

AVTOMATSKO DOLOČANJE LOKACIJE ŽARIŠČA POTRESA IN OBVEŠČANJE JAVNOSTI

Automatic Determination of Earthquake Hypocenter and Informing the Public

Izidor Tasič* UDK 550.34.06

Povzetek

Ob rušilnem potresu avtomatsko določanje žarišča omogoča prvo informacijo o tem, kje je bilo žarišče potresa in kakšne so razsežnosti katastrofe. Zato mora biti taka informacija verodostojna. Vhodni podatki za izračun lokacije so časi prihoda potresnih valov, ki jih avtomatsko detektiramo v potresnih opazovalnicah. Na izračun pri avtomatski lokaciji vpliva mnogo različnih dejavnikov, vendar je natančnost pri detekcijah bistvenega pomena za izračun parametrov potresa. Slovenija je fazi modernizacije seizmološke mreže, ki naj bi bila zaključena do konca leta 2003, njen cilj pa je tudi kakovostno in hitro obveščanje pristojnih služb in javnosti.

Abstract

In the case of a devastating earthquake, the automatic determination of its hypocenter provides primary information about the size and location of the earthquake. Therefore, it is essential that such information be authentic. The calculation of the location of an earthquake is based on the arrival time of seismic waves that are automatically picked up by seismic stations. Automatic location depends on various factors, and the accuracy of its detection affects the evaluation of earthquake parameters. Slovenia is now committed to modernizing its national seismic network by the year 2003 in order to provide information to organizations and the public more efficiently.

Uvod

Iz zgodovinskih virov lahko ugotovimo, da je bilo v preteklosti v Sloveniji kar nekaj rušilnih potresov, ki so poleg velike materialne škode zahtevali tudi človeška življenja. Ob katastrofalnem potresu lahko hitro ukrepanje reši največ življenj. Toda kako razporediti moči in sile za reševanje? Kakšne so razsežnosti katastrofe in kje je bilo žarišče potresa? Ta odgovor najhitreje dobimo od seizmologov, natančneje, od seizmološke mreže.

Osnovni namen seizmološke mreže je beleženje seizmičnih dogodkov. To pomeni sistematično spremljanje in proučevanje potresne dejavnosti. Posredno pa je naloga seizmološke mreže oz. njenega upravljavca, da v primeru močnejšega potresnega sunka hitro in učinkovito obvesti službe, ki so pristojne za ukrepanje v izrednih razmerah, in javnost (slika 1). Sodobne seizmološke mreže lahko že v zelo kratkem času po močnejšem potresu avtomatsko določijo osnovne parametre potresa.

Ozemlje Slovenije se po številu in moči potresov uvršča med aktivna območja. Potresne opazovalnice v Sloveniji zabeležijo letno nekaj tisoč seizmičnih dogodkov, od tega jih ima nekaj sto izvor v Sloveniji ali naši neposredni bližini.

Pri lociranju žarišč potresa nam pomaga dejstvo, da se skozi trdno snov razširjata dva tipa potresnih valov, longitudinalno ali vzdolžno ter transversalno ali prečno valovanje (Ribarič, 1984). V seizmologiji jim iz zgodovinskih razlogov pravimo P- in S-valovi (slika 2). Oba tipa valov imata svoj izvor v žarišču

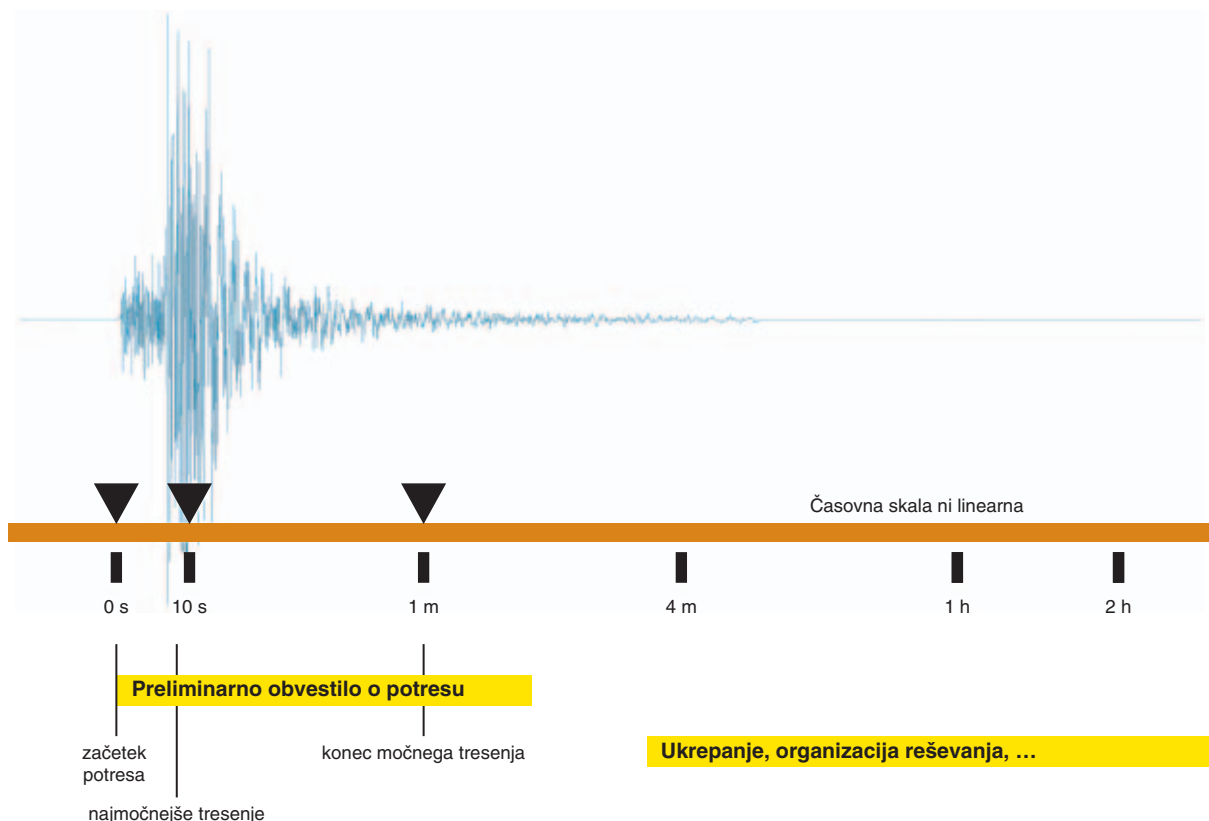
potresa, vendar je hitrost razširjanja P-valov večja. Bolj je opazovalnica oddaljena od žarišča potresa, večja je razlika v času med prihodom P- in S-potresnih valov do opazovalnice. Pri lokalnih potresih obstaja med oddaljenostjo žarišča od opazovalnice in časovno razliko med prihodom P- in S-potresnih valov linearna zveza, kar nam pomaga pri lokaciji.

Torej je osnovni podatek za določanje lokacije žarišča potresa ura, ko potresni valovi določenega tipa pridejo do potresne opazovalnice (in to na natančnost nekaj stotink sekunde). Do tega podatka pride strokovnjak pri analizi zapisa potresa tako, da na zapisu označi mesto, kjer se začne potresno valovanje določenega tipa (Tasič, 2000). Ker so seizmometri opremljeni s točno uro (Sinčič in sod., 1998), ki je nastavljena na svetovni časovni standard UTC, dobimo tako podatek o času.

Čeprav je teoretično možno določiti položaj nadžarišča potresa z eno samo trokomponentno potresno opazovalnico, potrebujemo za približno lociranje nadžarišča podatke iz najmanj treh (slika 3), za natančno določitev vseh parametrov potresa vključno z globino pa podatke iz večjega števila potresnih opazovalnic (najmanj štirih), ki so čim bolj enakomerno razporejene okoli žarišča potresa.

Koordinate žarišča izračunamo z inverznim postopkom, pri čemer moramo poleg časov prihoda potresnih valov natančno poznati tudi lokacijo potresnih opazovalnic. Ker hitrost potresnih valov v zemlji ni konstantna, ampak se spreminja v prostoru, predvsem z globino (Cecić in sod., 1998), uporabljamo pri izračunu osnovnih parametrov različne numerične postopke.

* mag., Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Dunajska 47, Ljubljana, izidor.tasic@gov.si



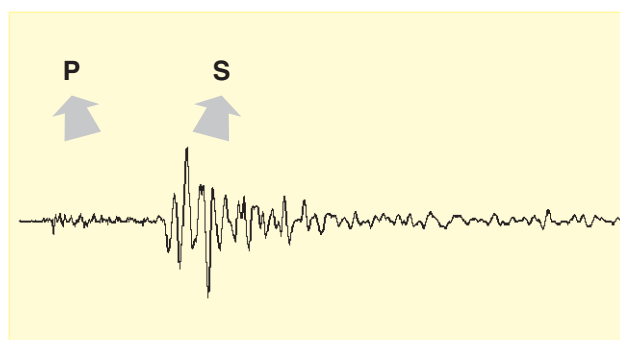
Slika 1. Shema zaporedja dogodkov ob močnejšem potresu
Figure 1. Sequence of events in case of a strong earthquake

Avtomatsko določanje lokacije žarišča potresa

Najpomembnejši del pri analizi potresa je prepoznavanje vstopa različnih tipov potresnega valovanja na zapisu potresa. Te postopke opravlja strokovnjak. Že leta 1965 pa so v ZDA na mreži potresnih opazovalnic v zvezni državi Montana (Large Aperture Seismic Array, LASA) instalirali prvi avtomatski sistem za zaznavanje dogodkov. Vendar je bila vloga prvih avtomatskih sistemov zaradi nizke računalniške moči procesnih enot bolj opozarjati strokovnjaka na dogodek. Tak dogodek je nato strokovnjak pregledal in nato razvrstil oz. obdelal.

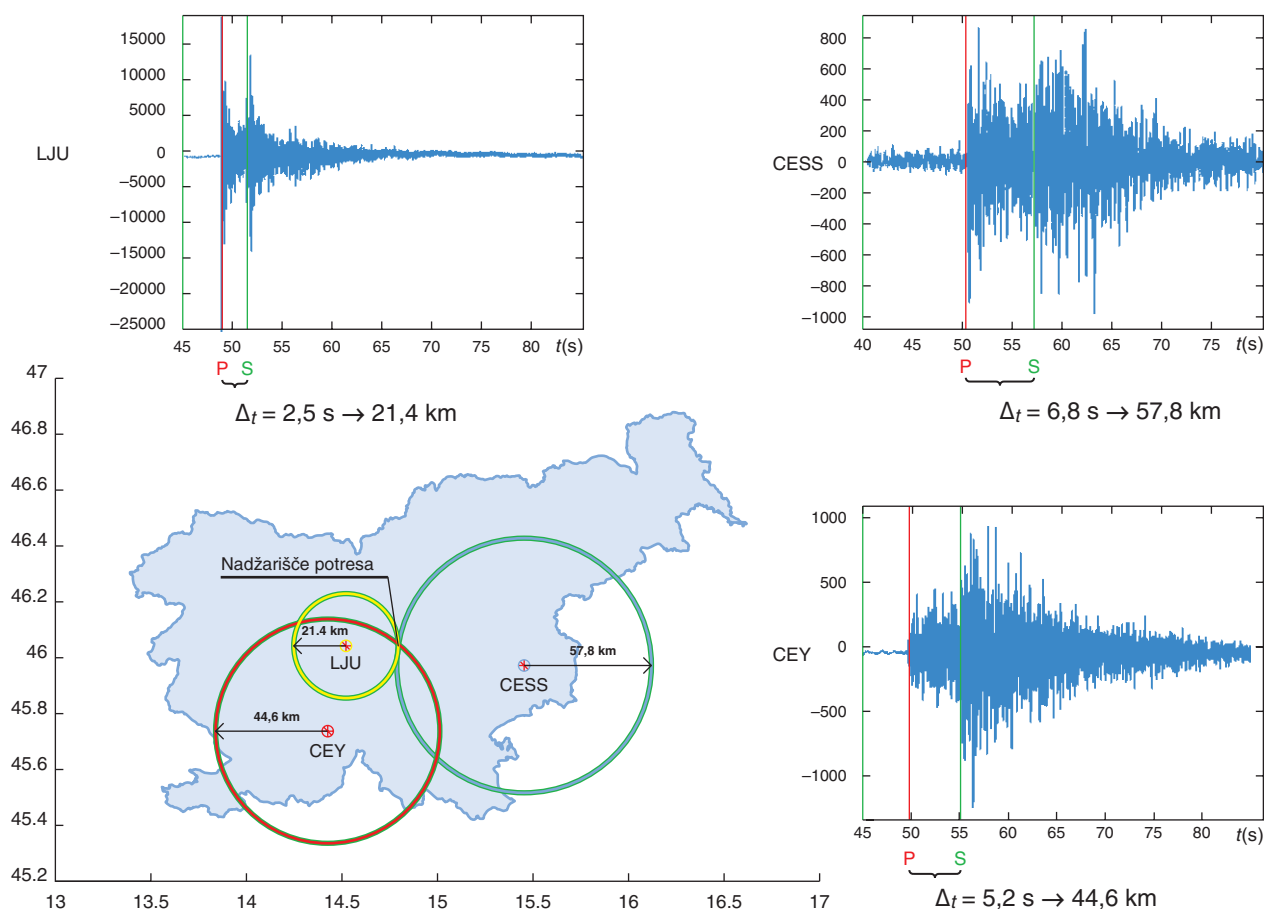
Dogodek v seizmološkem smislu je del zapisa na seizmogramih, ki odstopa od zapisa povprečnega nihanja tal (oz. od lokalnega seizmičnega šuma) v nekem časovnem intervalu glede na frekvenco oz. amplitudo signala. Dogodek je lahko zapis potresa, lahko pa so njegov vir tudi drugi naravni pojav (strela, veter ...) ali motnja, ki ima svoje izvore v urbanem okolju (avto, kosilnica ...). Motnjo lahko povzroči tudi napaka v napravi. Raznolikost zapisov si lahko ogledamo na sliki (slika 4).

Zaznavanje dogodka na seizmogramu (ang.: event detection) je postopek označevanja časa začetka dogodka na zapisu. Zaznavanje dogodka ne pomeni tudi istočasno prepozna-



Slika 2. Zapis lokalnega potresa je sestavljen iz signalov z majhnimi amplitudami, ki jim sledi skupina signalov, kjer se amplituda izrazito poveča. Ta pojav so opazili že ob koncu devetnajstega stoletja, ko so začeli delovati prvi preprosti seizmografi. Pri proučevanju zapisov so prvo skupino valov poimenovali primae in jih označili s črko P. Drugo skupino valov so poimenovali secundae in jih označili s črko S.

Figure 2. The record of a local earthquake is composed of a group of signals of relatively small amplitude and a subsequent group of signals of considerably increased amplitude. This phenomena was already observed at the end of 19th century, when simple seismographs were introduced. The first ones were called "primae" and marked with the letter P, while the second group of waves was called "secundae" and marked with an S.



Slika 3. Metoda krogov je preprosti postopek za oceno lege nadžarišča potresa. Pri tem postopku potrebujemo šestilo, zemljevid in zapis potresa iz (najmanj) treh opazovalnic, kjer so dobro vidni prihodi P in S potresnih valov. Oddaljenost potresne opazovalnice od žarišča potresa je sorazmerna z razliko v času prihoda P- in S- valov ($t_s - t_p \propto$ oddaljenost). Presečišče krožnic, radij kroga je ocenjena oddaljenost potresne opazovalnice od nadžarišča potresa, je ocena za lego nadžarišča.

Figure 3. A simple way of defining the location of an epicenter is with the method of circles. A compass, map, and records of earthquakes from at least three stations are used. The time difference of P and S seismic waves is proportional to the distance of a seismic station from the epicenter ($t_s - t_p \propto$ distance). The intersection of circular lines – the radius of a circle being the distance of a seismic station – gives the estimated site of the epicenter.

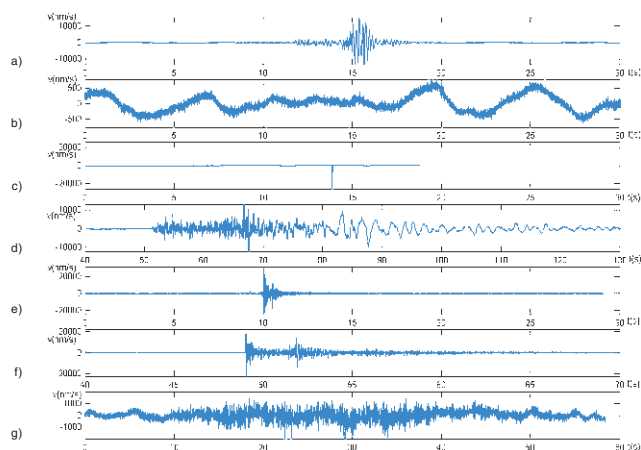
vanje oziroma identifikacijo dogodka. Z razvojem digitalne tehnologije so strokovnjaki povsod po svetu razvijali tudi postopke za zaznavanje dogodkov in njihovo razvrščanje (Allen, 1978; Cichowicz, 1993; Dai, 1995; Wang, 1997; ...). Tako danes poznamo zelo različne algoritme, od preprostih sistemov, ki delujejo na principu prekoračitve praga, do zelo kompleksnih, ki temeljijo na postopkih prepoznavanja vzorcev. Pri nekaterih postopkih za zaznavanje dogodka so osnova nevronske mreže, pri drugih so to različni adaptivni postopki itd.

Vendar na zapis potresa vpliva veliko težko določljivih dejavnikov. Nihanje tal je lahko tako neznamno, da ga zaznajo samo najbolj občutljive naprave, lahko pa je tako močno, da povzroči porušitev zgradb. Perioda potresnega vala je lahko nekaj tisočin sekunde, lahko pa je tudi nekaj deset minut. Zapis istega potresa se lahko močno razliku-

jejo že zaradi lokalne geološke podlage in geografskih pogojev. Raznolikost v zapisih potresnega valovanja med različnimi potresi tako v amplitudnem kakor tudi v frekvenčnem območju je tako velika, da še vedno ne obstajajo avtomatski sistemi, ki bi lahko popolnoma nadomestili človeka.

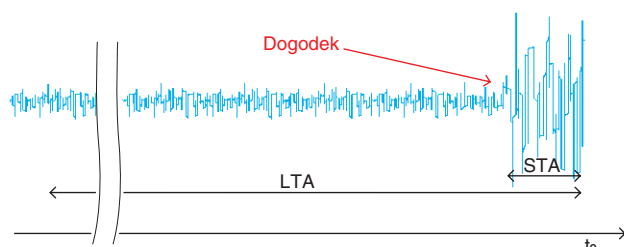
Kompleksni algoritmi za zaznavanje in razporejanje dogodkov sicer dajo zadovoljive rezultate za določen tip zapisov potresov, vendar imajo kar nekaj slabosti. Glavna pomanjkljivost je, da je treba pri kompleksnih sistemih upoštevati in obvladati veliko težko določljivih spremenljivk algoritma.

Zato so za avtomatsko lokacijo žarišča potresa seizmološke mreže pogostokrat opremljene s preprostimi detektorji, ki temeljijo na postopku STA/LTA. Pri tem detektorju neprestano izračunavamo standardno deviacijo seizmičnega



Slika 4. Primeri različnih zapisov dogodkov: a) zapis zemljiskega plazja; b) zapis šuma; c) zapis napake na instrumentu; d) zapis potresa z nadžariščem, oddaljenim 95 km od potresne opazovalnice; e) zapis udara strele in grmenja; f) zapis potresa z nadžariščem, oddaljenim 21 km od potresne opazovalnice; g) zapis vlaka.

Figure 4. Examples of records of different events: a) a landslide; b) seismic noise; c) an earthquake whose epicenter is 95 km from a seismic station; e) lightning and thunder; f) an earthquake whose epicenter is 21 km from a seismic station; g) a moving train.



Slika 5. Shema postopka STA/LTA. Ko postane vrednost standardne deviacije σ_{STA} , ki je izračunana v krajšem časovnem intervalu STA, izrazito večja od standardne deviacije šuma σ_{LTA} , smo zaznali dogodek. Pred tem je bilo razmerje med signalom in šumom podobno.

Figure 5. Scheme of STA/LTA procedure. An event is detected when the value of standard deviation σ_{STA} calculated within a shorter time interval STA rises considerably above the value of standard deviation of seismic noise σ_{LTA} .

signala v dveh časovnih intervalih, ki se med seboj razlikujeta najmanj za red velikosti 100 (slika 5). Izračunano vrednost standardne deviacije v daljšem časovnem intervalu imenujemo LTA (Long Time Average) in predstavlja standardno deviacijo trenutnega seizmičnega šuma na potresni opazovalnici. Vrednost standardne deviacije, ki jo dobimo pri izračunu kratkega časovnega intervala, imenujemo STA (Short Time Average). STA nam poda informacijo o trenutnem dogajanju na potresni opazovalnici. Za lokalne potrese je časovni interval STA okoli 0,1 sekunde. V kolikor sta vrednosti STA in LTA podobni, je razmerje STA/LTA približno ena in STA prikazuje šum na lokaciji. V trenutku, ko postane

vrednost STA mnogo večja od LTA, to pomeni, da je sistem zaznal dogodek, saj se je amplituda seizmičnega signala povečala. Čas, ko postopek STA/LTA na posameznih opazovalnicah preide pragovno vrednost, je privzet kot čas prihoda potresnih valov in ga procesna enota v središču uporabi v avtomatskem izračunu.

Algoritem je preprost. Postopek poda zadovoljive rezultate ob izrazitih prihodih potresnega valovanja. Tak postopek pa še ne identificira dogodka kot potres. Za to je potrebnih več potresnih opazovalnic, ki morajo biti med seboj povezane v realnem času. Ponavadi je povezava zvezdasta, vse opazovalnice pošiljajo podatke v center za obdelavo podatkov. Ko skoraj istočasno več potresnih opazovalnic, ki so med seboj oddaljene vsaj nekaj kilometrov, zazna dogodek, je velika verjetnost, da ima ta dogodek isto žarišče in da je dogodek potres (slika 6). Količino je časovno okno, v katerem opazujemo koincidenco dogodkov, je odvisno od geometrije mreže. Ponavadi pa je časovna razlika enaka času, ki ga potresni valovi potrebujejo, da preidejo razdaljo dveh med seboj najbolj oddaljenih potresnih opazovalnic.

Avtomat in obveščanje javnosti

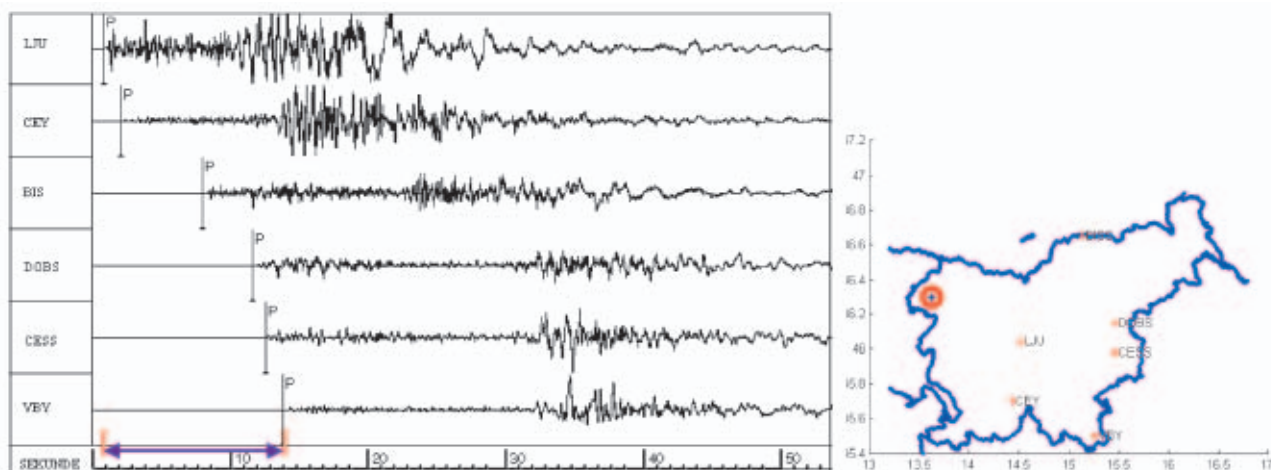
Da središče za obdelavo podatkov avtomatsko obdela potres, mora biti izpolnjenih kar nekaj pogojev:

- več opazovalnic mora zaznati dogodek,
- informacije morajo priti pravočasno do središča za avtomatsko obdelavo podatkov,
- središče za obdelavo podatkov z različnimi numeričnimi postopki obdela podatke ter sproži proces za informiranje seizmologa in ostalih služb.

Na natančnost lociranja žarišč potresov vplivajo porazdelitev potresnih opazovalnic, njihovo število, oddaljenost od žarišča, kakovost geološke podlage, na kateri so postavljene potresne opazovalnice, oprema potresnih opazovalnic, moč potresa, globina žarišča, viri urbanega seizmičnega šuma, numerični postopek za izračun lokacije...

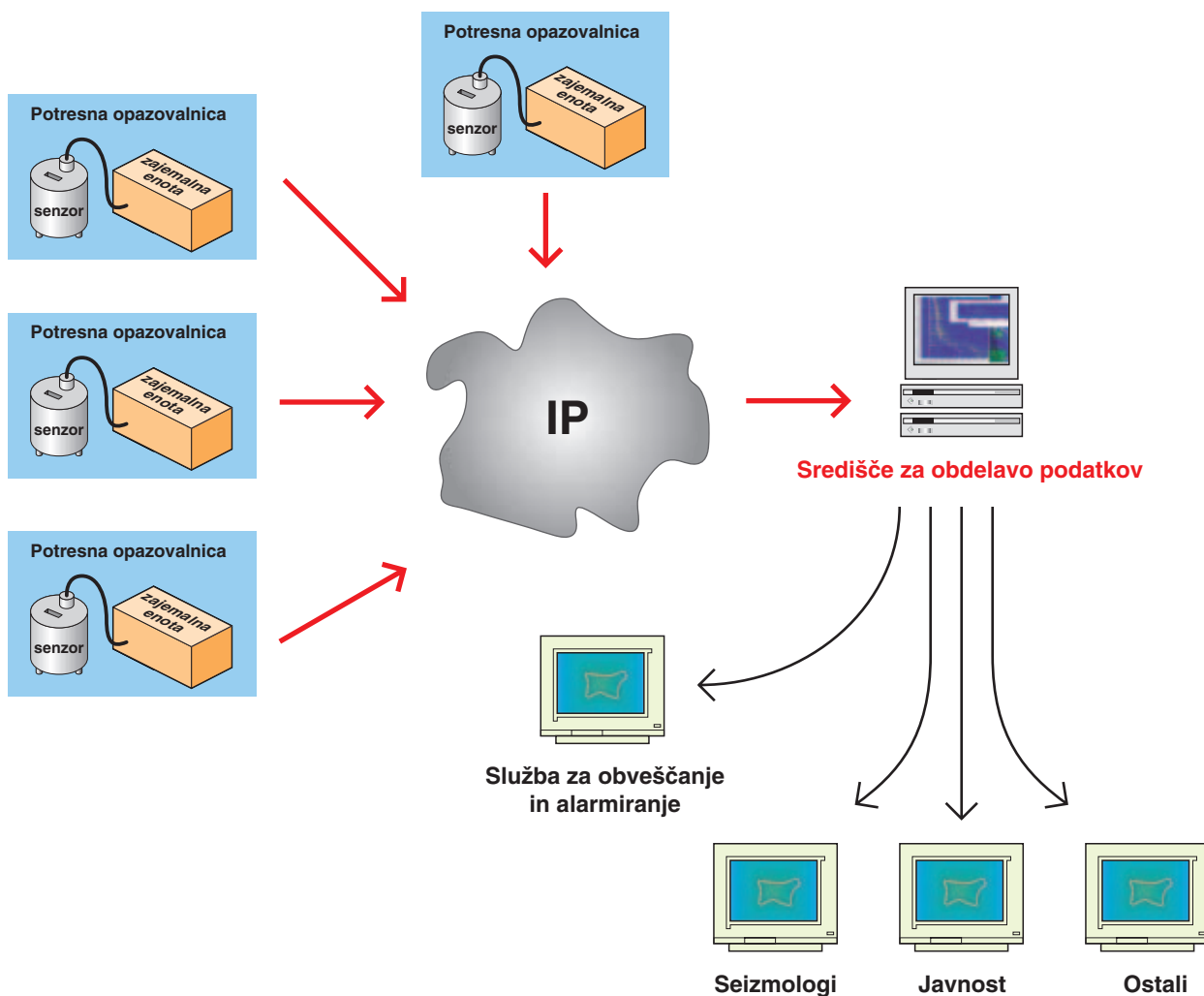
Naloga dobrega avtomatskega opozorilnega sistema je, da obvešča vse pristojne službe in javnost o osnovnih parametrih potresa (slika 7) že pri šibkejših potresih. Pomembno pri obveščanju pa je, da ne pošiljamo lažnih obvestil. Le-ta so lahko rezultat treh različnih vzrokov:

- napačnega izračuna lokacije žarišča zaradi slabo določenih vstopnih časov. Kot smo že prej dejali, avtomatski sistemi še ne morejo popolnoma nadomestiti človeka. Ponavadi delujejo zadovoljivo pri dogodkih, kjer je razmerje signal/šum veliko. Detekcije pa so vprašljive v primerih, ko zaradi različnih vzrokov (žarišče potresa ni točkasto, ampak ima neko dimenzijo ter tako tudi sevalna funkcija za potresne valove ni krogelno simetrična) vstop potresa ni izrazit. V tem primeru lahko pride do napake v določitvi prihoda potresnih valov. Ta napaka se nato odraži pri izračunu lokacije žarišča potresa. To velja predvsem za potrese, ki jih ljudje sicer čutijo, vendar njihova moč ni taka, da bi povzročila materialno škodo;



Slika 6. Na zapisih (Slika a) so s črko P označeni začetki potresnega valovanja na potresnih opazovalnicah. Vse potresne opazovalnice so zaznale dogodek v časovnem intervalu 14 sekund. Na zemljevidu (Slika b) imamo označeno lego nadzarišča (rdeči krog) ter lege potresnih opazovalnic (rdeče zvezde).

Figure 6. Records (fig. a) designated by the letter P show the beginning of seismic activity at monitoring stations, which detected the event within a time interval of 14 seconds. The map (fig. b) presents the location of the epicenter (red circle) and the locations of stations (red star).



Slika 7. Shema delovanja avtomatskega opozorilnega sistema
Figure 7. Action plan of automatic warning system.

- koincidence dogodkov. Zaradi naključij se lokalne motnje, ki imajo svoj vir v človeški dejavnosti, zabeležijo na več potresnih opazovalnicah skoraj v istem času, kar sistem klasificira kot lokalni potres ter izračuna »navidezno« lokacijo;
- lažnega alarma zaradi teleseizmov. Močni potresi, ki imajo žarišče več tisoč kilometrov daleč stran, so viri potresnih valov, ki potujejo skozi zemeljsko notranjost in skoraj istočasno pridejo do potresnih opazovalnic. Sistem lahko tak dogodek zazna kot lokalni potres ter izračuna »navidezno« lokacijo.

Za natančno avtomatsko lociranje potresa, ki je namenjeno obveščanju javnosti ter za to pristojnih služb v Sloveniji, morajo biti potresne opazovalnice čim bolj enakomerno porazdeljene po celotnem slovenskem ozemlju, ne smejo pa biti v bližini virov urbanega seizmičnega šuma (tovarne, delovni stroji ...). Poleg tega morajo potresne opazovalnice stati na kamninah, ki so glede na seizmogeološke lastnosti kakovostne.

Velikonočni potres leta 1998 nas je opozoril, da so kakovostne in neodvisne komunikacije med opazovalnicami in centrom za obdelavo podatkov ključnega pomena za hitro in učinkovito lociranje potresa in obveščanje javnosti. Leta 1998 so potekale komunikacije med opazovalnicami in centrom večinoma prek klicnih telefonskih linij. Ker so nihanje tal čutili po celi Sloveniji, se je v trenutku povečala obremenitev telefonskih linij, saj so ljudje klicali svoje sorodnike itd. in posledica je bila, da zaradi zasedenih linij nismo imeli dostopa do podatkov. Zato sedaj večina podatkov prihaja prek najetih vodov. Komunikacije so pomembne tudi v naslednji stopnji, obveščanju javnosti. Podatki bodo zagotovo morali biti na voljo na svetovnem spletu. Še hitreje pa morajo podatki priti do pomembnih inštitucij. Rešitve so različne, od pošiljanja e-pošte do avtomatskega pošiljanja faksa. Zagotovo pa bo način posredovanja podatkov odvisen od razvoja informacijske tehnologije.

Sklepne misli

Slovenija je v fazi modernizacije seizmološke mreže, ki naj bi bila zaključena do konca leta 2003. Ker potresne opazovalnice še ne pokrivajo zadovoljivo celotnega slovenskega ozemlja, delujoči avtomatski sistemi v Sloveniji še nimajo vloge obveščanja javnosti, ampak samo alarmirajo seizmologe. Te vloge še nimajo tudi zaradi »lažnih alarmov«, ki pa izkušenega strokovnjaka ne morejo zavesti. Vendar je naloga Agencije RS za okolje, Urada za seizmologijo, da v čim krajšem času vzpostavi avtomatski sistem, ki bo ob močnejših potresnih sunkih obveščal (vsaj) pristojne službe. Uporabniki, predvsem laična javnost, pa se bo morala zavedati, da izračuni temeljijo na avtomatskem postopku in jih kot take tudi odgovorno upoštevati.

Literatura

1. Allen, R. V., 1978. Automatic earthquake recognition and timing from single traces. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 68, 1521–1532.
2. Cichowicz, A., 1993. An automatic S-phase picker, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 83, 180–189.
3. Ceci, I., Živčić, M., Gosar, A., Ravnik, J., 1998. Potresi v Sloveniji leta 1997. V: *Potresi v letu 1997*. Ljubljana, Uprava RS za geofiziko.
4. Dai, H., MacBeth, C., 1995. Automatic picking of seismic arrivals in local earthquake data using an artificial neural network. *Geophysical Journal International*, 120, 758–774.
5. Joswing, M., 1990. Pattern recognition for earthquake detection, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80, 170–186.
6. Ribarič, V., 1984. *Potresi*. Ljubljana, Cankarjeva Založba.
7. Sinčič, P., Vidrih, R., Deterding, M., 1998. *Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 1997*. Ljubljana, Uprava RS za geofiziko.
8. Skoko, D., Mokrović, J., 1982. *Andrija Mohorovičić, Školska knjiga*, Zagreb, Hrvaška.
9. Tasič, I., 2000. *Opredelitev vstopa potresnih valov lokalnega potresa*. V: *Potresi v letu 1999*, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Ljubljana.
10. Wang, J., Teng, T., 1997. Identification and picking S phase using an artificial neural network. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 87, 1140–1149.

POPOTRESNA OBNOVA V POSOČJU

Post-Earthquake Renewal in the Posočje Region

Radovan Tavzes*

UDK 699. 841:351(497. 4 Posočje)

Povzetek

Potres je 12. aprila 1998 prizadel severozahodni del Slovenije in najbolj poškodoval eno izmed takrat manj razvitih regij – Posočje. Slovenija ni imela izdelanega sistema odpravljanja posledic tako obsežnih nesreč, zato je bila prva naloga vzpostaviti urad, ki bo opravljal svetovalna in pripravljalna dela za obnovo objektov oz. novogradnje. Obnova je sledila tudi evropskim standardom pri utrjevanju in gradnji objektov, hkrati pa se lahko po štirih letih pohvali s 1224 obnovljenimi objekti visoke gradnje v zasebni lasti. Uspešnost obnove v Sloveniji potrjujeta tudi primera odziva po potresu v Turčiji in Italiji.

Abstract

On 12 April 1998 an earthquake caused severe damage to one of Slovenia's underdeveloped regions, Posočje. In that period the Republic of Slovenia did not have an established system for the

elimination of consequences of such extensive natural disasters. So, the first task was to establish an office for providing renewal consulting services to the local population and preparing projects for the rehabilitation of existing and the construction of new residential buildings. The office formed in this region was named the State Renovation Engineering Office (Državna tehnična pisarna). Reconstruction activities in the Posočje region were conducted according to European standards regulating the strengthening and construction of buildings. After four years, we are proud to report that 1,224 private buildings have been rehabilitated or constructed. A great deal of work has been completed, and much more will need to be done on infrastructure and buildings of cultural value. The effectiveness of rehabilitation efforts in Slovenia appears even more impressive if compared with the solving of similar problems in Italy and Turkey.

Uvod

Prve dni po potresu je bila aktivna Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje, ki je skupaj s svojimi izpostavami nudila hitro in učinkovito pomoč. Njihove dejavnosti na terenu so bile usmerjene v preseljevanje ljudi v potresno varne objekte v nadomestne namestitve, kot so apartmaji, zabojniki in bivalniki. Ministrstvo za okolje in prostor je za tem prevzelo sanacijo objektov oz. odpravo posledic potresa najprej je sledila najnujnejša zaščita objektov pred dodatnimi poškodbami zaradi vremena ali zaradi objektov, ki so se rušili sami.

Posledice potresa

12. aprila 1998 je potres med VII. in VIII. stopnjo po Evropski lestvici prizadel zahodni del Slovenije. Potres te stopnje povzroči, da številni predmeti padejo na tla, pojavijo se novi izviri ali presahnejo stari, pojavijo se plazovi in podori, delno se porušijo nekatere slabše hiše in nastanejo manjše poškodbe na trdnjših zgradbah. Med občinami, prizadetimi v potresu, so bile močnejše prizadete tri posoške občine – Bovec, Kobarid in Tolmin – ter v manjšem delu občine Bohinj, Bled, Cerkno, Gorenja vas – Poljane, Idrija, Jesenice, Kranjska Gora, Logatec, Naklo, Radovljica, Škofja Loka, Železniki in Žiri. V potresu je bilo skupno evidentiranih 4042 poškodovanih objektov. Med poškodovanimi objekti so bili predvsem stanovanjski objekti v zasebni lasti in gospo-

darski objekti. Potres pa je povzročil tudi poškodbe v naravi (podori) ter na cestni in komunalni infrastrukturi občin (ceste, mostovi, napeljave).

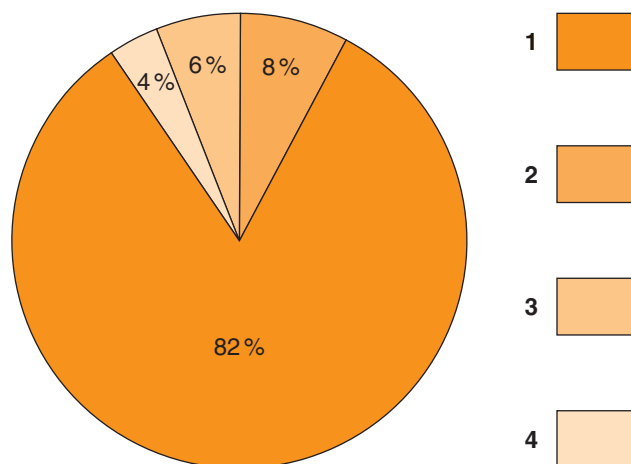
1480 objektov

Cenzus, z Zakonom o popotresni obnovi objektov in spodbujanju razvoja v Posočju določen na 300.000,00 SIT, ki je določil zadostno stopnjo poškodovanosti, da je obnova potrebna, je doseglo 2000 objektov. Med slednjimi je bilo evidentiranih 1716 objektov, v katerih so imeli ljudje na dan potresa stalno bivališče oz. so bili ti objekti bistveni za opravljanje gospodarskih dejavnosti (za preživetje ljudi) in jih je bilo treba obnoviti. Za popotresno obnovo na način, kot jo določa zakon, se je odločilo oz. je izpolnilo vse pogoje 1480 upravičencev.

Značilnosti območja, ki ga je prizadel potres

Posočje je v času potresa sodilo med manj razvite regije v Sloveniji s slabo infrastrukturo (dotrajana cestna in komunalna infrastruktura, brez železniške infrastrukture, eno samo športno letališče) in slabo razvito mrežo komunikacij. Regija je bila v primerjavi z ostalimi deli Slovenije manj razvita v skoraj vseh pogledih. Edini resni dejavnosti v regiji sta bili turizem in kmetijstvo, obe pa z dokaj slabo infrastrukturo in slabim medsebojnim povezovanjem.

* mag., Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, Dunajska cesta 48, Ljubljana



Slika 1. Realizacija popotresne obnove glede na število objektov.

Figure 1. Realization of post-earthquake renewal in terms of number of buildings.

1. 1224 (82 %) obnovljenih oz. novozgrajenih objektov.
2. 89 (6 %) objektov se obnavlja.
3. 53 (4 %) objektov, za katere se bo obnova začela in končala v letu 2002.
4. 114 (8 %) objektov, kjer je obnova vezana na reševanje lastniških in drugih problemov (35 stanovanjskih objektov).

Kako celovita obnova?

Izkušnje po potresu pred 20 leti in odločitve o obnovi 1998

Podoben potres je prav to regijo prizadel pred 20 leti. Takratna vlada je preprosto zaukazala gradbenikom, da so praktično čez noč odpravili posledice. Denarno pomoč pa so v nemalo primerih nakazali neposredno ljudem. Med deležnimi pomoči v letu 1976 je bilo tudi kar nekaj takih, ki materialno niso bili oškodovani, so pa prejeli pomoč. Spomini na tak način obnove so bili pri ljudeh še vedno močno prisotni. Ravno tak način obnove, ki ni zagotavljal potresno varnih objektov, pa se je pri potresu leta 1998 na kar nekaj objektih izkazal kot neprimeren. Po potresu leta 1998 je bilo zato določeno drugače – obnova mora biti vodena enotno in po enakih kriterijih do vseh oškodovancev.

Sprejetje zakona 1998

Državni zbor je po potresu leta 1998 zadolžil Ministrstvo za okolje in prostor, da izpelje obnovo poškodovanih objektov oz. gradnjo novih. Zakon je opredelil sredstva tako za financiranje klasičnih ukrepov sanacije posledic potresa kot za financiranje razvojnih ukrepov za občine Bovec, Kobarid in Tolmin, na območju katerih je potres povzročil največ škode.

Med ključne ukrepe po Zakonu o popotresni obnovi objektov in spodbujanju razvoja v Posočju sodijo:



Slika 2. Obnovljena knjižnica v Kobaridu (foto: Z. Štanta)

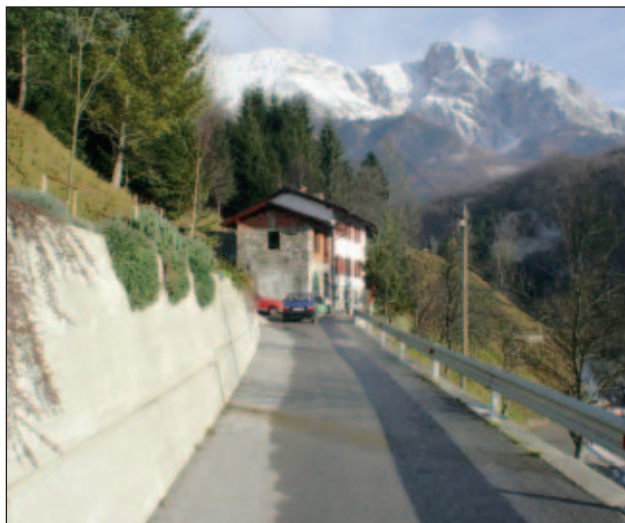
Figure 2. Renewed library in Kobarid. (photo: Z. Štanta)

- *obnova objektov* – sem štejemo sredstva državne pomoči za objekte v zasebni lasti, dokapitalizacijo Stanovanjskega sklada RS, sredstva državne pomoči za objekte lokalne infrastrukture, profane in sakralne kulturne spomenike;
- *organizacija nalog, ki se nanašajo na obnovo* – v to so vključeni stroški delovanja Državne tehnične pisarne, izdelave projektne in lokacijske dokumentacije, izdelave ureditvenih načrtov obnove, najemnin in obratovalnih stroškov Državne tehnične pisarne, stroški podpornih dejavnosti (uvedba geokod, informacijska podpora, geotehnične raziskave);
- *financiranje ukrepov razvojne pomoči* – sem štejemo sredstva programov Sklada za regionalni razvoj in ohranjanje poseljenosti slovenskega podeželja, sredstva varovanih stanovanj Stanovanjskega sklada RS, razvoja gospodarske infrastrukture in ohranjanja delovnih mest Slovenske razvojne agencije, javnih del Zavoda RS za zaposlovanje ter sredstva za realizacijo programa Posoškega razvojnega centra.

Zasnova obnove

Zasnova obnove je predstavljala nekaj popolnoma novega v slovenskem prostoru in je zahtevala nemalo naporov, da je bila najdena optimalna kombinacija ukrepov ob sočasni hitri vzpostavitvi dela na objektih. Ministrstvo za okolje in prostor je v ta namen (skladno z določili zakona) ustanovilo Državno tehnično pisarno. Obe organizaciji sta v oblikovanje sistema in samo delo vključevali tudi druge institucije, med njimi predvsem Fakulteto za arhitekturo, Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo ter Zavod za gradbeništvo in nekatera ministrstva – za kulturo, za obrambo ter za šolstvo in šport.

Obnova je imela en sam cilj: obnoviti objekte strokovno in trajno ter jih utrditi vsaj za eno stopnjo več, kot je bil potresni sunek 12. aprila 1998. Poleg tega je bilo treba upoštevati tudi reakcije ljudi, jim pomagati pri razlagi upravnih postopkov, pripravi dokumentacije in nerešenih problemih iz preteklosti, ki niso posledica potresa, vendar



Slika 3. Podporni zid in cesta, ki sta omogočila obnovo objekta v Drežniških Ravnah (foto: Z. Štanta)

Figure 3. Retaining wall and road enabling the reconstruction of a damaged house in Drežniške Ravne. (photo: Z. Štanta)

je njihova rešitev nujno potrebna za obnovo – to velja predvsem za nerešena lastniška razmerja.

Za strokovno obnovo so bile potrebne tudi raziskave tal v Mali vasi, Kal Koritnici in Drežniških Ravnah. Poleg tega je bilo opravljenih več raziskav na obstoječem stavbnem fondu, ki je bil sicer predviden za rušenje. Ministrstvo za okolje in prostor je pripravilo tudi strokovni posvet v Kranju na temo sanacije po potresu z vidika gradbene stroke. K boljši in predvsem učinkovitejši obnovi je tokrat pripomogla tudi proučitev posledic na saniranih stavbah iz leta 1976. Državna tehnična pisarna je tako v snovanje obnove na posameznih objektih vključevala tudi dokumentacijo iz leta 1976, kjer je le-ta še obstajala.

Enotno vodenje in nadzor nad potekom obnove – Državna tehnična pisarna

Povprečno dela v Državni tehnični pisarni 66 ljudi, kar jo kljub začasnemu in posebnemu značaju uvršča med največje inženirske biroje v Sloveniji. V prvih mesecih je bilo v pisarni naenkrat zaposlenih tudi prek 120 projektantov, statikov in gradbenikov. Decembra 2001 je bilo v pisarni zaposlenih le še 20 ljudi.

Naloge Državne tehnične pisarne

Ključna naloga Državne tehnične pisarne je, da svetuje pri odločitvah o načinu obnove in nudi strokovno pomoč v zvezi s popotresno obnovo objektov. Tako osebam zasebnega prava pripravlja dokumentacijo za izdelavo vlog za pridobitev sredstev državne pomoči; lastnikom in upravljalcem nepremičnin na območju popotresne obnove nudi pomoč



Slika 4. Obnovljeni most Kamno (foto: Z. Štanta)

Figure 4. Renewed Kamno bridge. (photo: Z. Štanta)

pri pridobivanju projektne dokumentacije, dovoljenj in drugih listin, potrebnih za izvedbo gradbenih del za odpravo posledic potresa; potrjuje skladnost projektne dokumentacije glede krajinskih značilnosti, naravne in kulturne dediščine, tipologije regionalne arhitekture ter skladnost z drugimi naravnimi in ustvarjenimi vrednotami okolja, ki jih je treba upoštevati pri urbanističnem načrtovanju in projektiranju, seveda pa ob tem tudi skladno s smernicami popotresne obnove, opredeljenimi v zakonu, in poročili o škodi. Delo pisarne zajema strokovni nadzor izvajanja del na objektih, pridobivanje lokacijske dokumentacije, koordinacijo pridobivanja projektne dokumentacije za nadomestne gradnje oz. rekonstrukcije.

Pisarna se vključuje v pripravo ureditvenih načrtov za urejanje prostora na območju popotresne obnove. Med njenimi nalogami pa je tudi sodelovanje pri nadzoru smotrne in namenske rabe sredstev državne pomoči in stanovanjskih posojil.

Po delu Državne tehnične pisarne delo na terenu

Po vzpostavljenem delu pisarne in začrtanem osnovnem konceptu obnove je bilo treba zagotoviti tudi delo podpornih aktivnosti, ki jih sama Državna tehnična pisarna ni mogla opraviti, med njimi projektiranja in gradbenih del. Na podlagi razpisov je bilo glede na reference in urejeno dokumentacijo izbranih več kot 70 projektantskih družb in več kot 100 izvajalskih podjetij. V začetni fazi so bili zagotovljeni enotni kriteriji – enakost tako v projektiranju kot tudi pri gradnji. Projektanti in izvajalci so bili v začetni fazi stalno pisno obveščani o poteku postopka v Državni tehnični pisarni, za njih pa je bil pripravljen tudi začetni izobraževalni seminar. Ves čas obnove so dobivali tudi pisna priporočila o delu – glede na to, kje se je izkazalo, da se pojavljajo problemi. V zadnjem letu in pol poteka to informiranje večinoma prek osebne komunikacije, saj se je število projektantov in izvajalcev bistveno zmanjšalo.



Slika 5. Hiša izredne kulturne vrednosti, obnovljena v sodelovanju z Ministrstvom za kulturo (foto: Z. Štanta)

Figure 5. Renewed house of exceptional cultural value – the result of cooperation with the Ministry of Culture. (photo: Z. Štanta)

Odnosi z javnostjo

Razsežnost in razpršenost posledic potresa sta zahtevali aktivno vključevanje komunikacijske podpore projektu popotresne obnove. Mnogo je bilo namreč različnih predstav, pričakovanj ter temu primerno na začetku tudi mnogo kritik in negodovanj glede dela Državne tehnične pisarne. Razumljivo je, da se je to bistveno spremenilo po večjem številu obnovljenih objektov, vendar pa je bilo tudi v vmesnem času treba zagotoviti primerno informiranost. Potrebna je bila primerna razlaga upravnih postopkov, pomena dokumentacije, koncepta obnove in nenazadnje tudi pomoč pri čisto vsakdanjih stiskah, ki jih je povzročil potres. Odnosi z javnostjo so temeljili na terenskem delu z ljudmi – edino tako je bilo namreč mogoče ugotoviti, kaj potrebujejo, kaj jih zanima in s čim imajo težave. Na podlagi tega dela je nastajal bilten za prebivalce Posočja, ki so ga dobivala vsa gospodinjstva v občinah Bovec, Kobarid in Tolmin – skupno je v treh letih izšlo 30 številčk. Ljudem je bil 24 ur na dan na razpolago informacijski telefon, ki je v začetku beležil tudi do 20 klicev dnevno. Sporočila so bila dnevno, kasneje pa tedensko izdelana za radio Alpski val in lokalno kabelsko televizijo v Bovcu BC 2222.

Tudi ljudi je treba razumeti

Naravna nesreča takih razsežnosti, kot je bil tudi tako imenovani velikonočni potres leta 1998, pri ljudeh povzroči stisko, ki jo je treba razumeti. Ogrožena eksistenca, ki izhaja iz porušenega objekta, je nemalokrat problem, ki ga ljudje obravnavajo kot nerešljiv in brezizhoden. Poleg tega je država nastavljala nek sistem, ki ga do tedaj ni bilo in je postal bistven element pri obnovi ravno tega objekta, v katerega je človek vlagal celo življenje. Kot zelo pomembne, predvsem v jesenskih mesecih leta 1998, lahko označimo individualne pogovore z oškodovanci v vaseh, ki jih je vodilo Ministrstvo za okolje in prostor skupaj s sta-

tikom in arhitektom. Ti pogovori so potekali tudi v sodelovanju s krajevnimi predstavniki, ki so kasneje postali pomembna vez med ljudmi in pisarno. Taka srečanja so predstavljala tudi priložnost za spoznanje želja ljudi o obnovi njihovih objektov.

Nadomestne namestitve

Za večino oškodovancev je bilo treba urediti primerno nastanitev v času do obnove (novogradnje) objekta, predvsem pa v zimskem času in med potekom del na objektu.

Največ nadomestnih namestitvev je bilo skupaj z občinami organiziranih v letih 1999 in 2000, ko je bila intenzivnost del na terenu največja. V letu 2002 predvidoma nadomestne namestitve po septembru ne bodo več potrebne. Tistim, ki so jim lastniki po potresu odpovedali najemne pogodbe, bodo dodeljena socialna stanovanja.

Skupno porabljena sredstva

Skupno je bilo za popotresno obnovo in spodbujanje razvoja do 31. decembra 2001 porabljenih 16,6 milijarde tolarjev, od tega za obnovo objektov (visoke gradnje v zasebni lasti, infrastrukturni objekti – visoke in nizke gradnje, kulturni spomeniki, refundacija stroškov za nadomestne namestitve) in razvoj 13,8 milijarde, ostalo pa za pripravljala dela (projektna in lokacijska dokumentacija, geotehnične in geomehanske raziskave, informacijski sistem baze podatkov, ureditveni načrti obnove) in delovanje Državne tehnične pisarne. Za naslednja leta je za popotresno obnovo predvidenih še 2,1 milijarde tolarjev.

Zgovorni rezultati popotresne obnove po dobrih treh letih

Dejansko so bili prvi rezultati (obnova objekta) vidni šele po nekaj mesecih. Tako je bil prvi obnovljeni objekt v Bovcu (Mala vas 9) končan avgusta 1998. Priprava Zakona o popotresni obnovi objektov in spodbujanju razvoja v Posočju je zahtevala svoj čas, poleg tega je bil pomemben tudi čas za vzpostavitev delovanja ekipe v novi organizaciji, ki je bila ustanovljena izključno za odpravljanje posledic potresa – Državni tehnični pisarni. Ob zaključku 2001 že lahko govorimo o uspešni popotresni obnovi, kar jasno kaže pregled obnovljenih objektov po občinah in povprečna vrednost mesečnega zneska kredita, ki ga posamezniki plačujejo kot svoj vložek pri popotresni obnovi (novogradnji) objekta.

Popotresna obnova visoke gradnje – stanovanjski objekti

Do 31. decembra 2001 so se zaključila dela popotresne obnove na 1224 objektih visoke gradnje, obnova je na ta



Slika 6. Posebna vrednost hiše – sončna ura (foto: Z. Štanta)

Figure 6. Sundial clock - a valuable feature of the house. (photo: Z. Štanta)

dan potekala na 89 objektih. Za obnovo je predvidenih še 167 objektov – večina stanovanjskih objektov je predvidena za obnovo v letu 2002. Po dosedanjih izkušnjah kaže, da se bo obnova 35 stanovanjskih objektov premaknila v leto 2003, in sicer zaradi nerešenih lastninskih odnosov, katerih reševanje poteka tudi prek sodišč.

Varovana in socialna stanovanja

Ti objekti predstavljajo pomemben del popotresne obnove, predvsem kot skrb za kakovost bivanja. Varovana stanovanja so namenjena starejšim prebivalcem treh posoških občin. Socialno ogroženim in tistim, ki so jim lastniki po potresu odpovedali najemne pogodbe, so namenjena socialna stanovanja.

Lokalna infrastruktura – visoke in nizke gradnje

Eden izmed pomembnejših vidikov popotresne obnove je prav obnova infrastrukture, ki jo občine prej kljub dotrajanosti niso uspele same financirati. Popotresna obnova tako predstavlja pomembno priložnost za obnovo teh objektov – tako gradnje nizke (cestna infrastruktura –

mostovi, podporni zidovi; komunalna infrastruktura) kot visoke (knjižnice, šole, stavbe občin) infrastrukture.

Za obnovo infrastrukturnih objektov visoke gradnje je bilo do 31. decembra 2001 porabljenih 884 milijonov tolarjev, v teku je bila obnova v predvideni vrednosti 471 milijonov, za leto 2002 pa je načrtovana obnova v vrednosti 167 milijonov tolarjev. Pri obnovi lokalnih infrastrukturnih objektov nizke gradnje je bilo do konca leta 2001 porabljenih 1,4 milijarde tolarjev, za leto 2002 pa je bilo za te namene predvidenih dodatnih 500 milijonov tolarjev. Pri objektih nizke infrastrukture je bilo namreč treba urediti tudi nemalo dostopov do poškodovanih objektov, da je obnova sploh lahko stekla.

Kulturna dediščina

Posebna pozornost je bila pri sanaciji škode po potresu namenjena ohranjanju stavbne in kulturne dediščine. Tako so bili že od samega začetka v pripravo dokumentacije vključeni tudi arhitekti. Pomagali so pri ohranjanju dediščine, ki je do tedaj v celoti niti nismo poznali, in so bistveno prispevali k osveščanju ljudi o tem, kaj lahko človek sam naredi pri svojem objektu in kako lahko z zunanostjo ohrani tipiko stavb, ki je značilna za posamezno naselje.



Slike 7 do 12. Edini dve besedi – prej : potem. (foto: arhiv Državne tehnične pisarne)

Figure 7 to 12. Two words tell the story – Before : After. (photo: archives of the State Renovation Engineering Office)

Do 31. decembra 2001 je bilo za obnovo kulturno pomembnejših objektov porabljenih 1.765 milijonov tolarjev, obnova v skupni vrednosti del za 194 milijonov tolarjev poteka na osmih objektih, za leto 2002 pa je bila načrtovana obnova 32 objektov v skupni vrednosti 440 milijonov tolarjev. Za leti 2003 in 2004 bodo sredstva za obnovo namenjena še 23 kulturnim spomenikom v ocenjeni vrednosti del 351 milijonov tolarjev. Obnova na teh objektih je namreč med bolj zahtevnimi, saj sta potrebni tako statična utrditev kot integralna sanacija, v katero najpogosteje sodijo restavratorska dela.

Ureditveni načrti obnove

Izdelanih je bilo tudi več ureditvenih načrtov. Grobo bi to lahko imenovali dodajanje nove vrednosti vasem. Na začetku so bili ti načrti sprejeti dokaj kritično in z nerazumevanjem, vendar so pri prvih usklajevanjih v naseljih ljudje ugotovili, da jim dolgoročno prinašajo koristi. Načrti celostno urejajo cestno in komunalno infrastrukturo, hkrati pa tudi pripomorejo k urejanju skupnih površin in izdelavi celostnega izgleda vasi. Pravzaprav gre za razvojno nadgradnjo in ne le za sanacijo posledic potresa.

Sklepne misli

Po skoraj štirih letih lahko trdimo, da smo se pri zasnovi sistema popotresne obnove pravilno odločili. Vsekakor to dokazujejo tako primerjave z drugimi državami kot tudi 1224 obnovljenih oz. novozgrajenih objektov. Poleg zagotavljanja osnovnih eksistencialnih pogojev lastnikom stanovanjskih objektov nam je marsikateri objekt uspelo ohraniti v njegovi kulturni vrednosti. Ocenjujemo, da smo našli pravo mero za zagotavljanje osnovnih socialnih pogojev družinam in posameznikom, kjer je bila potrebna pomoč – predvsem s socialnimi stanovanji in zagotavljanjem dodatnih sredstev za ureditev za vselitev, kjer je bilo to potrebno. Z varovanimi stanovanji smo mislili na starejše. Marsikje smo zagotovili osnovne prometne povezave, da smo sploh lahko obnavljali objekte. Zagotovo je to pomenilo mnogo dodatnega dela, nastavljanja sistema in povezav z drugimi organizacijami pri posameznih vrstah objektov, vendar pa dolgoročno prinaša Posočju odlično izhodišče za nadgradnjo z razvojem, kar je prav tako zagotovljeno z razvojnimi sredstvi. Čeprav je potres izredno težka izkušnja za ljudi, pa pomoč s strani države prinaša dolgoročne prednosti.

Zagotovo je tak sistem obnove tudi dobra osnova za sanacije pri drugih nesrečah – tako organizacijsko kot postopkovno in finančno. Omogoča primeren nadzor nad porabo proračunskih sredstev in hkrati zagotavlja učinkovitost. Ves čas so bile natančno in pregledno vodene evidence o postopkih, ki predstavljajo natančno pisno kronologijo poteka aktivnosti na posameznem objektu. V kratkem pa bo to nadgrajeno tudi z enotnim zapisom na mikrofilme.

Običajno so najbolj zanimive primerjave s tujo prakso v primerih, ko se srečujemo z obsežnejšimi projekti. Predvsem dva primera sanacije po potresu sta še posebej zgovorna. V Umbriji se je zgodil potres leta 1997, do lani je potekala izdelava projektne dokumentacije. Prvič so torej pričeli z deli na objektih v letu 2001. V vmesnem času pa so ljudje bivali v začasnih montažnih namestitvah. Ocenjujejo, da bo obnova trajala 12 let.

Drugi primer je potres v Turčiji, kjer ne predvidevajo državne pomoči lastnikom poškodovanih objektov. Problem skušajo rešiti s sodnim preganjanjem gradbenih podjetij.

Literatura

1. Zakon o popotresni obnovi objektov in spodbujanju razvoja v Posočju
2. Poročila o izvajanju programa popotresne obnove (v letih 1998 do 2001)
3. Poročilo o izvajanju popotresne obnove s predlogom razdelitve sredstev, namenjenih popotresni obnovi iz proračunske rezerve 2002 za namene posameznih nalog sanacij potresa
4. Bilten za prebivalce Posočja, št. 1 do 30
5. Potresno varna graditev in popotresna obnova v Posočju, okrogla miza, oktober 1998, Kranj
6. Fotoarhiv Državne tehnične pisarne

TEHNIČNI PRISTOP IN EKONOMSKI VIDIK PRENOVE STANOVANJSKIH OBJEKTOV V POSOČJU

Technical Approach and Economic Aspect of Post-earthquake Renewal in the Soča Valley

Igor Janežič*, Blaž Dolinšek**, Jože Kos***

UDK 624.1:699.841(497.4 Posočje)

Povzetek

Podana je analiza stroškov potresne obnove klasičnih kamnitih zidanih zgradb, ki so bile poškodovane v potresu leta 1998 v Posočju. Večina poškodovanih objektov je namreč starejših, zidanih, eno- do dvoetažnih konstrukcij, ki predstavljajo značilen primer tukajšnje arhitekture. Osnovna ideja obnove je bila, da se v čim večji meri ohrani in popravi obstoječe objekte in obnovi vaška jedra, zato je imela obnova objektov prednost pred novogradnjami. Opisani so tudi glavni ukrepi za obnovo in utrditev objektov.

Abstract

The paper analyzes the costs of repair and strengthening of traditional stone-masonry buildings in the Soča River Valley in western Slovenia, which were damaged in the earthquake of 1998. Most of these were old, stone-masonry buildings with one or two storeys, which is a typical feature of the local architecture. The general post-earthquake renewal policy requires that as many existing buildings as possible be repaired and strengthened, so that villages as a whole retain their previous appearance. For this reason, rehabilitation works were given priority over the construction of new buildings. The main techniques used in repair and strengthening works are also described.

Uvod

12. aprila 1998 je potres z magnitudo 5,5 in močjo VII. do VIII. stopnje po evropski makroseizmični lestvici prizadel zahodni del Slovenije – Posočje. K sreči potres ni povzročil smrtnih žrtev, je pa poškodoval približno 4000 objektov, med katerimi je približno 3000 stanovanjskih. Prednostno naj bi z državno pomočjo obnovili približno 1700 močnejše poškodovanih objektov. V času nastajanja članka se obnova bliža koncu, saj je saniranih že prek 1300 objektov, okoli 200 pa jih je trenutno v različnih fazah priprave in gradnje.

Večino poškodovanih objektov predstavljajo klasične kamnite zidane zgradbe, ki so bile zgrajene po prvi svetovni vojni na pogoriščih frontne črte, ki je potekala na tem območju (soška fronta). Kakovost gradnje in uporabljenih materialov, predvsem malte, je razmeroma slaba. Kljub temu objekti predstavljajo lep primer tradicionalne zidarske obrti na Slovenskem, hkrati pa imajo tudi svojstven arhitekturni slog, ki ga je vredno ohraniti.

Zaradi ohranjanja te značilne arhitekturne krajine, vaških in mestnih jeter, je imela obnova objektov prednost pred novogradnjami. Pri tem pa se postavlja vprašanje, kolikšni so stroški obnove v primerjavi z novogradnjo. Zato bomo predstavili analizo stroškov obnove kamnitih zidanih objektov, ki smo jo izvedli na podlagi vzorca štirinajstih tipičnih obnovljenih objektov, ki predstavlja večino poškodovanih

objektov na tem področju. Medtem ko so bili stroški novogradnje objektov natančneje predvidljivi že na začetku, je bila ocena stroškov obnove poškodovanih objektov le približna, saj se ponavadi med samo obnovo velikokrat pojavijo dodatne nepričakovane situacije, ki so predvsem posledica dotrajanosti objektov in jih v predhodnih postopkih brez podrobnejših preiskav ni bilo mogoče predvideti. Po triletni obnovi, ko smo obnovili že večino poškodovanih objektov, smo zato lahko izdelali natančnejšo analizo stroškov obnove za kamnite zidane objekte. V nadaljevanju bo opisan pristop k popotresni obnovi, konstrukcijske značilnosti obravnavanih objektov, najpogostejše poškodbe in uporabljeni postopki.

Pristop k obnovi

To področje Slovenije je potresno precej aktivno. V zadnjih 30 letih je bil to že drugi hujši potres. Prejšnji hujši potres se je zgodil leta 1976, z epicentrom v Furlaniji v Italiji. Tudi takrat je na tem področju nekaj objektov že utrpelo škodo, vendar v sklopu takratne obnove bistvenejših ojačitvenih posegov, razen zamenjave nekaterih lesenih stropov z armirano-betonskimi ploščami, niso izvajali. Te plošče pa praviloma niso bile sidrane v nosilno zidovje, zato med sedanjim potresom niso zagotavljale ustrezne protipotresne zaščite. Tudi razpokani zidovi so se na večjem delu objektov sanirali le s popravilom ometov.

* Gradbeni inštitut ZRMK, Dimičeva 12, Ljubljana, tehnični vodja DTP, ijanezic@gi-zrmk.si

** dr., Gradbeni inštitut ZRMK, Dimičeva 12, Ljubljana, vodja nadzora DTP, blaz.dolinsek@gi-zrmk.si

*** Gradbeni inštitut ZRMK, Dimičeva 12, Ljubljana, namestnik tehničnega vodje DTP, jkos@gi-zrmk.si

SedANJI potres je razkril in kaznoval vse napake in pomanjkljivosti, ki so se dogajale med gradnjo in prejšnjo obnovo. Potres so dobro prenesli armiranobetonski objekti, vzpodbudno pa je tudi to, da so potres brez znatnih poškodb prenesle moderne zidane zgradbe, ki so bile izvedene v skladu s slovenskimi protipotresnimi predpisi, in tudi starejše zidane zgradbe, ki so bile po prejšnjem potresu ustrezno obnovljene. Nasprotno smo lahko ugotovili, da je prišlo do poškodb na že obnovljenih objektih povsod tam, kjer so bili po prejšnjem potresu neutemeljeno opuščeni predvideni sanacijski ukrepi.

Zaradi teh napak pri prejšnji obnovi in zaradi dobrih rezultatov pravilno obnovljenih objektov je bila na državni ravni sprejeta odločitev, da je treba tokrat resneje pristopiti k obnovi. Pri obnovi zidanih objektov so bili uporabljeni v potresu že preizkušeni principi obnove in utrditve, ki bodo podrobneje predstavljeni v nadaljevanju.

V ta namen je bila ustanovljena posebna služba Vlade Republike Slovenije, tako imenovana Državna tehnična pisarna (v nadaljevanju DTP), ki deluje neposredno na terenu. Nosilec projekta je Gradbeni inštitut ZRMK, ki v Sloveniji predstavlja institucijo z največ izkušnjami na področju popotresne obnove objektov, tako na področju projektiranja kot tudi na področju izvedbe. Gradbeni inštitut ZRMK je prevzel skrb za tehnični del delovanja pisarne, medtem ko je partner, podjetje Projekt, d. d., iz Nove Gorice, prevzel odgovornost za organizacijsko plat delovanja. Fakulteta za arhitekturo je v prvem letu obnove prevzela skrb za arhitekturno-krajinski del stroke.

Na časovni potek same popotresne obnove Posočja je poleg razpoložljivih proračunskih sredstev precej vplivalo tudi dejstvo, da se je država odločila za normalne zakonsko predpisane postopke v primerih pridobivanja upravnih dovoljenj ali reševanja lastninskih in drugih problemov, vezanih na popotresno obnovo objektov, ki so jih imeli upravičenci oz. lastniki poškodovanih objektov.

Pri sami organiziranosti DTP smo v veliki meri, predvsem pri sistematizaciji postopkov, poleg veljavne zakonodaje upoštevali tudi smernice novih evropskih predpisov za potresno varno gradnjo Eurocode 8.

Državna pomoč pri popotresni obnovi je omejena na statično obnovo objektov oz. do izvedbe t. i. S-projekta. S-projekt pomeni obnovljen in utrjen objekt s konstrukcijskega vidika, tako da bo sposoben prevzeti predvideno potresno obtežbo za to področje. V ta projekt je vključena tudi cena glavnih razvodov elektro in strojnih inštalacij, obnova ometov brez opleskov ter konstrukcij tlakov brez finalnih oblog.

Osnovni pristop k obnovi zidanih objektov je bil v osnovi enak kot leta 1976 po prvem potresu. Gre za povezovanje objekta na nivojih etaž, injektiranje zidov s cementno suspenzijo ter po potrebi še ojačanje temeljev ter obnovo streh in dimnikov. Cilj teh ukrepov je, da se objekti obnovijo in dodatno utrdijo, da bodo sposobni prenesti potrese do VIII. stopnje ($a = 0,2 g$), kolikor se za to področje predvideva



Slika 1. Tipične potresne poškodbe na starejši bovški stano-vanjski hiši.

Figure 1. Typical earthquake damage on an old residential building in the Bovec area

po slovenski seizmični karti s povratno periodo 500 let. Ugotovljeno je, da so zidani objekti, ki so bili pravilno obnovljeni s temi postopki, uspešno kljubovali vsem naknadnim potresom. Leta 1976, takoj po prvem potresu v Furlaniji, sta bila v mestu Bardo v Italiji pod vodstvom ZRMK po tem postopku obnovljena dva objekta, ki sta bila drugače predvidena za rušenje. Po drugem potresu, ki se je zgodil čez tri mesece in je imel enako intenziteto kot prvi, sta oba objekta ostala brez poškodb.

Opis objektov in najznačilnejših potresnih poškodb

Večina poškodovanih objektov so zidane enonadstropne, nepodkletene kamnite zgradbe, stare približno 80 let (slika 1). Tlorisna razporeditev zidov je dokaj ugodna in enakomerna. Povprečna debelina zidov znaša približno 70 cm, površina zidov v vsaki smeri objekta pa znaša okrog 10 % celotne tlorisne površine. Z in-situ preizkusi je bilo ugotovljeno (Tomažević, 1999), da znaša tlačna trdnost zidovja na tem področju približno 0,5 MPa, natezna trdnost pa 0,1 MPa.

Zidovi so izdelani iz lokalnega neobdelanega kamna. Zgrajeni so iz dveh zunanjih slojev, ki so iz večjih, delno oblikovanih kosov kamnitega materiala, vmesni prostor pa je zasut z drobnim kamnitim materialom in nezvezno porazdeljeno apneno malto, katere trdnost po preiskavah le redko preseže vrednost 0,5 MPa.

Stropi so večinoma leseni, v primerih, ko je prišlo do njihove dotrajanosti ali pa med obnovo po prejšnjem potresu, so jih zamenjali z novimi armiranobetonskimi ploščami. Plošče nalegajo na notranji sloj zidu v globino okoli 15 cm, z zunanjim slojem zidu pa niso povezane. Zato je med potresom prihajalo do različnega gibanja plošče in zidu, posledica pa je, da je v veliko primerih prišlo do izbitja in izbočenja zunanjega sloja zidov.



Slika 2. Povezovanje zidov z jeklenimi vezmi in sistematično injektiranje kamnitih zidov.

Figure 2. Tying walls with steel tie-bars and systematic grouting of walls

Precej poškodb na zidovih je nastalo tudi zaradi slabega temeljenja objektov in s tem povezanega diferenčnega posedanja tal. Objekti namreč nimajo temeljev, zidovi so postavljeni neposredno na podlago, in to dokaj plitko. Zaradi precejšnje deževnice po pobočjih hribov proti rekam je v veliko primerih prišlo do izpiranja finih delcev iz podlage, posledica tega pa je nastanek votlih prostorov v temeljni zemljini in posedanje objektov, ki ga je potres zaradi dokaj velike vertikalne komponente še pospešil.

Poškodbe so nastajale tudi na strehah in dimnikih. Ostrejša starejših objektov večinoma niso sidrana v zidove. Tipične bovske strehe imajo zelo strm naklon in so nezavetrovane. Prosta višina zidanih dimnikov znaša 5–7 m. Pri potresu se je tako celotna streha zamajala in s tem porušila dimnik in čelne zidove.

Opis postopkov obnove tipičnega kamnitega stanovanjskega objekta

Glavni mehanizem za prevzem horizontalnih obremenitev zidanih konstrukcij je dovolj visoka strižna nosilnost zidov, ki je odvisna od materialno-tehničnih karakteristik zidov, še posebej od natezne trdnosti. S konstrukcijskimi ukrepi pa je treba zagotoviti, da se ta strižni mehanizem med potresom lahko vzpostavi in da se v čim večji meri izkoristi. Treba je zagotoviti, da ne pride do lokalnih porušitev in izgube stabilnosti objekta, še preden se izkoristi vsa strižna nosilnost. Najpomembnejši ukrepi, ki so preizkušeni tudi v praksi, so:

- medsebojno povezovanje zidov na nivojih medetažnih konstrukcij (sliki 2 in 3)

Zidove na višini etaž medsebojno togo povežemo s ploščo ali jeklenimi vezmi. S tem zagotovimo celovitost obnašanja konstrukcije, horizontalna obtežba se na zidove razporedi v razmerju togosti, hkrati pa so zidovi zavarovani pred nihanjem v smeri pravokotno na svojo ravnino. V okviru obnove objektov sta se uporabljali predvsem dve varianti:



Slika 3. Detajl sistematičnega injektiranja zidov.

Figure 3. Detail of systematic grouting

1. Dotrajani leseni stropi so bili v celoti zamenjani z novo armiranobetonsko ploščo. Če plošče ni možno položiti prek celotne širine zidu, je treba posamezne plošče prek vmesnih zidov medsebojno povezati z armaturo. Obodni zidovi pa so z zunanje strani objeti z enostransko jekleno vezjo, dodatno pa so s prečnimi vezmi povezani s ploščo.
 2. Lesen strop se je ohranil. V tem primeru se posamezni zidovi obojestransko vzdolžno povežejo z jekleno vezjo, vezi pa se prek širokih sidrskih plošč sidrajo na krajeh. V ta namen se z obeh strani zidov na enaki višini izreže utor 4×5 cm, v katerega se položi jeklena vez, ki se potem sidra in napne prek matice na krajni strani zidu. Obe vezi se medsebojno povežeta na presledkih po dva metra, nato pa se utori z vezmi zamečejo s cementno malto.
 - injektiranje zidov (sliki 1 in 2)
- Zaradi značilne dvoslojne strukture zidu je v sredini zidu veliko praznin. Z injektiranjem takih zidov s cementno suspenzijo lahko precej izboljšamo materialno-tehnične lastnosti. Rezultati in-situ preiskav na tem področju (Tomažević, 1999) kažejo, da se lahko natezna trdnost in strižni modul injektiranega zidovja povečata za 100 do 150 %. Praksa in preiskave so pokazale, da je najprimerneje izvajati sistematično injektiranje vseh nosilnih zidov po celotni višini, saj se je izkazalo, da je pasovno injektiranje le po vogalih težko izvedljivo, povzroča pa lahko tudi nehomogenosti v strukturi zidu. Injektiramo po

končanem povezovanju objekta. Injekcijsko maso uvajamo v zid skozi cevke, ki se pritrdijo na predhodno izvrzane vrtime v enakomernem medsebojnem razmiku okoli 50 cm po celotni površini zidu. Injekcijsko maso uvajamo v zidove pod pritiskom 4 do 5 barov. Za doseg dobrih rezultatov injektiranja je zelo pomembna izkušnost oseba, ki injektira, saj je izbira pravilnega pristopa k injektiranju precej odvisna od različnih faktorjev: trdnosti zidu, sestave zidu, zapoljenosti zidu, vrste malte, obdelave kamnitih blokov, opreme za injektiranje itd. Izvajalcem so bili vedno pripravljene pomagati izkušeni strokovnjaki inštituta, ki so svoje ekspertno znanje pridobivali in dopolnjevali v številnih praktičnih aplikacijah.

– *utrditev temeljev*

V primeru slabih temeljev je treba razširiti in poglobiti temeljno peto, kar izvedemo v obliki armiranobetonskega venca po zunanjem obodu temeljev. Nov beton s prečnimi sidri sidramo v obstoječi kamniti temelj. Če je do zmanjšanja nosilnosti temeljnih tal prišlo zaradi izpiranja finih frakcij, smo lahko podlago utrdili tudi z injektiranjem, vendar le v posebnih primerih, ko ni bilo nevarnosti iztekanja mase v podlago.

– *izdelava AB vencev na zidovih pod ostrešjem*

Zaradi nepovezanosti ostrešja z zidovi je prišlo do zamika celotne strešne konstrukcije, posledica tega pa so bile poškodbe na kritini in strešnih elementih. Pogosto je prišlo tudi do porušitve nezavarovanih zatrepnih zidov. Med obnovo smo zato zidove pod ostrešjem povezali z armiranobetonskimi venci, nato pa ostrešje prek vencev sidrali v zidove.

Analiza stroškov obnove zidanih objektov

Do konca leta 2001 je bilo v sklopu organizirane protipotresne obnove objektov v Posočju obnovljenih že okoli 1300 zgradb 1. prioritete oz. 90 % zgradb, predvidenih za obnovo. V obnovo je bilo skupaj z nepovratno pomočjo države in lastnimi sredstvi lastnikov vloženo približno 10 milijard tolarjev. Od tega je bilo več kot polovica sredstev namenjenih tipičnim manjšim stanovanjskim hišam, kot jih bomo obravnavali v tej analizi.

Analiza je zajela stroške prenove 14 tipičnih stanovanjskih hiš, obnovljenih v letih 1999 in 2000. Pri tem smo za čim boljše vrednotenje stroškov obnove želeli pokazati naslednje parametre:

- F neto bivalna površina objekta (m²);
- S-proj skupni stroški izvedbe obnove do tako imenovane faze S-projekta, kar pomeni, da so na zgradbi izvedena vsa dela v zvezi z ojačitvijo nosilnih konstrukcij, vsa zidarska dela, vključno s podometnim razvodom inštalacij, niso pa vključeni stroški izvedbe finalnih tlakov in ometov;
- S-kons stroški izvedbe vseh najnujnejših ojačitvenih del;
- S-nov povprečni stroški gradnje novega nadomestnega objekta na kvadratni meter površine (skupaj s stroški rušenja in projekta), ki smo jih določili na osnovi analize treh tako rešenih zgradb. Stroški v tem primeru znašajo 126.000 SIT/m²;

Preglednica 1. Rezultati analize stroškov obnove

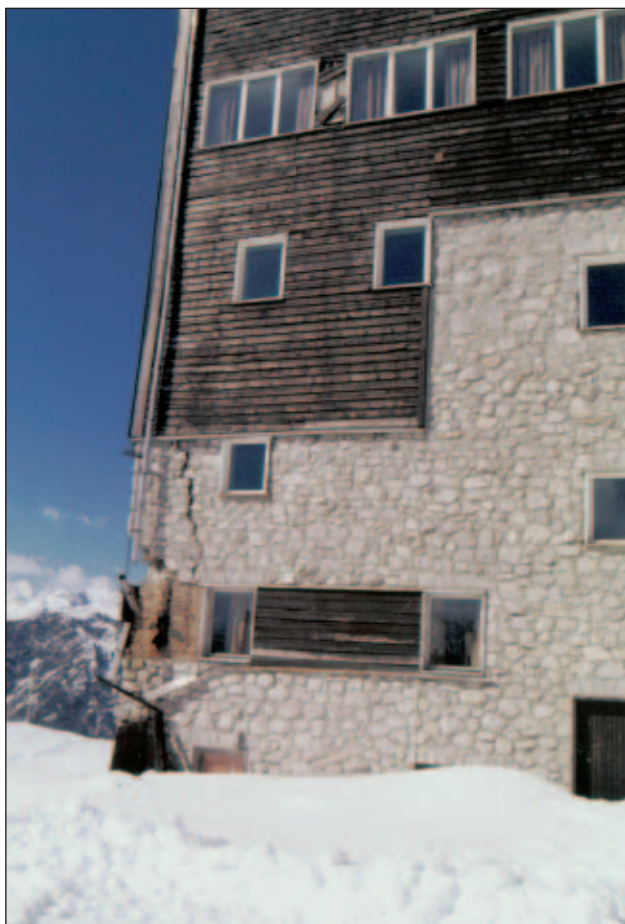
Table 1. Cost analysis of renewal of 14 typical residential buildings rehabilitated in 1999 and 2000

Zap. št.	F (m ²)	S-proj SIT	S-kons SIT	S-kons/Sproj (%)	Cena/m ² SIT/m ²	S-proj/S-nov (%)
1	134,00	5.503.680	2.543.520	46 %	41.072	33 %
2	188,00	4.201.120	2.757.440	66 %	22.346	18 %
3	144,00	5.255.040	3.738.560	71 %	36.493	29 %
4	70,00	5.295.360	2.513.280	47 %	75.648	60 %
5	213,00	4.786.880	3.241.280	68 %	22.474	18 %
6	180,00	6.110.720	3.819.200	63 %	33.948	27 %
7	263,00	13.478.080	8.495.200	63 %	51.247	41 %
8	117,00	4.654.720	3.100.160	67 %	39.784	32 %
9	139,00	3.972.640	3.134.880	79 %	28.580	23 %
10	186,00	16.280.320	10.878.560	67 %	87.529	70 %
11	207,00	9.970.240	7.649.600	77 %	48.165	38 %
12	152,00	6.092.800	4.653.600	76 %	40.084	32 %
13	120,00	2.973.600	2.499.840	84 %	24.780	20 %
14	200,00	10.064.320	7.320.320	73 %	50.322	40 %
Skupaj	2.308,00	98.639.520	66.345.440	67 %	42.738	34 %
	(EUR)	440.355	296.185	67 %	191	34 %



Slika 4. Izvajanje obojestranske zidne vezi – detajl vogala. Po končani obnovi so ti posegi nevidni, v celoti se ohrani arhitektura objekta.

Figure 4. Tying of walls – detail at corner. After renewal, the ties are covered and invisible. The original architecture of the building is preserved.



Slika 5. Ski hotel Vogel – med najhujše poškodovanimi objekti. Zaradi torzije so bili praktično porušeni kamniti nosilni zidovi kleti in pritličja na jezerski strani tlorisa.

Figure 5. Ski Hotel Vogel – one of the most damaged buildings. The torsion exposed by the earthquake demolished most of the load-bearing walls.



Slika 6. Celoten hotel je bil konstrukcijsko ojačan: porušene zidove so zamenjali armirani opečni zidovi in vogalne armiranobetonske vezi. Razmeroma draga popotresna obnova je bila ekonomsko opravičena le zaradi nedostopne lege objekta in specifične arhitekture.

Figure 6. Renewal of the Ski Hotel: demolished walls were replaced with reinforced masonry walls and RC ties at the corners. Difficult access and specific architectural design were the main reasons why the building was renewed instead of replaced.

Iz rezultatov je razvidno, da so se celotni stroški popotresne obnove gibali od 21.000 do 87.000 SIT/m² obnovljene stanovanjske površine, v povprečju, če upoštevamo vse obnovljene zgradbe, pa so ti stroški znašali 43.000 SIT/m² (191 evrov/m²).

Pri tem so glede na zasnovo in poškodovanost objekta razmerja med stroški obnove konstrukcije in celotnimi stroški prenove posamezne zgradbe znašali od 46 do 84 %, v povprečju pa 67 %. Pri tem je bilo pri izvedbi konstrukcijskih del povprečno 70 % sredstev namenjenih za protipotresno povezovanje zidov in injektiranje (od tega vsak postopek približno po polovico).

V zadnjem stolpcu je prikazano razmerje med stroški izvedbe obnove in stroški nadomestne gradnje novih objektov. Ta kaže, da znašajo stroški obnove 18 do 70 % stroškov nadomestne gradnje ali v povprečju za vseh 14 objektov le 34 %.

Sklepne misli

Potres, ki je prizadel Posočje aprila leta 1998, ni imel take moči, kot se po prognozah in seizmoloških kartah pričakuje za to področje. Kljub temu pa je povzročil veliko poškodb na objektih, še posebej na zidanih kamnitih konstrukcijah, ki predstavljajo večino stavbnega fonda na tem področju. Potres nas je pravzaprav resno opozoril na slabo potresno odpornost teh objektov in nam dal čas, da se pripravimo na potrese večjih rušilnih moči. Takšne priložnosti nekatere države, ki so v zadnjem času doživele katastrofalne potrese, niso imele.

Pri večini objektov, ki so bili poškodovani v tem potresu, poškodbe niso bile tolikšne, da bi jih bilo treba porušiti. Dejstvo, da so objekti, ki so bili po prvem potresu leta 1976 pravilno obnovljeni, preživeli potres brez večjih posledic, in primerjava stroškov utrjevanja konstrukcije s stroški novogradnje kažeta na pravilnost pristopa k popotresni obnovi, ki je dala prednost obnovam pred zamenjavo z novogradnjami. Z razmeroma nizkimi stroški je bilo veliko objektov obnovljenih in utrjenih do te mere, da lahko upravičeno predvidevamo, da bodo brez pomembnejših poškodb na nosilni konstrukciji prenesli potres VIII. stopnje po evropski lestvici. S tem pa smo tudi ohranili tipično, nenadomestljivo krajinsko arhitekturo za kasnejše generacije.

Pomembno je tudi to, da so objekti, ki so bili zgrajeni v zadnjem času skladno z veljavnimi protipotresnimi predpisi za gradnjo, preživeli potres brez večjih posledic. Popotresna obnova bi se lahko tudi hitreje pričela, če bi bilo v državi pripravljenih in usposobljenih dovolj strokovnjakov za projektiranje in izvajanje obnovitvenih del takoj po potresu. Ker je Slovenija pretežno na aktivnem seizmičnem področju, bi bilo smiselno začeti sistematično utrjevati potresno najbolj občutljive in pomembne objekte in stara mestna jedra po Sloveniji. S tem bi bila potresna škoda precej nižja, zmanjšala bi se tudi verjetnost človeških žrtev. Hkrati bi to omogočilo stalno aktivnost večjega števila strokovnjakov in izvajalcev,



Slika 7. Ski hotel po končani obnovi – v celoti je ohranjena njegova arhitekturna podoba.

Figure 7. Hotel after renewal – its architecture is fully preserved

in s tem tudi hitrejši začetek obnove objektov po naravni nesreči, kakršna je prizadela Posočje 12. 4. 1998. Vsi se moramo namreč zavedati, da hiter začetek izvajanja del na terenu po tovrstni naravni nesreči izredno pozitivno psihološko učinkuje na prizadete prebivalce.

Literatura

1. Ribičič, M., 1998. Analiza potresa v Posočju glede na različne vrste podlage. Gradbeni inštitut ZRMK, Ljubljana.
2. Tomaževič, M. in sod., 1999. Vpliv potresa 12. 4. 1998 na zgradbe, ljudi in okolje. Zavod za gradbeništvo Slovenije, Ljubljana.
3. Janežič, I., 2000. Post Earthquake Renewal in the Soča Valley Region: Two Years After the Earthquake. International workshop on urban heritage and building maintenance. V: Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Switzerland.

ZMANJŠANJE OGROŽENOSTI PO PLAZU STOŽE

Reducing the Hazard after the Stože Landslide

Bojan Majes*, Sonja Beseničar**

UDK 624.13:551.3(497.4 Log pod Mangartom)

Povzetek

Plaz v Logu pod Mangartom je za seboj pustil katastrofalne posledice – močno je zaznamoval življenje Ložanov in bistveno spremenil podobo površja. Z zakonom, ki je določil pomoč Republike Slovenije, je bila oblikovana interdisciplinarna skupina – Strokovni odbor. Člani odbora so s pomočjo opazovanja, študij, raziskav in analiz določili ogroženost območja in pripravili celovito rešitev, ki je sestavljena iz več ukrepov. Lani sta bila na podlagi tega predloga pripravljena nov zakon za trajno sanacijo in program za izvajanje ukrepov na terenu za lansko leto.

Abstract

The landslide in the village of Log pod Mangrtom had a catastrophic impact – it permanently marked the lives of the inhabitants of Log and left a very different area behind. In accordance with the law determining the provision of financial assistance by the Republic of Slovenia, an interdisciplinary group of experts was formed in order to assess the landslide hazard in the area on the basis of observations, studies, research and analyses. The data obtained was used to prepare a holistic solution comprised of several measures. On the basis of this proposal, a new law determining permanent rehabilitation and a program of field measures for the current year were prepared.

Osnove za delo Strokovnega odbora

Ekspertne skupine

Ob drugi splazitvi je bila v Logu pod Mangartom prisotna Civilna zaščita, ki se je takoj po nesreči aktivno vključila v prve analize in predlagala prve ukrepe, in sicer skupaj z dvema ekspertnima skupinama – z Ekspertno skupino za področje geotehnike in Ekspertno skupino za področje hidrotehnike in hudourničarstva. Obe skupini sta pripravili končni poročili ter v njih navedli možne ukrepe za sanacijo razmer v Logu pod Mangartom oz. za zmanjšanje ogroženosti vasi.

Zakon

Na podlagi prvih podatkov o obsegu nesreče je bil na Ministrstvu za okolje in prostor pripravljen Zakon o ukrepih za odpravo posledic plazu Stože v Občini Bovec in plazov večjega obsega, nastalih na območju Republike Slovenije po 15. oktobru 2000 (Ur. l. RS, št. 124/2000) (ZUPSB). Zakon je opredelil, da minister za okolje in prostor imenuje strokovni odbor, ki bo uskladi predlagane ukrepe in presodil predložene tehnične rešitve. Predvidel je tudi sestavo Strokovnega odbora in ključne interventne ukrepe (ti so natančneje razdelani pri razlagi Programa interventnih in drugih ukrepov za odpravo posledic plazu Stože).

Imenovanje Strokovnega odbora in program dela

Strokovni odbor je bil imenovan januarja 2001 v sestavi:

- prof. dr. Bojan Majes, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, predsednik,
- prof. dr. Matjaž Mikoš, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, za področje hidrotehnike,
- prof. dr. Stanislav Škrabl, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, za področje geomehanike,
- doc. dr. Mihael Ribičič, Gradbeni inštitut ZRMK, za področje geologije in geofizike,
- Branimir Vlaj, univ. dipl. ing. geol., DDC, d. o. o., za področje prometa in zvez,
- Tomaž Globokar, univ. dipl. ing. grad., Ministrstvo za okolje in prostor, za vodnogospodarsko področje,
- Fedja Klavora, univ. dipl. ing. arh., za področje urejanja prostora,
- Peter Kovačič, univ. dipl. ing. grad., Goa-Tehna, s. p., Maribor, za področje gradbeništva in
- mag. Marko Senčar, Direkcija RS za oskrbo z električno energijo, za področje energetike.

Na podlagi zakona in prvih dveh poročil obeh ekspertnih skupin, ki sta delovali v okviru Civilne zaščite je Strokovni odbor pripravil Program interventnih in drugih ukrepov za odpravo posledic plazu Stože, ga po potrebi v nekaterih detajlih dopolnjeval, sprotno pa je natančno po postavkah vodil tudi porabo sredstev za posamezna opravljena dela.

* prof. dr., Strokovni odbor, Dunajska cesta 47, Ljubljana

** Državna komisija za sanacije, Dunajska cesta 47, Ljubljana



Slika 1. Hiše v Zgornjem Logu ni več.

Figure 1. A demolished house in Zgornji Log.

Program dela je bil oblikovan na podlagi poročil. Preveril je tudi nekatere dodatne predloge posameznih strokovnjakov, pomemben element pri izdelavi programa pa je predstavljala tudi ocena škode.

Ocena škode

Šele ocena škode je omogočila natančen vpogled v obseg nesreče. Plaz je povzročil škodo na stanovanjskih in gospodarskih objektih, na opremi v objektih, cestni infrastrukturi, vodotokih, strojni opremi in infrastrukturi, energetiki, telekomunikacijskih objektih in opremi ter na kmetijskih zemljiščih. Skupno je bila ocenjena na 7,5 milijard tolarjev.

Program dela

Program dela je bil oblikovan na podlagi določil Zakona o ukrepih za opravo posledic plazu Stože. Da bi lahko dejansko v dobri polovici leta dobili ustrezne rezultate, so posamezne točke zajemale več ukrepov. Zaradi preglednosti in razumevanja dela navajava točke po vrstnem redu, kot so bile opredeljene v programu, izvedene na terenu oz. izvedene s pripravljenimi načrti.



Slika 2. Mehanski alarmni sistem v Mangartskem potoku pred montažnim mostom

Figure 2. Mechanical alarm system in front of the provisional bridge across the Mangart stream

Vzpostavitev sistema opazovanja vplivnega območja plazu

Samo opazovanje je bilo razdeljeno v več sklopov. Pomemben del je predstavljal **alarmni sistem z opazovalnico**, ki je bil vzpostavljen že v času dela Civilne zaščite, v okviru predlogov Strokovnega odbora pa nato dopolnjen z dodatno zanko in nekoliko spremenjenimi lokacijami nekaterih mehanskih zank. Postavljenih je bilo **11 geodetskih opazovalnih točk**, ki so povezane v skupen meritveni sistem. Strokovni odbor je lokacije določil glede na pričakovane premike na čelu in površju plazu. Opazovalni sistem geodetskih točk zaenkrat ni zabeležil večjih premikov, največji so bili na posameznih mestih do 10 centimetrov. Tega sistema ni bilo mogoče postaviti na bolj aktiven severni odlomni rob plazu, s prostim očesom pa je mogoče na tej lokaciji oceniti posedanja za nekaj metrov. Skrajni vzhodni del plazu pa se je dokaj spremenil.

Med opazovanja so bile uvrščene tudi **meritve pretokov Mangartskega potoka**, da bi dobili čim bolj natančne podatke kot osnovo za načrtovanje vodenja potoka v pokritem kanalu. Te meritve so zajemale tako padavine kot pretok potoka.

Hidrološki model povodja Koritnice s prodno bilanco zajema podatke o površini povodja, o povprečnih dveletnih in stoletnih pretokih ter o obdobjih, ko se pojavljajo ekstremno visoke vode. Na podlagi teh podatkov je bila izdelana študija odnašanja in nanašanja proda vzdolž Koritnice ter določena poplavna ogroženost območja.

Nujni ukrepi za stabilizacijo in preprečitev širjenja plazu

V ta ukrep sodi izdelava projektne dokumentacije in izvedba odvodnjavanja voda za preprečitev zamakanja plazu. Ukrep je bil predhodno že izveden in v času dela Strokovnega odbora na terenu vzdrževan v najnujnejšem obsegu.



Slika 3. Montažni most čez Mangartski potok pri Mlinču
Figure 3. Provisional bridge across the Mangrt stream near Mlinč



Slika 4. Začasna ureditev ceste na Mangart mimo plazišča
Figure 4. Provisional road to Mangart past the landslide area

Izredno pomembna so bila sondažna dela, geofizikalne preiskave, laboratorijske preiskave in geotehnične obdelave. Na lokacijah predvidenih armiranobetonskih pregrad v strugi Predelice v Zgornjem Logu in v strugi Mangartskega potoka pred montažnim mostom pri Mlinču so bile izvedene

4 sondažne vrtine, 1 vrtina je bila izvedena na desni brežini Predelice na lokaciji možnega usmerjevalnega objekta, 5 sondažnih vrtin pa na lokacijah dveh predvidenih težnostnih zemeljskih pregrad v strugi Mangartskega potoka pri Meleh in pod Počivalnikom.



Slika 5. Začasna ureditev struge Koritnice
Figure 5. Redirecting the Koritnica riverbed



Slika 6. Preliv začasnega zajetja za HE Log

Figure 6. Channel of temporary catchment behind the Log hydro power plant

Na plazišču je bilo izvrtanih 13 sondažnih vrtin globine med 18 m in 64 m, 4 vrtine pa so bile izvrtane na težko dostopnem pobočju nad severnim odlomnim robom plazu. Z vrtinami je bila navrtana trdna kamnita podlaga na globinah od 8 m do 46 m. Gladina podzemne vode je bila v nekaterih vrtinah ugotovljena tik pod površino, v drugih pa globoko pod površjem, tik nad kamnito podlago. Posebej pomembni so podatki raziskav, ki so bile opravljene nad severnim odlomnim robom plazu. Te raziskave so pokazale, da so v pobočnem grušču z bloki dolomita odprte številne razpoke vse do vrha pobočja (do kote 1850 m).

Vsega skupaj je bilo izvrtano 775 m vrtin, v vrtine je bilo vgrajeno 8 inklinometrov v skupni dolžini 213 m, iz vrtin pa je bilo odvzetih 78 vzorcev zemljin in kamnin za laboratorijske preiskave. Inklinometri do decembra 2001 niso zabeležili bistvenih premikov.

Podatki iz raziskav so bili nujni za oblikovanje vrste ukrepov, njihovega obsega in nenazadnje za preučevanje mehanizmov gibanja morebitnih novih drobirskih tokov, ki je pokazalo potencialno ogroženost naselja in doline.

Zagotovitev nujnih prometnih povezav

Zaradi zagotavljanja povezav je bilo treba očistiti nanose na več delih cest, tako na cesti Bovec-Predel, kakor tudi na cesti na Mangart. Zgrajena je bila tudi gradbiščna cesta po desni strani Mangartskega potoka do plazu. V okviru Civilne zaščite sta bili izvedeni začasni premostitvi v Zgornjem Logu in pri Mlinču, Ministrstvo za okolje in prostor pa je krilo stroške izdelave. Dodatno je bila nameščena tudi semaforizacija ob mostovih, ki je povezana z alarmnim sistemom na plazu.

Nujni ukrepi na Predelici, Koritinici in Soči – zagotovitev zmanjšanja ogroženosti

Izvedeno je bilo interventno čiščenje strug Predelice in Koritnice – delno še v okviru Civilne zaščite. Potrebno je bilo čiščenje plavja iz strug Predelice, Koritnice in Soče – ta dela so bila v določenem obsegu opravljena v okviru interventnih ukrepov, predvsem na Soči pa v okviru rednega dela vodnogospodarskih podjetij. Ves čas je moralo biti v skladu s projektno dokumentacijo zagotovljeno tudi vzdrževanje pretočnosti strug Predelice in Koritnice. Vsi ukrepi pa so bili izvajani kot predpriprava za trajno sanacijo na vodotokih. Temeljno vodilo pri načrtovanju ukrepov na strugah je bilo postopno in povezano urejanje, ki najprej zagotavlja poplavno varnost in hkrati spodbuja naravne procese.

Drugi sklop del je predstavljala izvedba začasnega zaplavnega objekta z odstranitvijo čepa na Koritnici in čiščenjem vtoka v HE Možnica. Sprva so bila za odstranitev čepa predvidena minerska dela, kasneje pa je nizek vodostaj omogočil strojno »pikiranje«.

Ta sklop obsega tudi izdelavo projektne dokumentacije in izvedbo lokalnih objektov za ureditev strug Predelice in Koritnice, sanacijo desne brežine pri HE Možnica ter predvidene lokalne usmerjevalne objekte v strugah.

Ponovna postavitvev zajetja HE Log pod Mangartom

Obnovljeno je bilo nizkonapetostno omrežje (NNO) v Logu pod Mangartom, sanirana pa 20-kilovatni daljnovod Bovec-Log pod Mangartom in začasna transformatorska postaja Možnica. Na Mangartskem potoku je postavljeno začasno zajetje za HE Log.

Zagotovitev začasnih pogojev za delo in življenje na prizadetem območju

Predvidena in izplačana so bila sredstva za stroške bivanja začasno izseljenih, stroške nadzora in varovanja premoženja izseljenih prebivalcev, stroške ohranjanja delovnih mest, ki zaradi posledic plazu niso mogla obratovati, ter za druge nujno potrebne stroške lokalne skupnosti.

Priprava in načrtovanje objektov med plazom in Zgornjim Logom

Model drobirskega toka za dimenzioniranje razbijačev drobirskega toka je predstavljala pomemben del preverjanja učinkovitosti in optimalnega načrtovanja varovalnih objektov.

Izdelana je bila:

- projektna dokumentacija (idejni projekti) za dve težnostni pregradi za podporo plazu – pregrada pri Meleh in pregrada pod Počivalnikom,

- projektna dokumentacija za dve armiranobetonski ustaljevalni, prebiralni hudourniški pregradi oz. razbijača drobirskega toka,
- projektna dokumentacija (idejni projekt) ureditve Mangartskega potoka od Mangartske planine do montažnega mosta pri Mlinču,
- projektna dokumentacija za ureditev površja plazišča, kot zaključna naloga.

Uporaba kamenja za vgradnjo v varovalne in sanacijske objekte

Izdelane so bile preliminarne raziskave in mnenja o možnosti uporabe kamenja z nekaterih lokacij. Dokumentacija je bila predana v presojo Občini Bovec.

Priprava ustreznih prostorskih aktov

Pripravljene so bile geodetske podlage in izdana mnenja Strokovnega odbora o varnosti posameznih izbranih lokacij za nadomestne gradnje. Lokacijski načrti bodo lahko izdelani šele na podlagi končne odločitve o izvedbi posameznih objektov, to velja predvsem za cestno infrastrukturo in nadomeščanje začasnih premostitev. Poleg tega bodo ti načrti zajemali tudi nekatere želje prebivalcev po dolgoročni ureditvi Loga pod Mangartom.

Izgradnja individualnih objektov je bila z dopolnili Zakona o popotresni obnovi objektov in spodbujanja razvoja v Posočju prenesena na Državno tehnično pisarno.

Poraba sredstev

Poraba sredstev je bila določena s programom. Razdelitev je temeljila na racionalnosti, tako da so bili izvajalci izbrani na podlagi oddaje ponudb, seveda s primernimi referenca-mi in najnižjo ponujeno ceno. Vsa sredstva so bila načrtovana v programih in rebalansih teh programov (saj so bile natančne vrednosti znane šele po končanih delih), sprejela pa jih je Vlada RS.

Največji del so zajemali ukrepi, namenjeni zmanjšanju ogroženosti in zagotovitvi pogojev za delo in življenje vaščanov – kar 615,6 milijona tolarjev (kar predstavlja 73 % vseh za Log pod Mangartom predvidenih sredstev, ki so bila na razpolago v času dela Strokovnega odbora), stroški izdelave predinvesticijskih zasnov za dokončno sanacijo so znašali 218,7 milijona tolarjev oz. 26 % ter drugi stroški 7,7 milijona tolarjev (1 %).

Varnost Loga pod Mangartom danes

Takoj po drugi splazitvi sta bila v celoti izseljena Spodnji in Zgornji Log. Za nadomestno namestitev je bilo zagotovljenih 62 apartmajev. Po izdelani oceni ogroženosti za

primer, da bi se ponovil dogodek iz leta 2000, vemo, da je ogroženih le še 44 objektov oz. 26 družin. Za slednje je predvidena nadomestna namestitev od jeseni do pomladi, stroške začasnega bivanja pa krije država.

Varnost Loga pod Mangartom je danes večja, kot je bila po nesreči. To zagotavljajo do danes izvedeni ukrepi – reguliranje strug, odplavljanje materiala iz Koritnice, izvedba alarmnega sistema in merjenje pomikov plazov. K varnosti bistveno pripomore tudi večje poznavanje plazov. Razumljivo pa je, da se bo število ogroženih objektov zmanjševalo z vsakim izvedenim ukrepom.

Prihodnje aktivnosti

Zakon o ukrepih za odpravo posledic, preprečitev širjenja in ustalitev zemeljskih plazov večjega obsega (ki ga je Državni zbor RS sprejel lani) je določil pripravo lokacijskih načrtov, ki bodo urejali prostorsko umestitev. Tako so predlagani ukrepi navedeni po letih izvedbe, saj zaradi postopka priprave lokacijskega načrta težje napovemo natančno datumsko izvedbo ukrepov. Izvedba vseh v nadaljevanju naštetih predlaganih ukrepov znaša 6,1 milijarde tolarjev. Časovni in finančni pregled predvidenih ukrepov za zmanjšanje ogroženosti Loga pod Mangartom je bil objavljen v Poročevalcu Državnega zbora RS julija 2001. V nadaljevanju je povzet vsebinski pregled predvidenih ukrepov.

Priprave in izvedba prve faze varovalnih objektov na plazu Stože in v strugi Mangartskega potoka. To pomeni ureditev odvodnjavanja zalednih in površinskih voda na plazu, ureditev površja plazov, ureditev zadrževalnika plavin pri Mangartski planini, kanaliziranje Mangartskega potoka na odseku pod zemeljsko pregrado pod Počivalnikom in izgradnjo zemeljske nasute pregrade pod Počivalnikom. Sočasno naj bi potekali tudi izgradnja razbijača drobirskega toka, ki je obenem prebiralna hudourniška pregrada in zadrževalnik hudourniških plavin na izbrani lokaciji v strugi Predelice nad Zgornjim Logom, ter prva faza ureditve strug Predelice in Koritnice.

Druga faza izgradnje varovalnih objektov na plazu Stože. Ta vključuje ureditev odvodnjavanja zalednih in površinskih voda na plazu, ureditev površja plazov, izgradnjo zemeljske nasute pregrade pod Počivalnikom, kanaliziranje struge Mangartskega potoka pod plazom. Sledi druga faza ureditve strug Predelice in Koritnice ter prva faza obnove ceste na Mangart.

Začetek obnove energetskih naprav. Tretja faza izgradnje varovalnih objektov na plazu Stože vključuje tudi ureditev struge Mangartskega potoka od pregrad do sotočja s Predelico, izgradnjo zemeljske nasute pregrade pri Meleh. Sledi tretja faza ureditve strug Predelice in Koritnice ter druga faza ureditve ceste na Mangart. Na cestni infrastrukturi pa se predvidoma v tem letu opravi izgradnja nadomestnega premostitvenega objekta na cesti Bovec–Predel čez Predelico v Zgornjem Logu, obnovitev ceste

Bovec–Predel v Zgornjem Logu ter začetek gradnje premostitvenega objekta prek Mangartskega potoka pri Mlinču.

Dokončanje obnove energetskega naprave. Sledi zaključna faza izgradnje varovalnih objektov na plazu Stože – dokončanje del na plazu in v strugi Mangartskega potoka ter izgradnja razbijača drobirskega toka v strugi Mangartskega potoka pri Mlinču. V zadnjem delu je predvidena tudi dokončna ureditev strug Predelice in Koritnice. Prav tako bo končana ureditev ceste na Mangart in dokončan nadomestni premostitveni objekt na cesti Bovec–Predel prek Mangartskega potoka pri Mlinču.

Sklepne misli

Pri načrtovanju so Strokovni odbor vodile predvsem izkušnje iz tujine, dosedanje izkušnje sanacije podorov in manjših plazov v Sloveniji, rezultati raziskav ter sprotne preverjanje učinkovitosti ukrepov prek rezultatov matematičnega modela drobirskega toka. Delo je bilo ves čas usmerjeno v zagotavljanje pogojev za življenje in varnosti Loga pod Mangartom, začasni izvedeni ukrepi pa so usmerjeni v trajno rešitev. Vse ideje so bile zaradi odločitve o ohranjanju vasi na istem območju najprej predstavljene krajanom Loga pod Mangartom.

V Strokovni odbor so bili imenovani vodilni strokovnjaki – predavatelji specialnih ved Univerz v Mariboru in Ljubljani za področja gradbeništva, geotehnike, hidrotehnike, geologije ter strokovnjaki državnih organov za področje prometa in zvez, elektrogospodarstva, vodnega gospodarstva in urejanja prostora. Prepričana sva, da nam je v taki sestavi in z vključevanjem zunanjih sodelavcev pri raziskavah, študijah in projektiranju uspelo zagotoviti interdisciplinarnost

obravnavne možnih rešitev ter z izkušenimi projektanti najti optimalne rešitve. Poleg tega smo sodelovali tudi z nekaterimi člani iz obeh ekspertnih skupin, nenazadnje tudi s krajani Loga pod Mangartom. V iskanje rešitev se je tako vključilo več kot 40 strokovnjakov. Svoje odločitve pa smo preverjali tudi v tujini.

Skupni zaključek dela je bil po dobrih šestih mesecih točno tak, kot smo predvidevali na začetku – le da smo za to potrebovali trdne utemeljitve: ni enega samega ukrepa, ki bi zagotovil zadostno stopnjo varnosti Logu pod Mangartom, vsekakor pa ni mogoče zagotoviti popolne varnosti. Ukrepi so raznovrstni in zahtevajo sestavo po sistemu domin – medsebojno se dopolnjujejo in vsak posamezni ukrep prinaša dodatno stopnjo varnosti. Izbrali smo optimalno rešitev.

Literatura

1. Zakon o ukrepih za odpravo posledic plazov Stože v Občini Bovec in plazov večjega obsega, nastalih na območju Republike Slovenije po 15. oktobru 2000 (ZUPSB).
2. Program interventnih in drugih ukrepov za odpravo posledic plazov Stože – izhodišča za izvajanje z rebalansi (1 do 4).
3. Ocena škode – plaz Log pod Mangartom, Ministrstvo za okolje in prostor, Sektor trajnih sanacij.
4. Poročilo o uresničevanju zakona za odpravo posledic plazov Stože v občini Bovec in plazov večjega obsega, nastalih na območju Republike Slovenije po 15. oktobru 2000 (ZUPSB), Strokovni odbor, Ministrstvo za okolje in prostor, Poročevalec Državnega zbora Republike Slovenije, Letnik XXVII, št. 66, julij 2001.
5. Program interventnih in drugih ukrepov za odpravo posledic plazov Stože – Poročilo o izvedbi programa z oceno ogroženosti Loga pod Mangartom in s predlogom rebalansa, Strokovni odbor, Ministrstvo za okolje in prostor, september 2001.

ANALIZA EROZIJE TAL V POREČJU KORITNICE

Soil Erosion Analysis in the Koritnica River Catchment

Matjaž Mikoš*, Gregor Petkovšek**,
Mojca Šraj***, Mitja Brilly****

UDK 551.3.053(497.4 Log pod Mangartom)

Povzetek

Po drobirskem toku, ki je 17. 11. 2000 prizadel Log pod Mangartom, so se bistveno spremenile prodosne razmere reke Koritnice. Da bi ugotovili, kakšna je bila prodna bilanca reke Koritnice pred tem ekstremnim pojavom, je bila opravljena analiza sproščanja in odplavljanja zemljin v hudourniških območjih povodja Koritnice. V analizi smo upoštevali razpoložljive podatke o naravnih danostih porečja: o geološki zgradbi in oblikovanosti površja (nagibi površin) ter o rabi tal. Analiza sproščanja in odplavljanja s prirejeno Gavrilovičevo enačbo je za celotno območje Predelice v normalnem hidrološkem letu (povprečje) dala povprečni letni dotok plavin 2500 m³/leto, za območje Koritnice do sotočja s Predelico 18.500 m³/leto in za celotno povodje Koritnice do sotočja s Sočo 39.300 m³/leto. Navedene izračunane vrednosti ustrezajo razmeram v porečju Koritnice.

Abstract

The debris flow that hit the village of Log pod Mangartom on 17 November 2000 tremendously changed the sediment transport conditions in the Koritnica River. In order to estimate the sediment budget of the Koritnica River prior to this extreme occurrence, an analysis of sediment production in the torrential sub-catchments and sediment delivery (inflow) to the Koritnica River was performed. For this purpose the available data on the natural features of the catchment: geology, hydrogeology, relief, as well as land use (soil cover), were taken into account. The soil erosion analysis was performed using a revised Gavrilović equation. The estimated sediment yields in an average hydrological year were as follows: 2500 m³/year for the Predelica Torrent catchment, 18,500 m³/year for the Koritnica catchment upstream of the confluence with the Predelica Torrent, and 39,300 m³/year for the whole Koritnica River catchment. These values correspond to the natural conditions in the Koritnica River catchment.

Uvod

Za račun dinamike premeščanja sedimentov po strugi reke Koritnice do Soče v razmerah po plazu Stože je bilo smiselno najprej opraviti primerjalni količinski račun povprečnega sproščanja in odplavljanja erozijskega drobirja (zemljin in prsti) iz virov plavin v porečju Koritnice. Erozijske pojave na zemeljskem površju ob kemičnem, biološkem in fizikalnem preperevanju kamnin na mestu delovanja zunanjih (eksogenih) sil narave (sonca in temperaturnih razlik, rastlinskega in živalskega sveta ter kemijskih elementov in spojini v dežju in vodi) lahko delimo na zelo različne načine. Možna je delitev glede na dinamične sile narave (veter, led, sneg, voda in težnost), ki premeščajo sproščeni erozijski drobir v nove stabilne lege (Mikoš, 1995). Delitev erozijskih pojavov je pomembna za razumevanje nastanka in dinamike posamezne vrste ter predvsem za obravnavo in vrednotenje sproščanja in odplavljanja.

Opis naravnih danosti območja

Analiza sproščanja in odplavljanja erozijskega drobirja (zemljin in prsti) v porečju Koritnice (slika 1) je bila izvedena za posamezne značilne hidrološke prereze v porečju (preglednica 1), upoštevajoč hidrografske značilnosti teh prevez, in sicer na osnovi analize naravnih danosti območja.

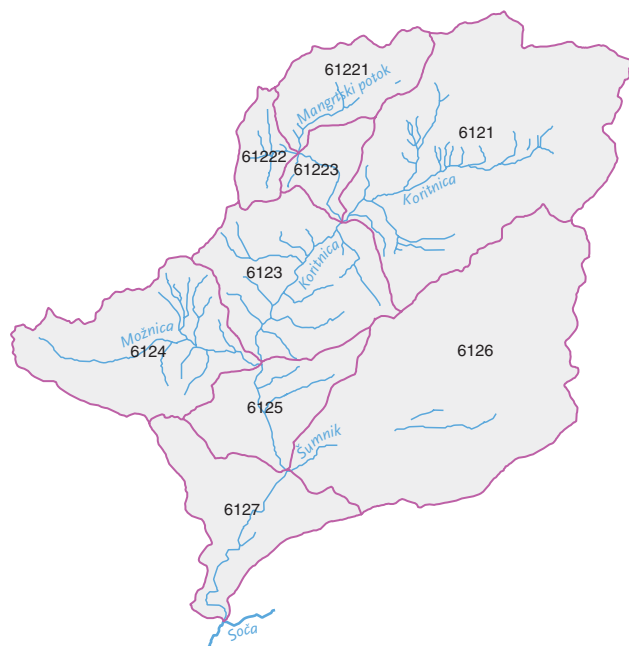
Načeloma moramo v primeru obravnavanega porečja Koritnice upoštevati naslednje vrste erozijskih pojavov: vodno erozijo (delovanje tekočih voda), snežno erozijo (erozijo delovanja snežnih plazov in počasnega plazenja snežne odeje) ter plazno in podorno erozijo (zemeljske plazove). Za količinsko vrednotenje sproščanja in odplavljanja zemljin zaradi delovanja omenjenih erozijskih dejavnikov moramo najprej poznati naravne danosti, ki jih upoštevamo v analizi sproščanja in odplavljanja zemljin.

* izr. prof. dr., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana, mmikos@fgg.uni-lj.si

** Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana

*** mag., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana

**** prof. dr., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, 1000 Ljubljana



Slika 1. Hidrološka členitev povodja Koritnice s šiframi pod-povodij

Figure 1. Hydrological division of the Koritnica River catchment with sub-catchment codes

Kamninska (geološka) sestava obravnavanega območja je pomembna za razumevanje stabilnosti oz. nestabilnosti (labilnosti) pobočij in razvoj oz. dinamiko erozijskih pojavov v obravnavanih hudourniških pritokih Koritnice.

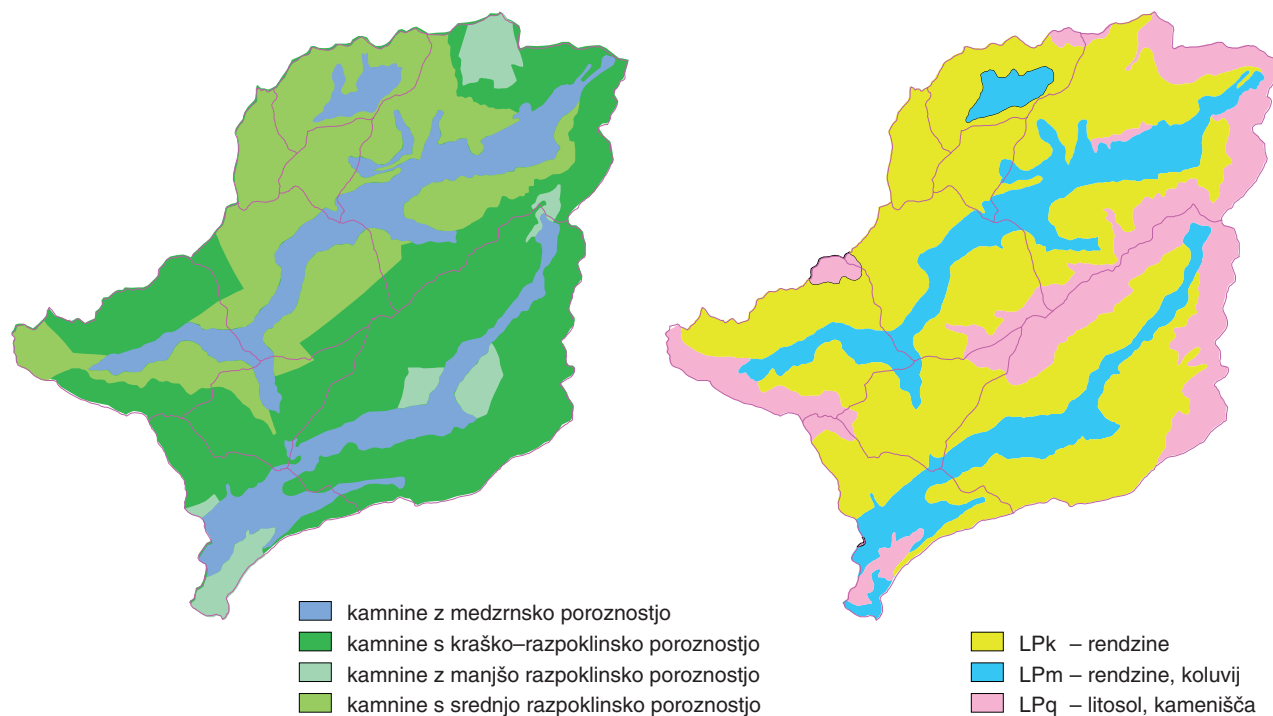
Geološko je povodje Koritnice zgrajeno iz karnijskih (zgornji trias) masivnih in skladnatih dolomitov in apnencev (T_3^1 – oznake so povzete iz osnove geološke karte 1 : 100.000), skladnatega glavnega dolomita z vmesnimi lapornimi plastmi ($T_3^{1,2}$) in skladnatega dachsteinskega apnenca s plastmi laporja (T_3^{2+3}). V manjših conah lusk ob transkurentnih prelomih je mešanica jurskih in krednih apnenčastih kamenin, breč, skrilavcev, peščenjakov in laporjev. Po pobočjih visokih grebenov in na obrobjih grap in dolin so razprostranjena melišča (s), doline zapolnjujejo starejše sprijete morene (gl.).

Za procese površinskega spiranja zemljin in plodnih tal (prsti) je pomembno poznati litološko sestavo tal na obravnavanem območju.

Na porečju Koritnice je primarni pedogenetski dejavnik litološka podlaga, sekundarni pa predvsem sestava površja in podnebje. Značilna genetska serija tal (pedosekvenca) tega območja so tla z izrazito litogenim obeležjem na apnencih in dolomitih, podrejeno na kalkarenitih, laporjih in brečah ter

Preglednica 1. Hidrografske značilnosti povodja Koritnice, podane v posameznih značilnih hidroloških prerezih
Table 1. Hydrographic characteristics of the Koritnica River catchment according to characteristic hydrological cross-sections

Hidrološki prerez	Šifra povodja	Velikost povodja (km ²)	Nagib terena	Dolžina vodotoka (km)	Nagib vodotoka	Povprečna nmv (m)
Mangartski potok do plazu Stože	61221	2,31	0,614	1,28	0,130	1534
Mangartski potok od plazu Stože do sotočja s hudournikom Sinji dol	61221	1,04	0,611	0,74	0,150	1460
Mangartski potok od Sinjega dola do sotočja s Predelico	61221	1,45	0,690	0,76	0,163	1434
Predelica do sotočja z Mangartskim potokom	61222	2,26	0,606	1,32	0,140	1321
Predelica od sotočja z Mangartskim potokom do sotočja s Koritnico	61223	2,05	0,633	2,27	0,165	1050
Koritnica do sotočja s Predelico	6121	21,73	0,880	5,37	0,156	1442
Koritnica od sotočja s Predelico do sotočja z Rojo	6123	2,27	0,824	0,81	0,018	1071
Roja do sotočja s Koritnico	6123	0,35	0,851	0,62	0,163	960
Koritnica od sotočja z Rojo do sotočja z Možnico	6123	7,55	0,864	2,9	0,037	1039
Možnica do sotočja s Koritnico	6124	10,16	0,901	5,39	0,212	1325
Koritnica od sotočja z Možnico do sotočja s Šumnikom	6125	5,27	0,955	2,56	0,076	1033
Šumnik do sotočja s Koritnico	6126	23,61	0,819	4,85	0,139	1430
Koritnica od sotočja s Šumnikom do sotočja s Sočo	6127	7,01	0,615	4,51	0,016	847



Slika 2. Hidrogeološke in pedološke enote povodja Koritnice (podlaga: Geološki zavod Ljubljana, Center za pedologijo in varstvo okolja – Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani)

Figure 2. Hydrogeological and pedological units of the Koritnica River catchment (source: Ljubljana Geological Institute, Center for Pedology and Environmental Protection – Biotechnical Faculty, University of Ljubljana)

fluvio-glacialnih sedimentih. Večinoma gre za rendzine (pedološki profil A–C na dolomitnih in apnenčastih pobočjih z manj intenzivno erozijo) in litosol (kamenišča, neizoblikovan pedološki profil (A)–C iz skeletnih različno velikih delov matične kamnine), v ozkih dolinah pa za rendzine na fluvio-glacialnih klastitih ter koluvialna tla (bolj humusna prst, pedološki profil A–C s skeletom matične kamnine pod pobočji) (slika 2).

Analiza rabe tal v porečju Koritnice je bila opravljena na osnovi evropske baze podatkov CORINE, ki pokriva celotno Evropo. Baza CORINE razpolaga z enotno določenimi podatki o rabi tal. Analiza podatkov rabe tal v porečju Koritnice (slika 3) je prikazana v preglednici 2.

Na intenziteto erozijskih procesov vpliva tudi vegetacijska zaščitenost površin, saj se najbolj intenzivni procesi razvijajo na nezaščitenih in ogolelih zemljinah.

Skalovje in redko poraščene površine kljub veliki nadmorski višini pokrivajo manjši del povodja (17 km²). Večino površine pokriva gozd (45 km²), manjši del pa travniki. Kmetijskih površin je sorazmerno malo na dnu dolin (4 km²). Preseneča sorazmerno velika površina, pokrita z vegetacijo.

Za določitev deleža površinskega odtoka in za določanje koeficienta odplavljanja zemljin, ki jih vode lahko odplavijo iz posameznega podpovodja, je pomembno poznavanje hidrogeoloških razmer v povodju (slika 2).

Na povodju Koritnice so pretežno zastopane prepustne kamnine s prevladujočo kraško-razpoklinsko, razpoklinsko in medzrnsko poroznostjo. Kraško-razpoklinska poroznost je značilna za triasne apnenice in dolomite, razpoklinska poroznost za jurske in kredne litološko pester kamnine, medzrnska poroznost pa prevladuje v kvartarnih dolinskih in pobočnih sedimentih. Vrsta litološke podlage, njena tektonska porušenost in zakraselost ter vrsta tal pogojujejo razmeroma nizek odtočni potencial. Na podlagi klasifikacijske sheme SCS prevladujejo hidrološke skupine zemljin A z nizkim odtočnim potencialom in visoko stopnjo infiltracije. Glede na lokalne reliefne in litološke posebnosti so lahko na tem območju hidrološke skupine zemljin B s povprečnim do nizkim odtočnim potencialom in povprečno stopnjo infiltracije. Zaradi zelo zahtevnega ocenjevanja padavinskih izgub na goratem površnem območju s prevladujočo razpoklinsko in kraško-razpoklinsko poroznostjo ter veliko spremenljivostjo zemljin je bila na podlagi litoloških in pedoloških značilnosti ter ocene tektonske porušenosti in zakraselosti za korekcijo neto padavin po posameznih podpovodjih pripravljena shema utežnih koeficientov.

Hidrogeološki podatki vodnogospodarskih osnov kažejo podobno sliko območju z medzrnsko poroznostjo in tudi značilno površino slabo prepustnih tal na območju plazu Stože.

Po podatkih iz poročila o hidrološkem modelu povodja Koritnice (Mikoš in sod., 2002) izhaja, da je območje prekrito z zelo prepustnimi naplavinskimi, zakraselimi ali razpokanimi kameninami. Slabše prepustno je samo manjše območje 80 hektarov ob plazu Stože.

Vrednotenje površinske erozije tal

Pri delovanju vodne erozije delimo pojave na površinske pojave ter pojave bočne in globinske erozije. Med površinske procese štejemo površinsko spiranje tal ter brazdasto in jarkasto erozijo. Kakor hitro se stekajoče vode dovolj skoncentrirajo, začnejo delovati izrazito z globinsko in bočno erozijo. Če temu dodamo še pojave plazenja tal, tovrstne erozije tal ni moč enostavno vrednotiti. Vrednotenje samo površinskih procesov je nekoliko enostavnejše in v ta namen se je v Sloveniji v glavnem uporabljala prirejena Gavrilovičeva enačba. Izvirna oblika Gavrilovičeve enačbe (Gavrilović, 1970) se glasi :

$$\overline{M\Psi} = K_T \overline{H_w^\downarrow} \pi K_\Psi^{1,5} FW \quad \text{m}^3/\text{leto} \quad (1)$$

kjer je:

- $\overline{M\Psi}$ povprečno letno sproščanje zemljin [m^3/leto]
- K_T temperaturni koeficient, odvisen od srednje letne temperature T [–]
- $\overline{H_w^\downarrow}$ srednje letne padavine [mm]
- K_Ψ erozijski koeficient območja [–]
- FW prispevna površina območja [km^2]

kjer je erozijski koeficient območja, določen kot:

$$K_\Psi = K_{\Psi E} K_{\Psi Z} (K_{\Psi 0} + J_{Fw}^{0,5}) \quad (2)$$

kjer je:

- $K_{\Psi E}$ koeficient erodibilnosti zemljin ($K_{\Psi E} = 0,10 - 1,00$)
- $K_{\Psi Z}$ koeficient vegetacijske zaščitenosti površin ($K_{\Psi Z} = 0,05 - 1,00$)
- $K_{\Psi 0}$ vizualno ocenjen koeficient razvitosti erozijskih pojavov ($K_{\Psi 0} = 0,10 - 1,00$)
- J_{Fw} srednji nagib površin območja [–]

Ob upoštevanju ugotovitev, kateri parametri so pomembni za slovenske razmere (Pintar in sod., 1986), se v Sloveniji uporablja prirejena oblika Gavrilovičeve enačbe, ki se za povprečno letno sproščanje zemljin glasi:

$$\overline{M\Psi} = 20 \overline{H_{wd\Delta}^\downarrow} K_\Psi^{1,5} FW \quad \text{m}^3/\text{leto} \quad (3)$$

kjer so $\overline{H_{wd\Delta}^\downarrow}$ [mm] maksimalne dnevne padavine.

Povprečno letno odplavljanje zemljin je omejeno na eni strani s sproščanjem zemljin in na drugi strani s premetitveno zmogljivostjo stekajočih se voda:

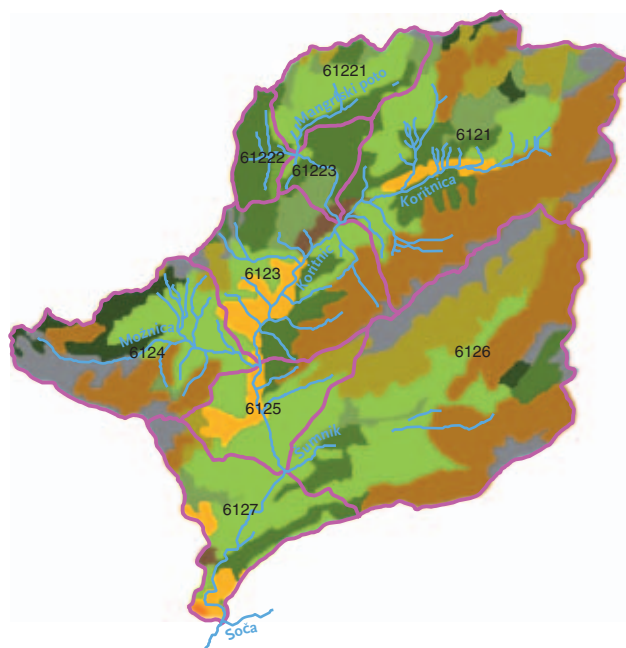
$$\overline{M\Psi} = K_{\Psi Y} \overline{G} \quad \text{m}^3/\text{leto} \quad (4)$$

kjer je $K_{\Psi Y}$ koeficient odplavljanja zemljin ($G/\overline{M\Psi}$), določen kot razmerje med povezano in neprekinjeno premetitveno zmogljivostjo stekajočih se voda v hidrografski mreži G in povprečnega letnega sproščanja zemljin $\overline{M\Psi}$. Oba parametra, tako premetitvena zmogljivost tekočih voda kakor tudi koeficient odplavljanja, sta odvisna od zna-

Preglednica 2. Podatki o rabi tal na posameznih podpovodjih reke Koritnice, kakor so podani v bazi CORINE (za razred zemljišča glej legendo k sliki 3)

Table 2. Land use in individual sub-catchments of the Koritnica River, as registered in the CORINE base (according to classes; see legend to Figure 3)

Razred zemljišča	Velikost [ha]	Šifra podpovodja								
		6121	61221	61222	61223	6123	6124	6125	6126	6127
211	5,5	—	—	—	—	—	—	—	—	5,5
231	84,5	19,5	-	-	10,4	39,1	—	—	—	15,5
243	297,2	53,4	—	—	—	113,9	4,9	65,3	-	59,8
311	2485,4	399,5	223,5	7,0	11,2	219,1	332,4	319,2	646,0	327,5
312	30,5	-	-	21,4	2,6	1,7	—	—	—	4,9
313	1393,5	307,9	134,5	174,0	152,8	263,0	—	37,9	187,4	136,0
321	300,0	54,4	—	—	—	—	213,7	—	31,9	—
322	1808,9	747,1	—	—	—	194,1	198,6	11,4	642,6	15,0
324	627,6	204,3	102,8	—	50,9	89,4	24,4	1,0	79,6	75,0
332	924,2	215,8	7,2	0,3	—	62,2	224,6	6,7	363,9	43,5
333	747,9	170,9	11,7	—	—	33,7	17,5	85,5	410,1	18,4
skupaj	8705,3	2172,8	479,8	202,7	227,9	1016,2	1016,1	527,0	2361,5	701,3



211 – nenamakane njivske površine	
231 – pašniki	
243 – pretežno kmetijske površine z večjimi območji vegetacije	
311 – listnati gozd	322 – barja in resave
312 – iglasti gozd	324 – grmičast gozd
313 – mešani gozd	332 – golo skalovje
321 – naravni travniki	333 – redko porasle površine

Slika 3. Podatki baze CORINE

Figure 3. Data from the CORINE base

vostne sestave sproščenih zemljin. Kadar nimamo na voljo meritev, lahko koeficient odplavljanja le ocenimo in pri tem upoštevamo zrnastostno sestavo zemljin v obravnavanem območju. V zadnjem času se je prirejena oblika Gavrilovičeve enačbe uporabila pri analizi sproščanja in odplavljanja živega srebra v okolici idrijskega rudnika živega srebra (Nyberg in Prevodnik, 1999) ali pri zasnovi ureditvenih ukrepov v hudourniških strugah (npr. Kodrič, 1999; Mrak, 1999). Na voljo so že napredni in kompleksni modeli erozije tal, ki temeljijo na procesno utemeljenem modeliranju erozijskih procesov in zahtevajo obsežne in kakovostne podatke za svoje umerjanje (Petkovšek, 2000).

Ocena sproščanja in odplavljanja zemljin v povodju Koritnice

Za vrednotenje sproščanja in odplavljanja zemljin v hudourniških območjih reke Koritnice smo določili parametre prirejene Gavrilovičeve enačbe (3) iz analiz, opravljenih pri izdelavi hidrološkega modela povodja reke Koritnice, kakor sledi:

- velikost koeficienta erodibilnosti zemljin $K_{\psi E}$ smo izbrali med 0,50 in 0,55 s pomočjo opisov kamninske sestave zaledja in prevladujočih zemljin;

- velikost koeficienta vegetacijske zaščitenosti površin $K_{\psi Z}$ smo izbrali med 0,40 in 0,70 na osnovi poznane rabe tal;
- velikost koeficienta razvitosti erozijskih pojavov $K_{\psi 0}$ smo izbrali med 0,35 in 0,55 na osnovi terenskih ogledov in poznavanja pojavov nestabilnosti pobočij in plazjenja tal;
- povprečni nagib površin J_{FW} posameznih hudourniških območij smo povzeli po analizah hidrološkega modela obravnavanega območja;
- maksimalne dnevne padavine $H_{wd\Delta}^{\downarrow}$ v mm/dan smo prav tako povzeli iz analiz hidrološkega modela obravnavanega območja, in sicer smo v računu sproščanja in spiranja zemljin upoštevali maksimalne dnevne padavine povratne dobe 1 do 2 let, ki prikazujejo povprečne letne količine sproščenih in odplavljenih zemljin. Pri tem smo za srednje nadmorske višine podpovodij nad 1000 m_{nv} upoštevali višinski gradient 100 mm na 1000 metrov nadmorske višine. Za bolj ekstremne pojave bi lahko privzeli tudi maksimalne dnevne padavine daljših povratnih dob, npr. 100-letne maksimalne dnevne padavine, vendar s takim izračunom ne bi povsem določili ekstremnih vrednosti sproščenih in odplavljenih zemljin. K tako izvrnotenim količinam bi morali dodati še zemljine, sprane zaradi globinske in bočne erozije stranskih hudourniških strug in glavnih hudournikov;
- velikost prispevnih površin FW smo povzeli po hidrološki študiji obravnavanega območja;
- koeficient odplavljanja $K_{\psi y}$ (razmerje med količino odplavljenih in sproščenih zemljin) smo ocenili na 0,4 do 0,5. Srednja vrednost tega koeficienta je izbrana glede na relativno grobo zrnastost zemljin v zaledju, precej strma pobočja, ki gravitirajo neposredno v struge hudourniških pritokov, oblike povodja in razvejane hidrografske mreže, kjer se lahko pretežni del sproščenega erozijskega drobirja odplavi v hudourniške grape in struge ter premesti v njihove spodnje tokove.

Ocena sproščanja in odplavljanja zemljin za posamezna hudourniška območja oz. značilne hidrološke prereze povodja reke Koritnice je prikazana v preglednici 3.

Preverjanje natančnosti tovrstnih vrednotenj je možno s terenskimi podatki o sproščanju in odplavljanju zemljin. Ker tovrstni monitoring v eksperimentalnih povodjih v Sloveniji šele vzpostavljamo (Dragonja, Notranjska Reka), si lahko pomagamo le z ocenami količin plavin, ki so se v znanem obdobju zadržale (sedimentirale) v akumulacijskih prostorih zadrževalnih objektov za vodo in/ali plavine. Če gre za velike akumulacijske prostore, se v njih lahko celo odloži pretežni del vseh (lebdečih in rinjenih) plavin, sicer pa le rinjene plavine, lebdeče plavine pa se skozi take akumulacijske prostore skoraj neovirano premeščajo v dolvodne odseke vodotokov. Za reko Koritnico je možno uporabiti le podatke za reko Sočo, in sicer za akumulacijsko jezero Doblar. Na tak način je tudi bila podana ocena o povprečni letni prodonosnosti reke Koritnice 38.000 m³ rinjenih plavin.

Težava pri tovrstnih ocenah sproščanja in odplavljanja zemljin je njihova verodostojnost ali interval zaupanja. Odstopanje od ocenjenih srednjih vrednosti v hidrološko različnih letih je

Preglednica 3. Sproščanje in odplavljanje zemljin v posameznih hudourniških območjih porečja Koritnice
Table 3. Release and floating of materials in individual torrential areas of the Koritnica catchment

Zaporedna številka območja	Ime hudourniškega območja	Površina območja (km ²)	Srednji nagib površin (%)	Maksimalne dnevne padavine (mm/dan)	Koeficient vegetacijske zaščitenosti (-)	Koeficient erodibilnosti zemljin (-)	Koeficient razvitosti erozijskih pojavov	Erozijski koeficient območja (-)	Specifično povprečno letno sproščanje (m ³ /km ² /leto)	Povprečno letno sproščanje (m ³ /leto)	Koeficient odplavljanja zemljin (-)	Specifično povprečno letno odplavljanje (m ³ /km ² .leto)	Povprečno letno odplavljanje (m ³ /leto)
1	Mangartski potok do plazu Stože	2,31	61,4	253	0,70	0,55	0,50	0,49	1.758	4.061	0,10	176	406
2	Mangartski potok od plazu Stože do Sinjega dola	1,04	61,1	246	0,50	0,55	0,50	0,35	1.029	1.071	0,40	412	428
3	Mangartski potok od Sinjega dola do Predelice	1,45	69,0	244	0,40	0,55	0,50	0,29	773	1.121	0,40	309	448
4	Mangartski potok do sotočja s Predelico	4,80							1.303	6.252	0,21	267	1.283
5	Predelica do sotočja z Mangartskim potokom	2,26	60,6	232	0,40	0,55	0,40	0,26	613	1.384	0,50	306	692
6	Predelica od Mangartskega potoka do Koritnice	2,05	63,3	205	0,40	0,55	0,40	0,26	553	1.134	0,50	277	567
7	Predelica do sotočja s Koritnico	9,11							963	8.770	0,29	279	2.542
8	Koritnica do sotočja s Predelico	21,73	88,0	244	0,65	0,55	0,55	0,53	1.894	41.147	0,45	852	18.516
9	Koritnica od Predelice do Roje	2,27	82,4	207	0,50	0,55	0,35	0,35	842	1.912	0,50	421	956
10	Koritnica do sotočja z Rojo	33,11							1.565	51.829	0,42	665	22.014
11	Roja do sotočja s Koritnico	0,35	85,1	200	0,60	0,50	0,40	0,40	1.000	350	0,50	500	175
12	Koritnica od Roje do Možnice	7,55	86,4	203	0,60	0,50	0,40	0,40	1.023	7.721	0,55	562	4.247
13	Koritnica do sotočja z Možnico	41,01							1.461	59.900	0,44	645	26.435
14	Možnica do sotočja s Koritnico	10,16	90,1	232	0,65	0,55	0,55	0,54	1.821	18.498	0,45	819	8.324
15	Koritnica od Možnice do Šumnika	5,27	95,5	203	0,50	0,50	0,35	0,33	776	4.090	0,50	388	2.045
16	Koritnica do sotočja s Šumnikom	56,44							1.462	82.487	0,45	652	36.804
17	Šumnik do sotočja s Koritnico	23,61	81,9	243	0,65	0,55	0,55	0,52	1.823	43.046	0,01	18	430
18	Koritnica od Šumnika do Soče	7,01	61,5	200	0,50	0,50	0,35	0,28	604	4.234	0,50	302	2.117
19	celotna Koritnica	87,06							1.491	129.767	0,30	452	39.351

možno dobiti s spreminjanjem vrednosti parametrov. Praktično je to mogoče izvesti le z maksimalnimi dnevnimi padavinami v mm/dan, kjer smo v oceni privzeli povratno dobo 2 leti. Vpliv parametra je v modelu linearen, torej bi lahko ob ekstremnih nalivih povratne dobe 100 let pričakovali večje sproščanje in odplavljanje zemljin, in sicer v razmerju maksimalnih dnevnih padavin s 100-letno in 2-letno povratno dobo, kar bi

dalo razmerje okoli 2. Takšno povečanje površinskega spiranja in odplavljanja zemljin ob ekstremnih razmerah v primerjavi s povprečnim hidrološkim letom je možno in realno pričakovati. Vendar izkušnje kažejo, da se spiranje in odplavljanje zemljin lahko v ekstremnih razmerah poveča med pet in desetkrat glede na normalne hidrološke razmere. Nenadni udori plavin, ki so posledica izrednih padavin, so lahko tudi do

desetkrat večji od povprečnih letnih količin dotekajočih plavin. V primeru ekstremnih hidroloških razmer maksimalne možne padavine ne vplivajo več linearno na količino sproščeni in odplavljeni zemljin, kakor je to upoštevano z maksimalnimi dnevnimi padavinami v prirejeni Gavrilovičevi enačbi (3). Vendar ob tej oceni razmerij ne smemo pozabiti, da ob intenzivnejših (ekstremnih) padavinah ne pride le do površinskega spiranja zemljin, temveč tudi obsežnejšega sproščanja in odplavljanja zemljin iz v času neurja aktiviranih erozijskih žarišč globinske in bočne erozije. Takrat je treba količinam sproščeni in odplavljeni zemljin zaradi površinske erozije dodati še količine sproščeni in odplavljeni zemljin zaradi delovanja globinske in bočne erozije, svoje pa lahko v večjem obsegu kot sicer dodajo tudi pojavi plazenja tal, če splazele mase dosežejo vodne tokove, ki jih zaradi njihove običajno drobnazrate sestave zlahka odplavljajo.

Sklepne misli

Opravljen vrednotenje sproščanja in odplavljanja zemljin v hudourniških območjih reke Koritnice zaradi površinske erozije s pomočjo prilagojene enačbe Gavriloviča je določilo medsebojna relativna razmerja posameznih podpovodij Koritnice. Analiza je kot dotok plavin v reko Sočo v povprečnem letu dala prostornino 39.300 m³. Dotok plavin po Koritnici in po Predelici v območje njenega sotočja (območje Zgornjega Loga) je po tej analizi blizu razmerja 7 : 1. Zaradi velikih količin odloženih mas drobirskega toka v strugi Predelice in Mangartskega potoka je možno pričakovati bistveno večje količine dotekajočih plavin v območje Zgornjega Loga, kakor na to kaže tukaj opisana analiza površinskega sproščanja in odplavljanja zemljin. Glavni vzrok tega povečanja ni odstranitev vegetacijske plasti s pobočja pod Stožami, kar bo v naslednjih letih, preden se bo po naravni poti to pobočje ponovno obraslo, povečalo spiranje in odnašanje zemljin v Mangartski potok. Če to spremembo vrednotimo s pomočjo prirejene Gavrilovičeve enačbe, lahko predvidevamo do 5-kratno povečanje sproščanja in do 10-kratno povečanje odplavljanja zemljin s pobočja pod Stožami. Količinsko lahko to pomeni povečan povprečni letni dotok plavin v Zgornji

Log za nekaj 1000 m³. Bistveno bolj bo na povečan dotok plavin v Sočo vplivalo že omenjeno dejstvo, da se je v strugah Mangartskega potoka, Predelice in Koritnice odložilo skoraj 600.000 m³ plazovine, ki jo je tja zanesel drobirski tok. Za ta material lahko predvidevamo, da se bo delno mehansko odstranil in deponiral izven strug ter v večji količini naravno premestil v Sočo. Čas, potreben za ustalitev razmer v povodju Koritnice in vrnitev na stanje pred plazom Stože, lahko ocenimo na okoli 10 let, vendar je ta ocena v veliki meri odvisna od načina ureditve strug Predelice in Koritnice (Mikoš in sod., 2003) ter njihovega vpliva na spodbujanje naravnih procesov premeščanja plavin.

Literatura

1. Gavrilović, S., 1970. Savremeni načini preračunavanja bujičnih nanosa i izrada karata erozije. V: Seminar »Erozija, bujični tokovi i rečni nanos«, Beograd, 85–100.
2. Kodrič, T., 1999. Ureditvena dela na hudourniku Lajtna grapa v povodju Bače. Diplomsko naloga, Univerza v Ljubljani, FGG, 51.
3. Mrak, J., 1999. Vpliv potresa na erozijske procese v dolini Tolminke. Diplomsko naloga, Univerza v Ljubljani, FGG, 56.
4. Mikoš, M., 1995. Soodvisnost erozijskih pojavov v prostoru. Gozdarski vestnik, 59, 9, 342–351.
5. Mikoš, M., Vidmar, A., Šraj, M., Kobold, M., Sušnik, M., Uhan, J., Pezdič, J., Brilly, M., 2003. Hidrološke analize na plazu Stože pod Mangartom. V tej številki.
6. Mikoš, M., Rojnik, F., Fazarinc, R., 2003. Predlog ureditve strug Predelice in Koritnice po plazu Stože. Gradbeni vestnik, 51 (poslano v objavo).
7. Petkovšek, G., 2000. Procesno modeliranje erozije tal. Acta hydrotechnica 18/28, 1–18.
8. Pintar, J., Mikoš, M., Verbovšek, V., 1986. Elementi okolju prilagojenega urejanja vodotokov: alternativa utesnjevanju živih naravnih procesov v toge objekte. V: Simonović, S. (ur.) 2. kongres o vodah Jugoslavije, Ljubljana, knjiga 2, 800–814.
9. Nyberg, L., Prevodnik, A., 1999. A pilot study of soil erosion in the close environment of Idrija, Western Slovenia: MSc Thesis in geoinformatics. TRITA-GEOFOTO 14, Stockholm: Royal Institute of Technology, Department of Geodesy and Photogrammetry, 158.

HIDROLOŠKE ANALIZE NA PLAZU STOŽE POD MANGARTOM

Hydrologic Analyses of the Stože Landslide

Matjaž Mikoš*, Andrej Vidmar**, Mojca Šraj**,
Mira Kobold***, Mojca Sušnik****, Jože Uhan***,
Jože Pezdič*****, Mitja Brilly*****

UDK 556.3./5(497.4 Log pod Mangartom)

Povzetek

V dveh dogodkih 15. in 17. novembra 2000 se je blizu Mangarta (2679 m) izpod Stož sprožil zemeljski plaz s prostornino več kot milijon kubičnih metrov. Zemeljskemu plazu je sledil drobirski tok, ki je vzel 7 človeških življenj in opustošil dolino reke Koritnice, desnega pritoka reke Soče. Splazelo pobočje pod Stožami je bilo sestavljeno iz lapor-natih plasti in morenskega materiala z velikim deležem melja. V zadnjih 48 dnevih pred katastrofalnim dogodkom je bilo v Logu pod Mangartom izmerjeno 1638,4 mm dežja, kar predstavlja količino dežja s prek 100-letno povratno dobo. Količine dežja krajšega trajanja do nekaj dni niso bile ekstremne, saj so imele povratno dobo največ 30 let. Podrobna hidrološka analiza dogodka je pokazala, da so odtočni koeficienti v obravnavanem mokrem obdobju od oktobra do novembra 2000 polagoma naraščali od 0,17 do 0,47. Meritve pretokov vode izvirov in potokov na območju plazu ter kemijske analize sestave vode so nakazale prisotnost obsežnih vodonosnih geoloških formacij na območju plazu. Glavni vzrok za pojav plazu Stože in drobirskega toka je tako posledica medsebojnega vpliva izjemno velikih količin podzemnih voda in manj izjemnih pretokov površinskih voda.

Abstract

On 15 and 17 November 2000 a landslide was triggered near Mt. Mangart (2679 m). The total volume of sliding mass exceeded 1 million m³ and developed into debris flow, which took 7 lives and devastated the alpine valley of the Koritnica River, a right tributary of the Soča River. The sliding slopes below the Stože pass on the Slovene-Italian border were composed of marly and moraine materials with an abundance of silt. In the last 48 days before the catastrophic event, 1638.4 mm of precipitation was recorded at the rainfall gauging station in Log pod Mangartom. The recurrence interval of such rainfall depth is more than 100 years. The measured precipitation depths in shorter periods of up to a few days were not extreme and had recurrence intervals of less than 30 years. A comprehensive hydrological analysis of the event has shown that the computed run-off coefficients in the discussed wet period from October to November 2000 had been steadily increasing from 0.17 to 0.47. Measurements of spring and watercourse discharges in the landslide area, as well as chemical analyses of sampled water, have indicated the presence of a large aquifer in this area. The Stože landslide and the subsequent debris flow were mainly caused by interactions of extremely large quantities of ground water and less extreme discharges of moderate return periods.

Uvod

Na pobočju pod Stožami nad strugo Mangartskega potoka v bližini Mangartske planine se je 15. in nato še 17. novembra 2000 sprožil plaz, ki je tik po polnoči 17. novembra 2000 kot drobirski tok prizadel vasio Log pod Mangartom, oddaljeno 4 km od plazu pod Stožami (Majes, 2001). Izvedene geološke raziskave plazu so pokazale, da je na območju aktivnega plazu in nad njim še vedno skoraj dva milijona kubičnih metrov mas, ki so potencialno nevarne za nastanek novih plazov v neugodnih hidroloških razmerah.

Zato je bilo nujno izdelati hidrološko analizo pojava in vodno bilanco tega območja.

Vsebinsko je bila hidrološka analiza zasnovana na projektni nalogi in v skladu s programom Strokovnega odbora za plaz Stože pri Državni komisiji za sanacije, ki je prevzel izvedbo nujnih ukrepov za pripravo trajne sanacije plazu Stože. Delo je obsegalo analizo meteoroloških in hidroloških razmer v času sproženja plazu Stože, izdelavo in umerjanje hidrološkega modela porečja Koritnice ter pripravo prilagoditve meteorološke napovedi padavin za hidrološki

* izr. prof. dr., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana, mmikos@fgg.uni-lj.si

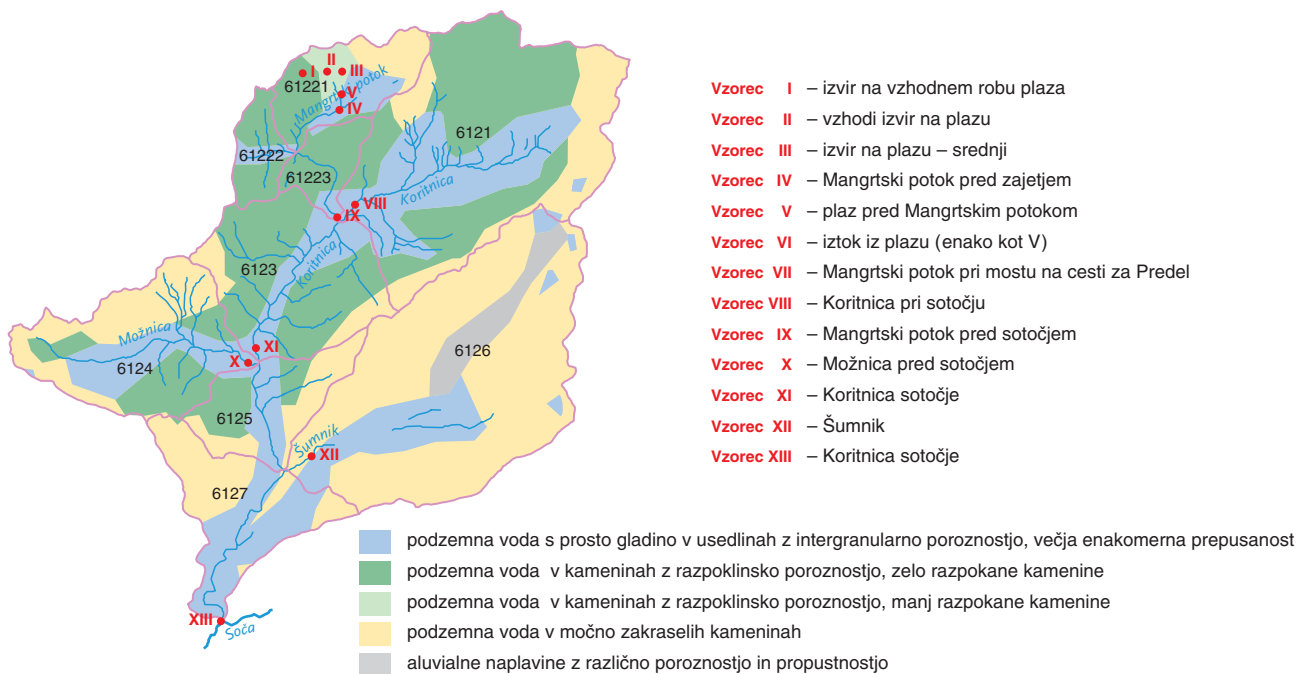
** mag., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana

*** mag., Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, Agencija RS za okolje, Vojkova 1b, Ljubljana

**** Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, Agencija RS za okolje, Vojkova 1b, Ljubljana

***** dr., Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva c. 12, Ljubljana

***** prof. dr., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana



Slika 1. Hidrogeološka sestava povodja reke Koritnice z vrisanimi vodotoki in podpovodji ter prikazom odvzemnih mest vzorcev za opravljeno kemijsko analizo voda

Figure 1. Hydrogeological composition of the Koritnica River and its watercourses and sub-catchments, and the water sampling sites for chemical analysis

model, ki bo služil kot podpora predvidenemu sistemu opozarjanja ob intenzivnih padavinah na tem območju.

Namen izdelave hidrološkega modela porečja Koritnice je bil, da se v času do dokončanja sanacijskih del na plazu in pod njim do Loga pod Mangartom (predvidoma do leta 2005) zagotovi čim boljša napoved poplavne ogroženosti ob intenzivnejših padavinah. Tako bi napoved odtokov, ki bi slonela na napovedi količin padavin do 24 oz. 48 ur vnaprej, omogočila vnaprejšnje opozarjanje prebivalcev Loga pod Mangartom. Pomemben del projektne naloge je bil torej ne samo izdelava in umeritev hidrološkega modela porečja Koritnice, ampak tudi razjasnjevanje pretočnih razmer v povodju jeseni 2000, saj so bile na voljo le meritve pretokov reke Koritnice v vodomerni postaji Kal-Koritnica.

Značilnosti padavin v porečju Soče

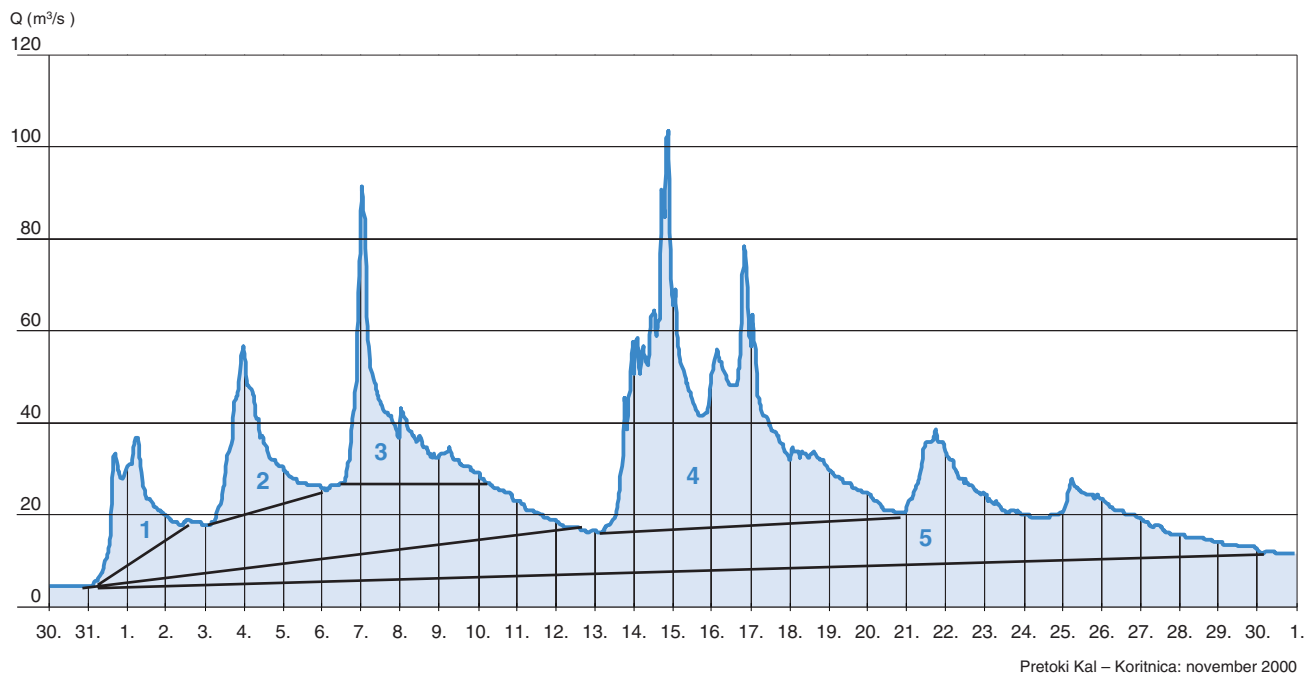
Porazdelitev padavin na goratih območjih Slovenije, kakršno je porečje Koritnice, je pogojena z globalnimi meteorološkimi vplivi, v veliki meri pa tudi z oblikovitostjo terena, ki povzroča prerazporejanje padavin glede na nadmorsko višino, položaj in obliko doline, usmeritev pobočij ipd. Za ugotavljanje omenjenih pojavov bi bilo treba opraviti več opazovanj na več dežemerih, kot jih je na voljo v gorskem svetu Slovenije. Problem pri določanju količine dejanskih padavin v porečju Koritnice je, da ne vemo, v kolikšni meri so obstoječa opazovanja reprezentativna za določanje povprečnih vrednosti in sklepanje o količinah in časovni porazdelitvi padavin.

Regresijska analiza padavin porečja Soče (Brilly in Rakovec, 1996) je pokazala odstopanja pri medsebojni soodvisnosti količine dnevni padavin med porečjem Soče gorvodno in dolvodno od Tolmina. To pomeni, da se tokovnice vlažnega zraka, ki prinaša padavine v povirje Soče, ločijo od tokovnic, ki prinašajo padavine na območje srednjega in spodnjega dela porečja. Pri tem so bile količine padavin na območju Koritnice nekoliko nižje od padavin na povodju Soče in prispevni površini Soče med sotočji s Koritnico in Učejo. Vprašljiva je lahko tudi izbira mesta dežemera v Logu pod Mangartom. Očitno se količine padavin pri posameznih nevihtah različno porazdelijo tudi znotraj porečja Koritnice po dolinah Mangartskega potoka, Koritnice, Možnice in Šumnika. Praviloma naj bi bilo celotno območje Koritnice in še posebej Mangartskega potoka in plazu Stože bolj v zatišju, sicer geološke formacije plazu Stože ne bi niti obstale na območju plazu do danes.

Hidrološke in hidrogeološke značilnosti porečja Koritnice

Hidrološke značilnosti porečja

Naravna nesreča v Logu pod Mangartom je zahtevala bolj podrobno analizo hidroloških razmer v porečju Koritnice. Porečje Koritnice s površino 87 km² se nahaja v povirju Soče, obkroženo z vršaci, ki presegajo višino 2000 metrov. Osnovna hidrografska mreža s šiframi posameznih prispevnih površin – podpovodij – je podana na sliki 1. Reka Koritnica s pritoki



Pretoki Kal – Koritnica: november 2000

Slika 2. Analiza visokovodnih valov v novembru 2000 iz meritev v vodomerni postaji Kal-Koritnica

Figure 2. Analysis of flood waves in November 2000 using measurement data from the Kal-Koritnica gauging station

Predelica, Roja, Možnica in Šumnik je desni pritok reke Soče v njenem povirnem delu. Porečje Koritnice do izliva v reko Sočo obsega 87 km², njen tok pa je dolg 16 km. Porečje leži med 400 in prek 2500 metri nadmorske višine.

Vodna bilanca Koritnice je v letnem povprečju bilanc izrazito neuravnovešena. V obdobju 1961–1990 ima Koritnica letno 237 mm presežka površinskega odtoka glede na razliko med padavinami in izhlapevanjem. Pri 2853 mm letnih padavin to pomeni 8 % več padavin, kot po meritvah in ob upoštevanju njihove neenakomerne porazdelitve. Lahko predpostavimo, da je na območju plazu Stože in v povirju Mangartskega potoka padlo tudi 20 % več vode, kot kažejo meritve na postajah, ki so pretežno v dolini (na splošno so padavine, izmerjene na vedno višji nadmorski višini, vse bolj podcenjene).

Hidrogeološke značilnosti porečja

Na porečju Koritnice so pretežno zastopane prepustne kamnine s prevladujočo kraško-rzopoklinsko, rzopoklinsko in medzrnsko poroznostjo. Kraško-rzopoklinska poroznost je značilna za triasne apnenice in dolomite, rzopoklinska poroznost za jurske in kredne litološko pestre kamnine, medzrnska poroznost pa prevladuje v kvartarnih dolinskih in pobočnih sedimentih. Vrsta litološke podlage, njena tektonska porušenos in zakraselos ter vrsta tal pogojujejo razmeroma nizek odtočni potencial. Na podlagi klasifikacijske sheme SCS prevladujejo hidrološke skupine zemljin A z nizkim odtočnim potencialom in visoko stopnjo infiltracije. Glede na lokalne reliefne in litološke posebnosti se lahko na tem območju pojavljajo hidrološke skupine zemljin B s povprečnim do nizkim odtočnim potencialom in povprečno stopnjo infiltracije. Zaradi zelo zahtevnega ocenje-

vanja padavinskih izgub na goratem povirnem območju s prevladujočo rzopoklinsko in kraško-rzopoklinsko poroznostjo kamnin ter veliko spremenljivostjo zemljin je bila na podlagi litoloških in pedoloških značilnosti ter ocene tektonske porušenos in zakraselos za korekcijo neto padavin po posameznih podpovodjih pripravljena shema utežnih koeficientov. Hidrogeološki podatki vodnogospodarskih osnov kažejo podobno sliko območju z medzrnsko poroznostjo in tudi značilno površino slabo prepustnih tal na območju plazu Stože (slika 1).

Rezultati analize hidroloških razmer oktobra in novembra 2000

Agencija RS za okolje razpolaga za oktober in november 2000 s hidrološkimi podatki vodomernih postaj Kal-Koritnica in Log pod Mangartom-Roja.

Analiza hidroloških podatkov je bila izvedena za vodomerno postajo Kal-Koritnica. Postaja leži 1,74 km gorvodno od izliva v Sočo s prispevno površino 85,47 km². Postaja je opremljena z limnigrafom, ki deluje od leta 1964, podatki pa so na razpolago od leta 1954. Vodomerna postaja (v. p.) Log pod Mangartom-Roja je postavljena na Roji in meri skoraj stalen pretok iz rabeljskega rudnika (med 0,3 in 0,5 m³/s), zato ta postaja ni upoštevana v hidroloških analizah in modelu.

Za v. p. Kal-Koritnica sta bila za oktober in november 2000 narejena izračun in analiza prostornin visokovodnih valov in koeficientov odtoka. Padavine na porečju do v. p. Kal-Koritnica so bile izračunane z metodo Thiessenovih poligonov, upoštevali pa smo padavinske postaje Log pod

Preglednica 1. Prostornine in koeficienti odtoka za visokovodne valove v oktobru in novembru 2000 na vodomerni postaji Kal-Koritnica**Table 1. Volumes and run-off coefficients for flood waves in October and November 2000 as measured at the stream gauging station in Kal-Koritnica**

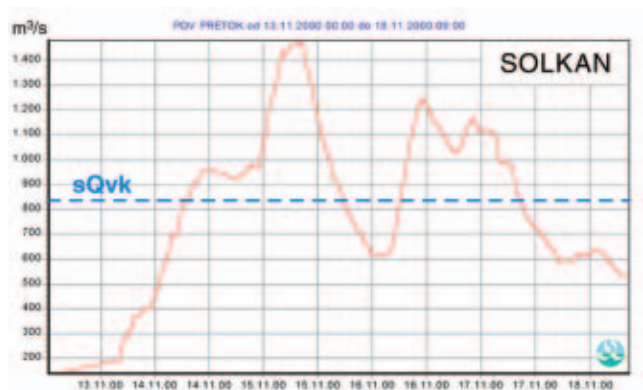
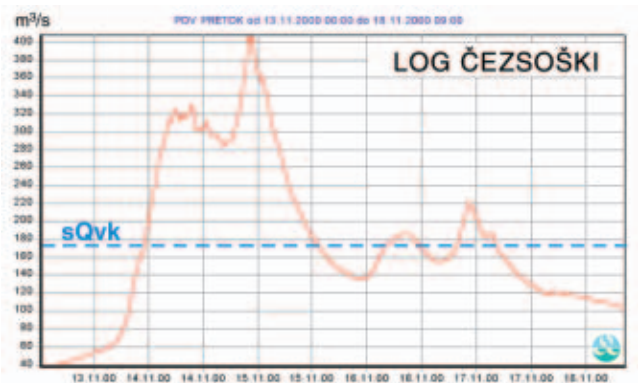
Visokovodni val	Trajanje visokovodnega vala		Prostornina visokovodnega vala				Padavine		Koeficient odtoka		
	datum		celotna		bazni odtok		direktni odtok		direktni odtok	celotni odtok	
	od	do	m ³	mm	m ³	mm	m ³	mm			
oktober 2000	10. 10. 19.00	17. 10. 21.00	13.745.988	160,8	8.651.844	101,2	5.094.144	59,6	348,5	0,17	0,46
val 1	31. 10. 6.00	2. 11. 12.00	4.469.335	52,3	2.336.299	27,3	2.133.036	25,0	188,4	0,13	0,28
val 2	3. 11. 8.00	6. 11. 2.00	8.045.996	94,1	5.327.942	62,3	2.718.054	31,8	195,0	0,16	0,28
val 3	6. 11. 13.00	10. 11. 10.00	13.128.239	153,6	9.084.798	106,3	4.043.441	47,3	208,4	0,23	0,74
valovi 1 do 3	31. 10. 6.00	12. 11. 2.00	31.167.898	364,7	13.080.882	153,0	18.087.016	211,6	591,8	0,36	0,62
val 4	13. 11. 5.00	20. 11. 20.00	26.576.154	310,9	12.073.169	141,3	14.502.985	169,7	499,2	0,34	0,62
valovi 1 do 4	31. 10. 3.00	20. 11. 20.00	59.430.625	695,3	24.360.523	285,0	35.070.102	410,3	1.095,2	0,37	0,63
november 2000	31. 10. 6.00	30. 11. 2.00	76.394.821	893,8	24.578.705	287,6	51.816.116	606,2	1.296,6	0,47	0,69

Mangartom, ki je na porečju in je opremljena z ombrografom, ter Bovec (AMP), Soča in Trenta, ki ležijo izven porečja Koritnice. Prve obilne padavine, ki so sledile precej suhemu poletju v letu 2000, so bile v prvi polovici oktobra 2000. Količina padavin je močno presežila povprečne obdobjne vrednosti padavin, značilne za oktober. Od 30. 9. do 13. 10. 2000 je na porečju Koritnice padlo v povprečju 528,6 mm padavin.

Padavinam je sledil porast vodotokov, kar odraža hidrogram odtoka za oktober, ki je šele proti koncu meseca padel pod povprečno obdobjno vrednost za mesec oktober, ki znaša 8,73 m³/s za obdobje 1954–1998. Maksimalni pretok na v. p. Kal-Koritnica v oktobru ni bil dosežen. Po drugi polovici oktobra 2000, ki je bila skoraj brez padavin, se je 30. 10. začelo obdobje deževnega vremena. Pogoste in občasno obilne padavine z nekaj do večurnimi presledki so povzročile močnejši porast reke Koritnice in njenih pritokov. Hidrogram odtoka na v. p. Kal-Koritnica za november 2000 je prikazan na sliki 2. Kot je razvidno iz diagrama, so bili pretoki cel november 2000 nad srednjim obdobjnim pretokom za mesec november. Od 30. 10. do 9. 11. 2000 so si sledili trije visoki valovi eden za drugim. Sledili so trije dnevi brez omembe vrednih padavin, tem pa po 13. 11. 2000 še štiri dnevi intenzivnih padavin, v katerih je na porečju Koritnice v povprečju padlo 467,6 mm padavin (slika 3). Povečani pretoki so sledili padavinam, kot je razvidno iz hidrograma odtoka, vendar maksimalni zabeležen pretok iz obdobja 1954–1998, ki na v. p. Kal-Koritnica znaša 311 m³/s, tudi v novembru ni bil dosežen. Primerjava visokovodne situacije novembra 2000 z obdobjnimi vrednostmi kaže, da novem-

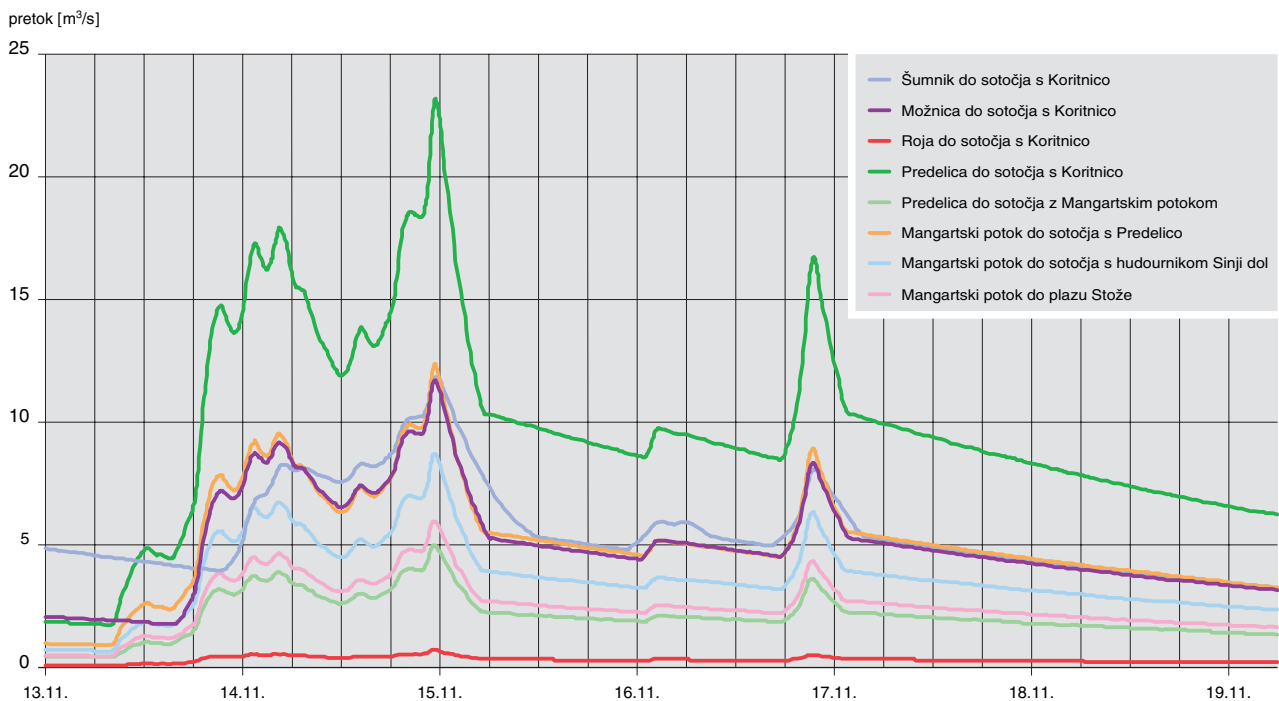
bra 2000 na v. p. Kal-Koritnica niso bili doseženi maksimalni pretoki. Maksimalni pretok novembra 2000 znaša 104 m³/s, medtem ko maksimalni obdobjni pretok obdobja 1954–1998 znaša 311 m³/s. Maksimalni pretok novembra 2000 ima 5-letno povratno dobo. Verjetnostna analiza je bila izvedena iz maksimalnih letnih pretokov (konic) za obdobje 1954–1998, privzeta pa je bila porazdelitev Pearson III. Za november 2000 je značilno izredno dolgotrajno obdobje z obilnimi padavinami brez večjih presledkov. Vendar pa je bila časovna porazdelitev padavin taka, da so si visokovodni valovi sledili en za drugim, maksimalni pretok pa ni bil dosežen. Presežen pa je bil maksimalni srednji mesečni pretok iz leta 1965, ki znaša 26,1 m³/s.

Novembrske visokovodne valove za v. p. Kal-Koritnica smo analizirali ločeno in skupaj (slika 2 in preglednica 1). Analiza dodatnih visokovodnih situacij je dala podobne rezultate. Koeficient direktnega odtoka visokovodnih valov na v. p. Kal-Koritnica je med 0,30 in 0,40, koeficient celotnega odtoka pa med 0,50 in 0,70, odvisno od predhodne namočenosti. Pri manjši predhodni namočenosti so koeficienti direktnega odtoka zaradi večje infiltracije vode v zemljino manjši. Pri visokovodnih valovih, ki si sledijo s krajšimi prekinitvami padavin, so odtočni koeficienti pri valovih, ki sledijo prvemu valu, zaradi manjših izgub padavin večji. Prav tako za valove 1, 2 in 3 na sliki 2 ni v celoti upoštevan direktni odtok, saj na upadajočem delu hidrograma še ni bila dosežena točka, v kateri se začne bazni odtok, zato so vrednosti koeficientov manjše. Vendar pa odtočni koeficienti na porečju Koritnice kažejo veliko infiltracijo vode v zemljino, ki se kasneje izceja kot bazni pretok.



Slika 3. Količina padavin v mm v obdobju od 14. do 18. 11. 2000 in pretok reke Soče v m^3/s v obdobju od 13. do 18. 11. 2000 (sQvk – srednja obdobjna visoka voda v novembru opazovanega obdobja)

Figure 3. Rainfall depth (mm) in the period from 14–18 November 2000, and discharge of the Soča River (m^3/s) in the period from 13–18 November 2000 (sQvk = mean discharge in November for a given measurement period)



Slika 4. Izračunani pretoki za podpovodja reke Koritnice z uporabo modela HEC-1 za poplavni val št. 4 v novembru 2000
Figure 4. Computed discharges for Koritnica River subcatchments using the HEC-1 model for flood wave no. 4 in November 2000

Hidrološki model porečja Koritnice

Hidrološki model povodja reke Koritnice naj bi razjasnil pretočne razmere v porečju novembra 2000, saj so na voljo le meritve na v. p. Kal-Koritnica. Za izdelavo hidrološkega modela porečja Koritnice smo uporabili programsko orodje WMS (Watershed Modelling System) in hidrološki model HEC-1. Osnova za določitev konfiguracije terena je bil digitalni model reliefa v mreži 20 m × 20 m, posredovan od Ministrstva za obrambo. Za umerjanje modela smo uporabili podatke visokovodnih valov in padavin s padavinskih postaj Log pod Mangartom (ombrograf), Bovec (AMP), Soča in Trenta. Hidrološki model s programom HEC-1 smo umerili na drugem in tretjem valu iz prve polovice novembra 2000. Ker je ena sama vodomerna postaja na porečju s precej razgibanim reliefom in precej podrobno delitvijo na podpovodja premalo za določitev koeficientov, ki nastopajo v hidrološkem modelu, predvsem koeficientov za določitev padavinskih izgub, smo hidrograme odtoka računali na osnovi neto padavin, ki smo jih določili za celo porečje Koritnice. To so padavine, ki povzročijo direktni odtok. Ker je odtok zaradi geološke sestave s posameznih podpovodij različen, smo neto padavine po podpovodjih množili z utežnim koeficientom. Izgube v modelu smo postavili enake 0. Časi zakasnitve, potrebni za izračun hidrograma enote, so bili določeni po empiričnih formulah, ki so vgrajene v model, upoštevajo pa geografske lastnosti porečja. Rezultat hidrološkega modela HEC-1 so izračunani hidrogrami s posameznih podpovodij kot tudi za celotno porečje (slika 4). Časi nastopa konic so zaokroženi na 30 minut, saj je bil hidrološki model HEC-1 umerjen na ta časovni korak. Za v. p. Kal-Koritnica je povprečno odstopanje konic obravnanih valov 8 %, največje pa 14 %. Za ostala povodja analiza odstopanj ni možna, saj se ne razpolaga z merjenimi hidrogrami. Na osnovi hidrometričnih meritev, iz katerih lahko predvidevamo količinska razmerja na lokacijah meritev, kažejo izračunani pretoki verjetne pretoke, ki so lahko nastopili pri danih padavinah. Očitno je, da je odtok s porečja Koritnice zelo hiter, saj posamezne konice sledijo časovni porazdelitvi padavin.

Hidrološke meritve in opazovanja

Po naravni nesreči novembra 2000 je bilo za ugotavljanje hidroloških razmer opravljenih več meritev pretokov s soljo, kemičnih analiz vzorcev in meritev infiltracijskih lastnosti tal. Meritve so bile izvršene od decembra 2000 do maja 2001.

Meritve pretokov

Meritve pretokov z raztopino soli sta v obdobju od 23. 11. 2000 do 22. 5. 2001 izvedla Iztok Mlekuž in Bernard Cuder. Položaj merilnih mest je podan na sliki 5. Primerjava med pretoki Mangartskega potoka nad plazom Stože (pod Mangartsko planino) in pod plazom Stože (pod Melmi), prikazana na sliki 6, kaže na zelo veliko izcejanje z območja plazu Stože. Specifični pretoki Mangartskega potoka,

podani na enoto prispevne površine, so nesorazmerno večji pod plazom Stože kakor nad njim. Prispevna površina Mangartskega potoka nad plazom Stože (merilno mesto pod Mangartsko planino) znaša 2,31 km² in je več kot dvakrat večja od širšega prispevnega območja, ki mu pripada plaz Stože in ki do sotočja s hudournikom Sinji dol znaša 1,04 km². Vzrok v razliki specifičnih odtokov med obema prispevnima površinama je razen v zadrževalni (akumulacijski) zmogljivosti zasipa Mangartske planine lahko tudi v zadrževanju večjih količin padavin v obliki snega na višje ležečih območjih Mangartskega potoka. Zato bi omenjene meritve pretokov morali obnoviti tudi v poletnem obdobju. V vsakem primeru opravljene meritve pretokov kažejo na sorazmerno veliko akumulacijo podzemnih voda, ki se izcejajo iz plazovine na izviri Pod Počivalnikom (slika 6). Velikost akumulacije ocenjujemo na 100.000 m³, kar pa je za površino plazu, manjšo od 1 km², zelo veliko.

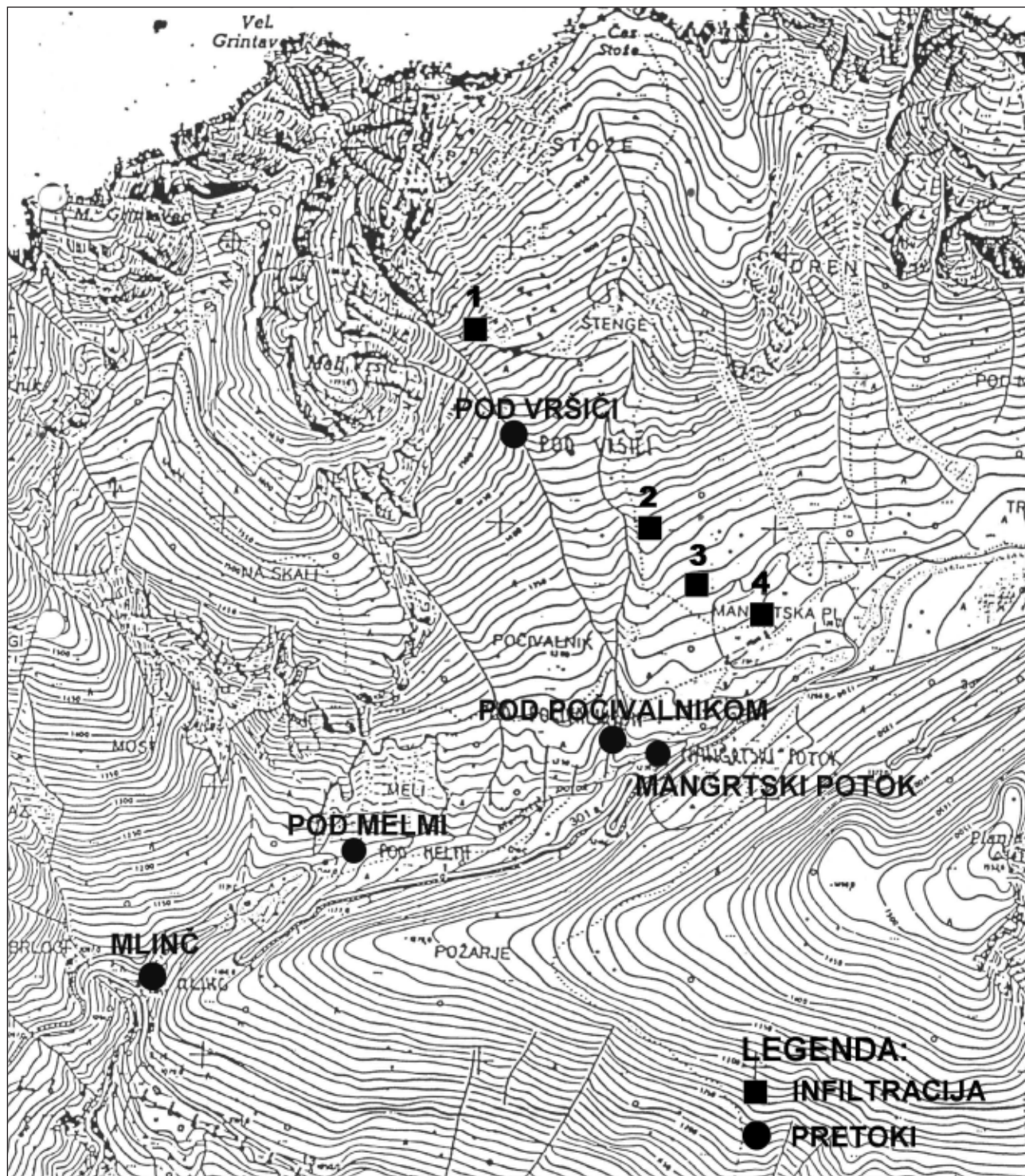
Na sliki 6 je prikazano tudi razmerje med pretoki izvirov Pod Vršiči in Pod Počivalnikom. Meritve kažejo na dobro medsebojno soodvisnost, razen v zimskem obdobju, ko je bil pretok izvira Pod Vršiči dosti večji od pretoka izvira Pod Počivalnikom. Omenjeno razmerje bomo morali še preveriti z dodatnimi meritvami.

Na sliki 6 je nadalje prikazano razmerje med pretoki Mangartskega potoka nad in pod plazom Stože. Soodvisnost med pretoki je dobra, razen v začetnem in zimskem obdobju, ko so bili dotoki z območja plazu večji kot v poznejšem spomladanskem obdobju. Preseneča zelo dobra soodvisnost med pretoki izvira Pod Počivalnikom in pretokom Mangartskega potoka nad plazom Stože (pod Mangartsko planino). Odstopa samo ena meritev (4. 3. 2001), kar pa je lahko tudi posledica taljenja snega. Predvidevamo namreč, da imata potoka ločene sisteme oblikovanja vodnega režima.

Preseneča tudi zelo slaba soodvisnost med celotnim odtokom Mangartskega potoka pod sotočjem z izvirov Pod Počivalnikom in Mlinčcem (slika 6). Diagram ne kaže nobene posebne povezave med omenjenimi iztoki iz območja plazu in izvirov Pod Počivalnikom. Iztekanje vode iz plazovine zahteva posebno hidrološko-hidrogeološko analizo. Predvsem je treba ugotoviti vzroke za raztros soodvisnosti odtokov iz plazine in pretoka izvira Pod Počivalnikom. Vprašanje je tudi, zakaj ob bolj sušnih obdobjih iz plazu Stože izteka skoraj enaka količina vode, kot jo ima Mangartski potok pri Mangartski planini.

Raziskave kemijske in izotopske sestave voda

Na območju plazu in v okoliških vodotokih je bilo 11. 5. 2001 (vzorci I do V) in 24. 5. 2001 (vzorci VI do XIII) odvzetih skupaj 13 vzorcev (slika 1). Na Inštitutu Jožef Stefan v Ljubljani so bile opravljene kemijske analize koncentracij Na, K, Mg, Ca in Fe, analiza izotopske sestave kisika v vodi in pet analiz izotopske sestave vodika ter tri analize koncentracij tritija. Koncentracije raztopljenih specij v vodi se spreminjajo

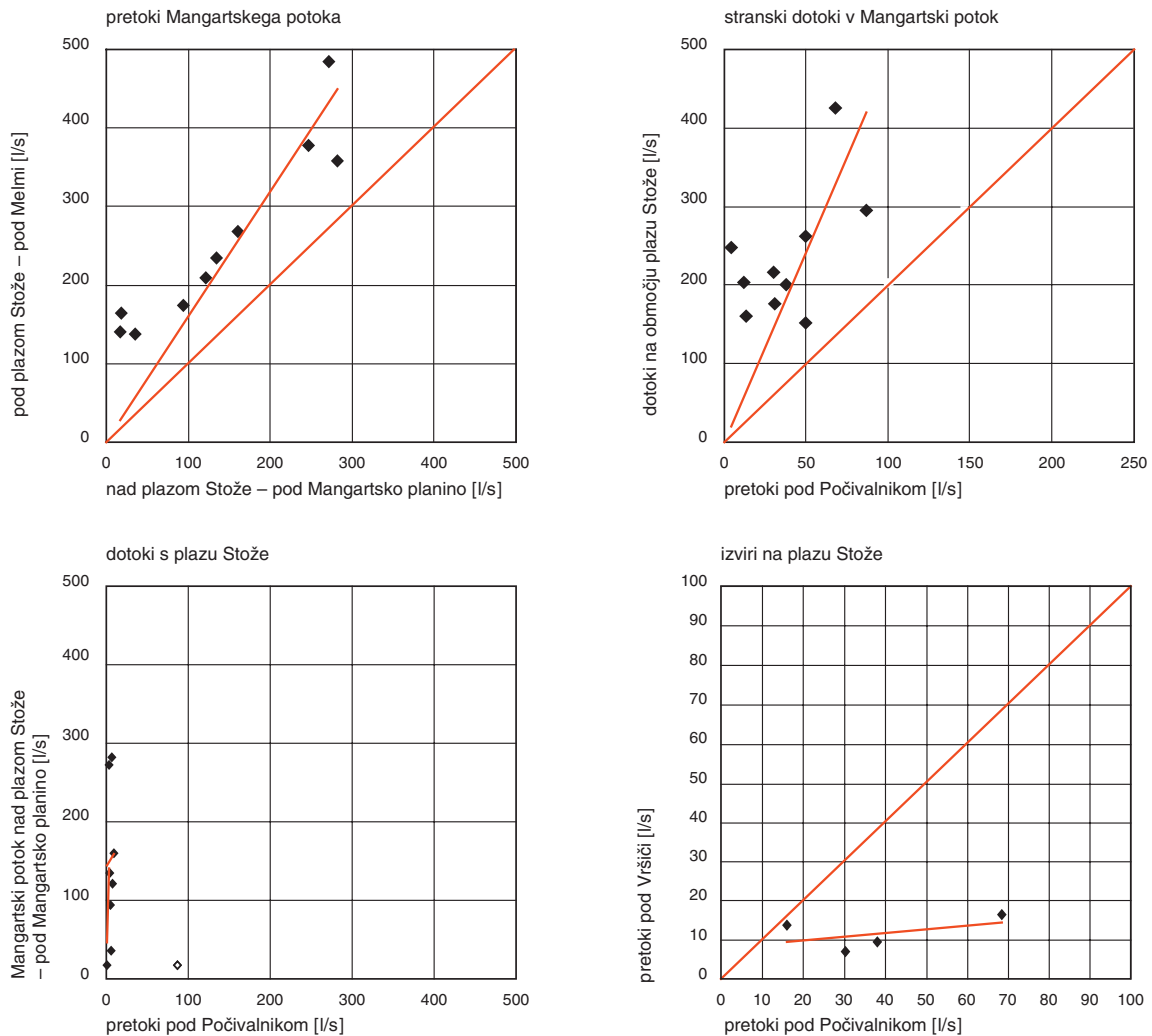


Slika 5. Položaj merilnih mest pretokov in infiltracije

Figure 5. Field sites for discharge and infiltration measurements

v določenih razponih, vendar kažejo podobne značilnosti. Povprečna koncentracija Mg in Ca pove, da imajo vode večinoma dolomitno zaledje. Izotopska sestava kisika v padavinah je odvisna od temperature. Z višino je temperatura vse nižja in vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ vse bolj negativne (»višinski efekt«). Povprečne višine napajanja iz $\delta^{18}\text{O}$ kažejo, da se večinoma vode napajajo iz višinskega pasu med 1800 m in 1200 m. Izmerjene so bile tri koncentracije tritija v tritijevih

enotah (T. U.). Podatki nakazujejo, da je v območju na višini okrog 1400 m rezervoar, ki se prazni počasneje, saj izmerjena vrednost 14,6 T. U. pove, da izteka vsaj nekaj let stara voda. Padavine so bile namreč v zadnjih 40 letih močno obogatene s tritijem (do 6000 T. U.), in sicer zaradi jedrskih poskusov v zemeljskem ozračju v začetku šestdesetih let prejšnjega stoletja. Povprečna letna koncentracija je pred nekaj leti spet padla pod 10 T. U. Pet izmerjenih vzorcev ne



Slika 6. Primerjava merjenih pretokov na območju plazu Stože

Figure 6. Comparison of measured discharges in the area of the Stože landslide

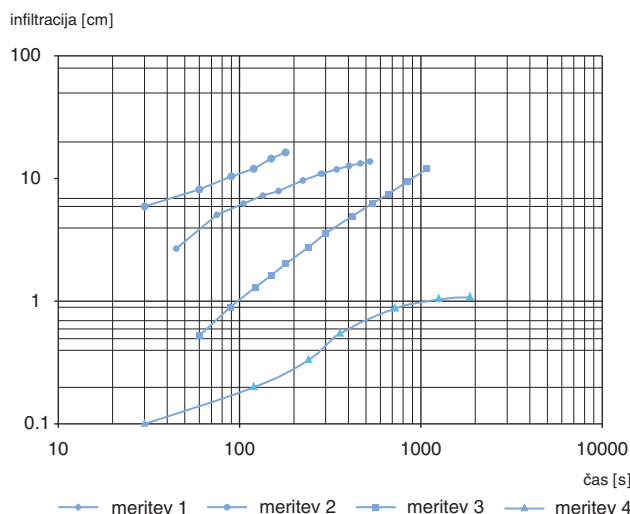
daje novih podrobnih indikacij o napajanju vzorčevanih voda. V korelaciji z rezultati $\delta^{18}\text{O}$ vzorci povedo le, da na »meteorni premici« ležijo na območju, kjer prevladuje vpliv padavin iz zahodnih frontalnih sistemov in ni opaziti večjega vpliva sredozemskega podnebja, ki je značilno recimo za Trnovski gozd in območje Breginja.

Vsi analizirani parametri odvzetih vzorcev v 13 točkah izvirov in v vodotokih so v normalnih mejah, vendar podrobni pregled pove, da gre za nekaj značilnih vrednosti in sprememb. Po kemijski sestavi, koncentraciji tritija in tudi po deležu »višinske« vode ($\delta^{18}\text{O}$) izstopa izvir na vzhodni plazine. Podatki nakazujejo, da gre v tem območju za vodonosnik z večjo kapaciteto v dolomitu in delno v ali ob glinenih materialih z večjim deležem Fe (verjetno v redukcijski obliki), povprečna višina napajanja pa je vsaj 100 m nad zajetjem. V splošnem velja, da se vode iz vseh vzorčevalnih točk napajajo precej više, kot so bile odvzete. Večinoma je to verjetno površinski odtok, a vsekakor obstajajo podzemni rezervoarji – vodonosniki z večjo kapaciteto. Mnenje in ocena razmer je zaradi samo enkratne analize geokemijskih podatkov le preliminarne, podaja le trenutno stanje 11.

oz. 24. 5. 2001 in nič ne pove o dinamiki odvodnjavanja. Če bi želeli vedeti kaj več o delovanju napajanja in odvodnjavanja podzemnih vodonosnikov oz. za vodo zadrževalnih območij, bi bilo treba vzorčenja ponoviti vsaj nekajkrat (3- do 4-krat) in sicer v različnih hidroloških obdobjih. Večje koncentracije ($\delta^{18}\text{O}$) so tudi posledica odtekanja vode zaradi taljenja snežne odeje oz. voda, ki se dalj časa zadržuje v vodonosnikih Koritnice.

Meritve infiltracije

Meritve infiltracije so bile opravljene na štirih mestih na plazu Stože in njegovi neposredni bližini (slika 5). Vzorec 1 je bil izmerjen ob zajetju izvira na zahodnem robu plazišča. Tla so bila pokrita s travo in redko poraščena z drevjem. Vzorec 2 je bil izmerjen na vzhodnem delu samega plazišča na zrahljanem in neporaščenu terenu. Zaradi težav pri vgrajevanju poskusnega valja je bil vzorec odvzet iz bolj rahlega dela plazine. Vzorec 3 je bil izmerjen v gozdu ob vzhodnem robu plazišča na ostanku posušene, prej tekoče plazovine. Vzorec 4 je bil izmerjen v gozdu nad Mangartsko



Slika 7. Izmerjene vrednosti infiltracije v odvisnosti od časa
Figure 7. Measured infiltration rates as a function of time

planino. Tla so bila naravno raščena in pokrita s travo in ostanki gozdne preperine.

Rezultati meritev kažejo na dokaj visoko prepustnost naravno raščenih gozdnih tal (vzorca 1 in 4). Material na plazu se obnaša v odvisnosti od vlažnosti in konsolidacije, v osnovi pa je zelo neprepusten in z majhno poljsko kapaciteto. Naravno raščena tla (vzorca 1 in 4) imajo relativno veliko sposobnost vpijanja vode. Pri vzorcu 1 je poniknilo 100 mm vode v 300 sekundah (20 mm/min., 1200 mm/h), pri vzorcu 4 pa enaka količina vode v 900 sekundah (7 mm/min., 400 mm/h). Intenziteta vpijanja vode je bila večja, kot je intenziteta najintenzivnejših padavin. Vzorec 3 je vpil samo 10 mm vode v 1000 sekundah (36 mm/h), kar je primerljivo s sposobnostjo vpijanja vode naravno raščenih tal pred splazitvijo. Najbolj zaskrbljujoča je izredno visoka sposobnost vpijanja vode razrahljane plazovine, ki pa ni reprezentativna. V plazu so tla vpila 100 mm vode v 100 sekundah (60 mm/min.).

Sklepne misli

Posebnost porazdelitve padavin pri nevihtah v oktobru in novembru je pojav večjih količin padavin na območjih Mangartskega potoka, kot je bilo povprečje v preteklosti. Analiza verjetnosti pojava padavin določenega trajanja kaže, da so bile dnevne in večdnevne vrednosti padavin pojavi s krajšo povratno dobo in dogodki, ki jim je bilo območje zelo pogosto izpostavljeno v preteklosti. Posebnost so dolge povratne dobe pojava mesečnih in dvomesečnih padavin, ki so na dežemeru v Logu pod Mangartom presegle stoletno povratno dobo. Zanimivo bi bilo izpeljati analizo večdnevni padavin (30-, 40-, 50-dnevni). Omenjena analiza je namreč izpeljana na osnovi mesečnih vsot padavin, ki pa omenjenih odnosov ne kažejo dovolj zanesljivo. Kljub vprašljivemu zaupanju v verjetnostno analizo pojavov z dolgo povratno dobo na osnovi kratkega obdobja opazovanj je jasno, da so bile

mesečne akumulacije padavin izjemne. Njihov vpliv na odtok površinskih in podpovršinskih voda je razviden iz analize odtočnih koeficientov. Odtočni koeficienti so od oktobra do novembra 2000 polagoma naraščali od 0,17 do 0,47. Pri tem moramo opozoriti, da znaša večletni odtočni koeficient povodja Koritnice 0,91 (Kolbezen in Pristov, 1998), kar pa je v veliki meri posledica premajhne gostote meritev padavin, saj je na celotnem porečju samo en dežemer v Logu pod Mangartom, meritev padavin pri višjih nadmorskih višinah pa ni. Velja spomniti tudi na to, da se površinski odtok zaradi razgibanega terena in zaradi slabo prepustnih in neporaščenih tal na posameznih delih povodja Koritnice oblikuje in preneha zelo naglo (nekaj ur).

Pomen podzemnega in podpovršinskega odtoka skozi delno zasičene plasti in na različne načine oblikovane viseče podtalnice je razviden iz letne vodne bilance Koritnice (Kolbezen in Pristov, 1998) in visokega sušnega specifičnega odtoka (Brilly in Kobold, 1997). V vodni bilanci povodja Koritnice za obdobje od leta 1961 do 1990 znašajo padavine na povodju Koritnice 2853 mm, izhlapevanje 488 mm in odtok 2601 mm. Odtok presega razliko med padavinami in izhlapevanjem za 237 mm, kar pomeni za 8 % več odtoka, kot imamo padavin, in tako kaže na podcenjenost merjenih vrednosti padavin v primerjavi z dejanskimi količinami. Vzrok za omenjene razlike bi lahko bila večja akumulacija vode v snežni odeji, ker je vodna bilanca računana na koledarsko in ne hidrološko leto. Večji vpliv od tega imajo verjetno položaj dežemera v Logu pod Mangartom in povečane količine padavin na višjih legah. Povprečna nadmorska višina prispevne površine Mangartskega potoka do plazu Stože znaša 1534 m in prispevna površina območja plazu 1460 m. Dežemer v Logu pod Mangartom se nahaja na nadmorski višini 650 m. Tako lahko privzamemo, da je jeseni 2000 na območju plazu Stože lahko padlo tudi do 20 % več padavin, kot je bilo izmerjeno. Za bolj podrobno analizo bi morali pridobiti merjene podatke dežemerov na italijanski strani.

Vzrok za pojav plazu Stože in drobirskega toka je posledica medsebojno povezanih režimov površinskih in podzemnih voda. Pri tem je imelo predvsem pomembno vlogo dolgotrajno obdobje z obilico padavin jeseni 2000, ki so vztrajno polnile zaloge podzemnih voda, tako da je v nekem trenutku velika, a ne tudi izredna količina padavin povzročila naravno nesrečo.

Literatura

1. Brilly, M., Kobold, M., 1997. Minimalni pretoki voda v Sloveniji. Acta hydrotechnica 15/17. Ljubljana, 107–114.
2. Brilly, M., Rakovec, J., 1996. Uporaba meteorološkega radarja pri napovedovanju poplav. Acta hydrotechnica 14/12. Ljubljana, 123–136.
3. Kolbezen, M., Pristov, J., 1998. Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije, Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, Ljubljana, 1–98.
4. Majes, B., 2001. Analiza plazu in možnosti njegove sanacije. Ujma 14–15, 80–91.

IZRAČUN VOLUMNOV IN SANACIJA PLAZU SLANO BLATO NAD LOKAVCEM PRI AJDOVŠČINI

Volume Analysis and Rehabilitation of the Slano Blato Landslide

Mihael Ribičič*

UDK 624.131:551.3(497.4)

Povzetek

V članku opisujem, kako se lotiti sanacije plazu Slano blato, ki spada med viskozne blatne tokove. Ena izmed osnov za izdelavo predloga končne sanacije je bil izračun volumna premikajočih se mas na podlagi analize posnetkov iz zraka, narejenih posebej v ta namen, v dveh različnih obdobjih.

Analiza volumnov in vseh drugih zbranih podatkov o plazu je pokazala, da je plaz Slano blato možno sanirati s kombinacijo več ukrepov, od katerih so najpomembnejši osuševanje plazine, da ne pride do nastanka blatnih tokov, odvoz blatnih mas, ki so spolzele v spodnji del potoka Grajšček in že ogrožajo naselje Lokavec, in ureditev struge potoka v tako obliko, ki bo optimalno odvajala vodo z območja plazu.

Abstract

The paper describes the procedures for the stabilization of the Slano Blato landslide above Lokavec pri Ajdovščini, which is classified as a viscose mud flow. One of the basic analyses for the preparation of a rehabilitation proposal was the calculation of volume of sliding masses by means of remote sensing using aerial images taken in two different periods.

The volume analysis and other collected data make it possible to determine the primary measures for stabilizing the Slano Blato landslide. These include the draining of sliding masses, the removal of mud accumulated at the bottom of the landslide, and the regulation of the Grajšček stream.

Uvod

V naslovu je na prvem mestu izračun volumnov plazečih se mas, ki je v nadaljnjem besedilu podrobno opisan kot ena najbolj pomembnih komponent za oceno možnosti sanacije.

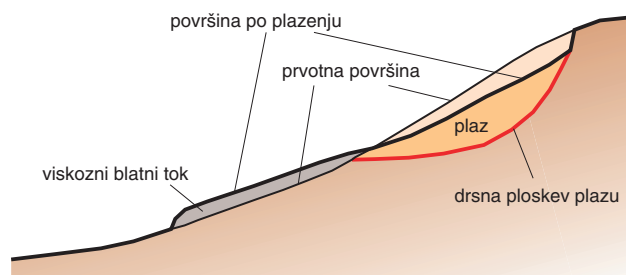
Plaz Slano blato spada med viskozne blatne tokove, katerih značilnost je, da, kadar se plazina po obilnem deževju prepoji (saturira) z vodo, polzeča masa z žariščnega območja s hitrostjo nekaj metrov ali deset metrov na dan polzi po površini terena navzdol. Klasično plazenje je samo na območju nastanka pojava, to je na območju Slanega blata, po katerem je plaz dobil ime.

Tipičen mehanizem plazenja in nato polzenja viskoznih blatnih tokov je prikazan na sliki 1. Iz spodnjega dela območja plazenja spolzijo blatne mase, ki se obnašajo podobno kot med, ki ga zlijemo na nagnjeno ploskev (slika 2). Klasično plazenje v zgornjem delu preneha, ko iz plazu spolzi toliko blatne mase, da se preostala lahko stabilizira. Viskozni blatni tok se običajno ustavi, ko priteče v ravninski svet.

Možnost in cena sanacije sta neposredno odvisni od volumna v polzenje vključenih blatnih mas. Plaz s podobnim mehanizmom kot Slano blato, le večjih dimenzij, je bil plaz Ruardi v Zagorju, katerega blatni tok je odnesel več stanovanjskih hiš in razpolovil tovarniško halo Lisce.

Plazina, ki v plazu Slano blato drsi po grapi Grajščka navzdol, se v odvisnosti od razmočenosti obnaša kot plazenje ali pa kot viskozni blatni tok. Pri gibanju blatnih mas po pobočju navzdol se v plazino vključujejo tudi dodatne mase, ki jih blatni tok pobira v dnu. Te mase so večinoma ostanek starih plazenj izpred 100 let.

Slano blato je plaz izrednih dimenzij (slika 3), dolg okoli 1300 m in širok med 250 in 70 m, zato je njegova sanacija izjemno zahtevna. Ogroža naselje Lokavec, kar zahteva sprotno in stalno izvajanje urgentnih ukrepov na še premikajočih se delih plazu. Razmere na plazu se hitro spreminjajo. Spremembe so deloma posledica naravnih procesov deloma pa že posledica intenzivnih urgentnih sanacijskih ukrepov.



Slika 1. Mehanizem prehoda plazenja v viskozni blatni tok
Figure 1. Transition of sliding mass into viscose mud flow



Slika 2. Razmočena plazina plazu Slano blato, ki se obnaša kot viskozni blatni tok

Figure 2. Sliding mass of the Slano Blato landslide showing the characteristics of a viscose mud flow



Slika 3. Položaj plazu Slano blato nad vasjo Lokavec

Figure 3. Location of the Slano Blato landslide above the village of Lokavec

Preden definiram predloge za končno sanacijo, bom opisal bistvene značilnosti in posebnosti plazu Slano blato, ki so pomembne za razumevanje poteka plazanja.

Osnovne značilnosti plazu Lokavec

Slano blato je star plaz, registriran že pred 200 leti. Leta 1887 se je kot hitri tekoči blatni tok razlil na mostu pri »Bonetu« in uničil del državne ceste. Manjši drobirske tokovi so se začeli pojavljati tudi v sedanjem času, jeseni 2001, medtem ko se je od sproženja dne 18. 11. 2001 plazenje kazalo kot viskozno gibanje blatnih gruščnatih mas, povezano z obdobji intenzivnih padavin.

Na plaz Slano blato lahko danes gledamo iz različnih vidikov. Lahko ga obravnavamo kot:

- posamezen plaz izrednih dimenzij, sestavljen iz plazu na zgornji strani in viskoznega blatnega toka (slika 4);
- večje število sekundarnih posameznih plazov ali



Slika 4. Pogled na srednji in spodnji del plazu Slano blato maja 2001.

Figure 4. View of the central and bottom parts of the Slano Blato landslide, May 2001



Slika 5. Pojavljanje lokalnih plazov na telesu celotnega plazu Slano blato

Figure 5. Occurrence of local fractures in the body of the Slano Blato landslide

- viskoznih blatnih tokov, ki lokalno nastajajo iz »razlite« plazine na celotnem območju grape Grajšček (slika 5);
- potencialno akumulacijo za nastanek hitrih tekočih blatnih tokov (slika 6).

Pri opredelitvi končne sanacije je treba upoštevati vse tri vidike. V dosedanjih dokumentih je bil plaz večinoma obravnavan kot posamezen plaz. Pri sanaciji pa je bolj smiselno izdelati idejne rešitve za sanacijo posameznih aktivnih sekundarnih plazov in predlagati tak vrstni red njihove sanacije, da posamezni ukrepi na enem plazu ne bodo negativno vplivali na drug sekundarni plaz ali pa jih bo ta plaz kasneje izničil. Pri tem je treba paziti še na dve stvari: da se s sanacijskimi ukrepi kritično ne zmanjša varnosti naselja Lokavec in da se ne poveča možnosti za nastanek hitro gibajočih se drobirskih tokov.

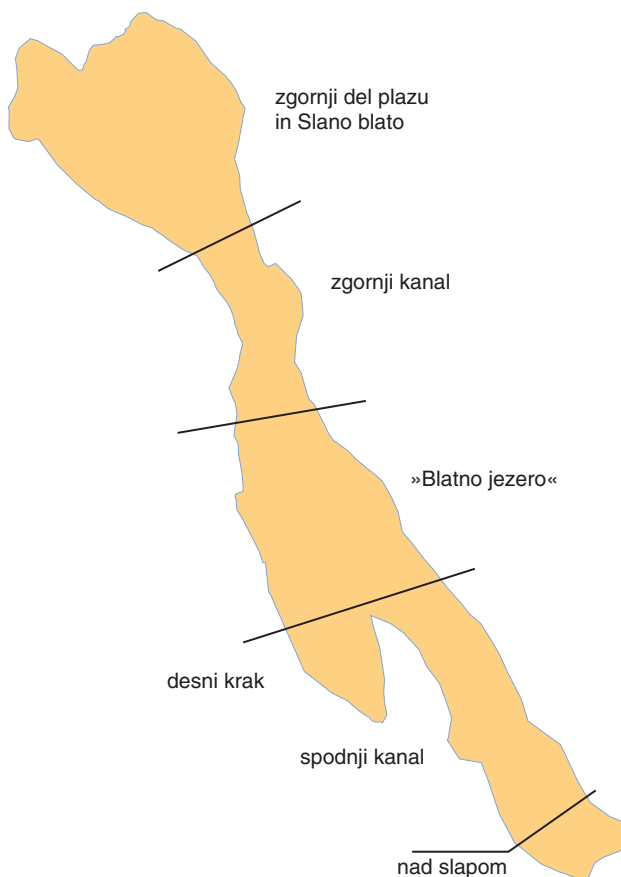
Celotni plaz Slano blato lahko razdelimo na osnovne enote plazanja (preglednica 1, slika 7), za katere podajamo izračunane ocene volumenskih mas, ki so bile v gibanju v različnih časovnih fazah plazanja.



Slika 6. Sledovi manjšega drobirskega toka s plazu Slano blato

Figure 6. Traces of minor debris flow from the Slano Blato landslide

V prvi koloni 00–98 je prikazano dogajanje v začetku plazenja. Material je, po sprožitvi plazu 18. novembra 2000 pa do 29. novembra 2000, ko je bilo opravljeno prvo fotografiranje iz zraka, spolzel iz zgornjega dela plazu,



Slika 7. Osnovne enote plazenja na plazu Slano blato za izračun volumnov

Figure 7. Basic sliding units of the Slano Blato landslide for volume analysis

Slanega blata v zgornjega kanala in se ustavil na območju »blatnega jezera«. V tej prvi fazi so se po levi strani plazu (brez desnega kraka) gibale sorazmerno majhne mase z volumnom okoli 50.000 m³.

V obdobju do aprila 2001, ko je bilo opravljeno naslednje fotografiranje iz zraka, so se na plazu dogajale velike spremembe. Na zgornjem delu plazu so se jeseni v plazenje vključevale vedno nove in nove mase, se pri polzenju skozi

Preglednica 1. Izračun volumnov med različnimi fotografiranj iz zraka za osnovne enote plazu
Table 1. Calculation of volumes for the basic units of the landslide using various aerial images

Volumni (m ³)	00–98	01–98	01–00	01–Pod
zgornji del plazu in Slano blato	–35.876	–61.190	–25.313	144.800
zgornji kanal	–12.714	–25.716	–13.002	42.742
»blatno jezero«	53.431	63.229	9.798	292.092
spodnji kanal	459	99.404	98.944	174.403
območje nad slapom	0	10.274	10.274	24.344
skupaj (dodatne mase)	5.300	86.001	80.702	678.381



Slika 8. Kopičenje blatnih mas na »blatnem jezeru« do aprila 2001.

Figure 8. Accumulation of mud masses in the "mud lake" in the period up to April 2001



Slika 9. Polzjenje blatnih mas z območja »blatnega jezera« v marcu 2001

Figure 9. Mud masses escaping from the "mud lake" area, March 2001



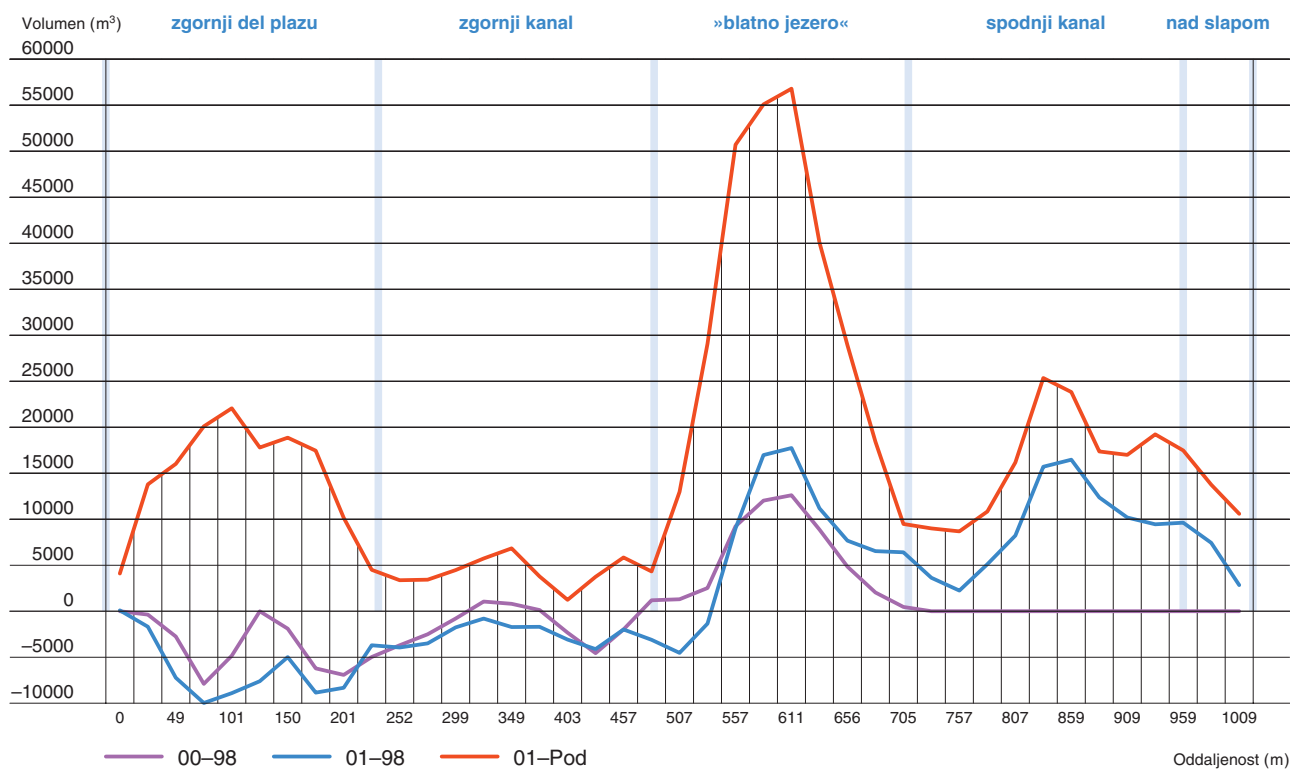
Slika 10. Zdrs blatnih mas prek slapa Grajšček aprila 2001

Figure 10. Mud masses moving across the Grajšček waterfall, April 2001

zgornji kanal razmočile v blato in se nakopičile na »blatnem jezeru« oziroma črpališču (slika 8).

Kopičenje se je nadaljevalo tudi pozimi vendar z zmanjšano intenzivnostjo. Marca 2001 je bilo na območju »blatnega jezera«, glede na podatke izračunov volumnov, nakopičene okoli 170.000 m³ blatne mase. To je tudi kritična masa, ki jo lahko akumulira »blatno jezero«. Zato je marca ob deževjih prišlo do intenzivnega polzjenja viskoznega blatnega toka iz prepolnega »blatnega jezera« po spodnjem (levem) kanalu proti slapu na Grajščku (slika 9).

V zgornjem delu plazju je med novembrom 2000 in aprilom 2001 prišlo do širjenja plazju navzgor in v boke, pa tudi do drsenja zemljin, ki so bile v podlagi. Zato so razlike v volumnih, v zgornjem delu plazju zajete mase v plazenje, sorazmeroma majhne. Isto velja za zgornji kanal, ki ima po oceni zmogljivost med 50.000 in 70.000 m³.



Slika 11. Spreminjanje volumna plazečih se mas na plazu Slano blato (razlika Prvotno stanje – april 2001)

Figure 11. Changing volume of sliding masses of the Slano Blato landslide (comparison: Initial state – April 2001)

Mase, ki so spolzele iz »blatnega jezera«, so po 10. aprilu 2001 še cel mesec polzele, zdrsele preko slapa na Grajščku in se pod njim ustavile (slika 10). Tako je bilo nakopičene približno 170.000 m³ plazine v spodnjem kanalu in nad slapom vse do septembra 2001, ko se je po močnih deževjih drsenje mas po celotnem plazu znova aktiviralo. Najprej so začele drseti mase v zgornjem delu plazu (že v mesecu avgustu), nato pa še na ostalih območjih. Preko slapu Grajšček so zdrsele nove mase z volumnom okoli 80.000 m³ (slika 13).

Za izdelavo končne sanacije se postavlja vprašanje, kolikšne so celotne mase, ki so lahko dolgoročno zajete v plazenje. Na sliki 11 so vzdolž plazu prikazani volumni med stanjem aprila 2001 in interpretirano podlago (01–Pod). Slika kaže, da so na območju zgornjega dela plazu in na območju »blatnega jezera« v podlagi (rdeča krivulja) še velike plazeče se mase. Na zgornjem delu je še okoli 150.000 m³ in v »blatnem jezeru« 290.000 m³, vzdolž celotnega plazu do slapu Grajšček pa okoli 680.000 m³ plazine. Če na plazu ne bi izvajali sanacije, bi se polagoma, v nekaj letih, tudi ta masa v celoti aktivirala, se ob razmočenosti spremenila v viskozni blatni tok in se začela gibati navzdol. Ko je bil narejen izračun (januarja 2002), se je že aktivirala masa, ocenjena na 170.000 m³, iz »blatnega jezera« in še 24.000 m³ z območja nad slapom. Vsa ta masa se je nakopičila na območju nad slapom Grajšček, deloma pa se je prek njega prelila v dolžini 260 m. Dodatnih 50.000 do 75.000 m³ je v labilnem stanju v zgornjih delih plazu, predvsem v zgornjem kanalu, ki je sedaj

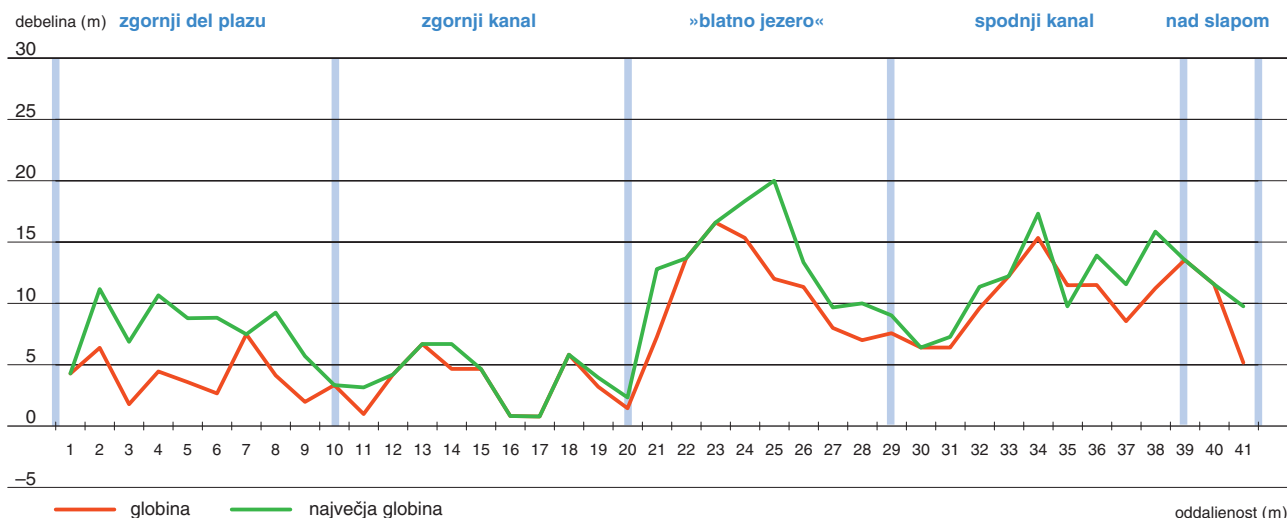
maksimalno napolnjen. Del blatne mase, okoli 100.000 m³, je bilo odpeljane iz spodnjega dela Grajščka.

Končna sanacija bo morala v veliki meri temeljiti na prerazporeditvi plazečih se mas in njihovem odvozu. Zato je pomembna tudi analiza spreminjanja debeline in širine plazu glede na stanje aprila 2001.

Grafično je spreminjanje globine do podlage prikazano na sliki 12. Iz pregleda podatkov je med drugim razvidno, da so plazeče se mase iz zgornjega dela plazu zdrsele navzdol, zato se je povprečna debelina v sicer širokem zgornjem delu zmanjšala na povprečno debelino okoli 4 m, mase v spodnjem delu pa so se od »blatnega jezera« dalje nakopičile v povprečni debelini prek 10 m. Nad slapom je sedaj debelina mas precej večja.

V desnem kraku spodnjega kanala je okoli 26.000 m³ plazine. Ta količina je bila deloma povečana z buldožerskim odzivom plazovitega materiala z območja »blatnega jezera«, vendar pa se je s poravnavo površine plazenje v desnem kraku močno stabiliziralo.

Izračun je pokazal, da je retenzijski prostor grape Grajšček od konca plazu do vasi precejšen in po oceni znaša okoli 400.000 m³. Matematični izračun retenzijskega prostora za zgrajeno kamnito pregrado (slika 14) je pokazal, da je od retenzijskega volumna celotnega dela grape Grajšček možno maksimalno izkoristiti le 140.000 m³. V tem primeru bi bil prostor med slapom in pregrado v celoti zapolnjen



Slika 12. Grafični prikaz spreminjanja globine do podlage

Figure 12. Graphic presentation of changing depth of landslide

Preglednica 2. Spreminjanje debeline in širine plazu Slano blato

Table 2. Changing width and thickness of the Slano Blato landslide

Dimenzije (m)	Povprečna globina	Povprečna največja globina	Povprečna širina
zgornji del plazu in Slano blato	4,0	7,6	149,6
zgornji kanal	3,3	3,9	66,0
»blatno jezero«	11,4	14,3	139,5
spodnji kanal	10,3	11,7	76,0
območje nad slapom	8,4	10,7	73,0
skupaj	7,2	9,3	103,8

s plazino, kot je prikazano na sliki 23 (območje številka 16), vendar ta prostor jemljemo kot rezervo, če bi še pred koncem sanacije zaradi izjemno neugodnih vremenskih razmer prišlo do drsenja večjih količin mas z višjih leg plazu. Zato se ga v sanacijskih ukrepih ne sme upoštevati kot možno območje za polnjenje s plazino.

Območja plazenja in sanacija

V prejšnjem poglavju opisane in v preglednicah in diagramih pojavljajoče se osnovne enote plazenja lahko, kot smo povedali v uvodu, nadalje delimo na sekundarne plazove (slika 23):

- območje zgornjega dela plazu
 - plazenje pod najvišjimi odlomnimi razpokami (1)
 - plazenje leve strani plazu (2)
 - plazenje desne strani plazu (3)
 - plazenje na območju usada (4)
- zgornji kanal
 - plaz v zgornjem delu zgornjega kanala (5)
 - plaz v srednjem delu zgornjega kanala (6)

- plaz v spodnjem delu zgornjega kanala (7)
- črpališče »blatno jezero«
- plazenje iz akumulacije »blatno jezero« (8)
- spodnji kanal – desni krak
 - plaz v desnem kraku (pod črpališčem) (12)
- spodnji kanal – levi krak
 - plaz v zgornjem, strmejšem delu spodnjega kanala (10)
 - plaz v spodnjem delu spodnjega kanala z razkrito drsino (11)
- območje nad slapom
 - kopičenje mas na strmeje nagnjenem terenu nad slapom (13)
 - kopičenje mas na položneje nagnjenem terenu nad slapom (13)
- območje pod slapom
 - plaz v strmem delu z zgornjim odlomnim robom (14)
 - razlitje plazečih se mas po Grajščku pod slapom (15)
 - plaz – akumuliranje mas v retenzijskem prostoru pregrade (16)
 - potencialni plaz s prelitjem mas čez pregrado (17)

To so le glavni sekundarni plazovi, obstajajo pa še številni manjši; na levem robu zgornjega in osrednjega dela ob



Slika 13. Spolzele blatne mase na območju pod slapom Grajšček

Figure 13. Mud accumulated below the Grajšček waterfall



Slika 14. Kamnita pregrada za ustavitev drobirskih tokov, ki je v grapi potoka Grajšček nad vasjo Lokavec.

Figure 14. Stone barrier designed to stop debris flow, built in the ravine of the Grajšček stream above the village of Lokavec

plazu Slano blato opazimo številne bočne plazove. Isto velja za zgornji desni rob.

Med sedanjim opazovanjem plazenja so poleg naštetih splazitev nastajale še druge, ki so se ponavadi manifestirale kot nastanek terase na njihovi zgornji strani, na kateri je zastajala voda (lahko majhno jezero), navzdol pa je nastopil strm, tudi do 20 m visok odlomni rob in nato telo plazu, ki se je končalo v bolj ali manj izrazitem kopičenju v peti plazu, ki je lahko bila spet nova terasa naslednjega plazu (slika 15).

Če gledamo na plaz Slano blato kot na skupek najmanj 15 lokalnih plazov, oziroma če se masa saturira z vodo viskoznih blatnih tokov, od katerih ima vsak svoje posebnosti (imajo pa seveda vsi tudi iste značilnosti – npr. podobno sestavo plazeče se mase), vidimo, da bi bila končna sanacija celotnega plazečega območja izjemno kompleksna. Za vsak plaz posebej je treba najprej izvesti standardne terenske preiskave s po najmanj tremi vrtnami, stabilitetne analize, predvideti možne ukrepe sanacije, izbrati najprimernejše, jih izvesti in kontrolirati uspešnost.



Slika 15. Nastanek lokalnega plazu na plazu Slano blato z izrazito teraso

Figure 15. Development of a local fracture in the Slano Blato landslide with a distinguishable terrace

Kot najbolj smiselen pristop h končni sanaciji se kaže sanacija lokalnih sekundarnih plazov, praviloma zaporedoma od zgoraj navzdol, tako da morebitno sproženje višjega plazu ne bi zopet aktiviralo že saniranega. Prvi do sedaj izvedeni sanacijski ukrepi, ki so del končne sanacije, to že upoštevajo, saj je bil zgornji del plazu v veliki meri že saniran (slika 16).

Kažeta se dve možnosti pristopa h končni sanaciji. Prva je, da na osnovi dosedanjih rezultatov preiskav in poznavanja plazenja na plazu Slano blato za vsakega izmed lokalnih sekundarnih plazov brez posebnih dodatnih raziskav izvedemo sanacijo s splošno znanimi ukrepi, ki bodo naštetih v nadaljnjem besedilu. Z geodetskim in vizualnim opazovanjem ugotavljamo uspešnost sanacije in izvajamo dodatne ukrepe, dokler plaz ni stabilen.

Druga možnost je, da v obdobju najbolj verjetno naslednjih dveh let odvažamo ves material, ki splazi prek slapu Grajšček (slika 17). Tako bi se plaz Slano blato po celotni dolžini polagoma delno stabiliziral in bi vse odvečne nestabilne mase zdrsele navzdol. Zgornji kanal, »blatno jezero«, spodnji levi kanal in območje nad slapom bi se do take mere spraznili čezmernih količin zemljinskih mas, da bi bili za končno sanacijo potrebni manjši končni sanacijski ukrepi. Ta drugi pristop pa potencialno bolj ogroža vas



Slika 16. Sanirani zgornji del plazju Slano blato

Figure 16. Rehabilitated upper part of the Slano Blato landslide



Slika 17. Odvoz materiala s plazju Slano blato na deponijo ob letališču Ajdovščina

Figure 17. Removal of debris from the Slano Blato landslide to the depot near the Ajdovščina airfield

Lokavec, ker bi bilo v izjemno kritičnih vremenskih razmerah težje preprečiti prelitje plazine čez pregrado, večja pa bi bila tudi možnost za nastanek tekočega drobirskega toka.

Zadnji del sanacije, ko bi bila dosežena trajna stabilnost površine, zahteva dokončno ureditev struge potoka Grajšček v stabilno obliko, ki bi preprečevala transport materiala in erozijo potoka. Urediti bi bilo treba tudi celotno površino, jo zatraviti in posaditi, da bi tako povečali površinski odtok in zmanjšali infiltracijo padavinske vode.

Glede na značaj plazjenja in dosedanje izkušnje pri izvajanju nujnih sanacijskih ukrepov velja, da naj končna sanacija posameznega sekundarnega plazju vsebuje večino naslednjih sanacijskih elementov:

- preprečevanje namakanja plazeče se mase z zajemom mest (izvirov), kjer se pojavlja podtalna voda (drenaže kot kamnita rebra);
- prerazporeditev zemeljskih mas v stabilno obliko, ki bo omogočala učinkovit površinski odtok padavinske vode;
- vodenje izvirne in padavinske vode po površinskih kanalih z območja plazju;



Slika 18. Zgornji kanal, do vrha zapolnjen s plazino.

Figure 18. Upper channel completely filled with landslide mass

- odziv na boke ali odvoz odvečnega plazečega se materiala;
- izdelava kanalov za zbiranje in odvajanje vode;
- ureditev in zatravitev površine;
- gradnja podpornih konstrukcijskih objektov (pregrade).

Glede na sedanje stanje na plazju Slano blato (april 2002) se kažejo naslednji možni končni sanacijski ukrepi, ki pa jih bo treba projektno opredeliti:

- Nove odlome nad zgornjimi deli plazju (1) bo treba zabiti z glino. Teren bo treba preoblikovati z buldožiranjem in odzivom plazečega se materiala v gladko stabilno površino, ki omogoča učinkovit površinski odtok vode, zajeti bo treba izvire z drenažnimi rebri in površinskim odvodom vode po kanalih, ter ga zatraviti in posaditi z grmovjem.
- Sanacijo plazjenj na zgornjem delu plazju z leve in desne strani ter iz usada (označeno z 2, 3 in 4), ki so v veliki meri že sanirana, bo treba pri nadaljnji sanaciji, ki bo vodila h končni stabilizaciji, nadaljevati z enakimi ukrepi, ki zajemajo odzive, odvoz in ravnanje površine, izdelavo kanalov, zajetja izvirov s kamnitimi rebri in na koncu zatravitev površine.
- Plazjenja v zgornjem kanalu, v njegovem zgornjem in osrednjem delu (5 in 6), kjer so nakopičene plazeče se mase, tako da je kanal napolnjen do najvišjih možnih kot



Slika 19. Desni krak plazu Slano blato
Figure 19. Right branch of the Slano Blato landslide



Slika 20. Deponija za odlaganje plazečih se blatnih mas ob letališču Ajdovščina
Figure 20. Depot for sliding mud masses near the Ajdovščina airfield

(slika 18), ni smiselno sanirati, dokler te mase v deževnem obdobju same ne spolzijo iz kanala in so sekundarni plazovi na območju 4 dokončno sanirani. Ko bo zgornji kanal izpraznjen, bo treba urediti in stabilizirati brežine grape in izdelati vzdolžni kanal za pretok vode po sredini.

- Grapo Grajščka na območju plazu v spodnjem delu zgornjega kanala (7) bo zaradi strmega terena zelo težko sanirati. Poleg tega bo strmi nagib povzročil močno erozijo potoka, kar je treba preprečiti. Ena izmed možnih sanacij je izdelava pregrade na mestu porušene avstro-ogrske.



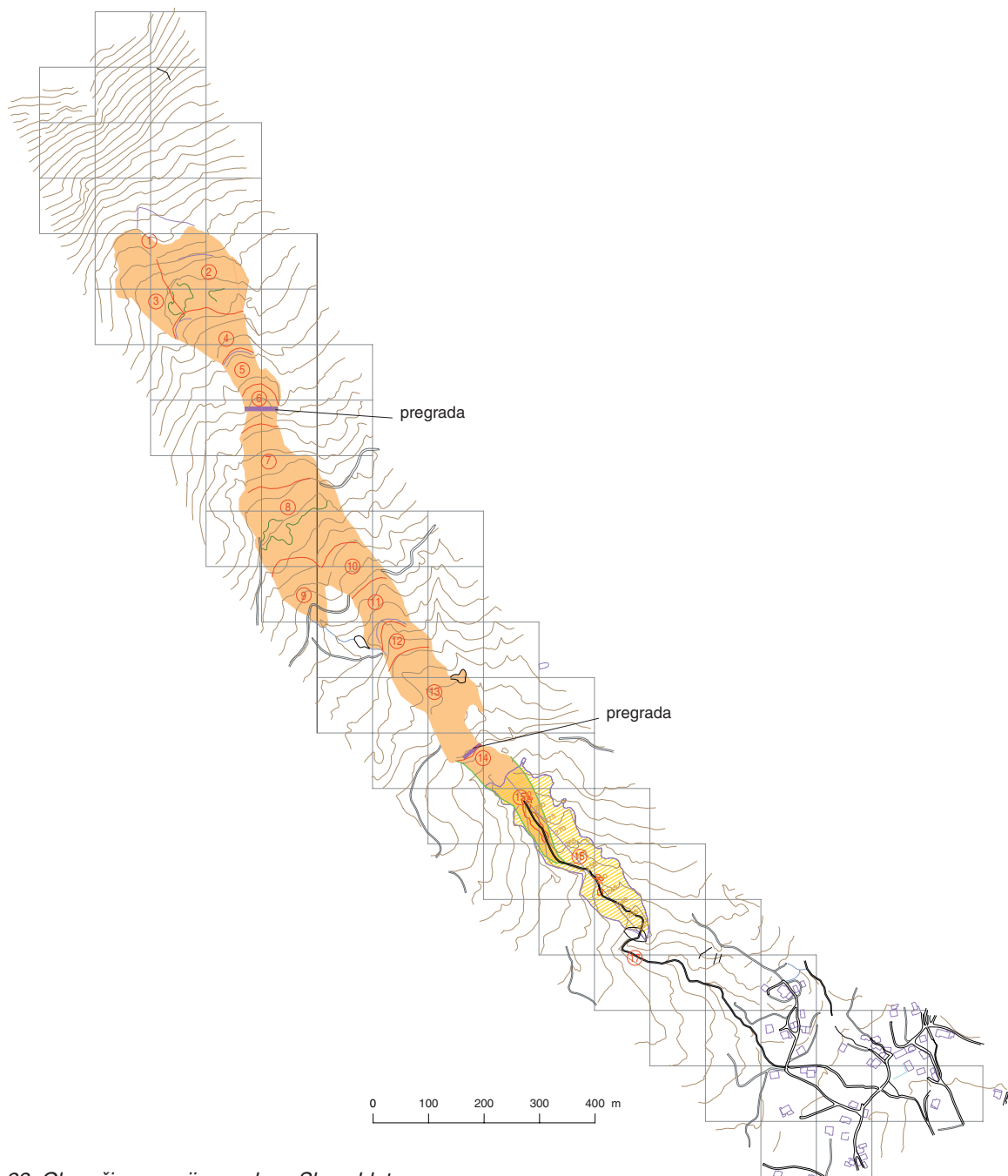
Slika 21. Retenzijski rezervni prostor za plazeče se mase, ki ščiti vas Lokavec.

Figure 21. Retention space for sliding masses, designed to protect the village of Lokavec



Slika 22. Gradnja ceste skozi Lokavec za odvoz materiala
Figure 22. Construction of a road through Lokavec for waste removal

- Nakopičeni material na območju črpališča (8) bo treba osušiti in odstraniti mehke blatne mase; verjetno na najugodnejšo lokacijo, ki je v grapi pod desnim krakom plazu. Speljati bo treba vzdolžni kanal za potok Grajšček in oblikovati kanal na desni strani, ki vodi vodo s plazišča v trajno obliko.
- Zdrsele mase v desnem kraku plazu (9) (slika 19), ki so že stabilizirane, bo treba dokončno urediti s površinskim odvodom vode in zatravitvijo.
- Počakati je treba, da mase v zgornjem in osrednjem delu levega kraka plazu Slano blato (10 in 11) spolzijo navzdol, tako da bo kanal v veliki meri izpraznjen. Preostale mase bo treba odstraniti vse do dobro izraženih drsni ploskev, ki se sedaj lokalno pojavljajo na površini. Nato bo treba boke in dno grape urediti v končne brežine in jih stabilizirati z biotorkretom, da preprečimo bočne zdrse.
- V strmem delu spodnjega kanala (12) bo treba po zdrsu plazečih se mas na območje nad slapom preprečiti erozijo potoka Grajšček, do katere bi prišlo ob visokih vodah. Urediti je treba strugo po sredini in stabilizirati boke grape.



Slika 23. Območja sanacije na plazu Slano blato

Figure 23. Rehabilitated sections of the Slano Blato landslide

- Nakopičeni material na položnem terenu nad slapom Grajšček v količini med 200.000 in 300.000 m³ bo treba transportirati na deponijo ob letališču (slika 20), nato urediti površino v končno obliko, izdelati strugo potoka in desni odvodni kanal ter končno zatraviti površino. Na območju slapa se kaže tudi primerna lokacija za pregrado, ki se jo izvede, če se pokaže, da zgoraj plazeče se mase ni možno stabilizirati zgolj z odvozom.
- Območja pod slapom na Grajščku (14 in 15) so varovalni retenzijski prostor za primer, če se plazeče se mase prelijejo prek slapa, zato bo treba s teh območij odvoziti ves plazeči se material, ki v njih zdrsne, in urediti strugo potoka.
- Kamnita pregrada in območje 16 sta predvidena kot zadnji skrajni varovalni ukrep za ustavitev plazečih se mas (slika 21), če pride do izjemno neugodnih vremenskih razmer, preden bo celotni plaz Slano blato saniran do take mere, da ne bo več možno drsenje večjih količin blatnih mas. Pregrada in položneje nagnjen prostor nad njo služita tudi za ustavljanje morebitnih hitrih tekočih drobirskih tokov.
- Območje struge potoka pod pregrado (17) neposredno nad vasjo bo treba ob končni sanaciji urediti tako, da bo krajinski izgled, ki je sedaj pokvarjen z gradnjo ceste in posekom, čim primernejši za prebivalce Lokavca. Zaradi obsežnih sanacijskih ukrepov bo treba izdelati krajinsko študijo in prostorske rabe celotnega območja plazu Slano blato.

Sklepne misli

Plaz tako izjemnih dimenzij, kot je Slano blato, je mogoče sanirati le v obdobju najmanj petih let, pri čemer je treba izkoristiti tudi naravne procese plazenja. Zgornji in spodnji kanal na plazu saniramo takrat, ko sta po padavinskem obdobju v veliki meri izpraznjena plazečih se mas.

Spodnjega dela plazu nad slapom, kjer so se nakopičile mase, ki so zdrsele z območja usada, ni možno sanirati s stabilizacijo plazine na mestu samem, temveč le z njenim odvozom in deloma odzivom na desni bok. Če tega ne bi izvedli, bi te mase lahko ogrozile naselje Lokavec.

Če se končna sanacija, ki se je začela z urejanjem zgornjih delov plazu ter gradnjo ceste skozi vas za odvoz plazečega se materiala ne bo nadaljevala v naslednjih letih, bo prišlo do vedno večjega vključevanja novih plazečih se mas (mase starih plazenj iz podlage izpred 100 in več let) in v dveh do treh letih bodo vsi dosedanji ukrepi izničeni.

Literatura

1. Kočevar, M. in sod., 2001. Poročilo o geoloških, hidrogeoloških in geomehanskih raziskavah na plazu Slano blato. Geoinženiring – interno poročilo.
2. Kočevar, M., Ribičič M., 2001. Plaz Slano blato. MEGRA, Gornja Radgona.
3. Ribičič, M., 2001. Izračun volumnov na plazu Slano blato. Ljubljana, Gradbeni inštitut ZRMK – interno poročilo.
4. Ribičič, M., 2001. Plaz Slano blato (izračun volumnov). Maribor, Šukljetoovi dnevi.
5. Ribičič, M., 2001. Projektna naloga za izvedbo ukrepov za končno sanacijo plazu Lokavec. Izdelano za MOP, Državna komisija za plazove. Ljubljana, Gradbeni inštitut ZRMK.