

■ Pregledni znanstveni članek

Branimir Leskošek, Polonca Ferik

Nacionalna raziskovalna infrastruktura Središča ELIXIR-SI: pregled in odmevnost laboratorijskih in (bio)informacijskih storitev

Povzetek. Kohezijski infrastrukturni projekt ELIXIR-SI RI-SI-2 je omogočil nadgradnjo nacionalne raziskovalne infrastrukture (RI) ELIXIR-SI za vede o življenju. Infrastruktura RI Središča ELIXIR-SI (<https://elixir-slovenia.org>) sedaj obsega (1) nacionalno podatkovno vozlišče za področje ved o življenju, (2) osrednji laboratorij za sekvenciranje naslednje generacije in laboratorij za posameznocelične analize ter (3) središče za izobraževanje s področja ravnanja s podatki, bioinformatike in laboratorijskih delotokov. Izvajamo mnoge laboratorijske in bioinformacijske analize z uporabo ustreznih orodij in storitev. Optimizirali smo vse korake več eksperimentalnih delotokov (pridobivanje vzorcev, priprava in izvedba laboratorijskega dela, preverjanje kakovosti, bioinformacijska analiza). Z generiranimi podatki se ravna v skladu z določili odprte znanosti in načeli FAIR, kar omogoča njihovo boljšo izrabo. Infrastruktura RI Središča ELIXIR-SI je primerna za vse vrste temeljnih in aplikativnih raziskav, izobraževalne tečaje, študentske vaje ter praktično delo v okviru raziskovalnih, diplomskih, magistrskih in doktorskih nalog. Je del evropske mreže ELIXIR (<https://elixir-europe.org>). V članku prikazujemo raziskavo o uporabi RI ELIXIR pri objavah raziskovalnih člankov.

Ključne besede: raziskovalna infrastruktura; ravnanje s podatki; bioinformatika; Slovenija.

National Research Infrastructure of the ELIXIR-SI Centre: Overview and Impact of Laboratory and (Bio)informatics Services

Abstract. The Cohesion Infrastructure Project ELIXIR-SI RI-SI-2 has facilitated the upgrade of the national research infrastructure (RI) ELIXIR-SI for the life sciences. The RI of ELIXIR-SI Centre (<https://elixir-slovenia.org>) now comprises (1) a national data node for the life sciences, (2) a central laboratory for next-generation sequencing and a laboratory for single-cell analyses, and (3) an education centre focusing on data management, bioinformatics, and laboratory workflows. Various laboratory and bioinformatic analyses are conducted using appropriate tools and services. We have optimized all steps of multiple experimental workflows (sample acquisition, laboratory work preparation and execution, quality control, bioinformatic analysis). The generated data adhere to the principles of open science and FAIR, thus facilitating their improved utilisation. The RI of ELIXIR-SI Centre is suitable for fundamental and applied research, educational courses, student exercises, and practical work within research, undergraduate, graduate, and doctoral projects. It is part of the European ELIXIR network (<https://elixir-europe.org>). In this article, we present a study on the utilisation of the RI ELIXIR for the purpose of publishing research articles.

Key words: research infrastructure; data management; bioinformatics; Slovenia.

■ **Infor Med Slov** 2024; 29(1): 20-26

Institucija avtorjev / Authors' institutions: Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani.

*Kontaktna oseba / Contact person: doc. dr. Branimir Leskošek, Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Vrazov trg 2, 1000 Ljubljana, Slovenija
E-pošta / E-mail: brane.leskosek@mf.uni-lj.si.*

Prispelo / Received: 10. 7. 2015. Sprejeto / Accepted: 26. 11. 2015.

ELIXIR Slovenija

Raziskovalna infrastruktura (RI) ELIXIR Slovenija (ELIXIR-SI) je del evropske primarno bioinformatijske infrastrukturne mreže ELIXIR¹ za področje ved o življenju. V mreži ELIXIR, ki ima pravni status meddržavne organizacije (angl. *Intergovernmental Organization*), trenutno sodeluje 25 vozlišč (22 polnopravnih članov in 3 opazovalci). Vozlišča ELIXIR predstavljajo države članice (nacionalna vozlišča), poleg njih pa ima status vozlišča tudi Evropski center za bioinformatiko (EMBL-EBI). Delovanje vozlišč usklajuje *ELIXIR Hub* s sedežem v Hinxtonu (Velika Britanija). V postopku sprejema je več novih nacionalnih vozlišč, ki bodo razširila

delovanje ELIXIR-ja na področju srednje in vzhodne Evrope.

Slovenija sodeluje v mreži ELIXIR od leta 2016. Slovensko vozlišče ima sedež na Medicinski fakulteti Univerze v Ljubljani (UL; tam je Središče ELIXIR-SI na Inštitutu za biostatistiko in medicinsko informatiko – IBMI), v vozlišču pa sodelujejo še številne druge raziskovalne ustanove iz Ljubljane in Maribora (Biotehniška fakulteta UL, Fakulteta za računalništvo in informatiko UL, Veterinarska fakulteta UL, ARNES, Inštitut Jožef Stefan, Kemijski inštitut, Kmetijski inštitut, Nacionalni inštitut za biologijo, Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano, Univerzitetni klinični center Ljubljana in Univerza v Mariboru – Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo; slika 1).



Slika 1 Člani slovenskega vozlišča ELIXIR-SI.

ELIXIR-SI vzdržuje svoje interaktivno spletišče (<https://elixir-slovenia.org/>) v slovenski in angleški različici, na katerem se lahko uporabniki seznanijo z nacionalnim in mednarodnim delovanjem mreže ELIXIR. V okviru Središča ELIXIR-SI deluje usposobljena ekipa bioinformatikov (Bioinformatična enota ELIXIR-SI – BEE), ki vzdržuje in razvija orodja, storitve in delotoke za ravnanje z raziskovalnimi podatki in bioinformatiko ter raziskovalcem svetuje glede rabe orodij in storitev. V okviru BEE upravljamo z računsko gručo ELIXIR-SI HPC (angl. *High Performance Computing*), ki omogoča hrambo in arhiviranje podatkov, računanje na naj sodobnejših vozlih centralnih (CPU) in grafičnih procesorjev (GPU) ter delovanje spletne učilnice ELIXIR-SI (<https://elixir.mf.uni-lj.si>).

Kohezijski infrastrukturni projekt ELIXIR-SI RI-SI-2

V okviru kohezijskega projekta je ELIXIR-SI prejel več kot 5 milijonov evrov. Projekt je bil potrjen decembra 2019, financiranje je trajalo do avgusta 2021. Od takrat naprej je RI ELIXIR-SI polno operativna. Izvajanje in poročanje o rabi RI projekta bo trajalo do vključno leta 2026. RI ELIXIR-SI, ki je bila vzpostavljena v okviru tega projekta, je namenjena vsem raziskovalcem s področja ved o življenju, kot so humana in veterinarska medicina, sistemska biologija, digitalizacija in robotizacija kmetijstva, rastlinske sorte in bolezni rastlin.

ELIXIR-SI upravlja z naj sodobnejšo raziskovalno infrastrukturo na področju ved o življenju. V okviru kohezijskega projekta smo postavili distribuirano informacijsko-komunikacijsko tehnologijo (IKT) na

več lokacijah. Za vzdrževanje in upravljanje z osrednjo laboratorijsko RI in RI ELIXIR-SI HPC skrbi Središče ELIXIR-SI, ki deluje znotraj IBMI na Medicinski fakulteti UL. Glavnina RI ELIXIR-SI se nahaja na dveh lokacijah Središča ELIXIR-SI (1) v Mariboru v prostorih Nacionalnega veterinarskega inštituta Veterinarske fakultete UL ter (2) v Ljubljani v prostorih Medicinske fakultete UL.

Cilji kohezijskega projekta ELIXIR-SI RI-SI-2

Cilji kohezijskega projekta so skladni s cilji vozlišča ELIXIR-SI in so (1) vzpostavitev osrednjega nacionalnega podatkovnega vozlišča, (2) vzpostavitev osrednje nacionalne infrastrukture za pridobivanje visokogostotnih podatkov ter (3) nadgradnja izobraževalnega središča za uporabo bioinformatičnih orodij in storitev na področju ved o življenju.

Uporabniki raziskovalne infrastrukture ELIXIR-SI (za laboratorij in/ali bioinformatiko) lahko dostopajo do nje v skladu s pravili odprtega dostopa. Prvi korak je oddaja informativnega naročila storitve preko spletnega obrazca na spletišču ELIXIR-SI (<https://elixir-slovenia.org/sl/naroci-storitev/>).

Osrednje nacionalno podatkovno vozlišče

Raziskovalna IKT infrastruktura ELIXIR-SI je ključni del vozlišča ELIXIR-SI in vključuje osrednje nacionalno podatkovno vozlišče za ravnanje s podatki na področju ved o življenju v skladu z načeli FAIR (angl. *Findable, Accessible, Interoperable, Reusable*).² Podatkovno vozlišče omogoča kratkoročno in dolgoročno hrambo velike količine podatkov v okviru nacionalnega arhiva genomskih podatkov ter dostop do osrednje računske gruče ELIXIR-SI (GPU, CPU) za razvoj in preizkušanje algoritmov. Preverjeni algoritmi se kasneje lahko operativno izvajajo tudi na nacionalni ali mednarodni superračunalniški infrastrukturi (npr. SLING, Arnes, Lumi in drugi računski viri pri partnerjih mreže ELIXIR in širše). Digitalni podatki, ki se zbirajo v okviru vozlišča ELIXIR-SI ustrezajo načelom FAIR.

Doslej smo v letih 2022 in 2023 poleg lastnega raziskovalnega dela opravili še preko 50 naročil IKT oz. bioinformatičnih storitev za konzorcijske partnerje ELIXIR-SI ali partnerje iz tujine.

Nacionalna infrastruktura za pridobivanje visokogostotnih podatkov

Laboratorijska raziskovalna infrastruktura Središča ELIXIR-SI za pridobivanje visokogostotnih podatkov je ena večjih v Sloveniji, ki vsem raziskovalcem pod enakimi pogoji (odprti dostop) omogoča generiranje laboratorijskih podatkov, kot npr. za sistemsko biologijo³ in posameznocelične analize.⁴ Sestavljata jo Laboratorij za posameznocelične analize v Ljubljani in Osrednji laboratorij za sekvenciranje naslednje generacije (angl. NGS – *Next Generation Sequencing*) v Mariboru (slika 2). Laboratorija sta medsebojno povezana ter med drugim uporabljata tehnologijo 10× Genomics in Illumina. Laboratorijske naprave omogočajo sekvenciranje DNA in RNA človeškega, živalskega, rastlinskega, bakterijskega in virusnega izvora, tudi na ravni posameznih celic (angl. *single cell*). Sodelujemo z inštituti Medicinske fakultete UL in ostalimi partnerji ELIXIR na nacionalni in mednarodni ravni.

Doslej smo v letih 2022 in 2023 poleg lastnega raziskovalnega dela opravili še preko 50 naročil laboratorijskih storitev za konzorcijske partnerje ELIXIR-SI ali partnerje iz tujine.

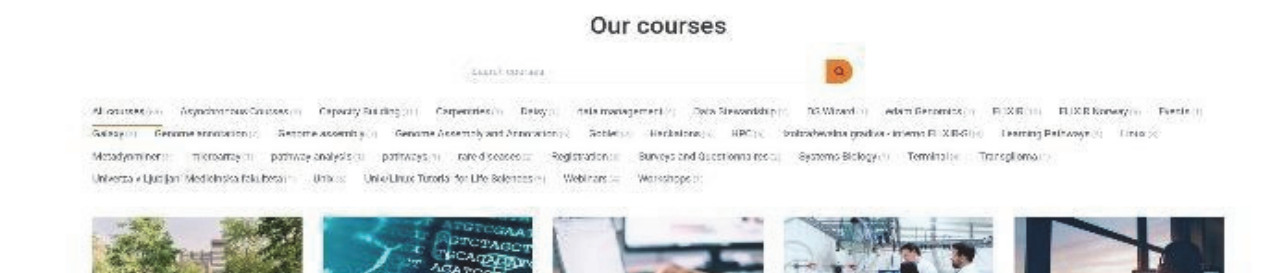
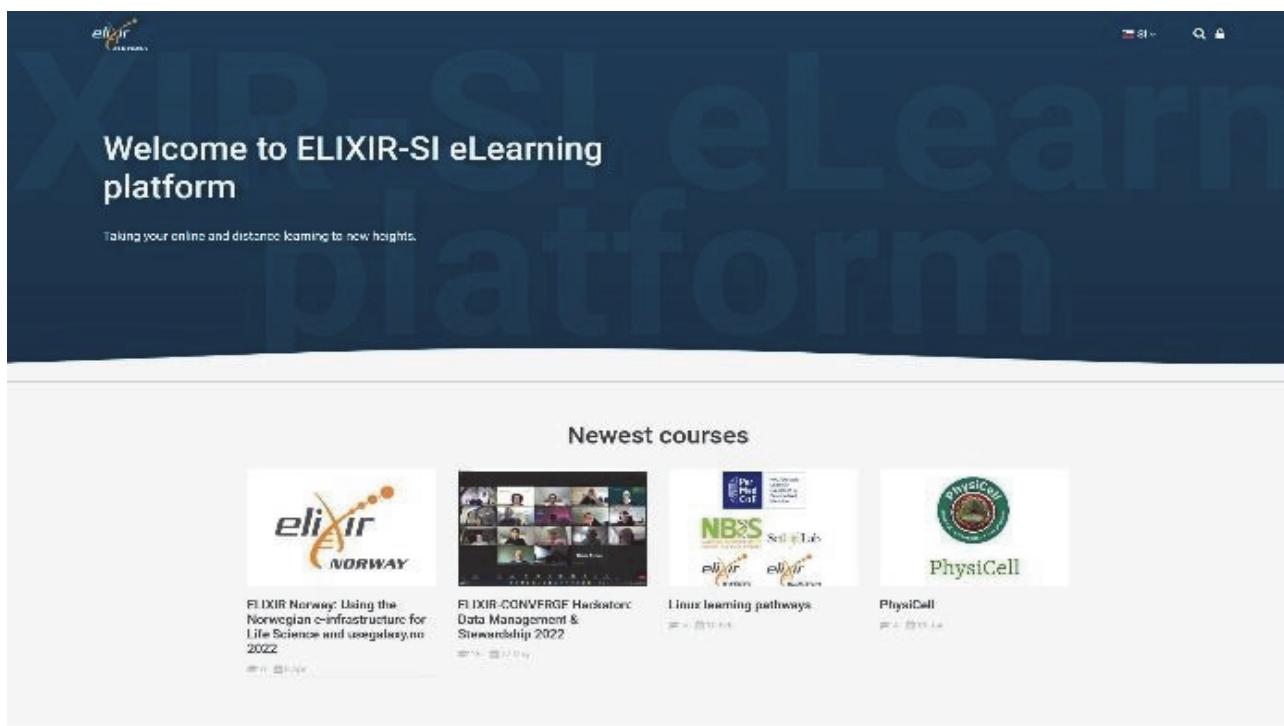
Središče ELIXIR-SI za izobraževanje

Središče ELIXIR-SI za izobraževanje s področja ravnanja s podatki, bioinformatike in laboratorijskih delotokov (izvedba laboratorijskih in bioinformatičnih analiz z uporabo ustreznih orodij in storitev) za vede o življenju za svoje delovanje uporablja spletno platformo ELIXIR-SI za učenje na daljavo (angl. *ELIXIR-SI eLearning Platform – EeLP*, <https://elixir.mf.uni-lj.si>, slika 3).

EeLP omogoča dostop preko evropske enotne prijave (angl. *Life Science Authentication and Authorisation Infrastructure, LS AAI*) in enostavno upravljanje z uporabniki. Odvisno od namena tečaja lahko uporabniki do gradiva dostopajo prosto ali preko registracije ter se samoizobražujejo ali pa gradiva in storitve uporabljajo v času izvajanja tečajev. Osrednji del vsakega tečaja so učni materiali, ki so lahko statični ali dinamični. Statični materiali vključujejo vse vrste predstavitev (PowerPoint, PDF) in multimedijskih formatov (zvočni in filmski posnetki). Interaktivni materiali in lekcije v obliki HTML5 se lahko ustvarijo znotraj EeLP ali pa z zunanjimi avtorskimi orodji in se z uporabo standarda SCORM2 uvozijo v EeLP. Spletna učilnica ELIXIR-SI omogoča veliko različnih oblik učnih gradiv, največkrat pa se uporabljajo lekcije, kvizi in izpiti.



Slika 2 Del Središča ELIXIR-SI v Mariboru (levo del gruče ELIXIR-SI HPC, desno Laboratorij za sekvenciranje naslednje generacije).



Slika 3 Platforma ELIXIR-SI za učenje na daljavo (angl. *ELIXIR-SI eLearning Platform – EeLP*, <https://elixir.mf.uni-lj.si/>).

Povratne informacije o kakovosti izvedbe tečajev se zbirajo s pomočjo kratkoročnih in dolgoročnih anket (angl. *short-term, long-term feedback*) na osnovi standardiziranih vprašanj, ki jih oblikuje in vzdržuje mednarodna delovna skupina znotraj platforme za izobraževanje ELIXIR (angl. *ELIXIR-SI eLearning Platform – EeLP*). EeLP omogoča tudi takojšnje glasovanje za udeležence posameznega tečaja za potrebe povratnih informacij že med tečajem (npr. za bolj dinamično interakcijo med udeleženci in učitelji).

Inovativna uporaba platforme EeLP, ki jo razvijamo in upravljamo znotraj Središča ELIXIR-SI, je v tem, da udeležencem tečajev (raziskovalcem) omogoča dostop do vseh gradiv, orodij in storitev na enem mestu. Udeležencem tako ni potrebno na svoje računalnike nameščati orodij potrebnih za izvedbo tečaja ali prenašati (velike količine) podatkov, temveč svoje računalnike uporabijo le za dostop do spletne učilnice, kjer dobijo vse informacije in dostop do bioinformatičnih orodij in storitev, ki jih potrebujejo za izvedbo praktičnega dela na tečaju. Orodja in storitve privzeto lahko tečejo na računski gruči ELIXIR-SI HPC, EeLP pa omogoča dostop tudi do ostalih standardnih superračunalniških okolij ELIXIR oziroma drugih, skladnih s standardi EuroHPC, preko spletnega ali grafičnega vmesnika ali ukazne vrstice. EeLP lahko enostavno dopolnjuje tudi druga orodja in storitve, kot npr. orodje Galaxy.⁵ Orodja in storitve objavljamo na spletišču ELIXIR-SI. EeLP z uporabo standardnih videokonferenčnih sistemov (SIP ali H.323) omogoča tudi enostavno izvedbo hibridnih ali izključno oddaljenih tečajev. Po koncu tečaja in/ali uspešno zaključenega izpita lahko udeleženci prejmejo avtomatsko izdelano in digitalno podpisano potrdilo o udeležbi. Če v okviru tečaja opravijo e-izpit preko EeLP, prejmejo tudi digitalno oceno svojega znanja.

Doslej smo v letih 2022 in 2023 poleg lastnega raziskovalnega dela opravili še preko 20 naročil izobraževalnih storitev za konzorcijske partnerje ELIXIR-SI ali partnerje iz tujine.

Rezultati kohezijskega projekta ELIXIR-SI RI-SI-2

Doslej smo že uresničili zgoraj opisane cilje kohezijskega projekta ELIXIR-SI. Naša nadaljnja usmeritev je nadaljevanje v smeri dodatnega razvoja Središča ELIXIR-SI in nadgradnja omenjenih ciljev v skladu s smernicami in standardi, usklajenimi na mednarodni ravni mreže ELIXIR, s čimer bomo lahko tudi bolj aktivno prispevali k dejavnosti celotne evropske mreže ELIXIR in njenim ciljem.

Nadgradnja vozlišča ELIXIR-SI

Federated European Genome Phenome Archive (FEGA)

V okviru nacionalnega podatkovnega vozlišča nadaljujemo z vzpostavljanjem arhiva za genomske in fenomske podatke, ki izhaja iz evropskega arhiva EGA⁶ (angl. *European Genome-phenome Archive*) in bo del evropske federacije nacionalnih genomskih arhivov FEGA⁷ (angl. *Federated European Genome-phenome Archive*). FEGA bo služila tudi kot nacionalni repozitorij za genomske podatke.

FEGA je usklajena platforma za odkrivanje človeških genomskih in fenomskih podatkov, za dostop do njih in njihovo izmenjavo. Ključne lastnosti FEGA so (1) možnost razširitve, (2) upoštevanje standardov ELSI (angl. *Ethical, Legal, and Social Issues*), (3) osrednji način za opisne podatke ter (4) porazdeljen nadzor nad dostopom do surovih genomskih podatkov.⁶

FEGA omogoča varen dostop do človeških genomskih in fenomskih podatkov ob upoštevanju nacionalnih zakonodaj. Bistvo ureditve FEGA je, da genomska zaporedja ostanejo v državi izvora (npr. v Sloveniji), opisni metapodatki o teh zaporedjih pa se izmenjujejo. Urejen dostop do genomskih podatkov bo olajšal raziskave bolezni, predvsem redkih bolezni, s čimer naj bi izboljšal razumevanje zdravlja.⁹

Druge aktivnosti Središča ELIXIR-SI

Od leta 2022 naprej nadgrajujemo dejavnosti Središča ELIXIR-SI s sodelovanjem v projektih ELIXIR CONVERGE (nadgradnja evropske raziskovalne infrastrukture s poudarkom na ravnanju s podatki po načelih FAIR), B1MG (angl. *Beyond One Million Genomes* – množično sekvenciranje evropskih genomov),⁷ ter Instand-NGS4P (angl. *Next Generation Sequencing Workflows for Personalised Therapy* – delotok za sekvenciranje naslednje generacije za personalizirano terapijo). Poleg projekta Instand-NGS4P se ukvarjamo tudi z drugimi dejavnostmi s področja osebne medicine. Smo ključni partner za področje ved o življenju nacionalnega projekta SPOZNAJ, ki od sredine 2023 vzpostavlja nacionalno mrežo podatkovnih skrbnikov v Sloveniji. V letu 2024 začnemo s sodelovanjem pri dveh novih projektih EU, in sicer ELIXIR-STEERS (za nadaljevanje aktivnost ravnanja z raziskovalnimi podatki) in EOSC-ENTRUST (za varno mednacionalno izmenjavo raziskovalnih podatkov v Evropi)

Trenutno delujejo sledeče storitve: (1) strežnik za enotno prijavo, ki omogoča eno uporabniško ime za vse storitve ELIXIR-SI HPC (sistem je v procesu

integracije z evropskim sistemom Life Science AAI), (2) dostop do arhiva raziskovalnih podatkov na različne načine (SFTP, Ceph, NextCloud), tudi preko 100 Gbps, in (3) računska gruča ELIXIR-SI HPC z upraviteljem poslov SLURM.

Večina bolj kompleksne laboratorijske opreme, npr. sekvenatorji naslednje generacije, je že povezane z arhivom raziskovalnih podatkov na računski gruča ELIXIR-SI HPC, kar pomeni, da se podatki shranjujejo varno in so takoj po zaključku laboratorijske analize na voljo raziskovalcem za dodatne bioinformatične analize. Vzpostavljenih imamo več delotokov, npr. za analize WGS, WES in RNAseq, vključno s posameznoceličnimi analizami. Primer uspešne povezave laboratorijskih in bioinformatičnih delotokov RI Središča ELIXIR-SI je raziskovanje genoma kranjske čebele.⁸

Pri vzpostavljanju RI ELIXIR-SI (oprema, orodja, storitve in kadri) največji izziv predstavlja zagotavljanje ustrezno usposobljenih kadrov in ustreznega plačila zanje. Informacije o raziskovalni infrastrukturi ELIXIR-SI so na voljo na spletišču ELIXIR-SI (<https://elixir-slovenia.org>), zainteresirani pa lahko svoja vprašanja pošljejo tudi po e-pošti na naslov elixir@mf.uni-lj.si.

Financiranje

Središče ELIXIR-SI in RI ELIXIR-SI financirajo Evropska komisija preko Evropskih strukturnih in investicijskih skladov, Evropska unija preko programa raziskovalnih infrastruktur (Obzorje 2000, Obzorje Evropa), Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in inovacije (MVZI) ter Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost RS (ARIS). Avtorja članka se jim zahvaljujeva v imenu vseh sodelujočih v projektu.

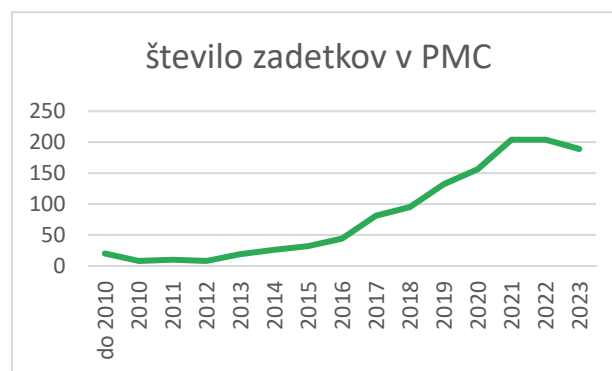
Metode

Prosto dostopno bibliografsko zbirko raziskovalnih prispevkov s polnimi besedili s področja biomedicine in ved o življenju PubMed Central (PMC)¹⁰ smo pregledali z namenom identifikacije prispevkov, ki so uporabljali raziskovalno infrastrukturo ELIXIR ali pisali o njej. Za iskanje smo uporabili ključni besedi »infrastructure« in »ELIXIR«. Podatke smo želeli predstaviti opisno ločeno po različnih vrstah prispevkov ter celotne podatke primerjati s številom prispevkov, ki so nastali z uporabo raziskovalne infrastrukture slovenskega vozlišča ELIXIR-SI. Na ta način bi bilo mogoče objektivno oceniti uporabnost raziskovalne infrastrukture ELIXIR tako na evropskem kot na slovenskem nivoju. Primerjalno

smo preverili še število zadetkov za ostale bolj razvite raziskovalne infrastrukture, ki delujejo na področju ved o življenju, (bio)medicine ali ravnanja s podatki: BBMRI, EATRIS, EHDS, EOSC in EuroBioImaging.

Rezultati in razprava

Bibliografska zbirka PMC omogoča iskanje tako po prispevkih s polnimi besedili (preko 8 milijonov zapisov) kot po citatih in povzetkih (preko 34 milijonov zapisov). Izkaže se, da je iskanje po polnih prispevkih veliko boljše, npr. za ELIXIR dobimo pri iskanju po polnih besedilih 1229 zadetkov, pri iskanju po povzetkih pa le 96. Predvidevamo, da je to zato, ker se raba raziskovalne infrastrukture običajno piše v zahvali, ki je dostopna le v polnih besedilih. Vseh zadetkov za ELIXIR v PMC je 1229, razdeljeno po letih pa so zadetki prikazani na sliki 4.



Slika 4 Število zadetkov v PMC za raziskovalno infrastrukturo ELIXIR pri iskanju po prispevkih s polnimi besedili, ločeno po letih.

Za primerjavo smo preiskali PMC še za ostale bolj razvite evropske raziskovalne infrastrukture, ki tudi delujejo na področju ved o življenju. Vsi podatki so prikazani v tabeli 1. Prispevkov, ki bi omenjali slovensko raziskovalno infrastrukturo, nismo uspeli najti. Razlogov za to je verjetno več. Gre namreč za razmeroma novo raziskovalno infrastrukturo. Hkrati smo opazili, da se nekateri raziskovalci ne držijo ustreznega citiranja raziskovalne infrastrukture ELIXIR-SI,¹ čeprav jo uporabljajo. Menimo, da je to posledica pomanjkanja osveščenosti o pomenu odprte znanosti. Velikokrat se raziskovalci ne zavedamo, da v primeru, ko za uporabo infrastrukture ali storitve nismo plačali, storitev ni zastoj in da so ravno rezultati, pridobljeni z raziskovalno infrastrukturo, ključni za njeno dolgoročno financiranje in s tem obstoj. Dopusčamo tudi možnost, da je odsotnost citiranja raziskovalne infrastrukture ELIXIR-SI posledica miselnosti

nekaterih raziskovalcev, da jim navajanje »preveč« infrastrukturalnih ali organizacijskih skupin lahko škodi pri uveljavitvi njihove lastne raziskovalne skupine. Toda to je v nasprotju z določili odprte znanosti¹¹ in načeli FAIR.

Tabela 1 Število zadetkov v PMC z referencami na različno raziskovalno infrastrukturo pri iskanju po prispevkih s polnimi besedili za obdobje do konca leta 2023. Vrsta infrastrukture označuje, ali gre za ESFRI RI ali za pobudo.

Raziskovalna infrastruktura	Število zadetkov v PMC	Vrsta
ELIXIR	1229	ESFRI RI
BBMRI	1210	ESFRI RI
EATRIS	142	ESFRI RI
EHDS	77	pobuda
EOC	223	pobuda
EuroBioImaging	39	ESFRI RI

Zaključek

Iz rezultatov v tabeli 1 je razvidno, da je RI ELIXIR največkrat citirana, podobno veliko je citirana še RI BBMRI, vse ostale mednarodne infrastrukture pa so citirane bistveno manj. Iz tega lahko posredno sklepamo, da je obstoj RI ELIXIR v evropskem raziskovalnem prostoru še kako smiseln in da zelo ustrežno, da se še naprej podpira njen nadaljnji razvoj.

Na osnovi predstavljenega lahko tudi zaključimo, da se v slovenskem raziskovalnem ekosistemu, morda tudi zaradi prevelike navezanosti na nacionalne vire raziskovalnega financiranja, predvsem ARIS, in slabe obveščenosti raziskovalcev, določila odprte znanosti¹¹ (še) ne uporabljajo skladno z vsemi sprejetimi nacionalnimi dokumenti o odprti znanosti. To morda lahko prinaša lokalne/osebne kratkoročne ugodnosti posameznim raziskovalcem ali raziskovalnim skupinam, dolgoročno pa bo to lahko slabo vplivalo na razvoj slovenske raziskovalne sfere na področju ved o življenju v prihodnosti.

Reference

1. Harrow J, Drysdale R, Smith A, Repo S, Lanfear J, Blomberg N: ELIXIR: providing a sustainable infrastructure for life science data at European scale. *Bioinformatics* 2021; 37(16): 2506-2511. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btab481>
2. Wilkinson MD, Dumontier M, Aalbersberg IJ et al.: The FAIR guiding principles for scientific data management and stewardship. *Sci data* 2016; 3: 160018. <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>
3. Martins Dos Santos V, Anton M, Szomolay B et al.: Systems biology in ELIXIR: modelling in the spotlight. *F1000Research* 2022; 11 (ELIXIR): 1265. <https://doi.org/10.12688/f1000research.126734.2>
4. Czarnecki P, Mahfouz A, Calogero RA et al.: Community-driven ELIXIR activities in single-cell omics. *F1000Research* 2022; 11 (ELIXIR): 869. <https://doi.org/10.12688/f1000research.122312.1>
5. Hiltmann S, Rasche H, Gladman S et al.: Galaxy training: a powerful framework for teaching!. *PLoS Comput Biol* 2023; 19(1), e1010752. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1010752>
6. Freeberg MA, Fromont LA, D'Altri T et al.: The European Genome-phenome archive in 2021. *Nucleic Acids Research* 2022; 50(D1): D980-D987. <https://doi.org/10.1093/nar/gkab1059>
7. Federated European Genome-phenome Archive – FEGA: *Federated EGA vision statement*. Cambridge 2023: European Bioinformatics Institute. <https://ega-archive.org/about/projects-and-funders/federated-ega/> (18. 8. 2024)
8. Moškrič A, Marinč A, Ferk P, et al.: The carniolan honeybee from Slovenia: a complete and annotated mitochondrial genome with comparisons to closely related *Apis mellifera* subspecies. *Insects* 2022; 13(5): 403. <https://doi.org/10.3390/insects13050403>
9. Saunders G, Baudis M, Becker R et al.: Leveraging European infrastructures to access 1 million human genomes by 2022. *Nat Rev Genet* 2019; 20: 693-701. <https://doi.org/10.1038/s41576-019-0156-9>
10. National Library of Medicine: *About PMC*. Bethesda 2024: US National Institutes of Health. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/about/intro/> (18. 8. 2024)
11. Centralna tehniška knjižnica Univerze v Ljubljani: *Politike odprte znanosti v Sloveniji*. Ljubljana 2024: Centralna tehniška knjižnica. <https://projekt-spoznaj.si/politike-odprte-znanosti-v-sloveniji/> (3. 1. 2024)