

EVROPSKI PROGRAM POVEZOVANJA RAZISKOVALNE INFRASTRUKTURE NA PODROČJU GEOZNANOSTI – EUROPEAN PLATE OBSERVING SYSTEM (EPOS)

EUROPEAN PROGRAMME OF RESEARCH INFRASTRUCTURE INTEGRATION FOR EARTH SCIENCES – THE EUROPEAN PLATE OBSERVING SYSTEM (EPOS)

Andrej Gosar

dr., Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Vojkova 1b, Ljubljana, andrej.gosar@gov.si

Povzetek

Program povezovanja raziskovalne infrastrukture Sistem opazovanja Evropske plošče (*European Plate Observing System* – EPOS) omogoča poglobljene multidisciplinarne raziskave za boljše razumevanje fizikalnih in geoloških procesov, ki so v ozadju različnih geoloških naravnih nesreč, kot so potresi, izbruhi ognjenikov in cunamiji, ter tistih, ki so gonilo tektonike in dinamike površja Zemlje in procesov pomembni za odkrivanje zemeljskih virov. Vodilno vlogo v programu imata tematski področji seizmologije in geodetskih GNSS-opazovanj, vključeni pa so tudi opazovanje vulkanov in geomagnetnega polja ter bližnje opazovanje prelomov. Dodatne storitve omogočajo področja satelitskih podatkov, geološke informacije in modeliranje ter večdimenzijski laboratoriji. Vključene so tudi antropogene nevarnosti in testna območja za zmanjševanje emisij toplogrednih plinov. Poudarek je na multidisciplinarnem pristopu in integraciji raziskovalnih področij ter odprti uporabi podatkov. Slovenija je zgodaj prepoznala prednosti geoznanosti pri razvoju raziskovalne infrastrukture in sodeluje v programu EPOS na številnih področjih prek konzorcija EPOS-SI.

Abstract

The European Plate Observing System (EPOS) within the programme of research infrastructure integration makes multidisciplinary research possible for a better understanding of the physical and geological processes controlling different geohazards such as earthquakes, volcanic eruptions and tsunamis, as well as those driving tectonics and Earth surface dynamics and those important for the exploration of the Earth's resources. The thematic areas of seismology and geodetic GNSS observations have a leading role in the programme, and volcanic and geomagnetic observations and near-fault observatories are also included. Additional services are provided by the thematic areas of satellite data, geological information and modelling, and multi-scale laboratories. Anthropogenic hazards and geo-energy test beds for low carbon energy are also included. The emphasis is on a multidisciplinary approach, the integration of different scientific fields, and open source data. Slovenia early recognized the priority of geosciences in the development of research infrastructure, and collaborates in the EPOS programme in many relevant areas through the EPOS-SI consortium.

Uvod

Z razvojem naravoslovnih znanosti in tehnike se je v zadnjih desetletjih precej povečalo število senzorjev in naprav, s katerimi opazujemo površje Zemlje in geološke ter druge procese na površju ali pod njim. Pogosto so multidisciplinarna opazovanja razdrobljena ne le med različnimi državami, ampak tudi med različnimi področji znanosti, kar zelo ovira pridobivanje celovite slike o številnih procesih, ki so v ozadju naravno pogojenih geoloških nevarnosti. Poleg tega je financiranje znanosti na nacionalnih ali evropski ravni pretežno kratkoročno v obliki projektov, ki redko trajajo več kot od treh do pet let. Zato so se na področju geoznanosti pojavila prizadevanja za zagotovitev stabilnega dolgoročnega programa, ki bo omogočil povezovanje vse razdrobljene raziskovalne infrastrukture,

njenih podatkov, produktov in zmogljivosti. V Evropi se to uresničuje v programu povezovanja raziskovalne infrastrukture *Sistem opazovanja Evropske plošče (European Plate Observing System – EPOS)* (slika 1). Ker so številne storitve povezane z raziskovanjem in razumevanjem naravnih nevarnosti in nesreč, je program EPOS v članku podrobneje predstavljen bralcem Ujme. Ime programa vključuje geološki termin *Evropska plošča*, ki je ena izmed dvanajstih večjih litosferskih plošč na površju Zemlje. Zaradi medsebojnih premikov litosferskih plošč nastajajo številni geološki pojavi, kot so potresi in vulkanizem. Litosferska plošča je osnovna geotektonska enota po teoriji o tektoniki litosferskih plošč (Gosar, 2010). Ime *Sistem opazovanja Evropske plošče (EPOS)* poudarja osredotočenost programa na naravne značilnosti, ki ne poznajo nacionalnih in političnih delitev sveta.



Slika 1: Logo evropskega programa raziskovalne infrastrukture EPOS in 10 tematskih jedrnih storitev (TCS). (vir: EPOS)

Figure 1: The logo of the European research infrastructure programme EPOS and 10 Thematic Core Services (TCS) (Source: EPOS)

Zakaj EPOS?

Razumevanje, kako deluje Zemlja kot celovit sistem, je bistveno za moderno družbo. Številni naravni pojavi in nevarnosti, kot so potresi, poplave, plazovi, cunamiji, vreme in podnebje, imajo velik vpliv na družbo. Tudi izkoriščanje naravnih virov lahko škodljivo vpliva na gospodarstvo, okolje, varnost in trajnostni razvoj.

Kako lahko torej bolje razumemo naravne pojave in fizikalne, kemične ter geološke procese, ki so v njihovem ozadju? Kako jih merimo, da bi preprečili škodljive vplive na okolje in družbo? Ali jih lahko napovedujemo? Odgovore na ta vprašanja daje znanost o trdni Zemlji, ki vključuje: geologijo, seizmologijo, geodezijo, vulkanologijo in geomagnetizem ter geofiziko in geokemijo. Bistven napredek na področju znanosti o trdni Zemlji je mogoč le s povezovanjem multidisciplinarnih podatkov in storitev različnih ved. Razumevanje zapletenih fizikalnih, kemičnih in geoloških procesov zahteva usklajene, prosto dostopne podatke in metode ter navzkrižno povezovanje različnih ved o trdni Zemlji. To se v Evropi uresničuje znotraj dolgoročnega programa EPOS, ki omogoča zbiranje podatkov, ki so preverjeni in usklajeni, ter metode in orodja za njihovo uporabo, analizo in modeliranje. Uporabniki teh podatkov in storitev pa niso le raziskovalci, ampak tudi druga strokovna javnost, gospodarstvo, odločevalci, vladne organizacije ter izobraževalne ustanove.

Kako se je razvijal EPOS?

Pobudo za EPOS je dal italijanski Nacionalni inštitut za geofiziko in vulkanologijo (INGV), ki ima vodilno vlogo še danes (Cocco in sod., 2010). V tako imenovanem

konceptualnem obdobju (2002–2008) se je ideja razvijala znotraj številnih nacionalnih in evropskih projektov, osredotočenih na integracijo in distribucijo digitalnih geofizikalnih podatkov. Decembra 2008 je EPOS potrdil ESFRI (*European Strategy Forum on Research Infrastructures*) in ga vključil v dolgoročni načrt (roadmap) raziskovalne infrastrukture v Evropi. Sledilo je pripravljalo obdobje (2010–2014), v katerem je bil EPOS PP financiran znotraj sedmega okvirnega programa EC (Cocco in sod., 2011). Maja 2014 je ESFRI predlagal, da EPOS postane prioriteten program, saj omogoča bistven napredek v znanstveni odličnosti na področju ved o trdni Zemlji in je strateško pomemben za Evropo. Naslednja faza implementacije (IP, 2014–2019) je potekala v okviru EC-programa Obzorje 2020 in je vključevala 46 partnerjev iz 23 evropskih držav, tudi Slovenije. Znotraj nje je bil ustanovljen pravni subjekt EPOS ERIC (Konzorcij evropske raziskovalne infrastrukture, *European Research Infrastructure Consortium*), v katerega je do maja 2021 vključenih 12 polnopravnih držav (tudi Slovenija) in dve opazovalki. EPOS ERIC ima sedež v Rimu na INGV, centralno podatkovno vozlišče pa gostuje na geoloških zavodih Velike Britanije (BGS) in Francije (BRGM) s tehnično pomočjo geološkega zavoda Danske (GEUS).

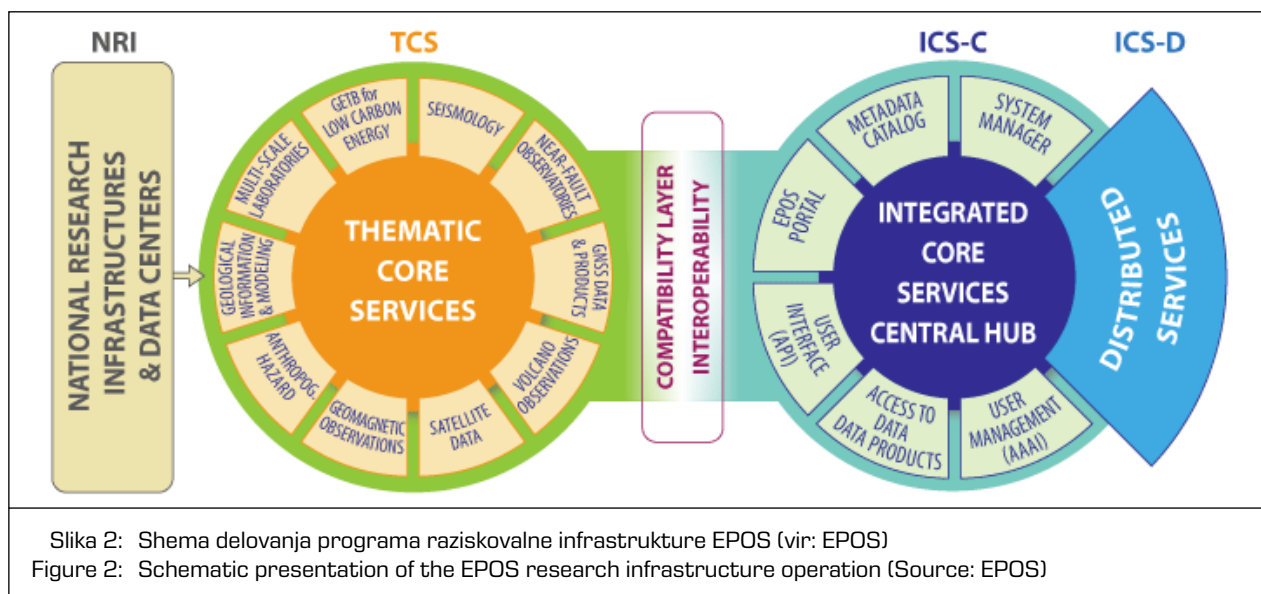
Leta 2020 se je začela pilotna operativna faza EPOS POP (2020–2022), ki prav tako poteka v okviru EC-programa Horizon 2020. Polna operativna faza programa EPOS pa je načrtovana od leta 2023 naprej.

Raziskovalna infrastruktura EPOS

Struktura delovanja programa EPOS je shematsko prikazana na sliki 2 (Cocco, 2013).

Osnovna ideja je, da se raziskovalni podatki v Evropi pridobivajo v okviru *nacionalnih raziskovalnih infrastruktur* (*National Research Infrastructures – NRI*) in se stekajo znotraj EPOS. Upravljalci merilnih mrež so odgovorni za delovanje merilnih instrumentov in kakovost izmerjenih podatkov. EPOS torej nima in ne upravlja nadnacionalnih merilnih mrež na ravni Evrope, temveč le združuje podatke NRI znotraj desetih *tematskih jedrnih storitev* (*Thematic Core Services – TCS*). *Integrirane jedrne storitve* (*Integrated Core Services – ICS*) pa so skupek multidisciplinarnih orodij za dostop do teh podatkov, njihovih produktov in storitev ne le za raziskovalno skupnost, temveč tudi širše za vse morebitne uporabnike (Cocco in sod., 2013). Vstopni spletni portal za zajem in vizualizacijo podatkov je <https://www.ics-c.epos-eu.org/data/search>.

V nadaljevanju so predstavljene vse *tematske jedrne storitve* (TCS), pri čemer so obsežne opisane le tiste, ki so pomembnejše za raziskovanje in razumevanje naravnih nevarnosti in nesreč.



Tematske jedrne storitve EPOS

TCS EPOS Seizmologija

Mednarodna izmenjava seizmoloških podatkov ima zelo dolgo zgodovino, saj potresi in potresna valovanja ne poznajo državnih meja. Obenem državna in druga seizmološka opazovanja praviloma niso tržna dejavnost in temeljijo na prosti in javni dostopnosti podatkov. Zato se je ideja programa EPOS razvila prav iz seizmologije in predhodnih izkušenj mednarodnega zbiranja podatkov o potresih. V Evropi deluje več kot 4500 potresnih opazovalnic, ki zberejo na leto več kot 300 TB-podatkov.

Produkti TCS EPOS Seizmologija (sliki 3 in 4) se delijo v tri skupine:

1. **Digitalni zapisi potresnega gibanja tal (seizmogrami)** na potresnih opazovalnicah (waveforms) se zbirajo in izmenjujejo prek ORFEUS (*Observatories & Research Facilities for European Seismology*), EIDA (*European Integrated Data Archive*) in ESM (*European Strong Motion Data Access*). V njih so ločeni digitalni seizmični zapisi, ki se uporabljajo za določanje osnovnih potresnih parametrov, kot so lokacija žarišča potresa, njegova magnituda ter žariščni mehanizem, ter za različne raziskave notranjosti Zemlje (na primer za seizmično tomografijo) in akcelerometrov (pospeškometrov), ki so namenjeni opazovanju močnih potresnih gibanj tal in zelo pomembni za analize v potresnem inženirstvu (Trani in sod., 2017). Pripadajoča zbirka podatkov (*Station Book*) obsega vse potrebne podatke o merilni opremi na potresni opazovalnici in geološko-geofizikalni strukturi kamnin pod njo (na primer navpični profili seizmičnih hitrosti).
2. **Seizmološki produkti** so poleg raziskovalcem namenjeni tudi službam za zaščito in reševanje ter širši

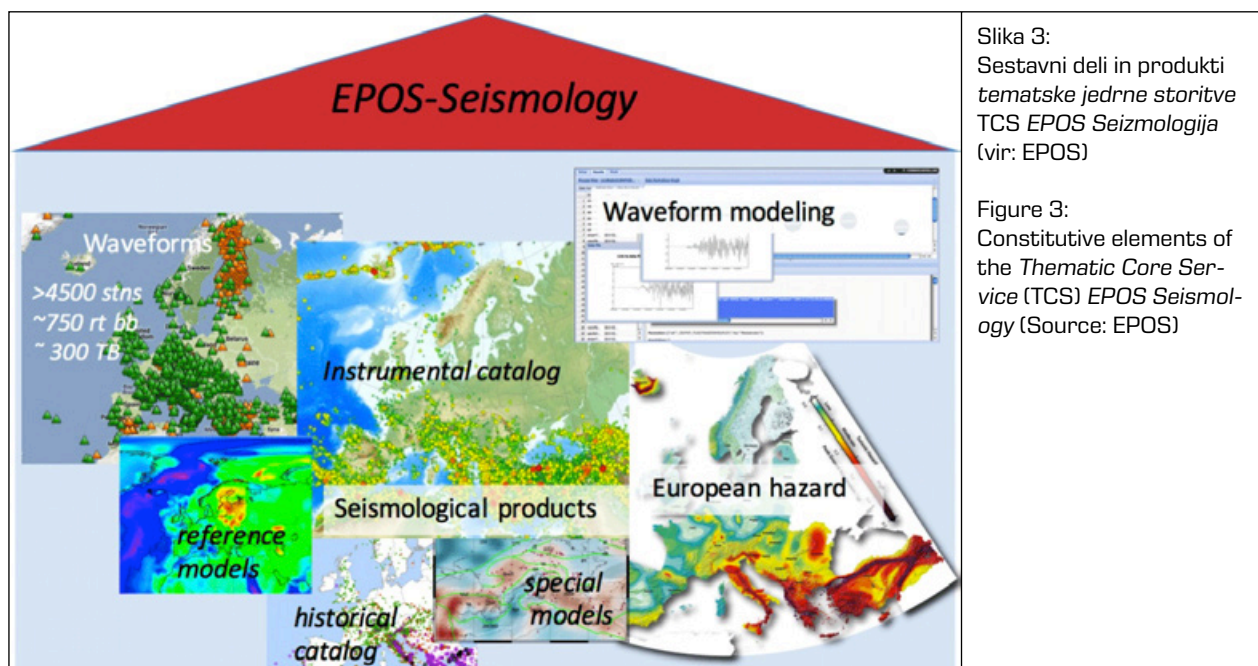
javnosti in obsegajo osnovne potresne parametre (lokacija potresa, magnituda, intenziteta, podatki o učinkih potresov, žariščni mehanizmi itn.). V Evropi se ti podatki posredujejo predvsem prek EMSC (*Evropsko-mediteranski seizmološki center*), AHEAD (*European Archive of Historical Earthquake Data*) in s storitvami nekaterih spletnih portalov nacionalnih organizacij, ki posredujejo žariščne mehanizme potresov.

3. Produkti **ocenjevanja potresne nevarnosti in ogroženosti** so namenjeni potresno odpornemu projektiranju, službam za zaščito in reševanje, zavarovalnicam ter drugi strokovni in laični javnosti. Na evropski ravni se ocenjevanje potresne nevarnosti in ogroženosti koordinira v okviru EFEHR (*European Facilities for Earthquake Hazard and Risk*). Pri ocenjevanju potresne nevarnosti se uporabljajo številne seizmološke in geološke strokovne podlage, od katalogov potresov do zbirk seizmogenih prelomov (*European Database of Seismogenic Faults – EDSF*).

Dodatno je med storitvami TCS EPOS Seizmologija tudi **računalniška seizmologija** (*High Performance Computing*), ki posreduje storitve specializiranih računskih centrov (Bailo in Jeffery, 2014).

Primer uporabe storitev TCS EPOS Seizmologija je raziskava nastajanja potresov na tektonskih prelomih. Pri tem se uporabijo *zbirka seizmogenih prelomov* (EDSF), *seizmogrami* iz ORFEUS ter *parametri potresov* iz EMSC in zbirk žariščnih mehanizmov (slika 4). Za izračun sintetičnih seizmogramov se uporabijo storitve *računalniške seizmologije*. Pri analizi in interpretaciji se uporabijo še podatki iz *Station Book* in geofizikalni modeli zgradbe podpovršja, pri čemer se uporabijo tudi produkti drugih tematskih jedrnih storitev.

V Sloveniji sodeluje na področju EPOS Seizmologija predvsem ARSO, Urad za seizmologijo.



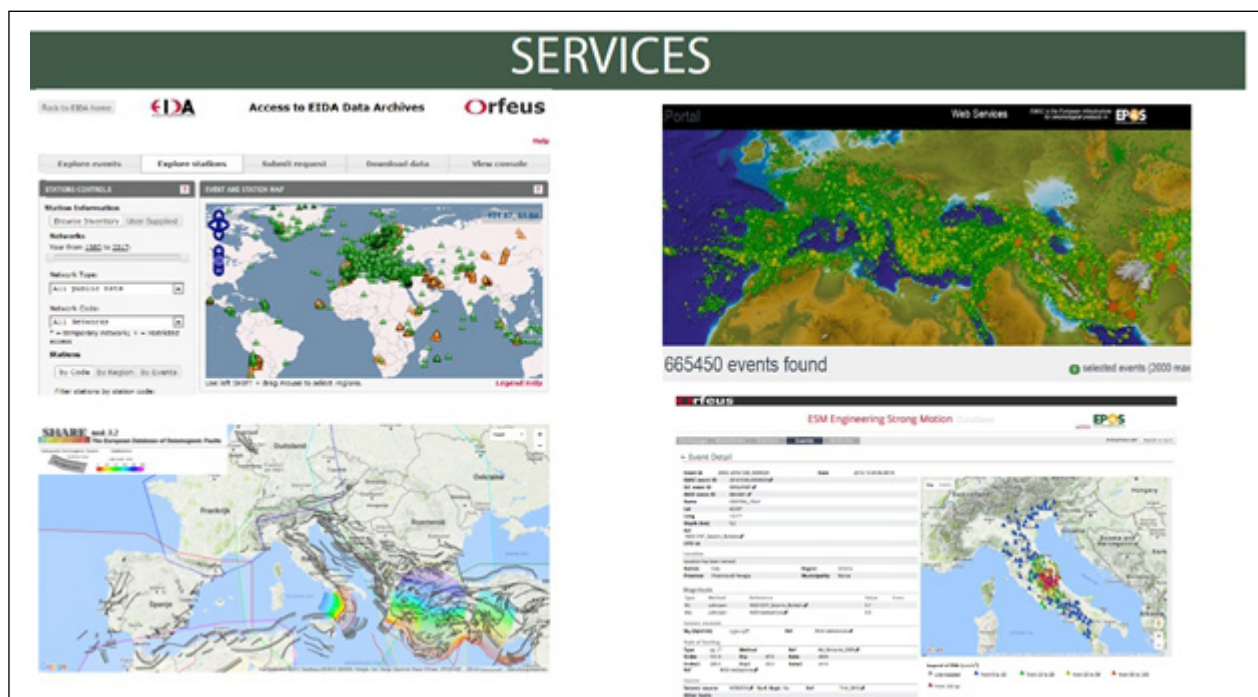
Slika 3: Sestavni deli in produkti tematske jedrne storitve TCS EPOS Seizmologija (vir: EPOS)

Figure 3: Constitutive elements of the Thematic Core Service (TCS) EPOS Seismology (Source: EPOS)

TCS EPOS GNSS podatki in storitve

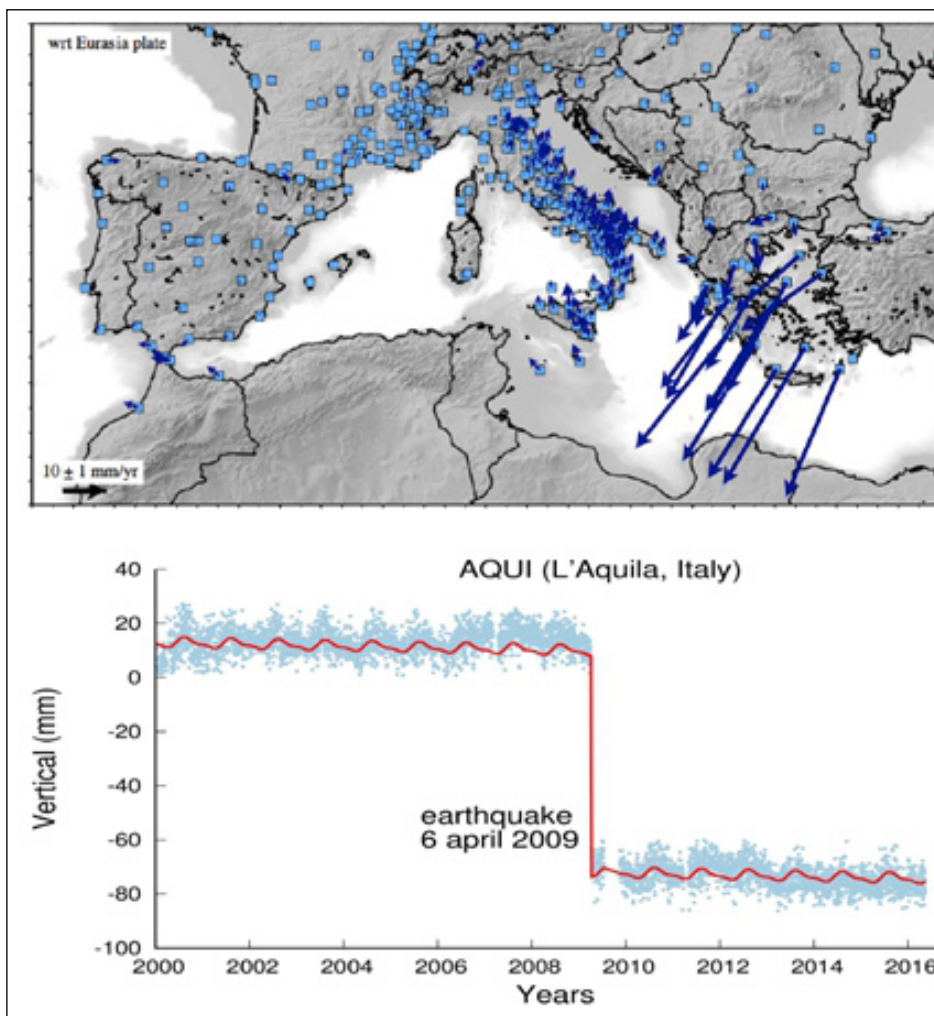
Globalni sistemi satelitske navigacije (GNSS) so omogočili velik korak naprej v proučevanju aktivne tektonike in geodinamike. Danes lahko geodetsko merimo hitrosti premikov litosferskih plošč, regionalnih deformacij ozemelj ali hitrosti aseizmičnih in koseizmičnih premikov ob tektonskih prelomih z natančnostjo, ki nikoli prej ni bila

mogoča. V Evropi je stalno ali začasno nameščenih na tisoče sprejemnikov GNSS tako v okviru javnih služb kot v zasebnem sektorju. Integracija in harmonizacija vseh teh meritev na evropski ravni je zato velik izziv programa EPOS. Podatki satelitske geodezije pomembno izboljšajo seizmotektonske modele pri ocenjevanju potresne nevarnosti, saj omogočajo najbolj natančno oceno hitrosti premikov in deformacij ob prelomih. Ob



Slika 4: Primeri grafičnih prikazov podatkov v TCS EPOS Seizmologija. Zgoraj levo: digitalni seizmogrami v EIDA; zgoraj desno: katalog potresnih parametrov (EMSC); levo spodaj: seizmogeni prelomi v EDSF; desno spodaj: podatki močnih potresnih gibanj tal (ESM). (vir: EPOS)

Figure 4: Examples of data in TCS EPOS Seismology. Top left: EIDA waveform access; Top right: parametric earthquake catalogue (EMSC); Bottom left: seismogenic faults (EDSF); Bottom right: strong motion data (ESM) (Source: EPOS)



Slika 5: TCS EPOS GNSS podatki in storitve omogočajo podatke o vektorjih hitrosti vodoravnih premikov geodetskih točk (zgoraj) ali koseizmičnih navpičnih premikov ob močnih potresih (spodaj, primer L'Aquile leta 2009). (vir: EPOS)

Figure 5: TCS EPOS GNSS Data and Services provides velocity vectors of horizontal displacements of geodetic points (top) or coseismic vertical displacements related to strong earthquakes (bottom, L'Aquila earthquake in 2009) (Source: EPOS)

zelo močnih potresih zagotavljajo pomembne podatke o koseizmičnih premikih delov Zemljine skorje (slika 5). Podatki GNSS se uporabljajo tudi pri spremljanju deformacij površja, povezanih z vulkansko dejavnostjo. Portali TCS EPOS GNSS podatki in storitve omogočajo učinkovit dostop do časovnih nizov meritev (datoteke RINEX) ter položajev točk, vektorjev hitrosti premikov in deformacij z vsemi bistvenimi meta podatki.

V Sloveniji sodeluje v EPOS GNSS podatki in storitve predvsem UL FGG-Oddelk za geodezijo.

TCS EPOS Opazovanje vulkanov

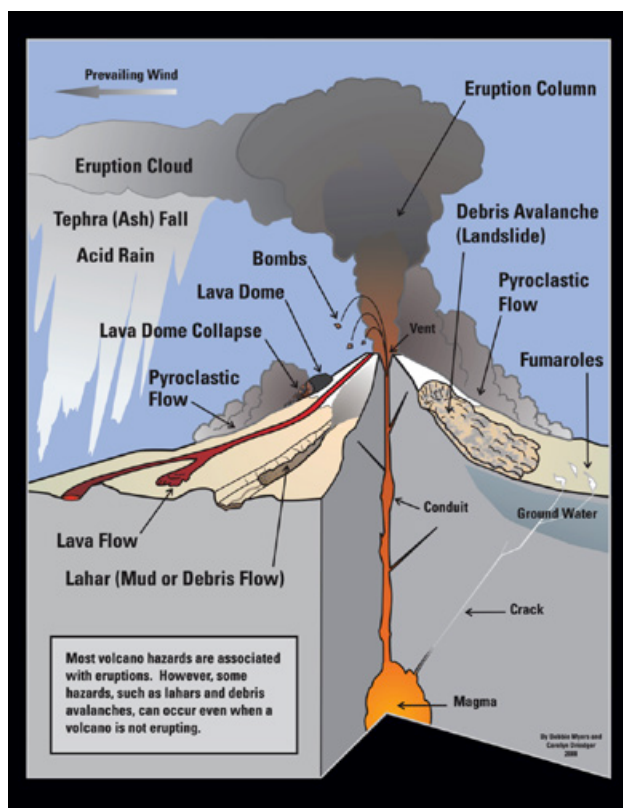
Proučevanje vulkanske dejavnosti zahteva multidisciplinarno opazovanje številnih geoloških, fizikalnih in kemijskih parametrov. Cilj je zmanjšati ogroženost prebivalstva z učinkovitim ocenjevanjem in napovedovanjem nevarnosti (slika 6). Večina evropskih držav sicer ni ogrožena, v nekaterih pa je to zelo upoštevanja vredna naravna grožnja. V okviru TCS EPOS Opazovanje vulkanov se povezujejo znanje, raziskovalna oprema in izkušnje observatorijev, institutov in univerz teh držav:

- INGV v Italiji zelo intenzivno in dolgoročno opazuje Etno, Vezuv in Stromboli z drugimi Eolskimi otoki.

Etna in Vezuv imata pri opazovanju status t. i. *supersites*, saj ogrožata veliko število prebivalcev.

- Islandski meteorološki urad (IMO) je odgovoren za opazovanje številnih ognjenikov na Islandiji, kjer ima cel otok status *supersite*.
- Španski raziskovalni svet (CSIC) vzdržuje opazovalni sistem na Kanarskih otokih, predvsem za ognjenik Teide na Tenerifu.
- Francoski CNRS ter Inštitut in Observatorij za fiziko Zemlje (IPG in OPG) koordinirajo opazovanja na francoskih čezmorskih ozemljih Martinique, Guadeloupe in Reunion, kjer so vulkanski izbruhi pogosti.
- Grški inštitut za geologijo (IGME) natančno opazuje vulkanski otok Santorini, ki je znan po katastrofalnem izbruhu v zgodovini.
- Portugalska univerza na Azorih opravlja nadzor vseh vulkanov na tem območju.

Vse te organizacije skupaj pripravljajo številne produkte, ki so podlaga za oceno nevarnosti, kot so geo-vulkanološke karte, kemijsko-fizikalni podatki o kamninah, pepelu in tekočinah, podatki o izbruhih, termalne značilnosti lave in karte nevarnosti. Proučevanja vulkanov so tesno povezana s seizmološkimi in geodetskimi opazovanji ter uporabo metod daljinskega zaznavanja.



Slika 6: TCS EPOS Opazovanje vulkanov zbira podatke o številnih nevarnostih, povezanih z vulkanskimi izbruhi. (vir: EPOS)

Figure 6: TCS EPOS Volcano Observations collects data on numerous hazards related to volcanic eruptions (Source: EPOS)



Slika 7: TCS EPOS Bližnje opazovanje prelomov koordinira interdisciplinarne raziskave predvsem na sedmih območjih v Evropi z izrazito povečano potresno nevarnostjo. Simboli predstavljajo žariščne mehanizme potresov. (vir: EPOS)

Figure 7: TCS EPOS Near-Fault Observatories coordinates interdisciplinary investigations mostly at seven European sites with especially increased seismic hazard. The symbols indicate the focal mechanisms of earthquakes (Source: EPOS)

TCS EPOS Bližnje opazovanje prelomov

Ker potresi nastajajo s premiki kamnin ob tektonskih prelomih, se na območjih z izrazito seizmičnostjo in znanimi močnimi potresi vzpostavljajo posebne opazovalne mreže številnih parametrov, ki pomagajo razumeti potresne cikle. Gre za izrazito interdisciplinarno področje, ki obsega seizmologijo, geodezijo, geologijo, geokemijo in raziskave kamnin v laboratorijih. Trenutno je v program TCS EPOS Bližnje opazovanje prelomov (NFO) vključenih sedem območij, na katerih lahko nastanejo veliki potresi magnitude nad 6,0 in predstavljajo območja velike potresne nevarnosti (slika 7).

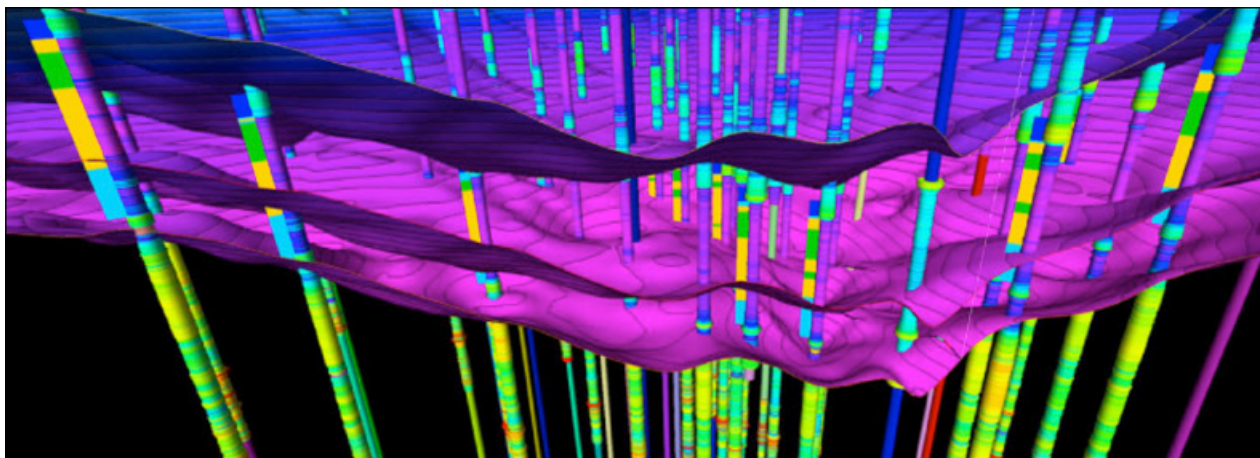
Corinth Rift Laboratory (CRL) v Grčiji proučuje območje z eno največjih hitrosti deformacij na svetu s hitrostjo razpiranja 1,5 cm/leto v zapletenem sistemu normalnih prelomov. Po letu 1700 so tu nastali štirje potresi z magnitudo med 6,0 in 6,6. Zelo podrobno opazovanje seizmičnosti in geodetske meritve premikov omogočajo proučevanje temeljnih vidikov dogajanja na seizmogenih prelomih.

Marmara Sea GEO Supersite v Turčiji je v zahodnem delu Severnoanatolskega preloma, ki kompenzira premike med Anatolsko in Evrazijsko ploščo, ki dosegajo 2,5 cm/leto. Marmarski segment tega preloma je južno od Istanbula in zato predstavlja veliko grožnjo temu mestu s 13 milijoni prebivalcev. Verjetnost nastanka potresa z magnitudo, večjo od 7,0, na tem območju je velika. Intenzivne raziskave temeljijo predvsem na zelo gosti mreži potresnih in geodetskih opazovalnih točk.

Južnoislandski seizmični observatorij (*South Iceland Seismic Zone Observatory – SISZ*) na Islandiji proučuje eno redkih območij na svetu, kjer je na kopnem viden srednjeoceanski greben, ki ločuje Severnoameriško in Evrazijsko tektonsko ploščo. Za območje sta značilna visoka seizmičnost in vulkanizem. Na območju tektonskega jarka poteka razpiranje s hitrostjo 1,9 cm/leto. Raziskave temeljijo na geoloških, seizmoloških, geotermalnih in geodetskih opazovanjih.

Podobne raziskave kot na teh treh območjih z največjimi deformacijami in seizmičnostjo potekajo tudi v Italiji (observatorija *Irpinia* in *Altotiberina*), kantonu *Valais* v Švici in na območju *Vrancea* v Romuniji. Na vseh območjih so bili v zgodovini že močni rušilni potresi, značilni pa sta tudi visoka potresna nevarnost in zapletena ter specifična geološka zgradba. Zato so območja primerna za testiranje različnih metod bližnjega opazovanja aktivnih prelomov.

V Sloveniji se program bližnjega opazovanja prelomov vzpostavlja na postojnsko-pivškem območju, za katerega je značilna razmeroma visoka recentna potresna dejavnost (Vičič in sod., 2019; Živčič in sod., 2011). Poleg tega je na območju zahodne Slovenije leta 1511 nastal najmočnejši znani potres v Sloveniji (Košir in Ceci, 2011).



Slika 8: TCS EPOS Geološke informacije in modeliranje koordinira površinske in globinske geološke raziskave ter izdelavo 3D-geoloških modelov. (vir: EPOS)

Figure 8: TCS EPOS Geological Information and Modelling coordinates surface and subsurface geological investigations and the derivation of 3D geological models (Source: EPOS)

V Sloveniji sodelujejo v EPOS na področju bližnjega opazovanja prelomov ZRC SAZU Inštitut za raziskovanje krasta, predvsem z opazovanjem mikropremikov ob prelomih in pri raziskavah plinov, ki izhajajo ob prelomih, Institut Jožef Stefan, v seizmološkem delu pa ARSO, Urad za seizmologijo.

TCS EPOS Večdimenzijski laboratoriji

TCS EPOS Večdimenzijski laboratoriji povezuje raziskovalno infrastrukturo v laboratorijih, ki eksperimentalno raziskujejo vzorce kamnin v različnih merilih, od nano- in mikrometrskega do centimetrskega. Opravljajo se geomehanske, fizikalne in reološke meritve za potrebe strukturne geologije in analitične raziskave mineralne sestave, slednih prvin in izotopske geokemije, tudi za potrebe geokronologije. Poleg tega v laboratorijih izvajajo tudi analogno modeliranje geoloških procesov in paleomagnetne meritve na vzorcih, ki so pomembne za rekonstrukcijo potovanja tektonskih plošč v geološki zgodovini in za datiranje vzorcev kamnin.

TCS EPOS Geomagnetna opazovanja

TCS EPOS Geomagnetna opazovanja koordinira globalne meritve Zemljinega magnetnega polja, ki se dolgoročno spreminja zaradi notranjih vzrokov (sekularne variacije) in dnevno (diurnalne variacije) zaradi vpliva Sonca na ionosfero. Sekularne variacije in obrati magnetnih polov so predmet paleomagnetizma in najpomembnejši za raziskave potovanja tektonskih plošč v geološki zgodovini. Diurnalne variacije pa imajo z magnetnimi nevihtami lahko velik vpliv na sodobno družbo, saj lahko negativno vplivajo na različne komunikacijske sisteme in elektronske naprave.

TCS EPOS Satelitski podatki

Danes si je težko zamisliti raziskave v geoznanosti brez satelitskih podatkov, še posebej pri proučevanju naravnih nesreč. TCS EPOS Satelitski podatki združuje infrastrukturo, ki uporabnikom omogoča dostop do podatkov satelitskih opazovanj in orodij za njihovo obdelavo in analizo. Pri proučevanju koseizmičnih premikov ob močnih potresih so najpomembnejši podatki radarskega skeniranja površja (InSAR), ki dajejo kvantitativne podatke o pretrgih in premikih površja. Poleg tega se iz njih izdelujejo 3D-modeli površja in tektonskih struktur.

TCS EPOS Geološke informacije in modeliranje

Geološki podatki so nepogrešljivi pri geofizikalnih raziskavah procesov, ki so v ozadju geološko pogojenih nevarnosti, zato se v TCS EPOS Geološke informacije in modeliranje omogoča raziskovalcem dostop do produktov, kot so geološke karte, vrtine, 3D- in 4D-geološki modeli (slika 8), mineralne surovine, podtalnica in podobno. Storitve so narejene na predhodnih programih, kot je OneGeology, in prispevajo k uveljavljanju standardov za mednarodno izmenjavo podatkov.

V Sloveniji sodeluje na tem področju z geološkimi podatki Geološki zavod Slovenije.

TCS EPOS Antropogene nevarnosti

V okviru TCS EPOS Antropogene nevarnosti se raziskujejo predvsem nevarnosti, povezane z izkoriščanjem mineralnih surovin in energetskih virov. Dobro znano je, da lahko rudarjenje, črpanje ali vtiskanje tekočin in vodne akumulacije povzročajo inducirano seizmičnost

(Gosar, 2018), zato se to področje povezuje s področjem seizmologije.

TCS EPOS Geoenergetske testne plasti za zmanjšanje emisij CO₂

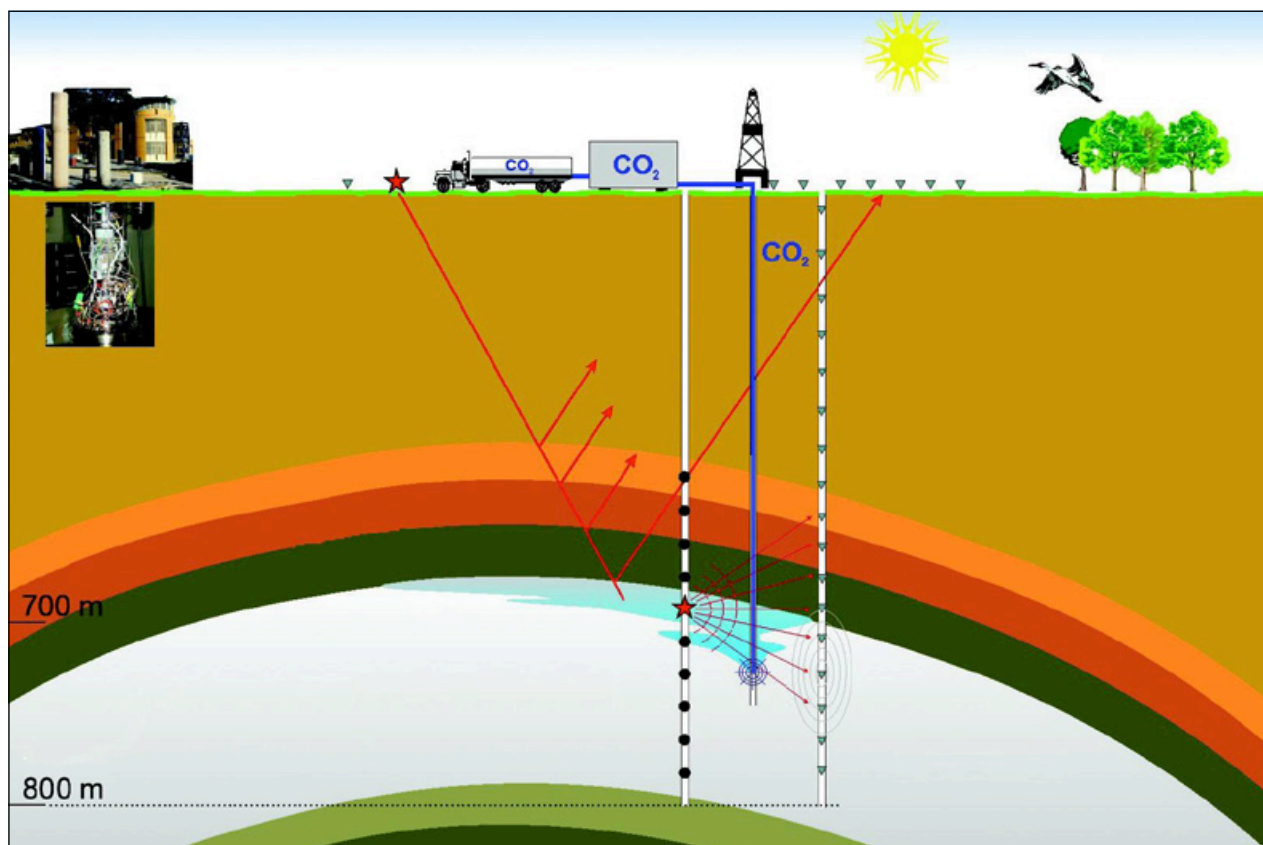
Ena izmed možnosti za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov je tudi geološko odlaganje CO₂ v globokih geoloških plasteh (Gosar, 2005), kar se s testnimi in pilotnimi projekti intenzivno raziskuje po vsem svetu (slika 9). V TCS EPOS *Geoenergetske testne plasti za zmanjšanje emisij CO₂* se povezujejo testni projekti v različnih državah. Poleg geološkega odlaganja CO₂ se proučujejo tudi različni vidiki okolju prijaznega izkoriščanja geotermalne energije.

EPOS v Sloveniji

V Sloveniji smo že razmeroma zgodaj prepoznali pomen programa EPOS in se vključili v njegove dejavnosti. V pripravljalnem obdobju je v projektu sedmega okvirnega programa EC imela Slovenija status opazovalke, ZRC SAZU IZRK (Inštitut za raziskovanje krasa) pa je postal predstavnik za Slovenijo. Leta 2010 je bil tudi neformalno ustanovljen konzorcij EPOS za Slovenijo, v katerem

so še danes ZRC SAZU IZRK, Geološki zavod Slovenije, Institut Jožef Stefan, Agencija RS za okolje – Urad za seizmologijo in Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo – Oddelek za geodezijo. Skladno z uresničevanjem *Razvojnne in inovacijske strategije Slovenije* (RISS) je bil EPOS vključen v *Načrt razvoja raziskovalnih infrastruktur 2011–2020* (NRRI) kot prednostni mednarodni projekt na področju okoljskih ved. Oktobra 2013 je Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport (MIZŠ) podpisalo pismo o nameri, da se Slovenija vključi v konzorcij ob ustanovitvi EPOS ERIC. Leta 2015 je ZRC SAZU postal partner v projektu EPOS IP v okviru Obzorja 2020.

Maja 2016 je pet zgoraj navedenih slovenskih raziskovalnih organizacij podpisalo sporazum o ustanovitvi konzorcija EPOS-SI (slika 10) zaradi pospeševanja raziskovalnih dejavnosti na področju ved o Zemlji, ki ima za cilj dolgoročno zbiranje podatkov s področja seizmologije, geodezije, geologije in drugih podobnih ved, vzpostavitve in izpopolnjevanja raziskovalne infrastrukture za ugotavljanje premikov Zemljine skorje ter razvijanje inovativnih rešitev, konceptov in tehnologij. Člani konzorcija sestavljajo mrežo za opazovanje in zbiranje podatkov, ki so pridobljeni in obdelani z analitičnimi in modelnimi orodji tako, da so dostopni širši zainteresirani javnosti. ZRC SAZU IZRK v okviru konzorcija deluje kot organizacijski center, ki zagotavlja



Slika 9: TCS EPOS *Geoenergetske testne plasti za zmanjšanje emisij CO₂* koordinira raziskave odlaganja CO₂ v porozne geološke plasti globoko pod površjem. (vir: projekt Ketzin)

Figure 9: TCS EPOS *Geo-Energy Test Beds for Low Carbon Energy* coordinates investigations for the storage of CO₂ in porous geological layers deep underground (Source: EPOS)

storitve, opredeljene s statutom EPOS-SI. Konzorcij upravlja upravni odbor, sestavljen iz predstavnikov vseh petih članic.

Septembra 2017 je Slovenska vlada podpisala resolucijo, da se Slovenija polnopravno vključi v EPOS IP, in pooblastila MIZŠ, da izpelje vse postopke za vključitev Slovenije v EPOS ERIC. Ob ustanovitvi EPOS ERIC 1. novembra 2018 je bila Slovenija ena od konstitutivnih članic in je na podlagi sklepa vlade začela plačevati članarino, predvideno s statutom EPOS.

Leta 2019 je konzorcij EPOS-SI na podlagi razpisa MIZŠ pridobil sofinanciranje izvedbe operacije za razvoj raziskovalne infrastrukture za mednarodno konkurenčnost slovenskega RRI-prostora – RI-SI-EPOS v okviru operativnega programa za izvajanje evropske kohezijske politike v obdobju 2014–2020 (Šebela, 2021). V okviru triletnega izvajanja operacije je kupljena in nameščena raziskovalna in računalniška oprema za opravljanje meritev in raziskav na področju geologije, geodezije, seizmologije, gravimetrije, radiometrije in aktivne tektonike. Seznam pridobljene raziskovalne opreme je objavljen na <https://epos-ip.zrc-sazu.si/>.

Sklepne misli

Evropa se zaveda pomena geoznanosti za razvoj družbe in zmanjšanje posledic naravnih nesreč, zato je kot prednostnega na področju okoljskih ved in ved o Zemlji potrdila program povezovanja raziskovalne infrastrukture EPOS. Razvoj znanosti omogoča danes obsežno



Slika 10: Logo konzorcija raziskovalne infrastrukture na področju geoznanosti EPOS Slovenija (vir: EPOS-SI)

Figure 10: Logo of geosciences research infrastructure consortium EPOS Slovenia (Source: EPOS-SI)

opazovanje Zemljinega površja in podpovršja s seizmološkimi, geodetskimi, geološkimi in geofizikalnimi metodami. Velik izziv pa predstavlja povezovanje multidisciplinarnih podatkov, ki lahko le skupaj odgovorijo na številna znanstvena in družbena vprašanja, kar je glavni namen programa EPOS, ki je leta 2020 prešel v pilotno operativno fazo. Slovenija se prek konzorcija EPOS-SI enakopravno vključuje v večino dejavnosti, ki so bistvene za naše ozemlje.

Viri in literatura

- Bailo, D., in Jeffery, K., 2014. EPOS - a novel use of CERIF for data-intensive science. *Procedia Computer Science*. 33, 3–10.
- Cocco, M., Eck, T., Michelini, A., 2010. EPOS the European Plate Observing System: a long-term integration plan for research infrastructures on solid Earth sciences at pan-European level. *INGV*, 24.
- Cocco, M., Giardini, D., EPOS Consortium, 2011. Integrating research infrastructures for solid Earth science in Europe: the European Plate Observing System. *AGU Meeting Abstracts*. San Francisco.
- Cocco, M., in EPOS Consortium, 2013. The EPOS Architecture: Integrated Services for solid Earth Science. *EGU General Assembly*, Vienna.
- EPOS ERIC Slovenia. <https://epos-ip.zrc-sazu.si/>
- European Plate Observing System – EPOS. <https://www.epos-ip.org/>
- Gosar, A., 2005. Možnost zmanjšanja učinka tople grede z geološkim skladiščenjem CO₂ globoko pod Zemljinim površjem. *Ujma* 19, 201–205.
- Gosar, A., 2018. Inducirana seizmičnost. *Ujma* 32, 229–238.
- Gosar, A., 2010. Razvoj teorije o tektoniki litosferskih plošč. *Proteus*, 73/1, 6–15.
- Košir, M., in Cecić, I., 2011. Potres 26. marca 1511 v luči novih raziskav. *Idrijski razgledi* 56/1, 90–104.
- Šebela, S., 2021. Raziskovalna infrastruktura RI-SI-EPOS na področju krasoslovja. *Zbornik Raziskave s področja geodezije in geofizike v letu 2020*. SZGG, 7–13.
- Trani, L., Koymans, M., Atkinson, M., Sleeman, R., F. R., 2017. WFCatalog: A catalogue for seismological waveform data. *Computers & Geosciences*. 106, 101–108.
- Vičič, B., Aoudia, A., Javed, F., Foroutan, M., Costa, G., 2019. Geometry and mechanics of the active fault system in western Slovenia. *Geophysical Journal International* 217, 1755–1766.
- Živčič, M., Čarman, M., Gosar, A., Jesenko, T., Zupančič, P., 2011. Potresi ob Idrijskem prelomu. *Idrijski razgledi* 56/1, 119–126.