

Marko Mali, Izidor Tasič, Igor Pfundner, Bojan Uran, Jože Prosen, Matej Nemec

Delovanje Državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2023

Operation of the seismic network of the Republic of Slovenia in 2023

Povzetek

Z glavnimi parametri, ki so vplivali na zanesljivost delovanja Državne mreže potresnih opazovalnic (DMPO) v letu 2023, predstavljamo povzetek analize delovanja ter pregled pomembnejših dogodkov in posodobitev. Zajem podatkov v letu 2023 je bil 98 %, kar smo dosegli s sprotim vzdrževanjem in posodobitvami seizmološke in podporne opreme. Izjemi v letu 2023 sta bili le potresni opazovalnici Črni Vrh (CRNS) in Kog (KOGS). Na CRNS je zaradi plazov ob močnih padavinah prišlo, do pretrganja električnih in komunikacijskih vodov, na KOGS pa nam je v opazovalnico vdrla voda. Oboje smo uspešno sanirali. V prispevku podajamo število prekinitev komunikacije (izpadov) za posamezno potresno opazovalnico glede na trajanje prekinitve. Za najdaljši izpad na posamezni potresni opazovalnici podajamo njegov vzrok. Podajamo tudi časovne intervale, znotraj katerih ni delovalo po več potresnih opazovalnic hkrati, ter vzroke za omenjeno nedelovanje. Na osnovi rezultatov analize poteka tudi razvoj in izvedba posodobitev, ki prispevajo k boljšemu in zanesljivejšemu delovanju DMPO.

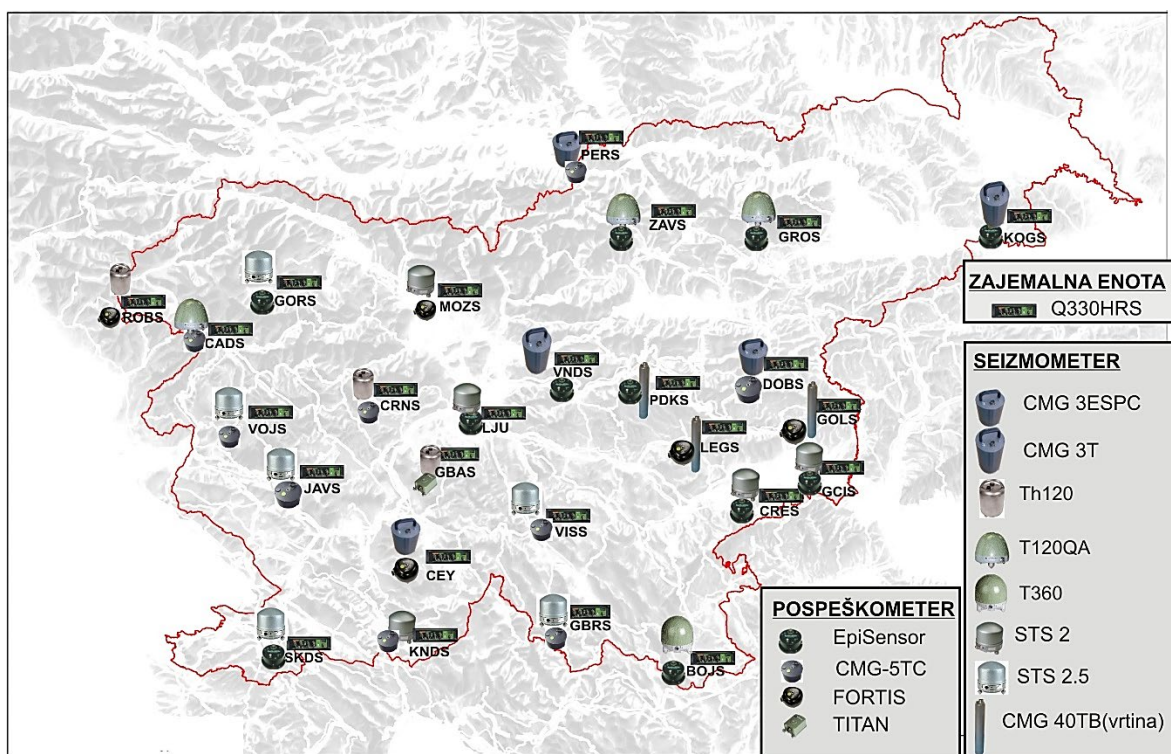
Abstract

The results of analysis of operation of the Seismic Network of the Republic of Slovenia (SNRS) in 2023 are presented. The main upgrades, as well as the events that have influenced the operating quality of SNRS are also presented, along with parameters describing its reliability. Data acquisition in 2023 was 98 %, which we achieved through ongoing maintenance and upgrades of seismological and support equipment. The only exceptions in 2023 were the Črni Vrh (CRNS) and Kog (KOGS) seismic stations. At CRNS, due to a landslide during heavy rainfall, electrical and communication lines were broken, while at KOGS, water entered our seismic station. Damage to both seismic stations was successfully repaired. In the article we provide the number and duration of out-of-operation periods (OOOP) for all seismic stations based on the duration of the interruption. The cause of the longest OOOP for particular seismic station is presented. Time intervals, when more seismic stations were out of service simultaneously, are identified. Based on the results of the analysis, improvements are being constantly implemented, contributing to better and more reliable operation of SNRS.

Uvod

Državno mrežo potresnih opazovalnic (DMPO) sestavlja 26 sodobno opremljenih digitalnih opazovalnic. Vsaka potresna opazovalnica je opremljena z zajemalno enoto, dolgoperiodnim seizmometrom in pospeškometro (Tasič, 2023). Tip seizmološke opreme na posamezni potresni opazovalnici, ki je bila nameščena ob koncu leta 2023, je prikazan na sliki 1. Poleg seizmološke merilne opreme se na opazovalnicah nahaja še podporna oprema v štirih sklopih: komunikacijska oprema, oprema za zagotavljanje neprekinjene oskrbe z električno energijo, oprema za dodaten nadzor delovanja zajemalnih enot ter oprema za nadzor vdora vode in beleženje temperature ob seizmometru.

Glavna naloga Sektorja za potresna opazovanja na Uradu za seizmologijo je neprestano spremljanje delovanja vse opreme na DMPO in zagotavljanje optimalne kakovosti seizmoloških podatkov ter v največjem možnem obsegu preprečevanje njihove izgube. Zato izvajamo različne analize, na osnovi katerih izboljšujemo delovanje DMPO.



Slika 1: Državna mreža potresnih opazovalnic ob koncu leta 2023. Prikazana je razporeditev različnih tipov seizmometrov, pospeškometrov in zajemalnih enot po posameznih potresnih opazovalnicah.

Figure 1: Seismic network of Slovenia at the end of the year 2023 (seizmometer = seismometer, pospeškometer = accelerometer; zajemalna enota = acquisition unit).

Vsi posegi na DMPO ter rezultati analize vseh parametrov, ki vplivajo na kakovost delovanja DMPO, so podani v internem poročilu Sektorja za potresna opazovanja (SPO, 2023). Le-to obravnava naslednje parametre, ki opisujejo kakovost delovanja DMPO:

- Podroben opis vseh del in posodobitev, ki so bile izvedene na posamezni potresni opazovalnici.
- Število izpadov komunikacije posamezne potresne opazovalnice glede na trajanje izpada. Za daljše izpade (več kot 2 uri) podajamo tudi njihove vzroke.
- Skupno trajanje izpadov posamezne potresne opazovalnice glede na določen časovni interval ter skupno trajanje izpadov posamezne potresne opazovalnice v določenem mesecu. Rezultati za posamezno opazovalnico so podani v obliki preglednic in grafov.
- Podroben opis izpadov, ki so povzročili izgubo podatkov.
- Število samodejnih nastavitvev mirovne lege seizmometra za opazovalnice opremljene s tipom seizmometra, ki to funkcijo omogoča.
- Analiza nivoja celotnega seizmičnega nemira (predstavlja kombinacijo naravnih in umetnih seizmičnih izvorov) na potresni opazovalnici. Omenjena analiza je zelo pomembna zaradi ugotavljanja morebitnih okvar na seizmološki merilni opre. Večina menjav seizmometrov oziroma pospeškometrov se izvede na osnovi te analize.
- Časovni potek mirovne lege seizmičnih senzorjev in napajalne napetosti na potresni opazovalnici.
- Časovni potek vrednosti temperature ob seizmometru.
- Analiza vdorov vode v jaške potresnih opazovalnic. Podajamo število vdorov vode in njihove datume.

V tem prispevku izpostavljamo le pomembnejše točke iz internega poročila (SPO, 2023). Glavne posodobitve, ki smo jih v letu 2023 izvedli na DMPO, pa so naslednje:

- Menjave seizmometrov: Seizmometer tipa CMG-3T smo na potresni opazovalnici CRNS nadomestili s seizmometrom tipa TH120. Na potresni opazovalnici GBRS smo seizmometer CMG-3ESPC nadomestili s seizmometrom STS 2.5. Na potresni opazovalnici KOGS smo seizmometer CMG-3T nadomestili s seizmometrom istega tipa.
- Menjave pospeškometrov: Na potresni opazovalnici GBAS smo namestili pospeškometer tipa NMX Titan. Na potresni opazovalnici GBRS smo namestili seizmometer tipa Guralp Fortis.
- Menjave zajemalnih enot: Na potresni opazovalnici KOGS smo zamenjali okvarjeno zajemalno enoto Q330HRS z drugo istega tipa.
- Vzdrževanje nadzornih sistemov in JetBox oziroma Raspberry Pi (RPi) enot: V letu 2023 smo izvajali kontrolo omenjenih sistemov. Na potresni opazovalnici CEY smo zamenjali RPi enoto.
- Vzdrževanje napajalnih sistemov: Na potresni opazovalnici GROS smo zamenjali akumulatorski polnilnik in razsmernik.
- Na potresni opazovalnici CRNS smo zaradi pretrganega komunikacijskega voda (posledica plaz) namestili novo komunikacijsko opremo (4G brezžična komunikacija). Komunikacijsko opremo smo zamenjali tudi na potresni opazovalnici GBAS (4G brezžična komunikacija).

Delovanje DMPO v letu 2023

V letu 2023 je bila celotna DMPO opremljena z zajemalnimi enotami Q330HRS (Tasič, 2023). Ta tip zajemalnih enot omogoča tudi hranjenje podatkov v primeru izpada komunikacije. Z dvojnim hranjenjem podatkov na lokaciji potresne opazovalnice, na zajemalni enoti in na dodatni enoti JetBox ali RPi, do izgube podatkov zaradi daljše prekinitve komunikacije praktično ne more več priti.

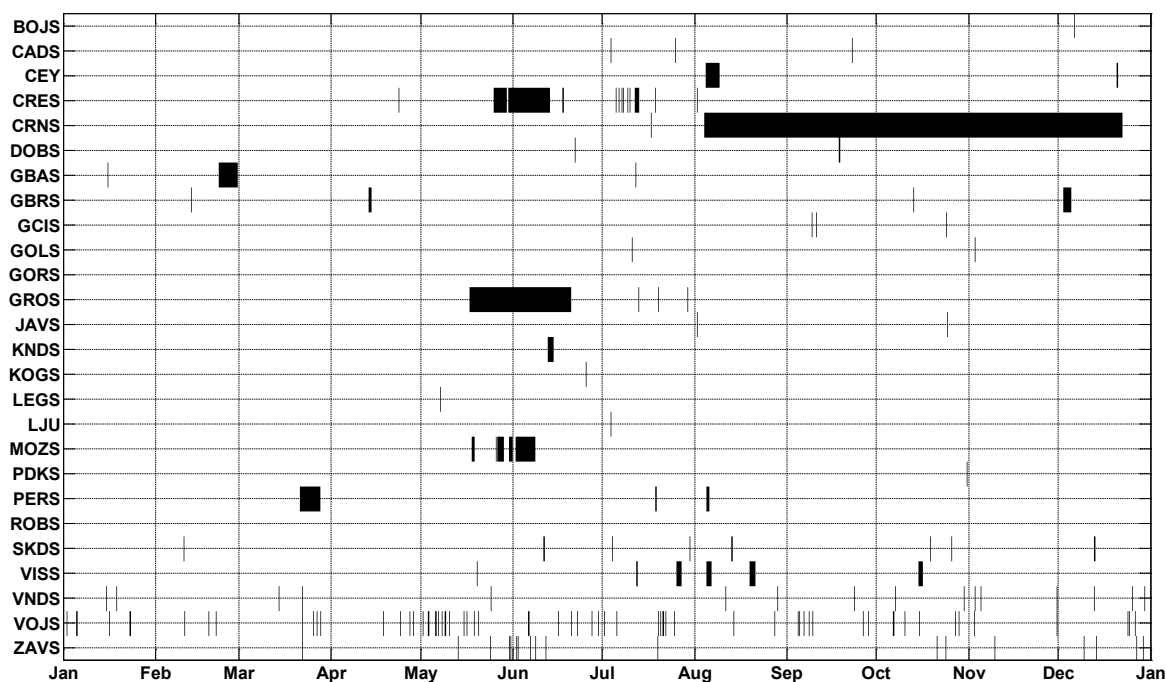
Do trajne izgube seizmičnih podatkov še vedno lahko pride zaradi daljše prekinitve napajanja potresne opazovalnice z električno energijo. Z nadgraditvijo napajalnih sistemov (Mali in drugi, 2008) ter ločenim napajanjem komunikacijske opreme in zunanjih pomnilniških enot je avtonomija delovanja seizmološke opreme najmanj en teden. Avtonomija delovanja komunikacijske opreme pa je najmanj en dan.

V letu 2023 je bilo 21 potresnih opazovalnic opremljenih z nadzornim sistemom, ki v obeh jaških preverja potencialni vdor vode, na nekaterih lokacijah tudi temperaturo ob seizmometru. V primeru odstopanja parametrov od mejnih vrednosti nadzorni sistem o tem obvesti dežurnega instrumentalista (Mali, 2014).

Do večje izgube seizmoloških podatkov je v letu 2023 prišlo na opazovalnicah CRNS in KOGS. Na potresni opazovalnici CRNS so bili zaradi plaz, ki se je sprožil v poplavih avgusta 2024, pretrgani komunikacijski in električni vodi, zato seizmološka merilna oprema ni delovala od 9. 8. 2023 do 4. 10. 2023. Ker je na potresni opazovalnici KOGS zaradi poškodovane dovodne cevi v oba jaška vdrla voda, smo do sanacije poškodbe odstranili seizmološko merilno opremo (od 16. 5. 2023 do 20. 6. 2023).

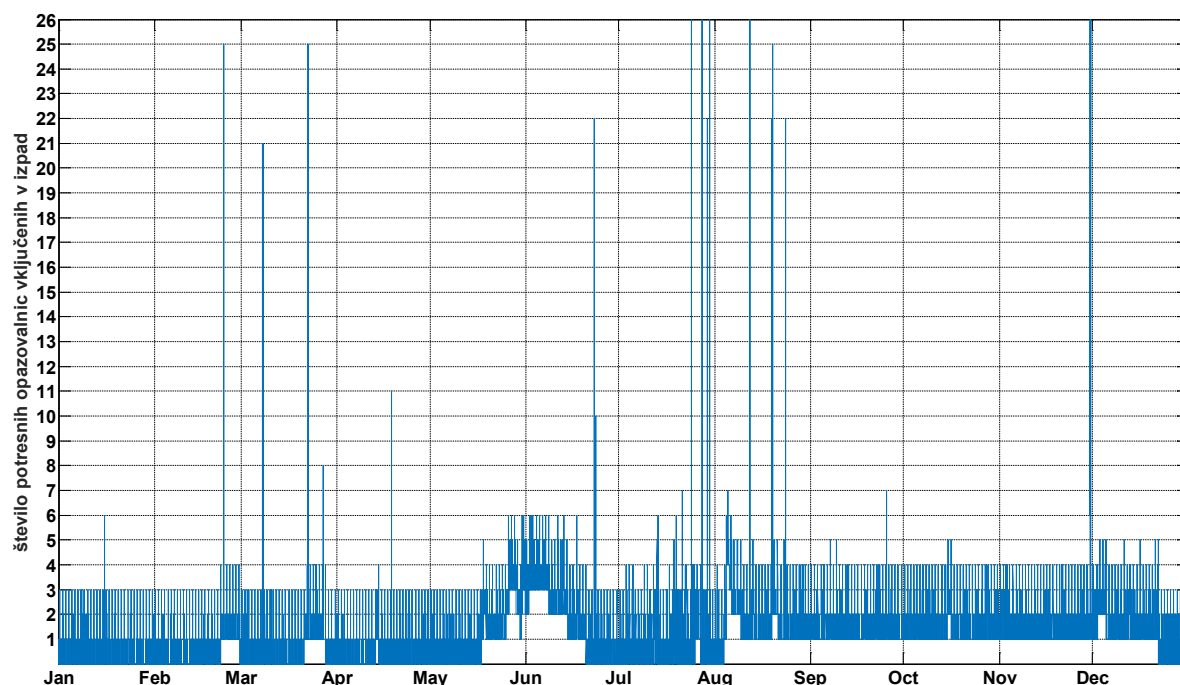
Na slikah 2a in 2b je prikazan pregled delovanja DMPO v letu 2023, kjer črna barva (slika 2a) predstavlja nedelovanje oziroma izpad potresne opazovalnice. Pregled vseh izpadov ter opis najdaljših izpadov za posamezno potresno opazovalnico so podani v preglednicah 1 in 2. Večina daljših izpadov, ki so posledica izpada na komunikacijskih poteh, ne predstavlja

več trajne izgube podatkov, ampak le nezmožnost analize morebitnega seizmičnega dogodka v realnem času.



Slika 2a: Pregled delovanja DMPO v letu 2023. Izpadi so označeni s črno barvo. Ločljivost slike omogoča, da so vidni le izpadi, daljši od treh ur.

Figure 2a: An overview of out-of-operation periods (black lines) for Seismic network of Slovenia in the year 2023. Due to the resolution, only out-of-operation periods longer than three hours are shown.



Slika 2b: Pregled delovanja DMPO v letu 2023. Izpadi so označeni z modro barvo. Na ordinatni osi je podano število opazovalnic, ki so sočasno vključene v izpad.

Figure 2b: An overview of out-of-operation periods (blue lines) for Seismic network of Slovenia in the year 2023. On the ordinate axis, the number of stations involved in the out-of-operation period is given.

Preglednica 1: Skupni podatki o številu izpadov in njihovem trajanju za DMPO v letu 2023.

Table 1: Out-of-operation periods (OOOP) for Seismic network of Slovenia in the year 2023.

oznaka opazovalnice	število vseh izpadov	skupno trajanje vseh izpadov	število izpadov, daljših od dveh ur
station code	total number of OOOP	total duration of OOOP	number of OOOP > 2 hours
BOJS	56	5h 13m 57s	0
CADS	208	13h 41m 24s	0
CEY	337	5d 12h 17m 13s	1
CRES	517	22d 15h 14m 16s	5
CRNS	91	141d 0h 10m	2
DOBS	41	13h 15m	1
GBAS	226	6d 13h 10m	1
GBRS	330	5d 2h 19m	4
GCIS	13.724	18d 0h 6m	3
GOLS	450	22h 48m	1
GORS	209	17h 7m	1
GROS	74	13h 49m	1
JAVS	549	8d 4h 2m	5
KNDS	2401	3d 15h 29m	1
KOGS	139	34d 17h 3m	3
LEGS	369	21h 54m	0
LJU	31	2d 15h 5m	7
MOZS	338	2d 12h 44m	1
PDKS	60	6h 27m 53s	0
PERS	198	7h 22m	0
ROBS	106	9h 40m	0
SKDS	59	11d 1h 13m	5
VISS	254	10h 27m	0
VNDS	73	8d 17h 43m	3
VOJS	138	10h 19m	0
ZAVS	4238	4d 22h 29m	0
Σ	25.216		45

Preglednica 2: Pregled najdaljših izpadov za posamezno potresno opazovalnico DMPO v letu 2023 in razlogi zanje.

Table 2: An overview and causes for the longest out-of-operation periods (OOOP's) for each station of the Seismic network of Slovenia in the year 2023.

oznaka potresne opazovalnice	nastop najdaljšega izpada datum ob h.min	trajanje najdaljšega izpada	vzrok
station code	date/time of the longest OOOP date at h.min	duration of the longest OOOP	cause
BOJS	29. 7. ob 14.39	1h 7m 2s	izpad na komunikacijah
CADS	29. 7. ob 14.39	1h 6m 18s	izpad na komunikacijah
CEY	4. 8. ob 15.42	4d 16h 36m	napaka na komunikacijski opremi
CRES	30. 5. ob 9.57	13d 22h 14m	napaka na komunikacijskih vodih
CRNS	4. 8. ob 0.54	140d 8h 47m	zaradi plazu pretrgani elektro in komunikacijski vodi
DOBS	18. 9. ob 9.04	7h 36m	izpad na komunikacijah
GBAS	22. 2. ob 7.10	6d 5h 20m	napaka na komunikacijskih vodih
GBRS	2. 12. ob 13.53	2d 19h 11m	okvarjena zaščita na komunikacijah
GCIS	6. 10. ob 7.37	0d 3h 45m	izklop enote Q330 zaradi izvedbe tesnjenja jaškov
GOLS	24. 10. ob 9.33	2h 49m	izpad na komunikacijah
GORS	10. 7. ob 22.02	2h 2m	izpad na komunikacijah
GROS	30. 5. ob 6.10	6h 2m	izpad na komunikacijah
JAVS	19. 8. ob 8.43	2d 0h 58m	napaka na komunikacijski opremi
KNDS	28. 8. ob 16.26	2h 16m	izpad na komunikacijah
KOGS	17. 5. ob 10.50	33d 22h 23m	vdor vode v opazovalnico
LEGS	21. 9. ob 22.02	1h 8m	izpad na komunikacijah
LJU	12. 12. ob 18.35	12h 29m	napaka na komunikacijski opremi
MOZS	12. 6. ob 15.45	1d 20h 18m	napaka na komunikacijskih vodih
PKDS	29. 7. ob 14.39	1h 6m 21s	izpad na komunikacijah
PERS	29. 7. ob 14.39	1h 7m	izpad na komunikacijah
ROBS	29. 7. ob 14.39	1h 7m	izpad na komunikacijah
SKDS	1. 6. ob 20.20	6d 11h 34m	napaka na komunikacijski opremi
VISS	29. 7. ob 14.39	1h 7m	izpad na komunikacijah
VNDS	21. 3. ob 8.42	6d 22h 34m	napaka na komunikacijskih vodih
VOJS	29. 7. ob 2.04	1h 7m	izpad na komunikacijah
ZAVS	25. 12. ob 8.49	1h 20m	izpad na komunikacijah

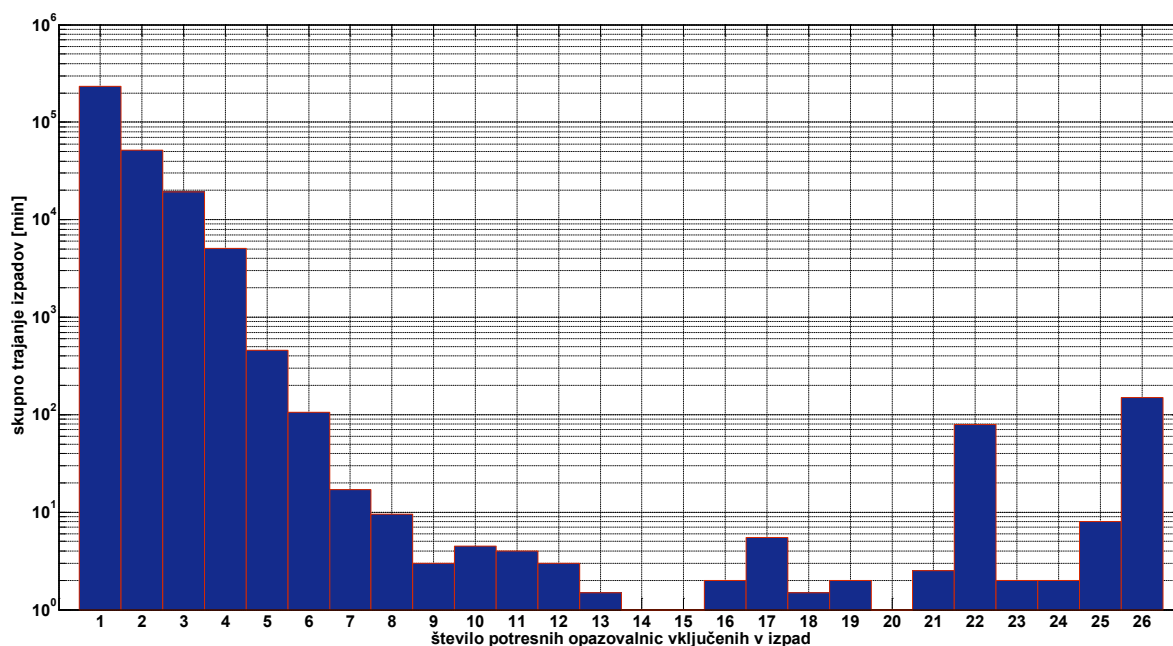
Na sliki 3 je prikazano skupno trajanje izpadov glede na število sočasno nedelujočih opazovalnic. Posamezna vrednost predstavlja skupno trajanje vseh sočasnih izpadov določenega števila opazovalnic. Stolpci se med seboj izključujejo. Skupno trajanje izpadov v posameznem stolpcu sestavlja več izpadov, v katere je bilo vključeno enako število potresnih opazovalnic. Postopek samodejnega lociranja potresa vsebuje ocenjevanje številnih neznank,

zato potrebuje podatke čim večjega števila potresnih opazovalnic. Če v trenutku potresa sočasno izpade večje število potresnih opazovalnic, je določitev potresnih parametrov otežena oziroma manj natančna. Pregled sočasnih izpadov je podan v preglednici 3 (oranžno poudarjen je izpad, v katerem je bilo sočasno vključenih več kot dvajset opazovalnic in je trajal dlje kot 5 minut).

Preglednica 3: Število izpadov po dolžini in številu sočasno izpadlih potresnih opazovalnic

Table 3: Simultaneous out-of-operation periods for Seismic network of Slovenia.

število opaz. / no. of stations	dolžina trajanja izpadov / length of OOOOP [min]						
	0–5 min	5–15 min	15–30 min	30–45 min	45–60 min	60–120 min	>120 min
2	11.955	755	165	68	28	69	52
3	2999	392	118	46	13	27	16
4	1745	71	6	1	0	5	4
5	210	6	0	0	0	0	0
6	31	3	0	0	0	0	0
7	6	0	0	0	0	0	0
8	3	0	0	0	0	0	0
9	1	0	0	0	0	0	0
10	2	0	0	0	0	0	0
11	1	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0
17	1	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0
22	6	0	0	0	0	1	0
23	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0
25	4	0	0	0	0	0	0
26	15	1	1	1	1	0	0



Slika 3: Skupno trajanje izpadov več potresnih opazovalnic hkrati (leto 2023).

Figure 3: Total duration of out-of-operation periods that occurred at several seismic stations simultaneously in 2023.

Zaključek

Predstavili smo povzetek analize delovanja DMPO v letu 2023 in najpomembnejše izvedene posodobitve. Ugotovili smo, da se izpadi (prekinitev v komunikaciji s posamezno potresno opazovalnico) pojavljajo neprestano. Medtem, ko je vzrok krajših izpadov vedno prekinitev na komunikacijah, pa so vzroki daljših izpadov raznovrstni in jih v grobem lahko delimo v tri skupine. V prvi skupini so problemi z napajanjem z električno energijo, v drugo skupino sodijo izpadi, ki so povezani s komunikacijsko potjo in opremo, v tretjo skupino pa uvrščamo okvare na seizmološki opreml (na seizmometrih ali zajemalnih enotah). S podpornimi sistemi, ki jih razvijamo in dopolnjujemo ter z rednimi posodobitvami in testiranjem seizmološke merilne opreme, zmanjšujemo število in dolžino izpadov zaradi vseh naštetih vzrokov.

Podali smo tudi analizo izpadov več potresnih opazovalnic hkrati. V letu 2023 smo imeli 19 izpadov, v katere je bila vključena celotna DMPO. Posebno pozornost smo namenili predvsem tako imenovanim kritičnim izpadom, pri katerih več kot 75 % potresnih opazovalnic (20 ali več) izpade za več kot 5 minut. V letu 2023 smo imeli 5 takšnih izpadov.

Rezultati analiz delovanja opreme so nam v veliko pomoč pri nadaljnjem delu. Na njihovi osnovi vsakoletno izluščimo najpogostejše napake, ki povzročijo posamezen izpad oziroma so vzrok za slabšo kvaliteto zajetih seizmičnih signalov. S pomočjo teh spoznanj izboljšujemo opremo in postopke na mreži potresnih opazovalnic in tako izboljšujemo njeno delovanje ter preprečujemo morebitno škodo.

Literatura

Mali, M., 2014. Nadzorni sistem za kontrolo nivoja vode in stabilnosti temperature. Potresi v letu 2013, Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za seizmologijo, Ljubljana. ISSN 1318-4792.

Mali, M., Tasič, I., Pančur, L., 2008. Vpliv brezprekinitvenega napajanja na delovanje potresne opazovalnice. Potresi v letu 2007, Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za seizmologijo, Ljubljana. 54– 59. ISSN 1318-4792.

SPO, 2023. Državna mreža potresnih opazovalnic, delovanje v letu 2023, interno poročilo, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana.

Tasič, I., 2023. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2021, Potresi v letu 2021, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana. ISSN 1318-4792.

Kazalo