



'26

ХЕМИЈСКИ ПРЕГЛЕД

год. 67
бр. 3 (јун)

YU ISSN 04406826
UDC 54.011.93

Век од рођења

академика
Драгомира Виторовића
(1926-2015)

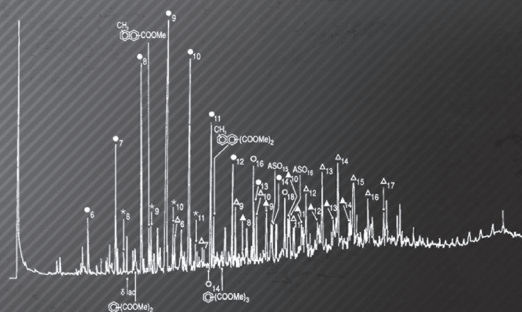


Fig. 1. Gas chromatogram of ether-soluble acids K4 obtained by oxidation of Estonian kukersite kerogen (fourth fraction). Methyl-esters of: ○ — *n*-monocarboxylic acids; ● — *n,n*-dicarboxylic acids; + — α -methyl dicarboxylic acids; △ — branched dicarboxylic acids; ▲ — alkylsuccinic acids; ▲ — alkylsuccinic acids; ASON — *n*-alkylsuccinic acids with O-function in alkyl-chain; γ and δ-lac. — γ and δ-lactones; n — total number of C atoms.

**Водећег органског геохемичара
друге половине двадесетог века**

hp.shd.org.rs

ХЕМИЈСКИ ПРЕГЛЕД CHEMICAL REVIEW



Editor-in-Chief
DRAGICA D. TRIVIĆ

Volume 67
NUMBER 3
(June)

Deputy Editor-in-Chief
**VESNA D. MILANOVIĆ
MAŠTRAPOVIĆ**

Publisher
SERBIAN CHEMICAL SOCIETY
Belgrade/Serbia, Karnegijeva 4

Годиште 67

број 3
јун

Издаје
СРПСКО ХЕМИЈСКО ДРУШТВО

Телефон 3370-467

Карнегијева 4

излази двомесечно

ОДГОВОРНИ И ГЛАВНИ УРЕДНИК
Драгица Д. Тривић

ПОМОЋНИК ОДГОВОРНОГ И ГЛАВНОГ УРЕДНИКА
Весна Д. Милановић Маштраповић

ЧЛАНОВИ РЕДАКЦИЈЕ
Душанка М. Милојковић Опсеница,
Тамара Р. Тодоровић, Игор М. Опсеница,
Милан Р. Николић, Ксенија Стојановић,
Александра Дапчевић

УРЕЂИВАЧКИ ОДБОР
Иван Гутман, Душан Сладић, Снежана Зарић, Сузана
Јовановић Шанта, Драган Марковић, Радомир Саичић,
Мелина Калагасидис Крушић, Живорад Чековић
(председник)

Web site: <https://hp.shd.org.rs/>

e-mail редакције: hempred@chem.bg.ac.rs

Припрема за штампу и штампа:
РИЦ графичког инжењерства
Технолошко-металуршки факултет
Београд, Карнегијева 4

Насловна страна:
Слободан и Горан Ратковић
RatkovicDesign
www.ratkovicdesign.net
office@ratkovicdesign.net

САДРЖАЈ

ЧЛАНЦИ

Иван ГУТМАН
Ivan GUTMAN
ЕКА-ФРАНЦИЈУМ
EKA-FRANCIUM 74

Иван ВУЧКОВИЋ, Слободан МАЦУРА
Ivan VUČKOVIĆ, Slobodan MACURA
СВЕТЛАНА МОЈСОВ И GLP-1: ОД ХЕМИЈСКЕ
ИНТУИЦИЈЕ ДО ТЕРАПИЈСКЕ РЕВОЛУЦИЈЕ
*SVETLANA MOJSOV AND GLP-1: FROM CHEMICAL
INTUITION TO A THERAPEUTIC REVOLUTION* 77

Изудин РЕЦЕПОВИЋ, Ениса СЕЛИМОВИЋ
Izudin REDŽEPOVIĆ, Enisa SELIMović
НОРИЉСК-ДЕПРИМИРАЈУЋА АРКТИЧКА РИЗНИЦА
МЕТАЛА
*NORILSK – A DEPRESSING ARCTIC TREASURE TROVE OF
METALS* 86

Јелисавета РЕСАН
Jelisaveta RESAN
БЕРИЛИЈУМ: ЛАКИ МЕТАЛ ТЕШКИХ
ПОСЛЕДИЦА
*BERYLLIUM: A LIGHT METAL OF HEAVY
CONSEQUENCES* 90

ВЕСТИ ИЗ СХД

ИЗВЕШТАЈ О ОДРЖАНОМ 60. РЕПУБЛИЧКОМ
ТАКМИЧЕЊУ ИЗ ХЕМИЈЕ ЗА УЧЕНИКЕ ОСНОВНИХ
ШКОЛА 95
ИЗВЕШТАЈ СА 60. РЕПУБЛИЧКОГ ТАКМИЧЕЊА
ИЗ ХЕМИЈЕ ЗА УЧЕНИКЕ СРЕДЊИХ ШКОЛА 98
ИЗВЕШТАЈ СА 11. СРПСКЕ ХЕМИЈСКЕ
ОЛИМПИЈАДЕ 100



УВОДНИК

Драги читаоци *Хемијског прегледа*,

Пред вама је трећи број часописа у 2026. години. Почнимо добрим вестима. Током маја одржана су републичка такмичења из хемије за ученике основних и средњих школа, на којима су талентовани основци и средњошколци показали колико успешно могу да одговоре на најразличитије изазове из области хемије. Одржана је и Српска хемијска олимпијада. Честитамо изузетним ђацима на постигнутим успесима. На сајту Српског хемијског друштва можете погледати задатке и уверити се колико су ове честитке заслужене.

Посебне честитке упућујемо и наставницима хемије, који својим знањем и посвећеношћу подржавају развој нових генерација младих људи успешних у области хемије данас, а сутра у различитим професијама које ће се ослањати на знања и вештине стечене учењем хемије. Честитамо и Републичким комисијама за такмичења ученика основних и средњих школа, као и Комисији Српске хемијске олимпијаде, на успешној организацији и реализацији ових значајних такмичења која имају важну улогу у препознавању и подстицању младих талената.

Још једна добра вест јесте да је 4. и 5. јуна на Природно-математичком факултету Универзитета у Крагујевцу одржано 61. Саветовање Српског хемијског друштва. Поред изузетних предавања, усмених и постерских саопштења, одржана је и панел-дискусија на тему *Настава хемије у школама: ко и на основу чега креира планове и програме*.

Управо на том месту добре вести прелазе у озбиљну бригу. Хоће ли млади у нашој средини и у будућности имати прилику да се квалитетно образују у области хемије? Хоће ли имати једнаке могућности као њихови вршњаци у другим земљама? Хоћемо ли у будућности имати не само добро образоване хемичаре и технологе, већ и лекаре, фармацеуте и бројне друге стручњаке чија ће се професионална компетентност темељити на знањима и вештинама стеченим учењем хемије? То су питања која заслужују пажњу целокупне стручне и шире друштвене заједнице.

Хемијски елемент атомског броја 119 не постоји, али се очекује да га група јапанских научника произведе у следећих неколико година. Када се то догоди, Периодни систем елемената ће добити осму периоду. О томе, о добијању хемијских елемената атомског броја од 113 до 118, као и о дугогодишњем застоју у овој области науке, пише **Иван Гутман**, Универзитет у Крагујевцу, Природно-математички факултет, у чланку под називом *Ека-францијум*.

Иван Вучковић и **Слободан Мацура**, Мејо Клиника, Рочестер, Минесота, САД, написали су чланак под називом *Светлана Мојсов и GLP-1: Ог хемијске индустрије до терапијске револуције*. У чланку су описали методе којима се биохемичарка и физикохемичарка, др Светлана Мојсов, служила да би утврдила који су молекули одговорни за инкретински ефекат и хемијске трансформације којима се од оригиналног пептида дошло до класе лекова за третирање дијабетеса типа 2 и гојазности.

Изудин Реџеповић и **Ениса Селимовић**, са Државног универзитета у Новом Пазару, написали су чланак под називом *Нориљск – дејимирајућа арктичка ризница метала*. У чланку су аутори размотрили прошлост, садашњост и будућност једног од најсевернијих индустријских градова света, који је центар експлоатације и прераде метала захваљујући богатим налазиштима никла, бакра, кобалта и племенитих метала. Како аутори виде данашњи тренутак у Нориљску, али и какви су планови за будућност (модернизацију, еколошку савременацију и одрживи развој), можете да прочитате у чланку.

Јелисавета Ресан, дипломирани биохемичар Универзитета у Београду – Хемијског факултета, написала је чланак под називом *Берилијум: лаки метал тешких последица*. Поред приказа својстава овог елемента, у чланку разматра токсичност берилијума као озбиљан здравствени и еколошки изазов. Проучавање токсикокинетики и токсикодинамике берилијума важно је у области медицине и заштите на раду.

У оквиру рубрике **Вести из СХД** сазнајте ко су ученици којима се поносимо, и ко су њихови наставници. Још једном честитамо свима на постигнутом успеху на одржаним такмичењима!

Драгица Д. Тривић



ЧЛАНЦИ



Иван ГУТМАН

Универзитет у Крагујевцу, Природно-математички факултет

Е-пошта: gutman@kg.ac.rs

ЕКА-ФРАНЦИЈУМ

ИЗВОД

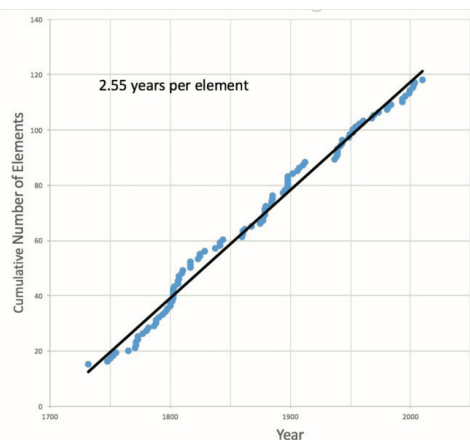
Хемијски елемент атомског броја 119, због свог положаја у Периодном систему елемената (ПСЕ), може се звати и ека-францијум. Тај елемент не постоји, али се очекује да га група јапанских научника произведе у следећих неколико година. Када се то догоди, сви данас постојећи ПСЕ постаће непотпуни, јер ће ПСЕ уместо седам, тада имати осам периода. У чланку подсећамо на најтеже до сада добијене хемијске елементе, и коментаришемо дугогодишњи застој у тој области науке.

Кључне речи: ека-францијум, елементи 119, унутрашњи, осми период ПСЕ

ХЕМИЈСКИ ЕЛЕМЕНТИ КОЈЕ ПОЗНАЈЕМО

У природи, тачније на Земљи, постоји 90 хемијских елемената, од атомског броја $Z=1$ (водоник) до $Z=92$ (уранијум), осим елемената атомског броја $Z=43$ (технецијум) и $Z=61$ (прометијум). Од стабилних хемијских елемената, последњи је откривен ренијум ($Z=75$), 1925. године, а за детаље видети (Gutman, 2022). Од радиоактивних хемијских елемената последњи је откривен францијум ($Z=87$), 1939. године, а за детаље видети (Gutman, 2015). Технецијум и прометијум су вештачки произведени 1937. односно 1944. године. Елементи атомског броја већег од 92 могу се добити вештачким путем, одговарајућим нуклеарним трансформацијама, а за детаље видети (Jokić & Gutman, 1999). Први међу њима, нептунујум ($Z=93$) и плутонијум ($Z=94$) добијени су још 1940. године, да би се до данас стигло до $Z=118$ (Gutman, 2007).

На Слици 1, преузетој из чланка (Karol, 2017), приказан је пораст броја познатих хемијских елемената током времена. До тренутка писања чланка (Karol, 2017), овај пораст је био приближно линеаран, и у просеку је по један нови елемент откриван за око две и по године. Као што ћемо видети, у последњих двадесетак година овај пораст је знатно успорен, и практично је престао.

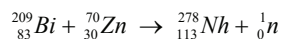


Слика 1. Слика преузета из чланка (Karol, 2017), приказује откривање хемијских елемената током времена. У просеку, сваке 2-3 године откриван је по један нови елемент. Од када је слика настала, 2017. године, дошло је до значајног успоравања овог процеса, и већ две деценије није добијен ниједан нови елемент.

Подсетимо се сада на неколико најновије откривених хемијских елемената.

Нихонијум (Nh, $Z=113$)

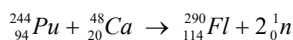
Иако су и неке друге лабораторије тврдиле да су добиле овај елемент, званично се прихвата да је откривен 2004. године у институту РИКЕН у Јапану, у групи којом је руководио Косуке Морита. Добијен је бомбардовањем бизмута-209 јонима цинка-70:



Детектован је само један атом нихонијума ($Z=113$), који се у низу алфа-распада претворио прво у рентгенијум-274, а затим у друге продукте. Касније је откривен већи број изотопа нихонијума, од којих је најстабилнији нихонијум-286, с временом полураспада од 9,5 секунди. Елемент 113 је добио име по Јапану, који Јапанци називају „Нихон” (док се код нас обично говорило „Нипон”).

Флеровијум (Fl, Z=114)

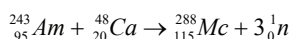
Флеровијум је откривен 1999. године у Обједињеном институту за нуклеарна истраживања у Дубни, Русија, у групи којом је руководио Јуриј Оганесијан. Добијен је бомбардовањем плутонијума-244 јонима калцијума-48:



Од неколико познатих изотопа, најстабилнији је флеровијум-280, с временом полураспада од 2,1 секунде. Елемент атомског броја 114 је назван по руском нуклеарном физичару Георгију Флерову (1913-1990), чије се презиме правило изговара „Фљоров”.

Московијум (Mc, Z=115)

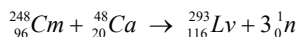
Добијен је 2003. године у Обједињеном институту за нуклеарне науке у Дубни у оквиру сарадње са колегама из Лоренсове Ливерморске лабораторије из САД. Истраживањима је руководио Јуриј Оганесијан. Први атоми московијума добијени су бомбардовањем америцијума-243 јонима калцијума-48:



Данас је познато пет изотопа московијума, од којих је најстабилнији изотоп масеног броја 290, с временом полураспада од само 0,65 секунди. Сви изотопи се распадају алфа-распадом у нихонијум.

Ливерморијум (Lv, Z=116)

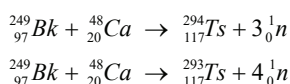
Добијен је 2000. године у оквиру исте сарадње, поменуте код московијума, бомбардовањем киријума јонима калцијума-48:



Свих пет познатих изотопа су екстремно краткоживући, сви подлежу алфа-распаду. Изотоп 293 је најстабилнији, али му је време полуживота само 53 милисекунди. Елемент је назван по градићу Ливермору у Калифорнији, где се налази чувена Лоренсова национална лабораторија. Више о ливерморијуму се може прочитати у чланку (Gutman, 2012).

Тенесин (Ts, Z=117)

Елемент 117 је произведен 2010. године у Дубни, у оквиру исте руско-америчке сарадње, као и претходна два елемента. Јонима калцијума-48 је овога пута бомбардована мета од берклијума-249:

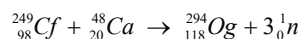


Детектован је настанак укупно 6 атома тенесина, једног у првој и пет у другој реакцији. Оба овако добијена изотопа подлежу алфа-распаду и екстремно су краткоживући, са полуживотима од 22 и 51 милисекунде.

Елемент 117 назван је по држави Тенеси, у којој се налази лабораторија Оук Риџ, чувена по улози у производњи атомске бомбе. Када се смести у Периодни систем, тенесин припада халогеним елементима. Будући да се имена халогених елемената на енглеском језику изговарају „флуорин”, „кларин”, „бромин”, „ајодин”, по аналогији је изабрано „тенесин”, уместо за нас уобичајеног „тенесијум”. Више о тенесину се може прочитати у чланку (Gutman, 2010).

Оганесон (Og, Z=118)

Елемент 118 је произведен 2002. године у Дубни, у оквиру раније помињане руско-америчке сарадње. Јонима калцијума-48 је овога пута бомбардована мета од калифорнијума-249:



Један атом је детектован 2002. године, а још два следеће године. Подлежу алфа-распаду, а њихово време полураспада је свега 0,7 милисекунди. Више о оганесону се може прочитати у чланку (Gutman, 2007).

Елемент 118 назван је у част руског научника Јурија Оганесијана (1933-), који је руководио истраживањима која су довела до открића већег броја најтежих хемијских елемената. Када се смести у Периодни систем елемената, оганесон је у групи са племенитим гасовима. Будући да су њихова имена „аргон”, „ксенон”, „криптон”, „радон”, по аналогији је изабрано име „оганесон”, уместо уобичајеног „оганесијум”.

ДАЉЕ ОД Z=118. ЗАШТО ЗАСТОЈ?

Након што су добијени елементи атомског броја Z=117 и Z=118, било је за очекивати да ће убрзо бити произведени још тежи елементи, са Z=119 или чак са Z=120. Међутим, то се до данас није догодило. Прошло је безмало два десетлећа да број познатих хемијских елемената мирује на 118.

На интернету се могу пронаћи вести да у јапанском институту РИКЕН (у граду Вако, предграђу Токија) већ годинама покушавају да добију елемент 119, то јест ека-францијум (Chapman, 2017; Nelson, 2025). Помињу се и неки други институти (у Дубни, Оук Риџу и Ливермору), али време пролази, а вест о новодобијеном елементу не стиже.

Са апстрактног научног гледишта, не постоји нека посебна препрека да се синтетише ека-францијум. То би, на пример, могло да се уради (слично као у ранијим случајевима) бомбардовањем мете од берклијума-249 или киријума-248 јонима ванадијума-51 или сличним неутронима богатим нуклидима. Наравно, техничке тешкоће би биле енормне, али примери тенесина и оганесона показују да оне нису несавладиве. Ипак, ваља узети у обзир следеће:

1. На основу искуства са раније синтетисаним најтежим елементима, може се очекивати да ће бити добијено само неколико атома, а да ће време полуживота тих атома бити реда милисекунде или краће. О практичној употребљивости ових

експерименталних резултата не може се ни мислити, мада је њихова теоријска вредност несумњива.

2. Да би се добио нови хемијски елемент, потребан је вишегодишњи рад екипе научника и потребна је екстремно скупа опрема. То неко мора да плати (што су, у крајњој инстанци, порески обвезници). Зато је логично да се такав пројекат може остварити само у најбогатијим државама, посебно у Јапану.
3. Институције које усмеравају финансијска средства за научна истраживања, имају своје приоритете који, директно или индиректно, одсликавају потребе становништва. Тешко је очекивати да ће повећање броја познатих хемијских елемената бити уврштено међу приоритете.

Наведени разлози, можда, објашњавају зашто се на откриће ека-францијума чека годинама. Напредак науке се може успорити али се не може зауставити. Зато је писац овог текста уверен да није далек дан када ће моћи да *Хемијском прејледу* пошаље чланак под насловом „Откривен нови хемијски елемент”.

ШТА АКО?

Шта ће се десити ако једног (скорог?) дана буде произведен елемент 119?

Пре свега, тај елемент неко време не би имао своје име. Он би се према важећој IUPAC-овој номенклатури морао звати унуненијум, а симбол би му био Uue. Затим, постојала би потреба да се уклопи у Периодни систем елемената (ПСЕ).

Открићем тенесина и оганесона попуњена је седма периода ПСЕ. Због тога ће, са елементом 119 почети попуњавање осме периоде, а први од њих биће смештен у групу алкалних метала. Конкретно, елемент 119 ће бити тачно испод францијума. Зато, примењујући терминологију коју је користио Менделеев, елемент 119 бисмо могли звати ека-францијум (Karol, 2017). Макар привремено.

Периодни системи који су у садашње време у употреби (у свим школама, у свим уџбеницима) приказују хемијске елементе поређане у седам периода. Ако/када се појави ека-францијум, сви они постају дефектни и мораће се мењати.

Abstract

EKA-FRANCIUM

Ivan GUTMAN, University of Kragujevac, Faculty of Science

In view of its position in the PSE, the chemical element with atomic number 119 may be called eka-francium. This element does not exist, but is expected to be produced in the next few years. When this happens, all present-day PSEs will need to be modified, since PSE will then get its eighth period. In this article we recall the synthesis of the heaviest chemical elements, and comment on the remarkable delay in the production of element 119.

Keywords: eka-francium, element 119, ununennium, eighth period in PSE

ЛИТЕРАТУРА

- Chapman, K. (2017). Hunt for element 119 set to begin. *Chemistry World*, 12 Sept 2017, <https://www.chemistryworld.com/news/hunt-for-element-119-to-begin/3007977.article>
- Gutman, I. (2007). Novi hemijski elementi - još malo pa 120. *Hemijski pregled*, 48, 142-143.
- Gutman, I. (2010). Hemijski element atomskog broja 117. *Hemijski pregled*, 51, 78-78.
- Gutman, I. (2012). Livermorijum. *Hemijski pregled*, 53, 58-58.
- Gutman, I. (2015). Francijum - poslednji otkriveni element. *Hemijski pregled*, 56, 5-8.
- Gutman, I. (2022). Mazurijum i niponijum - dva hemijska promašaja. *Hemijski pregled*, 63, 30-33.
- Jokić, S., & Gutman, I. (1999). Sinteza superteških elemenata 116 i 118. *Hemijski pregled*, 40, 44-46.
- Karol, P. J. (2017). The periodic table (continued?): Eka-francium et seq. *Chemistry International*, 39, 10-14. <https://doi.org/10.1515/ci-2017-0104>
- Nelson, F. (2025). How Japan took the lead in the race to discover element 119. *Chemical & Engineering News*, 103 (2), <https://cen.acs.org/physical-chemistry/periodic-table/Japan-took-lead-race-discover/103/i2>



Иван ВУЧКОВИЋ, Слободан МАЦУРА

Мејо Клиника, Рочестер, Минесота, САД

Е-пошта: vuckovic.ivan@mayo.edu, macura@mayo.edu

СВЕТЛАНА МОЈСОВ И GLP-1: ОД ХЕМИЈСКЕ ИНТУИЦИЈЕ ДО ТЕРАПИЈСКЕ РЕВОЛУЦИЈЕ

ИЗВОД

Америчка биохемичарка, и наша физикохемичарка, Светлана Мојсов је, као докторант на Универзитету Рокфелер током седамдесетих година 20. века, под менторством Бруса Мерифилда, а и као независна истраживачица у Општој болници Масачусетса (MGH) током осамдесетих година, развила нове методе за хемијску синтезу пептидних хормона глукагона и глукагону сличног пептида (GLP-1). Радећи самостално, Мојсов је развила низ тестова за *in vitro* и *in vivo* студије којима је касније, у сарадњи са генетичарима и физиолозима, утврдила снажан инсулинотропни ефекат пептидних хормона. На основу њених налаза касније је развијен низ нових лекова који су донели терапијску револуцију у лечењу ендокриних обољења, као што су дијабетес типа 2 и гојазност. Лекови на бази GLP-1 се разликују од других терапија тиме што природно обнављају ослабљени инкретински сигнал без принудне хормонске замене.

Посебан значај имали су њена хемијска интуиција и детаљно познавање пептидне хемије што јој је омогућило да препозна критична места протеолитичког цепања хормонског прекурсора и идентификацију биолошки активног облика - скраћеног пептида GLP-1(7–37). У почетку је њен допринос био занемарен, али последњих неколико година Мојсов је добила дужно признање, што се огледа у серији додељених научних признања и награда.

У овом чланку су укратко описане (био)хемијске методе којима се Мојсов служила да би утврдила који су молекули одговорни за инкретински ефекат и хемијске трансформације којима се од оригиналног пептида дошло до класе лекова за третирање дијабетеса типа 2 и гојазности.

Кључне речи: GLP-1, њенина хемија, инкретини, дијабетес типа 2, гојазност

УВОД

Пептидни хормони који регулишу ниво глукозе у крви још од када су изоловани током двадесетих година 20. века привлачили су велику пажњу у биохемији и медицини. Откриће и изоловање инсулина претворили су дијабетес мелитус из тешке и смртоносне у хроничну болест са којом је могуће нормално живети. Хормони као што су инсулин и глукагон првобитно пречишћавани из животињских извора, касније су хемијски синтетисани или произведени применом метода рекомбинантне ДНК. Тиме су отворени нови и важни правци њиховог проучавања и примене.

Почев од осамдесетих година 20. века, класа молекула повезаних са апетитом, познатих као глукагону слични пептиди (GLP), постала је предмет интензивног интересовања због свог значаја за лечење дијабетеса типа 2 и гојазности. Од открића GLP-1 као главног инкретинског хормона, његова биологија је довела до развоја више клинички одобрених лекова укључујући класичне GLP-1 агонисте¹ и новију генерацију двојних инкретинских агониста (Drucker, 2006).

Парадокс да орални унос исте количине глукозе изазива знатно јаче лучење инсулина него интравенски унос уочен је још у првој половини 20. века. Ова разлика у одговору на исти метаболички стимулус указивала је да у регулацији постоји додатни механизам повезан са уносом хране, који је касније назван инкретинским ефектом². Постављено је неколико хипотеза (да је ефекат посредован нервним системом, да је последица деловања цревних хормона или да представља неспецифичну метаболичку реакцију организма) али ниједна није имала убедљиву експерименталну потврду (Nauck & Meier, 2016). Истраживања су углавном била физиолошка, корелативна и индиректна: мерена је концентрација хормона у крви, пратиле су се реакције организма, али није постојао јасан експеримент који би недвосмислено повезао одређени молекул са конкретним биолошким ефектом.

ОД ХИПОТЕЗЕ ДО МОЛЕКУЛА

За разлику од других истраживача који су полазили од физиолошке појаве ка молекулу, Светлана Мојсов, вођена хемичарском интуицијом, кренула је од молекула ка физиолошкој функцији. Уместо да тражи одговор на питање којем хормону се након оброка повећава концентрација, она се питала: који од познатих пептида може да изазове глукозо-зависно лучење инсулина и у којем хемијском облику?

Први одлучујући корак био је прихватање да глукагон³ није једини хормон који настаје цепањем већег прекурсора – проглукагона⁴ – већ да то могу да буду и други

¹ Агонист је супстанца (молекула или лек) која се везује за одређени рецептор у ћелији и активира га, изазивајући биолошки ефекат сличан природном сигналу (нпр. хормону или неуротрансмитеру).

² Инкретини су цревни хормони који подстичу лучење инсулина на глукозо-зависан начин. Од лат. *incrētio* – „подстицање лучења”

³ Глукагон је (пептидни) хормон панкреаса чија је основна улога да повећава ниво глукозе (шећера) у крви. Он делује као функционални „пандан” инсулину и заједно са њим одржава стабилан ниво шећера у организму.

⁴ Проглукагон је протеин који сам по себи није активан хормон, већ служи као прекурсор из којег се ензимским цепањем на мање,

пептиди који су сматрани биолошки неважним (Mojsov et al., 1986). Док су други ове пептиде сматрали биолошким куриозитетом, Мојсов је у њима видела потенцијалне хормоне пошавши од тога да се у природи ништа не дешава без разлога. Ако цепањем проглукагона настају различити пептиди, тада активност свакога мора појединачно да се испита у чистом, синтетичком облику.

Други, пресудан корак био је потпуно ослањање на синтетичку пептидну хемију. Уместо да ради са екстрактима црева или плазме (који су сложене, променљиве и тешко објашњиве мешавине) Мојсов је синтетисала низ пептида, познатих деривата проглукагона, познате дужине, секвенце и познатог С-терминуса (амидованог или не). Овим је елиминисана кључна слабост ранијих радова: недостатак податка шта тачно делује.

Трећи елемент по којем је њен приступ био оригиналан, био је критеријум активности. Активност је морала:

- да буде глукозо-зависна (што је суштина инкретинског ефекта),
- да се јавља у физиолошки значајним концентрацијама,
- да буде репродуктивна и специфична за одређену структуру пептида.

Управо овде је дошло до кључних разлика међу пептидима-кандидатима. Док су неки проглукагонски деривати показивали слабу или неспецифичну активност, један пептид – GLP-1(7–36)-NH₂ – доследно је испуњавао све услове. Промене у секвенци, дужини или С-терминусу доводиле су до губитка активности, што је пружио доказ да ефекат није случајан, већ структурно условљен.

Четврти, често занемарен аспект њеног доприноса јесте логичка строгост тумачења ефекта. Мојсов није тврдила да је GLP-1 „једини“ фактор у регулацији метаболизма, већ да је главни и неопходан молекул који објашњава инкретински ефекат код човека. Ова прецизност је омогућила да се њени резултати уграде у шири физиолошки контекст, без противуречења постојећем знању.

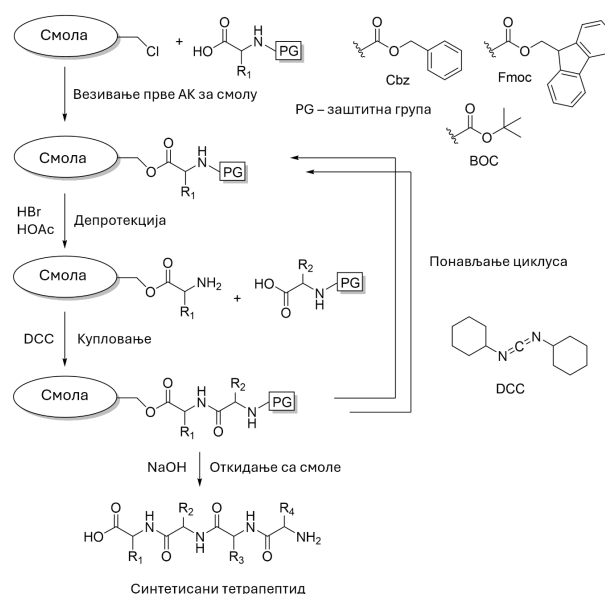
На тај начин, од поља препуног хипотеза, индикативних мерења и физиолошких нагађања, дошло се до јасног закључка заснованог на хемијски дефинисаном експерименту: GLP-1 није само један од кандидата, већ централни молекул инкретинског ефекта. Управо тај прелаз – од корелације ка узрочности, од појаве ка молекулу – представља суштински и трајни допринос Светлане Мојсов.

Радећи на хемијској синтези и структурној карактеризацији пептида насталих посттранслационом обрадом препроглукагона, Мојсов је најпре показала да панкреас и црево производе различите биолошки активне пептиде из истог гена, да би затим експериментално доказала да је управо скраћени пептид GLP-1(7–37) снажан инсулинотропни хормон у изолованом перфузованом панкреасу пацова (Mojsov et al., 1987). Тиме је постављена молекуларна и физиолошка основа читавог GLP-1 терапијског приступа.

ХЕМИЈА НА ДЕЛУ

Синтеза пептида на чврстој подлози (SPPS)

Синтеза пептида на чврстој подлози (SPPS) представља значајан напредак у хемији 20. века, коју је почетком 1960-их година развио Мерифилд (Robert Bruce Merrifield). Основна идеја ове методе је ковалентно везивање растућег пептидног ланца за нерастворљив полимерни носач, што омогућава једноставно уклањање вишка реагенса и нуспроизвода испирањем, без губитка интермедијера (Merrifield, 1963) (Слика 1). На тај начин драматично су повећани поузданост, брзина и репродуктивност синтезе дугих и структурно дефинисаних пептида, чиме је превазиђен дотадашњи основни проблем пептидне хемијске синтезе у раствору. О значају ове иновације сведочи и додела Нобелове награде за хемију 1984. године Мерифилду.



Слика 1. Мерифилдова синтеза пептида на чврстој подлози: синтеза започиње везивањем прве N-заштићене аминокиселине за полимерну смолу (чврсту фазу), чиме се растући пептидни ланац имобилизује на носачу. Након уклањања заштитне групе (PG) следи купловање следеће заштићене аминокиселине уз употребу активационих реагенса (нпр. N,N'-дициклохексилкарбодиимид, DCC). Овај циклус депротекције и купловања понавља се до постизања жељене секвенце, при чему се након сваког корака вишак реагенса уклања испирањем. По завршетку синтезе, пептид се одваја од смоле чиме се добија чист пептид жељене секвенце.

У раду Светлане Мојсов, SPPS је имала пресудну улогу јер су њоме добијани добро дефинисани деривати проглукагона, различитих дужина и са контролисаним С-терминусом (у карбоксилном или амидованом облику).

активне пептиде, добијају различити хормони; у различитим ткивима протеински ланац се прекида на различитим местима.

Хроматографија

Течна хроматографија високе ефикасности (HPLC) је коришћена као основна аналитичка метода за проверу чистоће и хомогености синтетисаних пептида. Овом техником је било могуће раздвојити пептиде који се разликују у једној аминокиселини или у терминалној модификацији, што је било од суштинског значаја за поуздано тумачење биолошких тестова. Само пептиди високе чистоће улазили су у функционалне експерименте, чиме је уклоњена могућност да је уочени ефекат последица контаминације.

Препаративна хроматографија је коришћена за изоловање већих количина појединачних пептида. Њоме су добијане довољне количине материјала за поновљене и контролисане биолошке тестове. Тиме је постигнута репродуктивност резултата, што је било кључно за доказивање физиолошке важности GLP-1.

Секвенцијална анализа пептида (Едманова деградација)

У време када су Светлана Мојсов и њени сарадници синтетисали и карактерисали пептиде као што је GLP-1, Едманова деградација је била кључна метода⁵ за одређивање секвенце и N-терминуса. Управо је та комбинација контролисане синтезе и секвенцијалне хемијске потврде дала методолошку чврстину њиховим биолошким закључцима.

Посебну пажњу Мојсов је посветила амидацији C-терминуса пептида, чиме је добијен облик GLP-1(7–36)-NH₂. Ова хемијска модификација била је пресудан структурни елемент за биолошку активност. Поређењем амидованих и неамидованих облика показано је да C-терминална амидација драматично утиче на инсулинотропно дејство, чиме је доказано да је активност GLP-1 строго структурно условљена.

Функционални тестови лучења инсулина (bioassay)

Мојсов је испитивала лучење инсулина *ex vivo* користећи изоловани перфузовани панкреас пацова, који је одржавала функционалном континуираном перфузијом пуфером (омогућавајући органу да ван организма реагује на контролисане стимулусе). У присуству 6,6 mM глукозе, у перфузат је додавала синтетичке облике GLP-1 и директно упоређивала ефекте биолошки скраћеног пептида GLP-1(7–37) са целим GLP-1(1–37), при чему је концентрацију инсулина мерила у излазном перфузату у функцији времена. Овим је јасно показала да GLP-1(7–37) представља снажан инсулинотропни стимулатор, док GLP-1(1–37) у истим условима не изазива мерљиво лучење инсулина.

Концентрација инсулина у перфузату мерена је имунохемијским методама, конкретно радиоимуно-тестом (RIA, енгл. radioimmunoassay), који је у то време представљао златни стандард за квантитативно одређивање пептидних хормона.

Укратко, поступак је био следећи: излазни перфузат из изолованог перфузованог панкреаса сакупљан је

⁵ Данас се секвенца пептида одређује фрагментационом анализом помоћу тандемне масене спектрометрије (MS/MS).

у временски дефинисаним фракцијама, а концентрација инсулина у свакој фракцији одређивана је конкурентним везивањем нативног инсулина и радиоактивно обележеног инсулина за специфична анти-инсулинска антитела. Интензитет радиоактивног сигнала био је обрнуто пропорционалан концентрацији инсулина у узорку, што је омогућавало високо осетљиво и временски разложено праћење лучења инсулина као одговора на додавање различитих облика GLP-1.

Ова метода била је кључна јер је омогућила директно повезивање структуре пептида (GLP-1(7–37) наспрам GLP-1(1–37)) са његовим физиолошким ефектом на β -ћелије панкреаса.

ОТКРИЋЕ И БИОХЕМИЈСКИ КОНТЕКСТ GLP-1

Проглукагон и ткивно специфична обрада

Чињеница да је скраћени облик GLP-1(7–37) снажан инсулинотропни стимулатор, док пуна форма GLP-1(1–37) не показује мерљиву активност, природно је наметнула питање његовог порекла и начина настанка у организму. Одговор се налази у ширем биохемијском оквиру проглукагонског система.

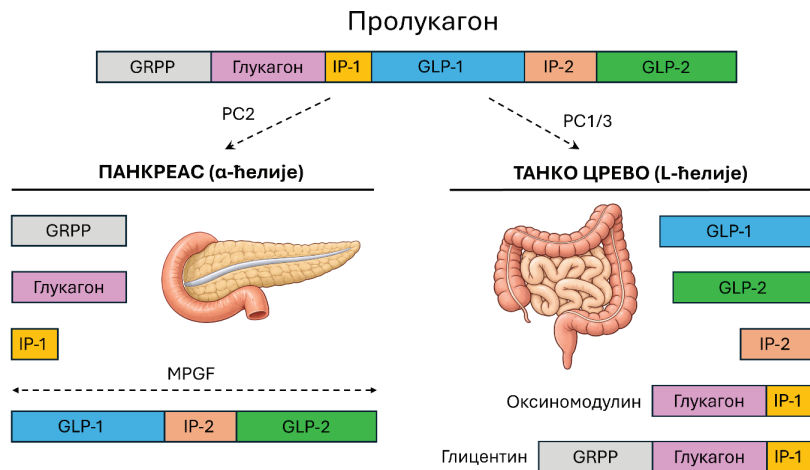
GLP-1 није изолован пептид већ настаје протеолитичком обрадом већег прекурсора – проглукагона. Секвенцирање проглукагонског гена открило је да овај протеин садржи више пептидних домена, укључујући глукагону сличне пептиде GLP-1 и GLP-2. Кључно својство проглукагона јесте ткивно специфична пост-транслациона обрада: у α -ћелијама панкреаса настаје превасходно глукагон, док се у ендокриним L-ћелијама црева, деловањем другачијег скупа протеаза, ослобађају GLP-1 и GLP-2 (Holst, 2007) (Слика 2).

Поред тога, из проглукагона може да се добије више облика GLP-1 различите дужине и C-терминалне модификације, што је значило да биолошки активна форма није била унапред позната. Управо због те структурне разноврсности била је неопходна синтеза појединачних деривата и њихово тестирање у контролисаним условима.

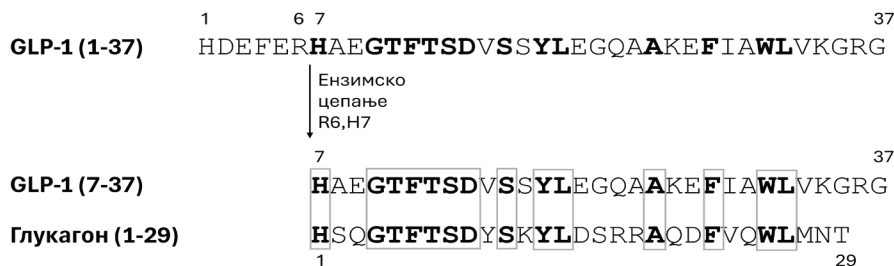
Утврђивање биолошки активног облика

Посебно важан аспект функционалних тестова било је испитивање глукозо-зависног ефекта. Само пептиди који су подстицали лучење инсулина, искључиво у присуству повишене концентрације глукозе, сматрани су физиолошки значајним. Овим строгим критеријумом искључени су неспецифични стимулатори и омогућено је јасно препознавање GLP-1 као правог медијатора инкретинског ефекта.

Кључни корак било је утврђивање да ензимско одсецање N-терминалног сегмента након аргинина на полажају 6 доводи до настанка облика GLP-1(7–37) који испољава пуну биолошку активност (Mojsos et al., 1987). Ова секвенца показује значајну хомологију са глукагоном, али поседује специфичне структурне одлике које одређују њену рецепторску селективност (Слика 3).



Слика 2. Посттранслациона обрада проглукагона зависи од ткива и посредована је различитим прохормонским конвертазама (PC). У панкреасу деловањем PC2 настају глюкагон, GRPP (glucagon-related pancreatic peptide – с глюкагоном повезан панкреатски пептид), IP-1 (intervening peptide-1 – међупептид-1) и MPGF (major proglucagon fragment – главни фрагмент проглукагона); GRPP, IP-1 и MPGF немају хормонску активност. У танком цреву дејством PC1/3 настају GLP-1 и GLP-2, а ослобађају се још два хормона оксинамодулин (агонист глюкагонског рецептора, а слабије делује и као агонист GLP-1 рецептора) и глицентин (улога и даље делимично неразјашњена).



Слика 3. Биолошки активна секвенца GLP-1. Ензимско цепање на месту аргинина у положају 6 у секвенци GLP-1(1–37) доводи до ослобађања биолошки активног облика GLP-1(7–37). Овај скраћени пептид показује висок степен хомологије са аминокиселинским остацима глюкагона.

МОЛЕКУЛСКИ И ФИЗИОЛОШКИ МЕХАНИЗАМ ДЕЛОВАЊА

Даља истраживања показала су да GLP-1 делује преко специфичног рецептора на површини β-ћелија панкреаса. Активација овог рецептора доводи до повећања унутарћелијске концентрације cAMP-а и појачаног уласка Ca^{2+} јона, што на крају резултује појачаним лучењем инсулина (Holst, 2007).

Поред стимулативног дејства на β-ћелије, GLP-1 инхибира лучење глюкагона из α-ћелија панкреаса, чиме се смањују гликогенолиза (разградња гликогена) и глюконеогенеза (стварање глукозе) у јетри, а последично и укупна продукција глукозе након оброка. Ова двострука регулација (повећање инсулина и смањење глюкагона) омогућава ефикаснију контролу концентрације глукозе у крви него деловање на само једну од ових хормонских оса.

Значајан део метаболичког ефекта GLP-1 потиче и од његовог дејства на систем за варење. GLP-1 успорава пражњење желуца, чиме се одлаже апсорпција глукозе и ублажава нагли пораст концентрације шећера у крви након оброка. Овај ефекат доприноси стабилнијој гликемији и смањује потребу за наглим порастима лучења инсулина.

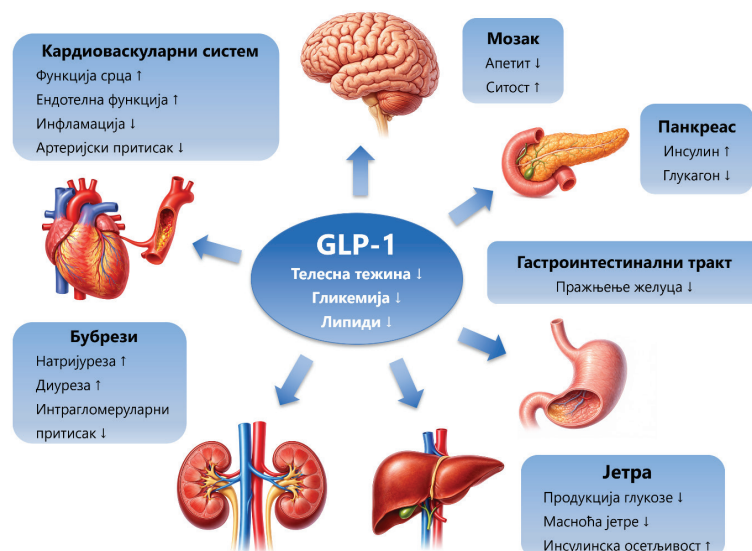
GLP-1 делује као плеиотропни⁶ хормон, чији ефекти далеко превазилазе класичну улогу у регулацији лучења инсулина. Његови рецептори су експримовани⁷ у више система органа, што омогућава интеграцију метаболичких, кардиоваскуларних и неуронских сигнала. У централном нервном систему, GLP-1 делује на хипоталамус и мождано стабло, где смањује апетит, повећава осећај ситости и успорава унос хране. Поред тога, постоје докази да GLP-1 утиче на когнитивне функције и неуропротекцију, што је подстакло интересовање за његову потенцијалну улогу у неуродегенеративним болестима.

У кардиоваскуларном систему, GLP-1 испољава повољне ефекте на срце и крвне судове. Активација GLP-1 рецептора у миокарду повезује се са побољшањем функције леве коморе, смањењем исхемијског оштећења и благим позитивним инотропним⁸ дејством, иако механизми још нису у потпуности разјашњени. Клиничке студије са GLP-1 агонистима показале су смањење кардиоваскуларног ризика, укључујући мању учесталост

⁶ Плеиотропни означава својство молекула или гена да испољава више различитих биолошких ефеката у различитим ткивима или физиолошким системима.

⁷ Експримован (енгл. *expressed*) означава да је ген активан и да се на основу њега синтетише одговарајући РНК или протеин.

⁸ Инотропно је дејство које мења контрактилну способност срчаног мишића, независно од промене његове фреквенције.



Слика 4. Механизам деловања GLP-1 на различите органске системе. GLP-1 делује као плеиотропни хормон који утиче на централни нервни систем, панкреас, јетру, бубреге, гастроинтестинални и кардиоваскуларни систем, доводећи до промена у метаболизму глукозе и липида, као и у регулацији апетита и хемодинамике. Стрелице означавају правац промене (↑ повећање, ↓ смањење).

инфаркта миокарда и možданог удара. Поред тога, активација GLP-1 рецептора у ендотелу повезује се са побољшањем ендотелне функције, повећаном биорасположивошћу азот-моноксида и смањењем оксидативног стреса и запаљења у васкуларном зиду. Ови ефекти могу да допринесу побољшању васкуларне реактивности и додатном смањењу кардиоваскуларног ризика.

У јетри и периферним ткивима, GLP-1 делује углавном индиректно, преко инсулина, глукагона и неурохормонских путева. Он смањује стварање глукозе у јетри, побољшава инсулинску осетљивост и утиче на метаболизам липида, што је од значаја за лечење дијабетеса типа 2 и неалкохолне масне јетре.

Све је више доказа да GLP-1 може да утиче и на функцију бубрега, делом директно, а делом индиректно, преко системских метаболичких ефеката. Активација GLP-1 рецептора у проксималним тубулима повезује се са инхибицијом натријум-водоник измењивача (NHE3), што доводи до повећане натријурезе и благог диуретског ефекта. Поред хемодинамичких ефеката, указује се и на потенцијално антиинфламаторно и антиоксидативно дејство у бубрежном ткиву, што може да има заштитни значај у условима метаболичког оптерећења.

Комбиновано дејство на мозак, срце, јетру и систем за варење поставља GLP-1 као хормон у центар метаболичке интеграције, што објашњава зашто терапије засноване на GLP-1 имају тако широк, и клинички значајан, утицај (Drucker, 2018).

РАЗВОЈ ТЕРАПИЈСКИХ АНАЛОГА GLP-1

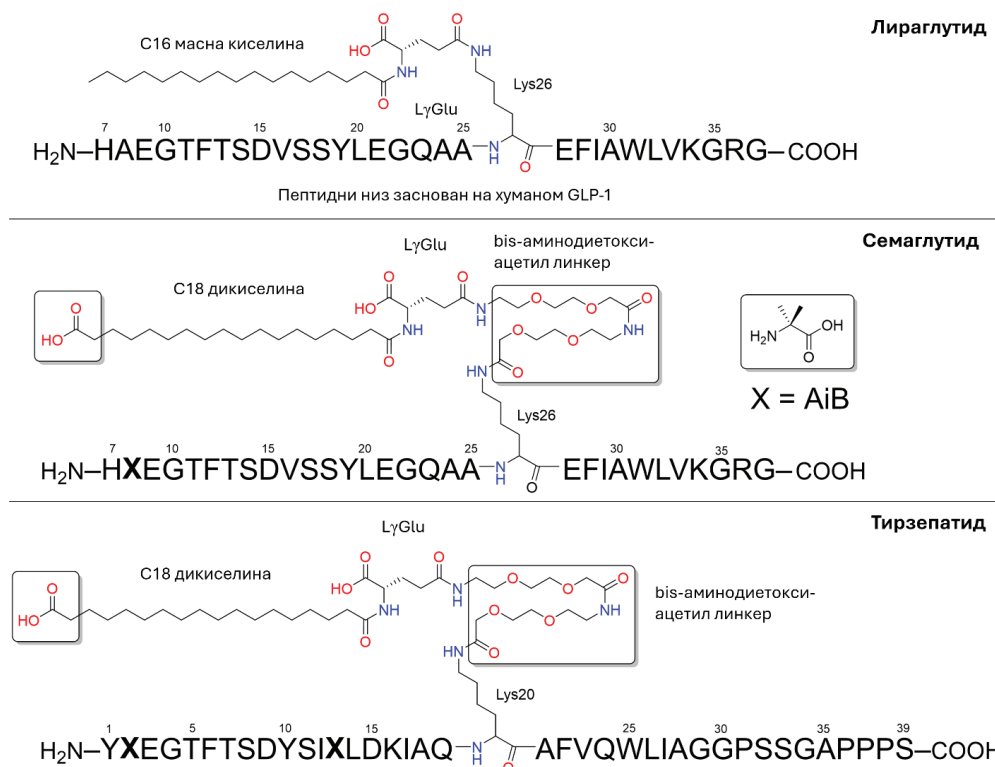
Иако је препознавање биолошки активног облика GLP-1 представљало пресудан корак, природни пептид због својих фармакокинетичких својстава није био погодан за директну терапијску примену. У циркулацији се GLP-1 веома брзо разграђује дејством ензима дипеп-

тидил-пептидазе-4 (DPP-4)⁹, који одсеца N-терминалне аминокиселине и тиме инаktivира молекуле. Полуживот ендогеног GLP-1 у крвотоку је свега 1–2 минута, што би у клиничким условима захтевало континуирану интравенску примену.

Ово ограничење јасно је указивало да је терапијска употреба могућа једино уз погодну хемијску модификацију пептидне структуре. Основни задатак био је да се очува висок афинитет према GLP-1 рецептору, а истовремено повећа отпорност на ензимску разградњу и продужи време задржавања у организму. Једна стратегија стабилизације заснивала се на супституцији аминокиселине у позицији 8, кључној за препознавање од стране DPP-4. Замена аланина-8 другим аминокиселинама, као што је α -аминоизобутерна киселина (AiB), значајно успорава разградњу уз минималан утицај на биолошку активност. Ово показује да рационалним изменама примарне структуре може да се контролише интеракција са протеолитичким ензимима.

Други кључни концепт био је продужавање века молекула у крвотоку путем реверзибилног везивања за серумски албумин. Увођењем дуголанчаних масних киселина у бочни ланац појединих аминокиселина омогућено је хидрофобно везивање аналога за албумин у плазми, чиме се пептид штити од брзог уклањања из крвотока преко бубрега и од ензимске деградације (Knudsen et al., 2000). Овим приступом развијени су дугоделујући GLP-1 аналози, као што су лираглутид и семаглутид, који задржавају α -хеликалну конформацију активног домена неопходну за везивање за рецептор; остале промене на молекулу служе искључиво за фармако-

⁹ DPP-4 (дипептидил-пептидаза-4) је ензим који у организму делује као „молекуларне маказе”: брзо инаktivира одређене пептидне хормоне тако што са њиховог N-терминуса одсеца два аминокиселинска остатка. DPP-4 делује на пептиде код којих је друга аминокиселина пролин или аланин. Међу његовим најважнијим метама су инкретински хормони GLP-1 и GIP, које веома брзо инаktivира.



Слика 5. Терапијски аналози GLP-1. Лираглутид, семаглутид и тирзепатид продужавају полуживот природног GLP-1 увођењем липидних модификација које омогућавају реверзибилно везивање за серумски албумин и тиме успоравају елиминацију из крвотока преко бубрега. Код лираглутида, C16 масна киселина је ковалентно везана за Lys26 преко Lys-Glu спојника (линкера). Семаглутид садржи продужени линкер и C18 дикарбоксилну масну киселину, уз супституцију Ala8 α -аминоизобутерном киселином (AiB), чиме се повећава отпорност на ензимску деградацију. Код тирзепатида примењена је слична липидна модификација и супституција AiB киселином, али се разликује по секвенци и двострукој GLP-1/GIP агонистичкој активности, што тирзепатид фармаколошки издваја од семаглутида.

кинетичку оптимизацију (Lau et al., 2015). Даљи корак у развоју представља тирзепатид, синтетички пептид дизајниран као двојни агонист GLP-1 и GIP¹⁰ рецептора, код којег је продужено деловање комбиновано са активацијом више инкретинских сигналних путева (Frias et al., 2018).

КОНТРОВЕРЗА

Контроверза око открића GLP-1 једна је од најпознатијих савремених прича о приписивању заслуга у науци и често се наводи као пример такозваног „Матилда ефекта”¹¹. Термин је увела историчарка науке Маргарет Роситер и назвала га по америчкој активисткињи Матилди Џослин Гејџ, која је међу првима указала на овај феномен (Rossiter, 1993). Суштина контроверзе лежи у чињеници да допринос Светлане Мојсов дуго није био адекватно препознат, упркос њеној кључној улози у разјашњењу биохемијског механизма деловања GLP-1.

Дуго су научна заједница и комитети за доделу награда (попут престижне Canada Gairdner International

Award 2021. године) приписивали откриће GLP-1 искључиво тројници истраживача: Џоелу Хабенеру (Joel F. Habener, шеф лабораторије са којом је Мојсов сарађивала), Дену Друкеру (Daniel J. Drucker, постдокторант у Хабенеровој лабораторији), и Јенсу Јулу Холсту (Jens Juul Holst, независни истраживач из Данске). Наратив је био да су они открили ген, схватили функцију и трансирали пут ка лековима. Светлана Мојсов је помињана само успут више као техничка подршка.

Суштина проблема 1980-их била је што су научници знали генску секвенцу (захваљујући Грегу Белу (Graeme I. Bell)), али нису знали који део синтетизованог препроглукагона је активан. Веровало се да је активан цео GLP-1 пептид (свих 37 аминокиселина). Међутим, тај облик није изазивао лучење инсулина. Кључни корак направила је Светлана Мојсов када је поставила хипотезу да ензими у цревима „секу” почетак пептида и да је активна само скраћена форма GLP-1(7–37). Дакле:

- Она је једина тада успела да синтетише тај специфични исечак GLP-1(7–37) и развије антитела која могу да га детектују.
- Без њеног синтетичког пептида, Друкер (који је радио експерименте на ћелијама панкреаса) не би имао чиме да докаже да је хормон активан.

Укратко, генетичари и физиолози су поставили важно научно питање на које није било одговора док Свет-

¹⁰ GIP (енгл. glucose-dependent insulinotropic polypeptide) — глюкозо-зависни инсулинотропни пептид — је инкретински хормон који се лучи у цревима након оброка и учествује у регулацији глукозе у крви.

¹¹ Матилда ефекат — систематско занемаривање доприноса жена научница.

лана Мојсов није поставила хипотезу и експериментално је потврдила.

Борба за патенте

Контроверза није била само академска, већ и правна. Деведесетих година, Massachusetts General Hospital (где су се налазиле и Хабенерова лабораторија и посебна лабораторија Светлане Мојсов) поднела је патенте за GLP-1 наводећи само Хабенера као изумитеља. Мојсов је морала да покрене дуготрајну правну битку како би њено име било додато на патенте. Иако је правно добила ту битку и њено име је уписано на кључне патенте (што јој је донело део тантијема), научна слава ју је и даље заобилазила.

Кулминација неправде десила се 2021. када је Gairdner награда (понекад индикатор за Нобелову) додељена Хабенеру, Друкеру и Холсту, потпуно игноришући Светлану Мојсов. Ова одлука подстакла је широку дискусију у научној јавности. Часописи као што су *Science* и *STAT News* објавили су 2023. године опсежне текстове који су поново разматрали историју открића GLP-1 и улогу појединачних истраживача (Chen & Molteni, 2023; Couzin-Frankel, 2023). У том контексту, и сам Друкер је у новијим изјавама нагласио значај доприноса Светлане Мојсов. Као резултат притиска јавности и нових доказа, 2024. године Светлана Мојсов је коначно почела да добија признања.

Дакле, контроверза је била у томе што је биохемијски „ручни рад” и интелектуална интуиција једне хемичарке (да је потребан скраћени пептид) третиран као техничка услуга лабораторији, док су шефови лабораторија преузели концептуалне заслуге. Данас је општеприхваћено да су Хабенер, Мојсов, Друкер и Холст заједно „четворо родитеља” GLP-1 револуције.

ГЛОБАЛНИ УТИЦАЈ

Откриће GLP-1 и разумевање његове биолошке улоге довели су до једног од најбржих и највидљивијих преображаја савремене фармакотерапије. Лекови засновани на GLP-1 променили су приступ лечењу дијабетеса типа 2, а убрзо затим и гојазности, показујући да пептидни хормони могу да се стабилизују, да имају дуго дејство и да могу да буду практични клинички терапијски агенси. Оно што је започело као фундаментално биохемијско питање о структури и активности једног пептида прerasло је у глобални медицински и друштвени феномен.

Појава лекова као што су семаглутид и тирзепатид (Табела 1), познатих широј јавности под комерцијалним називима Ozempic и Mounjaro, означила је моменат у којем су истраживачки резултати постали део свакодневне клиничке праксе. Ови препарати нису само унапредили контролу гликемије, већ су значајно утицали на телесну масу, кардиометаболичке ризике и квалитет живота милиона пацијената (Lincoff et al., 2023). Истовремено, њихов успех је подстакао интензивна истраживања нових пептидних и мултирецепторских аналога, проширујући поље примене инкретинске биологије далеко изван првобитних оквира ендокринологије.

Са становишта хемије, значај овог открића лежи у јасно утврђеној вези између молекулске структуре и физиолошког ефекта. Рад Светлане Мојсов и истраживача који су га наставили представља пример како прецизна пептидна синтеза, аналитичка строгост и разумевање односа структуре и активности могу да доведу до терапијских решења планетарног значаја. GLP-1 тако остаје један од изврних примера како хемијске методе и хемијска интуиција директно обликују фармакологију и медицину.

Табела 1. GLP-1 лекови – преглед одобрених терапија

Генеричко име	Комерцијално име	Класа	Прво FDA одобрење
ексенатид	Byetta®	GLP-1 рецепторски агонист	2005
ексенатид ER	Bydureon® / Bydureon BCise®	GLP-1 рецепторски агонист	2012 / 2017
лираглутид	Victoza®	GLP-1 рецепторски агонист	2010
албиглутид*	Tanzeum®	GLP-1 рецепторски агонист	2014
дулаглутид	Trulicity®	GLP-1 рецепторски агонист	2014
ликсисенатид	Adlyxin®	GLP-1 рецепторски агонист	2016
семаглутид	Ozempic®	GLP-1 рецепторски агонист	2017
орални семаглутид	Rybelsus®	GLP-1 рецепторски агонист	2019
семаглутид	Wegovy®**	GLP-1 рецепторски агонист	2021
тирзепатид	Mounjaro®	двоструки GIP/GLP-1 рецепторски агонист	2022
тирзепатид	Zepbound®**	двоструки GIP/GLP-1 рецепторски агонист	2023

* Албиглутид је био клинички одобрен GLP-1 рецепторски агонист, али је касније повучен са тржишта из комерцијалних разлога.

** Одобрено и за лечење гојазности.

БИОГРАФИЈА СВЕТЛАНЕ МОЈСОВ



Светлана Мојсов је рођена 1947. године у Скопљу (тадашња ФНР Југославија). Дипломирала је физичку хемију на Природно-математичком факултету Универзитета у Београду 1971. године. Докторирала је биохемију 1978. године на Рокфелер универзитету (The Rockefeller University) у Њујорку, под руководством професора Роберта Бруса Мерифилда, добитника Нобелове награде за хемију 1984. године. У оквиру свог доктората „Студије о синтези пептида на чврстој фази: синтеза глутагона (1978)” (Studies on solid-phase peptide synthesis: the synthesis of glucagon) развила је методе за синтезу, пречишћавање, и функционално карактерисање глутагона. Након доктората одлази на постдокторске студије у Општу болницу Масачусетса (Massachusetts General Hospital) где је успоставила лабораторију за синтезу пептида којом је самостално руководила. Идентификацију GLP-1 као главног узрочника инкретинског

Табела 2. Награде Светлани Мојсов (до марта 2026)*

Година	Назив награде	Опис награде
2023	VinFuture Prize	Међународна награда која препознаје научне и технолошке пробоје са значајним утицајем на човечанство.
2023	Nature's 10	Годишње признање часописа <i>Nature</i> : десет личности које су обележиле годину значајним научним доприносом.
2023	Time100 Health	Листа часописа <i>Time</i> : сто најутицајнијих личности у области здравља и медицине.
2024	Pearl Meister Greengard Prize	Награда која се додељује женама научницама за изузетна достигнућа у биомедицинским наукама.
2024	Time 100 Most Influential People	Годишња листа сто најутицајнијих људи у свету, укључујући науку и здравље.
2024	Princess of Asturias Awards	Међународно признање из Шпаније за изузетан допринос науци, култури и друштву.
2024	Tang Prize – Biopharmaceutical Science	Међународна награда за врхунска достигнућа у биофармацеутским наукама и њихов превод у примену.
2024	Lasker Award	Признање за кључне доприносе медицинској науци („Амерички нобел”).
2024	BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Awards – Biology and Biomedicine	Награда „Границе знања” у категорији биологије и биомедицине.
2025	Member of National Academy of Sciences (NAS)	Избор у Националну академију наука САД (NAS).
2025	Breakthrough Prize in Life Sciences	Награда за изузетна достигнућа у био-наукама, са једним од највећих новчаних износа („Оскар за науку”).
2025	Warren Triennial Prize	За изузетна достигнућа у биомедицинским истраживањима.
2025	Distinguished Medical Science Award	За изузетан допринос медицинским наукама и истраживањима са мерљивим утицајем.
2025	Helen Dean King Award	За лидерство у биомедицинској науци и допринос који отвара пут будућим генерацијама научница.
2025	Member of the Macedonian Academy of Sciences and Arts	Избор у националну академију Северне Македоније.
2026	Kimberly Prize in Biochemistry and Molecular Genetics	За врхунски допринос биохемији и молекуларној генетици и доказан клинички утицај открића.
2026	King Faisal Prize in Medicine	За достигнућа која значајно унапређују медицинску науку и праксу.

* На основу јавно доступних података о наградама и саопштења институција које су награде доделиле.

ефекта и синтезу и анализу бројних аналога извела је самостално у тој лабораторији, а у сарадњи с истраживачима који су проучавали генетику и физиологију инкретинског ефекта у серији *ex vivo* експеримената доказала тачно који деривати су најактивнији. Године 1990. вратила се на Рокфелер универзитет где је и данас (март 2026.) професор-истраживач. За свој научни рад добила је бројна међународна признања и награде (Табела 2).

Abstract

SVETLANA MOJSOV AND GLP-1: FROM CHEMICAL INTUITION TO A THERAPEUTIC REVOLUTION

Ivan VUČKOVIĆ, Slobodan MACURA, Mayo Clinic, Rochester, MN, USA

The American biochemist Svetlana Mojsov, who earned a degree in physical chemistry from the University of Belgrade, during her doctoral studies at Rockefeller University in the 1970s under the mentorship of Bruce Merrifield, and later as an independent researcher at Massachusetts General Hospital (MGH) in the 1980s, developed novel methods for the chemical synthesis of the peptide hormones glucagon and glucagon-like peptide-1 (GLP-1). Working independently, Mojsov established a series of *in vitro* and *in vivo* assays, which she later used in collaboration with geneticists and physiologists to demonstrate the potent insulinotropic effects of these peptide hormones. Based on her findings, a series of new drugs has since been developed, leading to a therapeutic revolution in the treatment of endocrine disorders such as type 2 diabetes and obesity. GLP-1–based therapies differ from conventional treatments in that they restore the impaired incretin signal in a physiological manner, rather than relying on exogenous hormone replacement.

Of particular importance were her chemical insight and detailed understanding of peptide structure, which enabled her to identify critical proteolytic cleavage sites within the hormone precursor and to determine the biologically active form, the truncated peptide GLP-1(7–37). Although her contribution was initially overlooked, Mojsov has in recent years received well-deserved recognition, reflected in a series of prestigious scientific honors and awards.

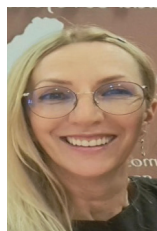
This article briefly outlines the (bio)chemical methods employed by Mojsov to identify the molecules responsible for the incretin effect, as well as the chemical transformations that led from the original peptide to a class of drugs used for the treatment of type 2 diabetes and obesity.

Keywords: GLP-1, peptide chemistry, incretins, type 2 diabetes, obesity

ЛИТЕРАТУРА

Chen, E., & Molteni, M. (2023). *The Ozempic revolution is rooted in the work of Svetlana Mojsov, yet she's been edged out of the story*. Boston Globe Media Retrieved 20 Mar 2026 from <https://www.statnews.com/2023/09/27/weight-loss-obesity-glp1-svetlana-mojsov/>

- Couzin-Frankel, J. (2023). *Her work paved the way for blockbuster obesity drugs. Now, she's fighting for recognition*. Science. <https://www.science.org/content/article/her-work-paved-way-blockbuster-obesity-drugs-now-she-s-fighting-recognition>
- Drucker, D. J. (2006). The biology of incretin hormones. *Cell Metabolism*, 3 (3), 153–165. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2006.01.004>
- Drucker, D. J. (2018). Mechanisms of Action and Therapeutic Application of Glucagon-like Peptide-1. *Cell Metabolism*, 27 (4), 740–756. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2018.03.001>
- Frias, J. P., Nauck, M. A., Van, J., Kutner, M. E., Cui, X., Benson, C., Urva, S., Gimeno, R. E., Milicevic, Z., Robins, D., & Haupt, A. (2018). Efficacy and safety of LY3298176, a novel dual GIP and GLP-1 receptor agonist, in patients with type 2 diabetes: a randomised, placebo-controlled and active comparator-controlled phase 2 trial. *The Lancet*, 392 (10160), 2180–2193. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32260-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32260-8)
- Holst, J. J. (2007). The Physiology of Glucagon-like Peptide 1. *Physiological Reviews*, 87 (4), 1409–1439. <https://doi.org/10.1152/physrev.00034.2006>
- Knudsen, L. B., Nielsen, P. F., Huusfeldt, P. O., Johansen, N. L., Madsen, K., Pedersen, F. Z., Thøgersen, H., Wilken, M., & Agersø, H. (2000). Potent Derivatives of Glucagon-like Peptide-1 with Pharmacokinetic Properties Suitable for Once Daily Administration. *Journal of Medicinal Chemistry*, 43 (9), 1664–1669. <https://doi.org/10.1021/jm9909645>
- Lau, J., Bloch, P., Schäffer, L., Pettersson, I., Spetzler, J., Kofeod, J., Madsen, K., Knudsen, L. B., McGuire, J., Steensgaard, D. B., Strauss, H. M., Gram, D. X., Knudsen, S. M., Nielsen, F. S., Thygesen, P., Reedtz-Runge, S., & Kruse, T. (2015). Discovery of the Once-Weekly Glucagon-Like Peptide-1 (GLP-1) Analogue Semaglutide. *Journal of Medicinal Chemistry*, 58 (18), 7370–7380. <https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.5b00726>
- Lincoff, A. M., Brown-Frandsen, K., Colhoun, H. M., Deanfield, J., Emerson, S. S., Esbjerg, S., Hardt-Lindberg, S., Hovingh, G. K., Kahn, S. E., Kushner, R. F., Lingvay, I., Oral, T. K., Michelsen, M. M., Plutzky, J., Tornøe, C. W., & Ryan, D. H. (2023). Semaglutide and Cardiovascular Outcomes in Obesity without Diabetes. *The New England Journal of Medicine*, 389 (24), 2221–2232. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2307563>
- Merrifield, R. B. (1963). Solid Phase Peptide Synthesis. I. The Synthesis of a Tetrapeptide. *Journal of the American Chemical Society*, 85 (14), 2149–2154. <https://doi.org/10.1021/ja00897a025>
- Mojsov, S., Heinrich, G., Wilson, I. B., Ravazzola, M., Orci, L., & Habener, J. F. (1986). Preproglucagon gene expression in pancreas and intestine diversifies at the level of post-translational processing. *Journal of Biological Chemistry*, 261 (25), 11880–11889. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)67324-7](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)67324-7)
- Mojsov, S., Weir, G. C., & Habener, J. F. (1987). Insulinotropin: glucagon-like peptide I (7-37) co-encoded in the glucagon gene is a potent stimulator of insulin release in the perfused rat pancreas. *The Journal of Clinical Investigation*, 79 (2), 616–619. <https://doi.org/10.1172/jci112855>
- Nauck, M. A., & Meier, J. J. (2016). The incretin effect in healthy individuals and those with type 2 diabetes: physiology, pathophysiology, and response to therapeutic interventions. *Lancet Diabetes Endocrinol*, 4 (6), 525–536. [https://doi.org/10.1016/s2213-8587\(15\)00482-9](https://doi.org/10.1016/s2213-8587(15)00482-9)
- Rossiter, M. W. (1993). The Matthew Matilda Effect in Science. *Social Studies of Science*, 23 (2), 325–341.



Изудин РЕЦЕПОВИЋ, Ениса СЕЛИМОВИЋ

Државни универзитет у Новом Пазару

Е-пошта: iredzepovic@np.ac.rs, eselimovic@np.ac.rs

НОРИЉСК–ДЕПРИМИРАЈУЋА АРКТИЧКА РИЗНИЦА МЕТАЛА

ИЗВОД

Нориљск, један од најсевернијих индустријских градова света, представља кључни центар експлоатације и прераде метала у арктичком региону. Захваљујући богатим налазиштима никла, бакра, кобалта и племенитих метала, овај град је постао симбол индустријске моћи и економског значаја руског Арктика. У раду је представљена његова мрачна прошлост, обележена тешким условима рада и развојем индустрије у совјетском периоду, загађена садашњост као последица интензивне експлоатације и индустријске производње, као и планови за будућност који укључују модернизацију, еколошку санацију и одрживи развој. Циљ рада је да се истакне двострука природа Нориљска, као незаменљивог извора стратешких ресурса и као простора у коме се преплићу економски интереси и еколошка одговорност.

Кључне речи: лојор, рудник, Арктик, загађење, металуршка индустрија

ЈУЧЕРАШЊИЦА

Током двадесетих година прошлог века започето је успостављање система концентрационих и поправно-радних логора у Совјетском Савезу, док је његова пуна институционализација и масовна примена остварена током периода Стаљинове владавине. Формиран је посебан административни орган за управљање лого-

рима под акронимом ГУЛАГ (рус. Главное Управление ЛАГерей), који је деловао у оквиру совјетске тајне полиције и Министарства унутрашњих послова (Gulag.cz). Задатак ГУЛАГ-а је био да организује и надзире систем принудног рада затвореника. Иако су у логоре били упућивани и осуђени криминалци, значајан део затвореничке популације чинили су политички неистомишљеници и друга лица лишена слободе на основу фабрикованих оптужби, етничке припадности или без јасно дефинисаног правног основа.

Разграната мрежа логора, распрострањена широм територије СССР-а, обухватала је готово 500 логорских управа (Слика 1), које су управљале десетинама, а понекад и стотинама појединачних логора. Поједине процене доводе укупан број логора и до 30.000, а број затвореника до неколико милиона. Стаљин је систем логора сматрао ефикасним инструментом за убрзање индустријализације Совјетског Савеза. Принудни рад затвореника имао је значајну улогу у експлоатацији природних ресурса, посебно у шумарству и рударству, као и у реализацији великих инфраструктурних и грађевинских пројеката, попут изградње Беломорско-балтичког канала, брана, путева и железничких пруга. Затвореницима у систему ГУЛАГ-а изрицане су временске казне, а уколико би преживели тај период, било им је дозвољено да напусте логор. Чланови породице осумњиченог издајника добијали су минималне казне у трајању од пет до осам година принудног рада. Поједини затвореници су, уколико су радили изузетно напорно и премашава-



Слика 1. Локације ГУЛАГ-ових логорских управа (Gulag.cz)

ли задате нормe, могли да остваре право на превремено пуштање на слободу. Многи затвореници умирали су од исцрпљености, док су други били физички злостављани или убијани од стране логорских чувара. Историчари процењују да је сваке године страдало најмање 10 одсто укупне затвореничке популације.

Један од логора основан је у граду Норилску, који се налази око 300 километара северно од Арктичког круга и скоро 3.000 километара од Москве, у зони континуираног пермафроста, где сурови климатски и природни услови чине живот изузетно тешким. До њега се и данас може доћи једино авионом и бродом (лети). Логор је формиран баш на том месту због ранијих геолошких експедиција које су показале да се на том терену налазе велике залихе различитих метала, што је чинило Норилск кључним за индустријски развој СССР-а.

Норилск је првобитно насељен крајем 1920-их година, али се званичним датумом оснивања града традиционално сматра 1935. година, када је формиран систем ГУЛАГ-а под називом Нориллаг, а затвореници су започели изградњу Норилског рударско-металуршког комбината, једног од најважнијих индустријских комплекса у СССР-у. Током наредних неколико година, уз тежак физички рад затвореника и напоре првих радника, Норилск се постепено развио у организовано насеље (Слика 2). Данас је то један од ретких већих градова у условима сурове арктичке климе.



Слика 2. Насеобина Норилск (горе), град Норилск данас (доле) (Gulag.cz)

Затвореници Нориллага били су приморани да раде и до 12 сати дневно у изузетно тешким условима, на температурама које су током зимских месеци падале и до -50 степени Целзијуса. Обављали су физички изузетно захтевне послове у рудницима, цигланама и цементама, радили су и на изградњи путева и железничких пруга, што је представљало основу индустријског развоја тог подручја. Према проценама различитих извора, у логору у Норилску истовремено се налазило између 25.000 и 35.000 затвореника. Подаци из архива

Нориллага указују да је током целокупног периода функционисања логора, од 1935. до 1956. године, живот изгубило 16.806 затвореника. Висока стопа смртности била је директна последица сурових услова живота. Највећи број смртних случајева забележен је током Другог светског рата, када су услови у логору додатно погоршани услед озбиљне несташнице хране и општих последица ратног стања.

Дана 26. маја 1953. године избија Норилска побуна, највећи устанак затвореника у историји совјетских концентрационих логора. У њој је учествовало више од 16.000 мушкараца и жена који су одбили да наставе да трпе нехумане услове живота и принудног рада. Иако је устанак након 61 дана угушен, затвореници су изборили делимично испуњење својих политичких захтева, а побуна је постала симбол отпора и прекретница у урушавању логорског система СССР-а. Процењује се да је кроз систем ГУЛАГ-а прошло приближно осамнаест милиона људи, док је још око шест милиона послато у прогонство. Након Стаљинове смрти 1953. године дошло је до постепеног смањења броја затвореника, а сам систем ГУЛАГ-а формално је укинут 1960. године. Ипак, поједине радне колоније наставиле су да функционишу као средство репресије над политичким противницима, али у знатно смањеном обиму и под блажим условима него у доба Стаљина.

Иако је систем логора званично суспендован, чини се да Норилск није прекинуо са сопственом логорском јучерашњицом, већ ју је институционално прерадио. Мрачна, депримирајућа и тешко загађена животна средина града представља директну последицу експлоататорског наслеђа прикривеног формом савремене металуршке корпорације.

ДАНАШЊИЦА

Норилск је данас дом за око 180.000 становника и један од најважнијих рударских и металуршких центара у Русији. Узме ли се у обзир вредност његових налазишта паладијума, који се продаје за више од 1.000 долара по унци, може се рећи да је то и најбогатији руски град. То је и даље „затворени град“ па је улазак туристима и страним држављанима дозвољен једино уз посебну дозволу.

За разлику од прошлости, данас у Норилску људи живе по сопственом избору. Имају јаке друштвене и породичне мреже и могу зарађивати много више него у другим деловима Русије. Многи сматрају да финансијске користи од пресељења у ову регију надмашују њене недостатке. Екстремни климатски услови, поларна ноћ, изолација, загађеност, као и историја града, учинили су живот становника Норилска специфичним. На први поглед Норилск изгледа као град духова, док се активан живот одвија под земљом. Због екстремно ниских температура заједнички простори, ресторани, кафићи и тржни центри изграђени су испод нивоа земље, заштићени од јаке хладноће.

Компанија Норникел (Nor Nickel) представља економски стуб града као један од највећих светских произвођача обојених метала. Бави се експлоатацијом и прерадом никла, паладијума, платине, бакра и других

метала. Норникел је надживео комунизам, прихватио капитализам и данас настоји да повећа производњу како би продавао високочисте метале неопходне за батерије и технологије „зелене” енергије 21. века.

Међутим, за релативно добру економију Норилск плаћа високу цену. Овај град се сврстава међу најзагађеније на свету. Активности компаније довеле су до високог нивоа загађења атмосфере, где концентрације сумпор-диоксида, никла, бакра и других загађујућих супстанци знатно премашују дозвољене границе. Еколошки проблеми Норилска привукли су широку међународну пажњу, а Норникел се суочио са критикама и оптужбама за нелегално одлагање отпада, емисију метала, радиоактивних изотопа и штетних гасова. Један пример загађивања животне средине јесте и „крвава река” Далдикан, која је 2016. године поцрвенела услед контаминације отпадним водама из постројења Норникела (Слика 3).



Лентач
@oldLentach

Follow

Река в Норилске возле завода "Надежда" выглядит жутковато

4:19 PM - 6 Sep 2016

597 854

Foto: Twitter

Слика 3. Река Далдикан (Telegraf, 2016).

Такође, ова корпорација је више пута била одговорна за изливање нафте. Тако се 2020. године излило 20 хиљада тона нафте из електране НТЕК, узрокујући значајну штету локалном екосистему. То је било највеће изливање нафте у историји Арктика. Иако је Норникел тврдио да гориво није досегло до Арктичког океана, руска владина агенција за рибарство изјавила је да њихова тестирања показују да је океанска вода ипак контаминирана.

Град је толико загађен да његови становници пате од високе стопе учесталости рака, болести плућа, поремећаја крви и коже, као и депресије. Деца која живе у близини погона компаније чешће оболевају од респираторних, пробавних и нервних болести, него у другим регионима. Концентрација сумпор-диоксида у ваздуху је толико висока да је вегетација нестала у пречнику од готово 32 километра, а становницима је забрањено сакупљање бобица или печурки због високе токсичности. Током 2015. године објављено је да су концентрације сумпор-диоксида у ваздуху понекад биле и до 40 пута веће од дозвољених. С друге стране, Норникел својим радницима пружа широк спектар бенефита и социјалне подршке. Обезбеђује им лечење у бањским центрима и одмор за њих и њихове породице.

Током времена и уз притисак јавности, Норникел је признао да је својим пословањем проузроковао неке еколошке проблеме и предузео кораке за смањење загађења. Компанија је инвестирала у модернизацију постројења и побољшање система за сакупљање и уклањање прашине и штетних гасова. Међутим, упркос свим напорима и улагањима, званична статистика показује да су нивои емисија и даље изузетно високи. Локални стручњаци су потврдили да, иако је дошло до одређеног смањења нивоа загађења, нивои сумпор-диоксида, водоник-сулфида, фенола, формалдехида, прашине, никла и бакра су и даље високи.

СУТРАШЊИЦА

Мрачна јучерашњица и загађена данашњица Норилска требало би да уступе место зеленој и еколошки прихватљивој сутрашњици. Тако бар тврди један од челних људи града, који верује да Норилск има све шансе да постане лидер одрживог развоја у Арктику. У његовој визији то је модеран град, удобан и испуњен квалитетним услугама, са богатим урбаним садржајем. Истовремено, то је велики металуршки центар и град са развијеном економијом, место у којем је модерно и инспиративно живети, и у које желе да долазе и руски и страни туристи (Mironov, 2021).

Оваква ружичаста пројекција будућности није само производ маште. Наиме, последњих година Норникел је заштиту животне средине поставио као један од кључних приоритета своје политике, смањујући не само емисије загађујућих супстанци у ваздуху већ и испуштање отпадних вода. Још 2019. године норвешке агенције су извистиле да та земља високо цени напоре компаније у очувању животне средине и изразиле наду да ће се такве активности наставити. Позитивно је оцењена и улога руске владе у креирању и примени еколошких стандарда и законодавства, што би у перспективи требало да допринесе значајном побољшању стања животне средине.

Недавно је управни одбор компаније објавио планове за усвајање нове еколошке стратегије која предвиђа значајне инвестиције у заштиту животне средине. Највећи део средстава биће усмерен на мере за смањење емисија у ваздуху, док ће значајан део бити уложен у заштиту водних ресурса, минимизацију штете од индустријског отпада и рекултивацију земљишта погођеног експлоатацијом лежишта. Стратегија обухвата и активности повезане са климатским променама и очувањем биолошке разноврсности (MMC Norilsk Nickel, 2021a). Овим свеобухватним приступом компанија жели да покаже да индустријски развој може и мора да иде руку под руку са одговорношћу према природи. Усмеравајући средства на различите аспекте заштите животне средине, Норникел настоји да створи одрживи модел пословања који ће допринети побољшању услова живота у регионима у којима послује и истовремено очувању арктичког екосистема.

Још један позитиван корак је направљен 2021. године, када је потписан споразум о социо-економском развоју града, који предвиђа реализацију пројеката до 2035. године. Овим документом покренут је процес ревитали-

зације, који представља први пример систематске трансформације урбаног простора на Арктику. Споразум је утемељен на партнерству федералног центра, регионалних власти, локалне самоуправе и индустријског сектора, конкретно компаније Норникел, чиме се обезбеђује институционална и финансијска подршка за приоритетне пројекте (MMC Norilsk Nickel, 2021b).

Програм ревитализације Норилска обухвата изградњу стамбених објеката, развој социјалне инфраструктуре и модернизацију градских система, са циљем да се обезбеди квалитетнији животни стандард и савремени урбани идентитет. Овај приступ може се посматрати као пример интеграције економских, социјалних и еколошких приоритета у оквиру концепта одрживог развоја арктичких градова. Норилск тако постаје студија случаја у којој се кроз институционалну координацију и индустријску подршку реализује модел урбане трансформације, који има потенцијал да послужи као референтни оквир за друге заједнице суочене са сличним изазовима. Остаје да видимо да ли ће то стварно тако и бити.

Abstract

NORILSK – A DEPRESSING ARCTIC TREASURE TROVE OF METALS

Izudin REDŽEPOVIĆ, Enisa SELIMOVIĆ,
State University of Novi Pazar

Norilsk, one of the northernmost industrial cities in the world, represents a key center of metal extraction and processing in the Arctic region. Thanks to its rich deposits of nickel, copper, cobalt, and precious metals, this city has become a symbol of industrial power and the economic importance of the Russian Arctic. The paper presents its dark past, marked by harsh working conditions and the development of industry during the Soviet period, its polluted present as a consequence of intensive exploitation and industrial produc-

tion, as well as plans for the future that include modernization, ecological remediation, and sustainable development. The aim of the paper is to highlight the dual nature of Norilsk, as an indispensable source of strategic resources and as a place where economic interests and ecological responsibility intersect.

Keywords: camp, mine, Arctic, pollution, metallurgical industry

ЛИТЕРАТУРА

- Gulag.cz. *The Gulag Online [Virtual museum]*. Gulag.cz. <https://www.gulag.online>
- Mironov, M. (2021). *Norilsk has every chance to become a leader in sustainable development of the Arctic*. Retrieved March 1, 2026, from <https://arctic-russia.ru/en/article/maxim-mironov-norilsk-has-every-chance-to-become-a-leader-in-sustainable-development-of-the-arctic/>
- MMC Norilsk Nickel. (2021a). *Environmental strategy 2021*. Retrieved March 3, 2026, from https://nornik-upload.storage.yandexcloud.net/iblock/274/Norilsk_Nickel_Environmental_Strategy_2021_en.pdf
- MMC Norilsk Nickel. (2021b). *Nornickel, the Government of the Russian Federation, Krasnoyarsk Territory and Norilsk city signed a package of documents on the social and economic development of Norilsk*. Retrieved March 3, 2026, from <https://nornickel.com/news-and-media/press-releases-and-news/nornickel-the-government-of-the-russian-federation-krasnoyarsk-territory-and-norilsk-city-signed-a-package-of-documents-on-the-social-and-economic-development-of-norilsk/>
- Nornickel. *MMC Norilsk Nickel*. <https://nornickel.com/>
- Telegrafi. (2016). *The reason why the river Dal'dykan in Russia turned red is revealed*. Retrieved March 1, 2026, from <https://telegrafi.com/en/the-reason-why-the-river-Daldykan-in-Russia-turned-red-is-revealed/>





Јелисавета ПЕСАН

Дипломирани биохемичар, Универзитет у Београду – Хемијски факултет

Е-пошта: jelisavetaresan38@gmail.com

БЕРИЛИЈУМ: ЛАКИ МЕТАЛ ТЕШКИХ ПОСЛЕДИЦА

ИЗВОД

Берилијум је хемијски елемент значајан за науку и индустрију, иако је релативно ретко заступљен у природи. Овај лак, али изузетно чврст метал, одликује се јединственим физичким и хемијским својствима и зато је нашао примену у савременим технологијама, попут ваздухопловне и свемирске индустрије. Са друге стране, токсичност берилијума представља озбиљан здравствени и еколошки изазов, због чега је проучавање његове токсикокинетике и токсикодинамике важно и у области медицине, као и заштите на раду. Овај рад има за циљ да прикаже основне карактеристике берилијума, његову примену, као и ризике при контакту са овим елементом.

Кључне речи: берилијум, мешал, примена берилијума, акутна и хронична берилиоза

УВОД

Берилијум (Be) припада 2. групи Периодног система елемената, односно, земноалкалним металима. То је хемијски елемент атомског броја 4 и релативне атомске масе 9,012 (Слика 1). Године 1798. открио га је француски хемичар Луј Никола Воклен (Louis Nicolas Vauquelin, 16. мај 1763 - 14. новембар 1829), када је уочио непознати елемент у минералима берилу и смарагду. У елементарном стању добио га је тек 1827. године немачки хемичар Фридрих Велер (Friedrich Wöhler, 31. јул 1800 - 23. септембар 1882), који је открио и алуминијум, итријум и титан. Берилијум је релативно редак елемент (0,001 % у Земљиној кори), који се у природи налази најчешће у облику берила, тј. берилијум-алуминијум-силиката, хемијске формуле $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$. Чист берил је безбојан, али због присутних нечистоћа јавља се у различитим варијететима и бојама (Gažević, 1970).

Слика 1. Основни хемијски подаци о

Атомски број	4	[He] 2s ²	Електронска конфигурација
	Be		Симбол
Релативна атомска маса	Берилијум 9.012		Име

берилијуму

Берил (Слика 2) се користи за добијање берилијума. Највећа налазишта су у Бразилу, Јужној Африци, Аргентини, Аустралији, САД, Мадагаскару, Мозамбику, Мароку и Португалу. Берилијум се индустријски добија прерадом минерала берила, при чему се након низа хемијских поступака преводи у берилијум-флуорид. Електролизом растопљеног берилијум-флуорида на високим температурама добија се берилијум чистоте 98–98,5 %. Чист берилијум примењује се у рендгенској и нуклеарној техници, док се његовим додавањем другим металима повећавају тврдоћа, чврстоћа и отпорност легура према корозији. Најчешће се користи у легурама са бакром. Берилијум-бронза одликује се великом чврстоћом, отпорношћу и еластичношћу, па налази примену у изради опруга, у бродоградњи, ваздухопловству, индустрији часовника и компаса, као и у рендгенској и електронској техници (Gažević, 1970).



Слика 2. Берилијум-алуминијум-силикат (челично-сив минерал берил)

https://surfacenet.de/files/kristall_daten.php?crystal=28

Геолошка истраживања церског гранитоидног комплекса указују на присуство минерализације ретких метала, укључујући минерале берилијума, литијума, ниобијума и тантала, што ово подручје сврстава међу потенцијално значајне изворе минералних сировина у Србији.

ФИЗИЧКА И ХЕМИЈСКА СВОЈСТВА БЕРИЛИЈУМА

Берилијум је лаган, чврст и крт метал сребрнасто-беле боје, густине 1,85 g/cm³ (Табела 1). Одликује се високом температуром топљења (1287 °C) и кључања (2470 °C), као и високом специфичном топлотом. Има малу релативну атомску масу ($A_r = 9,012$) и висок модул еластичности, који је већи од модула еластичности већине конструкционих челика. Дobar је проводник топлоте и електричне струје. Комбинација мале масе и

велике чврстоће одговара наменским индустријама где су неопходни лагани, али стабилни материјали, у којима је берилијум, као што ћемо видети, и нашао велику примену.

Берилијум припада групи земноалкалних метала, али се од осталих чланова ове групе разликује мањом реактивношћу и израженом амфотерношћу. На ваздуху се прекрива танким заштитним слојем берилијум-оксида (BeO), који успорава његову даљу оксидацију. Због тога реагује спорије са киселинама, док у концентрованим растворима јаким база гради берилатне јоне $[\text{Be}(\text{OH})_4]^{2-}$. Берилијум-оксид одликује се високом температуром топљења, великом механичком чврстоћом и изузетном топлотном проводљивошћу, због чега налази примену у нуклеарној техници и електронској индустрији (Taylor et al., 2003).

Табела 1. Физичка и хемијска својства берилијума

Својство	Опис
Симбол	Be
Атомски број	4
Релативна атомска маса	9,012
Група у периодном систему елемената	2.
Густина	1,85 g/cm ³
Температура топљења (Tt)	1287 °C
Температура кључања (Tk)	2470 °C
Боја	Сребрнasto-бела
Електронска конфигурација	1s ² 2s ²
Оксидационо стање	+2
Реактивност	Мања од осталих земноалкалних метала, због стварања заштитног слоја оксида Слабо реагује са киселинама; у концентрованим базним срединама настају берилати $[\text{Be}(\text{OH})_4]^{2-}$

ПРИМЕНА И ЗНАЧАЈ БЕРИЛИЈУМА

Берилијум се природно не налази у живим системима и нема познату биолошку улогу. Он није кофактор нити једног ензима, нити је на други начин неопходан за функцију ћелија, за разлику од, на пример, цинка, гвожђа, магнезијума и бакра. Има мали атомски радијус и врло је реактиван, формирајући стабилне и чврсте везе. То га све чини непогодним за коришћење у флексибилним биолошким макромолекулама

попут ензима и других протеина. Берилијум се, због своје високе токсичности, у биологији сматра искључиво штетним, а никако корисним металом.

Берилијум се може користити као чист метал, у легурама са другим металима, може се превести у соли које се растварају у води, или у оксиде и керамичке материјале. Због својих јединствених структурних и механичких својстава, берилијум налази све већу примену у авиоиндустрији и индустрији електронике. Користи се у легајевима авиона, пошто може поднети велика оптерећења без губитка чврстоће материјала у којима се налази. AlBe_3 , легура берилијума и алуминијума (Слика 3), са 4,0–6,0 % берилијума, користи се од 90-тих година 20. века у производњи америчких војних борбених авиона, хеликоптера и ракетних система (Taylor et al, 2003).



Слика 3. Алуминијум-берилијум легура AlBe_3
<https://www.xingluchemical.com/bs/news/what-is-aluminum-beryllium-alloy-albe5-and-its-application/>

Употреба берилијума у индустрији електронике такође расте. Широко се користи у производњи опруга, прекидача, релеја и конектора у електронским системима за рачунаре, за мобилне мреже, уређаје попут скенера који се користе у фотокопир машинама и у аутомобилској индустрији. Медицинска заједница се ослања на берилијум за производњу пејсмејкера, ласера, рендгенских слика високе резолуције, као и стоматолошких легура неопходних за израду круница, мостова и зубних плоча. Занимљиво је да је спортска индустрија искористила својства берилијума у изради голф палица и рамова бицикала (Taylor et al, 2003). Ипак, у формули 1 (FIA F1) је у потпуности забрањен од 2001. године (<https://www.racefans.net/2007/02/08/banned-beryllium/>).

Берилијум има јединствене примене у одбрамбеној индустрији (Слика 4), због својстава апсорпције и рефлексије неутрона. Влада САД је почела да користи берилијум у компонентама оружја још током 1940-их година. Министарство енергетике САД и даље користи берилијум за производњу нуклеарног оружја, што може довести до уношења берилијума у животну средину. Упркос томе, постоји недостатак информација о берилијуму као загађујућој супстанци животне средине (Taylor et al, 2003).



Слика 4. Неке од употреба берилијума у производњи уређаја и предмета
<https://www.samaterials.com/content/the-application-of-beryllium-in-missiles.html>
<https://www.thoughtco.com/physical-properties-of-beryllium-copper-2340165>

ТОКСИКОКИНЕТИКА И ТОКСИКОДИНАМИКА МЕТАЛА

Метали, доспевши у организам, својим физичко-хемијским својствима изазивају промене и бројна оштећења структура или функција једног или више органа или органских система. У организам се, на различите начине, може унети већа количина метала, одједном, или у краћим временским размацима – акутно тровање, или као низ мањих количина током дужег временског периода – хронично тровање металима (Ковачевић и сар., 2009).

Продирање метала из спољашње средине у ћелије и ткива, до места њиховог деловања и испољавања токсичних ефеката, сложен је процес који укључује три фазе:

1. Фаза експозиције – контакт са металом из спољашње средине;
2. Фаза токсикокинетике – апсорпција, дистрибуција, депозиција, дезинтеграција, трансформација и елиминација токсиканта;
3. Токсикодинамичка фаза (испољавање штетних ефеката деловања).

Са клиничког аспекта, тровања металима се могу поделити на акутна, субакутна и хронична. У професионалним условима акутна тровања су ретка и јављају се при хаваријама, када се за кратко време у организам унесу веће количине отрова. Много чешћа су хронична професионална тровања. Метали у организам доспевају инхалацијом, ингестијом, или преко коже. У професионалним условима инхалација и апсорпција преко слузокоже дисајних путева представља доминантан пут уласка токсина. Токсични ефекти метала могу се испољити на месту контакта, или се, након апсорпције, испољавају као системска болест (Ковачевић и сар., 2005).

Плућа имају велику ресорптивну површину, брз проток крви и малу дифузиону дистанцу. Већина хемијских супстанци, тако и метали, везује се у циркулацији за протеине плазме, пре свега албумин. Излучивање метала из организма одвија се на више начина: издахнутим ваздухом, урином, преко жучи фецесом, преко млечних жлезда и уграђивањем у длаке и нокте. Уринарна и билијарна екскреција су доминантни пут излучивања метала из тела човека, а остали путеви излучивања су мање важни. Излучивање преко млечних жлезда од токсиколошког је значаја за мајке дојиле (Ковачевић и сар, 2005).

ТРОВАЊЕ БЕРИЛИЈУМОМ

Берилијум је метал који проузрокује грануломатозну реакцију. Она се на кожи манифестује појавом екзематозног дерматитиса, а на месту где је метал депонован јавља се безболна улцерација. Зарашћивање ових улцерација је могуће само после ексцизије метала. У респираторном тракту се јављају симптоми пре-надражености горњих респираторних путева и плућни едем. Хронична изложеност берилијуму проузрокује хроничну плућну грануломатозу која се завршава плућном фиброзом. Лечење се спроводи кортикостероидима, али се добијају само пролазна побољшања (Varagić & Milošević, 2018).

Извори експозиције берилијумом су аутомобилска, авионска, космичка, електронска и војна индустрија. Главни пут уноса берилијума у организам јесте инхалација. Унос преко гастроинтестиналног система и коже је безначајно. Након инхалације већи део метала се фиксира у плућима, где може да перзистира дуже време. Део берилијума који пређе у циркулацију се транспортује везан за протеине плазме и највећим делом се дистрибуира у јетру, бубреге и кости. Највећи део берилијума се елиминише фецесом, а мањи део преко бубрега урином. Биолошко полувреме задржавања у телу је дуго због депоновања берилијума у скелетном систему и плућима, а у урину се може детектовати и 20 година након прекида експозиције (Arandelović & Jovanović, 2009).

Сматра се да је механизам токсичног деловања берилијума алергогене природе, чему иду у прилог и позитивни кожни тестови на овај метал, по типу касне преосетљивости. Истраживања показују да се везивањем берилијума за ткивне протеине стварају антигени који покрећу имунолошку реакцију, при чему настају аутоагресија (аутоимуне болести, када сам организам напада сопствене ћелије) и оштећења плућа и других ткива и органа. Хронична алергијска реакција плућа назива се берилиоза. Развој ове болести зависи и од индивидуалне осетљивости на берилијум – код 2 % изложених радника се развија плућна реакција. Берилијум инхибира репликацију и пролиферацију ћелија, пошто инхибиторно делује на ензиме који учествују у метаболизму нуклеинских киселина. Такође, он ремети метаболизам фосфата, смањујући активност важних ензима, посебно алкалне-фосфатазе – јон берилијума је некомпетитивни инхибитор алкалне-фосфатазе. Растворљива једињења берилијума

(флуориди, сулфати, хлориди) испољавају иритативне ефекте на кожи и слузокожама (Arandelović & Jovanović, 2009).

Доказано је да берилијум доводи до оштећења (Varagić & Milošević, 2018):

- Плућа (запаљенске и фиброзне промене са или без гранулома);
- Јетре (дегенерација и некроза хепатоцита);
- Коже (дерматитис, улкуси/чиреви и грануломи у кожи);
- Ока (конјунктивитис, блефаритис);
- Коре надбубрега;
- Хематопоезног система (појава анемије);
- Кости (остеосклероза костију карлице).

БЕРИЛИЈУМСКА БОЛЕСТ

Акутна и хронична берилијумска болест (берилиоза) настаје удисањем прашине или испарења из производа који садрже берилијум. Изложеност берилијуму је чест, али недовољно препознат узрок болести људи који раде у многим индустријским гранама. Будући да су и мале количине берилијума токсичне, а додају се многим легурама бакра, алуминијума и никла, радници често нису ни свесни експозиције и ризика (Abigail, 2023).

Акутна берилиоза данас је ретка, јер је у индустрији смањена експозиција, а за хроничну је карактеристично стварање гранулома по читавом телу. Гранулом је бенигна израстлина на кожи или слузокожи, врста упалног одговора, коју карактерише акумулација макрофага, специјализованих белих крвних зрнаца. То се посебно дешава у плућима, унутар-торакалним лимфним чворовима, као и на кожи оболеле особе. Медицински, акутна берилиоза је хемијски пнеумонитис настао удисањем честица берилијума. То доводи до дифузне упалне инфилтрације паренхима и неспецифичног унутар-алвеоларног едема плућа. Друга ткива, попут коже, такође могу бити угрожена. Од 1940. до 1970. године било је забележено много случајева ове болести (Abigail, 2023).

Хронична берилиоза узрокује прогресивну диспнеју (поремећај дисања), кашаљ, умор, ноћно знојење и мршављење. Симптоми болести се могу развити у року од неколико месеци од прве експозиције, али и након више од 30 година од ње. Код неких пацијената уопште нема симптома. Дијагноза се заснива на радној анамнези, тесту берилијумске пролиферације лимфоцита и биопсији, а ради се и рендгенски снимак плућа (Слика 5) и/или ЦТ скенер торакса (грудног коша). Како је већ наведено, ова болест лечи се применом кортикостероида (Abigail, 2023).



Слика 5. Рендгенски снимак грудног коша пацијента са хроничном берилијумском болешћу, који приказује дифузне фибронодуларне инфилtrate и истакнуте хилусе

<https://www.iloencyclopaedia.org/part-i-47946/respiratory-system/item/414-beryllium-disease>

Хронична берилиоза представља и даље честу болест у индустријама у којима се користе берилијум и његове легуре. Т-ћелије у крви, плућима или другим органима препознају берилијум, пролиферишу и стварају клонове Т-ћелија. Ови клонови потом ослобађају проинфламаторне цитокине, као што су фактор некрозе тумора-алфа (TNF- α), интерлеукин-2 и интерферон- γ . Цитокини појачавају имунски одговор организма, што резултује стварањем мононуклеарних ћелијских инфилтрата и гранулома у циљним органима у којима се таложи берилијум. У просеку, око 2–6 % људи изложених берилијуму развије преосетљивост на берилијум, што се детектује позитивном пролиферацијом лимфоцита на стимулацију солима берилијума *in vitro*. Радници који обрађују метални берилијум и учествују у производњи легура припадају високоризичној групи и имају преваленцију хроничне берилиозе већу од 17 %. Радници који нису у директном контакту, а ипак су изложени берилијуму, такође могу развити преосетљивост на берилијум и берилиозу, али знатно ређе (Abigail, 2023).

Превентивне мере заштите у раду од берилијумске болести подразумевају смањење експозиције берилијуму, односно смањење контакта са индустријском прашином, што подразумева сузбијање аерозагађења и обезбеђење повољних микроклиматских услова при раду – адекватна вентилација просторија и заштитна опрема. Медицинске мере превенције спроводи служба локалне медицине рада, путем насумичних, периодичних и циљаних прегледа радника. То доприноси правовременом лечењу оболелих, као и спречавању здравствених компликација, које узрокују привремену неспособност човека за рад, али могу довести и до трајне инвалидности радника (Bulat i sar., 2014).

ДА ЛИ ЈЕ БЕРИЛИЈУМ КАНЦЕРОГЕН?

Епидемиолошке студије указују на повећан ризик од рака плућа код испитаника професионално (из радног окружења) изложених берилијуму или једињењима берилијума. Повезаност са раком плућа је примећена код свих група радника изложених берилијуму, са релативним ризиком од 1,2 до 1,6. Групе са већом изложеношћу, или дужим временом од прве изложености, показали су веће ризике, што подржава узрочно-последичну везу. Акутни берилијумски пнеумонитис, маркер за високу изложеност берилијуму и његовим једињењима, повезан је са вишим стопама рака плућа (са релативним ризиком и до 2,3). Зато Међународна агенција за истраживање рака (<https://www.iarc.who.int/>) класификује берилијум као канцероген Групе 1 (канцерогени за људе), а Национални токсиколошки програм (NTP) САД (<https://ntp.niehs.nih.gov/>) наводи берилијум као познати канцероген за људе (NTP, 2021).

ЗАКЉУЧАК

Берилијум је реактиван елемент малог атомског радијуса који се природно не налази у биолошким системима и нема биолошку функцију. Због својих јединствених карактеристика, значајан је елемент у различитим индустријама, тако да производња великог броја савремених корисних машина и уређаја не би могла да се замисли без његове употребе. Зато је берилијум уврштен у САД на листу стратешких сировина. Међутим, због своје високе токсичности, може и при малим дозама изазвати акутну или хроничну берилијумску болест. Такође, потврђена је и његова канцерогеност. Ипак, уз одређене превентивне мере, које укључују смањење експозиције берилијумом код радника у индустријама у којима се користи, као и њихове редовне систематске лекарске прегледе, могућа је његова безбедна примена.

Напомена: Овај рад је проистекао из семинарског рада („Токсиколошки профил берилијума”) на изборном предмету Токсиколошка биохемија. Хвала предметном наставнику, в. проф. др Милану Николићу, на помоћи у обликовању текста овог рукописа.

Abstract

BERYLLIUM: A LIGHT METAL OF HEAVY CONSEQUENCES

Jelisaveta RESAN, University of Belgrade –
Faculty of Chemistry

Beryllium is a chemical element of considerable importance in science and industry, although it is relatively rare in nature. This lightweight yet exceptionally strong metal possesses unique physical and chemical properties, which have enabled its application in modern technologies, including the aerospace and space industries. On the other hand, the toxicity of beryllium represents a significant health and environmental challenge, making the study of its toxicokinetics and toxicodynamics important in the fields of medicine and occupational health and safety. This paper aims to present the fundamental characteristics of beryllium, its applications, and the risks associated with exposure to this element.

Keywords: beryllium, metal, uses of beryllium, acute and chronic berylliosis

ЛИТЕРАТУРА

- Abigail, R. L. (2023) *Berilioza*. Retrieved September 7, 2025. From <https://hemed.hr/Default.aspx?sid=14560>
- Arandelović, M., & Jovanović, J. (2009). Agensi hemijske prirode. *Medicina rada* (pp. 113–115). Niš: Medicinski fakultet, Niš.
- Bulat, P., Milačić, S., Milovanović, A., Pavlović, M., Torbica, N., & Vešović, D. (2014). Profesionalne bolesti organa za disanje. Vidaković, A., urednik. *Osnovi medicine rada* (pp. 112–125). Beograd: Medicinski fakultet, Centar za izdavačku, bibliotečku, informacionu i fotofilmsku delatnost.
- Gažević, N. (1970). *Vojna Enciklopedija – drugo izdanje*. Beograd: Vojnoizdavački zavod.
- Kovačević, R., Milačić, S., Jovičić, D., & Tanasković, I. (2005). Savremeni aspekti patogenetskih mehanizama delovanja metala na ljudski organizam tokom profesionalne ekspozicije. *Zaštita materijala*, 46 (1), 51–54.
- NTP – National Toxicology Program. (2021). *Beryllium and Beryllium Compounds*. 15th Report on Carcinogens. <https://doi.org/10.22427/NTP-OTHER-1003>
- Taylor, T. P., Ding, M., Ehler, D. S., Foreman, T. M., Kaszuba, J. P., & Sauerm, N.N. (2003). Beryllium in the environment: a review. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 38 (2), 439–469. <https://doi.org/10.1081/es-120016906>
- Varagić, V. M., & Milošević, M. P. (2018). Principi toksikologije. Todorović, Z., urednik. *Farmakologija – XXIV izdanje* (str. 705). Beograd: Dinex – Medika Graf. COBISS-ID: 14333705



ВЕСТИ ИЗ СХД

ИЗВЕШТАЈ О ОДРЖАНОМ 60. РЕПУБЛИЧКОМ ТАКМИЧЕЊУ ИЗ ХЕМИЈЕ ЗА УЧЕНИКЕ ОСНОВНИХ ШКОЛА

Републичко такмичење из хемије за ученике основних школа, у организацији Министарства просвете и Српског хемијског друштва, одржано је од 22. до 24. маја 2026. године на Универзитету у Београду – Хемијском факултету. На такмичењу је учествовало 128 ученика 7. разреда и 122 ученика 8. разреда.

На отварању такмичења, 22. маја, присутнима су се, поред председника Републичке комисије и координатора такмичења, обратили проф. др Игор Опсеница, потпредседник Српског хемијског друштва, в. проф. Божидар Чобелић, продекан за финансије Хемијског факултета, и Анђа Милојевић испред Волонтерског центра студената Хемијског факултета. Ученици VI београдске гимназије и њихова професорка Драгана Бранковић Срзић на отварању такмичења извели су представу под називом Ромео и Јулија, праћену тумачењем понашања ликова са аспекта хемије.

Првог дана такмичења, 23. маја, сви ученици седмог и осмог разреда су решавали тест за одговарајући разред. Због преклапања датума Републичког такмичења из хемије са Републичким такмичењем из српског језика, за 22 такмичара (14 ученика седмог и 8 ученика осмог разреда) израда теста је организована у Тршићу, где се одржавало такмичење из српског језика. Тест из хемије се у Тршићу радио у исто време када и на Хемијском факултету у Београду, под надзором три члана Републичке комисије.

На основу остварених резултата на тесту, на израду практичне вежбе пласирало се укупно 32 ученика седмог разреда и 30 ученика осмог разреда. Ти ученици су радили практичну вежбу другог дана такмичења, 24. маја, у лабораторијама Хемијског факултета у Београду.

Затварању такмичења и додели диплома, 24. маја, присуствовала је проф. др Мелина Калагасидис Крушић, председница Српског хемијског друштва. Укупно је додељена 61 диплома Српског хемијског друштва.

Домаћин такмичења, Универзитет у Београду – Хемијски факултет обезбедио је одличне услове за реализацију такмичења и пуну подршку за све припремне активности, као и активности током такмичења.

Републичку комисију су чинили:

1. др Весна Милановић Маштраповић, председник
2. др Милош Милчић, координатор
3. др Рада Баошић
4. др Биљана Томашевић
5. др Тамара Рончевић
6. др Саша Хорват
7. др Милан Николић
8. др Александар Ђорђевић
9. др Сања Коканов
10. Небојша Радовић, дипломирани хемичар
11. др Александар Лолић
12. др Весна Медаковић
13. др Драгица Тривић
14. др Карла Милчић
15. др Јована Арашковић
16. др Предраг Ристић
17. др Милица Радибратовић
18. др Драган Нинковић
19. др Стефан Ивановић
20. др Кристина Радиновић
21. Слађана Савић, мастер хемичар
22. Алекса Визи, мастер хемичар
23. Павле Стојковић, мастер хемичар
24. Михајло Кулизић, мастер хемичар
25. Милан Станковић, мастер хемичар

У прилогу овог извештаја налазе се табеле са подацима о награђеним ученицима 7. и 8. разреда.

Доц. др Весна Милановић Маштраповић

Табела 1. Награђени ученици 7. разреда

Број	Презиме и име ученика	Основна школа	Место школе	Презиме и име наставника	Округ	Тест	Векба	Збир	Шифра	Нормирање	Награда	Место
1	Константин Тојчић	Ваљевска гимназија	Ваљево	Маријана Митровић	Колубарски	62	29.5	91.5	KOA167	100.0	I	Прво
2	Пантовић Павле	Вук Караџић	Чаџац	Рајковић Јасна	Моравички	63.5	25	88.5	PBJ238	96.7	I	Друго
3	Пајевић Јована	ОШ „Јанко Веселиновић“	Београд-Вождовац	Гордана Биочанин	Београд-Југ	60.5	22.5	83	JHX123	90.7	I	Треће
4	Николић Јован	Јован Курцула	Варварин	Владимир Вучковић	Расински	64.5	18	82.5	077HCD	90.2	I	
5	Блажуша Невена	Клетина Милана	Нови Београд	Данијела Чепић	Београд-Запад	54.5	27.5	82	XEM027	89.6	II	
6	Матијевић Уна	Математичка гимназија	Београд	Јојич Светлана	Београд-Центар	65.5	15	80.5	УМБ074	88.0	II	
7	Бужић Павле	Прва обреновачка	Обреновац	Новитовић Маријана	Београд-Центар	51	29	80	XEM202	87.4	II	
8	Алић Андреј	Математичка гимназија	Београд	Јојич Светлана	Београд-Центар	57	21.5	78.5	СКВ119	85.8	II	
9	Цвијић Срђан	ОШ „Михајло Петровић Алис“	Београд	Пашћ Маријана	Београд-Центар	49.5	29	78.5	СРЦ858	85.8	II	
10	Ристић Јован	Математичка гимназија	Београд	Јојич Светлана	Београд-Центар	56	22	78	XEM094	85.2	II	
11	Петковић Алекса	Јован Стерија Поповић	Нови Београд	Јовић Невена	Београд-Запад	48.5	27.5	76	АКИ720	83.1	II	
12	Веселиновић Стефан	Владимир Роловић	Београд	Јовановић Јелена	Београд-Исток	56.5	19	75.5	314ФММ	82.5	II	
13	Гавриловић Лука	Живадин Апостоловић	Трстеник	Величковић Милена	Расински	50	25	75	ГAB585	82.0	II	
14	Поптешин Богдан	ОШ "Светозар Милетић"	Врбас	Делибашић Магдалена	Јужнобачки	52.5	22	74.5	ЦВМ690	81.4	II	
15	Маринко Мина	Мајка Југовића	Београд	Ракић Гордана	Београд-Запад	56	18	74	МИН143	80.9	II	
16	Станковић Димитрије	Јован Поповић	Крушевац	Радмановац Дејан	Расински	49.5	24.5	74	ДНТ169	80.9	II	
17	Илић Теодора	Раде Драинац	Борча	Алауковић Биљана	Београд-Југ	54	19.5	73.5	ТУФ0677	80.3	II	
18	Костић Лазар	Прва крагујевацка гимназија	Крагујевац	Симић Сања	Шумадијски	46	27.5	73.5	ЛКИ0012	80.3	II	
19	Ружић Филип	ОШ „Јелена Ђетковић“	Београд	Александра Ђеић	Београд-Југ	49.5	23	72.5	ФДШ678	79.2	II	
20	Галић Лука	Математичка гимназија	Београд	Јојич Светлана	Београд-Центар	48.5	23	71.5	XEM157	78.1	II	
21	Шаљих Зејд	ОШ "Братство" Нови Пазар	Нови Пазар	Елмира Угљанин	Рашки	56.5	15	71.5	3С3097	78.1	II	
22	Ракић Алиса	ОШ „Иван Горан Ковачић“	Београд	Биљана Тадић	Београд-Југ	48	22	70	АЈР142	76.5	III	
23	Давид Динићтер	"Маршал Тито"	Падина	Јано Сабо	Јужнобачки	46	22.5	68.5	ДПО100	74.9	III	
24	Павловић Ника	Математичка гимназија	Београд	Јојич Светлана	Београд-Центар	48.5	19	67.5	НПД777	73.8	III	
25	Николић Јована	ОШ „Јанко Веселиновић“	Београд-Вождовац	Гордана Биочанин	Београд-Југ	46.5	20	66.5	ЈНК573	72.7	III	
26	Дугина Марко	Владислав Рибникар	Београд	Наташа Даниловић	Београд-Исток	48	17.5	65.5	ТМН121	71.6	III	
27	Цикароски Стеван	Светозар Марковић	Београд	Снежана Стојановић Јовановић	Београд-Исток	48.5	17	65.5	СПЦ133	71.6	III	
28	Ковач Богдан	Бановић Страхња	Београд	Граховић Дијана	Београд-Исток	48	17	65	БОР190	71.0	III	
29	Матић Никола	Бошко Палковиљевић Пинки	Сремска Митровица	Вана Холоба	Сремски	48	17	65	СРМ012	71.0	III	
30	Карматских Андреј	Светозар Марковић	Београд	Снежана Стојановић Јовановић	Београд-Исток	47.5	15.5	63	АНД353	68.9	III	
31	Васковић Лука	ОШ "Ђура Јаничић"	Београд-Вождовац	Вера Стојисављевић	Београд-Југ	46	16.5	62.5	АНН567	68.3	III	
32	Вурић Лука	ОШ „Слободан Секулић“	Ужице	Корадиновић Мирјана	Златиборски	46	14.5	60.5	ЛКА616	66.1	III	

Табела 2. Награђени ученици 8. разреда

Број	Презиме и име ученика	Основна школа	Место школе	Презиме и име наставника	Округ	Тест	Везба	Шифра	Укупно	Нормирано	Награда	Место
1	Јевремовић Коста	ОШ „Јанко Веселиновић“	Београд-Вокловац	Гордана Биочанин	Београд-Југ	62.5	30	ПТК676	92.5	100.0	I	Прво
2	Момчиловић Лука	Коста Вујић	Београд	Холек Ана-Андреа	Београд-Запад	62.5	28	ТЛТ890	90.5	97.8	I	Друго
3	Александрић Виктор	Математичка гимназија	Београд	Јошић Светлана	Београд-Центар	60.5	29.5	ЖТ103Е	90	97.3	I	Треће
4	Мијатовић Ђорђе	Уједињене нације	Београд	Козић Милош	Београд-Исток	54	30	ПЕП532	84	90.8	I	
5	Станић Петар	Бранко Радичевић	Смедерев	Ранковић Слађана	Подунавски	58.5	25	ЦЗВ026	83.5	90.3	I	
6	Ивановић Маја	ОШ "Тегефи Шандор"	Нови Сад	Родић-Рончевић Сања	Јужнобачки	53	29	МАТ883	82	88.6	II	
7	Максић Андреј	Илија Гаршанин	Гроцка	Обрадовић Ланка	Београд-Центар	53	27.5	АМР410	80.5	87.0	II	
8	Марашевић Андреа	Уједињене нације	Београд	Козић Милош	Београд-Исток	49	30	АНМ137	79	85.4	II	
9	Дробњаковић Лука	ОШ „Стари град“	Ужиче	Куљанин Оливера	Златиборски	48	30	ЦЗВ375	78	84.3	II	
10	Стефан Костић	ОШ „Христо Ботев“	Димитровград	Сосолов Миленка	Пиротски	50	27	СЗК744	77	83.2	II	
11	Мађар Дора	ОШ "Светозар Марковић"	Банско Градиште	Чорба Ева	Јужнобачки	48.5	28.5	ДОР244	77	83.2	II	
12	Милићевић Ана	ОШ "IV краљевачки батаљон" Краљево	Краљево	Светлана Керечки	Рашки	48	29	АОМ1Н2	77	83.2	II	
13	Билановић Драго	Младост	Београд	Јелена Мушић	Београд-Запад	47	30	ВУН454	77	83.2	II	
14	Реља Станићевић	Валеvsка гимназија	Валево	Славица Милић	Колубарски	50	26.5	РСТ089	76.5	82.7	II	
15	Пашећ Сара	Посавски партизани	Обреновац	Кунић Јасминка	Београд-Центар	49	27.5	СП0538	76.5	82.7	II	
16	Стевановић Јаков	Прва крагујевачка гимназија	Крагујевац	Симић Сања	Шумадијски	49	27.5	ЈМС625	76.5	82.7	II	
17	Вујић Василије	Др Јован Цвијић	Смедерев	Станковић Јелена	Подунавски	47.5	27.5	ВВС180	75	81.1	II	
18	Вуковић Јана	ОШ „Крафторђе“	Београд-Вокловац	Стежана Илић Јанковић	Београд-Југ	47	28	СМТ646	75	81.1	II	
19	Макојловић Јована	ОШ "Махајло Петровић Алас"	Београд	Пашећ Мирјана	Београд-Центар	45	30	КЈЕ221	75	81.1	II	
20	Угљанин Татјана	Јован Миодраговић	Београд	Сања Шушњар	Београд-Исток	47.5	26	ААА111	73.5	79.5	II	
21	Николић Лука	Старина Новак	Београд	Јошић Светлана	Београд-Југ	44.5	28.5	КАЈ011	73	78.9	II	
22	Радвановић Магдалена	ОШ „Свети Сава“	Бајина Башта	Крстић Стежана	Златиборски	44.5	28.5	МАТ127	73	78.9	II	
23	Максимовић Екатарина	Савремена	Нови Београд	Милосављевић Кристина	Београд-Запад	45.5	26.5	АГЦ108	72	77.8	III	
24	Чикирић Борис	Младост	Београд	Јелена Мушић	Београд-Запад	51.5	20	ХБВ104	71.5	77.3	III	
25	Бајић Анастасија	ОШ „1300 каплара“	Београд	Рената Ђокић	Београд-Југ	47	22	АВА123	69	74.6	III	
26	Војновић Петар	Радоје Домановић	Нови Београд	Мазалица Душица	Београд-Запад	46	20	ХДР888	66	71.4	III	
27	Чеприја Ана	"Слободан Савковић"	Стари Бановци	Нела Родић	Сремски	48.5	16	АНН355	64.5	69.7	III	
28	Дуњић Катарина	Петар Кочић	Београд	Вушковић Драгана	Београд-Запад	49	15	БГ3049	64	69.2	III	
29	Радосевић Јарослав	ОШ "Краљ Петар Први"	Београд	Славић Зора	Београд-Центар	45	19	ЕРТ198	64	69.2	III	

ИЗВЕШТАЈ СА 60. РЕПУБЛИЧКОГ ТАКМИЧЕЊА ИЗ ХЕМИЈЕ ЗА УЧЕНИКЕ СРЕДЊИХ ШКОЛА

Републичко такмичење из хемије за ученике средњих школа, у организацији Министарства просвете, науке и технолошког развоја и Српског хемијског друштва, одржано је на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду од 15. до 17. маја 2026. године. На такмичењу су у категорији Тест и експерименталне вежбе учествовала 52 ученика 1. разреда, 46 ученика 2. разреда и 63 ученика 3. и 4. разреда. У категорији Тест и самостални истраживачки рад такмичила су се два ученика 1. и 2. разреда и три ученика 3. и 4. разреда.

На отварању такмичења, 15. маја у 19 часова, у Великом амфитеатру Технолошко-металуршког факултета, присутним ученицима и наставницима обратили су се продеканка за наставу Технолошко-металуршког факултета, др Сања Јевтић, председница Српског хемијског друштва, др Мелина Калагасидис Крушић, и председник Републичке комисије, др Милош Пешић. Након тога су студенти Технолошко-металуршког факултета, Оливера Југовић, Анђелија Јовановић и Филип Гаус, извели неколико занимљивих хемијских експеримената.

У време израде теста, наставницима се обратила др Сања Јевтић, продеканка за наставу Технолошко-металуршког факултета. Чланови Комисије и председница СХД су са наставницима разговарали о радној верзији Правилника о такмичењу, који се као такав налази на сајту СХД већ дуже од месец дана, те су сви имали увид у њега. Наставници су изнели своје идеје, сугестије и проблеме. Заједно су дошли до јединственог става који ће бити имплементиран у Правилник. Потом су наставницима, председница Српског хемијског друштва, др Мелина Калагасидис Крушић, и потпредседници, др Игор Опсеница и др Александра Дапчевић, указали на неопходност интензивније сарадња Друштва и наставника ради бољег сагледавања положаја наставника хемије и самог предмета хемија. Вођен је конструктиван разговор у коме су изнети проблеми са којима се наставници сусрећу, али и неке идеје за превазилажење истих.

Након израде теста, део Републичке комисије их је детаљно прегледао и саопштио прелиминарне резултате. На основу резултата теста, 50 ученика се пласирало на други, експериментални, део такмичења (16 ученика 1. разреда, 15 ученика 2. разреда и 19 ученика 3. и 4. разреда).

Првог такмичарског дана, након теста, одржана је и одбрана самосталних истраживачких радова пред делом Републичке комисије. Експерименталне вежбе, у трајању од четири сата, одржане су другог такмичарског дана (17. мај).

На основу збирних резултата остварених на тесту и практичној вежби формирана је коначна ранг-листа ученика, а најуспешнијим су уручене награде које су обезбедили Српско хемијско друштво и Технолошко-металуршки факултет. Након доделе награда, ученике и њихове наставнике су поздравили деканка Технолошко-металуршког факултета, др Мирјана Кијевчанин, и председница Српског хемијског друштва, др Мелина Калагасидис Крушић.

Целокупна реализација такмичења је успешно изведена према свим планираним активностима.

Републичку комисију на овогодишњем 60. републичком такмичењу ученика средњих школа из хемије чинили су:

1. др Милош Пешић, председник
2. др Александра Маргетић, координатор
3. др Гордана Крстић
4. др Душан Сладић
5. др Душан Димић
6. др Душан Маленов
7. др Ивана Јевтић
8. др Јелена Роган
9. др Јелена Лађаревић
10. др Александра Дапчевић
11. Бранислав Кокић
12. Наталија Милојковић
13. Душан Трајковић
14. Никола Фишић

У прилогу овог извештаја налазе се табеле са подацима о награђеним ученицима.

Београд, 20. мај 2026.

Координатор Републичке комисије

др Александра Маргетић

Табела 1. Награђени ученици 1. разреда у категорији Тест и експерименталне вежбе

№	Име	Презиме	Разред	Школа	Место	Ментор или предметни професор	Поени					Награде
							Тест		Експеримент			
							Σ	Кориговано	Квалитета анализа	Квантитативна анализа	Укупно Σ	
1	Петар	Шекарић	I	Пета београдска гимназија	Београд	Меланија Ђошић	45.50	63.7	15.0	11.0	89.7	I
2	Софија	Полидица	I	Гимназија	Чачак	Неда Југовић	42.00	58.8	15.0	15.0	88.8	II
3	Андреј	Богдановић	I	Земунска гимназија	Београд	Страхиња Милојевић	50.00	70.0	13.5	5.0	88.5	II
4	Ива	Рудић	I	Шабачка гимназија	Шабач	Дејан Јовић	41.50	58.1	7.5	15.0	80.6	III
5	Матеја	Радета	I	Математичка гимназија	Београд	Ивана Вуковић	38.00	53.2	13.5	12.0	78.7	похвалница
6	Теодора	Туцо	I	Гимназија "Јован Јовановић Змај"	Нови Сад	Мирјана Радановић	33.00	46.2	15.0	13.0	74.2	похвалница

Табела 2. Награђени ученици 2. разреда у категорији Тест и експерименталне вежбе

№	Име	Презиме	Разред	Школа	Место	Ментор или предметни професор	Поени				Награде	
							Тест		Експеримент			
							Σ	Кориговано	Квалитета анализа	Квантитативна анализа		
												Укупно
Σ	Кориговано	Квалитета анализа	Квантитативна анализа	Укупно								
1	Милош	Симић	II	Пета београдска гимназија	Београд	Исидора Богетић	50.75	70.0	15.0	12.0	97.0	I
2	Филип	Килибарда	II	Математичка гимназија	Београд	Ивана Вуковић	49.00	67.6	15.0	14.0	96.6	I
3	Уна	Вуладиновић	II	Математичка гимназија	Београд	Ивана Вуковић	48.75	67.2	7.5	10.0	84.7	III
4	Петар	Алабурић	II	Математичка гимназија	Београд	Аника Влајић	38.50	53.1	12.5	15.0	80.6	III
5	Андреј	Самарић	II	Математичка гимназија	Београд	Аника Влајић	39.00	53.8	15.0	9.0	77.8	похвалница
6	Страхиња	Бајић	II	Четврта гимназија у Београду	Београд	Драгана Анђелковић	40.00	55.2	5.0	15.0	75.2	похвалница

Табела 3. Награђени ученици 3. и 4. разреда у категорији Тест и експерименталне вежбе

№	Име	Презиме	Разред	Школа	Место	Ментор или предметни професор	Поени				Награде	
							Тест		Експеримент			
							Σ	Кориговано	Квалитета анализа	Квантитативна анализа		
												Укупно
1	Андреј	Дробњаковић	IV	Математичка гимназија	Београд	Ивана Вуковић	53.00	70.0	15.0	11.0	96.0	I
2	Сара	Букочич	III	Тринаеуста београдска гимназија	Београд	Слађана Делић	51.00	67.4	15.0	12.0	94.4	II
3	Тамира	Беркесел	III	Гимназија „Јован Јовановић Змај“	Нови Сад	Мирјана Радановић	49.00	64.7	15.0	13.0	92.7	II
4	Урош	Божовић	IV	Пета београдска гимназија	Београд	Весна Новковић	42.50	56.1	15.0	12.0	83.1	III
5	Ирина	Алмилјевић	III	Математичка гимназија	Београд	Аника Влајић	43.00	56.8	15.0	11.0	82.8	III
6	Васа	Сарић	III	Девета гимназија „Михаило Петровић Алас“	Београд	Игор Матијашевић	42.00	55.5	11.0	12.0	78.5	похвалница

Табела 4. Награђени ученици 1. и 2. разреда у категорији Тест и самостални истраживачки рад

№	Име	Презиме	Разред	Школа	Место	Ментор или предметни професор	Поени				Награде	
							Σ	Кориговано	Израда рада	Одбрана рада		
1	Катарина	Церовић	II	Тринаеаста београдска гимназија	Београд	Жељко Гапин	27.5	24.8	20	19	63.8	I

Табела 5. Награђени ученици 3. и 4. разреда у категорији Тест и самостални истраживачки рад

№	Име	Презиме	Разред	Школа	Место	Ментор или предметни професор	Поени				Награде
							Σ	Кориговано	Израда рада	Одбран а рада	
1	Искра	Васиљевић	III	Гимназија Краљеви Краљево	Сања Манић	32	28.8	22	22	72.8	I
2	Никола	Николић	III	Гимназија Пирот	Бранкица Савић	27	24.3	20	21	65.3	II

ИЗВЕШТАЈ СА 11. СРПСКЕ ХЕМИЈСКЕ ОЛИМПИЈАДЕ

11. Српска хемијска олимпијада одржана је од 29. до 31. маја 2026. године на Хемијском факултету Универзитета у Београду. На овом такмичењу учествовали су најуспешнији ученици са овогодишњег републичког такмичења, и то најбољих десеторо такмичара, ученика трећег и четвртог разреда, као и најбољих двоје такмичара, ученика другог разреда. Овогодишња Српска хемијска олимпијада састојала се из три практична и осам теоријских задатака, а сваки део такмичења трајао је по пет сати. У наставку наводимо коначне резултате такмичења.

11. Српска хемијска олимпијада представља изборно такмичење за 58. Међународну хемијску олимпијаду, која ће се одржати од 10. до 19. јула у Ташкенту (Узбекистан). Тим Србије на овом најпрестижнијем међународном такмичењу из хемије чиниће четворо најуспешнијих такмичара – Андреј Дробњаковић, Ирина Алимпијевић, Марко Бранковић и Филип Килибарда, док је Вања Сарић резерва.

Комисију Српске хемијске олимпијаде предводе ментори Србије на 58. Међународној хемијској олимпијади – проф. Душан Сладић и др Душан Маленов са Хемијског факултета, док су остали чланови Комисије били др Милош Пешић (Хемијски факултет), др Гордана Крстић (Хемијски факултет), др Данијела Кретић (Хемијски факултет), Бранислав Кокић (Фармацеутски факултет), Никола Фишић (Факултет за физичку хемију) и Душан Трајковић (Иновациони центар Технолошко-металуршког факултета).

Изабраном тиму Србије, њиховим менторима и наведеним члановима Комисије предстоје припреме за 58. Међународну хемијску олимпијаду, које се у организацији Српског хемијског друштва одржавају од 22. јуна до 5. јула на Хемијском факултету у Београду. Припреме и учешће Србије на овом такмичењу су финансијски подржани од стране Нафтне индустрије Србије и Министарства просвете Републике Србије.

Доц. др Душан Маленов

Награда	Име и презиме	Школа	Ментор
I	Андреј Дробњаковић	Математичка гимназија у Београду	Ивана Вуковић
II	Ирина Алимпијевић	Математичка гимназија у Београду	Аника Влајић
II	Марко Бранковић	Гимназија „Бора Станковић” у Нишу	Љиљана Миладиновић
III	Филип Килибарда	Математичка гимназија у Београду	Ивана Вуковић
III	Вања Сарић	Девета гимназија „Михаило Петровић Алас” у Београду	Игор Матијашевић
III	Петар Минић	Гимназија „Светозар Марковић” у Нишу	Наташа Војиновић Атанасковић
III	Тамара Беркесел	Гимназија „Јован Јовановић Змај” у Новом Саду	Мирјана Радановић
похвалница	Урош Божовић	Пета београдска гимназија	Весна Нововић
	Сара Буковчић	Тринаеста београдска гимназија	Слађана Делић
	Милош Вербић	Математичка гимназија у Београду	Аника Влајић
	Димитрије Кузмановић	Гимназија „Бора Станковић” у Нишу	Сандра Стојановић
	Милош Симић	Пета београдска гимназија	Исидора Богетић