



ERLENMAYERICA

št. 6

Freepik - Magnific.com

FREKVENCA X
Spoznajmo

JESEN
2026

DOC. DR. MIŠA KORVA
Intervju



ERLENMAYERICA

Glasilo študentov Fakultete za kemijo
in kemijsko tehnologijo Univerze v
Ljubljani

jesen 2026 | št. 6

Naklada:
180 izvodov

Glavna urednica: Klara Razboršek
Fink

Uredniški odbor: Tinkara Butara, Juli-
ja Dolinšek, Ana Hočevar, Jan Hočevar,
Anja Kokol, Pia Mencin, Tadej Vovk,
Rene Zorman, Daša Čebulj, Brina Sa-
rajlič Vranc, Hanna Habot, Ibrahim Ta-
tarevič, Jana Bregar, Mana Asha Minati,
Nejc Horvat, Nik Širić, Petja Logar, Van-
ja Vogrič, Živa Bregar

Ustvarjalci: Marko Bitenc, Jana Bre-
gar, Živa Bregar, Daša Čebulj, prof. dr.
Katja Drobnič, Ava Dukarič, Živa Flego,
Nejc Godec, Hanna Habot, Nejc Hor-
vat, Mohor Jelenc, Anja Kokol, Tilen
Kopač, doc. dr. Miša Korva, Lina Len-
gar, Jana Likar Ivanov, Petja Logar,
Katja Lovrin, Miha Mesarič, Filip Petro-
vič, Urh Pucihar, Klara Razboršek Fink,
Brina Sarajlič Vranc, Ervin Šinkovec,
Nik Širić, Vanja Vogrič, Tadej Vovk, Pe-
tar Vračar

Recenzenti: doc. dr. Rok Ambrožič,
prof. dr. Urška Lavrenčič Štangar, prof.
dr. Helena Prosen

Strokovna komisija: Jan Hočevar,
Zala Perko, Špela Pok

Naslovnica: Ana Rihtar

Zadnja stran: Ana Rihtar

Oblikovanje: Ana Rihtar

Lektura: dr. Tomaž Petek
Prispevek na straneh 12–15 in
prispevek na straneh 49–51 nista bila
lektorirana.

Tiskarna: SALVE d.o.o. Ljubljana

Sponzor: Krka, d. d., Novo mesto.

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 sofinan-
ciran s strani Študentskega sveta UL
FKKT in Krka d.d.

E-pošta: erlenmayerica@gmail.com in
erlenmayerica@fkkt.uni-lj.si



Nagovor dekana prof. dr. Marka Novinca



Pred nami je novo študijsko leto, za katero upamo, da bo – tako kot ne-
kaj zadnjih – popolnoma vsakdanja
mešanica hitenja s predavanj na vaje,
pisanja seminarskih nalog in sproščen-
ega smeha v odmorih.

Leta epidemije, ko je fakulteta same-
vala, študentje pa ste predavanja
poslušali na daljavo, počasi tonejo v
pozabo. Kljub temu pa ponovno živimo
v nepredvidljivem času, saj nad nami
visi grožnja nove energetske krize.
Poleg negotovosti in strahu pred pri-
hodnjimi meseci je to tudi priložnost za
razmislek o tem, kako ključni so kemija
in z njo povezani poklici v vsakdanu.
Mogoče se poklic kemika ne sliši tako
bleščeče kot nekateri drugi, a to je samo
zato, ker smo postali samoumevni. Te-
meljni dosežki preteklega stoletja – od
Haber-Boschevega postopka za sin-
tezo amonijaka do proizvodnje goriv,
plastike in zdravilnih učinkovin – so
namreč temelji življenja, kot ga pozna-
mo danes.

Od umazanih proizvodnih procesov iz-
pred stotih let smo napredovali do sod-
obnih, naprednih konceptov, kot so:
zelena kemija, trajnostnost in brezogl-
jična družba, o katerih se danes učite.
Izzivov vaši generaciji v prihodnosti ne
bo zmanjkalo. Na vas bo, da se boste
z njimi spoprijeli, na nas pa je, da vas
opremimo s strokovnim znanjem in vas
spodbujamo k razvoju drugih veščin, ki

vam bodo pri tem v korist. Trudimo se,
da vam fakulteta nudi okolje, potrebno
za vaš razvoj v vodilne strokovnjake
jutrišnjega dne.

Fakulteta je v svoji osnovi šola, ki vas
izobrazí za samostojno in kompetent-
no opravljanje poklica. Fakulteta je tudi
prostor, zgradba, katere namen je ust-
varjati kar se da prijetno, stimulativno
in vključujoče okolje, v katerem ste štu-
dentje lahko aktivni in ustvarjalni ter se
v njem dobro počutite – v laboratorijih
in predavalnicah pa tudi na hodnikih in
v drugih skupnih prostorih. Predvsem
pa je fakulteta skupnost. Fakulteta
smo ljudje, ki se dnevno srečujemo in
sodelujemo: študentje, pedagogi, ra-
ziskovalci in vsi, ki skrbijo, da življenje
in delo potekata nemoteno.

Na fakulteti se dobro počutimo, ko med
nami veje pozitivno vzdušje, ko si na
hodniku namenimo nasmeh in prija-
zen pozdrav, preden odhitimo naprej k
svojim obveznostim. V takšnem duhu
postane prostor svetlejši in manj siv, v

njem pa drug drugemu lažje spregle-
damo tudi kakšno pomanjkljivost ali
napako, ki je pogosto samo posledica
generacijskih razlik.

Lepo je videti, da ste študentje poleg
zahtevnega študija dejavni tudi na
obštudijskih področjih. Med najvid-
nejše in najpomembnejše dosežke
vsekakor sodi tudi Erlenmayerica,
ki letos izhaja že v svoji 6. številki
ter ponuja mešanico informativnih in
poučnih vsebin, podanih z vašega vi-
dika. Vesel sem tudi, da med vami ne
manjka niti smeha, vedrine in optimiz-
ma. Želim vam, da svoj žar, dobro voljo
in pozitivno energijo vedno ohranite.

Predvsem pa je fakulteta skupnost.

Fakulteta smo ljudje, ki se dnevno

srečujemo in sodelujemo ...

OJLA, DRAGA KOLEGICA, IN ZDRAVO, DRAGI KOLEGA!

Zemlja je ponovila svoj krog okrog sonca, letni časi so se zamenjali, izpitna obdobja so (skoraj) mimo, koncerti in dogodki so prišli in odšli, zdaj pa je na vrsti še nova izdaja našega glasila. Ponovno vas vabim, da jo prelistate, rešite križanko, preberete prispevke svojih kolegic in kolegov ter za trenutek pustite svoji radovednosti prosto pot.

Čas neizmerno hitro teče in mislim, da smo komaj mesec dni nazaj izbrali letošnjo temo revije, ki vključuje vpogled v kemijo ter druge znanosti v popularni kulturi in filmografiji. Na strani 8 je Nejc izbral najzanimivejše dogodke iz zgodovine ustvarjanja posebnih učinkov, nato pa je več članov predstavilo kemijsko in biološko ozadje treh zelo znanih



vizualnih vsebin. Več o njenem delu lahko prebereš na strani 52. Številka Erlenmayerice pa ni popolna, če se ne dotaknemo tudi študentskega življenja, zato te vabim, da ob kozarcu hladnega prebereš Živin zapis iz Prage na strani 55 in nazdraviš na dosežke naših športnikov na strani 61. Če iščeš vsebine za branje med dolgo vožnjo do Večne poti, ti mogoče pride prav predstavitev podkasta Frekvence X, s katerim za vas pripravljamo tudi zanimiv dogodek (ampak to naj ostane še skrivnost). Hvala tudi vsem študentkam in študentom, ki ste letošnje leto poslali svoje prispevke za rubriko Iz stroke in prve roke. Res smo veseli, da lahko predstavljamo dela svojih študentov, letos pa se zahvaljujem tudi strokovni komisiji, ki nam je pomagala pri izboru.

kom, zaradi katerih lahko ustvarjamo. Hvala, da lahko delimo vaše življenjske poti, vaše misli in uspehe. Res sem vesela, da je v zadnjih letih uredniška ekipa zrastle v tako veliko skupino, in vem, da bodo poskrbeli, da vas bodo vsako leto znova pričakale zanimive vsebine. Štafetno palico pa predajam Reneju in Tadeju, za katera sem prepričana, da bosta odlično opravljala svojo vlogo. Hvala, Erlenmayerica, za vse nove izkušnje in vse srčne ljudi, ki sem jih spoznala na poti.

Drage FKKT-jevke in dragi FKKT-jevci, hvala za vse in mejte se!

Klara Razboršek Fink,
glavna urednica Erlenmayerice

Klara

Hvala vsem profesorjem, študentom in drugim posameznikom,

Uredniška ekipa vsako leto postaja večja in z njo se povečujejo tudi naše ambicije. Zato sem nadvse vesela in hvaležna, da lahko v tej številki predstavimo našega prvega pokrovitelja, in sicer podjetje Krka. Veseli smo, da tako majhna stvar doseže tudi svetovno priznana podjetja in da so se v tem podjetju odločili, da nas podprejo. Več o podjetju lahko izveš na strani 43, o njihovem delu pa lahko prebereš na strani 44.

in zanimivih franšiz. Veseli nas, da je doc. dr. Miša Korva odgovorila na naša vprašanja v povezavi z njeno karierno potjo in virologijo, ki je zelo priljubljena med ustvarjalci



KAZALO



01

KABOOM! Kratek pregled filmske kemije

Na platnu odjekne eksplozija. Iz dvigala dere umetna kri. Tekoči dušik se kot megla poseda med igralci. V prispevku izveš kako režiserji in scenografi uporabljajo zakonitosti kemije, da ustvarjajo neverjetne vizualne efekte.

STRAN 8

02

Frekvenca X

Podcast na Valu 202, ki znanost s pomočjo strokovnih sodelavcev približuje širši publiki.

STRAN 12

03

Zgodbe izpod laboratorijskega pulta

Kaj imajo skupnega Breaking Bad, Contagion in The Last of us .

STRAN 16

04

Iz stroke in prve roke

AEROGELI - od preproste stave do potovanja na Mars

"Barve" vodika

PFAS - čudež kemije ali globalna grožnja?.

STRAN 27



05

Umetna inteligenca, nov sodelavec v Krkinem razvoju in raziskavah učinkovin

Kaj imajo pri tem skupnega kemijski reaktor, umetna inteligenca in peka torte? V Krkinem razvoju učinkovin jih povezuje sistem, ki se sam uči, kako izboljšati kemijsko reakcijo.

STRAN 44

06

Intervju z doc. dr. Mišo Korva

Intervju razkriva izzive sodobne virologije, od raziskovanja virusne evolucije in klinične diagnostike do pripravljenosti na nove nalezljive bolezni ter biološke grožnje.

STRAN 52

07

Ahoj z Prahy

Te mika Erasmus+ študijska izmenjava? Živa bi ti definitivno priporočila Prago. V njenem prispevku izveš vse prednosti življenja v češki prestolnici, pa tudi nekaj stvari, ki jih je tam pogrešala iz Slovenije.

STRAN 55

08

Dobra kemija tudi na parketu – univerzitetne športne lige

Dobro nam gredo kristalne mreže, še bolje pa se znajdemo med odbojgarskimi, nogometnimi in košarkaškimi.

STRAN 61

KABOOM!

kratek pregled filmske kemije

... skočimo skupaj v CGI časovni

stroj in ... VROOOM!

01

Filmska industrija si že od nekdanj prizadeva poustvariti največje, najlepše in kar se da čarobne prikaze (ne)resničnosti, ki jih lahko najdemo v naravi, preteklosti ali pa samo v svoji domišljiji. Pomislimo lahko na scenografijo, 3D-animacijo, filmsko glasbo in tudi na praktične učinke – pri njih se pogosto pojavi tudi kemija.

V zadnjih letih smo lahko v Hollywoodu opazili precejšen porast uporabe praktičnih vizualnih učinkov, in sicer s filmi, kot so: *Oppenheimer*, *Dune* – Peščeni planet in *The Substance*. Če bi radi videli, kako se je vse začelo in na kak način, so s pomočjo kemije v zadnjem stoletju ustvarili eksplozije, dim in še več ...

PODOBE KEMIJSKE
PRETEKLOSTI

AVTOR: NEJC
HORVAT

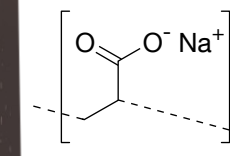
PODOBE KEMIJSKE PRETEKLOSTI

Erlenmayerica / št. 6

- 8 -

1939

Na prelepem travniku, rdečem od maka, se zaradi snega, ki ga je pričarala dobra čarovnica Glinda, prebudi Dorothy. Ne da bi se zavedala količine rakotvornega azbesta, ki ga je ravno kar vdihnila, se odpravi dogodivščinam naproti. Da bi se izognili vnetljivim snovem, so v *Čarovniku iz Oza* za *umetni sneg* uporabljali Chrysotile, ki vsebuje vlakna azbesta in je dandanes splošno poznan povzročitelj pljučnih bolezni. Pozneje so za izdelavo snega uporabljali do okolja prijaznejše in netoksične materiale, kot sta magnezijev in kalcijev sulfat, predvsem pa natrijev poliakrilat. Sestavljajo ga navzkrižno povezane enote $[\text{CH}_2\text{CH}(\text{COONa})]$, v katerih se natrij izmenja z molekulami vode ob raztapljanju. Polimer se napihne, s čimer prepreči »pobeg« molekulam vode, kar ga naredi obstojnega in na las podobnega pravemu snegu.



1980

S prehodom s črno-belih filmov na barvne je čokoladni sirup zaradi svoje barve izgubil svoj sloves (uporabljal ga je na primer Hitchcock), saj so za *umetno kri* zdaj potrebovali nekaj preprosto bolj ... rdečega. Od 50. let naprej je v uporabo prišla barva Kensington Gore, ki jo je ustvaril upokojeni farmacevt John Tynegate iz sladkornega sirupa, koruzne moke, vode in iz rdečega prehranskega barvila. Ta barva je služila tudi za slavno krvavo poplavo v filmu *Izžarevanje* (*The Shining*).

V bolj kemijskem svetu pa je za barvo filmske krvi kriva tudi reakcija izmenjave ligandov na železovem(III) nitratu s kalijevim tiocianatom. Železov nitrat se je namazal na izbrano površino (na primer morilsko orožje) in se je po izmenjavi nitrata s tiocianatom obarval krvavo rdeče.

◀ Repika scenografije iz filma *The Shining*. Stanley Kubrick: *The Exhibit*, TIFF, Kanada. Avtor: Carlos Pacheco iz Toronta, Kanada. Povezava do CC licence: <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>

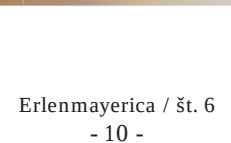
jesen 2026
- 9 -

1981

Umetna ušesa, koža, kadavri, dodatne okončine, zobje in še veliko več – tako imenovan **“special makeup”** je v filmski industriji prisoten že zadnjih sto let. Leta 1981 so za prostetične in druge posebne efekte podelili prvega oskarja, in sicer Ricku Bakerju za film **Ameriški volkodlak v Londonu**. Kakšna pa je kemija za ustvarjanjem umetne kože? Največkrat gre za različne polimere kot so lateks, želatina ali silikon. Silikon sestavljajo verige kisika in silicija, na slednjega pa so vezane različne alkilne ali vinilne skupine. Da se verige povežejo v tridimenzionalni polimer so zaslužni katalizatorji kot sta platina in kositer, ki povzročita vezavo vinilnih skupin na vodike drugih verig.

1991

VROOM! Časovni stroj se ustavi na podelitvi oskarjev, kjer nagrado za tehnični dosežek prejme James Doyle za iznajdbo naprave **“Dry Fogger”**, ki omogoča ustvarjanje **dima in megle** na varen način z uporabo tekočega dušika. Še istega leta je bila uporabljena v filmu **Terminator 2**. Pred tem pa so v filmih kar nekaj časa uporabljali najrazličnejše kemikalije, ki so poleg ustvarjanja odličnih vizualnih efektov, zastrupljale vsakega, ki je z njimi prišel v stik (in zato dandanes niso več v uporabi). Med te kemikalije spada hlapni titanov tetraklorid, ki je ob hidrolizi razpadel na HCl in titanov oksiklorid (katerega delci so ustvarjali dim), in mešanico očetne kisline ter cikloheksilamina.



Erlenmayerica / št. 6
- 10 -

1988

Kljub temu, da smo vsi slišali vsaj kakšno zgodbo o nevarnostih, ki so igralcem grozile pri snemanju različnih filmov (uboga Judy Garland), pa skušajo filmski ustvarjalci kar se da zmanjšati kakršne koli možnosti poškodb ali nezgod. Primer je **uporaba lomljivega stekla** v različnih akcijskih filmih, denimo **Umri pokončno (Die Hard)**, kjer mora Bruce Willis bos teči po tleh polnih razbitega stekla. V filmih se večinoma uporablja “sladkorno steklo”, narejeno iz koruznega sirupa, stekla in kalijevega bitartrata ($KC_4H_5O_6$) ali pa različni termoplastični materiali narejeni iz stirena.

1999

Za realistično upodabljanje strelnih ran, poškodovanih oblačil in pršenja krvi po streljanju, so v filmu **Matrica (The Matrix)** uporabili **majhne eksplozivne naprave (ang. “squibs”)**. Delujejo lahko zaradi stisljivosti zraka ali pa uporabe eksplozivnega prahu, zapakiranega v majhno cevko z žico, ki sproži eksplozijo. V obeh primerih je pok rezultat ekspanzije plina, ki se zgodi na račun sproščanja toplotne energije. Največkrat uporabljena kemikalija za nastanek te energije je bila mešanica kalijevega nitrata, oglja in žvepla.

2025

Avgusta lani je blizu Rijada v Saudovi Arabiji odjeknila največja **filmska eksplozija** vseh časov (in prejela tudi svoj Guinnessov rekord). Pri snemanju akcijskega trilerja **7 Dogs** so namreč porabili ekvivalent kar 170,7 metričnih ton TNT (2,4,6-trinitrotoluen). Poleg eksplozij pa so v filmski industriji kot pirotehniko uporabljali še razne mešanice vnetljivih plinov in oksidantov, kovin 1. in 2. skupine periodnega sistema za barvne efekte ter magnezijev prah za simulacijo isker in bliskanja.



FUN FACT

Celuloza je v filmski industriji uporabljena za pripravo **umetnega blata in mulja** v kombinaciji z različnimi glinenimi minerali in šotnim mahom. Naravno blato lahko namreč vsebuje patogene mikroorganizme ali nevarne kemikalije.

VIRI IN LITERATURA

Short, D. in Badger, P. The chemistry behind special effects in film and television. The school science review, 2013, 94(349), str. 70-75.

Hambling, D. Weatherwatch: no business like fake snow business. The Guardian, 2019. Dostopno na: <https://www.theguardian.com/news/2019/jan/18/weather-watch-films-fake-snow>

Finn, N. Feuds, blood in the gutters and the twins then and now: 40 haunting secrets about The Shining. E! Online, 2020. Dostopno na: <https://www.eonline.com/news/1155031/feuds-blood-in-the-gutters-and-the>

twins-then-and-now-40-haunting-secrets-about-the-shining
Thomas, K. Blood in pop culture: the history of fake blood in movies. Stanford Blood Center, 2020. Dostopno na: <https://stanfordbloodcenter.org/blood-in-pop-culture-the-history-of-fake-blood-in-movies/>

Lutz, D. Hollywood special effects. How did they do that. ChemMatters, 2009. Dostopno na: <https://www.acs.org/content/dam/acsorg/education/resources/highschool/chemmatters/articles/bytopic/thermochemistry/chemmatters-dec2009-hollywood.pdf>

Oshan Lakshitha, A. Y. The role of prosthetic makeup for creating realistic

creature effects in fantasy movie. Sri Lanka Journal of Advanced Research Studies in Humanities and Social Sciences, 2023, 13(2), str. 87-98

Deikova, M. Practical effects in film: the craft of prosthetics then and now. Cined, 2023. Dostopno na: <https://www.cined.com/practical-effects-in-film-the-craft-of-prosthetics-then-and-now/>

Largest film stunt explosion. Guinness World Records. Dostopno na: <https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/75955-largest-film-stunt-explosion>

FREKVENCA X

02

SPOZNAJMO

**AVTORJA: BRINA
SARAJLIČ VRANC IN
NIK ŠIRIČ**

Frekvenca X je poljudnoznanstvena oddaja na Valu 202, ki izhaja vsako sredo ob 12h in je eden izmed prvih podkastov v Sloveniji, v katerem sodelujejo tudi strokovni sodelavci.

SPOZNAJMO
Erlenmayerica / št. 6
- 12 -

ZGODOVINA IN NASTANEK FREKVENCE X

Marca 2009 sta tedanja urednica Mija Škrabec Arbanas, ki se je zelo zanimala za znanost, in strokovni sodelavec dr. Nejc Jelen objavila prvo oddajo. Do danes so objavili že skoraj 700 oddaj o različnih tematikah iz področij astrofizike, medicine, matematike, ved o življenju ipd.

Zadnja leta Frekvenco X predstavljajo novinarji Vala 202: Luka Hvalc, Maja Ratej, Maja Stepančič, Ajda Kus in Neža Borkovič. Kot strokovni sodelavci pa redno sodelujejo dr. Tomaž Zwitter (UL FMF), dr. Matej Huš (KI) in dr. Ajasja Ljubetič (KI), dr. Matjaž Gregorič (ZRC SAZU) idr. Z naše fakultete pa najpogosteje sodelujeta prof. dr. Marko Novinec in prof. dr. Anton Meden. Za delo na svojem področju so prejeli mnoga priznanja. Njihova prva oddaja je imela naslov Pregrinjalo nevidnosti,

kjer so gostili prof. dr. Igorja Muševiča z Inštituta Jožef Štefan, ki je razložil fizikalno plat in tehnologijo, ki bi lahko ustvarila takšno napravo.

IZBIRA TEMATIK IN SODELAVCEV ZA ODDAJO

Teme za nov podkast izbirajo na 3 načine. Najprej poiščejo zgodbe, ki so zanimive in ki pritegnejo pozornost. Poskusijo jih razložiti na poljuden način in jih predstaviti širši javnosti. Spremljajo aktualne znanstvene teme, npr. letos so spremljali vesoljsko misijo Artemis II, ki je vodila prvi polet s posadko okoli Lune po 54 letih. Iščejo tudi teme, ki zanimajo prav poslušalce. Informacije pridobivajo s poslušanostjo posameznih oddaj, sledenjem popularne kulture, tudi s posvetovanjem z dijaki z različnih srednjih šol. Ker so javni mediji, se ne smejo zanašati le na želje poslušalcev, ampak jim morajo predstaviti tudi teme, za katere morda

poslušalci slišijo prvič. Po izbiri vsebine za naslednjo oddajo poiščejo kredibilne strokovnjake z ustreznega področja. Cilj jim je tudi ozaveščati javnost o pomembnosti sodelovanja med stroko in mediji in posledično z javnostjo.

Tako tudi poskušajo širiti pomembnost o točnosti in zanesljivosti različnih virov. Udeležujejo se različnih gostovanj in javnih debat na fakultetah in inštitutih. Na teh dogodkih lahko stopijo v stik s profesorji, študenti in ostalimi znanstvenimi sodelavci. S promoviranjem stika med javnostjo in znanostjo želijo preprečiti širjenje dezinformacij. Jeseni 2025 so organizirali pub kviz na temo takšnih vprašanj, ki so jih potem razlagali strokovnjaki z lastnih področij.



Ekipa Frekvence X iz leta 2022

(z dovoljenjem Radia Slovenija)

FREKVENCA X
jesen 2026
- 13 -



▲ Slika 2: Prejetje nagrade Prometej za komuniciranje znanosti (z dovoljenjem Radia Slovenija)



◀ Slika 3: snemalna soba Vala 202 (avtorska slika z dovoljenjem Radia Slovenija)

PRILJUBLJENOST PODCASTA MED RAZLIČNIMI DEMOGRAFSKIMI SKUPINAMI POSLUŠALCEV

Na Frekvenci X želijo znanstvene teme približati čim več različnim skupinam poslušalcev (doktorski študentje, starejši idr.). Čim bolj se trudijo vključevati in promovirati ženske v znanosti in ozaveščati o tematikah, ki so aktualne za ženske (perimenopavza in menopavza). Največji delež poslušalcev pa predstavljajo moški srednjih let in študentje.

V zadnjem letu so na radijski oddaji pokrili veliko raznolikih tem, ki so se gale od prehranskih dopolnil pa vse do astrofizike. To priča o tem, da poskušajo na Frekvenci X predstaviti čim širši nabor tem, kar jim tudi uspeva. Prav tako jim "tabu" teme ne pred-

stavljajo ovir: v sodelovanju z oddajo Vroči mikrofoni so govorili o duševnih boleznih, v kar se želijo prihodnje še bolj poglobiti. Prav tako pa so med obdobjem pandemije Covid-19 malo bolj posvetili govoru o cepivih. Zavedajo se tudi, da so nekatere stroke bolj razvite izven Slovenije, sodelujejo tudi s tujimi strokovnjaki, s katerimi pogovor izvedejo preko videoklica, nato pa prevedeno različico tudi objavijo. Gostili so tudi svetovno znane znanstvenike kot je primatologinja Jane Goodall, vrsto Nobelovih nagajencev in ostalih svetovno prepoznavnih komunikatorjev znanosti.

Zaradi velike količine vsakodnevnih znanstvenih objav se novinarji spopadajo s tem, katero novico izbrati. To seveda zahteva visoko stopnjo kritičnosti in selektivnosti

ti. Kot vemo je to precej težka naloga, zato se o aktualnih tematikah radi

pogovorijo in prejmejo nasvet od ljudi, ki se z nekimi tematikami bolj pogosto srečujejo, pa naj bodo to strokovnjaki, profesorji ali celo študentje. Prav tako ob koncu vsake oddaje zadnje minute namenijo odseku Xpertiza, ki je namenjen magistrskim in doktorskim študentom, kjer predstavijo svoje področje raziskave. Poleg tega so vedno odprti za predloge predstavitve novih znanstvenih tem in področij.

Slika 4: snemalna soba (avtorska slika z dovoljenjem Radia Slovenija)





ZGODBE IZ POD LABORA-
TORIJSKEGA PULTA

AVTORJA: DAŠA ČEBULJ
IN NIK ŠIRIĆ

Znanost v 3.1 Breaking Bad: fikcija ali realnost

Med študenti FKKT je gotovo veliko ljubiteljev znane ameriške serije Kriva pota (angl. Breaking Bad). Njen protagonist Walter H. White je srednješolski profesor kemije, ki se po diagnozi pljučnega raka zateče k proizvodnji visokokakovostnega metamfetamina, da bi zagotovil finančno dobrobit svoje družine. Walter si za partnerja izbere nekdanjega učenca Jesseja Pinkmana, ki je bolje seznanjen s preprodajo drog, in skupaj se podata v nezakonito trgovino z drogami.

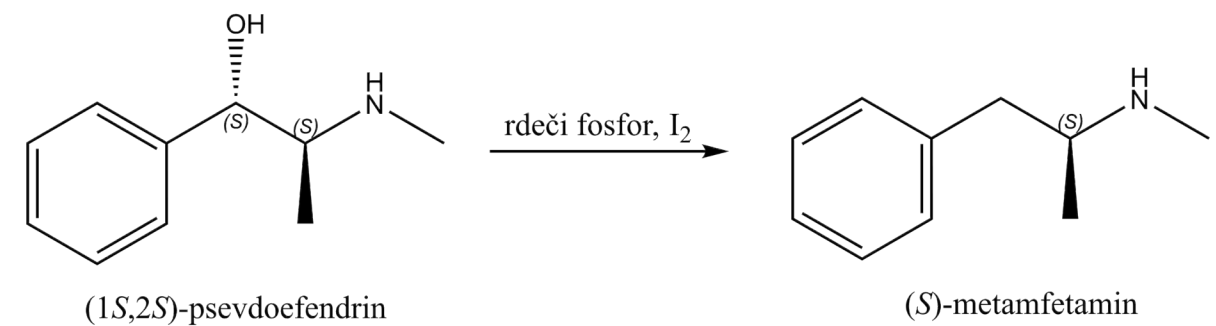
V seriji smo priča nemalo prizorom, ki so povezani s kemijo, med katerimi so nekateri bolj, drugi pa manj natančni. Pa si oglejmo nekatere izmed njih.

SINTEZA METAMFETAMINA

Metamfetamin je stimulans, ki obstaja v dveh stereoizomernih oblikah, pri čemer ima (*S*)-metamfetamin močnejše stimulative učinke kot njegov (*R*)-enantiomer. Na trgu se pojavlja v obliki hidroklorida, ki je brezbarvna kristalinična

spojina pri sobnih pogojih. Obstaja več sinteznih poti, ki vodijo do metamfetamina, od teh so nekatere stereoselektivne, druge pa ne. V seriji sta omenjeni dve, in sicer reduktivna aminacija P2P ter sinteza iz psevsoefendrina. Sinteza iz psevsoefendrina je v seriji predstavljena kot standardna sintezna pot, ki temelji na izolaciji psevdoefendrina iz zdravil za prehlad, temu pa sledi reakcija z

rdečim fosforjem in jodom. Rdeči fosfor ima vlogo reducenta in reducira jod do jodidnih ionov. Z nukleofilno substitucijo nastane jodoefendrin, ki ima namesto β -hidroksilne skupine jodidno skupino. Z redoks reakcijo se jodoefendrin pretvori v končni metamfetamin. Ta sintezna pot je stereoselektivna, zato iz začetnega (*1S,2S*)-psevdoefendrina, ki je v zdravilih za prehlad, nastane (*S*)-metamfet-



Ustvarjeno s programom Chem-Draw.

amin, ki je bolj zaželen za preprodajalce drog. Pomanjkljivost te metode pa je v omejenem dostopu do psevdoefendrina, ki ga morajo preprodajalci dobiti v lekarnah. Tu tiči razlog za Walterjev uspeh, saj najde način, kako sintetizirati metamfetamin brez psevdoefendrina.

Druga glavna sintezna pot temelji na reduktivni aminaciji P2P. P2P je ulično ime za fenilacetone oziroma fenil-2-propanon (angl. phenyl-2-propanone). Ravno zaradi povezave z metamfetaminom pa je Ameriški urad za boj proti drogam to kemikalijo uvrstil na seznam

kontroliranih substanc že v osemdesetih letih prejšnjega stoletja.

Zato mora Walter poiskati alternativo sintezno pot. Razvije postopek, v katerem najprej fenilacetno kislino pretvori v P2P v cevni peči v prisotnosti torijevega oksida kot katalizatorja. P2P pa nato z metilaminom v prisotnosti aluminijevega amalgama pretvori v metamfetamin. Ta reakcija ni stereoselektivna in produkt je racemna zmes (*R*) in (*S*)-metamfetamina. Kljub temu je Walterjeva sintezna pot v seriji predstavljena kot velik uspeh in njegov

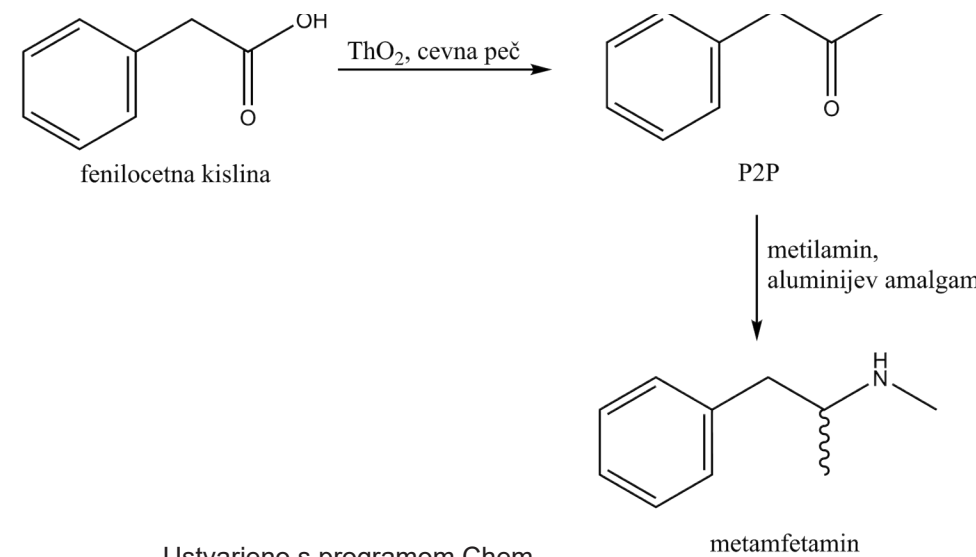
produkt je enantiomerno čist. Še ena nepojasnjena lastnost pa je modra barva njegovega produkta, ki bi moral biti brezbarven [1, 2, 3].

ŽIVOSREBROV(II) FULMINAT (Hg(CNO)₂)

V 6. epizodi 1. sezone serije Breaking Bad Walter odide k preprodajalcu drog Tucu Salamanci, ker si želi nazaj metamfetamin, ki ga je Tuco ukradel Jesseju. S seboj prinese majhno vrečko kristalov, za katere Tuco misli, da so kristali metamfetamina. Vendar so v vrečki so kristali živosrebrovega(II) fulminata, izmed katerih Walter vzame enega in ga vrže ob tla, kar povzroči eksplozijo in razbije vsa okna v sobi. Nato Tuco vrne ukraden metamfetamin Walterju in ga začne jemati resno.

Na kratko o živosrebrovem(II) fulminatu:

Živosrebrov(II) fulminat je eksplozivna spojina, katere kristali so pogosto rjave do sive barve (zaradi živega srebra). Tvori velike kristale, ki so zelo nestabilni in občutljivi na udarce in trenje. Nekoč se je uporabljal za dodajanje k netilom za puške.



Ustvarjeno s programom Chem-Draw.



Sinteza Hg(CNO)₂:

Živo srebro raztopimo v koncentrirani dušikovi(V) kislini, pri čemer nastaneta živosrebrov(II) nitrat in dušikov oksid, ki je rdečerjav plin. Nato raztopini dodamo etanol, da nastanejo kristali živosrebrovega(II) fulminata [4].

Eksplozija Hg(CNO)₂

Enačba eksplozije:



Eksplozija živosrebrovega(II) fulminata je močno eksotermna reakcija, pri kateri se energija sprosti v obliki svetlobe, toplote in kinetične energije plinov [5].

Resničnost scene v seriji ali pretiravanje?

Za dramatične učinke je v sceni bila dodana stabilnost kristalov, saj bi pravi kristali Hg(CNO)₂ Walterju eksplodirali že v roki in ne šele od stiku s tlemi ali celo v vrečki zaradi tresenja med hojo. Prav tako zaradi nestabilnosti spojine ni možno sintetizirati tako velikih kristalov. Spojina obstaja v obliki majhnih kristalov ali kot prah.

Ker se Hg(CNO)₂ uporablja v netilih in ne kot primarni eksploziv, lahko že iz tega sklepamo, da spojina (čeprav v takšni količini) ne bi mogla povzročiti tako velike eksplozije, kvečjemu le manjšo detonacijo, ki bi prav tako poškodovala Walterja, vendar smo v prizoru videli, da mu ni bilo nič [6].

ALI LAHKO FLUOROVODIKOVA KISLINA RAZGRADI TRUPLO?

Na začetku je potrebno popraviti Walterjevo izjavo, in sicer, da je HF močna kislina. Fluorovodikova kislina je šibka kislina z vrednostjo pK_a = 3,19. Predvidevamo lahko, da so scenaristi to napako naredili zaradi lastnosti fluorovodikove kisline, da prehaja skozi kožo in poškoduje pokostnico. Vse poskuse s HF je potrebno delati v plastičnem laboratorijskem materialu, saj fluorovodikova kislina reagira s silicijevim oksidom (glavna sestava steklovine) in tako poškoduje strukturo in uniči material. V teoriji fluorovodikova kislina lahko razgradi trupla do neke mere, a različno učinkuje na mehka tkiva in na kosti. Obstajajo pa druge snovi, ki bolj učinkovito razgrajujejo tkiva, kot je dušikova(V) kislina v velikih količinah [7].

RICIN KOT STRUP

Ricin je v seriji zelo realistično prikazan za razliko od nekaterih drugih spojin. Ricin je zelo toksičen lecitin, ki se ga proizvaja iz ricinusovih semen (*lat. Ricinus communis*) in se nahaja v obliki belega prahu.

Ricin je protein, sestavljen iz dveh polipeptidnih verig, ki sta povezani z disulfidno vezjo. Je citotoksin, zato je nevaren ob zaužitju ali intravenozni aplikaciji. V celici inhibira sintezo proteinov v ribosomih in uničuje celično steno. Letalna doza ricina je 0,5–1 mg na kilogram telesne teže. Ricin deluje počasi, običajno se prvi simptomi pojavijo po štirih do osmih urah, popoln učinek pa doseže v nekaj dneh. Zastrupitev z ricinom je na začetku zelo

podobna trebušni gripi, v nadaljevanju pa začnejo odpovedovati vsi notranji organi. V seriji Walter neuspešno poskusi zastrupiti Tuca z ricinom, v zadnji epizodi serije pa je Lydiji zamenjal stevio (naravno sladilo) z ricinom, kar je razlog za njeno smrt [8, 9].

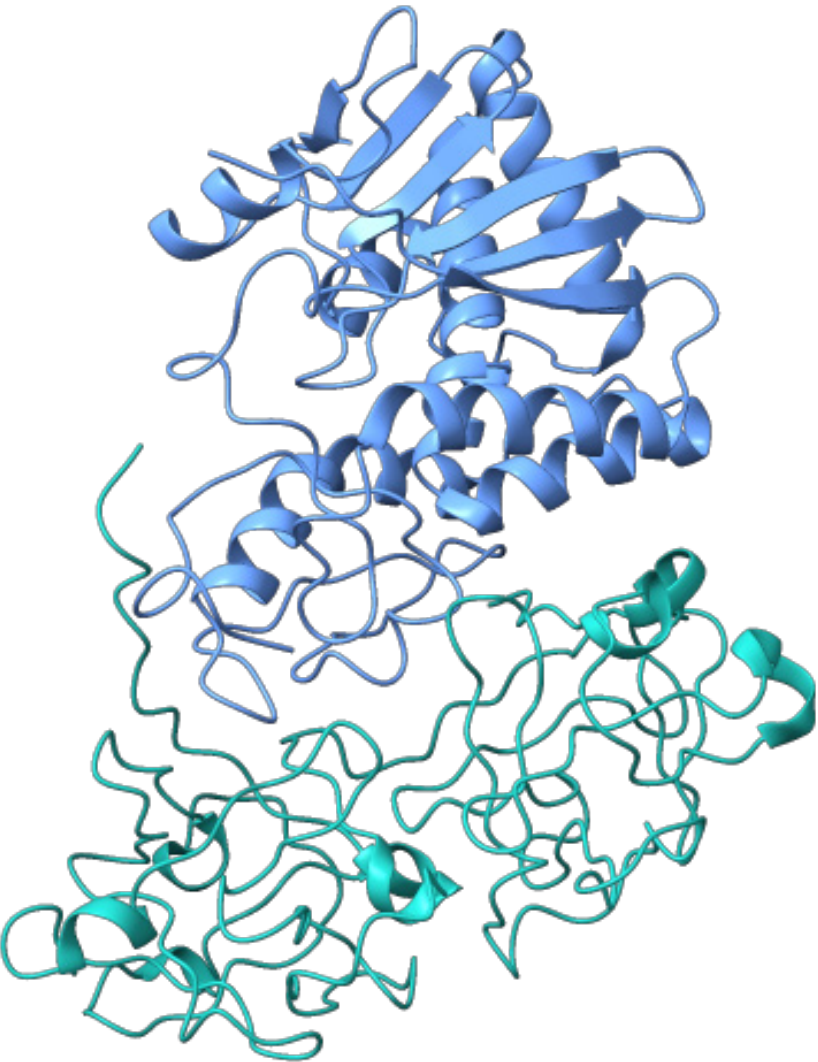
LILY OF THE VALLEY ALI ŠMARNICA

Lily of the valley ali šmarnica: Šmarnica ali solzica (angl. Lily of the valley, *lat. Convallaria majalis*) je avtohtona v Aziji in Evropi, v Severni Ameriki pa velja za invazivno rastlino. Je gozdna cvetoča rastlina, ki v Sloveniji velja za divjo rastlino z dišečimi cvetovi.

Šmarnica vsebuje konvalotoksin, ki sodi med kardiotonične glikozide in se uporablja za zdravljenje srčnega popuščanja. Le 10 % glikozidov se absorbira v prebavila, zato je huda zastrupitev s šmarnico malo verjetna. Walter v seriji izbere šmarnico za zastrupitev Brocka, saj s tem prepriča Jesseja, da je za zastrupitev odgovoren Gus Fring. Ob nekontroliranem zaužitju povzroča simptome, podobne zastrupitvi z ricinom, kot sta bruhanje in slabost.

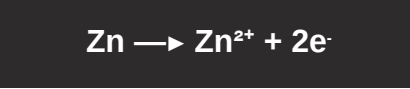
PRIŽIG VOZILA Z IMPROVIZIRANO BATERIJO:

Po tem, ko se Walterju in Jesseju sredi puščave izprazni akumulator na avtomodu, Walter poskusi narediti elektrokemijsko baterijo iz zavornih ploščic, gobic za pomivanje posode in različnih galvaniziranih kovin. Tako na enostaven način ustvari galvanski člen.

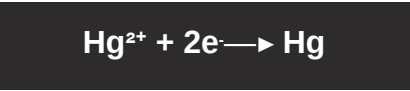


▲Struktura ricina (PDB-koda 2AAI). Z modro barvo je prikazana veriga A, s turkizno pa veriga B. Ustvarjeno s programom UCSF ChimeraX 1.9.

Na anodi uporabi različne galvanizirane kovinske predmete (kovance, vijake ipd.) in poteče oksidacija cinka po naslednji enačbi:



Na katodi pa uporabi zavorne ploščice, ki so narejene iz grafita s premazom iz živosrebrovega oksida (HgO), ki je ključen člen za potek reakcije. Redukcija poteče po naslednji enačbi:



Celokupna reakcija v galvanskem členu je naslednja:

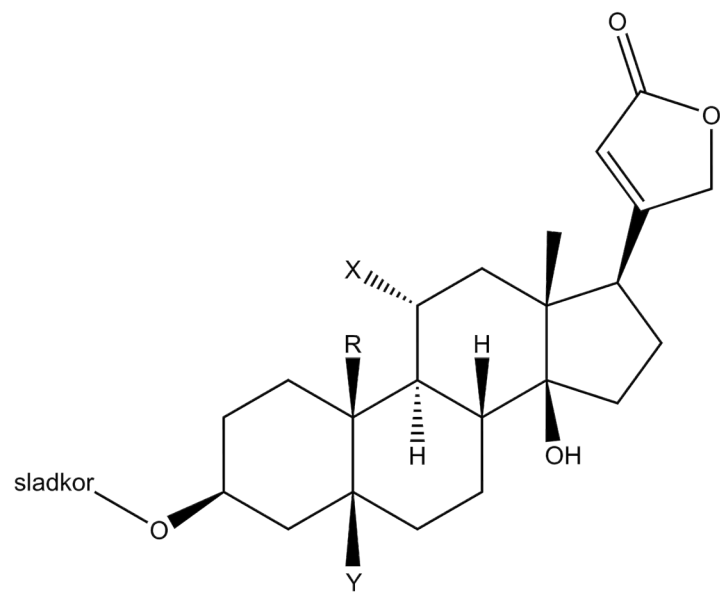


Po izračunu standardne napetosti v celici z vrednostmi E⁰_{Zn/Zn²⁺} = -0.76 V in E⁰_{Hg²⁺/Hg} = 0.85 V dobimo naslednji rezultat: E_{celica} = E⁰_{Hg²⁺/Hg} – E⁰_{Zn/Zn²⁺} =



1.61 V. Ker sta Walter in Jesse naredila 6 takšnih elektrokemijskih celic, ki sta jih zaporedno povezala, bi dobila napetost $U = 9,66$ V. Vendar bi tolikšno napetost lahko dobila le v idealnih pogojih, brez izgub in stranskih reakcij zaradi nečistoč uporabljenih materialov. Ker imajo običajno akumulatorji 12

V, je zelo malo verjetno, da bi jima to dejansko uspelo v resničnem življenju. Reakcija je sicer realna in bi lahko zag-nala avtodom, a potrebovala bi vsaj še nekaj takšnih elektrokemijskih celic, če ne štejemo še izgub in stranskih reak-cij [11].



◀ Splošna formula kardiotoničnih glikozidov, povzeto po [10]. Ustvarjeno s programom Chemdraw.

VIRI

- [1] W. N. S. Mat Desa, D. Ismail: Impurity Profiling of Amphetamine and Methamphetamine Using Gas Chromatography Mass Spectrometry (GCMS) Harmonised Methods. *Sains Malaysiana* 2017, 46, 149–156.
- [2] A. J. Wallach: A Comprehensive Guide to Cooking Meth on 'Breaking Bad'. *VICE*, 2013.
- [3] M. Dobmeier, J. M. Herrmann, D. Lenoir, B. König: Reduction of benzylic alcohols and α -hydroxycarbonyl compounds by hydriodic acid in a biphasic reaction medium. *Beilstein J. Org. Chem.* 2012, 8, 330–336.
- [4] W. Beck, J. Evers, M. Göbel, G. Oehlinger, T. Klapoetke: The Crystal and Molecular Structure of Mercury Fulminate (Knallquecksilber). *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie* 2007, 633, 1417–1422.
- [5] D. Hickman: How Do You Intimidate a Drug Dealer With Fulminated Mercury? – Part of The Chemistry of Breaking Bad. *ChemistryViews*, 2013.
- [6] J. Hare: Breaking Bad IV – can a little crystal blow up a room? <https://edu.rsc.org/analysis/breaking-bad-iv-can-a-little-crystal-blow-up-a-room/3007376.article> (pridobljeno 26. mar. 2026).
- [7] D. Hickman: Can Corpses Really be Dissolved in Hydrofluoric Acid? – Part of The Chemistry of Breaking Bad. *ChemistryViews*, 2013.
- [8] D. Hickman: Eliminating Drug Dealers with Ricin – Part of The Chemistry of Breaking Bad. *ChemistryViews*, 2013.
- [9] Ricin - Wiki FKKT <https://wiki.fkkt.uni-lj.si/index.php/Ricin> (pridobljeno 26. mar. 2026).
- [10] V. Khanin, O. Moiseev, A. Babkina, O. Kotenko, A. Kotov: Development of the new approach to quality control of extracts of the plant raw material on the example of *Convallaria majalis*. *Visnik farmacii* 2016, 24–27.
- [11] D. Hickman: Can a Makeshift Battery Be Used to Start a Recreational Vehicle's (RV) Engine? – Part of The Chemistry of Breaking Bad. *ChemistryViews*, 2013.

3.2

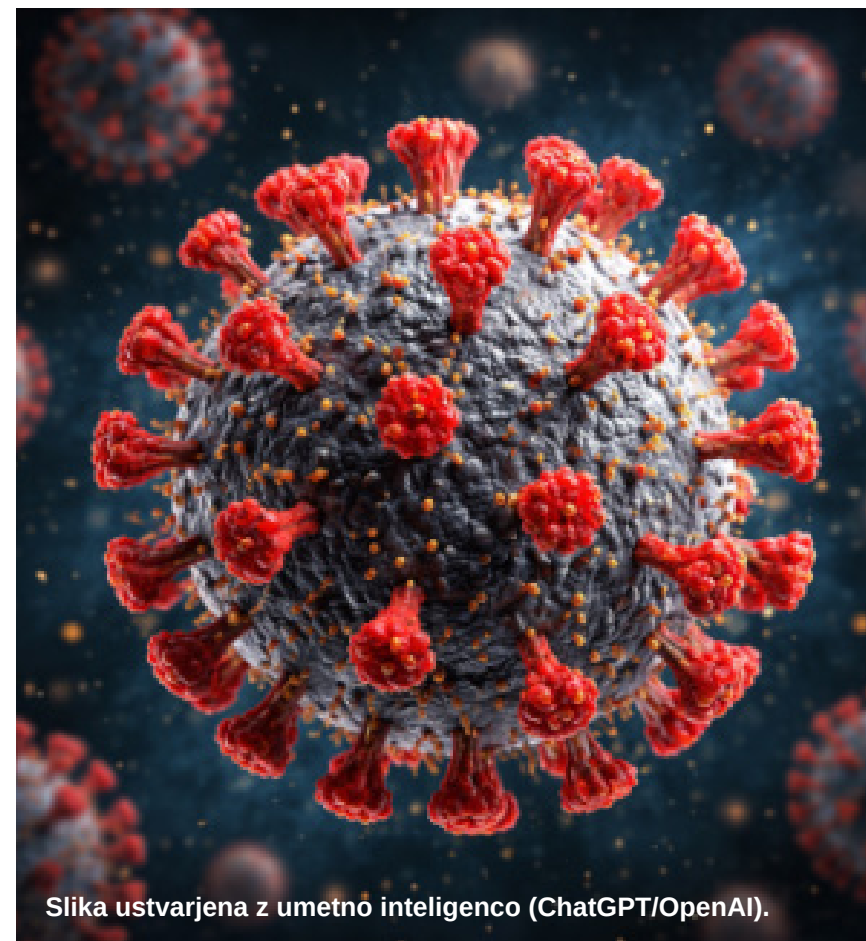
Kako tanka meja je med realnostjo in fikcijo?

ZGODBE IZ POD LABORATORIJSKEGA PULTA

**AVTORICE: ŽIVA BREGAR,
PETJA LOGAR IN
ANJA KOKOL**

**STROKOVNA POMOČ PRI
ODGOVORIH: DR. MIŠA KORVA**

Ogledale smo si film z naslovom Contagion, ki govori o novem neznanim virusu MEV-1, kar je okrajšano za Meningoencephalitis Virus 1. Virus je nastal ob spillover dogodku in sicer je preskočil z živali na človeka. Gre torej za zoonotski virus, ki je kombinacija prašičjega in netopirjevega virusa. Povzročča meningoencefalitis, to je vnetje možganov in možganskih ovojnic, ter prizadene pljuča in centralni živčni sistem. Virus je zelo nalezljiv in hitro mutira. Prenaša se z respiratornimi kapljicami, preko okuženih površin ter z neposrednim stikom.



Slika ustvarjena z umetno inteligenco (ChatGPT/OpenAI).



Njegovo osnovno reprodukcijsko število je približno 4, kar pomeni, da ena okužena oseba v povprečju okuži štiri druge. Inkubacijska doba traja od 2 do 4 dni. Simptomi okužbe vključujejo vročino, kašelj, slabo počutje, epileptične napade in hitro napredovanje do odpovedi organov, možganskega vnetja in smrti. Smrtnost znaša 25–30 %, okužen naj bi bil vsak dvanajsti človek na svetu. Zaradi nevarnosti virus raziskujejo le v laboratorijih stopnje BSL-4, kjer so sprva imeli težave z gojenjem virusa v celičnih kulturah. Cepivo, preizkušeno z samoinokulacijo, učinkovito preprečuje okužbo, distribucija pa poteka z žrebom datuma rojstva. Vsak cepljeni prejme identifikacijsko zapestnico. Zanimivo je omeniti tudi to, da so nekateri posamezniki na virus naravno imuni.

Zanimalo nas je, kako realno so prikazani prizori v filmu in kako to dejansko poteka zunaj televizijskih zaslonov, v realnem življenju. Odgovori na naša vprašanja nam tako ponujajo dragocen vpogled v razmerje med resničnimi znanstvenimi procesi in filmsko interpretacijo ter nam tako pomagajo bolje razumeti, kje film sledi sodobnim znanstvenim postopkom in kje zaradi dramatičnega učinka posega po poenostavitvah ali odstopanjih od realnosti. Pri tem nam je pomagala doc. dr. Miša Korva, o njenem akademskem vzponu in o virologiji si lahko preberete pod rubriko Intervju.

1. Kaj so zoonotski virusi in kateri dejavniki najpogostejše omogočajo njihov preskok z živali na človeka?

Zoonotski virusi krožijo v naravi v živalskih gostiteljih, vendar se lahko prenesejo na človeka in povzročijo bolezen. Pomembni dejavniki, ki omogočajo preskok virusa na novega gostitelja, so tesen stik med ljudmi in

živalmi, spremembe v ekosistemih, povečanje populacije gostiteljev in ljudi na nekem območju, intenzivnejše kroženje virusa med gostitelji ali vektorji ter genetske spremembe virusa, ki omogočajo vstop v človeške celice.

2. Kako poteka t. i. spillover dogodek in kateri okoljski ali družbeni dejavniki povečujejo tveganje zanj?

Preskok virusa ali »spillover« je trenutek, ko virus prvič uspešno okuži novega gostitelja. Najbolj nas zanima preskok virusa na človeka, do katerega lahko pride ob stiku človeka z izločki ali telesnimi tekočinami okužene živali. Do tega lahko pride če je količina virusa dovolj velika, da premaga imunske obrambne mehanizme in če se virus lahko veže na človeške celične receptorje.

Tveganje za preskok virusov povečujejo predvsem spremembe okolja (krčenje gozdov, urbanizacija), intenzivna živinoreja, trgovina z divjimi živalmi, podnebne spremembe, ki vplivajo na širjenje območja vektorjev ter global-

izacija ljudi in blaga.

3. Ali je opisan virus po svojih značilnostih primerljiv, s katerim od že znanih virusov?

Virusi prikazani v filmih, so običajno sestavljeni iz več različnih lastnosti resničnih virusov. Virus v filmu Contagion bi lahko bil kombinacija virusa Nipah (zoonotski izvor, encefalitis, visoka smrtnost) in respiratornega virusa, kot sta virus influence ali koronavirusi (hitro širjenje, respiratorni prenos, pogosti preskoki iz živali na ljudi). V filmih pogosto združijo visoko prenosljivost z visoko smrtnostjo, kar je redka lastnost naravnih virusov.

4. Katere lastnosti običajno zaznamujejo zelo nalezljive viruse (npr. $R_0 \approx 4$, kratka inkubacijska doba, stabilnost na površinah)

Zelo nalezljivi virusi imajo več lastnosti: visok R_0 ($\geq 3-4$), kar pomeni, da en okuženi posameznik v povprečju okuži več drugih; kratko inkubacijsko dobo, ki omogoča hitro širjenje med ljudmi; prenosljivost že pred pojavom simptomov; dobro stabilnost v okolju in nizek infektivni odmerek, torej za okužbo zadostuje že majhna količina virusa.

5. Zakaj lahko nekateri respiratorni virusi poleg pljuč prizadenejo tudi centralni živčni sistem in povzročijo zaplete, kot je meningoencefalitis?

Virusni tropizem, torej katere celice ali organe lahko virus okuži, je v veliki meri odvisen od celičnega receptorja, ki ga virus uporablja za vstop v gostiteljsko celico. Če je tak receptor prisoten tudi v živčnih celicah, obstaja možnost, da virus prizadene tudi osrednji živčni sistem. Poleg neposrednega vstopa v

nevrone, lahko do nevroloških zapletov pride tudi zaradi močnega vnetnega odziva, ki oslabi krvno-možgansko pregrado, ali zaradi sistemske okužbe, pri kateri preide virus v možgane po krvi. Takšne zaplete poznamo pri enterovirusih, virusu Nipah in v redkih primerih tudi pri SARS-CoV-2.

6. Kateri dejavniki določajo, ali bo posameznik po izpostavitvi virusu razvil blago obliko bolezni ali hud potek?

Na potek bolezni vpliva več dejavnikov. Med najpomembnejšimi so: imunski status posameznika, predhodne okužbe ali cepljenja, genetske značilnosti, starost, način izpostavitve virusu in količina virusa ob okužbi. Hude oblike bolezni se običajno razvijejo zaradi kombinacije lastnosti virusa in gostiteljevega imunskega odziva, ki je lahko pri nekaterih posameznikih pretiran ali pa neučinkovit.

7. Ali je mogoče, da so nekateri posamezniki na določen virus naravno imuni, in na katerih genetskih ali imunoloških mehanizmih bi takšna odpornost lahko temeljila?

Seveda lahko tudi pri virusnih boleznih najdemo posameznike, ki so naravno odporni na okužbo. Takšna odpornost temelji na več mehanizmih. Eden izmed njih so prirojene genetske razlike v celičnih receptorjih, kot je na primer delecija v receptorju CCR5, ki nudi odpornost proti okužbi z virusom HIV. Drugi mehanizem je izjemno učinkovit prirojeni imunski odziv, ki virus nevtralizira že v najzgodnejši fazi okužbe. Pomembna je lahko tudi navzkrižna imunost, ki nastane po predhodni okužbi s sorodnim virusom in posamezniku zagotovi delno ali celo

popolno zaščito pred novim patogenom.

8. Kako epidemiologi na začetku izbruha ocenijo osnovno reprodukcijsko število (R_0) in kako na tej podlagi napovedujejo, koliko ljudi bi se lahko okužilo?

Ocena osnovnega reprodukcijskega števila (R_0) temelji na analizi števila sekundarnih primerov, ki jih povzroči en primarni primer v populaciji, dovzetni za okužbo. Za natančno določitev R_0 morajo epidemiologi v zgodnjih fazah izbruha čim hitreje identificirati začetne primere, rekonstruirati njihovo mrežo stikov ter opredeliti serijski interval in generacijski čas prenosa. Na podlagi teh podatkov analizirajo dinamiko naraščanja primerov v prvih tednih in z matematičnimi ali s statističnimi modeli izračunajo R_0 . To nam omogoča projekcije poteka epidemije in napoved, kolikšen delež populacije bi se lahko okužil, če ne uvedemo zadrževalnih ukrepov.

9. Na podlagi katerih dejavnikov lahko strokovnjaki predvidevajo smrtnost novega virusa (npr. 25–30 %) in kako zanesljive so te zgodnje ocene?

Smrtnost novega virusa se v začetnih fazah izbruha ocenjuje na podlagi prvih zanesljivo prepoznanih primerov, njihove potrebe po hospitalizaciji in dokumentiranih izidov bolezni. Pri tem epidemiologi upoštevajo tudi starostno in zdravstveno strukturo obolelih. Ker na začetku običajno zaznamo predvsem težje poteke bolezni, blagi in asimptomatski primeri pa pogosto ostanejo

neprepoznani, tak vzorec populacije ni reprezentativen. Poleg tega je v zgodnji fazi izbruha diagnostika pogosto omejena, zato je začetna ocena smrtnosti navadno obremenjena z veliko negotovostjo in je pogosto precenjena.

10. Kako hitro je smiselno uvesti karanteno ali druge omejitvene ukrepe pri zelo nalezljivi bolezni z visoko smrtnostjo?

Karantena je eden najučinkovitejših ukrepov za prekinitev verige prenosa, saj virusu omeji dostop do novih dovzetnih gostiteljev in upočasni ali ustavi eksponentno širjenje okužb. Njena uvedba je smiselna predvsem v situacijah, ko se virus hitro širi, prenos poteka še pred pojavom simptomov, cepivo ali specifična protivirusna terapija še ni na voljo in zdravstveni sistem kaže prve znake preobremenitve. Pri virusu, kot je MEV1, ki je zelo nalezljiv, ima kratko inkubacijsko dobo in povzroča hudo bolezen, bi bili zgodnji in odločni omejitveni ukrepi ključnega pomena za nadzor nad potekom epidemije.

11. Zakaj je pri novih virusih včasih težko najti ustrezno celično kulturo za laboratorijsko gojenje?

Film zelo realistično prikaže izziv, s katerim se raziskovalci pogosto srečujemo pri izolaciji novega virusa, ko moramo za gojenje testirati več različnih celičnih kultur, preden najdemo ustrezno. Celična linija mora biti hkrati dovzetna in permissivna. To pomeni, da morajo imeti celice ustrezen celični receptor, ki omogoča virusu vstop v celice, in da se v njih virus učinkovito pomnožuje. Nekateri virusi uspevajo le v primarnih celicah, ki so biološko zelo relevantne, a tehnično zahtevne za gojenje in imajo kratko življenjsko dobo.



◀ Slika ustvarjena z umetno inteligenco (ChatGPT/OpenAI).

možnosti zlorabe patogenov, ampak tudi tveganj, povezanih z njihovim shranjevanjem, transportom in laboratorijsko manipulacijo. Zato so ključnega pomena: robustni sistemi biovarnosti in biozaščite, delo v visokovarnostnih laboratorijih z jasno določenimi standardnimi operativnimi postopki, s sledljivostjo materiala in z rednim usposabljanjem osebja. Pomembna dela odgovorne prakse sta tudi etična presoja in premišljena znanstvena komunikacija, zlasti pri občutljivih metodah ali podatkih, ki bi lahko omogočili zlorabo. Cilj je ohraniti odprtost znanosti, a hkrati ohraniti nadzor nad patogeni, ki bi jih lahko uporabili kot biološko orožje, in s tem povezana varnostna tveganja.

VIRI
Araújo, J. P. M. et al. 'Zombie-Ant Fungi across Continents: 15 New Species and New Combinations within *Ophiocordyceps*. I. Myrmecophilous hirsutelloid Species'. *Studies in Mycology*, vol. 90, no. 1, June 2018, pp. 119–60. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2017.12.002>

De Bekker, Charissa et al. 'Species-Specific Ant Brain Manipulation by a Specialized Fungal Parasite'. *BMC Evolutionary Biology*, vol. 14, no. 1, Aug. 2014, p. 166. Springer Link, <https://doi.org/10.1186/s12862-014-0166-3>

Fredericksen, Maridel A. et al. 'Three-Dimensional Visualization and a Deep-Learning Model Reveal Complex Fungal Parasite Networks in Behaviorally Manipulated Ants'. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 114, no. 47, Nov. 2017, pp. 12590–95. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1073/pnas.1711673114>

Garcia - Solache, M. A., & Casadevall, A. (2010). Global warming will bring new fungal diseases for mammals. *mBio*, 1(1), e00061-10. <https://doi.org/10.1128/mBio.00061-10>
Casadevall, A., Kontoyiannis, D. P., & Robert, V. (2019). On the Emergence of *Candida auris*: Climate Change, Azoles, Swamps, and Birds. *mBio*, 10(4), e01397-19. <https://doi.org/10.1128/mBio.01397-19>

Poleg tega lahko virusi v celičnih linijah uporabljajo alternativne receptorje ali mehanizme vstopa, ki se razlikujejo od tistih v človeškem organizmu. Zaradi tega se lahko rezultati, pridobljeni v laboratoriju, razlikujejo od tistih v realnosti. Na primer, pri gojenju SARSCoV2 smo pogosto uporabljali opičjo celično linijo Vero E6, ki je zelo permissivna. Ker te celice slabo izražajo proteazo TMPRSS2, pa virus v njih raje vstopa po endosomalni poti in se med pasiranjem prilagodi, zato ima lahko drugačne lastnosti kot pri bolnikih.

12. Koliko časa navadno traja proces razvijanja cepiv?

V filmu zaradi dramatičnosti cepivo razvijejo izjemno hitro, vendar konceptualno realistično, saj prikažejo ključne faze – od identifikacije antigena, gojenja virusa, priprave prototipa do izvedbe predkliničnih poskusov ter nato kliničnih raziskav in proizvodnje. Napredek v molekularnih tehnologijah in platformah (npr. mRNA, vektorska cepiva, rekombinantni proteini) je bistveno skrajšal čas razvoja cepiv.

Z zgodovinskih časovnic, ko je razvoj cepiva trajal več desetletij, smo z razvojem boljših platform, diagnostičnih

in sekvenčnih metod ter optimiziranih proizvodnih procesov prešli na obdobje nekaj let (približno 1,5–3 let). Med pandemijo covid19 je pri SARSCoV2 prišlo do dodatnega pospeška – cepiva so razvili v približno 10–12 mesecih, ne zaradi krajšanja varnostnih zahtev, ampak zaradi sočasnega delovanja več skupin po vsem svetu, ogromnega finančnega vložka in vzporednega testiranja več faz razvoja.

13. Ali je samoinokulacija sploh primerna za testiranje cepiva, saj najverjetneje odpira veliko etičnih vprašanj?

Absolutno ne. Samoinokulacija, kot je prikazana v filmu, je neetična, tvegana in v nasprotju z vsemi pravili kliničnih preizkušanj. V filmu služi kot prikaz znanstvene odločnosti, a v resničnem svetu bi bila takšna poteza strogo prepovedana.

14. Ali se strokovnjaki pri raziskovanju novih virusov kdaj spoprijemate z vprašanjem možnosti zlorabe bolezni v namene bioterorizma?

Raziskovalci se zavedamo ne le

THE LAST OF US

Hollywood ali realnost

The Last of Us je televizijska serija, ki je nastala na osnovi serije videoiger z istim imenom. Gledalca postavi v postapokaliptičen svet, ki je preplavljen z »okuženimi« (ti so zelo podobni zombijem), 20 let po začetnem izbruhu. »Okuženi« so ljudje, ki so se okužili z mutiranim sevom glive Cordyceps. Gostitelji med okužbo prehajajo čez več faz, ki so jih poimenovali tekač, zasledovalec, kliker in napihovač, pri čemer je vsaka faza nevarnejša od prejšnje. Okužba se širi prek telesnih tekočin, po navadi prek ugriza, ali pa s sporami. Prvotni izbruh se je začel v Džakarti v Indoneziji leta 2003. Okužba se je širila znotraj tovarne moke in žita, ki je globalni dobavitelj sestavin za osnovne potrošne izdelke. Kontaminirane izdelke je zaužilo na milijone ljudi, kar je omogočilo hitro širjenje glive po vsem svetu.

ZGODBE IZPOD LABORATORIJSKEGA PULTA

AVTORICE: JANA BREGAR, HANNA HABOT IN VANJA VOGRIČ

3.3

Zgodba sledi odnosu med tihotapcem Joelom, ki je prežet z žalovanjem za hčerkino smrtjo, in Ellie, ki je pogumna, a ranljiva najstnica, ki je lahko ključ do preživetja človeštva, saj je edina, ki je imuna na okužbo. Ellie igra Bella Ramsey, Joela pa Pedro Pascal. Joelova naloga je, da pospremi Ellie čez Združene države Amerike do uporniškega društva Fireflies, ki v Ellijini imunosti vidi možnost za razvoj zdravila. Na koncu njunega potovanja pa je Joel postavljen pred ogromno etično dilemo (za več informacij o njej si boste morali ogledati serijo). Do zdaj sta izšli dve sezoni, serija pa je že ob-

novljena za tretjo. Gliva *Ophiocordyceps unilateralis* predstavlja enega najzanimivejših in pogosto omenjenih primerov parazitizma v naravi, tj. zaradi specifičnosti njenega življenjskega kroga. Najbolj raziskan je njen vpliv na žuželke in mravlje. Trosi, ki okužijo mravljo, glivi omogočijo, da s hitinazami in proteazami predre njen oklep in vstopi v hemolimfo. Gliva se, namesto da bi takoj napadla vitalne organe, naseli v mišičnem tkivu in okrog živčnega sistema. Z izločanjem specifičnih sekundarnih metabolitov, kot so nftokvinoni, gliva prevzame nadzor nad motoričnimi sposobnostmi gostitelja.



Ko se mravlja povzpne na rastlino, gliva sproži biokemični signal, mravlja pa posledično postane »zombi«, ki povzroči močen krč. Zaradi encimske razgradnje sarkomere in vezivnega tkiva mravlja fizično ne more več sprostiti ugriza, kar vodi v njeno smrt. Po ogledu postapokaliptične znanstvenofantastične serije The Last of Us se nam lahko porodi vprašanje, ali bi lahko podoben mehanizem delovanja glive vplival tudi na ljudi.

Z znanstvenega vidika obstajajo ovire, ki preprečujejo v seriji prikazani scenarij. Začne se s telesno temperaturo človeka. Večina entomopatogenih gliv uspeva pri temperaturah med 20 °C in 30 °C, kar pomeni, da je človeško telo s svojimi 37 °C prevroče okolje za njihovo preživetje. Prav tako je človeški živčni sistem veliko kompleksnejši, kot je na primer živčni sistem mravlje. Manipulacija mravlje temelji na sornem preprostih kemičnih stikalih v njenem ganglijskem sistemu, za upravljanje človeškega živčevja pa bi gliva potrebovala tisočletja evolucije. Zadnjo oviro glivi predstavlja naš imunski sistem. Ta bi glivo hitro prepoznal kot tujek in jo odstranil, preden bi se lahko naselila v našem telesu. Sesalci smotorej zaradi visoke in glivam neugodne bazalne temperature ter na splošno zelo učinkovitega imunskega sistema pred večino glivnih okužb zavarovani. Kaj pa če to ne bi bilo tako oz. ali lahko na to pogledamo z drugega zornega kota in se vprašamo, kaj bi se zgodilo, če bi se glive kar naenkrat na te pogoje prilagodile?

To je vprašanje, s katerim se je ukvarjala že marsikatera raziskovalna skupina na svetu, saj se z višanjem globalne temperature postopoma zmanjšuje gradient med temperaturo okolja in gostitelja. Na to spremembo ekosistema se bodo lahko glive, ki do zdaj niso bile sposobne okužiti sesalcev, lahko

odzvale s temperaturno adaptacijo, kar bi, še predvsem za imunokompromitirane posameznike, začelo predstavljati pravo grožnjo. V nekaterih državah podsaharske Afrike so glive iz rodu *Cryptococcus* že zdaj med najpomembnejšimi oportunističnimi patogeni (npr. pri bolnikih z aidsom), vendar obstajajo hipoteze, da bodo podnebne spremembe s selekcijskim pritiskom na termotoleranco omogočile tem in sorodnim glivam premostitev toplotne bariere sesalcev tudi pri imunsko močnejših gostiteljih. Primer adaptacije, ki potrjuje hipotezo znanstvenika Casadevall in sodelavcev iz leta 2010, predstavlja gliva *Candida auris*. Ta se je iz okolske glive razvila v patogen, ki je sposoben preživetja pri telesni temperaturi sesalcev. S termoadaptacijo je postala nevarna predvsem za imunokompromitirane bolnike, kar predstavlja prvi dokumentirani primer pojava novega glivičnega patogena kot neposredne posledice podnebnih sprememb. Podnebne spremembe bodo tako v prihodnosti neposredno ali posredno prispevale k širjenju območij, ugodnih za preživetje naravno termotolerantnih gliv, hkrati pa ustvarjale selekcijski pritisk, ki bo glive silil k višanju njihovega preferenčnega temperaturnega območja. Bližanje tega območja 37 °C bo pomenilo postopno rušenje naravne termalne bariere, ki je sesalce tisočletja ščitila pred večino glivičnih okužb.

Gliva *Ophiocordyceps unilateralis*, ki so jo v seriji uporabili kot znanstvenofantastični primer tega, česar se veliko mikrobiologov in mikologov danes boji, pa je organizem, ki deluje v temperaturnem območju pri 20 °C, kar bi pomenilo, da bi moral biti preskok temperaturnega območja visok za preživetje te glive v sesalskem organizmu. Primer serije The Last of Us pa nam na karikiran in hollywoodsko obarvan način podaja v razmislek de-

jstvo, da je v prihodnosti vzpon novih, na vročino odpornih gliv, ki bi bile lahko vir bolezni, realna in znanstveno utemeljena grožnja.

VIRI

- Araújo, J. P. M. et al. 'Zombie-Ant Fungi across Continents: 15 New Species and NewCombinations within Ophiocordyceps . I. Myrmecophilous hirsutelloidÂ Species'. Studies in Mycology, vol. 90, no. 1, June 2018, pp. 119–60. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2017.12.002>

- De Bekker, Charissa et al. 'Species-Specific Ant Brain Manipulation by a Specialized Fungal Parasite'. BMC Evolutionary Biology, vol. 14, no. 1, Aug. 2014, p. 166. Springer Link, <https://doi.org/10.1186/s12862-014-0166-3>

- Fredericksen, Maridel A. et al. 'Three-Dimensional Visualization and a Deep-Learning Model Reveal Complex Fungal Parasite Networks in Behaviorally Manipulated Ants'. Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. 114, no. 47, Nov. 2017, pp. 12590–95. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1073/pnas.1711673114>

- Garcia - Solache, M. A., & Casadevall, A. (2010). Global warming will bring new fungal diseases for mammals. mBio, 1(1), e00061-10. <https://doi.org/10.1128/mBio.00061-10> Casadevall, A., Kontoyiannis, D. P., & Robert, V. (2019). On the Emergence of Candida auris: Climate Change, Azoles, Swamps,

4.1

IZ STROKE IN PRVE ROKE

AVTOR: MOHOR JELENC
RECENZENT: DOC. DR.
ROK AMBROŽIČ

Aerogeli – od preproste stave do potovanja na Mars

Aerogeli predstavljajo skupino najlažjih trdnih materialov na svetu. Imajo nizko gostoto, visoko poroznost in zelo nizko toplotno prevodnost. Zaradi skoraj prosojnega videza je njihovo drugo ime zamrznjen dim. Dandanes so ti materiali eni izmed tehnološko najbolj dovršenih izolacijskih materialov, ki pa se uporabljajo tudi na drugih področjih – od katalize procesov do čiščenja naftnih madežev. Za začetek raziskav velja leto 1930, ko je ameriškemu znanstveniku Samuelu Stephensu Kistlerju uspelo sintetizirati aerogel na podlagi stave s svojim sodelavcem. Stava je bila, kdo izmed njiju bo prvi uspel odstraniti vodo iz gela. Vrhunec raziskav in uporabe aerogelov predstavlja Nasin Rover, ki je bil poslan na Mars. Vanj so aerogeli vključeni kot izolacijski material. V nadaljevanju sledita splošna predstavitev aerogelov in predstavitev modifikacije silicijevih aerogelov, s katero se poveča temperaturna obstojnost.

RAZDELITEV

Notranja struktura aerogela je lahko enomaterialna, večmaterialna ali hibridna. Pri enomaterialni strukturi so lastnosti aerogela določene izključno na podlagi tega materiala. Pri večmaterialni strukturi pride do sinergijskih učinkov, ko interakcije med več različnimi materiali privedejo doboljšanja specifičnih lastnosti aerogela. Hibridni aerogeli imajo osnovno strukturo iz enega ali več materialov. V nadaljnjih korakih sinteze pa se v osnovno strukturo vključijo različni dodatki, ki vplivajo na strukturo in lastnosti aerogela [1].

Materiali, ki gradijo notranjo strukturo, so organskega ali anorganskega izvora. Organski materiali, ki gradijo aerogele, so polimeri, ki nastanejo iz organskih monomerov. Pogosto se uporablja poliuretane, fenole ali poliimide. Osnova anorganskih aerogelov so kovinski oksidi. Najbolj raziskan je silicijev oksid, uporabljata pa se tudi aluminijev in titanov oksid [1].

Osnovno strukturo aerogelov sestavlja ogrodje por. Te pore so razporejene v različnih geometrijskih oblikah. Najpogostejša geometrija so skupki sfer, ki gradijo silicijev aerogel in polimerne

aeroge. Drugi dve razporeditvi por sta valovita in plastovita geometrija [2].

Pore, ki gradijo aeroge, so razliĝnih velikosti. Mikropore imajo premer, ki je manjši od 2 nm, in omogoĝajo veĝjo adsorpcijo. Premer mezopore je med 2 in 50 nm. Aerogeli z mezoporami imajo veliko specifiĝno površino, zato se uporabljajo kot katalizatorji. Najveĝje so makropore, ki imajo premer, veĝji od 50 nm. Zaradi svoje velikosti omogoĝajo laĝji transport molekul skozi aerogel. Obstajajo tudi materiali z razliĝnimi velikostmi por znotraj svoje strukture. Ti se uporabljajo, ko aerogel interagira z razliĝnimi tipi molekul [1].

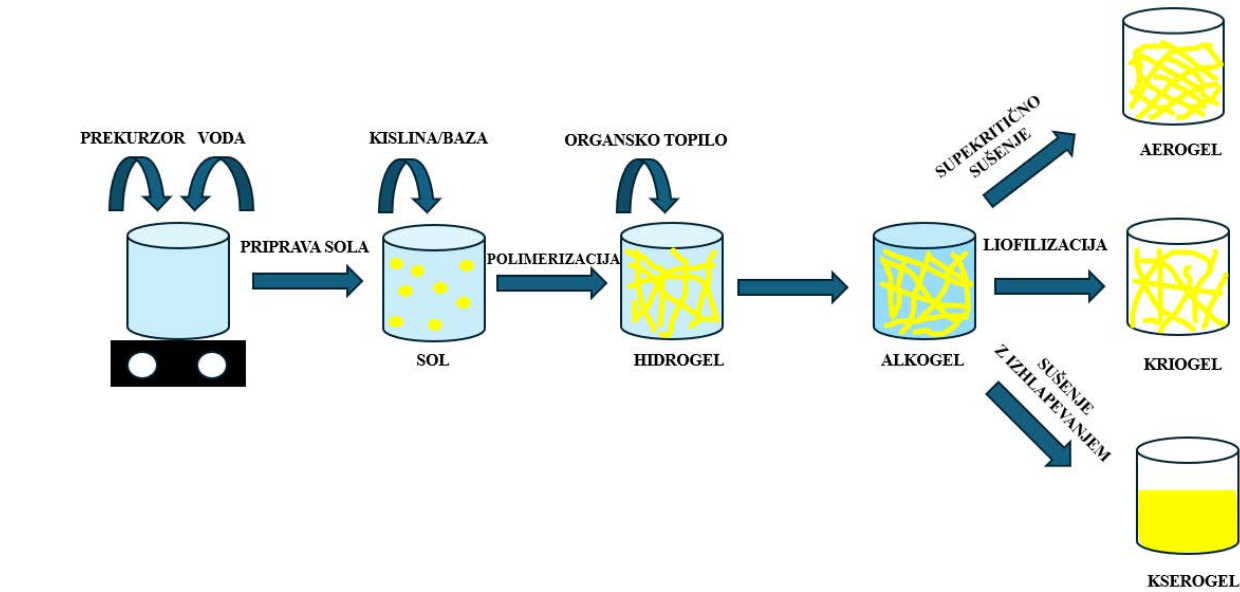
Zaradi širokega nabora aplikacij so se razvile razliĝne oblike aerogela. Najosnovnejša oblika je monolit. To je homogena makrostruktura iz enega kosa, ki je najpogostejše v obliki kvadra. Uporablja se na podroĝjih ĝišĝenja zraka. Aerogeli so prisotni še v obliki prahu, prevlek in vlaken. Vse te oblike ohranijo prvotne lastnosti aerogela in pogosto nastopajo v kombinacijah z drugimi materiali. Prah se dodaja betonu, s ĝimer se zmanjšajo energetske izgube stavb. Prevleke se kombinirajo z drugimi izolacijskimi materiali pri izolaciji stavb. Vlakna predstavljajo enodimenzijsko obliko aerogela, posledično pa se jih lahko dodaja v tkanino [2].

SINTEZA

Glavni cilj sinteze aerogelov je ohranitev tridimenzionalne veriĝne strukture v obliki por znotraj materiala. Najbolj uveljavljen postopek sinteze je metoda sol – gel. Uporabljajo pa se tudi druge tehnike, kot so: templirna metoda, metoda in situ, metoda kemijskega naparjevanja, liofilizacija in elektrospinning. V preglednici 1 so opisi in prednosti teh metod [1].

Pri metodi sol – gel je najprej treba pripraviti raztopino (angl. solution) oziroma koloidno raztopino. Sestavljata jo prekurzor in topilo. Prekurzor je v obliki trdnih delcev in se izbere glede na ŝeljeno konĝno obliko aerogela in njegove lastnosti. Najpogostejša oblika prekurzorja je na osnovi silicija. Topilo je najpogostejše deionizirana voda. Z dodatkom kisline ali baze sproŝimo hidrolizo ali kondenzacijo znotraj raztopine. Tako se ustvari povezana veriĝna struktura, ki predstavlja ogrodje v aerogelu. Zaradi polimerizacije delcev se raztopina pretvori v hidrogel. Sledi izmenjava vode z organskim topilom, pri ĝemer se ustvari alkogel. Hidrogel se postopoma izpostavi vedno bolj koncentrirani raztopini organskega topila. Zadnja in kljuĝna stopnja metode sol – gel pa je sušenje. Pri tem je cilj ohraniti veriĝno tridimenzionalno strukturo, odstraniti topilo iz strukture in prepreĝiti poruŝitev por znotraj materiala. Uporabljata se dve metodi superkritiĝnega sušenja. Manj pogosto je uporabljeno visokotemperaturno

superkritiĝno sušenje. Pri tej metodi se poveĝata tlak in temperatura prek kritiĝnih vrednosti topila. V porah se ustvari superkritiĝna tekoĝina, pri kateri ni mogoĝe loĝiti tekoĝe in plinske faze. Sledi zniĝanje tlaka pri konstantni temperaturi. Posledično v porah ni veĝ tekoĝine, ampak zrak. Pri pogostejše uporabljenem nizkotemperaturnem sušenju se gel, bogat s topilom, izmenja s tekoĝim CO₂. Sledi sušenje CO₂ pri nadkritiĝni temperaturi, ki je precej niĝja, kot je pri visokotemperaturnem sušenju. Posledično je ta postopek uporabnejši, varnejši in cenejši. Poleg superkritiĝnega sušenja, katerega rezultat je aerogel, se uporabljata tudi metoda liofilizacije in sušenje z izhlapevanjem. Razlika v njihovi sintezi in notranji zgradbi por je prikazana na sliki 1. Liofilizacija poteka pri temperaturi med -45 °C in -15 °C. Pri tem tekoĝina v gelu zamrzne in tvori ledene kristalĝke. Sledi sušenje v vakuumu, ki sproŝi sublimacijo. Tekoĝina v trdnem agregatnem stanju se pretvori v plin in sublimira iz gela. Zaradi tvorbe kristalĝkov pri zamrzovanju se poveĝa volumen znotraj gela in pride do delne poruŝitve por oziroma nehomogene strukture por znotraj aerogela. Drugo ime za to strukturo je kriogel. Metoda sušenja z izhlapevanjem poteka pri sobnih pogojih. Med izhlapevanjem pride znotraj gela do visokih tlakov, ki povzroĝijo celotno poruŝitev notranje strukture. Tako pripravljen aerogel se imenuje kserogel [2].



▲ Slika 1: Shematski prikaz sinteze od priprave koloidne raztopine (sol) do aerogela. Glede na izbrani naĝin sušenja z metodo sol – gel dobimo aeroge z razliĝno zamreŝenostjo por.

Kriogel ima nehomogeno strukturo por, saj ledeni kristalĝki povzroĝijo delno poruŝitev por. Kserogel ima gosto strukturo brez por, saj se zaradi poveĝanega tlaka pri izhlapevanju pore sesedejo.

LASTNOSTI

Zaradi svojih odliĝnih toplotnih lastnosti in termiĝne stabilnosti so bili aerogeli uporabljeni za toplotno izolacijo pri Nasinem Roverju. Vsi trije naĝini prenosa toplote (prevajanje, prenos in sevanje) so zelo omejeni pri aerogelih. Toplotna prevodnost silicijevih aerogelov je celo niĝja od toplotne prevodnosti samega zraka. Razlog za to je Knudsenova difuzija v porah. Molekule imajo zaradi zelo ozkih por krajšo srednjo prosto pot za potovanje, kot jo imajo pri samem zraku [3]. Prav tako je zaradi visoke poroznosti znotraj aerogela in nizke gostote zelo malo trdne snovi za ŝirjenje toplote s prevajanjem. Prestop je odvisen od hitrosti premikanja zraka. Ker so pore zelo ozke, je gibanje molekul zraka omejeno in s tem tudi prestop. Aerogeli so skoraj prosojni in

ne absorbirajo svetlobe v vidnem spektru, zato je prenos toplote s sevanjem moĝno omejen. Poleg izolativnih lastnosti jih odlikujejo tudi temperaturna stabilnost, odpornost na temperaturne ŝoke in poŝarna odpornost. Ĉeprav so zgrajeni iz omreĝja por, v katerih je ujet zrak, je veliko aerogelov stabilnih tudi pri temperaturah nad 600 °C. Najodpornejši pa prenesejo temperature do 2.500 °C [1].

Struktura, ki omogoĝa takšne toplotne lastnosti, je razlog, da se zmanjša mehanska stabilnost aerogelov, predvsem v primerjavi z drugimi izolativnimi materiali. Razlog za slabše mehanske lastnosti sta visoka poroznost (~90–99 %) in nizka gostota. Predvsem pri aerogelih z viŝjo gostoto je opazno, da se doloĝene mehanske lastnosti moĝ-

no izboljšajo. Struktura aerogelov dlje ĝasa vzdrŝi pod nateznimi obremenitvami kot pod tlačnimi, vendar zdrŝijo dlje ĝasa pod tlačnimi obremenitvami kot drugi materiali s podobno nizko gostoto. Zaradi poroznosti so elastiĝni. Ko so izpostavljeni doloĝeni sili, se povrnejo v prvotno obliko [1].

VISOKOTEMPERATURNI SILICIJEVI AEROGELI

Silicijevi aerogeli imajo veĝ kot 90-odstotno poroznost, gostoto med 0,03 in 0,4 g/cm³, specifiĝno površino od 500 do 1.200 m²/g in toplotno prevodnost od 0,012 do 0,024 W/mK. Zaradi teh lastnosti bi se lahko uporabljali za termiĝno ognjevarno zaŝĝito. Omejitev za to uporabo predstavlja temperaturna stabilnost. Ĉisti silicijevi aerogeli so temperaturno obstojni do 650 °C,



kar je za želeno uporabo premalo [4]. Modificirani silicijevi aerogeli so temperaturno obstojni do 1.500 °C, kar je še vedno 1.000 °C manj, kot lahko dosežejo modificirani ogljikovi aerogeli [5]. Izboljšanje temperaturne obstojnosti se doseže z dodatkom dopantov, s heterogenim površinskim nanosom ali z ustvarjanjem kompozitov. Glede na dozdajšnje raziskave in mehanizem sintranja aerogelov bi se temperaturna stabilnost izboljšala z zmanjšanjem velikih por znotraj strukture ali s povečanjem velikosti sekundarnih delcev [4].

Kot dopanti se dodajajo elementi kovinskih oksidov, ki imajo visoka vrelišča. Najprimernejši so Al, Zr in Cu. V strukturo so lahko vključeni heterogeno, kot je prikazano na sliki 2. Pri tem se

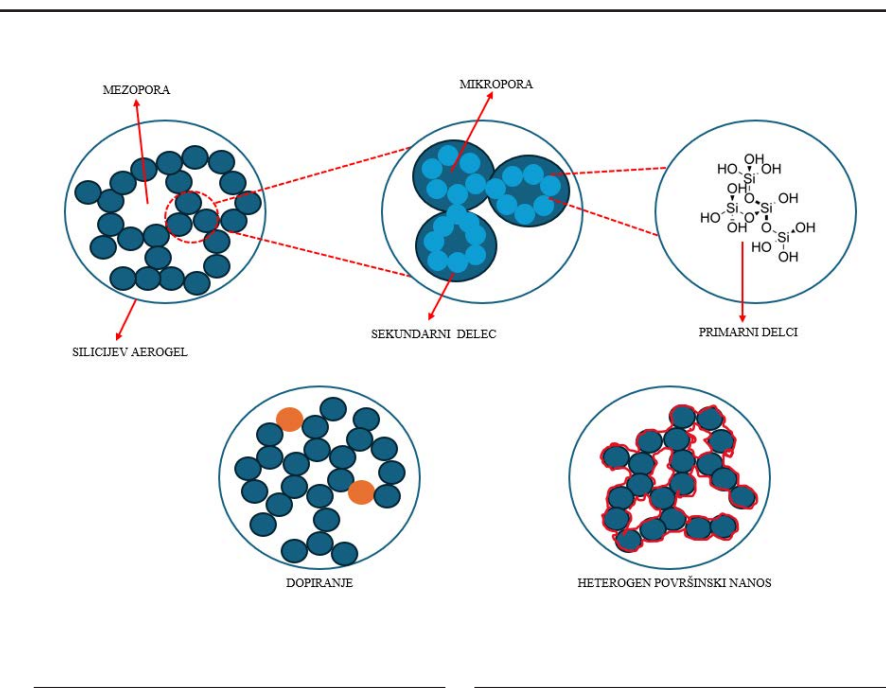
MO_x izmenja s SiO₂. Druga možnost je homogeno dopiranje, pri katerem se celotna mreža SiO₂ poveže z MO_x. Tako je celotno ogrodje por sestavljeno iz SiO₂–MO_x. Na višjo temperaturno stabilnost vplivajo kisikovi mostovi Si–O–M, saj dopanti zvišajo temperaturo vrelišča. Najpreprostejši način sinteze z dopiranjem je prek metode sol – gel. Pri tem se pripravi dve koloidni raztopini. Prva kot prekursor vsebuje SiO₂, druga pa izbrani MO_x. Obe raztopini zmešamo in sprožimo polimerizacijo. Tako dobimo hidrogel, ki ima v svojo strukturo poleg SiO₂ vključene tudi že MO_x. Nadaljnji potek sinteze je enak kot pri sintezi čistih silicijevih aerogelov, ki je opisan v poglavju Sinteza. Tako pripravljeni dopirani silicijevi aerogeli imajo višje gostote in toplotne

prevodnosti, vendar so temperaturno obstojnejši. Dodatek dopantov lahko vpliva na zmanjšanje por in specifične površine [4].

Pri heterogenem površinskem nanosu se spremenita površinska energija in hidrofobnost, zaradi česar postanejo silicijevi aerogeli temperaturno obstojnejši. Večina organskih modifikatorjev ni primerna za nanos, saj razpadejo že pri 500 °C. Posledično so primerni le anorganski modifikatorji. Pogosto uporabljeni so Al₂O₃, ZnO in anorganski modifikatorji na osnovi Cu. Metoda se lahko vključi v obstoječo metodo sol – gel, vendar ta ne omogoča natančnega nanosa. Lahko pride do zmanjšanja por in specifične površine. Najučinkovitejša metoda je nanos atomskih plas-

METODA	OPIS	PREDNOSTI
Templirna metoda	Prekursor se doda v predpripravljen porozni substrat.	Točno določena vrsta in velikost por.
Elektrospinning	Raztopina se pretvori v vlakna.	Posebne oblike tridimenzionalnih mrež, visoka mehanska trdnost in specifična površina.
Liofilizacija	Alkogel se zamrzne, tekočina v trdnem stanju pa sublimira.	Poceni, širok nabor prekursorjev.
In-situ	Neposredno mešanje prekursorja in topila brez predhodnega ločevanja.	Dodajanje aditivov za izboljšanje specifičnih lastnosti.
Metoda kemijskega naparevanja	Odlaganje kemijskih komponent na substrat v plinski fazi.	Različne površinske strukturne oblike.

◀ **Preglednica 1: Opis in prednosti alternativnih metod sinteze aerogelov.**



◀ **Slika 2: Silicijevi aerogeli so sestavljeni iz primarnih in sekundarnih delcev. Primarni delci se med seboj povezujejo s kisikovimi mostovi in tvorijo ogrodje mikropor. Ko se primarni delci povežejo med seboj, tvorijo sekundarne delce, ki predstavljajo ogrodje mezopor. Pri dopiranju se v notranjo strukturo por dodaja nova spojina, ki se prek kemijske vezi vključi v obstoječo strukturo. Pri heterogenem površinskem nanosu se na ogrodje por dodaja nova spojina, ki se prevleče prek notranje površine por, ni pa vključena v kemijsko strukturo ogrodja [4].**

ti (ALD). Pri tej metodi se v prvi stopnji substrat izpostavi prekursorju. Začne se kemijska vezava na površino (kemosorpcija), pri čemer substrat interagira s prekursorjem. Ta stopnja idealno traja, dokler prekursor ne reagira z vsem substratom na površini. V drugi stopnji sledi čiščenje. S tem se odstranijo stranski produkti, ki so nastali pri interakciji, in prekursor, ki ni reagiral s substratom. V tretji stopnji kemijsko vezan prekursor na površini reagira z anorganskim modifikatorjem, ki posledično izboljša temperaturno obstojnost aerogela. V zadnji stopnji sledi ponovno čiščenje. Tu se odstranijo nezreagirani modifikator in nastali stranski produkti. Tako nastane nova površina z aktivnimi mesti. Celoten postopek se ponavlja do nastanka zelene debeline površinskega nanosa [4].

ZAKLJUČEK

Čeprav potekajo intenzivne raziskave in velika denarna vlaganja, še vedno ni razvita metoda sinteze, ki bi bila cenovno ugodna in bi jo lahko prenesli iz laboratorijskih kapacitet na industrijsko raven. S tem bi se izjemne izola-

tivne lastnosti aerogelov izkoristile tudi v vsakdanjem življenju ter bi prispevale k čistejšemu in zelenemu prehodu.

VIRI

[1] B. Mishra, S. Varshney, M. K. Gupta, P. Jagadeesh, M. R. Sanjay, S. Siengchin: Aerogel as a sustainable lightweight material: A comprehensive review of synthesis, properties, and applications. *Int. J. Biol. Macromol.* 2025, 328, 147701. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2025.147701

[2] E. B. Chemere, T. L. Mhlabeni, W. Mhike, M. L. Mavhungu, M. B. Shongwe: A comprehensive review of types, synthesis strategies, advanced designing and applications of aerogels. *R. Soc. Open Sci.* 2025, 12, 241975. DOI: 10.1098/rsos.241975

[3] S. Ahmad, S. Ahmad, J. N. Sheikh: Silica centered aerogels as advanced functional material and their applications: A review. *J. Non-Cryst. Solids* 2023, 611, 122322. DOI: 10.1016/j.jnoncrysol.2023.122322

[4] Z. Zhu, W. Zhang, H. Huang, W. Li, H. Ling, H. Zhang: A Review of High-Temperature Resistant Silica Aerogels: Structural Evolution and Thermal Stability Optimization. *Gels* 2025, 11, 357. DOI: 10.3390/gels11050357

[5] C. Wang, L. Bai, H. Xu, S. Qin, Y. Li, G. Zhang: A Review of High-Temperature Aerogels: Composition, Mechanisms, and Properties. *Gels* 2024, 10, 286. DOI: 10.3390/gels10050286



»Barve« vodika



Podnebne spremembe vse bolj vplivajo na naše življenje. Potrebe po električni energiji naraščajo, hkrati pa moramo zmanjšati izpuste toplogrednih plinov. Obnovljivi viri, kot sta sončna in vetrna energija, so do okolja prijazni, vendar nestabilni, saj je njihova izraba v veliki meri odvisna od vremena. Zato postaja shranjevanje energije ključno vprašanje prihodnosti. V zadnjih letih je med najobetavnejšimi nosilci energije vodik, saj ima visoko energijsko gostoto, če jo izrazimo kot energijsko vsebnost na enoto mase, pri njegovi uporabi pa ne nastajajo škodljive emisije. Čeprav je vodik kot plin brez barve, danes poznamo več »barv« vodika. Te ne označujejo njegove dejanske barve, ampak način proizvodnje, saj je njegov vpliv na okolje odvisen predvsem od tega. Prav zato se je uveljavila barvna klasifikacija vodika, s katero različne postopke proizvodnje razvrščamo glede na njihov ogljični odtis in trajnost [1].

IZ STROKE IN PRVE ROKE

AVTORICA: AVA DUKARIČ
RECENZENTKA: PROF. DR.
URŠKA LAVRENČIČ ŠTANGAR

4.2

BARVNA KLASIFIKACIJA VODIKA

Proizvodnja vodika lahko poteka po različnih poteh in iz različnih izhodnih surovin, zato je klasifikacija načinov proizvodnje postala neizogibna. Sprva se je uveljavilo predvsem razlikovanje med do okolja prijaznim zelenim vodikom in sivim vodikom, proizvedenim iz fosilnih goriv. Danes izraz zeleni vodik najpogosteje označuje vodik, proizveden z elektrolizo vode, pri čemer se kot vir energije uporabljajo obnovljivi viri. Ker je električno energijo mogoče pridobivati tudi iz drugih virov, pa se lahko vodik, proizveden z elektrolizo, glede na uporabljen vir energije razvršča tudi med druge barvne kategorije (shema 1) [2].

Barvna klasifikacija še ni povsem enotno definirana, saj se poimenovanja v literaturi pogosto razlikujejo, hkrati pa se pojavljajo vedno nove barvne oznake. V nadaljevanju se bom zato osredotočila na najpogosteje uporabljene proizvodne poti in barve vodika, ki so najboljše uveljavljene in najpogosteje obravnavane.

SIVI VODIK

S sivo barvo označujemo vodik, ki je do okolja najmanj prijazen. Večina danes proizvedenega vodika spada v to kategorijo, pri čemer več kot 40 % sivega vodika nastane kot stranski produkt drugih kemijskih procesov [3]. Pri proizvodnji sivega vodika kot surovina služijo fosilna goriva, najpogosteje zemeljski plin. Vodik se pridobiva s procesom parnega reforminga metana (angl. steam methane reforming, SMR). Gre za proces, pri katerem metan reagira z vodno paro v prisotnosti katalizatorja, pri čemer nastajata vodik in ogljikov oksid (reakcija 1). Nastali ogljikov oksid se nato z reakcijo vodnega plina (angl. water–gas shift reaction, WGSR) pretvori v ogljikov dioksid

in dodatni vodik, ki se na koncu loči in prečisti (reakcija 2) [3, 4].



Prva reakcija je močno endotermna, zato proizvodnja vodika zahteva visoke temperature in tlak. Kljub temu je proizvodnja sivega vodika zaradi dobro razvite tehnologije še vedno najcenejša in najbolj razširjena metoda proizvodnje vodika [3, 4].

Pomembna pomanjkljivost tega postopka je, da proizvodnja poteka brez tehnologije zajemanja, uporabe in shranjevanja ogljika (angl. carbon capture, utilization and storage, CCUS). Posledično pri procesu nastajajo velike količine ogljikovega dioksida, ki po ocenah dosegajo približno 830 Mt CO₂ letno [3].

Drug pomemben postopek proizvodnje sivega vodika je uplinjanje premoga. Ker je premog fosilni vir energije z največjimi zalogami na svetu, je ta način proizvodnje v nekaterih regijah še vedno pogosto uporabljen. V nekaterih virih je vodik, pridobljen s tem postopkom, uvrščen tudi v kategorijo rjavega vodika [4].

MODRI VODIK

Pri dolgoročnem pridobivanju vodika imajo prednost metode s čim manjšim ogljičnim odtisom, zato se modri vodik trenutno uveljavlja kot ključna prehodna rešitev pred popolnim prestopom na zeleni vodik. Njegova proizvodnja temelji na uveljavljenem procesu parnega reforminga metana, podobno kot pri sivem vodik, vendar z bistveno razliko – v proces je vključena tehnologija CCUS. Ta omogoča zajem večine emisij CO₂, kar minimizira neposredne izpuste toplogrednih plinov. Vključitev sistemov za zajemanje CO₂

sicer zmanjša izkoristek SMR za 5–14 % in občutno zviša stroške proizvodnje [3, 4].

Kot že omenjeno, barvna klasifikacija vodika še ni natančno definirana. Zato, da se vodik šteje kot modri, mora obrat, ki ga proizvaja, le imeti nameščeno napravo za CCUS, pri čemer pa natančna količina CO₂, ki jo je treba zajeti in shraniti, ni določena. Pomembno slabost te tehnologije predstavljajo tudi uhajanja metana med proizvodnjo in transportom zemeljskega plina, zaradi česar modri vodik še zdaleč ni podnebno nevtralen [4].

TURKIZNI VODIK

Metan služi kot izhodna surovina tudi pri proizvodnji turkiznega vodika, vendar se v tem primeru vodik ne proizvaja s SMR-postopkom, ampak s pirolizo (reakcija 3). Glavna prednost te metode v primerjavi skonvencionalnimi postopki je, da stranski produkt ni plinasti CO₂, ampak trdni ogljik v obliki filamentnega ogljika ali ogljikovih nanocerk. Za doseganje višjih izkoristkov in hitrejše pretvorbe metana reakcija običajno poteka pri visokih temperaturah. Da bi povečali stopnjo pretvorbe in selektivnost za H₂ pri zmernejših temperaturah, se raziskuje uporaba različnih katalizatorjev [1, 4].



V procesu se s filtrirnimi mehanizmi iz plinskega toka najprej odstranijo delci ogljika, nezreagiran CH₄ pa se izolira s pomočjo kovinskih membran in se nato reciklira nazaj v reaktor [4].

Kljub visokim temperaturam proizvodnje turkiznega vodika zahteva manj energije kot SMR ali elektroliza vode. Dodatna prednost pirolize je tudi uporaben stranski produkt, saj se trdni ogljik lahko trajno shrani ali uporabi v industriji, kar znatno zmanjšuje ogl-

jični odtis celotnega procesa. Kljub obetavnim lastnostim pa piroliza do zdaj še ni bila komercializirana z vidika proizvodnje vodika [1, 4].

ZELENI VODIK

Zeleni vodik pridobivamo z elektrolizo vode, pri čemer uporabljamo električno energijo izključno iz obnovljivih virov. V strokovni literaturi ga pogosto zasledimo pod izrazom »čisti vodik« ali »nizkoogljični vodik«, saj uporaba vetrne in sončne energije zagotavlja proizvodnjo brez izpustov toplogrednih plinov. Zaradi hitrega tehnološkega napredka danes zeleni vodik predstavlja eno najobetavnejših rešitev za prehod v trajnostni energetski sistem. Sam proces temelji na razgradnji vode s pomočjo električne energije. Pri tem iz dveh molekul vode na anodi nastane molekula kisika, na katodi pa se sprostita dve molekuli vodika (reakcija 4). Ključna prednost elektrolize je čistost, saj poleg vodika in kisika ne nastajajo nobeni škodljivi stranski produkti [4].



V praksi se trenutno uveljavljajo tri ključne tehnologije elektrolize. Prva je alkalna elektroliza vode (angl. alkaline water electrolysis, AWE), katere prednosti so predvsem nizki stroški, zanesljivost in dolga življenjska doba. Gre za najrazvitejšo tehnologijo, ki spada med zgodnejše industrijsko uveljavljene postopke. Njena glavna pomanjkljivost je, da mora potekati neprekinjeno, saj se le tako prepreči poškodba naprave. Posledično to pomeni, da nestabilni obnovljivi viri energije ne morejo biti edini vir napajanja [1, 3].

Elektroliza s polimerno elektrolitsko membrano (angl. proton exchange membrane ali polymer electrolyte membrane, PEM) ima visoko učinkovitost ter omogoča preprosto povezavo z vetrno energijo in s fotonapetostnimi

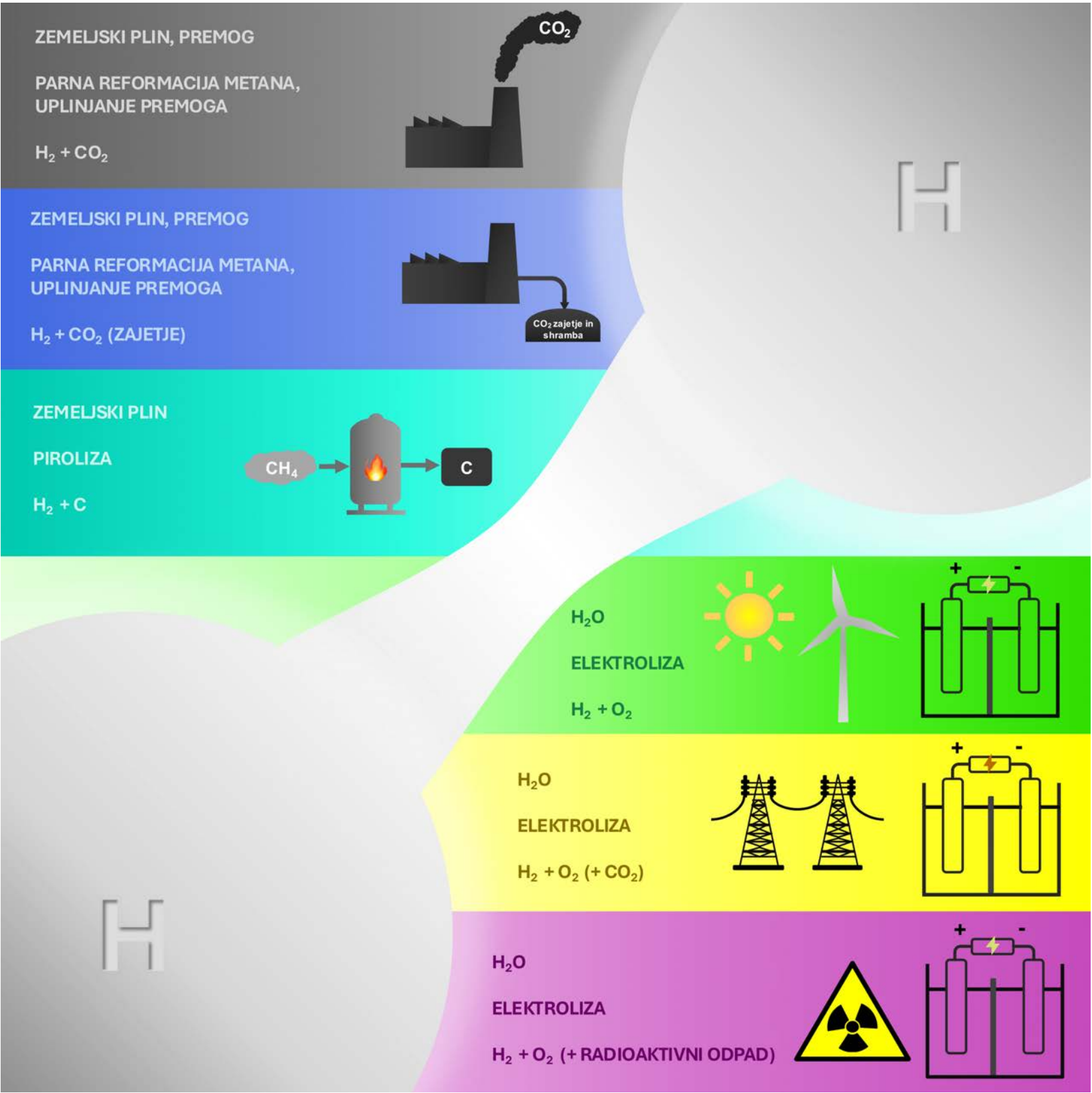
sistemi. Kljub temu se še ne uporablja v industrijskem obsegu, predvsem zaradi visoke cene, predstavlja pa obetavno pot [1]. Elektrolizna celica s trdnim oksidom (angl. solid oxide electrolysis cell, SOEC) velja za eno najučinkovitejših tehnologij elektrolize, vendar zaradi določenih omejitev še ni široko uveljavljena v praksi. Deluje pri visokih temperaturah, zato so za njeno delovanje potrebni kakovostni in temperaturno obstojni materiali. Kljub temu omogoča proizvodnjo vodika z zelo visoko čistostjo, ki lahko doseže tudi do 99,9 % [1, 3].

Čeprav gre za obetavno rešitev, zeleni vodik danes še vedno predstavlja le majhen delež celotne svetovne proizvodnje vodika. Njegove glavne pomanjkljivosti so predvsem visoki stroški postopka, odvisnost proizvodnje električne energije od vremenskih razmer in težavnost shranjevanja vodika [1, 4].

RUMENI VODIK

Rumeni vodik je vodik, proizveden z elektrolizo vode z uporabo električne energije iz elektroenergetskega omrežja. Ker se omrežje lahko napaja iz različnih virov energije, sta vpliv rumnega vodika na okolje in količina nastalih emisij odvisna predvsem od virov, iz katerih je pridobljena električna energija [1].

Viri, ki napajajo elektroenergetsko omrežje, se med posameznimi regijami oziroma državami precej razlikujejo, zato je rumeni vodik težko enoznačno uvrstiti na »trajnostno« lestvico načinov proizvodnje vodika. Če kot primer vzamemo Španijo, je leta 2021 največji delež proizvodnje električne energije predstavljala vetrna energija (približno 23,3 %), sledili pa so: jedrska energija, kombinirani sistemi, hidroenergija in fotovoltaični sistemi. Drugačen primer predstavlja Islandija, ki je imela leta 2020 eno najbolj zelenih energetskih



◀Shema 1: Barve vodika: surovine, tehnologije in emisije CO₂
Shema prikazuje različne metode proizvodnje vodika glede na uporabljeno surovino in njihov vpliv na okolje. V zgornjem delu so tehnologije, ki temeljijo na fosilnih gorivih: sivi vodik (proizveden s procesom parnega reforminga metana ali z uplinjanjem premoega) z visokimi emisijami CO₂; modri vodik, pri čemer se uporablja tehnologija za zajemanje ogljika; in turkizni vodik, pridobljen s pirolizo metana, pri kateri nastaja trdni ogljik. V spodnjem delu so prikazane proizvodne poti, ki temeljijo na elektrolizi: zeleni vodik, proizveden z elektrolizo, napajano iz obnovljivih virov; rumeni vodik, ki uporablja omrežno elektriko (emisije CO₂ so odvisne od vira energije); in rožnati vodik, pri katerem je vir elektrike jedrska energija, pri čemer se lahko pojavijo radioaktivni odpadki.



mešanic. Približno 70 % električne energije je izviralo iz vodne energije, preostalih 30 % pa iz geotermalne energije. Ker oba vira energije veljata za obnovljiva, je vodik, proizveden z električno energijo iz elektroenergetskega omrežja, v tem primeru v smislu emisij CO₂ bližje zelenemu kot rumenemu vodik [1].

Če upoštevamo svetovno elektroenergetsko omrežje kot celoto, pa več kot 60 % električne energije še vedno izvira iz fosilnih goriv, kar pomeni, da je proizvodnja rumenega vodika na globalni ravni pogosto povezana s sorazmerno visokimi emisijami CO₂ [1].

Rumen vodik lahko nastaja tudi kot stranski produkt nekaterih industrijskih procesov. Eden izmed primerov je klor-alkalna industrija, pri čemer z elektrolizo nastajata klor in natrijev hidroksid, pri tem pa kot stranski produkt nastaja tudi vodik; proces običajno poganja električna energija iz elektroenergetskega omrežja [1].

ROŽNATI VODIK

Rožnati vodik (v literaturi pogosto imenovan tudi vijolični vodik) je vodik, proizveden z elektrolizo vode, pri čemer električno energijo zagotavljajo jedrske elektrarne. Čeprav jedrska energija ne spada med obnovljive vire energije, predstavlja obetavno rešitev za zadovoljevanje trenutnih energetskih potreb, saj so emisije toplogrednih plinov v primerjavi s proizvodnjo električne energije iz fosilnih goriv bistveno nižje [1].

Zaradi varnostnih pomislekov in problematike radioaktivnih odpadkov proizvodnja vodika z uporabo jedrske energije ni posebej poudarjena v strategijah Evropske unije za vodik. Kljub temu bi lahko predstavljala praktično alternativo v nekaterih drugih delih sveta, na primer na Kitajskem in

v Rusiji. Tehnologija je zanimiva tudi v Franciji, v kateri pomemben delež električne energije pridobijo iz jedrskih elektrarn. V takšnih primerih lahko ustrezna povezava obrata za proizvodnjo vodika z jedrsko elektrarno prispeva k boljši izrabi proizvedene električne energije in omogoči dodatne možnosti za shranjevanje energije [3].

PRIHODNOST PROIZVODNJE VODIKA

Poleg klasične elektrolize, ki jo lahko poganja električna energija, pridobljena iz sončne svetlobe, se v zadnjih letih intenzivno raziskujejo tudi drugi načini pridobivanja vodika, neposredno povezani s sončno energijo. Ker pri teh postopkih ne nastajajo emisije CO₂, jih lahko uvrstimo med tehnologije za pridobivanje zelenega vodika [5].

Med najobetavnejše pristope poleg povezave fotovoltaičnih sistemov z elektrolizno celico (kot pri običajnem zelenem vodik) sodi tudi neposredna fotokatalitična cepitev vode. Gre za proces, pri katerem se molekula vode razcepi na vodik in kisik z uporabo svetlobe ter katalizatorja iz polprevodniškega materiala. Poleg fotokatalitičnega pristopa se raziskuje tudi fotoelektrokemična celica, ki je sestavljena iz fotoanode na osnovi n-tip polprevodnika ali fotokatode na osnovi p-tip polprevodnika ter protielektrode. Takšna celica deluje podobno kot elektroliza, ki jo poganja sončna energija, vendar v tem primeru svetloba neposredno sproži kemijsko reakcijo, in sicer brez pretvorbe v električno energijo [5].

ZAKLJUČEK

Vodik je obetaven nosilec energije zaradi visoke energijske gostote in nizkih emisij. Njegova trajnost je odvisna od vira energije in tehnologije proizvodnje, kar določa njegovo barvno klasifikacijo. Medtem ko večina danes proizvedenega vodika spada med

sivega, do okolja prijaznejše alternative predstavljajo modri, turkizni, zeleni, rumeni in rožnati vodik. Posebej obetavne so tehnologije, povezane s sončno energijo, kot sta fotokataliza in fotoelektrokemične celice. Kljub temu proizvodnja trajnostnega vodika še vedno prinaša izzive, kot so: visoki stroški, nestabilnost obnovljivih virov in vprašanja varnosti. Širša uporaba in komercializacija teh tehnologij zato zahtevata nadaljnje raziskave in tehnološki razvoj.

LITERATURA

[1] Arcos, J. M. M., Santos, D. M. F. The Hydrogen Color Spectrum: Techno-Economic Analysis of the Available Technologies for Hydrogen Production. Gases 2023, 3(1): 25–46.

[2] Incer - Valverde, J., Korayem, A., Tsatsaronis, G., Morosuk, T. “Colors” of hydrogen: Definitions and carbon intensity. Energy Convers Manag. 2023, 1(291): 117294.

[3] Ajanovic, A., Sayer, M., Haas, R.. The economics and the environmental benignity of different colors of hydrogen. Int J Hydrogen Energy, 2022, 47(57): 24136–54.

[4] El Adawy, M., Dalha, I. B., Ismael, M. A., Al Absi, Z. A., Nemitallah, M. A. Review of Sustainable Hydrogen Energy Processes: Production, Storage, Transportation, and Color-Coded Classifications. Energy and Fuels. 2024, 38(23): 22686–718.

[5] Song, H., Luo, S., Huang, H., Deng, B., Ye, J., Solar-Driven Hydrogen Production: Recent Advances, Challenges, and Future Perspectives. ACS Energy Lett, 2022, 7(3): 1043–65.

PFAS – čudež kemije ali globalna grožnja?

Per- in polifluoroalkilne substance (PFAS) predstavljajo obsežno skupino sintetičnih kemikalij, ki jih zaradi njihovih izjemnih fizikalno-kemijskih lastnosti uporabljamo v številnih izdelkih za vsakodnevno uporabo. Odlikujejo jih neverjetna stabilnost, odpornost na toploto ter sposobnost odbijanja vode, olja in madežev, zaradi česar so postale nepogrešljive v nepremočljivem tekstilu, embalaži za živila, kuhinjski posodi, kozmetiki in v penah za gašenje požarov. Prav te lastnosti pa so tudi vzrok za njihovo izjemno obstojnost v okolju, zaradi česar jih pogosto imenujemo »večne kemikalije«. Članek predstavlja širjenje uporabe PFAS od njihovega odkritja v prvi polovici 20. stoletja do danes in opozarja na vlogo industrije pri njihovem množičnem uvajanju v okolje kljub zgodnjim dokazom o mogočih škodljivih posledicah. Opisani so: kemijska raznolikost teh spojin, njihova definicija in osnovni načini razvrščanja.



Zaradi dobre mobilnosti se PFAS učinkovito širijo v okolju, najdemo pa jih lahko tudi v zelo odročnih delih sveta. Prisotne so v rastlinah, živalih in v človeškem telesu, kar raziskave povezujejo s številnimi škodljivimi vplivi na zdravje. Kljub vse večjemu zavedanju o tveganjih ostaja večina PFAS slabo raziskana, razvoj in uporaba novih PFAS pa pogosto prehitevata znanstvene raziskave in zakonodajo, zaradi česar številne spojine vstopajo v okolje, še preden je mogoče razumeti njihove vplive. Industrijski interesi in dolgotrajni regulatorni postopki upočasnjujejo sprejemanje strožjih omejitev, medtem ko se onesnaženje še naprej kopiči. PFAS zato predstavljajo enega večjih sodobnih okoljskih izzivov, katerega reševanje zahteva nadaljnje raziskave, razvoj analiznih metod, učinkovite regulatorne ukrepe in širšo družbeno skrb za naš planet.

UVOD

Neopazno so se razširile po svetu, postale ena najbolj skrb vzbujajočih onesnaževal in si upravičeno pridobile vzdevek »večne kemikalije«. Gre za per- in polifluoroalkilne substance, bolj znane pod kratico PFAS. Še pred kratkim jih v naravi ni bilo mogoče najti; celotna sinteza je namreč plod človekove želje po obstojnejših izdelkih za vsakodnevno uporabo. Na žalost pa so zaradi istih izjemnih fizikalno-kemijskih lastnosti, ki jih naredijo tako uporabne, dejansko neuničljive in se v okolju lahko zadržujejo desetletja ali celo stoletja. Tako predstavljajo vedno večjo grožnjo za okolje in človeka, znanstvenikom pa povzročajo preglavice, saj izjemno hitro naraščanje števila in raznovrstnosti PFAS v okolju prehiteva raziskave. V teh vedno znova odkrivajo nove med neskončno različnimi kemijskimi strukturami substanc, ki jim je skupna ena najmočnejših vezi v organski kemiji – vez med ogljikom in fluorom. Zaradi odlične mobilnosti v okolju se zdi, da jim noben kotiček ne ostane skrit ...

Kako je prišlo do svetovne problematike PFAS in zakaj jih človeštvo še naprej pospešeno sintetizira in uporablja?

PRIKRIVANJA ŽE OD ZAČETKA IN VEČNA PREMOČ DOBIČKA

Poglejmo v prvo polovico 20. stoletja, čas, ko so se znanstveniki začeli zanimati za kemijo fluoriranih spojin. Pomembno prelomnico predstavlja odkritje politetrafluoroetilena (PTFE) leta 1938. Ta material, danes znan kot teflon, je zelo odporen na visoke temperature, kemikalije in trenje. Proizvodnja fluoriranih spojin je začela strmo naraščati, sprva predvsem v vojaške namene, pozneje pa se je razširila še na veliko drugih področij in dandanes lahko PFAS najdemo na vsakem koraku vsakdanjega življenja [1, 2, 3].

Ključno vlogo pri razvoju in proizvodnji PFAS sta imeli ameriški kemijski in industrijski korporaciji DuPont in 3M. Te snovi so se začele množično uporabljati v izdelkih, pri katerih je zaželeno, da odbijajo vodo, olje in madeže, na primer v posodi, vodoodpornih

tkaninah, embalaži za hrano in v penah za gašenje požarov. Dolga desetletja so bili na račun njihovih izjemnih lastnosti prezrti morebitni škodljivi vplivi na okolje in zdravje živih bitij. Pozneje se je izkazalo, da sta omenjeni podjetji na podlagi lastnih raziskav že dolgo vedeli, za kako nevarne substance gre, a teh informacij nista želeli razkriti, saj jima je proizvodnja prinašala ogromen dobiček. Ko so te skrb vzbujajoče informacije le prišle na dan, so sledila leta na sodiščih, ki so se sicer končala z dokazano krivdo in večstomilijonskimi odškodninami, a nepopravljiva škoda je že bila storjena [1].

KAJ JE ZNANO IN KAJ NE?

Izjemne lastnosti PFAS (kemična stabilnost, odpornost na toploto ter sposobnost odbijanja vode in olja) so torej z nenadzorovanim tempom narekovale njihovo množično uporabo v številnih potrošniških izdelkih. Kljub splošni uporabnosti pa se svet vedno bolj zaveda tudi temne strani teh substanc. Na svetovni ravni je bilo do zdaj identificiranih več kot petnajst tisoč

PFAS, znanstveniki pa so prepričani, da jih obstaja še veliko več. Tudi med že znanimi spojinami je le majhen del dobro raziskan. Razvoj in uporaba novih PFAS namreč pogosto prehitevata znanstvene raziskave in regulacijo. Ko je ena spojina prepovedana, industrija pogosto uvede nove, manj raziskane alternative [2, 3].

Dohitevanje problema, ki se še vedno širi, je zahtevno. Z obstoječimi metodami je veliko PFAS težko zaznati, zato je treba razvijati nove standardizirane analizne tehnike. Prav tako se številni vplivi PFAS na zdravje pokažejo šele po več letih ali desetletjih izpostavljenosti, kar onemogoča takojšnjo oceno tveganja [2, 3, 4].

Čeprav jim v zadnjih letih posvečamo vedno več pozornosti, obseg vplivov PFAS na okolje in zdravje še zdaleč ni popolnoma znan. Prav to pomanjkanje strokovnega znanja povzroča veliko strahov o razsežnosti posledic, ki jih bodo te snovi pustile v družbi in naravi [2, 3, 4].

ZA KAKŠNE SPOJINE V RESNICI GRE?

Definicija

Kljub obsežnim raziskavam in usklajevanjem enotna in splošno sprejeta definicija PFAS še vedno ne obstaja. Opredelitev te skupine kemikalij se je skozi čas spreminjala in je odvisna od interesnega področja. Različne organizacije lahko torej uporabljajo nekoliko različna merila pri določanju in razvrščanju PFAS [3, 4].

Ena prvih priznanih definicij je nastala leta 2011 in opisuje PFAS kot visokofluorirane alifatske spojine, ki vsebuje

jo perfluoroalkilni fragment (C_nF_{2n+1}). Ta definicija ne vključuje popolnoma vseh spojin, ki jih danes prav tako uvrščamo med PFAS. Organizacija za gospodarsko sodelovanje in razvoj (angl. The Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD) je pozneje predlagala širšo definicijo, ki je bila nato še večkrat posodobljena. Po trenutno veljavni definiciji OECD med PFAS spada vsaka kemikalija, ki vsebuje vsaj eno popolnoma fluorirano metilno (–CF₃) ali metilensko (–CF₂–) skupino [3, 4].

Razvrščanje

Kemijsko gledano, lahko PFAS razdelimo po številnih merilih, saj gre za spojine zelo raznolikih struktur, molekulskih mas in fizikalno-kemijskih lastnosti. Pojavljajo se v vseh mogočih ionskih oblikah, kot so nevtralne, anionske, kationske ali zwitterionske zvrsti, in lahko obstajajo kot trdne snovi, tekočine ali plini. Razlikujejo se po stopnji fluoriranja, dolžini ogljikove verige in funkcionalnih skupinah [3, 4].

Lahko se povezujejo v polimere, ki jih zaradi višje molekulske mase in posledično večje kemijske stabilnosti nekatere raziskave uvrščajo v kategorijo nizke stopnje tveganja, saj imajo sorazmerno majhno težnjo po širjenju v okolju [3].

Večjo okoljsko skrb pa zaradi zelo dobre mobilnosti povzročajo nepolimerne PFAS. Te delimo na dve glavni podskupini: perfluoroalkilne in polifluoroalkilne snovi [3, 4].

Razlika med njima je v deležu fluoriranja. Pri perfluoroalkilnih snoveh so vsi vodikovi atomi na ogljikovi verigi nadomeščeni s fluorom, medtem ko ima

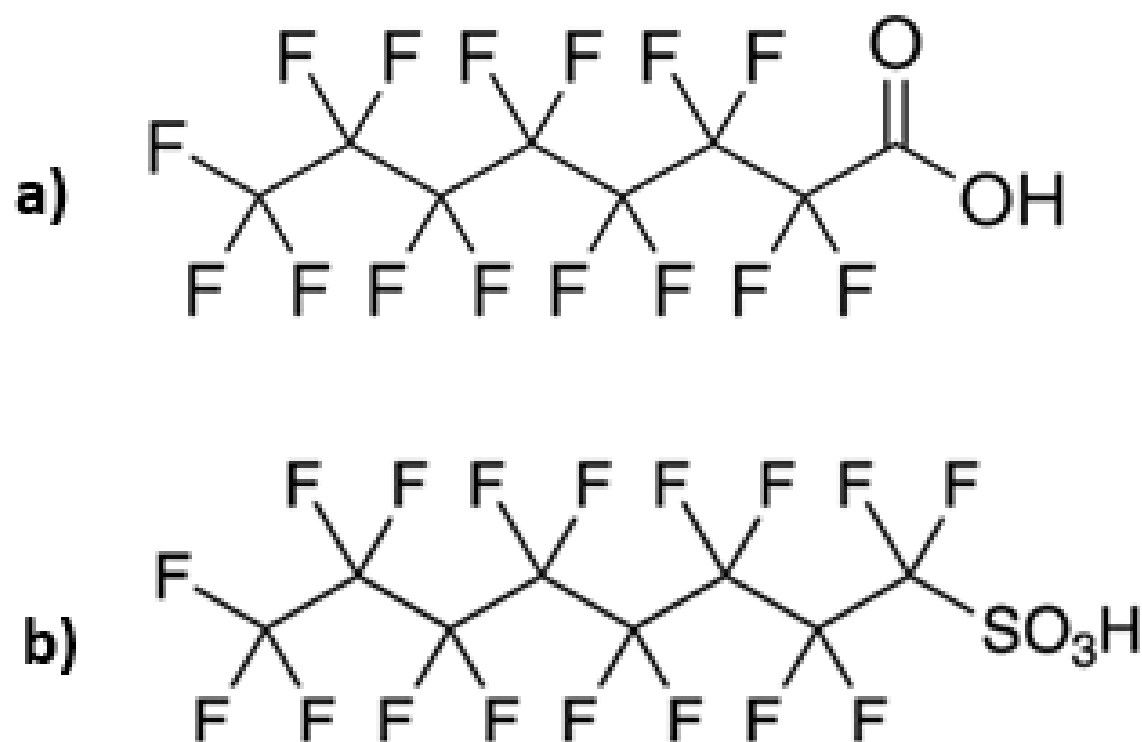
jo polifluoroalkilne snovi le delno fluorirane verige. Veliko polifluoroalkilnih spojin deluje kot predhodniki (prekursorji), ki se lahko sčasoma razgradijo tudi v perfluoroalkilne snovi [3, 4].

Med najpogostejše zaznanimi PFAS v ljudeh in okolju so perfluoroalkilne kisline (angl. perfluoroalkyl acids, PFAA), ki jih pogosto imenujemo tudi terminalni PFAS ali končni produkti transformacije, saj niso biorazgradljive in predstavljajo končno stopnjo razgradnje številnih prekursorjev PFAS. V to skupino spadajo perfluoroalkilne karboksilne kisline (angl. perfluoroalkyl carboxylic acids, PFCA) in perfluoroalkilne sulfonske kisline (angl. perfluoroalkyl sulphonic acids, PFSA) [3, 4] – slika 1.

Naslednje pomembno merilo razvrščanja je dolžina ogljikove verige, ki močno vpliva na vedenje teh snovi v okolju in njihovo kopičenje v organizmih. V splošnem se dolgoverižne PFAS bolje bioakumulirajo, medtem ko so kratkoverižne PFAS bolj mobilne in zato vse pogostejše zaznane na zelo raznolikih zemljepisnih območjih. Kljub temu sta obe skupini izjemno obstojni v okolju [3, 4].

Zelo velik vpliv na lastnosti PFAS imajo tudi različne funkcionalne skupine. Najpogostejše med njimi so: karboksilna, sulfonska, hidroksilna in sulfonamidna [3, 4].

Vse naštete lastnosti pomembno vplivajo na obstojnost, mobilnost, toksičnost in na bioakumulacijo teh spojin. Zato sta pravilna identifikacija in razvrstitev PFAS ključnega pomena za zanesljivo spremljanje njihove prisotnosti v okolju, ocenjevanje tveganja



▲ Slika 1:
a) Glavna predstavnica PFCA: perfluorooktanojska kislina (angl. perfluorooctanoic acid, PFOA).
b) Glavna predstavnica PFSA: perfluorooktansulfonska kislina (angl. perfluorooctanesulphonic acid, PFOS).

in za učinkovito regulacijo [3, 4].

VPLIVI NA OKOLJE IN ZDRAVJE

Okolje
PFAS so pogosto imenovane tudi »večne kemikalije«, saj so izjemno obstojne v okolju. To je predvsem posledica zelo močne vezi med ogljikom in fluorom, ene najmočnejših enojnih vezi, ki jih poznamo v kemiji. Gre za kratko, močno polarizirano kovalentno vez, ki je dodatno stabilizirana zaradi elektrostatske privlačnosti med delno pozitivnim ogljikom in delno negativnim fluorom [5].

Poleg izjemne stabilnosti je za PFAS značilna tudi dobra mobilnost v okolju. Skupaj z vodo, zrakom in z drugimi okoljskimi mediji lahko prepotujejo zelo dolge razdalje, najti pa jih je mogoče tudi v na videz nedotaknjenih območjih, kot sta Arktika in Antarktika. Poleg tega imajo nekatere PFAS sposobnost bioakumulacije in biomagnifikacije, kar pomeni, da se lahko kopičijo v organizmih in prenašajo po prehranjevalni verigi [2, 3, 5].

PFAS lahko v okolje vstopajo neposredno iz industrijskih obratov ali pozneje iz potrošniških izdelkov (slika 2). Nepremočljiva oblačila, torbe, čevlji, pohištvo, embalaža za živila, kozmetika, posoda in drugi gospodinjski izdelki so le nekateri izmed veliko virov teh spojin.

Dodatno onesnaženje nastaja še pri uporabi pen za gašenje, predvsem

na letališčih in vojaških območjih. Žarišča PFAS lahko nastanejo tudi pri recikliranju, sežiganju in pri odlaganju odpadkov na odlagališčih, na katerih je omogočeno neposredno prehajanje teh spojin v tla in podtalnico, od koder se nato širijo naprej [3, 5].

Danes so PFAS prisotne že po vsem svetu: v površinskih in podzemnih vodah, v tleh in zraku, in to tudi na območjih, na katerih neposrednih virov onesnaženja sploh ni. Prisotne so v rastlinah, živalih in na človeškem telesu, kjer jih najdemo v krvi, urinu in v različnih tkivih [2, 3, 5].

Zdravje

Izpostavljenost ljudi poteka predvsem prek onesnažene pitne vode in hrane, lahko pa pride tudi do vnosa z vdihavanjem ali s stikom s kožo. Številne raziskave so PFAS povezale z različnimi škodljivimi vplivi na zdravje, vključno

s hormonskimi motnjami, z razvojnimi težavami pri otrocih, oslabljenim imunskim sistemom, zmanjšanjem plodnosti, boleznimi jeter in ledvic ter z nekaterimi vrstami raka [2, 3, 5].

anjih stika s PFAS pa se še vedno na široko uporabljajo, saj je njihove edinstvene lastnosti težko nadomestiti.

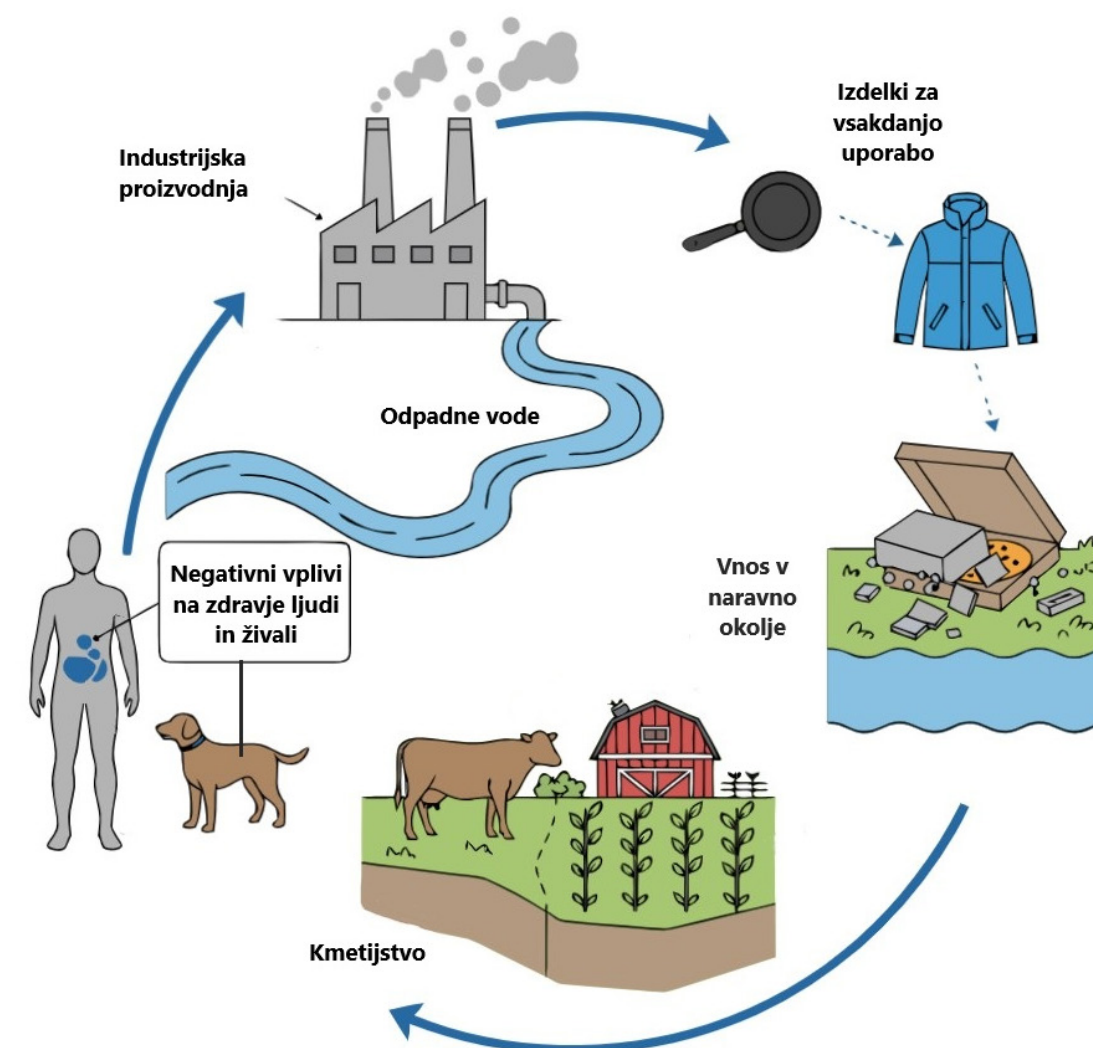
RAZISKAVE IN UKREPI

PFAS v okolju le redko nastopajo kot posamezne spojine. Pogosto se pojavljajo v kompleksnih mešanica skupaj z drugimi okoljskimi onesnaževali, kar povečuje negotovost pri ocenjevanju njihovih učinkov na okolje in zdravje ljudi [2]. Kljub vse več dokazom o tveg-

čprav so imela podjetja že zgodaj dokaze o toksičnosti PFAS, so brez slabe vesti nadaljevala njihovo proizvodnjo. To je pripeljalo do točke, ko moramo najti učinkovit način za popravo storjene škode. Razprave o omejitvah ali prepovedi teh snovi so

vse pogostejše, a industrijsko lobiranje pogosto upočasnjuje ali preprečuje strožjo regulacijo. PFAS tako ostajajo globalni okoljski problem, ki zahteva več raziskav, nadzora in političnega ukrepanja [1, 5].

Obvladovanje onesnaženja s PFAS terja izboljšane analizne metode za njihovo zaznavanje, celovite ocene toksičnosti, učinkovitejša regulatorna ukrepa in dobro mednarodno sodelovanje. Mednarodni sporazumi, kot



Slika 2: Širjenje PFAS od industrijske proizvodnje do naravnega okolja in živih organizmov

je Stockholmska konvencija, so že določili omejitve in zahteve za spremljanje nekaterih PFAS, Evropska unija pa je uvedla usklajeno testiranje in spremljanje PFAS v hrani, pitni vodi in v krmi za živali [2, 5].

Znanstveniki in regulatorni organi sicer vse pogostejše sodelujejo pri omejevanju uporabe PFAS in uvajanju tehnologij za sanacijo onesnaženega okolja, a trenutno je le majhen delež PFAS predmet zakonodaje in točka, ko bomo pred temi substancami varni, je še zelo daleč [2, 3].

ZKLJUČEK

PFAS predstavljajo enega največjih izzivov na področju onesnaževanja v sodobnem času. Pomembno je zavedanje, da s kemijskega vidika organske spojine z več fluorovimi atomi v naravi ne obstajajo, zato so PFAS v celoti produkt človeške proizvodnje. V nasprotju z nekaterimi drugimi onesnaževali se v naravi ne morejo razgraditi s preprostimi procesi, tehnologije sanacije pa so za zdaj močno omejene, drage in le delno učinkovite. Tudi če bi proizvodnjo ustavili danes, bi obstoječa onesnaženost še dolga leta vplivala na ekosisteme in zdravje ljudi [1, 2, 5].

Neravnovesje med hitrim kopičenjem v okolju in znanstvenim razumevanjem tega perečega problema ustvarja naraščajoč pritisk na družbo. Posledice PFAS se bodo odražale v okoljski škodi, gospodarskih stroških in v trajnem bremenu, ki ga bodo nosile prihodnje generacije. Zapuščina PFAS pa v družbo vnaša tudi širše sporočilo o posledicah vnosa zelo obstojnih kemikalij v okolje brez celovitega razumevanja njihovih vplivov. V veliko pogledih nam je uporaba teh spojin olajšala vsakdanje življenje, a za to že plačujemo visoko ceno. Pojavlja se večno vprašanje o

tem, kako daleč smo pripravljeni iti za svoje udobje in dobiček na račun obvarovanja lastne prihodnosti in edinega planeta, ki ga imamo. Ali nas bo sploh kdaj izučilo?

Viri

[1] N. Gaber, L. Bero, T. J. Woodruff: The Devil They Knew: Chemical Documents Analysis of Industry Influence on PFAS Science. *Annals of Global Health*. 2023, 89, 37. DOI: 10.5334/aogh.4013

[2] Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS). National Institute of Environmental Health Sciences, <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/pfc>. (Pridobljeno 14. 3. 2026.)

[3] E. Panieri, K. Baralic, D. Djukic - Cosic, A. Buha Djordevic, L. Saso: PFAS Molecules: A Major Concern for the Human Health and the Environment. *Toxics*. 2022, 10, 2, 44. DOI: 10.3390/toxics10020044

[4] PFAS Technical and Regulatory Guidance Document and Fact Sheets. Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC). <https://pfas-1.itrcweb.org/>. (Pridobljeno 14. 3. 2026.)

[5] M. C. O. Souza, F. Barbosa, J. L. Domingo: PFAS and One Health: Integrating Human, Animal, and Environmental Perspectives. *Archives of Toxicology*. 2026, 100. DOI: 10.1007/s00204-026-04306-1

Ustvarjamo priložnosti za rast – osebno, strokovno in globalno.

Naše poslanstvo je omogočati ljudem zdravo in kakovostno življenje. Uresničujemo ga z inovacijami, znanjem in odgovornostjo do družbe in okolja. Naša kultura temelji na zaupanju, sodelovanju in inovativnosti, ključ do našega uspeha pa so zaposleni – 13.000 krkašic in krkašev po vsem svetu s predanostjo, ustvarjalnostjo in znanjem vsak dan soustvarja našo zgodbo.

Preveri priložnosti na
karierni spletni strani



**Vstopi v podjetje, kjer se zanesljivost sreča z vizijo in
kjer znanje odpira vrata prihodnosti.**



Živeti zdravo življenje.

UMETNA INTELIGENCA: nov sodelavec v Krkinem razvoju in raziskavah učinkovin

ZNANSTVENI KOTIČEK

Dr. URH PUCIHAR¹, dr. MARKO
BITENC¹, dr. ERVIN ŠINKOVEC¹,
KATJA LOVRIN¹, doc. dr.
PETAR VRAČAR², doc. dr.
TILEN KOPAČ³

¹ KRKA, D. D.,
ŠMARJEŠKA CESTA 6, 8000 NOVO
MESTO, SLOVENIJA

² UNIVERZA V LJUBLJANI,
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO
IN INFORMATIKO, VEČNA POT 113,
1000 LJUBLJANA

³ UNIVERZA V LJUBLJANI,
FAKULTETA ZA KEMIJO IN KEMI-
JSKO TEHNOLOGIJO, VEČNA POT
113, 1000 LJUBLJANA

5.1



Dr. Marko Bitenc, Katja Lovrin in dr. Urh Pucihar

ob samooptimizacijskem sistemu

Razvoj novih zdravil je tradicionalno počasen in zahteva na tisoče eksperimentov.

Kaj imajo pri tem skupnega kemijski reaktor, umetna inteligenca in peka torte? V Krkinem razvoju učinkovin jih povezuje sistem, ki se sam uči, kako izboljšati kemijsko reakcijo.

Krka, d. d., Novo mesto spada med vodilna generična farmacevtska podjetja na svetu, njena moč pa tiči v vertikalno integriranem poslovnem modelu, ki obvladuje celotno pot zdravila od ideje do pacienta. Proces razvoja zdravila se začne s kemijskim razvojem aktivne farmacevtske učinkovine (API). Ta učinkovina predstavlja srce vsakega zdravila. V naslednjem koraku jo s sodobnimi farmacevtskimi postopki vgradimo v končne oblike, kot so tablete ali kapsule.

Pri premikanju meja mogočega v farmacevtski kemiji in tehniki ključno vlogo igra tesno sodelovanje z raziskovalno in izobraževalno sfero. FKKT je osred-

nja izobraževalna in raziskovalna ustanova na področju kemijskih znanosti in procesnega inženirstva, medtem ko FRI predstavlja vrhunsko znanje na področju algoritmov in podatkovnih znanosti. Takšno povezovanje različnih strokovnjakov in ustanov je nujno, saj ustvarjanje novega znanja na področju umetne inteligence zahteva preplet globokega razumevanja kemijskih procesov z najnaprednejšimi računalniškimi rešitvami.

V Krkinem Razvoju in raziskavah učinkovin smo zavezani k stalni vpeljavi novih tehnologij, s katerimi zagotavljamo visoko kakovost in ekonomsko konkurenčnost produktov v svetovnem merilu. Eden izmed novih pristopov, s katerim se aktivno ukvarjamo, je vpeljava različnih digitalnih tehnologij v koncept razvoja aktivnih farmacevtskih učinkovin, med drugim strojnega učenja. Z uporabo umetne inteligence smo se v Krkinem Razvoju in raziskavah učinkovin, skupaj s strokovnjaki iz FKKT in FRI UL, začeli ukvarjati že v obdobju, ko smo se z njo srečevali v filmskih zgodbah oziroma preden nam je postala široko dostopna prek velikih jezikovnih modelov, kot je na primer ChatGPT.

Strojno učenje je področje umetne inteligence, ki vključuje računalniške algoritme, ki se na podlagi pridobljenih izkušenj (rezultatov) samodejno izboljšujejo. Algoritmi strojnega učenja na podlagi podatkov o učenju izdelajo model, ki jim omogoča napovedovanje ali odločanje, ne da bi bili za to izrecno programirani. Področje uporabe strojnega učenja je široko, pri čemer se v zadnjem obdobju njihova praktična vrednost kaže predvsem s prilagajanjem vsebine posameznemu uporabniku ob brskanju na spletu, v medicinski diagnostiki, avtonomnih vozilih, prepoznavanju govora in slike ter na splošno v analiziranju in obvladovanju

večjih količin podatkov. Krkin samooptimizacijski pretočni reaktorski sistem je del pete industrijske revolucije ali Industrije 5.0, ki vključuje nadgradnjo proizvodnje in razvoja z uporabo digitalnih tehnologij, vključno z umetno inteligenco in s strojnim učenjem, tako da povečuje sodelovanje med ljudmi in pametnimi napravami. Digitalizacija razvoja in proizvodnje učinkovin je logičen korak zaradi potrebe po prenosu zamudnih in ponavljajočih se nalog iz ljudi na stroje, s čimer izboljšamo trajnost zdajšnjih industrijskih sistemov in razvojnih ciklov. Krkin samooptimizacijski sistem je sestavljen iz avtomatiziranega pretočnega reaktorskega sistema, procesno-analitičnega orodja in računalniškega programa – algoritma z zmožnostjo strojnega učenja.

Računalniški algoritem, ki deluje na standardnem namiznem računalniku, avtonomno upravlja reaktorski sistem, sestavljen iz cevnega pretočnega reaktorja, črpalk in termostata, tako da sam spreminja pretok in razmerje reagentov, temperaturo in tlak. Procesno-analitično orodje (visokotlačna tekočinska kromatografija in infrardeča spektroskopija), povezano z reaktorskim sistemom, v realnem času avtonomno pripravi vzorce za kromatografsko analizo, izvede analizo, rezultat pa pošlje nazaj algoritmu v obdelavo in odločanje za naslednji korak. Algoritem TSEMO omogoča večciljno optimizacijo, kar pomeni, da lahko določi optimum v izkoristku, kakovosti, hitrosti in v selektivnosti opazovane reakcije.

Samo delovanje računalniškega algoritma poteka v več korakih. V začetku sistem izvede množico eksperimentov, na podlagi katerih sestavi izhodiščni verjetnostni model. Optimizacijski postopek v nadaljevanju poteka v sklopu več zaporednih korakov oziroma iteracij, pri čemer se v vsaki iteraciji na

podlagi pridobljenih vzorcev iz naučenega modela sestavi množica najboljših rešitev optimizacijskega problema, iz katere se nato izbere točka naslednje meritve. Pridobljeno meritev uporabimo za posodobitev modela. Postopek se ponavlja do doseženega cilja optimizacije. S sistematičnim algoritemskim pristopom dobimo dodatno znanje o procesu in ustvarimo prostor za načrtovanje dodatnih korakov optimizacije. Delo na samooptimizacijskem sistemu lahko poteka neprekinjeno (24ur na dan, dni v tednu) Wkar bistveno pospeši razvoj in optimizacijo

procesa. Ključni element tega pospeška je uporaba naprednega algoritma TSEMO (Thompson Sampling Efficient Multi-Objective Optimization), ki omogoča hkratno optimizacijo več ciljev. Delovanje algoritma si lahko predstavljamo na primeru peke torte. Ne iščemo le najboljšega okusa, ampak želimo, da je torta hkrati tudi čim bolj zdrava in cenovno ugodna. Algoritem deluje v več korakih. Najprej opravimo nekaj začetnih eksperimentov – na primer spečemo več tort z različnimi količinami sladkorja, moke ali masla. Na podlagi teh rezultatov algoritem

zgradi matematični model, ki napove, kakšen rezultat lahko pričakujemo pri novih kombinacijah sestavin. V naslednjem sklopu imamo fazo učenja in pametnih izbir: namesto ključnega preizkušanja novih receptov algoritem na podlagi naučenega modela pretehta nove možnosti in izbere tisto kombinacijo sestavin (naslednje meritve), ki obeta najboljši napredek. Sledi sklop iskanje kompromisa (Pareto fronta), saj so cilji pogosto nasprotujoči si, npr. torta z več masla je okusnejša, a manj zdrava – algoritem išče t. i. Pareto fronto oz. množico najboljših

Krkin samooptimizacijski sistem ▼



mogočih kompromisov, pri čemer ne moremo izboljšati enega parametra (zdravja), ne da bi pri tem poslabšali drugega (okusa), ter obdržali ugodno ceno. Postopek ponavljamo, dokler ne dosežemo zastavljenih ciljev: vsaka nova »peka« oziroma meritev posodobi model, postopek pa se ponavlja, dokler ne dosežemo želenega ravnovesja in najboljše mogoče rešitve. V kemijskem inženirstvu nam tak pristop omogoča, da namesto sestavin za torto hkrati optimiziramo izkoristek, kakovost, hitrost in selektivnost kemijske reakcije.

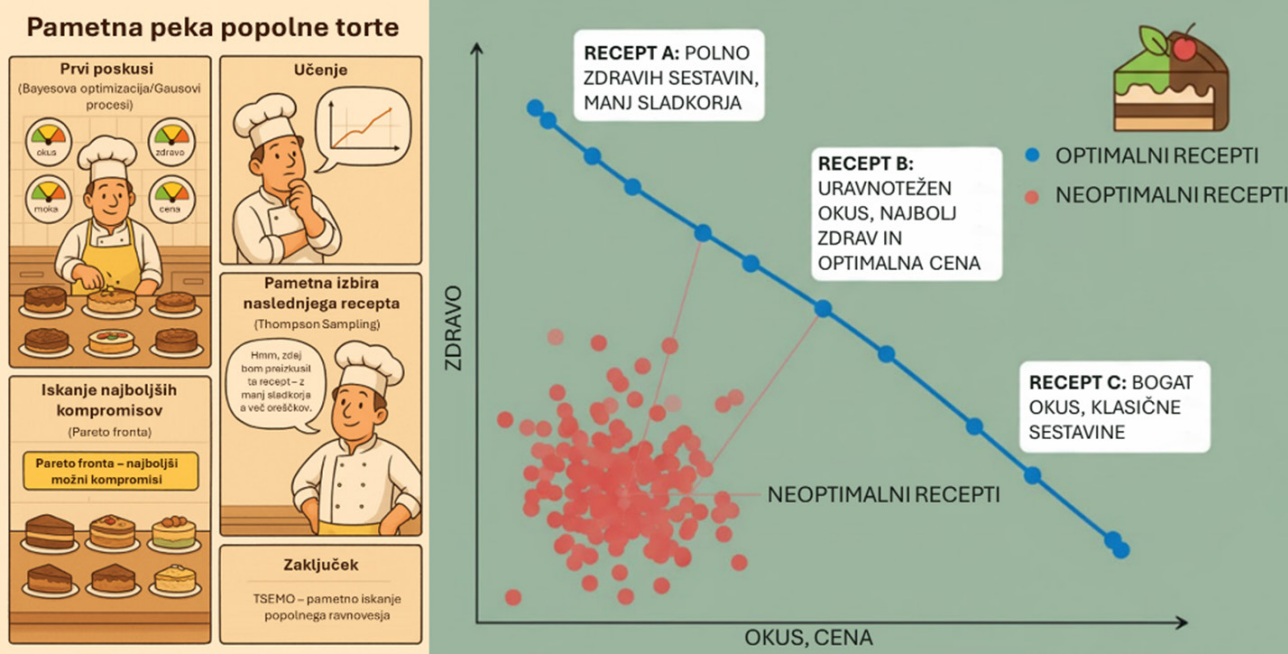
V klasičnem razvojnem ciklu optimizacije je običajno vpetih več raziskovalcev. Raziskovalci naredimo načrt eksperimentov in eksperimente izvedemo. V eksperimentu odvezamo vzorce, jih pripravimo in predamo v analizo. Na vzorcih se izvede analiza in poda rezultat. Rezultate ovrednotimo glede na postavljene cilje. Postopek ponavljamo do doseženega cilja optimizacije. V praksi se pokaže, da lahko samooptimizacijski algoritem naredi nekajkrat več strukturiranih eksperi-

mentov v istem času; ob tem poveča poznavanje procesa in prostor načrtovanja. V sklopu digitalizacije razvojnega procesa tako nismo iz raziskovalcev na stroje prenesli le ponavljajočih se in zamudnih nalog izvajanja in spremljanja eksperimentov, ampak tudi kreativne korake strukturiranega načrtovanja in vrednotenja optimizacije, ki so bili še do pred kratkim rezervirani le za človeški um. Samooptimizacijski algoritem tako zdaj daje raziskovalcu možnost, da svoj čas uporabi za še zahtevnejše kreativne korake in naloge.

Krkin samooptimizacijski reaktorski sistem je odličen pomočnik pri optimizaciji posamezne kemijske reakcije, ne bo pa nadomestil vseh izkušenj, znanja, inovativnosti in fleksibilnosti, ki jo imajo naši raziskovalci. V naslednjih različicah bomo samooptimizacijski sistem nadgradili v smer večje fleksibilnosti z možnostjo izvajanja eksperimentov z reagenti v trdem stanju. Poleg kemijske reakcije bomo dodali možnosti za izvajanje drugih procesnih stopenj, kot so: hidrogeniranje,

uparevanje, ekstrakcija, kristalizacija, izolacija, sušenje. Sistem bomo nadgradili z dodatnimi online analiznimi tehnikami, algoritem pa bomo povezali z bazo podatkov, s katero bo mogoča samostojna optimizacija reakcijskih poti. Umetna inteligenca tako postaja nov sodelavec v laboratoriju. Ne nadomešča raziskovalcev, ampak jim omogoča, da se posvetijo najtežjim nalogam: razumevanju kemije, snovanju novih procesov in iskanju inovativnih rešitev.

Kako najti popoln recept: peka torte kot model večciljne optimizacije ▼



OD BIOLOŠKE SLEDI DO PROFILA DNA: razvoj forenzične genetike v Nacionalnem forenzičnem laboratoriju v Sloveniji

ZNANSTVENI KOTIČEK

AVTORICA: PROF. DR. KATJA DROBNIČ

5.2

O avtorici prispevka: Prof. dr. Katja Drobnič je redna profesorica za forenzične znanosti na FVV UM in pionirka slovenske forenzične genetike. V obdobju 1996–2024 je v Nacionalnem forenzičnem laboratoriju razvijala metode DNA (STR, mRNA, SNP) za preiskovanje različnih kaznivih dejanj in identifikacijo posmrtnih ostankov žrtev, tudi iz prikritih grobišč. Vzpostavila je ključne nacionalne smernice za zavarovanje bioloških sledi ter pripravo in hrambo skeletnih ostankov za preiskave DNA, posebno skrb pa posvetila razvoju smernic za vrednotenje rezultatov genetskih analiz po mednarodnih standardih. S svojim opusom je odločilno prispevala k razvoju stroke ter povezovanju znanstvenoraziskovalnega dela s kriminalističnim preiskovanjem in sodnim izvedenstvom.



Danes si kriminalističnih preiskav in sodnih postopkov brez analize DNA skoraj ne moremo več predstavljati. Uporablja se pri preiskovanju kaznivih dejanj, ugotavljanju identitete neznanih posmrtnih ostankov in pogrešanih oseb, ugotavljanju sorodstvenih razmerij ter tudi pri napovedovanju nekaterih telesnih značilnosti posameznika. Že zelo majhna biološka sled – kapljica krvi, las, sled slin ali nekaj epitelijskih celic – lahko pomembno prispeva k razjasnitvi dogodkov, tudi po več desetletjih. Razvoj forenzične genetike je temeljito spremenil predkazenske, kazenske in civilne postopke. Poleg širšega nabora uporabnih bioloških sledi je prinesel tudi strožje zahteve glede zavarovanja in rokovanja z materialom, saj lahko že minimalna kontaminacija vpliva na zanesljivost rezultatov.

Začetki in tehnološki pre-skok

V Sloveniji se je rutinska uporaba forenzičnih genetskih metod začela leta 1996 v takratnem Centru za kriminalistično-tehnične preiskave, današnjem Nacionalnem forenzičnem laboratoriju (1,2). Ključni preboj je predstavljala verižna reakcija s polimerazo (PCR), ki je omogočila analizo zelo majhnih količin DNA.

Prvi sistemi so temeljili na omejenem številu genetskih označevalcev in metodi reverzne dot-blot hibridizacije, ki je omogočala odčitavanje genotipov brez elektroforeze. Kljub temu je bila ločljivost teh metod omejena, zato so jih hitro nadomestile sodobnejše metode profiliranja DNA.

Že leta 1997 sem začela uvajati analizo STR (short tandem repeats, kratke tandemske ponovitve), ki temelji na elektroforeznem ločevanju alelov. Prvi komercialni sistemi so analizirali le nekaj lokusov STR, a so kljub temu pomenili velik napredek v primerjavi

s prejšnjimi pristopi. Kmalu so sledili izboljšani kompleti z več lokusi STR in vključitvijo označevalca za spol (amelogenin). Do konca devetdesetih let so analize STR v celoti nadomestile starejše genetske označevalce, prehod na kapilarno elektroforezo pa je omogočil avtomatizacijo in večjo učinkovitost analiz.

Preiskovanje spolnih kaz-nivih dejanj

Področje kaznivih dejanj zoper spolno nedotakljivost je imelo pomembno vlogo pri razvoju forenzične genetike. Analiza vaginalnih in penilnih brisov, semenske tekočine ter epitelijskih celic omogoča dokazovanje stika tudi brez dodatnih materialnih dokazov.

V tem okviru sem se posvetila razvoju metode diferencialne lize za analizo mešanih bioloških vzorcev, ki omogoča ločevanje moške in ženske DNA. Po uspešni validaciji je bila metoda leta 1997 uvedena v rutinsko delo (1,2).

Hkrati sem pripravljala smernice za zavarovanje bioloških sledi na kraju dejanja in na osebah, tako za policijo kot tudi za druge strokovnjake zunaj policije, kot so obducenti, ginekologi, antropologi in arheologi. Pomembna sprememba je bila razširitev preiskav na osumljence, ne le na žrtve, kar je povečalo uspešnost dokazovanja stika med žrtvijo in osumljencem.

Identifikacija skeletnih os-tankov

Forenzična genetika je postala ključna tudi pri identifikaciji skeletnih ostankov. Analiza jedrne in mitohondrijske DNA iz kosti in zob omogoča identifikacijo neznanih oseb ter žrtev prikritih grobišč (6). Leta 1999 sem na podlagi analize DNA iz stegenice in zoba v Sloveniji prvič uspešno identificirala žrtev umora (7), kar je bil tudi prvi primer, ko je bila

identiteta neznanega trupla pri nas določena izključno na podlagi DNA iz kostnega materiala (stegenice) ali zoba. Dogodek je dodatno potrdil visoko zanesljivost analiz STR tudi pri močno degradiranih vzorcih.

Razvoj po letu 2003

Leta 2003 sem začela raziskovati analizo STR na kromosomu Y (analiza Y-STR), ki je posebej uporabna pri kompleksnih mešanicah, kjer je moška DNA prisotna v zelo nizkih količinah. V laboratorij sem uvedla komplet za analizo Y-STR, ki omogoča analizo 12 lokusov STR na kromosomu Y. Validacija je vključevala testiranje ekstremnih razmerij mešanic, da bi potrdili zanesljivost metode. Že istega leta je bila metoda uporabljena v zahtevnih kazenskih primerih, kjer je omogočila določitev moškega haplotipa iz kompleksnih vzorcev.

Po letu 2005 so se uveljavili miniSTR in analiza SNP (8). Ti označevalci so omogočili večjo uspešnost pri degradiranih vzorcih ter napovedovanje nekaterih fenotipskih lastnosti, kot sta barva oči in las (9).

Pomemben napredek predstavlja tudi uvedba analize mRNA, ki omogoča določanje vrste biološke sledi. Ta pristop omogoča razlikovanje med krvjo, slino, semensko tekočino in drugimi telesnimi tekočinami ter bistveno izboljša interpretacijo dokazov (10).

Standardizacija in inter-pretacija rezultatov

Razvoj slovenske forenzične genetike je ves čas spremljala standardizacija laboratorijskih postopkov in uvajanje mednarodnih smernic kakovosti (11). Sodobna forenzika se ne osredotoča več le na vprašanje

izvora sledi, temveč tudi na statistično vrednotenje dokazov z uporabo razmerja verjetnosti (likelihood ratio). Razvoj teh pristopov in biostatističnih orodij je bil še posebej intenziven v obdobju med letoma 2013 in 2019 (12).

Viri:

1. Drobnič K. Identifikacija oseb in sledi s preiskavo DNK v povezavi z zavarovanjem bioloških sledi pri kaznivih dejanjih zoper spolno nedotakljivost. Revija za kriminalistiko in kriminologijo. 1999;50(4):307–317.
2. Drobnič K. Biološke sledi. V: Maver D. Kriminalistika: uvod, taktika, tehnika. Ljubljana: Uradni list RS; 2004. DROBNIČ, Katja, REGENT, Aleksander, BUDOWLE, Bruce. The Slovenian population data on the PCR based loci HLA-DQA1, LDLR, GYP A, HBGG, D7S8, GC, and D1S80. Journal of forensic sciences. May 2000, vol. 45, no. 3, str. 689-691.
3. DROBNIČ, Katja, BUDOWLE, Bruce. The analysis of three short tandem repeat (STR) loci in the Slovene population by multiplex PCR. Journal of forensic sciences. July 2000, vol. 45, no. 4, str. 893-895. ISSN 0022-1198. Drobnič K. Analysis of DNA evidence recovered from epithelial cells in penile swabs. Croatian Medical Journal. 2003;44(3):350–354.
4. Drobnič K. Identifikacija človeka ubitega leta 1943 na podlagi preiskav jedrne in mitohondrijske DNK iz zoba. V: Pagon M, ur. Dnevi varstvoslovja. Ljubljana: Visoka policijsko-varnostna šola; 2003. str. 160.
5. Drobnič K. PCR analysis of DNA from skeletal remains in crime investigation case. Problems of Forensic Sciences. 2001;47:192–197.
6. Drobnič K, Børsting C, Rockenbauer E, Tomas C, Morling N. Typing of 49 autosomal SNPs by SNaPshot in the Slovenian population. Forensic Science International: Genetics. 2010;4(5):e125–e127.

7. Kastelic V, Drobnič K. A single-nucleotide polymorphism (SNP) multiplex system: the association of five SNPs with human eye and hair color in the Slovenian population and comparison using a Bayesian network and logistic regression model. Croatian Medical Journal. 2012;53(5):401–408.
8. Hadžić G, Drobnič K. Identifikacija telesnih tekočin človeškega izvora z biomarkerji informacijske RNK. Revija za kriminalistiko in kriminologijo. 2015;66(1):56–65.
9. Vanek D, Drobnič K. Forensic DNA typing and quality assurance. V: Primorac D, Schanfield M, ur. Forensic DNA Applications: An Interdisciplinary Perspective. Boca Raton: CRC Press; 2014. str. 205–250.
10. Benschop CCG, Hoogenboom J, Bargeman F, et al. Multi-laboratory validation of DNAXs including the statistical library DNAS tatistX. Forensic Science International: Genetics. 2020;49:102390. doi:10.1016/j.fsi-gen.2020.102390.
11. Vanek D, Drobnič K. Forensic DNA typing and quality assurance. V: Primorac D, Schanfield M, ur. Forensic DNA Applications: An Interdisciplinary Perspective. Boca Raton: CRC Press; 2014. str. 205–250.
12. Benschop CCG, Hoogenboom J, Bargeman F, et al. Multi-laboratory validation of DNAXs including the statistical library DNAS tatistX. Forensic Science International: Genetics. 2020;49:102390. doi:10.1016/j.fsi-gen.2020.102390.



06

Intervju z doc. dr. Mišo Korva

INTERVJUVALE: ŽIVA
BREGAR, PETJA LOGAR
IN ANJA KOKOL

INTERVJU
Erlenmayerica / št. 6
- 52 -

Kaj vas je na začetku vaše znanstvene poti pritegnilo k virologiji? Je bil kak trenutek ali izkušnja, ki je odločilno vplivala na vašo odločitev za to področje?

»Že na začetku študija mikrobiologije me je najbolj pritegnila virologija. Virusi so očem nevidni, a kljub temu izjemno vplivajo ne le na posameznika, ampak na celotno družbo. Hitro se prilagajajo spremembam v okolju in preskakujejo med gostitelji. Virologija je kot veda zelo mlada, zaznamovana z nenavadnimi izbruhi, ki jih pogosto ne razumemo v celoti, kar se mi je kot študentki zdelo izjemno zanimivo in me navdihuje še danes.«

Ali nam lahko na kratko opišete projekt, na katerem trenutno delate, in pojasnite, zakaj je njegovo raziskovanje pomembno?

»Aktivno sodelujem pri več projektih, vendar se v zadnjem času najintenzivneje ukvarjam z razvojem metagenomskega sekvenciranja v klinični diagnostiki in razumevanjem virusne evolucije. Pri prvem projektu je namen vzpostaviti napredne metode sekvenciranja za iskanje nepričakovanih povzročiteljev, pri drugem pa se na primer ukvarjamo z razumevanjem evolucije virusa SARS-CoV-2, predvsem pri imunsko oslabljenih bolnikih. Odkrivamo mehanizme, ki v virusni populaciji ohranjajo mutacije, povezane z večjo prenosljivostjo, odpornostjo na cepiva ali monoklonska protitelesa.«

Če bi lahko javnosti sporočili eno stvar o virusih, ki jo ljudje pogosto napačno razumejo, kaj bi bilo to?

»Virusi niso 'zlobni organizmi', ki nas napadajo, ampak del naravnih ekosistemov in so bili prisotni dolgo pred nami. Pogosto ljudje mislijo, da je vsak virus nevaren ali da se virusi hitro spreminjajo, da bi nas ogrozili. V resnici večina virusov nikoli ne povzroči bolezni pri človeku, mutacije pa so normalen del njihovega življenjskega cikla – so naključne, večina je nepomembna, le izjemoma so takšne, ki vplivajo na naše zdravje. Kar je ključno in želim poudariti, je, da virusi postanejo problem šele, ko se spremeni odnos med virusom, gostiteljem in okoljem.

Zato je pomembno razumeti širši kontekst, kako spremembe v ekosistemi, pri stikih med ljudmi in živalmi ter globalni promet in potovanja vplivajo na te odnose. Ko to razumemo, lažje preprečujemo izbruhe, zmanjšujemo tveganja in se veliko učinkoviteje odzovemo, ko pride do nove nalezljive bolezni.«

Med pandemijo covid-19 je virologija prišla v središče pozornosti javnosti. Kako je to obdobje vplivalo na vaše delo in razvoj viroloških raziskav v Sloveniji?

»Ker je Inštitut za mikrobiologijo in imunologijo hkrati strokovna, raziskovalna in izobraževalna ustanova, je bilo med pandemijo izjemno zahtevno vzdrževati vse tri stebre delovanja. V zelo kratkem času smo morali vzpostaviti popolnoma nove diagnostične procese, zagotoviti velik obseg testiranja in razviti protokole, ki so omogočili zanesljivo spremljanje virusa na populacijski ravni. Pandemija je močno poudarila pomen translacijske virologije – hitrega prenosa znanstvenih spoznanj v klinično obravnavo in javnozdravstvene odločitve. Tudi sami smo v tem obdobju pridobili veliko novega znanja,

nadgradili laboratorijsko infrastrukturo, razširili spekter diagnostičnih metod in bistveno okrepili sistem pripravljenosti na pojav novih ali ponovno vzniklih patogenov. Čeprav je bilo obdobje izjemno zahtevno, je prineslo trajne izboljšave, ki danes pomembno vplivajo na kakovost, hitrost in na zanesljivost viroloških raziskav v Sloveniji.«

Kako zahteven je proces raziskovanja in razvoja novih cepiv proti virusom? Kakšna je vloga virologov pri tem?

»Razvoj novih cepiv je kompleksen proces, ki zahteva razumevanje virusne biologije, interakcije z gostiteljem in imunskega odziva gostitelja. Vloga virologov je ključna v najzgodnejših fazah, v katerih prepoznamo tarčne antigene, razvijamo laboratorijske sisteme za gojenje in karakterizacijo virusa, testiramo prototipe cepiv in skrbimo za varnostne protokole pri delu s patogeni. Sledijo predklinična testiranja in različne klinične študije, ki preverjajo varnost in učinkovitost cepiva. Na koncu virologi sodelujemo tudi pri spremljanju mutacij in prilagajanju cepiv, ko virus evolucijsko spreminja svoje lastnosti. Gre za interdisciplinarno delo, ki zahteva sodelovanje virologov, imunologov, kliničnih strokovnjakov, farmaceutov in regulativnih organov.«

Del vašega raziskovalnega področja se dotika tudi bioloških tveganj in bioterorizma. Kako znanstveniki sploh ocenjujejo, kateri virusi bi lahko predstavljali potencialno biološko orožje?

»Pri oceni, kateri virusi bi lahko predstavljali potencialno biološko grožnjo,

Z DOC. DR. MIŠO KORVA
jesen 2026
- 53 -



upoštevamo več dejavnikov: prenosljivost, virulentnost, stabilnost v okolju, možnost laboratorijske manipulacije in razpoložljivost preventive ali zdravljenja. Biološka grožnja ni le vprašanje lastnosti virusa, ampak tudi motivacije, tehničnih sposobnosti in infrastrukture, ki bi jih imel napadalec na voljo, zato je interdisciplinaren pristop pri razumevanju tega področja zelo pomemben.«

Kako se države in znanstvene ustanove pripravljajo na morebitne biološke grožnje? Kakšno vlogo imajo pri tem raziskovalci, kot ste vi?

»Priprave na biološke grožnje potekajo na več ravneh. Države vzpostavljajo nacionalne referenčne laboratorije, vlagajo v visokovarnostne laboratorije, gradijo sisteme za zgodnje zaznavanje izbruhov ter sodelujejo v evropskih in globalnih mrežah, ki omogočajo hiter prenos podatkov in strokovno usklajevanje. Raziskovalci imamo pri tem ključno vlogo – razvijamo diagnostične metode, spremljamo genetske spremembe virusov, izvajamo oceno tveganja in vzpostavljamo varne delovne protokole. Kot vodja laboratorija 3. stopnje biološke varnosti, ki je del Laboratorija za diagnostiko zoonoz, sodelujem pri usposabljanju strokovnjakov in prvih posredovalcev, pri odzivu na biološke incidente ter oblikovanju strokovnih priporočil za zaščito javnega zdravja.«

Kateri virus, ki ste ga do zdaj raziskovali ali imeli stik z njim, se vam je zdel najzanimivejši? Zakaj? Kako se je razlikoval od drugih?

»Najzanimivejši so mi virusi hemoragičnih mrzlic, med njimi najbolj ortohantavirusi in filovirusi. To so virusi, ki krožijo v naravnih gostiteljih, glodavcih ali netopirjih. Posebni so, ker povzročajo hude bolezni šele, ko preskočijo na človeka, v naravnem gostitelju pa so popolnoma nenevarni. Ta dvojna narava – harmonično sobivanje v naravi in huda bolezen pri človeku – je zame izjemno zanimiva in predstavlja odličen model za razumevanje koevolucije med virusom in gostiteljem.«

Kako kot virologinja gledate na filme in serije, ki obravnavajo pandemije ali izbruhe virusov? ali ste si kdaj ogledali kak tak film, v katerem vas je kot strokovnjak-

injo zmotilo, da je bila znanost prikazana netočno ali pretirano dramatično – ali pa mogoče poznate kak film, ki po vašem mnenju presenetljivo dobro prikaže virologijo?

»Filme in serije o pandemijah gledam z mešanimi občutki. Pogosto opazim, da so stvari pretirano poenostavljene ali znanstveno napačne – na primer, ko laboratorijski postopki trajajo le nekaj minut ali ko virus mutira po želji scenarista. Hkrati pa razumem, da je cilj filmov ustvariti napetost, ne pa poučevati virologije. Sicer imam zelo rada filme o raziskovanju izbruhov, med katerimi mi je bil prav Contagion zelo všeč. Opazi se, da so imeli za svetovalko svetovno znano virologinjo, zato film kar se da realistično prikaže potek epidemioloških preiskav, laboratorijsko delo, predvsem delo v visoko varnostnem laboratoriju, komunikacijo med ustanovami in pritisk za hiter razvoj cepiva.«

Vodite več laboratorijev, ste profesorica na več fakultetah, prejeli ste tudi več nagrad. Kako se ob tako polnem urniku uspešno časovno organizirate? Kakšni so vaši načrti za prihodnost?

»Kombiniranje več aktivnosti vedno zahteva natančno organizacijo. Zame je ključna dobra ekipa – izjemni mentorji, ki me navdihujejo, in odlični sodelavci, ki jim zaupam in ki prevzemajo odgovornost na svojih področjih. Učinkovita komunikacija in jasni procesi nam omogočajo, da tudi v zahtevnih obdobjih delujemo usklajeno. V prihodnosti si želim, da bi še nadalje razvijali infrastrukturo za delo z nevarnimi in novimi patogeni ter krepili mednarodne raziskovalne povezave, da bomo kot država še bolje pripravljeni na prihodnje izzive.«

Kak nasvet bi dali našim študentom, ki bi si želeli kariero na področju virologije?

»Naj bodo radovedni, vztrajni in odprti za interdisciplinarnost. Virologija danes ni več le študij virusov, ampak združuje molekularno biologijo, bioinformatiko, imunologijo, ekologijo in še veliko več. Naj se vključijo v raziskovalno okolje, v katerem lahko spoznajo laboratorijsko delo, dinamiko raziskav in realne izzive. In najpomembneje, naj izberejo področje, ki jih resnično veseli, saj so prav strast, potrpežljivost in želja po odkrivanju novega tiste lastnosti, ki v znanosti dolgoročno prinesejo največ.«

PRIGODE IZ TUJINE

AVTORICA: ŽIVA FLEGO

Ahoj z Prahy



Slika 1: Verjetno edina fotografija mene na eni izmed turističnih znamenitosti. Na sliki se na moji levi nahaja moj obisk iz Slovenije, sotrpinka na biokemiji, Zarja. Fotografija je vzeta iz osebnega vira.

V jesenskem semestru študijskega leta 2025/26 sem Večno pot 113 zamenjala za Vinično 1594/7. Študentska pota so me namreč zanesla v glavno mesto četrte največje slovanske države (po številu prebivalcev) – v Prago na Češkem, in sicer na Karlovo univerzo. Če boste v brskalnik vtipkali omenjeni naslov, vas bo mogoče zadetek presenetil. Gre namreč za stavbo, ki že res da pripada Fakulteti za znanost (češko Přírodovědecká fakulta), vendar gre za stavbo oddelka za biologijo. Razlog? Ker sem po prihodnji izobrazbi biokemik in se sama izogibam kemiji kot hudič križu, sem večino izbirnih predmetov izbrala s področja molekularne biologije.

V Pragi se nahaja več univerz. Zgodovinsko je, seveda, Karlova univerza ena najstarejših evropskih univerz. Za kemike pa je mogoče celo bolj uveljavljena Univerza kemije in tehnologije oz. VŠCHT. Za Karlovo univerzo sem se odločila čisto preprosto – pozabila sem, da obstajajo še druge univerze. Ker gre tudi za največjo univerzo na Češkem, pa sem imela na voljo malo morje predmetov s svoje fakultete in tudi z drugih fakultet. Sama sem npr. en predmet opravljala tudi na 2. Medicinski fakulteti (češko 2. lékařská fakulta).

Za tiste, ki ste zainteresirani za doktorski študij, pa velja omeniti še IOCB (Institute of Organic Chemistry and Biochemistry of the Czech Academy

of Sciences), ki je ena izmed največjih znanstvenih ustanov na Češkem. Če si Erasmus+ študent, boš o slovesu IOCB-ja slišal večkrat (iz lastnih izkušenj lahko povem, da sem hvalospeve pri predavanjih o tem poslušala štirikrat). Zdaj sicer že pokojni sintezni kemik, prof. dr. Antonín Holý, je namreč razvil in patentiral skupino zdravil, imenovanih aciklični nukleozidni fosfonati (ANP), to so nukleozidni analogi, ki še danes služijo kot zdravilne učinkovine za 'zdravljenje' HIV-a. Zgodba o uspehu je med češkimi kemiki dobro poznana, zato bo vsak profesor, ki je delal ali pa še vedno dela na IOCB-ju, to s ponosom povedal tudi svojim študentom. Gre za to, da je morala zgodbe o uspehu ravno sodelovanje. Antonín Holý je pri patentiranju

ANP za namene zdravljenja sodeloval še z dvema drugima znanstvenikoma in tako je nastalo ime ' Holý Trinity'. Pozor! Tega ne gre zamešati s sveto trojico iz Svetega pisma, v katerem se v angleščini uporablja beseda 'Holy Trinity'. Češka abeceda ima namreč črko ý, ki ločuje sveto trojico iz 80. let od tiste druge. Ker pa ne morem iz svoje biokemijske kože, moram nujno dodati, da je trenutni vodja biokemik.

No, že res, da je to Erasmus, ampak treba je bilo poprijeti tudi za učno gradivo in se učiti. Praga kot milijonsko mesto nudi veliko prikupnih kotičkov za učenje. Praška alternativa ljubljanskemu CTK-ju je NTK (v prevodu Na-

Preglednica 1: Primerjava treh prostorov za učenje ▼

	NTK	CAS	Lokali
Zastonj	✓	x (150 Kč ≈ 6 €/semester)	✓ / x spodobi se kupiti kavo
Odpiralni čas	24/7	9.00–19.00 (zaprto ob koncu tedna)	Različno
Vtičnice	✓	✓	✓
Vzdušje	Sproščeno	Glamurozno, s kipi in simpatičnimi lučkami	Cozy

cionalna tehniška knjižnica), alternativa NUK-u pa je Akademija znanosti Češke Republike (angl. CAS). Poleg tega so številni lokali prijazni do študentov in njihovih računalnikov (glejte preglednico 1).

ŽIVLJENJE V PRAGI

Prednosti:

Javni promet v Pragi je pravo nasprotje javnega prometa v Ljubljani. Tukaj lahko uporabite besede zanesljivost, točnost in pogostost dejansko brez satiričnega elementa.

Večinoma bi rekla, da sem za veliko točeno pivo odštela med 1,65 in 2,70 €. Cena piva je sicer zelo odvisna od lokacije, saj zelo variira med beznicami in »fancy« bari v središču s pogledom na turistično znamenitost. Vseeno pa sem na hokejski tekmi v Areni O2 (največja dvorana na Češkem) odštela le nekoliko več kot 3 €, kar dokazuje, da je pivo res doma na Češkem. Fun fact! Na Češkem je nivo pene precej višji od tistega, ki smo ga navajeni Slovenci,

PREDNOSTI	SLABOSTI
Javni promet	Znanje angleškega jezika domačinov
Cena piva (55 Kč ≈ 2,25 €)	Cena kave (kapučino: 80 Kč ≈ 3,30 €)
Raznovrstna ponudba hrane in pijače	Najemnine

saj zagovarjajo, da je ravno pena tista, ki daje pivu okus. Prav tako pa lahko naročite tudi šnyt ali pa mlíko (glej sliko 2).

Število lokalčkov in gostiln je gromozansko. Skoraj na vsakem vogalu se skriva kavarna ali pa vietnamska restavracija (na Češkem (sploh v Pragi) je velika vietnamska skupnost, zato so vietnamske restavracije kar pogost pojav), pa tudi 'pajzlov' ravno ne primanjkuje. Tudi hospode, v katerih strežejo tradicionalno češko kuhinjo, boste lahko našli v dosegu 10 minut.

Vsem, ki se odpravljate na Češko, bi toplo priporočila, da obiščete eno izmed hospod in poskusite lokalne do-brote – jaz sem se v njih zaljubila.

Kot kavaljubka pa sem seveda želela preizkusiti in najti svojo najljubšo kavarno. V ta namen sem kdaj s cimro, kdaj s prijatelji, kdaj pa sama z zvezki zavila v prek 30 različnih kavarn. Koncept kave je tukaj nekoliko drugačen kot v Sloveniji – pri nas v kavarnah kraljujejo

Slika 2: Primerjava različnih načinov postrežbe piva. Šnyt in mlíko se ne naročujeta pogosto. Slika narejena z uporabo ChatGPT. ▼





Slika 3: Kava s cimro v kavarni Florista cafe

Barcafe, Illy, Hausbrandt in mogoče še kakšna druga znamka, kavarn s svojo pražarno pa razen v večjih mestih (in na Jesenicah) ne boste našli. V Pragi pa je kava poleg piva sveti napitek in boste zato v skoraj vseh kavarnah našli t. i. speciality kavo. Velikokrat pa je poleg klasične kave espresso na voljo tudi filter kava (pa ne tista ameriška, ampak tista dobra, kot bi jo kemiki naredili v laboratoriju, če bi vam asistenti dovolili – previdno stehtana kilaža kave, odmerjen volumen vode in pravilno zviti filter papir (mogoče imam malo deformacije po vseh kemijskih predmetih na FKKT in sem vsakič gledala pod prste baristo, kako pripravlja kavo). No, seveda, cena tega je, da kapučino v povprečju stane 3,30 €.

Slabosti:
Tako po tem, ko osvojiš češki pozdrav 'Ahoj', sledi naslednji izziv 'Dobrý den, mluvíte anglicky?'. Pač, znanje angleškega jezika ni vedno tako samoumevno, kot se zdi. Mladi sicer govorijo angleško pa tudi s profesorji sem bila 5/6 zadovoljna, zna pa v trgovini ali v ne najbolj turistični restavraciji v središču mesta to biti manjši problem.

No, in če se Slovenci pritožujemo nad cenami najemnin v Sloveniji, potem vas moram razočarati, ampak Praga ni nič na boljšem. Cene so tukaj primerljive. Na srečo pa študentje Erasmus+ brez težav dobimo študentski dom. Edina težava? Študentom Erasmus+ radodarno ponudijo lokacije študentskih

domov, ki so bistveno zunaj središča, če ne celo skoraj že na praškem podeželju. Moj študentski dom se je nahajal na območju, imenovanem Jižní Město, kar tudi brez znanja češkega jezika pomeni, da smo bili tako zelo južno, kot se le da. Pot do fakultete mi je tako jutraj vzela približno 40 minut in je zajemala »BMW – bus, metro, walking«. Glede tega se seveda ni ravno za pritoževati, saj je to primerljivo s situacijo v našem najlepšem mestu na svetu, nje, v katerem voznja z 18-ko z Bavarca do živalskega vrta jutraj ob 7.30 traja približno primerljivo dolgo, le da se na metroju da dihati.



▲Slika 4: Posnetek zemljevida iz aplikacije Google Earth Pro. Siva linija označuje katastrsko mejo regije Glavno mesto Praga.

Slika 5: Ko mačke ni doma, miši plešejo. Moja cimra je bila odsotna, zato smo organizirali movie night z družbo iz 5. štuka. Punce smo bile mnenja, da si morata fanta nujno ogledati Dnevnik Bridget Jones (2001). Nekaj navdušenja je bilo

prisotnega; mislim, da lahko ocenimo s $p < 0,05$. Na fotografiji se poleg mene (zgoraj levo) nahajajo še: Alicja in Weronika iz Poljske, Sara iz Nove Gorice, Anna-Marie iz Bolgarije, Darius iz Moldavije. Na fotografiji manjka še lustin iz Romunije. ▼





LEPŠI DEL ŽIVLJENJA ŠTUDENTA

Mislim, da bo vsak študent Erasmus+ povedal, da je bila njegova izmenjava čudovita. Tudi moja je bila 10/10. Veliko stvari je bilo zame prvič:

- prvič na hokejski tekmi,
- prvič na puppy yoga,
- prvič v mačji kavarni,
- prvič poskusila meso kenguruja,
- prvič sem bila jaz vodič po Pragi za prijatelje.

Po dolgem času sem bila primorana živeti s cimrami. Soba 503 je imela svoje čare; bile smo štiri cimre, ena Nemka, ena Estonka, ena Poljakinja in jaz. V hitro simbiozo sem prišla s Poljakinjo Wero, ki je s seboj prinesla moka kafetjero, in to ne katere koli, ampak Bialetti. Tako je bila vsako jutro kuhana italijanska kava Lavazza v italijanski moki.

“Za tiste, ki ne veste: italijansko pod-

jetje Bialetti, poimenovano po inženirju Alfonsu Bialettiju, je danes vodilna znamka moka kafetjer po vsem svetu, te moke pa so med ljubitelji kave poznane kot najboljše za pripravo tovrstne kave. Alfonso je v 50. letih dizajniral moko Moka Express, njena znana oblika pa je dejansko nespremenjena že zadnjih 70 let.”

Z Wero sva hitro našli še preostale pajdaše in tako je nastala naša skupinica Slovanov, ki je skupaj počela dejansko vse. Tisti bolj jutranji tipi oseb smo hodili skupaj v fitnes ali plavat, kadilci so si družbo delali v kafilnici (v 3. nadstropju študentskega doma), zvečer smo vsi skupaj ob kozarcu vina ali pa piksni piva imeli karaoke, plesali Just Dance. Še najraje pa smo zavili v sosednjega Pivovar Spojovna, v katerem smo si poleg piva privoščili še krompir.

Seveda pa sem bila vsakič, ko sem zaslišala slovenske besede, presenečena. Tako sem tudi spoznala naprej eno Slovenko, potem še drugo itn. Na koncu nas je bilo v skupini kar 34 študentov iz Slovenije (17 nas je bilo nekoliko aktivnejših v skupini). Tako

sem poleg slovanske družčine imela še slovensko družčino. Lepota tega je, da se zaradi njih moja izkušnja Erasmus+ ne konča, saj bomo lahko skupaj obujali spomine še naprej v Sloveniji ...

Slika 6: Kulturni večer Slovenije, Argentine in Francije. Slovenci smo se zbrali v karosemnajstih. S skupnimi močmi smo priskrbeli in skuhalih nekatere izmed tradicionalnih jedi: blejska kremšnita, orehova potica, idrijski žlikrofi, kranjska klobasa, pražen krompir, prežganka ... Majica majskih iger je obvezen »outfit« tudi na Češkem. ▼



08

Dobra kemija tudi na parketu – univerzitetne športne lige

DOGAJALO SE JE

**AVTORJI: FILIP PETROVIČ,
NEJC GODEC, JANA LIKAR
IVANOV, MIHA MESARIČ
IN TADEJ VOVK**

Ali se kdaj sprehajaš po hodniku in se zastrmiš v vitrino, polno medalj in pokalov? Pa se kdaj vprašaš, kdo vse stoji za temi dosežki? No, tokrat ti predstavljamo junake, ki svoj znoj in srce predajo športnim ekipam našega faksa in polnijo vitrino na hodniku s pokali univerzitetnih ligaških tekem.

DOGAJALO SE JE
jesen 2026
- 61 -



DVORANSKI NOGOMET – FUTSAL

Ekipi futsala FKKT sem se pridružil na povabilo soigralca iz velikega nogometa, ki je takrat še študiral na fakulteti. Soigralci so me od prvega trenutka zelo lepo sprejeli, zato sem se hitro počutil kot del ekipe. V skoraj štirih letih igranja smo spletili dobra prijateljstva in doživeli veliko lepih trenutkov. Najbolj sem ponosen, da smo že dve leti zapored osvojili naslov univerzitetnih prvakov, letos pa za zdaj uspešno lovimo še tretjega. Posebej pa uživam v druženju in navijanju za preostale športnike naše fakultete na Tehnologijadi.

Miha Mesarič, kemijsko inženirstvo



ODBOJKA IN ODBOJKA NA MIVKI

Univerzitetno ligo odbojke igram skozi celoten študij. Pozneje sem se pridružil tudi ligi odbojke na mivki, v zadnjem letu pa še košarkarski ligi. V odbojgarsko ekipo sem vstopil kot zelo neizkušen igralec, vendar so me soigralci hitro naučili osnovnega sistema igre in skozi leta sem se izpopolnil v vlogi srednjega blokerja. Igranje študentske lige omogoča resne tekme proti drugim fakultetam, hkrati pa treninge v sproščenem in prijateljskem duhu. Čeprav si vsi želimo zmag, je glavno, da v igri uživamo, zato je vzdušje v ekipi vedno dobro, kar pa pogosto vodi tudi do dobrih rezultatov.

Nejc Godec, kemija



KOŠARKA

Spomnim se, da na začetku prvega letnika nisem želela igrati v UKL, ker se mi je zdelo brezveze in izguba časa, saj sem košarko igrala v košarkarskem klubu. Potem pa so me starejše študentke prepričale, da pridem, in sem res vesela, da jim je uspelo, ker sem se o UKL definitivno motila. Ne bom rekla, da rezultati nimajo pomena, ampak – iskreno – meni (in verjetno tudi kateri drugi igralci) nikoli v študentski ligi ni šlo za zmago, ampak v njej sodelujem iz ljubezni do košarke in ker se rada družim z vrstnicami. Lepo mi je igrati s puncami, ki so bile včasih moje soigralke (ali proti njim), lepo je videti kolege s faksa na tribunah, najlepše pa je, ko trener po tekmi časti pivo.

Jana Likar Ivanov, biokemija

KOŠARKA

Univerzitetna košarkarska liga (UKL) mi predstavlja predvsem priložnost za druženje s soigralci, s katerimi se na faksu zaradi nabitih urnikov lahko samo pozdravimo, in s prijatelji z drugih fakultet. Seveda si vsi želimo zmagati, ampak (nenapisano obvezna) pijača po tekmi vedno mine v dobrem razpoloženju ne glede na rezultat. Kljub temu pa sem najbolj ponosen na ekipni dosežek iz študijskega leta 2022/23, ko smo v finalu premagali Ekonomsko fakulteto in se veselili naslova prvakov UKL.

Filip Petrovič, biokemija





Razvedrilo

Najprej nekaj da ogrejemo možgančke

5			6	7			1	
6	7	2			5	3		8
	9	8		4	2		6	7
8		9	7		1			3
4	2			5		7		1
7	1	3			4	8		6
	6		5	3		2	8	
		7	4			6	3	5
	4	5		8	6			9

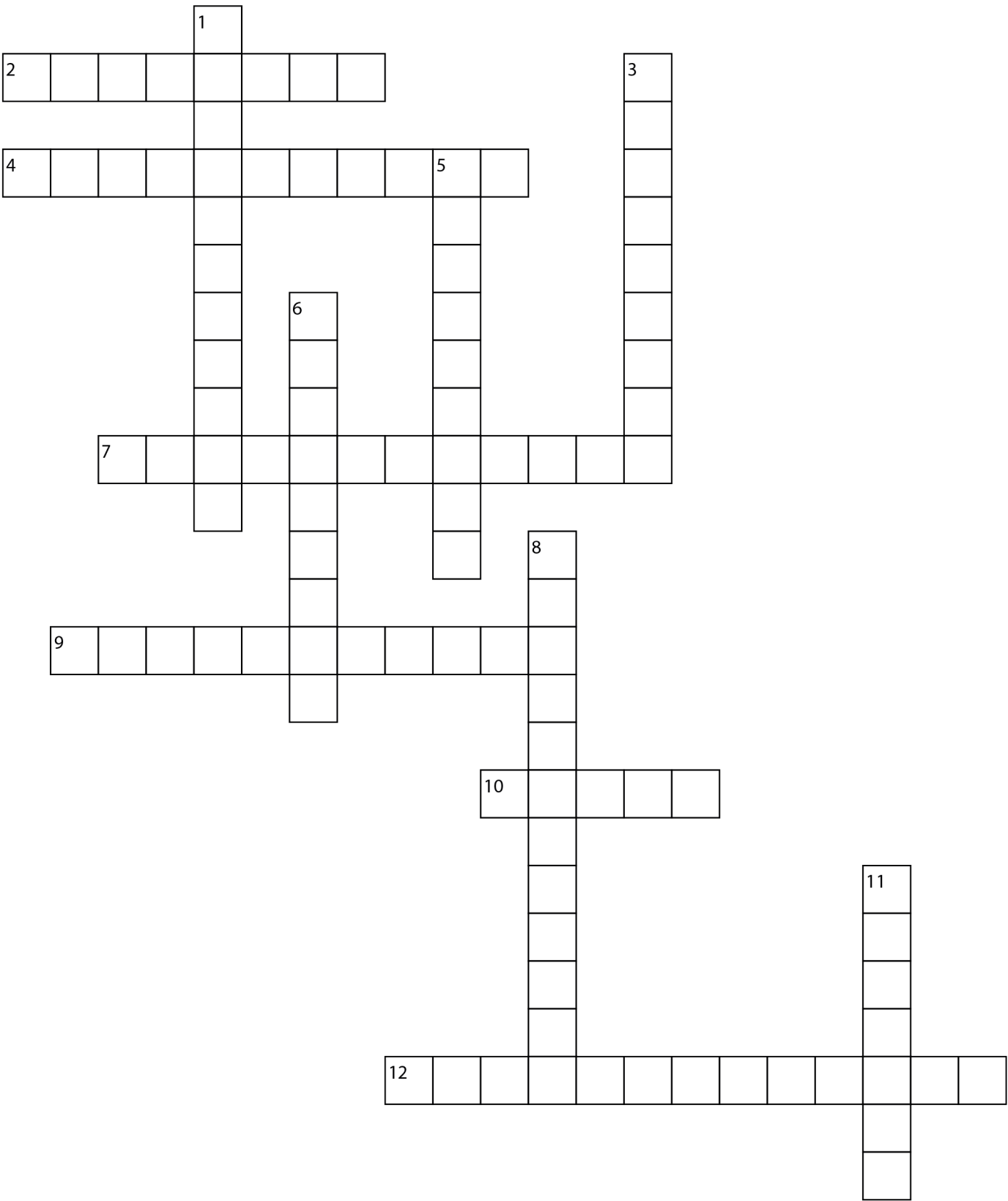
Naslovi filmov in TV-serij so v izvirnem (angleškem) jeziku.

VODORAVNO:

- 2. film o izbruhu smrtonosnega virusa
- 4. serija o genskem inženiringu
- 7. film o širjenju okužbe v vlaku
- 9. postapokaliptična zgodba o glivni okužbi
- 10. znanstvena serija o virusu v raziskovalni bazi
- 12. serija o pandemiji in časovnem potovanju

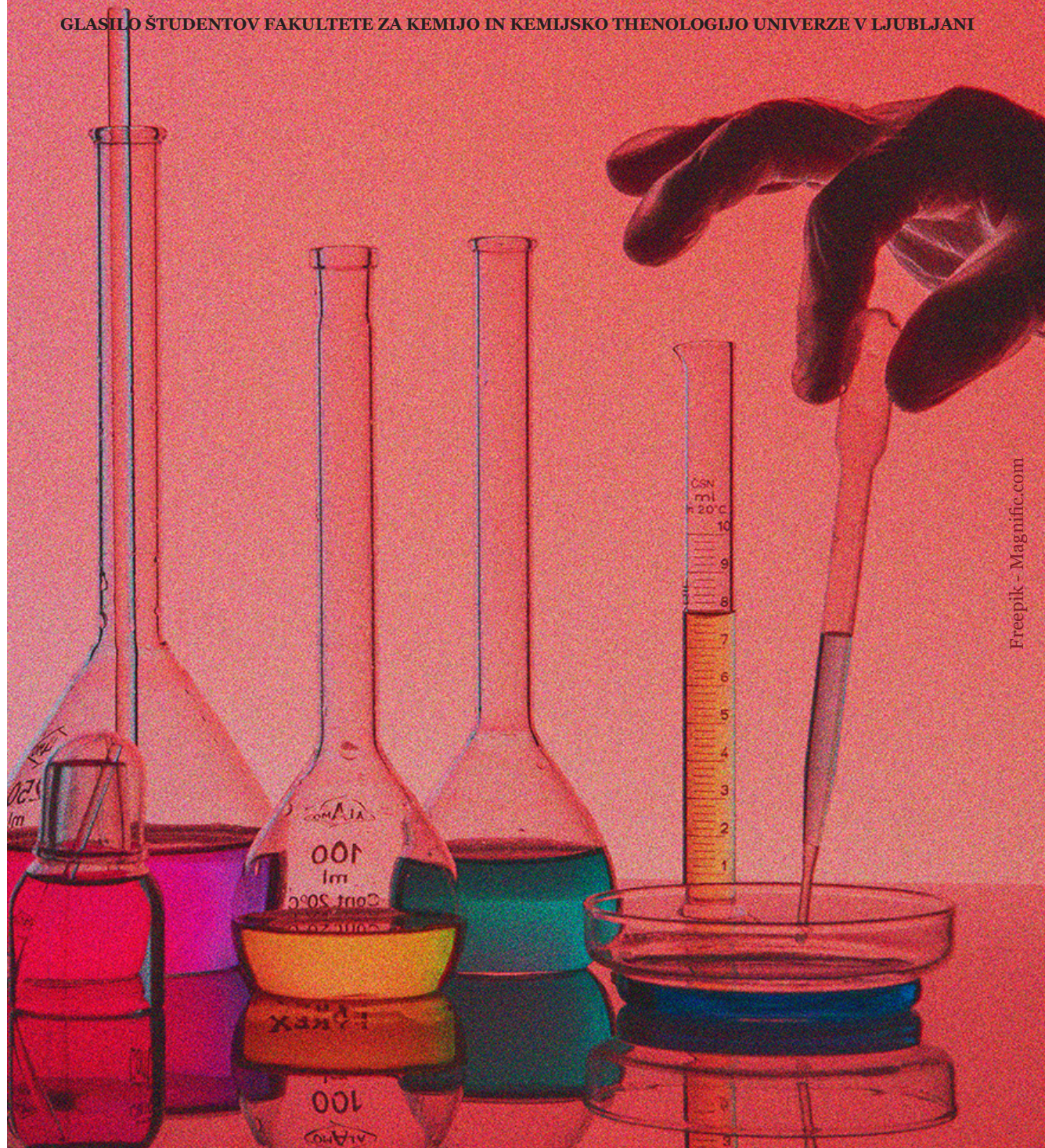
NAVPIČNO:

- 1. Serija o učitelju kemije, ki postane prsizvajalec drog
- 3. film o globalni pandemiji z realističnim pristopom
- 5. mini serija o jedrski katastrofi
- 6. film o virusu, ki povzroči slepoto
- 8. film o umetno ustvarjenem virusu (zombiji)
- 11. medicinska serija z diagnostiko bolezni



ERLENMAYERICA

GLASILO ŠTUDENTOV FAKULTETE ZA KEMIJO IN KEMIJSKO TEHNOLOGIJO UNIVERZE V LJUBLJANI



Freepik - Magnific.com

erlenmayerica@gmail.com
erlenmayerica@fkkt.uni-lj.si



@erlenmayerica

