi na stres in diferencijski signali, saj lahko **celice ob dražljajih**, medtem ko se transkripcija gena normalno nadaljuje, **hitro spremenijo** razmerje izoblik mRNA in s tem prilagodijo **raven nastalih proteinov**. Alternativna poliadenilacija ima nazadnje tudi velik vpliv na samo **učinkovitost prevajanja mRNA**.

APA v boleznih

Spremembe v profilih alternativne poliadeniacije so povezane z večimi boleznimi. Ker APA uravnava mRNA in nivoje proteinov, lahko spreminja izražanje onkogenov,

tumorsupresorskih genov in genov, ki sodelujejo pri metabolizmu.

Ena od najbolj dokumentiranih sprememb APA pri boleznih je globalno skrajšanje 3' UTR v rakavih in visoko proliferajočih celicah. Študije so pokazale, da tumorske celice pogosteje uporabljajo proksimalne PAS in proizvajajo mRNA s krajšimi 3' UTR, kar omogoči, da se protoonkogeni izognejo z miRNA in RBP posredovani represiji. Posledica so višje ravni proteinov brez sprememb v številu mRNA, kar je velik uspeh za rakavo celico. Znana je tudi tumorska hiperaktivacija signalne poti mTOR, kjer gre prav tako za povišano uporabo proksimalnih PAS. Skrajša se 3' UTR genov, ki kodirajo ubikvitin ligaze, ki bi morale ciljati na onkoproteine. Ti so posledično bolj stabilni in spodbujajo k nastanku tumorjev.

Pomembne spremembe APA so bile opažene tudi v nevroloških motnjah. Možgani imajo edinstveno regulacijo APA, kjer nevroni običajno izražajo mRNA z izjemno dolgimi 3'UTR. Za Huntingtonovo bolezen so na primer značilne krajše izooblike gena huntingtina (HTT). Disregulirana alternativna poliadenilacija je močno povezana tudi z metabolnimi boleznimi. Vpliva na izražanje genov, ki sodelujejo pri presnovi ogljikovih hidratov in lipidov, kar povečuje verjetnost za imunske, endokrine in presnovne bolezni. Pomembne tarče raziskav so mRNA izooblike genov, ki sodelujejo pri uravnavanju inzulina in glukoze ter njenem prenosu ter genov, ki sodelujejo pri sintezi, prenosu in oksidaciji lipidov. Pri presnovnih motnjah je v zadnjih letih še posebej veliko pozornosti namenjene raziskovanju APA pri debelosti, medtem ko se celotno področje še vedno razvija in za popolno razumevanje mehanizmov in posledic APA pri presnovnih motnjah zahteva nadaljnje študije.

Terapevtski pristopi

Novi terapevtski pristop, predvsem za zdravljenje metabolnih bolezni in določenih vrst raka, bi lahko predstavljalo uravnavanje ali »preklapljanje« izooblik ter izbiranje mest alternativne poliadenilacije. Temu bi lahko služile **male interferenčne** RNA (slika 2), ki bi jih usmerili na podaljšan del 3' UTR, s čimer bi znižali izražanje dolgih izooblik. Drugi način bi lahko bili modificirani protismerni začetni oligonukleotidi, komplementarni bližnjemu PAS, ki bi preprečili vezavo kompleksa za cepljenje in poliadenilacijo. S tem bi lahko zmanjšali izražanje kratkih 3' UTR izooblik. Seveda eno izmed najbolj perspektivnih

metod predstavlja sistem CRISPR/Cas, s katerim bi maskirali PA signal: vodilna RNA bi usmerila encimsko neaktiven Cas13 na območje pred želenim signalom in preprečila spoznavanje signala s kompleksom za ceptev in poliadenilacijo. Lahko bi uporabili tudi encimsko neaktiven Cas9 in vodilno RNA za regijo nižje od poliadenilacijskega signala, ki bi za PAS ovirala podaljševanje RNA polimeraze II in s tem povečala uporabo želenega PAS. Ena izmed možnosti bi bila tudi, da bi s Cas9 RNP odstranili celoten signal ali pa naredili mutagenozo signala s homologno rekombinacijo, kjer bi CRISPR/Cas9 prinesel tudi mutirano matrično DNA.

Ker je uravnavanje poliadenilacije pomemben korak v izražanju genov in lahko mutacije v elementih DNA, ki kontrolirajo poliadenilacijo, vodijo v bolezni, je to področje povzročilo veliko zanimanje tudi za farmakološko manipulacijo alternativne poliadenilacije. Kot dodatke k terapijam, ki bi jih potencialno lahko klinično uporabili za odpravljanje genske disregulacije alterantivne poliadenilacije, navajajo topoizomerazne inhibitorje, histonske deacetilaze, CDK12 in 13 (od ciklina odvisni kinazi).

Eksperimentalni napredek, zlasti visoko zmogljivo sekvenciranje 3' koncev, je močno pospešil raziskave alternativne poliadenilacije in omogočil globalno mapiranje mest APA ter s tem razkril za določene bolezni specifični APA-profil. Kljub temu pa ostajajo številna odprta vprašanja o natančnih mehanizmih, ki določajo izbiro APA in o celotnem spektru njenih funkcionalnih posledic. Nadaljne raziskave obetajo boljše razumevanje regulacije genskega izražanja in odpirajo možnosti za nove terapevtske pristope targetiranja 3' koncev mRNA.

Viri:

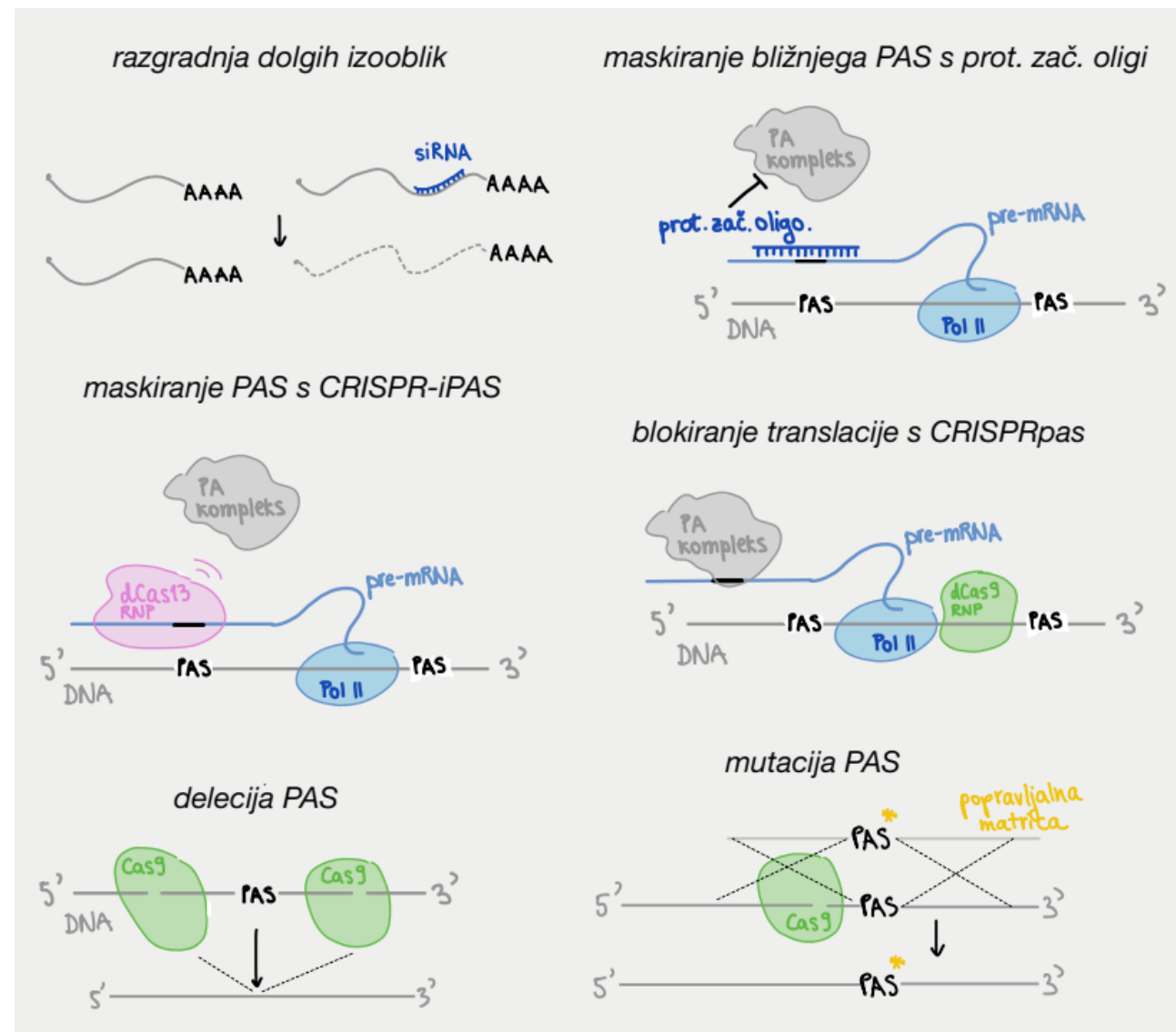
B. Tian, J. L. Manley: Alternative polyadenylation of mRNA precursors. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* 2016, 18, 18–30.

S. Mitschka, C. Mayr: Context-specific regulation and function of mRNA alternative polyadenylation. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* 2022, 23, 779–796.

P. Tang, Y. Yang, G. Li, L. Huang, M. Wen, W. Ruan, X. Guo, C. Zhang, X. Zuo, D. Luo: Alternative polyadenylation by sequential activation of distal and proximal PolyA sites. *Nat. Struct. Mol. Biol.* 2022, 29, 21–31.

S. Danckwardt, M. W. Hentze, A. E. Kulozik: 3' end mRNA processing: molecular mechanisms and implications for health and disease. *EMBO J.* 2008, 27, 482–498.

M. K. K. Leung, A. Delong, B. J. Frey: Inference of the human polyadenylation code. *Bioinform.* 2018, 34, 2889–2898.



Slika 2: Možni načini regulacije alternativne poliadenilacije. Novi terapevtski pristopi, ki ciljajo na regulacijo APA, vključujejo RNA-interferenco, protismerne začetne oligonukleotide in sisteme CRISPR/Cas.

04.2

Diagnostika Alzheimerjeve bolezni z uporabo fluorescenčnih molekulskih sond

Avtorica strokovnega članka: Daša Čebulj

Recenzent: doc. dr. Gregor Gunčar

Alzheimerjeva bolezen je kronična progresivna nevrodegenerativna bolezen, ki je najpogostejši vzrok za demenco. Prizadene več deset milijonov ljudi po svetu in je eden izmed vodilnih vzrokov smrti med osebami, starejšimi od 65 let. Razvoj Alzheimerjeve bolezni še ni povsem razložen, trenutne hipoteze pa vključujejo amiloidne plake, sestavljene iz amiloidov beta, in nevrofibrilarne pentlje iz proteina Tau. Raziskave kažejo, da se patološke spremembe v možganih začnejo že več let pred pojavom prvih simptomov. Trenutno še ni zdravil, ki bi lahko popravila poškodbe možganov v končnih stadijih bolezni. Razvoj zanesljivih diagnostičnih metod za zgodnjo detekcijo Alzheimerjeve bolezni je zato ključnega pomena za pravočasno ukrepanje, saj je zdravljenje v zgodnjih fazah bolezni lahko učinkovitejše.

BIOKEMIJSKI VIDIKI ALZHEIMERJEVE BOLEZNI

Pregled

Amiloidni prekursorski protein (APP) je membranski glikoprotein, ki sodeluje pri razvoju nevronov. Pri proteolizi APP lahko nastane peptid, ki se imenuje amiloid beta (Aβ) in je vpleten v nastanek amiloidnih plakov. Ti lahko poškodujejo nevrone in so značilni za možgane bolnikov z Alzheimerjevo boleznijo. Druga glavna karakteristika Alzheimerjeve bolezni so

nevfibrilarne pentlje, ki nastanejo ob razpadu normalnega citoskeleta živčnih celic. Amiloidni plaki in nevrofibrilarne pentlje se običajno najprej pojavijo v hipokampusu in entorinalni skorji ter se med boleznijo razširijo na preostale dele možganov. V končnem stadiju so možgani močno atrofirani, kar ima za posledico hudo demenco. Najpogostejši vzrok za smrt je pljučnica, saj imajo bolniki težave s požiranjem in lahko delci hrane vstopijo v dihalni sistem, v katerem se potem razrastejo patogeni mikroorganizmi [1].

Zgradba amiloidnega prekursorskega proteina (APP)

APP je integralni membranski protein, prisoten v različnih tkivih, še posebej pa v nevronih. Pojavlja se v različnih izooblikah, ki so dolge od 695 do 770 aminokislin. Njegove funkcije vključujejo regulacijo tvorbe in popravljanja sinaps ter anterogradnega transporta. Njegova kristalna struktura še ni popolnoma določena, znane pa so kristalne strukture posameznih delov. APP je sestavljen iz transmembranske domene, glikozilirane N terminalne regije na zunajcelični strani in C terminalne regije v citosolu. Zunajcelična regija je veliko večja od znotrajcelične, sestavljena pa je iz domen E 1 in E 2, ki ju povezujejo AcD, KPI (angl. Kunitz-type protease inhibitor domain), ter iz domene OX 2. Domena E 1 je bogata s cisteinskimi ostanki in vsebuje dve poddomeni, GFLD (angl. growth factor like domain), ki veže heparin in stimulira rast nevrinov, ter CuBD (angl. copper-binding domain), ki veže baker in cink. KPI ni prisoten v izooblikah APP, ki jih najdemo v nevronih (APP695). Domena E 2 je glikozilirana [1].

Proteoliza amiloidnega prekursorskega proteina (APP)

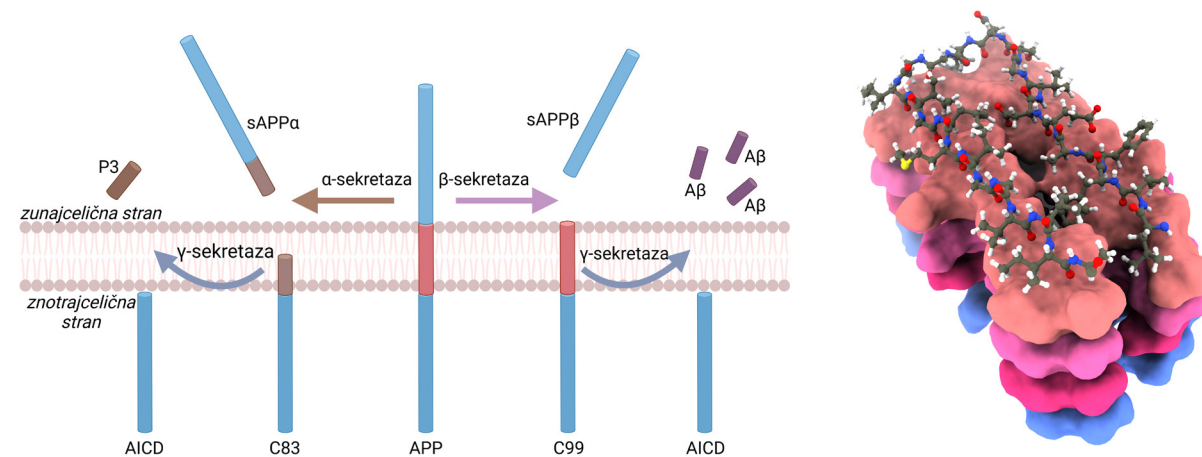
APP najprej cepi α-sekretaza ali β-sekretaza. Če ga cepi α-sekretaza, gre za neamiloidogeno pot, če ga cepi β-sekretaza, pa za amiloidogeno pot, torej pri tej nastane amiloid beta. Shema proteolize je prikazana na sliki 1. Pri cepitvi z α-sekretazo nastaneta N terminalni ostanek sAPPα in C terminalni ostanek C 83, pri cepitvi z β-sekretazo pa nastaneta N terminalni ostanek sAPPβ in C terminalni ostanek C 99. Nato γ-sekretaza cepi oba C terminalna ostanka. Pri tem v neamiloidogeni poti iz C 83 nastaneta AICD (angl. amyloid intracellular domain) in p 3, v amiloidogeni poti pa iz C 99 dobimo AICD in amiloid beta. Ker γ-sekretaza lahko cepi C 99 na različnih mestih, lahko nastanejo različne izooblike amiloida beta. Najpomembnejši sta

Aβ 1–40 in Aβ 1–42. S tvorbo amiloidnih plakov je povezana predvsem izooblika Aβ 1–42, saj je bolj nagnjena k tvorbi agregatov, ker ima bolj hidrofoben C-konec v primerjavi z Aβ 1–40. Encimski kompleks γ-sekretaze sestoji iz štirih različnih proteinov, med katerimi sta najpomembnejša Presenilin 1 in Presenilin 2. Mutacije v genih za ta proteina spremenijo njuno aktivnost, kar lahko vodi v povečano produkcijo Aβ 1–42 in s tem amiloidnih plakov. Te mutacije tako povečajo tveganje za razvoj Alzheimerjeve bolezni [1].

Razgradnja amiloida beta

Za vzdrževanje homeostaze se mora nastajajoči amiloid beta tudi odstranjevati. To se dogaja s proteolitično razgradnjo, z aktivnim transportom iz možganov, razgradnjo s pomočjo mikroglij in z odlaganjem v netopne agregate. Pomembna je predvsem proteolitična razgradnja, za katero so odgovorne proteaze NEP (angl. Neprilysin), ECE (angl. endothelin converting enzyme), IDE (angl. insulin degrading enzyme), plazmin itn.

ApoE (Apolipoprotein E) je transportni protein za prenos lipidov. Regulira transport, odstranjevanje in agregacijo amiloida beta. Astrocite in mikroglije izločajo ApoE v intersticijsko tekočino možganov, kjer potem interagira z amiloidom beta. Od teh interakcij je odvisno, ali se bo amiloid beta agregiral. Polimorfizem gena za ApoE je glavni genetski dejavnik tveganja za pojav Alzheimerjeve bolezni po 65. letu. ApoE ima tri različne izooblike: ApoE2, ApoE3 in ApoE4, med katerimi je najpogostejša ApoE3. Ljudje z izoobliko ApoE2 imajo manjše tveganje za pojav Alzheimerjeve bolezni, medtem ko je pri tistih z izoobliko ApoE4 tveganje večje, saj ApoE2 zavira, ApoE4 pa spodbuja nastajanje netopnih vlakenc [1].



Slika 1: Proteoliza amiloidnega prekursorskega proteina (APP) – levo; struktura fibril amiloida beta – desno. Amiloid beta nastane v amiloidogeni poti cepitve APP. Naprej β-sekretaza cepi APP, nato pa γ-sekretaza cepi C terminalni ostanek C 99, pri čemer nastane amiloid beta. Fibrile amiloida beta se tvorijo z združevanjem več monomerov amiloida beta.

Alzheimerjeva bolezen

Monomeri Aβ se lahko združujejo v oligomere, naprej v protofibrile in amiloidna vlaknenca oz. fibrile (slika 1) in končno v amiloidne plake, ki so značilni za možgane bolnikov z Alzheimerjevo boleznijo. Oligomeri Aβ so topni in se lahko razširijo v možganih, amiloidna vlaknenca pa so v nasprotju z oligomeri večja in netopna. Oligomeri so zato škodljivejši od amiloidnih vlakenc in plakov. Različne oblike Aβ lahko najdemo tudi v možganih zdravih oseb, vendar v manjših količinah. Čeprav mehanizem, s katerim agregacija Aβ prispeva k razvoju Alzheimerjeve bolezni, še ni povsem pojasnjen, je znano, da prekomerno kopičenje Aβ povzroča poškodbe nevronov, izgubo sinaps in motnje v krvnem pretoku skozi možganske kapilare.

Povzroči lahko aktivacijo nevroglij in prekomerno izločanje citokinov, kar lahko še dodatno poškoduje nevrone. Agregacija Aβ lahko vodi tudi v hiperfosforilacijo proteina Tau in nastanek nevrofibrilarnih pentelj (NFTs). Te so druga glavna karakteristika možganov bolnikov z Alzheimerjevo boleznijo in so tudi razlog, da to bolezen umeščamo med taupatije. Protein Tau stabilizira mikrotubule, ki so gradniki citoskeleta. V hiperfosforilirani obliki je afiniteta proteina Tau za mikrotubule manjša,

zato se protein začne agregirati v nevrofibrilarne pentlje, ki med drugim ovirajo aksonski transport. Do hiperfosforilacije proteina Tau lahko pride tudi v odsotnosti Aβ, zato povezava med njima še ni dokončno znana.

Čeprav sam pojav Alzheimerjeve bolezni še ni popolnoma razjasnjen, je prisotnost agregatov amiloida beta in proteina Tau značilna patološka sprememba, povezana s to boleznijo. Zato ta agregata predstavljata velik potencial kot biomarkerja [1].

FLUORESCENČNE SONDE ZA ZGODNJO DIAGNOZO ALZHEIMERJEVE BOLEZNI

Pregled

Trenutni postopki za zgodnjo diagnozo Alzheimerjeve in tudi nekaterih drugih nevrodegenerativnih bolezni niso zanesljivi, poleg tega pa so neprimerni za preventivni pregled celotne populacije. Razvoj terapije za te bolezni je zato otežen. Minimalno invazivni testi ex vivo, s katerimi bi lahko zaznali biomarkerje v telesnih tekočinah, kot je na primer kri, bi lahko bistveno pripomogli k rešitvi tega problema.

Eden potencialnih testov so fluorescenčne molekulske sonde, ki bi se vezale na agregate amiloida beta in proteina Tau ter omogočile njihovo zaznavo v telesnih tekočinah.

Za obarvanje amiloidnih plakov v rezinah možganskega tkiva bolnikov z Alzheimerjevo boleznijo sta v rabi barvili tioflavin T (ThT) in kongo rdeče, vendar pa ti barvili ne omogočata zaznave oligomerov amiloida beta, ki so ključnega pomena v patogenezi bolezni. Poleg tega nista primerni za teste ex vivo.

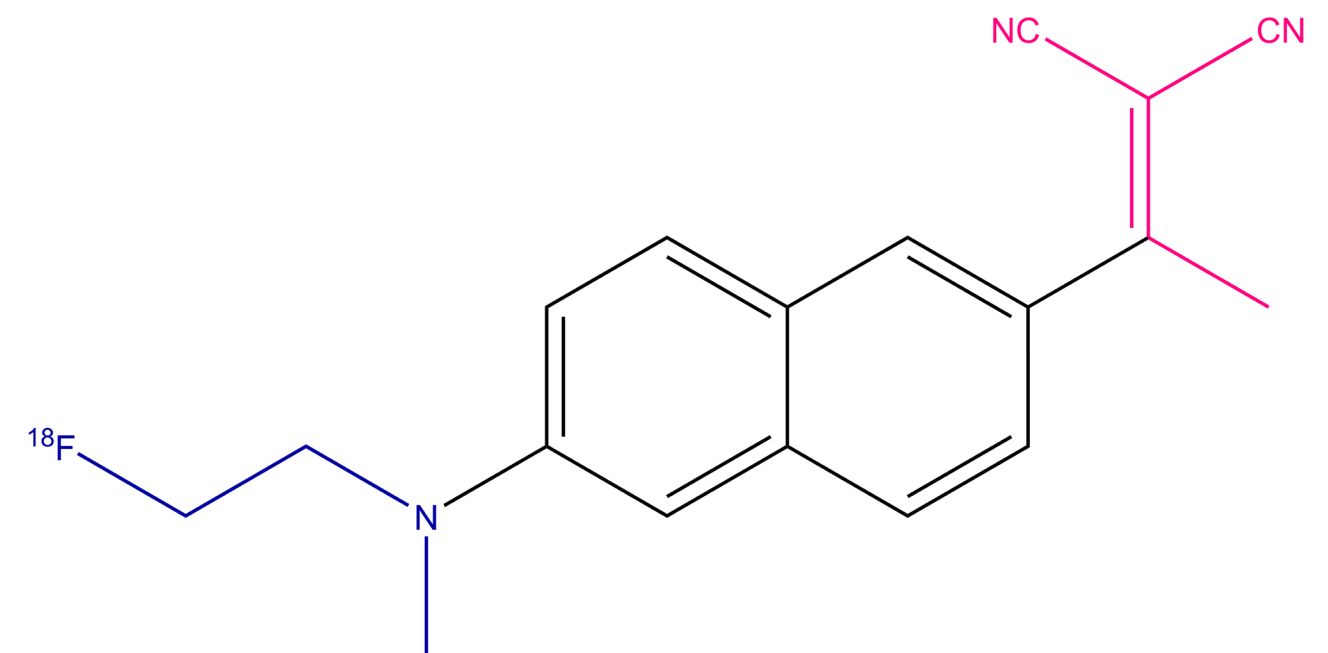
V preteklosti so že poskušali razvijati radiooznačene fluorescenčne sonde za uporabo v pozitronski emisijski tomografiji (PET), vendar to zahteva drago specializirano opremo, uporabo kratkoživih radioizotopov in invazivnejše postopke. Zaradi teh razlogov so PET-sonde neprimerne za uporabo v širši populaciji.

Patološke spremembe v možganih se odražajo tudi v različnih količinah agregatov amiloida beta ter proteina Tau v cerebrospinalni tekočini in krvi. Zadnje bi bila lahko osnova za diagnostično tehniko ex vivo, s katero bi

se izognili uporabi specializirane opreme in omogočili manj invazivno testiranje večjega števila ljudi. Ker je koncentracija teh agregatov v krvi zelo nizka (femtomolarna) in so trenutne tehnike na osnovi protiteles za njihovo zaznavo drage, fluorescenčne molekulske sonde predstavljajo hitrejšo in cenejšo alternativo [2].

Zasnova fluorescenčnih molekulskih sond

Ena prvih sond je bila [18F]FDDNP (2-(1-(6-((2-fluoroetil)(metil)amino)naftalen-2-il)etiliden)malononitril), ki je prikazana na sliki 2. Omogočila je vizualizacijo in vivo napredovanja Alzheimerjeve bolezni prek določanja agregatov amiloida β in proteina Tau z uporabo pozitronske emisijske tomografije (PET). Njeno odkritje je navdihnilo razvoj številnih novih sond, ki bi imele sposobnost vezave na agregate amiloida β in/ali proteina Tau ter omogočale njihovo določitev s fluorescenčnimi spektroskopskimi tehnikami [2].



Slika 2: [18F]FDDNP je bila ena izmed prvih sond za in vivo PET-slikanje agregatov Aβ v možganih in dolgo časa tudi edina radiooznačena sonda za slikanje nevrofibrilarnih pentelj pri bolnikih z Alzheimerjevo boleznijo. Na njeni osnovi so bili razviti novi analogi z izboljšanimi lastnostmi.

Osnovna struktura takih sond sestoji iz treh delov:

1. elektrondonorske skupine (angl. donor, D);
2. elektronprivlačne skupine (angl. acceptor, A);
3. konjugiranega Π -sistema, ki povezuje obe skupini (angl. bridge, B).

Idealna fluorescenčna sonda naj bi imela naslednje lastnosti:

1. visoko selektivnost in afiniteto za agregate amiloida β in/ali proteina Tau;
2. odlično fotostabilnost;
3. absorpcijski in emisijski spekter, različen od avtofluorescence ozadja v biološkem vzorcu;
4. solvatokromni učinek (tj. optične lastnosti, odvisne od okolja, npr. polarnosti in pH);
5. velik Stokesov premik (tj. premik maksimuma valovne dolžine absorpcijskega in emisijskega spektra);
6. visok kvantni izkoristek (tj. število izsevanih fotonov glede na število absorbiranih fotonov) [2, 3, 4, 5].

Za agregate proteina Tau je značilen motiv valin–glutamin–izolevcin–valin–tirozin–lizin (VQIVYK), za agregate amiloida beta pa je ključen motiv lizin–levcin–valin–fenilalanin–fenilalanin–alanin (KLVFFA). S prilagajanjem strukture fluorescenčnih sond želijo doseči, da bi se vezale v žepke s temi specifičnimi motivi. Ugotovljeno je bilo, da pri tem pomaga paličasta struktura fluorescenčnih sond [3, 4].

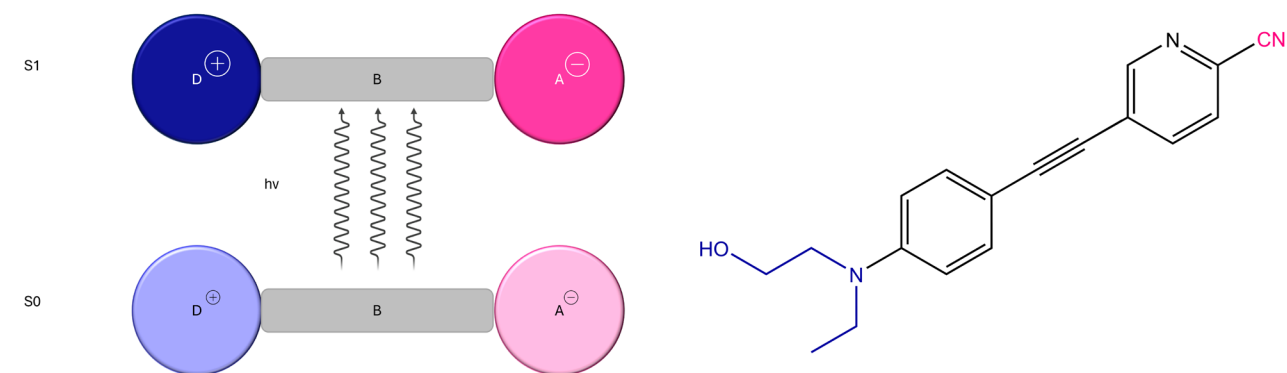
Kvantnomehanske simulacije

Študije TDDFT (angl. Time-dependent density functional theory) fluorescenčnih sond tipa D–B–A so razkrile, da gre pri njihovem vzbujanju za vrsto fotoekscitacijskega procesa, imenovano »twisted intramolecular charge transfer« (TICT). Njegova značilnost je, da ima osnovno stanje planarno ali kvaziplanarno geometrijo, ki pa se ob vzbujanju zvije. Elektronska gostota se pri tem premesti z donorske na akceptorsko skupino; gre torej za prenos elektrona z D na A.

Pri tem nastane vzbujeno stanje s kationskim D⁺ in anionskim A⁻. Gre za zelo polarno vzbujeno stanje, ki ustreza prehodu S₀ → S₁ (slika 3). Ta prehod je večinoma (70 %) narave HOMO–LUMO. HOMO ima delokaliziran značaj z veliko elektronsko gostoto na donorski skupini in Π -konjugiranem mostu, LUMO pa ima večjo elektronsko gostoto na akceptorski skupini in ima značaj Π^* . Osnovno stanje v teh molekulah je že polarno, TICT vzbujeno stanje pa je znatno bolj polarno. V polarnem okolju zato te molekule tvorijo elektrostatske interakcije z molekulami topila ali aminokislinskimi ostanki že v osnovnem stanju. V vzbujenem stanju pa so te interakcije še močnejše, kar stabilizira stanje S₁ glede na osnovno stanje S₀. Ko stanje S₁ preide v stanje S₀, se emitira foton, katerega energija nam da informacijo o stabilizaciji vzbujenega stanja. Različna okolja fluorescenčnih sond različno stabilizirajo stanje TICT, s čimer vplivajo na energijo emitiranega fotona in Stokesov premik. To vzbujeno stanje torej omogoča raziskovanje interakcij s proteini. Čeprav je prehod iz TICT vzbujenega stanja v osnovno stanje kvantnomehansko prepovedan, nizkoenergijske asimetrične vibracije v vzbujenem stanju povzročajo šibko fluorescenco.

Za učinkovitost delovanja fluorescenčnih sond je pomemben kvantni izkoristek, ki ga lahko povečamo z zagotavljanjem bolj planarne strukture vzbujenega stanja. Avtofluorescenca bioloških vzorcev lahko omejuje uporabo fluorescenčnih sond, saj se običajno pojavlja v območju do 550 nm. Eden izmed ciljev zasnove teh molekul je torej tudi povečanje valovne dolžine fluorescence, na kar vpliva predvsem izbira akceptorske skupine. Za sonde tipa D–B–A je značilen tudi solvatokromni učinek, in sicer je intenziteta emisije večja v bolj nepolarnih topilih. V polarnem okolju (npr. vodnih raztopinah) naj sonde ne bi emitirale svetlobe, v bolj nepolarnem okolju (npr. žepkih v agregatih različnih proteinov) pa naj bi fluorescirale. Primer takšne nove molekulske sonde je

5-((4-(etil(2-hidroksietil)amino)fenil)etnil) pikolinonitril, ki je prikazan na sliki 3. Pripravili so jo Rejc in sod. leta 2024. Zasnovana je bila za identifikacijo agregatov amiloida beta in je izkazala izjemno selektivnost, občutljivost, topnost, fotostabilnost, visok kvantni izkoristek ter zelo malo nespecifičnih interakcij; kot taka predstavlja bistveno izboljšavo v primerjavi s FDDNP [2, 3].



Slika 3: Shema vzbujanja D–B–A fluorescenčnih sond iz osnovnega (S₀) v prvo vzbujeno singletno stanje (S₁) – levo; primer nove molekulske sonde – desno.

Zaradi pomanjkanja zanesljivih metod za zgodnjo diagnozo Alzheimerjeve bolezni in potrebe po minimalno invazivnih pristopih fluorescenčne molekulske sonde predstavljajo obetavno rešitev. Pri njihovem razvoju so lahko v pomoč kvantnomehanske simulacije. Napredek je očiten v izboljšanih lastnostih novih sond. Do zdaj so bili izvedeni predvsem post mortem in in cellulo testi, vendar je treba izvesti še več raziskav, da bi ocenili dejansko uporabnost te metode v okviru testov ex vivo.

Viri

[1] G. Chen, T. Xu, Y. Yan, Y. Zhou, Y. Jiang, K. Melcher, H. E. Xu: Amyloid Beta: Structure, Biology and Structure-Based Therapeutic Development. *Acta Pharmacol. Sin.* 2017, 38, 9, 1205–1235. DOI: 10.1038/aps.2017.28.

[2] L. Rejc, D. Knez, G. Molina - Aguirre, A. Espargaró, J. Kladnik, A. Meden, L. Blinc, M. Lozinšek, R. D. Jansen - van Vuuren, M. Rogan, B. A. Martek, J. Mlakar, A. Dremelj, A. Petrič, S. Gobec, R. Sabaté, M. Bresjanac, B. Pinter, J. Košmrlj: Probing Alzheimer's Pathology: Exploring the next Generation of FDDNP Analogues for Amyloid β Detection. *Biomed. Pharmacother.* 2024, 175. DOI: 10.1016/j.biopha.2024.116616.

[3] G. Molina - Aguirre, S. Chakraborty, J. Košmrlj, L. Vuković, B. Pinter: Photophysics of Molecular Probes for Amyloid- β Detection: Computational Insights into the Roles of Probe Linker and Functional Groups. *J. Phys. Chem. A* 2024, 128, 34, 7055–7067. DOI: 10.1021/acs.jpca.4c01547.

[4] L. Rejc, L. Šmid, V. Kepe, Č. Podlipnik, A. Golobič, M. Bresjanac, J. R. Barrio, A. Petrič, J. Košmrlj: Design, Syntheses, and in Vitro Evaluation of New Fluorine-18 Radiolabeled Tau-Labeling Molecular Probes. *J. Med. Chem.* 2017, 60, 21, 8741–8757. DOI: 10.1021/acs.jmedchem.7b00764.

[5] D. Su, W. Diao, J. Li, L. Pan, X. Zhang, X. Wu, W. Mao: Strategic Design of Amyloid- β Species Fluorescent Probes for Alzheimer's Disease. *ACS Chem. Neurosci.* 2022, 13, 5, 540–551. DOI: 10.1021/acscchemneuro.1c00810.

04.3

γ-aminomaslena kislina in anksioznost

Avtorica strokovnega članka: Špela Puhov

Recenzentka: doc. dr. Vera Župunski

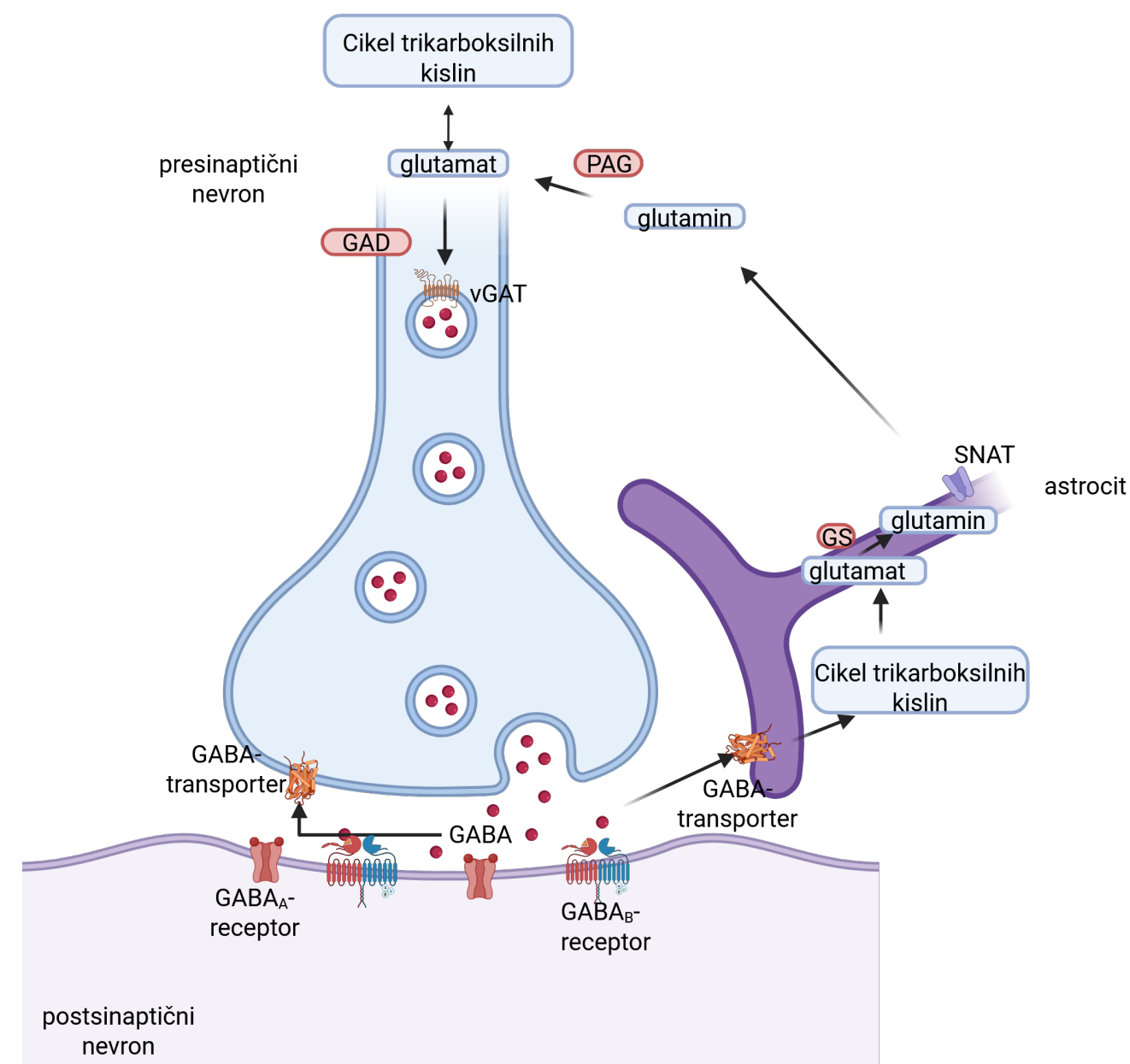
Poznano nam je, da se signali po našem živčevju prenašajo z akcijskim potencialom, ki vzdraži nevrone, vendar niso vsi signali tako pomembni, da bi se naši možgani morali odzvati nanje in porabljati dragoceno energijo. Zato se je v osrednjem živčnem sistemu razvil mehanizem, ki preprečuje, da bi se nevroni po nepotrebem vzdražili. Glavna inhibitorna molekula v telesu je γ-aminomaslena kislina (GABA), ki se sintetizira v GABA-ergičnih nevronih. Ti predstavljajo eno tretjino vseh nevronov v naših možganih. GABA je protiutež vzbujajočemu nevrotransmitterju glutamatu, s čimer poskrbi za regulacijo vzdraženosti nevronov. Ta inhibitorni mehanizem igra eno izmed ključnih vlog pri asociativnem učenju, in sicer pomaga tvoriti spomin na podlagi strahu, tako pa pripomore k zagotavljanju kortikalne plastičnosti. Kortikalna plastičnost je sposobnost reorganizacije in tvorbe novih povezav med nevroni glede na posameznikove izkušnje, življenjski slog in okolje, v katerem živi [1].

GLAVNI INHIBITORNI SISTEM V OSREDNJEM ŽIVČEVJU

Glutamat/GABA-glutaminski cikel

Nevroni ne morejo sami sintetizirati glutamata in posledično nevrotransmitterja GABA iz glukoze, saj ne izražajo encima piruvat karboksilaze. Deloma ga lahko pridobijo iz cikla trikarboksilnih kislin, večinoma pa prekursorje privzamejo iz zunajceličnega matriksa. Potrebne spojine za sintezo nevrotransmitterjev nevronom priskrbijo sosednje celice, astrociti, ki sintetizirajo prekursor glutamin. Astrociti lahko

iz sinapse, v katero so nevroni izločili GABA, to privzamejo in jo prek transaminacije, cikla trikarboksilnih kislin, glutamata pretvorijo v glutamin. Nato glutamin izločijo v zunajcelični matriks, v katerem ga privzamejo nevroni in ga s fosfat-aktivirano glutaminazo pretvorijo nazaj v glutamat. Ta je substrat glutamat dekarboksilaze, ki odcepi α-karboksilno skupino glutamata in tako sintetizira GABA v citosolu. Nevrotransmitter se nato shrani v veziklih, v katere se prenese s pomočjo vezikularnih GABA-transporterjev. Večino izločene GABA (okoli 80 %) pa presinaptični nevroni privzamejo nazaj iz sinaptične špranje; le manjši del se je reciklira v astrociti in vrne nazaj v obliki glutamina. Tako se zagotovi zadostna dostopna



Slika 1: Glutamat/GABA-glutaminski cikel. GABA nastaja v internevronih iz glutamata, ki pride iz cikla trikarboksilnih kislin, ali pa ga celica privzame iz zunajceličnega matriksa. Reakcijo katalizira glutamat dekarboksilaza (GAD), nato pa se živčni prenašalec zapakira v vezikle, v katerih čaka na ustrezen signal. Po depolarizaciji presinaptičnega nevrone poteka eksocitoza veziklov, ki ji po opravljeni nalogi sledi reabsorpcija GABA v nevrone ali v manjši meri recikliranje v astrociti. V astrociti nato iz GABA prek več zaporednih reakcij nastane glutamat. Ta se pretvori v glutamin s pomočjo glutamin sintetaze (GS) in izloči v zunajcelični matriks prek z natrijem sklopljenih transporterjev (SNAT). Nazadnje poteka še privzem glutamina v nevrone in nastanek glutamata s pomočjo fosfat-aktivirane glutaminaze (PAG).

količina te neproteinogene aminokisline, saj transaminacija v astrociti poteka, le če je na voljo α-ketoglutarat, ki prevzame aminokislino in omogoči nastanek glutamata. Ker je GABA pomemben živčni prenašalec, so se v možganih razvili zelo učinkoviti in specifični transportni

sistemi z visoko afiniteto do te aminokisline. Pri transportu GABA nazaj v presinaptične nevrone sodelujejo štirje napetostno odvisni transporterji oz. GABA-transporterji. Transport je sklopljen s kotransportom dveh natrijevih in enega kloridnega iona, saj ionski gradient

favorizira transport v celice. Če natrijevi in kloridni ioni niso prisotni, nevroni ne morejo privzeti GABA, podroben mehanizem transporta pa še vedno ostaja neraziskan [1] (slika 1).

Transport glutamina v nevrone je kompleksnejši od GABA-transporta; pri njem sodelujejo z natrijem sklopljeni transporterji nevtralnih aminokislin – Na⁺/glutamin simporterji. Pri transportu iz astrocitov pa se glutamin prenese skupaj z natrijevim ionom v zunajcelični matriks, v nasprotno smer pa se prenese en proton. Poleg tega mehanizma se lahko glutamin iz astrocitov prenese tudi z drugimi prenašalci, vendar ti niso tako pomembni v možganih odraslih sesalcev.

Glutamat dekarboksilaza

Glutamat dekarboksilaza katalizira pretvorbo glutamata do GABA, pri čemer je stranski produkt ogljikov dioksid. V živčnem sistemu lahko najdemo dva izoencima, in sicer GAD65 ter GAD67. Zadnji je ključen za sintezo živčnega prenašalca, prisoten pa je v somah in dendritih nevronov, medtem ko se GAD65 nahaja na koncih aksonov, na katerih naj bi bil povezan s sinaptičnimi vezikli. GAD67 ima višjo afiniteto do kofaktorja piridoksal fosfata, zaradi česar je stalno aktiven, v nasprotju z GAD65, ki se večinoma nahaja v apoobliki. L-glutamat se veže na kofaktor, intermediat pa pomaga stabilizirati kalcijev ion, čemur sledi odcep ogljikovega dioksida, kar naredi reakcijo ireverzibilno. Pomanjkanje kofaktorja torej onemogoči sintezo GABA in vodi do raznih patoloških stanj. V aktivnem mestu je GABA stabilizirana z argininskim in glutamatnim ostankom. Aktivno mesto encima se nahaja na stiku dveh podenot; encim je namreč homodimer, zato mutacije genskega zapisa za ta encim pripeljejo do bolezenskih stanj, kot je shizofrenija. Na stiku podenot se prav tako nahaja kratka zanka, ki regulira encimsko aktivnost. Ta je pri GAD65 prosto gibljiva, kar omogoči stransko reakcijo in posledičen izstop PLP-ja iz aktivnega mesta, kar

vodi do avtoinhibicije. Pri GAD67 zanka prekriva aktivno mesto in ga tako zaščiti, kar omogoča nemoteno sintezo nevrottransmitterja [1].

GABA-receptorji

GABA se po sprostitvi v sinaptično špranjo veže na GABA-receptorje na postsinaptičnem nevronu pa tudi na presinaptičnem. Do zdaj sta znana dva tipa receptorjev, tip A in tip B, ki se izražata v različnih tipih nevronov.

GABA_A-receptorji

Receptorji tipa A so od liganda odvisni ionski kanalčki, ki se ob signalu odprejo in v celico spustijo kloridne ione, kar vodi do zmanjšanja vzbuditve nevrone. Gre za pentamerne transmembranske receptorje, sestavljene iz dveh podenot α , dveh podenot β , tretja podenota pa lahko variira glede na vrsto živčnih celic, in sicer so znane γ , δ in ϵ . Podenote lahko interagirajo z različnimi znotrajceličnimi proteini, kar vpliva na tvorbo skupkov GABAA-receptorjev, regulacijo procesov v nevronih, diferenciacijo v nevronih pa tudi na kortikalno plastičnost. Na aktivnost receptorjev vplivajo kinaze in fosfataze, vendar pa je rezultat regulacije odvisen od vrste aktiviranega encima in celice, npr. protein kinaza A zmanjša jakost odziva postsinaptičnega nevrone, protein kinaza C pa ga okrepi. Poleg tega lahko na receptorje vplivajo tudi cinkovi ioni in protoni, povečanje oz. zmanjšanje občutljivosti receptorja pa je odvisno od tipa podenot, ki ga sestavljajo, saj so te različno alosterično regulirane. V to skupino uvrščamo tudi tako imenovane GABAA-p-receptorje, v starejši literaturi znane kot GABAC-receptorji. Gre za pentamere, ki jih sestavljajo izključno podenote ρ , delujejo pa podobno kot običajen tip A-receptorjev. GABAA-receptorji, ki vsebujejo podenoto δ , omogočajo hitro tonično inhibicijo, ki zmanjša vzdraženost nevronov, saj ti postanejo hiperpolarizirani po vstopu kloridnih ionov v celico [1].

GABA_B-receptorji

GABAB-receptorji so z G-proteini sklopljeni receptorji, zato so klasificirani tudi kot metabotropični receptorji. Prisotni so na presinaptičnem in postsinaptičnem nevronu. Ti heterodimeri so zgrajeni iz podenot R1 in R2, ki sta sestavljeni iz sedmih transmembranskih α -vijačnic. Na N-konec podenote R1 se v zunajceličnem matriksu veže GABA, na R2 pa se vežejo alosterični modulatorji, ki vplivajo na afiniteto vezave ligandov na R1, saj sta C-konca obeh podenot povezana znotraj celice. Na citosolni strani podenote R2 je vezan G-protein, ki ob vezavi nevrottransmitterja razpade na G α in G $\beta\gamma$ (slika 1). Aktivnost podenot je regulirana s kinazami in fosfatazami. GABAB-receptorji tvorijo povezave s kalijevimi kanalčki prek G-proteinov, prav tako inhibirajo adenilil ciklazo in zmanjšajo delovanje od napetosti odvisnih kalcijevih kanalčkov, kar vpliva na izločanje živčnih prenašalcev in posredno na vzdraženost nevronov. Njihovo delovanje torej povzroči fazično inhibicijo, ki je sicer počasnejša in dlje trajajoča [2].

Delovanje v internevronih

Ko pride do vzbuditve presinaptičnega nevrone, se val depolarizacije razširi po aksonu do presinaptičnega končiča, na katerem se nahajajo vezikli z GABA. Zaradi akcijskega potenciala se odprejo od kalcija odvisni napetostni kanalčki, kar omogoči tok kalcijevih ionov v celico. Ti se lahko vežejo na sinaptotagmin, membranski protein sekretornih veziklov, ki sproži interakcijo sinaptobrevina z drugimi SNARE-proteini, kar vodi do fuzije vezikla z membrano ter eksocitoze nevrottransmitterja v sinaptično špranjo. Ob vezavi na receptorje tipa A se ti odprejo in v celico spustijo kloridne ione, ki jih je veliko več v zunajceličnem matriksu. Presežek negativnega naboja znotraj nevrone pa pomeni hiperpolarizacijo, zato akcijski potencial ne more več nastati in nevron se ne more več vzbuditi. Vezava na receptor tipa

B pripelje do konformacijskih sprememb receptorja, ki se prenesejo prek zanke v citosolu do podenote R2. To omogoči, da podenota G α disociira od G-proteina in se veže na adenilil ciklazo. V celici se zmanjša koncentracija sekundarnega sporočevalca, cikličnega AMP, kar vpliva na protein kinazo A, ki sodeluje pri sinaptični plastičnosti. Sinaptična plastičnost je sposobnost tvorbe novih sinaptičnih povezav glede na posameznikove izkušnje in posredno vpliva na dolgotrajen spomin. Podenota G $\beta\gamma$ se v postsinaptični celici veže na z G-proteini aktivirane kalijeve kanalčke, ki omogočijo izstop kalijevih ionov iz celice, kar vodi do manjše frekvence akcijskih potencialov in posledično manjšega izločanja živčnih prenašalcev, to pa povzroči dlje trajajočo inhibicijo. Na presinaptični celici se ta podenota veže na od kalcija odvisne napetostne kanalčke, ki regulirajo vstop kalcijevih ionov glede na depolarizacijo membrane. Kanalčki Ca se zaprejo in kalcijevi ioni prenehajo vstopati v nevrone, s čimer se prekine eksocitoza veziklov z GABA ter aktivira privzem nevrottransmitterja iz sinaptične špranje z GABA-transporterji. To prekine prenos inhibitornega signala in nevroni se repolarizirajo [1, 2].

ANKSIOZNOST IN RAZVOJ STRAHU

Anksioznost je čustveno stanje, v katerem prevladujejo občutki strahu, brezpomočnosti, skrbi in nelagodja. Znanih je pet glavnih tipov anksioznosti: splošna anksioznostna motnja, panična motnja, obsesivno-kompulzivna motnja, socialna anksioznostna motnja in posttravmatska stresna motnja. V ekstremnih primerih lahko bolezen pusti hude posledice na možganski funkciji in strukturi. Od strahu se ta psihosomatska motnja razlikuje po tem, da je strah čustveni odziv na signal iz okolja, ki predstavlja dejansko nevarnost, medtem ko pri anksioznosti posameznik grožnjo poveže z

negotovostjo, kar pomeni, da grožnja in njena posledica nista točno definirani. Pri tvorbi in shranjevanju spominov, ki smo jih pridobili na podlagi strahu, je ključna amigdala. V njej se nahajajo predvsem GABA-ergični nevroni, zato je manj vzbujena od preostalih regij v možganih. Šele ko se v okolju pojavi grožnja, se nevroni v amigdali vzbudijo, kar sproži občutke strahu, in nas posredno pripravijo na odziv nanj. V nasprotnem GABA-ergični nevroni poskrbijo za utišanje signalov, ki ne predstavljajo nevarnosti. Če so ti mehanizmi okvarjeni ob boleznih ali ponavljajočem se stresu, tudi signal, ki ne predstavlja grožnje, povzroči vzbuditev amigdale in posledično neutemeljen strah ali celo depresijo. Pri anksioznostnih motnjah se signal z nepredvidljivo posledico poveže z grožnjo in amigdala se začne na vsak tak signal odzivati. Pri hujših oblikah anksioznostnih motenj je bilo v možganih opaženo manjše izražanje GABAA-receptorjev, kar še dodatno okrne inhibitorni mehanizem. Na splošno je znano, da je pri vseh tipih te bolezni zmanjšana sinteza pa tudi eksocitoza GABA in povečana eksocitoza glutamata, ki je ekscitatorni nevrottransmitter [3]. Za lajšanje simptomov se najpogosteje uporabljajo agonisti GABAA-receptorjev. Navadno se pacientom predpišejo benzodiazepini, ki ob vezavi na receptor povečajo afiniteto do GABA. Prepustnost ionskega kanalčka se poveča, kar omogoči večjo hiperpolarizacijo, vendar pa s seboj prinašajo tudi hude stranske učinke pri dolgotrajnem jemanju, kot so: izguba spomina, agresija, paranoja, razdraženost in zasvojenost, zato se predpišejo le za krajša časovna obdobja [4]. Patologija GABA-inhibitornega sistema še zdaleč ni povsem znana; potrebnih bo še ogromno raziskav, ki se bodo posvetile še drugim biokemijskim dejavnikom, za dopolnitev dozdajšnjih dognanj o mehanizmu anksioznosti in odkritje varnejših substanc, ki ne bodo povzročale zasvojenosti ali hudih stranskih učinkov.

Viri

- [1] E. Siucinska: Γ -Aminobutyric acid in adult brain: an update. *Behav. Brain Res.* 2019, 376, 112224, doi: 10.1016/j.bbr.2019.112224.
- [2] M. Terunuma: Diversity of structure and function of GABAB receptors: a complexity of GABAB-mediated signaling. *Proc. Jpn. Acad. Ser. B Phys. Biol. Sci.* 2018, 94, 10, 390–411, doi: 10.2183/pjab.94.026.
- [3] H. Möhler: The GABA system in anxiety and depression and its therapeutic potential. *Neuropharmacology.* 2012, 62, 1, 42–53, doi: 10.1016/j.neuropharm.2011.08.040.
- [4] P. Nuss: Anxiety disorders and GABA neurotransmission: a disturbance of modulation. *Neuropsychiatr. Dis. Treat.* 2015, 11, 165–175, doi: 10.2147/NDT.S58841.

05.1

Znanstveni kotichek s prof. dr. Kristino Djinović Carugo

Avtorica: prof. dr. Kristina Djinović Carugo

Moja karierna pot se je začela s študijem kemije na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo (FKKT) v Ljubljani v študijskem letu 1981. Kemija me je privlačila že od majhnih nog – svojega dedka, ki je bil prav tako kemik, sem kot deklica pogosto spraševala: »Kako se naredi steklo?«, »Kako se pridobiva železo?« in podobno.

Po koncu študija sem se zaposlila kot mlada raziskovalka na FKKT, kjer sem magistrirala na področju strukturnih študij kratkih vodikovih vezi z rentgensko difrakcijo. Strukturna biologija me je popolnoma prevzela in želela sem se v njej specializirati; takrat v Sloveniji to področje še ni bilo vzpostavljeno in je bila strukturna biologija na splošno še bolj na začetkih. Za primerjavo: leta 1990 je bilo v Protein Data Bank (PDB) shranjenih približno 230 struktur bioloških makromolekul, danes pa jih je že več kot 235.000.

S štipendijo tržaške Area per la Ricerca sem nato nadaljevala doktorski študij na Univerzi v Pavii, takratnem središču strukturne biologije v Italiji. Tam sem se ukvarjala s strukturo in funkcionalno analizo superoksid dismutaz ter doktorirala na Univerzi v Ljubljani leta 1992. Podoktorski študij sem opravila med letoma

1992 in 1995, najprej v Pavii, nato pa sem se pridružila EMBL v Heidelbergu kot podoktorska raziskovalka in pozneje kot znanstvena sodelavka. Tam sem začela raziskovati strukturo aktinskega citoskeleta, zlasti proteinov, ki se nanj vežejo in ga organizirajo v višje strukture, kot so snopi in mrežja.

Leta 1999 sem prevzela vodenje novega Laboratorija za strukturno biologijo na sinhrotronu Elettra v Trstu, pozneje pa tudi vodenje celotne Enote za strukturno biologijo in kristalografijo v Elettri. Nadaljevala sem raziskave aktinskega citoskeleta in eksotičnih superoksid dismutaz, hkrati pa sem bila odgovorna za linijo za rentgensko difrakcijo in sipanje rentgenskih žarkov pri malih kotih. V tem času je FKKT vzpostavil študij biokemije, skupaj z dr. Janezom Plavcem (Kemijski inštitut) pa sva začela predavati predmet »Metode določanja 3D-strukture bioloških makromolekul«, ki ga skupaj izvajava od študijskega leta 2001/02 naprej.

Leta 2004 sem sprejela profesuro molekularne strukturne biologije na Univerzi na Dunaju, na kateri sem med letoma 2009 in 2022 tudi vodila Oddelek za strukturno in računalniško

biologijo laboratorijev Max Perutz. Bolj sem se osredinila na mišični citoskelet, posebej na Z-diske, ki označujejo meje sarkomer – osnovnih funkcionalnih enot prečnoprogastih mišic. Z-diski sidrajo aktinske filamente, ohranjajo mehansko stabilnost miofibril in omogočajo učinkovit prenos sile.

V raziskavah poskušamo odgovoriti na ključna vprašanja:

- Kakšni sta hierarhija in kooperativnost pri sestavljanju sarkomer?
- Kako se proteini Z-diska organizirajo iz začetno neurejenih kompozicij v mehansko stabilen, a prilagodljiv kompleks, sposoben prenosa sile?
- Kako bolezni in mutacije porušijo to natančno uravnoteženo sestavljanje?

Pri raziskovalnem delu uporabljamo pristop integrativne strukturne biologije na rekonstituiranih kompleksih, na katerih se prepletajo klasične strukturnobiološke metode, kot so: jedrska magnetna resonanca (NMR), makromolekularna kristalografija, sipanje rentgenskih žarkov pri majhnih kotih (SAXS) in elektronska mikroskopija, ter komplementarne metode, kot so: molekularna in celična biofizika, biokemija in bioinformatika. Te metode niso ključne le v začetnih fazah raziskav, ampak tudi pri validaciji in potrjevanju rezultatov.

Strukturna biologija se vse bolj usmerja k preučevanju struktur bioloških makromolekul v njihovem naravnem okolju, torej v celici. Skladno s tem tudi sami uvajamo uporabo cryoelektronske tomografije, hkrati pa načrtujemo vključitev nanorentgenskega slikanja (nano X-ray imaging). Ti pristopi nam bodo omogočili raziskave na najvišji ravni ločljivosti, ob hkratni integraciji visokoločljivih tehnik in metod, ki omogočajo poglobljen vpogled v celični kontekst delovanja makromolekul.

Sredi leta 2022 sem prevzela funkcijo direktorice EMBL Grenoble, ob tem pa ostajam

delno zaposlena na Univerzi na Dunaju. Nadaljujem raziskave na področju mišičnega aktinskega citoskeleta, hkrati pa še vedno predavam na obeh univerzah z osredinjenostjo na strukturno biologijo in molekularno biofiziko.

Zame se je namen študija in poučevanja z leti preoblikoval – od preprostega podajanja znanja k usposabljanju za reševanje znanstvenih vprašanj. Teorija ostaja ključna, a enako pomembna je tudi njena uporaba. Pri poučevanju strukturne biologije poudarjamo, katere metode so najprimernejše za določene vrste sistemov – na primer za dinamične komplekse ali velike makromolekularne strukture –, in predstavljamo sodobne raziskovalne trende.

Poučevanje mi veliko pomeni in me iskreno veseli – še posebej, ko vidim študente, ki z zanimanjem poslušajo in zastavljajo pronicljiva vprašanja, ki pogosto prispevajo k izboljšanju predavanj. Iskreno lahko rečem, da sem nekatere stvari v kristalografiji zares dojela šele, ko sem jih morala razumljivo razložiti svojim študentom.



05.2

Kako do boljšega znanja in več veselja pri učenju in poučevanju kemije?

Avtorici: Ana Hočevnar in prof. dr. Vesna Ferk Savec

Ana Hočevnar je študentka magistrskih študijskih programov kemija in kemijsko izobraževanje na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani.

Prof. dr. Vesna Ferk Savec je redna profesorica za področje kemija v izobraževanju na Pedagoški fakulteti Univerze v Ljubljani. Pri svojem raziskovalnem delu se posveča preučevanju in razvoju sodobnih didaktičnih pristopov v podporo učenju in poučevanju kemije, s poudarkom na uporabi različnih slogov eksperimentalnega dela, vključevanju zelene kemije in didaktične uporabe digitalnih tehnologij v pedagoški proces ter si prizadeva za spodbujanje razvoja kompetenc za trajnostne preobrazbe v izobraževalnem procesu.

Kemija kot ena izmed temeljnih naravoslovnih ved ima pomembno vlogo na mnogih področjih našega življenja, znanje kemije pa je pomembno gibalno razvoja znanosti in gospodarstva. Zato je bistvenega pomena, da učenci in dijaki tekom izobraževanja razvijejo poglobljeno razumevanje temeljnih kemijskih pojmov in procesov ter znajo pridobljeno znanje uporabiti v situacijah, ki so povezane z njihovim vsakdanjim življenjem. Prav tako je pomembno, da pri mladih spodbujamo veselje do eksperimentiranja in razvojno–raziskovalnega dela ter pritegnemo interes mladih, ki bodo na področju kemije oblikovali svojo poklicno pot. Zaradi skrbi za prihodnost našega planeta je ključno tudi, da pri mladih spodbujamo ozaveščenost o nujnosti

trajnostnega načina razmišljanja in ravnanja. Pri načrtovanju in izvajanju učinkovitega pedagoškega procesa je smiselno, da izhajamo iz znanstveno–raziskovalnih spoznanj s področja kemijskega in naravoslovnega izobraževanja, katerega članki so danes enostavno dostopni v polnem besedilu npr. preko *Web of Science* (WoS), *Scopus*, *ERIC*, itd. Pomembno prelomnico razumevanja pomena raziskovanja v podporo pedagoškemu procesu predstavlja članek »Kakšno raziskovanje je bistveno za dobro poučevanje?« avtorja W. A. Patrick (1924)¹, ki je izšel v prvi številki revije *The Journal of Chemical Education* (JCE). Članek temelji na avtorjevih intuitivnih prepričanjih o domnevno učinkovitih pristopih poučevanja kemije ter je

sprožil številne diskusije in prihodnji razvoj na empiričnih študijah temelječega kemijskega izobraževanja.

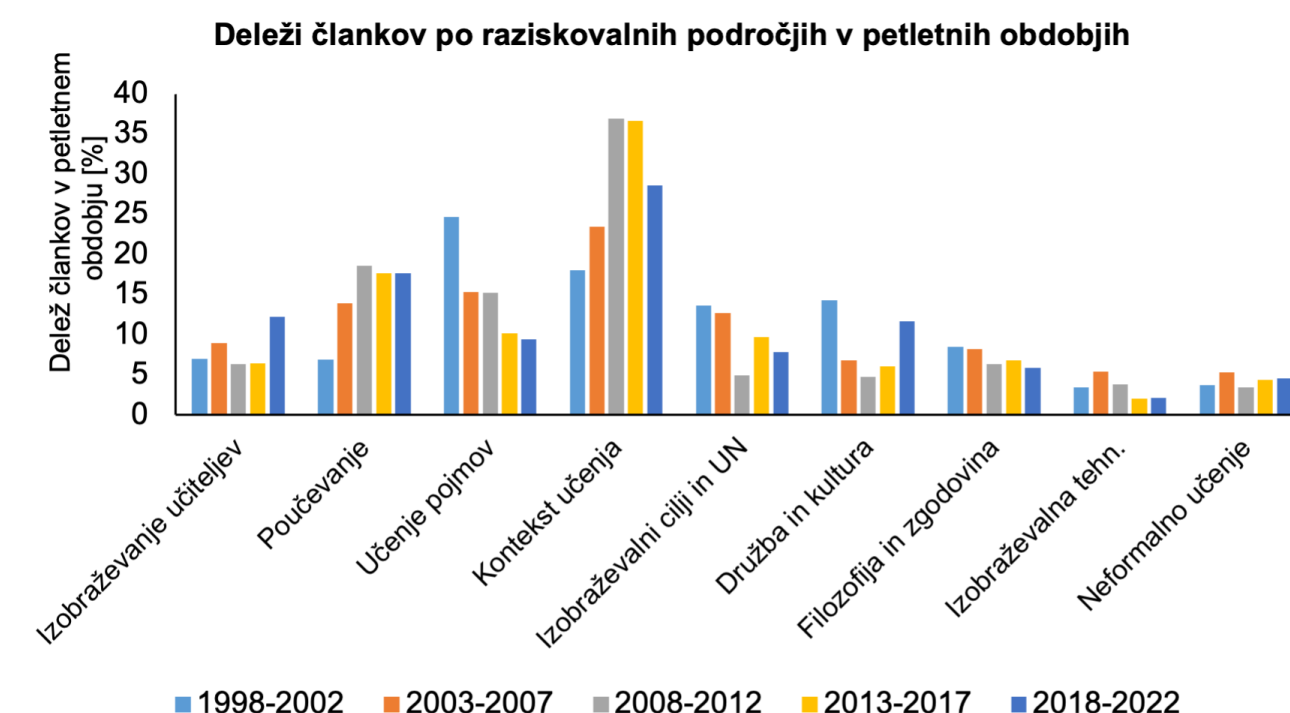
Analiza mednarodnih trendov v naravoslovnem izobraževanju izhajajoč iz člankov objavljenih prispevkov v treh najbolj odmevnih revijah s področja naravoslovnega izobraževanja - *International Journal of Science Education (IJSE)*, *Journal of Research in Science Teaching (JRST)*, *Science Education (SE)* je pokazala, da je bilo največ pozornosti v zadnjih desetletjih namenjenih preučevanju področij*: družbeno-naravoslovnih kontekstov, pristopov učenja in poučevanja naravoslovnih pojmov, izobraževanja učiteljev naravoslovnih vsebin, izobraževalnih ciljev in učnih načrtov s področja naravoslovja, kulturnih in družbenih dejavnikov učenja naravoslovja, filozofije in zgodovine naravoslovja, izobraževalnih tehnologij ter neformalnega učenja naravoslovja (Graf 1).²

Analiza trendov kemijskega izobraževanja v Sloveniji v obdobju od leta 1991 naprej

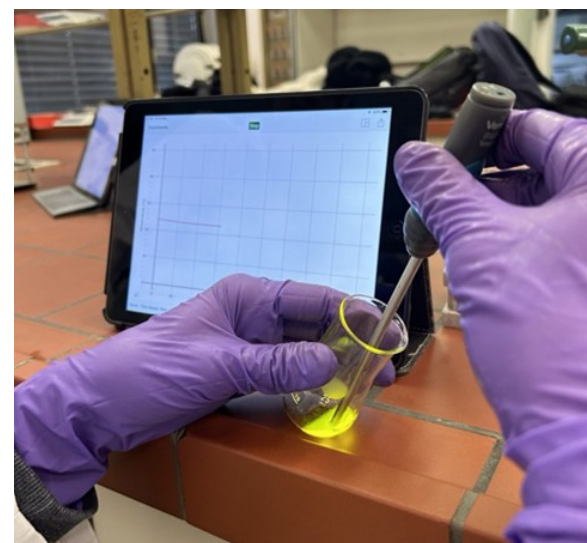
obsega štiri glavna raziskovalna področja: submikroskopske reprezentacije, eksperimentalno delo, razumevanje osnovnih kemijskih pojmov in izobraževanje učiteljev kemije (Devetak & Ferk Savec, 2020)³.

Omenjena raziskovalna področja so tesno povezana s t.i. **trojno naravo kemijskih pojmov**, na katero je leta 1982 prvi opozoril Alex Johnstone⁴, in se nanaša na tri ravni predstavitev kemijskih pojmov in procesov: makroskopsko (zaznavno s prostimi očmi), submikroskopsko (delčno) in simbolno (formule, enačbe). Poglobljeno usvajanje kemijskih pojmov in procesov namreč zahteva, da učeči povezuje in preklaplja med temi tremi ravni, kar je za mnoge učence in dijake zahtevno ter kaže na potrebo po poučevanju, ki eksplicitno podpira integracijo teh ravni⁵.

Vloga eksperimentalnega dela v kemijskem izobraževanju je bila v mednarodnem in nacionalnem kontekstu pogosto preučevana. Tradicionalna izvedba eksperimentalnega dela



Graf 1: Deleži člankov namenjeni prevladujočim področjem raziskovanja po petletnih obdobjih (povzeto po Lin, Lin, Potvin, & Tsai, 2024, str. 522)². Imena področij* so zapisana v skrajšani obliki.



Slika 1: Samostojno eksperimentalno delo je ključen del učenja kemije na vseh ravneh izobraževanja

poteka v šolskih laboratorijih in od učečih se pogosto ne zahteva aktivnega vključevanja, saj so tema, postopek in analiza podatkov vnaprej določeni. Raziskave kažejo, da preoblikovanje laboratorijskih dejavnosti na način, ki v večji meri spodbuja aktivno raziskovanje učečih se, njihovo postavljanje raziskovalnih vprašanj oz. hipotez, samostojno izdelavo načrta eksperimentalnega dela v sklopu učenja z raziskovanjem, interpretacijo in argumentacijo rezultatov, v večji meri vodi do znanja kemije z razumevanjem v primerjavi s tradicionalnim pristopom⁵.

Številne raziskave poudarjajo tudi ključno vlogo povezovanja **naravoslovnih pojmov z vsakdanjim življenjem učencev in dijakov**, v t.i. družbeno-naravoslovnih kontekstih učenja naravoslovja. Omenjeni pristop stremi k umestitvi naravoslovnih vsebin v družbene in življenjske okoliščine, kjer je znanje uporabno, ter k izhajanju iz izkušenj učečih se. Vključevanje lokalnega okolja in podjetij prav tako prispeva k relevantnosti. Učinkovito poučevanje naravoslovja poleg kontekstualizacije zahteva jasno opredelitev učnih ciljev in aktivno sodelovanje učečih se z uporabo metod, kot so učenje z raziskovanjem, argumentiran dialog, modeliranje in formativno preverjanje znanja⁵.

Priporočila na ravni EU^{6,7,8} predlagajo smiselno **vključevanje raziskovalnih spoznanj iz področja kemijskega in naravoslovnega izobraževanja v šolsko prakso** celotne izobraževalne vertikale. Upoštevanje teh smernic je ključno za učinkovitejše usvajanje znanja in spretnosti ter za povečanje zanimanja učečih se za naravoslovje.

V Sloveniji si za omenjeno prizadevamo na različne načine. Raziskovalci s področja kemijskega izobraževanja smo aktivni v več nacionalnih in mednarodnih projektih ter v okviru raziskovalnega programa ARIS P5-0451: *Strategije vzgoje in izobraževanja za trajnostni razvoj ob uporabi inovativnih na učečega osredinjenih izobraževalnih pristopov*. Primer prizadevanj so tudi dejavnosti Centra KemikUm – *razvojno-inovacijskega učnega laboratorija*⁹, kjer si vse od njegove ustanovitve leta 2017 prizadevamo za izmenjavo izkušenj in znanja ter za povezovanje med vsemi deležniki kemijskega izobraževanja (s poudarkom na učencih in dijakih, aktivnih in prihodnjih učiteljih, VIS učiteljih in sodelavcih ter lokalnim okoljem). Center KemikUm je aktiven tudi v mednarodni skupnosti *Science on Stage Europe*¹⁰, ki povezuje navdušene učitelje s področja naravoslovnega izobraževanja.

Viri:

¹ Patrick, W. A. (1924). What kind of research is essential to good teaching? [Journal Article]. *Journal of Chemical Education*, 1(1). <https://doi.org/10.1021/ed001p16>

² Lin, T. J., Lin, T. C., Potvin, P., & Tsai, C. C. (2024). Research trends in science education from 2018 to 2022: a systematic content analysis of publications in selected journals. *International Journal of Science Education*, 47(4), 510–538. <https://doi.org/10.1080/09500693.2024.2340811>

³ Devetak, I., & Ferk Savec, V. (2020). Chemical education research in Slovenia after 1991: a systematic review [Journal Article]. *CEPS Journal*, 10(1), 9–36. <https://doi.org/10.26529/cepsj.818>

⁴ Johnstone, A.H (1982). Macro- and microchemistry. *School Science review*, 64(227), 377–379.

⁵ Cooper, M. M., Stowe, R. L. (2018). Chemistry Education Research – From Personal Empiricism to Evidence, Theory and Informed Practice. *Chemical Reviews*, 118, 6053–6087. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.chemrev.8b00020>

⁶ European Commission: Joint Research Centre, Mazzeo Ortolani, G., Pokropek, A., Karpinski, Z., & Biagi, F. (2024). STEM competencies, challenges, and measurements: a literature review, (G.Mazzeo Ortolani, editor, Z. Karpinski, editor, F.Biagi, edito) Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/9390011>

⁷ European Commission: Directorate-General for Education, Youth, Sport and Culture, Evagorou, M., Puig, B., Bayram, D., & Janeckova, H. (2024). Addressing the gender gap in STEM education across educational levels: analytical report: executive summary, Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2766/32315>

⁸ European Commission: European Education and Culture Executive Agency, Baidak, N., Horváth, A., Motiejūnaitė-Schulmeister, A., & Noorani, S. (2022). Increasing achievement and motivation in mathematics and science learning in schools, (A.Horváth, edito) Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2797/031821>

⁹ Center KemikUm. (b.d.). <https://kemikum.si>

¹⁰ Science on Stage. (b.d.). <https://www.science-on-stage.eu>

06

Intervju: Andrej Smrdu

Intervjuvala: Jan Hočevar in Pia Mencin

Izobrazba: dipl. inž. kemije

Ustanove, na katerih ste se izobraževali: Srednja kemijska šola v Ljubljani, nato Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo v Ljubljani

Trenutna zaposlitev: Gimnazija Vič

Pretekle zaposlitve: Šolski center Ljubljana – Gimnazija Antona Aškerc

Izdana gradiva: Več kot 15 gradiv za osnovno in srednjo šolo (učbeniki, zbirke nalog, delovni zvezki, srednješolski priročnik), večinoma kot edini avtor, nekaj pa v soavtorstvu.

Kdaj ste začutili željo, da bi postali učitelj kemije? Ali je bila to vaša prvotna karierna izbira ali se je zanimanje razvilo pozneje? Ali bi se danes odločili za enako karierno pot?

»V srednji šoli pa tudi skoraj povsem do konca študija sem bil prepričan, da bom raziskovalec. Že v srednji šoli sem naredil dve raziskovalni nalogi – v 4. letniku sem jo tudi predstavil na državnem (takrat še jugoslovanskem) tekmovanju v Skopju. Med študijem sem svoje raziskovalno delo predstavil na Evropskem simpoziju fluorokemije.

A že v 1. letniku študija sem začel tudi inštruiranje. Poučevanje mi je postajalo vedno bolj všeč. Ob koncu študija mi je bilo kristalno jasno, da bom veliko bolj srečen v učilnici kot v raziskovalnem laboratoriju.«

Kaj vas najbolj navdušuje pri učiteljskem poklicu? Kako bi mlade spodbudili, da bi se v večji meri odločali za to karierno pot?

»Učiteljski poklic je zelo dinamičen – nikoli ni dolgčas. Poleg pouka so tu še spremstva dijakov na različne kulturne prireditve, ekskurzije, tekmovanja ... Seveda so tudi zoprne strani tega poklica (predvsem odvisno od tega, na kateri šoli учиš). Učitelj, ki je motiviran, bo našel tudi priložnost za dodatno delo in napredek na svojem področju. Osebnost me v zadnjih letih zelo navdušuje delo z najbolj sposobnimi in motiviranimi dijaki, ki jih pripravljam na izbirne teste za mednarodno kemijsko olimpijado. Med drugim tudi zato, ker ob reševanju pripravljanih in nato tekmovalnih nalog mednarodne kemijske olimpijade bogatim tudi svoje kemijsko znanje. Vsekakor pa je treba priznati, da imamo učitelji več »prostih« ali pa vsaj »nenapornih« dni, kot bi jih imeli v industriji, kar je vsekakor prijetna stran našega poklica. Ne verjamem, da je smiselno posebej vzpodbujati mlade za učiteljski poklic. Če mlad človek po koncu študija začuti, da je to njegova kariera, se bo za to odločil. Najslabša možnost je, da gre nekdo učiti, zato ker ne ve, kaj bi počel s svojo diplomio ali če drugje ne dobi dela.«

Katera učna metoda ali pristop se vam je pri poučevanju kemije izkazal za najučinkovitejšega? Kako poskušate pri učencih in dijakih vzbuditi radovednost in željo po učenju?

»Učni pristopi se razlikujejo glede na populacijo, ki jo učiš. Zgodi se, da sta dva oddelka istega letnika na isti šoli tako drugačna, da ne moreš uporabiti enakega učnega pristopa. Veliko je odvisno tudi od ure, ko se pouk izvaja. Prve šolske ure ne moreš izvesti na enak način kot pete šolske ure. Učno uro, ki je tik za testom drugega predmeta, je treba izvesti drugače itn. Izkušnje so mi omogočile, da sem razvil nekaj učinkovitih pristopov in 'fint'. Enega takšnih pristopov imenujem $3 \times 3 + 1 = 10$. To pomeni: v eni šolski uri se vsaj trikrat sprehodim med klopmi v učilnici, vsaj trikrat zastavim vprašanje celotnemu razredu, vsaj trikrat zastavim vprašanje konkretnemu (posameznemu) dijaku in vsaj enega dijaka pokličem pred tablo, da reši nalogo.«

Vaši učbeniki in delovni zvezki so med najprepoznavnejšimi učnimi gradivi v Sloveniji. Kako se je začela vaša pot pisanja učbenikov oziroma kaj vas je spodbudilo k temu?

»Med študijem sem začel pripravljati učne liste, ki sem jih uporabljal pri poučevanju svojih inštruirancev (v takratnih zbirkah nalog ni bilo dovolj primerov za utrjevanje znanja). Ob začetku poučevanja v šoli sem imel tako že dovolj učnih listov, da sem lahko iz njih sestavil svojo prvo zbirko nalog 'Fluor ni flour, 777 nalog iz splošne in anorganske kemije za gimnazije in druge srednje šole'«

Kaj je po vašem mnenju ključno pri pisanju kakovostnih učbenikov? Kako se vaša gradiva razlikujejo od preostalih na trgu?

»Kakovostna učna gradiva so tista, ki omogočajo dijaku, da razume obravnavano snov že s

samostojnim učenjem. Učna gradiva pišem na način, da so uporabna za moje ure pouka. Pišem na osnovi dolgoletnih izkušenj. Konkurenčna slovenska učna gradiva sicer približno poznam, a se bolj oziram na pristope, ki jih srečujem v nekaterih ameriških učbenikih.«

Kako ocenjujete trenutno razmerje med strokovno podkovanostjo in didaktičnim pristopom učiteljev? Ali se vam zdi, da bi bilo treba v šolskem sistemu več pozornosti nameniti enemu ali drugemu?

»Ne morem soditi o učiteljih kemije, ker poznam le nekatere. Glede na to, da se tekmovanj iz kemije udeležujejo in na njih dobivajo zlata oz. srebrna priznanja dijaki iz različnih šol in veliko mentorjev, bi rekel, da so učitelji dovolj dobro strokovno podkovani.

Sam sem po koncu študija na FKKT opravil še predavanja in izpite za pridobitev pedagoško-andragoške izobrazbe, da sem lahko nato pristopil k strokovnemu izpitu za učitelja. Nekatera izmed teh predavanj so bila zanimiva in kakovostna, a ne morem reči, da sem bil zaradi njih bistveno bolj pripravljen na izvedbo pouka. Verjamem, da je pomembnejše, kako mladi učitelj pristopi k svojemu poklicu. Če se je učitelj pripravljen učiti iz svojih spodrslijajev, bo lahko tudi napredoval. Didaktični pristopi učitelja se razvijajo skupaj z izkušnjami. Za učitelja je zelo priporočljivo, če ima pred vstopom v učilnico za seboj bogate izkušnje z inštrukcijami in če dobro ve, kaj mora dijake naučiti. Če ima 'kemijo' v malem prstu in mu ne bo treba razmišljati o pravilnosti tega, kar izgovori ali napiše na tablo, se bo lahko bolj posvetil razvijanju svojih didaktičnih pristopov.

Verjamem, da bi učitelj pred nastopom dela moral najprej opravljati obvezno enoletno pripravništvo v šoli (takšni projekti, npr. Prva zaposlitev, so že obstajali in so se vsaj na moji šoli izkazali za zelo uspešne). Obstoječi način 'obvezne prakse' v izobraževalnih programih za

bodoče učitelje je vsaj na podlagi mojih izkušenj zelo neučinkovit. Veliko študentov vidi obvezno prakso kot dodatno obremenitev ob študiju ali kot formalnost, ki jo želijo čim prej opraviti.«

Ali menite, da je v zdajšnjem šolskem sistemu kemiji namenjenih dovolj ur pouka? Ali se vam zdi, da učni načrt na gimnazijski ravni zagotavlja dobro ravnovesje med teoretičnim in praktičnim znanjem oziroma kje vi mislite, da bi lahko prišlo do izboljšav?

»Seveda si vsi 'predmeti' želijo več ur pouka, a vsako povečanje ur enega predmeta gre lahko le na škodo drugega predmeta, saj dijakov ne moremo dodatno obremenjevati. Povečanja števila ur kemije torej ne moremo zagovarjati. Za nekatere programe srednjega izobraževanja

(npr. kemijski tehnik) je zelo pomembno, da imajo veliko ur pouka v kemijskem laboratoriju. Za gimnazijski program pa se mi zdi trenutno število ur za laboratorijsko delo povsem primerno. Mogočo izboljšavo vidim le s korenito spremembo gimnazijskega predmetnika na način, da zmanjšamo število obveznih ur in povečamo izbirnost. Če dijak po dveh letih ugotovi, da ga kemija ne zanima, je nesmiselno, da se kemijo uči še tretje leto. Enako seveda velja tudi za preostale predmete. Bolje bi bilo, če bi bila samo dva letnika gimnazije bolj ali manj poenotena, v 3. in 4. letniku pa bi se uvedla skoraj popolna izbirnost. V obstoječem gimnazijskem predmetniku se mi npr. zdi popolnoma nesmiselno, da imajo vsi gimnazijci obvezni pouk dveh ur zgodovine tudi v 4. letniku.«



V rubriki »Spoznajmo« znotraj študentske revije Erlenmayerica bomo predstavili tudi Zvezo za tehnično kulturo Slovenije (ZOTKS). Kako vi vidite svojo vlogo pri ZOTKS v okviru promocije naravoslovnih znanosti?

»ZOTKS organizira več tekmovanj (ne samo naravoslovnih) in je že na ta način postala organizacija, ki daje dijakom možnost, da dosega višje ravni znanja. Matura je prek natančnejše zapisanega Predmetnega izpitnega kataloga (še posebej pa Državni izpitni center z razvojem aplikacije Banka nalog) omogočila poenotenje ravni znanja. Učitelji dobro vemo, kaj moramo dijake naučiti. Tekmovanja, ki jih organizira ZOTKS, pa omogočajo, da ambiciozni in sposobni dijaki sežejo višje. Vedno so in vedno bodo motivirani dijaki, ki bodo želeli več. Takšnim dijakom je treba dati orodje, da svoje ambicije uresničijo.«

Ali se vam je v učiteljski karieri pripetila kakšna zabavna ali nenavadna prigoda, ki bi jo želeli deliti z nami?

»Pred veliko leti sem učil dijaka, ki je bil dovolj sposoben, da bi zlahka šel skozi gimnazijski program, a se mu preprosto ni dalo – za teste se sploh ni učil. Njegove ocene so bile tako med 1 in 2, pa ne samo pri kemiji. Na koncu šolskega leta se mu je nabralo več negativnih ocen – nekatere je uspel popraviti, kemije pa ne, zato je imel popravni izpit. A na popravni izpit se je izjemno pripravil. Znal je vse in dobil je oceno 5. Naslednje šolsko leto sem v razredu komentiral njegovo odlično oceno na popravnem izpitu kot dokaz možnosti, da dijaki dobijo najvišje ocene, če so le dovolj motivirani za učenje. Takrat se je eden izmed njegovih sošolcev oglasil in rekel, da naj dam temu dijaku tudi letos popravca in bo potem postal zlati maturant. Popravnega izpita iz kemije dijak sicer ni imel, a zlati maturant tudi ni postal.«

Ali bi nam izdali svoj najzanimivejši poskus, ki ga ne boste nikoli pozabili oziroma ga z

veseljem vsakič znova pokažete dijakom?

»Po več kot 25 letih poučevanja je težko govoriti o zanimivih šolskih poskusih, ki jih z veseljem pokažem. Zato bom raje opisal prvi kemijski poskus, ki mi ga je pokazal moj oče, ko sem bil še v osnovni šoli (še pred šolskim srečanjem s kemijo). Mogoče je bil ravno ta vzrok, da me je življenjska pot popeljala v naročje kemije. V tistem času so moji starši ravno gradili hišo in ostalo je nekaj odpadne pocinkane pločevine. Moj oče je v prazno steklenico natresel nekaj drobno narezanih koščkov te pločevine in dolil solno kislino. Nato je na ustje steklenice nastavil balon, ki se je seveda napihnil. Z vrstico je zavezal napihljen balon in mi dal vrstico v roke. Očarano sem opazoval, kako je balon najprej lebdel v zraku in se nato dvignil v nebo.«

Kak nasvet bi dali učencem in dijakom, ki se mogoče še odločajo, ali bi se odločili za podobno karierno pot, kot je vaša?

»Ne sprašujte drugih, kaj je za vas najbolje. Med študijem si naberite čim več delovnih izkušenj. Poskusite več stvari in ob tem naredite tudi kakšno napako. Izkušnje vam bodo omogočile, da boste ob prejemu diplome vedeli, kakšna je vaša optimalna karierna pot.«

07

Niso vsi, ki tavajo, izgubljeni

Avtor: Nejc Godec

Sem Nejc Godec, študent dvojnega magisterija iz kemije in kemoinformatike. Kemoinformatika je precej novo področje teoretične kemije, ki se ukvarja z uporabo strojnega učenja in umetne inteligence v kemiji. Z napredkom v računalniški zmogljivosti je to področje postalo zelo aktualno, saj omogoča odkrivanje zdravil in silico, predvidevanje lastnosti molekul, materialov, izkoristkov in poteka reakcij ... Študijska pot me je iz Ljubljane ponesla na Nizozemsko, v Francijo in na koncu vse do Japonske.

Na študijske izmenjave me vleče predvsem želja po potovanjih, ki so mi jo starši privzgojila že zelo zgodaj – odločitev, ki jo verjetno na trenutke obžalujejo, ker sina ni veliko doma. Moje prvo daljše potovanje je bilo v Šrilanko, ko sem imel tri leta, in od takrat me želja po odkrivanju neznanega, v svetu in akademskem okolju, ni zapustila. Študijska izmenjava je zame ponudba, ki je ni mogoče zavriniti, in je bila že od vpisa na študij kemije na vrhu seznama želja. V zameno za to, da v tujini opravim nekaj izpitov, posvetim nekaj časa birokraciji in pisanju e-sporočil, lahko več mesecev raziskujem tujo državo in kulturo, spoznam ogromno novih ljudi, pridobivam neverjetne izkušnje in ustvarjam nepozabne spomine.

Prvič sem se na izmenjavo odpravil v zadnjem semestru dodiplomskega študija kemije. Po dnevih in dnevih brskanja po spletu sem se odločil, da diplomsko nalogo in dva izbirna predmeta opravim na Univerzi v Utrechtu na Nizozemskem. Za Utrecht do takrat še nisem slišal, a je bil točno to, kar sem iskal – drugačen in daleč od Slovenije, s predavanji v angleščini, ne preveč hladen ali drag. Tako sem nekega oblačnega oktobrskega jutra pristal na Nizozemskem. Vselil sem se v študentski dom, ki sem ga na srečo dobil prek univerze in tam spoznal Franka. Frank je bil študent iz Hongkonga in najina edina skupna stvar je bila soba, ki sva si jo delila. Verjetno ni slab človek, a so bile kulturne in karakterne razlike med nama prevelike, da bi se lahko dobro razumela. Učili so me, da če nimaš nič lepega povedati, bodi raje tiho; tega nasveta sem se večino časa tudi držal, zato nisva govorila. Igrala sva se najdaljšo igro tihe maše, ki je trajala celoten semester.

Navezovanje drugih stikov je bilo uspešnejše. Študente pogosto skrbi, s kom se bodo v tujini sploh družili, a na izmenjavi to ni težava, saj so vsi tujci v podobni situaciji – sami, izgubljeni ter željni novih prijateljstev in dogodivščin. Po udeležbi na dejansko vseh družabnih dogodkih, ki jih je organizirala univerza, sem kmalu našel svoj krog prijateljev. Dodatno sem ga razširil še

na obštudijskih treningih odbojke in košarke. Skupinski športi so odlična priložnost za spoznavanje ljudi, zato sem oba športa pozneje igral še v Franciji in na Japonskem.

Začetna evforija ob spremembi okolja, občutek svobode in ogromno prostega časa dajejo sicer lažen, a za to nič manj prijeten občutek, da lahko počneš, kar koli si zamisliš, in da ti ves svet leži na dlani. Ta občutek je gonilo vseh klasičnih aktivnosti Erasmus, kot so vikend izleti s Flixbusom v sosednje države, žuranje v tujih klubih, mednarodne večerje s kuhanjem tradicionalne hrane, na kar sem se spomnil pol ure pred dogodkom, v ponvi spekel na trakce narezan korenček, jih zalil s kečapom in ta zmazek predstavil kot slovensko tradicionalno jed. Na Nizozemskem to pomeni tudi veslanje po kanalih, raziskovanje »znamenitosti« Amsterdama, praznovanje kraljevega rojstnega dne, največjega nizozemskega praznika, dan, ko je celotno mesto preplavljeno z mladimi, oblečenimi v kraljevo oranžno barvo, glasbo, zastavami in s pivom.

Ne pozabimo, da sem odšel na »študijsko« izmenjavo, zato sem veliko časa preživel v laboratoriju z doktorandko Mirjam, mentorico svoje diplomske naloge. Zaradi majhne starostne razlike in drugačne mentalitete na fakulteti je bil odnos veliko bolj kolegialen in manj hierarhičen, kot sem bil navajen v

Ljubljani. To je v laboratoriju ustvarilo zelo prijetno vzdušje in čas na Nizozemskem je hitro mineval. Poln novih izkušenj in z napisano diplomsko nalogo sem se vrnil v Slovenijo.

Med absolventskim letom, ki je sledilo, sem bil povabljen, da svojo izkušnjo iz Nizozemske delim s študenti FKKT-ja. Na dogodka je govoril tudi alumen programa Erasmus Mundus Chemoinformatics+. Čeprav njegova predstavitev ni bila namenjena meni, me je prepričal z obljubami o semestru v Strasbourgu in možnostjo opravljanja prakse na kateri koli univerzi na svetu. Kolateralna korist tega popotovanja pa bi bil dvojni magisterij – list papirja, s katerim bi lahko kazal superiornost nad kolegi s FKKT-ja, ki so me vedno presegali v povprečnih ocenah.

Francija se mi je rahlo zamerila ob koncu srednje šole, ko sem bil na interrail potovanju po Evropi, primoran v Nici noč prespati na tleh pred železniško postajo. A sem ji nastavljal še drugo lice in se z 18-urnim vlakom odpravil v Strasbourg. Vselil sem se v devet kvadratnih metrov veliko »stanovanje« v študentskem domu, ki ga po izkušnji iz Utrechta tokrat nisem delil z nikomer. Iluzija o ponovni nori izkušnji Erasmus se je hitro razblinila, ko je name pritisnila teža 11 predmetov, ki sem jih moral opravičiti tisti semester. Pri tem ni pomagalo, da v nasprotju s Slovenijo tu ni bilo treh poskusov opravljanja



Nizozemska: Veseljačenje ob praznovanju King's day-a v Utrechtu, družba iz Nizozemske, najljubši kraj na Nizozemskem - kanali v Utrechtu.

izpitov. Francoski profesor mi je nekoč rekel, da smo slovenski študentje »skovani v ognju«, in ker sem se tudi sam na septembrskih izpitnih rokih redno koval v ognju, je bil zdaj čas, da pokažem, kaj je bilo na FKKT skovanega. Nekaj očitno že, saj sem vse izpite opravil v prvem poskusu, kar se v vseh letih pred tem še ni zgodilo.

V Franciji, pozneje pa še bolj na Japonskem, sem s polno hitrostjo trčil v jezikovno bariero. Francozi stereotipično slabo govorijo angleško, Japonci pa nesterotipično angleško sploh ne govorijo. Na fakulteti to nikoli ni bil problem, saj so bila v Strasbourgu predavanja v angleščini, v Saporu pa sem delal v mednarodni raziskovalni skupini. Težava se je pojavila v vsakdanjem življenju, predvsem pa pri odnosih, v katerih je – ne glede na prijaznost in željo – ključno sporazumevanje. Ko so edina družba ljudje, ki si jih spoznal šele pred mesecem ali dvema, obenem pa se lahko z njimi pogovarjaš le o vremenu in hrani, ugotoviš, da je res pomembna globina odnosov, ne pa njihovo število. Poleg tega med grajenjem površinskih odnosov z določenim rokom trajanja zanemaraš vzdrževanje odnosov z ljudmi, ki so ti v življenju res pomembni. Ne bi rekel, da sem navezan na dom, sem pa navezan na ljudi, ki so doma, zato so družina in prijatelji glavni razlog, zakaj se bom v Slovenijo tudi vrnil. Čeprav mi je ustrezalo, da sem lahko v tujini vse probleme in obveznosti pustil za seboj in živel v svojem mehurčku, sem

vedno cenil vse obiske iz Slovenije.

V sklopu programa sem moral poiskati ustanovo, na kateri bom opravljal magistrsko nalogo, in priložnost se mi je ponudila, ko sem na poletni šoli kemoinformatike spoznal raziskovalca z Univerze na Hokaidu. Hokaido je severni otok Japonske, Saporu pa njegovo največje mesto. Ker sem bil tako navdušen nad idejo življenja na Japonskem, se nisem pozanimal o mestu, v katerem bom živel. Ko je bilo že vse dogovorjeno, sem ugotovil, da je Saporu drugo najbolj zasneženo mesto na svetu, in za dobrodošlico sem dobil več kot meter debelo snežno odejo ter skoraj vsakodnevno sneženje, ki bo najverjetneje vztrajalo večji del izmenjave.

Poleg snega pa je Saporu znan tudi po odlični morski hrani, in ker je vrednost japonskega jena tako nizka, si jo lahko privoščim in vsak obrok jem zunaj. To je luksuz, ki ga do zdaj v tujini nisem imel. Erasmus štipendija mi je vedno v celoti pokrila stroške, a je bilo z njo treba ravnati zelo preudarno, da je zdržala skozi mesec. Na Nizozemskem je to pomenilo desetkilometrsko krožno pot s kolesom do najbližjega Lidla, v Franciji pa podobno dolgo pot čez mejo, saj je Lidl v Nemčiji cenejši kot v Franciji. Študij v tujini sem vedno jemal kot nadstandard in ne kot samoumevno pravico, ki so jo starši dolžni financirati, zato nisem želel živeti na tuj račun, čeprav priznam, da sem vedno imel varnostno mrežo, na katero bi se v stiski lahko zanesel.



Francija: Sošolci s celega sveta med študijem v Strasbourgu, fakulteta za kemijo v Strasbourgu, umirjen francoski ambient ob kanalih Strasbourga.

Trenutno, že precej vključen v japonsko kulturo, končujem magistrsko nalogo. Ob tem s palčkami uživam vsakodnevne porcije sušija in ramena, se skozi zasnežene ulice prebijam do fakultete, v prostem času igram košarko in odbojko ter načrtujem prihodnje dogodivščine.

V pogovorih o izmenjavah včasih naletim na ljudi, ki si ne želijo oditi iz Slovenije, pri čemer se nekateri počutijo skoraj krive, da imajo takšne občutke. Tem bi se zahvalil za branje članka o nečem, kar jih ne zanima, in jim svetoval, da ni

smiselno na silo študirati v tujini, saj si bodo nakopali dodatno delo, od katerega ne bodo veliko odnesli. Veliko pogostejši pa so tisti, ki si v tujino sicer želijo, a se bojijo in so negotovi. Ta članek je namenjen predvsem vam. Upam, da sem izmenjavo uspel predstaviti kot nekaj, kar sicer lahko vsebuje strah vzbujajoče plati, vendar so te posledica strahu pred neznanim in ne dejanske nevarnosti, ki preti v tujini. Naj vas spodbudijo besede, ki so nekoč majhnega zapečkarja iz luknje v zemlji prepričale, da se odpravi na avanturo v neznano: »Svet ni v tvojih knjigah in zemljevidih. Tam zunaj je.«



Japonska: Snežna odeja pred inštitutom za kemijske reakcije v Sapporu, najbolj pogosto kosilo na Japonskem – ramen, učenje o tuji kulturi je ključ do uspešne integracije.

	SLOVENIJA	NIZOZEMSKA	FRANCIJA	JAPONSKA
Najljubši kraj?	Študentsko naselje Rožna dolina	Kanali v Utrechtu	Male kavarne in pekarnice	Izakaye – japonski bar/restavracija
Najljubša jed?	Mamine tortilje	Stroopwafel	Croissant (rogljički)	Sushi (suši)
Najboljši predmet na faksu?	Biološka kemija	Medicinal chemistry (medicinska kemija)	Drug discovery (odkrivanje in razvoj zdravil)	Raziskovanje za magistrsko nalogo
Kaj najbolj ceniš v tej državi?	Družino in prijatelje	Odlično znanje angleščine	Počasen tempo življenja	Kulturnost in prijaznost ljudi
Kaj v tej državi najbolj pogrešaš?	Neznano in nepoznano	Lepo vreme	Strpnost do tistih, ki ne govorijo francosko	Kruh, testenine, pecivo in kavarne

08.1

Ustanovitev dogodka BEST dnevi znanosti

Avtorica: Zara Bunc (glavna organizatorka BDZ 1.o)

Ideja za dogodek se je razvila predvsem iz želje, da bi povezali na videz nesorodni področji kemije oz. biokemije in računalništva. Odras njunega vse večjega povezovanja in soodvisnosti je nedvomno tudi razvoj in priljubljenost bioinformatike.



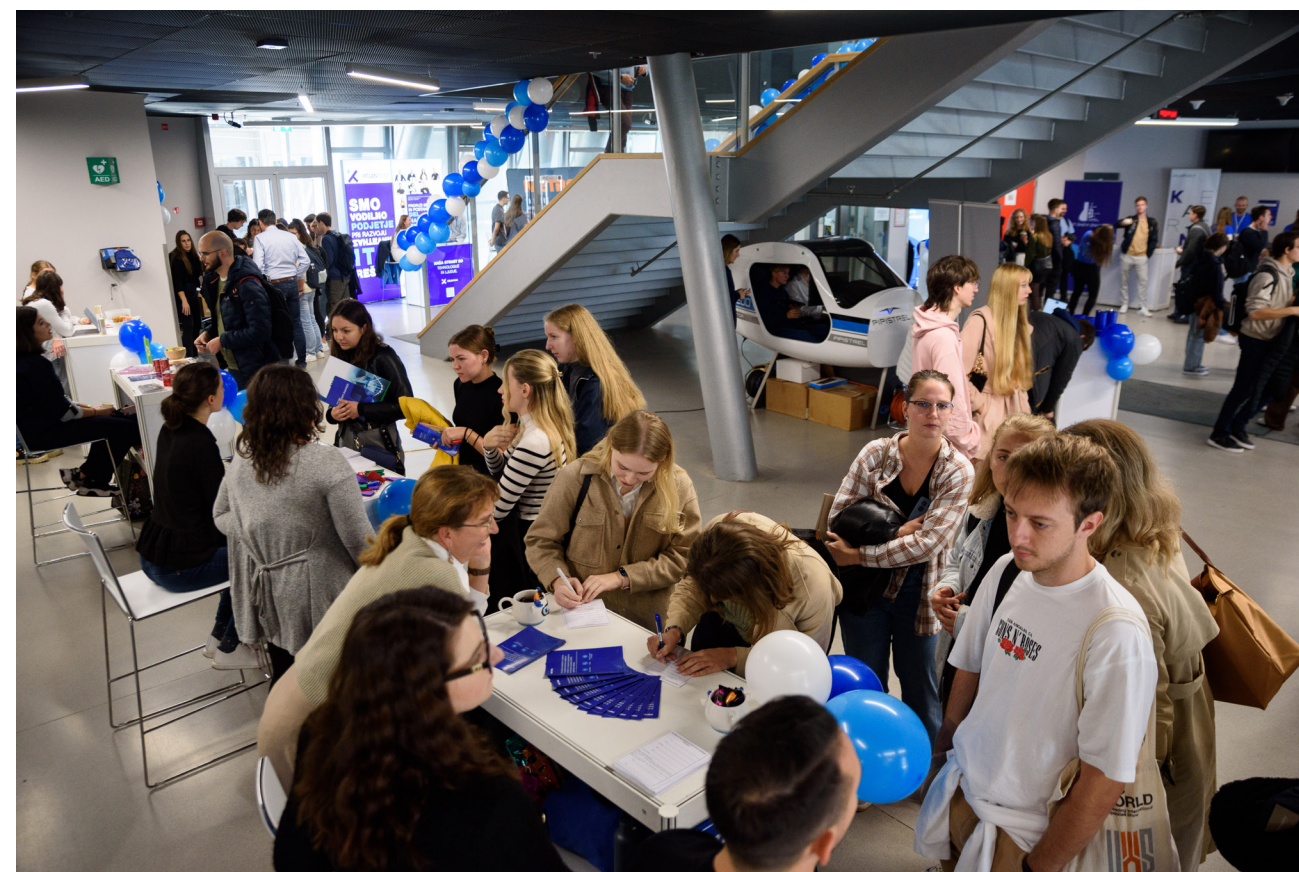
Slika 1: BEST dnevi znanosti, 2024. Foto: Žan Žnidar.

V društvu BEST organiziramo dogodke za študente različnih strok. Sama sem se znotraj društva prvič srečala s pripravo dogodkov v okviru organizacije BioFaira. V pripravi dogodka in ekipnem delu sem res uživala, vseh pa mi je bil dober občutek, da lahko s svojim delom veliko prispevaš tudi drugim študentom. Vse pridobljene izkušnje so me prepričale, da si gotovo želim podobnega dela tudi v svoji bolj profesionalni prihodnosti. Ker sem si želela še dodatnih izkušenj v tej smeri, predvsem z oblikovanjem in vodenjem projekta od začetka do konca, se mi je za to študentsko društvo še vedno zdelo idealno okolje.

Že v ekipi BioFaira se je porodila ideja, da bi v društvu organizirali konferenco z govorniki različnih področij. Dogodek sva potem idejno razvili s še eno članico društva Nežo Bajec. Konferenco sva povezali s konceptom BDTN (BEST dnevi tehnologije in naravoslovja), dogodka, ki se v društvu sicer ne izvaja več, je pa

imel zelo obetaven koncept delavnic. V začetku smo želeli vse združiti v en dan, potem pa smo zaradi programske res raznolikega dogodka dogodek razdelili na tri dni. Tako je nastala zasnova tridnevnega strokovno-izobraževalnega dogodka s konferenco, stojnicami podjetij, poster minuto, z delavnicami in s študijo primera. Dogodek smo po vzoru BDTN poimenovali BEST dnevi znanosti – deloma zaradi predloga starejših članov, da naj bo ime malo preprostejše, z imenom pa smo želeli tudi zaobjeti čim širši krog študentov, da smo s tem omogočili dogodka v prihodnosti, da se razvije oz. pokrije katero koli smer znanosti.

Sama sem potem prevzela vlogo prve glavne organizatorke, Neža pa je oblikovala prepoznavno grafično podobo dogodka. V ekipo sem potem povabila nekaj članov društva in prijatelje, za katere se mi je zdelo, da bodo kos nalogam in da bodo kakovostno opravljali svojo pozicijo. Za organizacijo dogodka smo se odločili



Slika 2: BEST dnevi znanosti, 2024. Foto: Žan Žnidar.

sorazmerno na hitro, proti koncu maja, kar je bilo zaradi dopustov za kontaktiranje podjetij precej pozno. Dogodek smo se namreč odločili izvesti že konec oktobra (22.–24. 10.), kar bi nam dalo dovolj časa za učinkovito promocijo, hkrati pa študentje še ne bi imeli preveč obveznosti na faksu, ki bi jim onemogočile udeležbo. To nas je prisililo, da smo podjetja kontaktirali, še preden je bil dogodek uradno sprejet na lokalni skupščini društva, na kateri sem dogodek zagovarjala. Delati smo zato morali hitro in še med izpitnim obdobjem, ampak sama ideja, da lahko naredimo nekaj čisto novega in da to lahko dejansko uspe, je bila dovolj velika spodbuda. Društvo je k sreči dogodek z veliko večino sprejelo, podjetja pa smo zaradi izjemne ekipe za stike s podjetji (Špela Blaznik) tudi uspešno pridobili. Enako je bilo pri oblikovanju programa konference, ki je imela na koncu res pester nabor tematik in govorcev (Tinkara Korošec).

Ker smo vedeli, da bo za naš dogodek zaradi raznolikega programa potrebnih veliko prijav, smo se promocije lotili zelo resno. Oblikovali smo objave na socialnih omrežjih, na katerih smo se med drugim trudili podajati strokovne vsebine z vseh področjih, ki smo jih želeli zaobjeti: kemije in kemijskega inženirstva, računalništva in informatike, biokemije in bioinformatike (Lucija Kovaček). Snemali smo tudi kratke zabavne predstavitvene videe dogodka, obešali plakate, delili letake in dogodek predstavljali na predavanjih. Oblikovali smo tudi novo spletno stran (Nik Čadež, Deni Krašna). Glede na ves vložen trud smo bili potem velikega števila prijav in množične udeležbe zelo veseli. Za uspešno izvedbo dogodka so bili ključni tudi usklajevanje vseh dobaviteljev, ustrezna postavitve in ureditev prireditvenega prostora, pri čemer pa seveda ne smemo pozabiti na postavitve priljubljenega Pipistrellovega letala (Manca Simončič).

Po koncu dogodka smo bili kljub številnim preprekam, občasnim nesoglasjem, dvomom, da bo sorazmerno neizkušeni ekipi uspelo izvesti tako kompleksen in velik dogodek, navdušeni, da je bil dogodek tako dobro sprejet, obiskan in uspešen. Gotovo je ta izkušnja za vse nas pomenila veliko spodbudo, zagon in samozavest za vse nadaljnje projekte in podvige, ki se jih bomo lotili v prihodnosti.

Izkušnjo organizacije dogodka oz. sodelovanja v ekipi bi gotovo priporočala vsakemu študentu. Tako namreč lahko pridobiš prvi stik s podjetji in z industrijo v bolj sproščenem okolju kot pozneje pri redni zaposlitvi. Seznaniš se z ozadjem priprave dogodka in dela v ekipi, s čimer pridobiš izkušnje komuniciranja, organizacije in razporejanja dela, ki ti pridejo prav tako rekoč na vsakem delovnem mestu. Marsikaj se naučiš tudi o sebi, svojih interesih, kateri način dela v ekipi ti najbolj ustreza, odkriješ pa lahko tudi nova področja, za katera si mogoče prej nikoli ne bi mislil, da ti ležijo. Seveda pa lahko znotraj ekipe pridobiš tudi nova prijateljstva. V splošnem gre res za edinstvene izkušnje (celo privilegij), ki gotovo zaznamujejo tvoja študentska leta in karierni razvoj.

Zahvaljujemo se vsem udeležencem, podjetjem, govorcem, sodelujočima fakultetama – Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo ter Fakulteti za računalništvo in informatiko, društvu BEST in pa celotni organizacijski ekipi za izvedbo prvih BEST dnevov znanosti.



Slika 3: BEST dnevi znanosti, 2024. Foto: Žan Žnidar.

08.2

Primankljaj učiteljev

Avtor: Andraž Fink (študent pedagogike in sociologije na Filozofski fakulteti, UL)

Pomanjkanje učiteljic in učiteljev (predvsem naravoslovnih in tehničnih predmetov) zadnjih nekaj let nenehno zaseda javni prostor in javno razpravo. Na eni strani Sindikat vzgoje, izobraževanja, znanosti in kulture Slovenije (SVIZ) ter predstavniki ravnateljev s številskimi že manjkajočimi učitelji in učiteljic ter prihajajočimi upokojitev opozarjajo na (potencialno) izjemno veliko pomanjkanje pedagoškega kadra, na drugi strani ministrstvo miri, da v končni fazi pomanjkanje učiteljic in učiteljev še ni tako veliko. Zares pa nihče izmed deležnikov ni opravil temeljite analize kadrovske slike za prihodnje desetletje, breme, za katero bi morale poskrbeti pristojno ministrstvo. Težko torej postrežem s konkretnimi številkami, specifičnimi kadri, ki naj bi jih v prihodnjih letih začelo primanjkovati, saj točnih podatkov preprosto ni oz. se podatki razlikujejo za par tisoč manjkajočih učiteljev in učiteljic. Grobo rečeno, na vsaki izmed slabih 800 šol manjkata skoraj dva polno zaposlena učitelja. Ne glede na odsotnost analize se slepo oz. vsaj neinformirano vrstijo parcialni ukrepi za zagotovitev v prvi vrsti vpisa na pedagoške študijske smeri, v drugi vrsti večje številčnosti razpisanih vpisnih mest (določenih) študijskih programov. Čeprav je bilo zapolnjenih vseh 300 razpisanih mest za štipendije na področju pedagoških poklicev, ostaja kadrovska stiska pereč problem. Pomanjkanje namreč ne prihaja čez pet let, v katerih – optimistično gledano – študent, študentka konča študij. V številnih

šolah različne predmete poučujejo kadri, ki za tovrstno delo nikakor niso usposobljeni. Tam, kjer do te točke še ni prišlo, pa luknje krpajo študenti in študentke pedagoških pa tudi nepedagoških smeri. Če je za čas začetka mojega študija pred petimi leti veljalo, da lahko do službe prideš le s končanim magisterijem, pa še to ne takoj po končanem študiju, se danes zaposluje študentke in študente, ki sploh še nimajo diplome, kaj šele magistrske izobrazbe. Če za hip pozabimo na problematiko študentskega dela kot prekarne oblike zaposlitve, ki izkorišča študentsko populacijo ter njeno »željeno« in »priljubljeno« fleksibilnost, se je treba vprašati, kakšno odgovornost polagamo na pleča študentk in študentov. Situacija, da je študentka ali študent, ki je v vrtcu sama/sam s skupino vrtčevskih otrok, se glede na vse smernice, ki določajo predšolsko polje, zdi absurda, odgovornost, ki jo ima študentka ali študent v rokah, pa enormna.

Če je pedagoški poklic veljal za reguliran poklic, se vse bolj premikamo v smeri odsotnosti te regulacije, ki je prej pravilo kot izjema, še več, daje iluzijo, da deficitarnosti na nekaterih področjih še ni. Ali so torej koraki za zajezitev kadrovske stiske napačni? Javna služba, ki je regulirana, naj bi vendarle imela pregled nad kadrom in vsaj približno sliko prihajajočega upokojevanja, kar bi v kombinaciji z javno dostopnimi informacijami o vpisu na številne pedagoške študijske programe pomenilo idealno

sliko za načrtovanje kadrovske politike. Trenutni koraki za okrepitev vpisa se zdijo potrebni, a brez osnove v konkretni analizi stanja. Trenutno merilo deficitarnosti je moment, ko po večkratnem ponovljenem razpisu šola ne dobi ustrezne učiteljice ali ustreznega učitelja. Kaj če bi merilo nekoliko »omilili« in rekli, da deficitarnost nastopi že veliko prej, še preden začnemo krpiti luknje s študentskim delom? Štipendije, seveda, a za vse pedagoške poklice. Kot prvi korak torej resna analiza stanja in temu primerna kadrovska politika, ki bi v prvi vrsti temeljila na krepitvi ugleda učiteljskega poklica. Poleg štipendij bi morali študentom pedagoških smeri zagotoviti stanovanja, učiteljicam in učiteljem pa bi bilo treba dvigniti plače, saj na svoja pleča prevzamejo temeljno odgovornost. Navsezadnje bi bilo treba v političnem diskurzu krepiti zaupanje v znanje kot tako ter v znanje učiteljic in učiteljev. O pomenu in današnjem razumevanju znanja pa kdaj drugič.



09.1

Pogrešas maturo?

Preizkusi se v najslabše reševanih vprašanjih na maturi iz kemije!

Avtor: Rene Zorman

1. Katere od navedenih spojin ne najdemo v proteinih:

- A $\text{HS}-\text{CH}_2-\overset{\text{NH}_2}{\underset{|}{\text{CH}}}-\text{COOH}$
- B $\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\overset{\text{NH}_2}{\underset{|}{\text{CH}}}-\text{COOH}$
- C $\text{H}-\overset{\text{NH}_2}{\underset{|}{\text{CH}}}-\text{CH}_2-\text{COOH}$
- D $\text{CH}_3-\overset{\text{NH}_2}{\underset{|}{\text{CH}}}-\text{COOH}$

2. Katera trditev o siliciju in njegovih spojinah je pravilna?

- A Silicij bolje prevaja električni tok kakor baker, zato ga uporabljamo za izdelavo sončnih celic.
- B V naravi se silicij nahaja v obliki molekul SiO_2 .
- C Steklo je amorfna snov, ki ga dobimo iz taline zmesi SiO_2 , Na_2CO_3 in CaCO_3 .
- D Silikati se uporabljajo za izdelavo umetnih gnojil.

3. Katera reakcija ne poteče:

- A $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Br} + \text{NaOH} \xrightarrow{\text{etanol}, \Delta} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH} + \text{NaBr}$
- B $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Br} + \text{CH}_3\text{CH}_2\text{ONa} \xrightarrow{\text{etanol}, \Delta} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3 + \text{NaBr}$
- C $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Br} + \text{NH}_3 \xrightarrow{\Delta} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2 + \text{HBr}$
- D $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Br} + \text{KCN} \xrightarrow{\text{etanol}, \Delta} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CN} + \text{KBr}$

4. Katera trditev ni pravilna?

- A Pri bazični hidrolizi voskov nastanejo soli višjih maščobnih kislin in glicerol.
- B Maslo postane žarko zaradi oksidacije z zračnim kisikom.
- C Pri pranju s trdo vodo so mila manj učinkovita, ker nastanejo netopne kalcijeve soli višjih maščobnih kislin.
- D Steroidi imajo tetraciklični skelet in sodijo med neumljive lipide, ker iz njih ne moremo pripraviti mil.

5. Katera enačba predstavlja reakcijo, ki dejansko poteče?

- A $\text{Na(s)} + \text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow \text{NaOH(aq)}$
- B $2\text{Na(s)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightarrow \text{Na}_2\text{O}_2\text{(s)}$
- C $\text{Na(s)} + \text{Cl}_2\text{(g)} \rightarrow \text{NaCl}_2\text{(s)}$
- D $4\text{NaHCO}_3\text{(s)} \rightarrow 4\text{Na(s)} + 4\text{CO}_2\text{(g)} + 2\text{H}_2\text{O(l)} + \text{O}_2\text{(g)}$

6. Kolikšen je pH raztopine HCl s koncentracijo $1,0 \cdot 10^{-8} \text{ mol/L}$?

- A 8
- B več od 7
- C 7,00
- D manj od 7

Rešitve: 1C, 2C, 3A, 4A, 5B, 6D

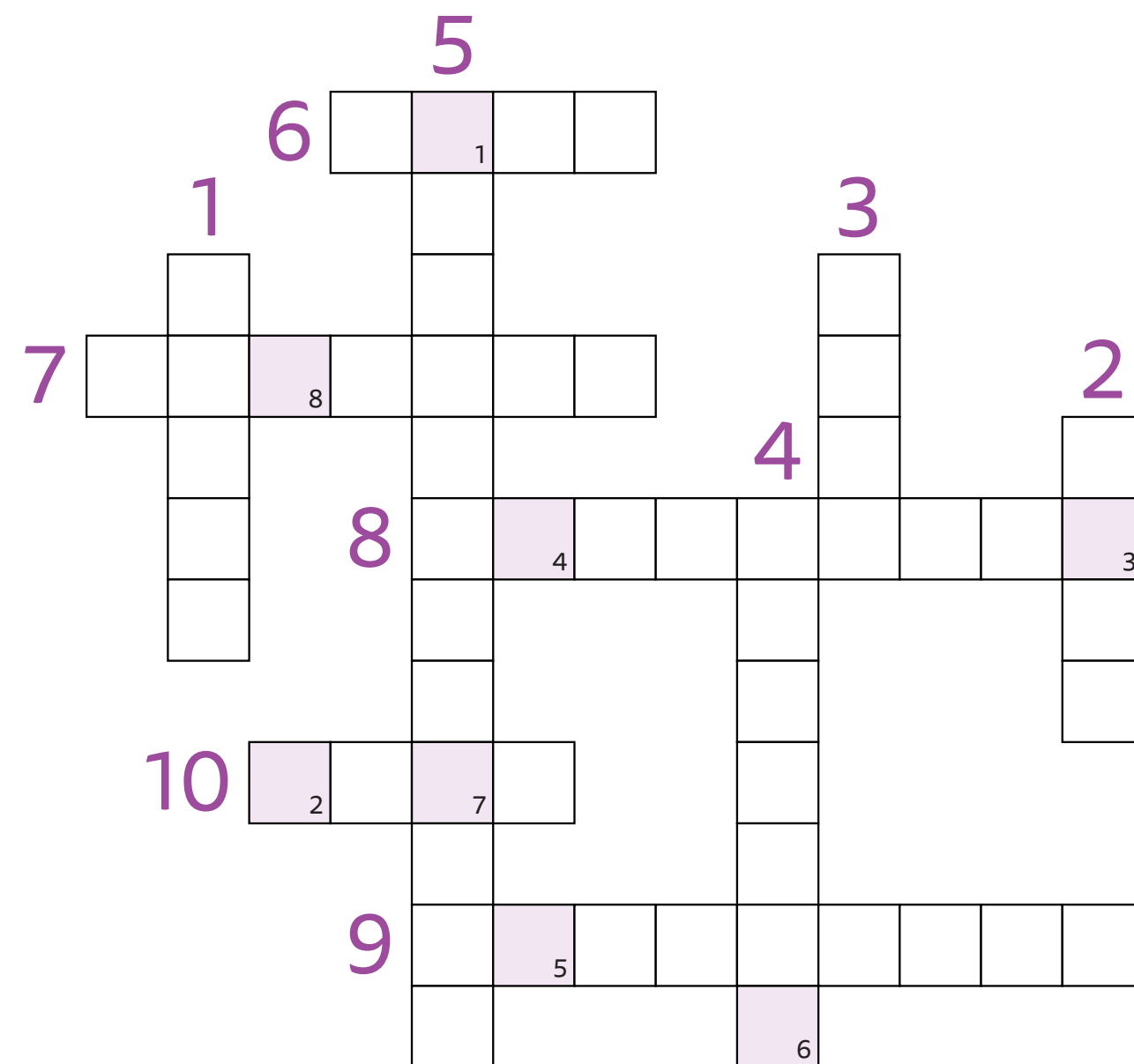
Vir vprašanj: Državni izpitni center, <https://www.ric.si>

09.2

Križanka

Kako dobro poznaš laboratorij?

Avtor: Rene Zorman



Gesla:

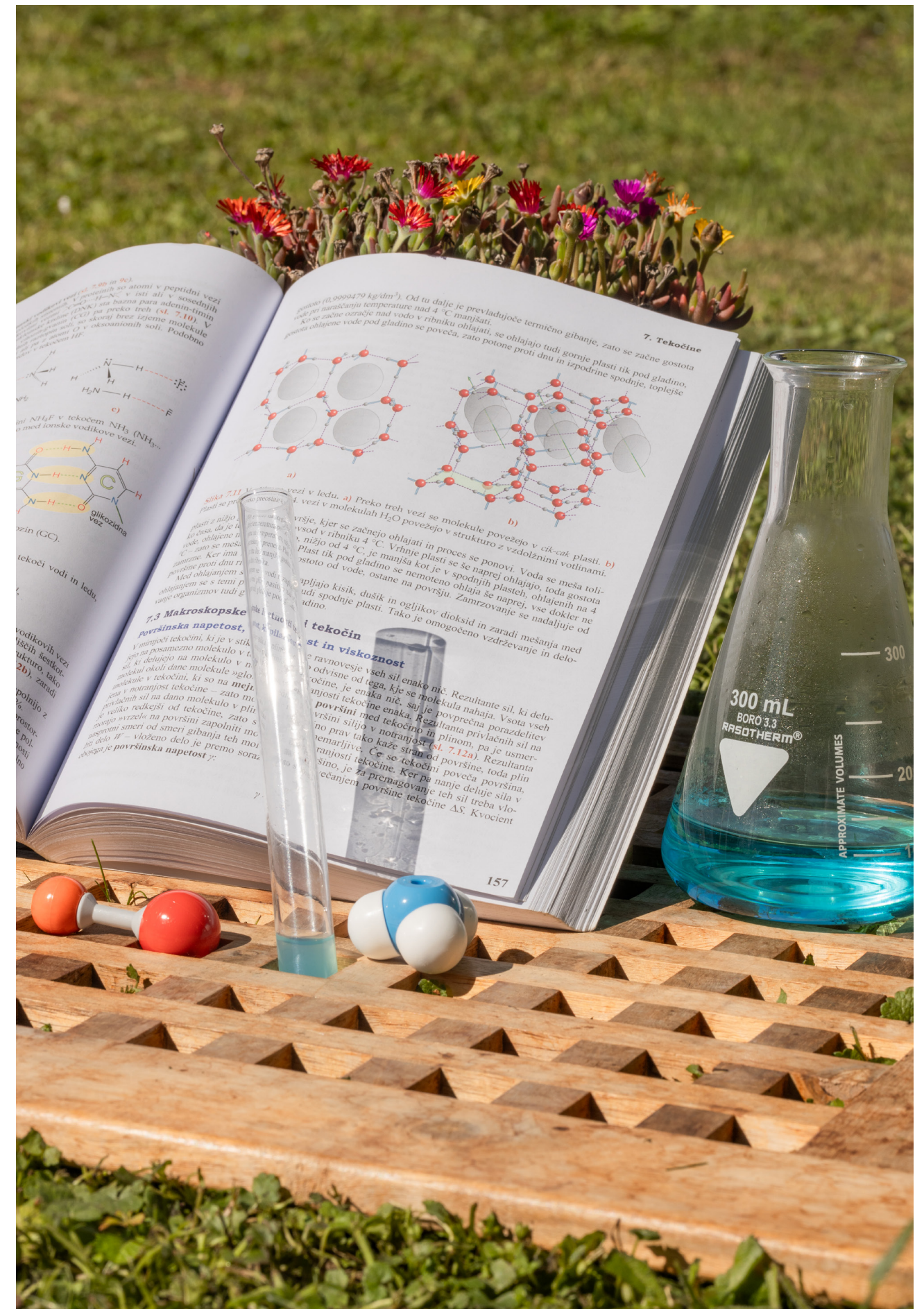
- 1:** oblačilo, ki je del obvezne laboratorijske opreme
- 2:** okroglo steklo, ki med drugim služi izvajanju nekaterih plamenskih reakcij
- 3:** orodje za povezavo prižeme z laboratorijskim stojalom
- 4:** naprava, na kateri hitro premešamo vsebino epice
- 5:** material, ki je zaradi kemijske odpornosti primeren za izdelavo plastičnih čaš
- 6:** tekočinska kromatografija
- 7:** "plovilo", na katerega tehtamo
- 8:** naprava, namenjena odparjevanju hlapnega topila iz vzorca
- 9:** velik steklen lonec s sušilnim sredstvom na dnu
- 10:** oče erlenmajeric

V geslu odkrij reagent, s katerim učitelji kemije izvajajo nepogrešljiv poskus »slončkova zobna pasta«:

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

10

Izvenlaboratorijsko ustvarjanje





Avtor: asist. Jernej Imperl

**Glasilo študentov
Fakultete za kemijo in
kemijsko tehnologijo
Univerze v Ljubljani**

**erlenmayerica@gmail.com
@erlenmayerica**