

CELOVITO REŠEVANJE PROBLEMATIKE MASNIH TOKOV NA HUDOURNIKIH POD KRVAVCEM

viš. pred. dr. Jošt SODNIK, univ. dipl. inž. grad.,
TEMPOS, okoljsko gradbeništvo d.o.o., Tehnološki park 21, 1000 Ljubljana,
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana

prof. dr. Matjaž Mikoš, univ. dipl. inž. grad.,
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana

Povzetek

V prispevku je predstavljen projekt reševanja problematike masnih tokov na Brezovškem in Lukenjskem grabnu po ekstremnem dogodku maja 2018, ko je masni tok zasul in poškodoval spodnjo postajo gondolske žičnice Krvavec. Predstavljen je celoten postopek od interventne sanacije, geološkega kartiranja z izdelavo zasnove ureditev, do končne izdelave DGD/PZI dokumentacije in izvedbe določenih faz gradnje.

V idejni zasnovi je bila sanacija razdeljena na tri faze: regulacija hudournika Reka, gradnja večje zaplavne pregrade in ukrepi v težko dostopnem zaledju, kjer je bilo ocenjeno, da je potencial materiala velik in da so podobni dogodki v bodoče zelo verjetni. Prva faza sanacije je izvedena, pregrada je v fazi pridobivanja gradbenega dovoljenja, ukrepi v zaledju pa so predvideni za izvedbo v obdobju maj – september 2022. Poudarek v prispevku bo na tretji fazi, saj gre za inovativen pristop do reševanja erozijske problematike pri nas. Predvideni sta dve seriji mrežnih pregrad (Brezovski 12

pregrad, Lukenjski 4 pregrade). Montaža bo potekala z gozdarskimi žičnicami, ročno, dostava materiala po potrebi s helikopterjem. Vsa dela bodo ustrezno dokumentirana. V proces načrtovanja je bila vključena razvojna ekipa mednarodnega podjetja Geobrugg, saj smo vse mreže optimizirali na predvidene scenarije (udar masnega toka, preliivanje masnega toka v primeru polne pregrade). Namen posega je stabilizacija hudourniške struge in s tem zmanjšanje intenzivnosti globinske in bočne erozije.

Poleg same gradnje zaščitnih ukrepov, je predvidno, da se v okviru tega posega izvajajo tudi razvojno raziskovalne naloge. V sodelovanju s proizvajalcem mrež Geobrugg in UL FGG bomo postavili merilne sisteme, kjer se bodo izvajale meritve sil v nosilnih jeklenicah (sistem Geobrugg Guard), video snemanje dogodkov, periodično snemanje struge za spremljanje procesov. Vgrajene bodo tudi AB plošče iz različnih receptur betona (klasika, abrazijski betoni), na katerih se bo merila dejanska abrazija in bomo dobili zelo pomembne podatke o obstojnosti betonov, ki jih trenutno na-

črtujemo v hudourniških objektih in kakšne izboljšave na tem področju so možne.

Omenjen projekt poleg celovite obravnave izbranega območja, kar je pri nas redkost, predstavlja tudi pomemben razvojni korak naprej pri načrtovanju ukrepov na hudournikih in sami uporabi ustreznih materialov.

Uvod

Območje Krvavca, predvsem območje nad naseljem Cerklje na Gorenjskem, je bilo v preteklosti že večkrat podvrženo delovanju masnih tokov, ko sta predvsem Brezovski in Lukenjski graben povzročala težave s prekomernim transportom plavin. V preteklem obdobju so že bili izvedeni nekateri ukrepi, ki pa so se med zadnjim dogodkom maja 2018 izkazali za nezadostne. Tako je bila zgrajena manjša pregrada, regulacija potoka Reka dolvodno od sotočja Brezovškega in Lukenjskega grabna, ureditev struge Brezovškega grabna na vršaju (pragovi iz lesenih kašt) in nekateri ukrepi za zaščito vrtin za vodovod. Kot omenjeno, se na vršaju (na sotočju) nahaja več vrtin, iz katerih se napaja vodovod za pet bližnjih občin. Trenutno je celoten vodovod v fazi celovite obnove.

Z dogodkom maja 2018 se je izkazalo, da so za zaščito območja pred delovanjem masnih tokov potrebna celovita sanacija in gradnja dodatnih objektov. Direkcija za vode RS je zato pristopila k sanaciji in načrtovanju celovitih ukrepov, ki bodo zajemali celotno območje in dolgoročno zagotovili varnost naselja Cerklje na Gorenjskem, hkrati pa tudi varnost infrastrukture smučišča Krvavec in infrastrukture vodovodnega sistema na tem območju.

Dogodek maja 2018 in prvi interventni ukrepi

Med intenzivnim padavinskim dogodkom, ki je na območju Krvavca nastal v popoldanskem času dne 30. 5. 2018, so se na širšem območju spodnje postaje kabinske žičnice na Krvavec odložili sedimenti večjega hudourniškega dogodka. Na več mestih so grušč, skalni bloki ter večja debela in korenine povsem zasuli lokalno cesto Cerklje na Gorenjskem – Štefanja vas ter okoliško infrastrukturo. Po podatkih Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) je v času padavinskega dogodka na merilni postaji Krvavec v pol ure padlo 55 mm padavin.

Odloženi drobirski material je v glavnem sestavljal karbonatni grušč s posameznimi večjimi skalnimi bloki. Med gruščem je bila pomešana večja količina vejevja, drevesnih debel in korenin (slika 1). Delež drobnozrnatih sedimentov (peska, melja) je bil relativno majhen. Ti so se odložili na nekaterih mestih (npr. na terasi pred vstopom v spodnjo postajo žičnice) v času upadajočega pretoka (in energije vode).

Območje obsežnejše akumulacije materiala izven struge potoka Reka se je pričelo približno 130 m nad postajo žičnice, na ostrem ovinku lokalne ceste, kjer potok iz ožje struge priteče na širše območje fosilnega vršaja (starejše akumulacijsko območje). Od tam dolvodno, proti postaji žičnice, se je material odložil preko celotne širine doline (~ 30 m) (slika 1 desno). Večje bloke in drevesne korenine je deloma zadržal manjši betonski most preko Reke, cca. 40 m gorvodno od postaje (slika 1 levo in desno). Material je popolnoma zasul strugo potoka nad postajo, vključno s prepustom pod postajo žičnice (slika 1 desno), kar je povzročilo, da je potok Reka spremenil smer toka in tekkel severno od postaje vzdolž lokalne ceste in parkirišča. Tudi dolvodno od postaje žičnice se je material odložil na večjem območju, ki je segalo vse do prepusta, kjer Reka teče pod lokalno cesto na njeno zahodno stran. Na mestu prepusta je bil



Slika 1: Odložen material na območju spodnje postaje gondole maja 2018.

preko ceste odložen material v debelini več metrov. Od tam dolvodno se je material v manjših količinah odlagal še cca. 200 m ob cesti in ob strugi potoka. Nekoliko obsežnejša akumulacija je bila pri naslednjem prepustu, kjer potok ponovno teče na vzhodno stran ceste.

Glede na površino akumulacije in debelino sedimentov je bila po dogodku ocenjena količina odloženega drobirskega materiala med 7.000 in 10.000 m³.

Po podrobnem terenskem ogledu je bilo ugotovljeno, da je večina materiala pripotovala iz Brezovškega grabna, medtem ko se je material iz Lukenjskega grabna odložil na območju, kjer je nad sotočjem z Brezovskim razširitev doline in lokalno zmanjšan padec.

Prvi intervencijski ukrepi Direkcije za vode RS in koncesionarja so bili usmerjeni v zagotavljanje pretočnosti in odstranjevanje odloženih naplavin, nato pa se je pristopilo k izdelavi ustrezne projektne dokumentacije.

Najprej je bilo izvedeno podrobno geološko kartiranje območja in pripravljena idejna zasnova za celotno območje. Več o dokumentaciji in predlaganih rešitvah je podano v nadaljevanju.

Predlagane rešitve

Geološko kartiranje s poročilom

Po izvedbi interventnih del na terenu, se je izvedlo podrobno geološko kartiranje območja, katerega ključni cilj je bil ocena stanja in ocena potenciala za morebitno ponovitev dogodka. Ugotovljeno je bilo, da v zaledju obeh hudournikov obstaja velik potencial materiala, ki se ob morebitni ponovitvi lahko ponovno mobilizira in ogrozi odseke dolvodno.

Ugotovljeno je bilo, da so brežine v večini pobočni grušč, ki ga je voda med dogodkom maja 2018 erodirala in je ostal izpostavljen tako na območju dna strug kot na brežinah. Brežine hudournikov so tudi do 8m visoke stene iz pobočnega grušča, ki se stalno proži in spreminja topografijo terena. Poleg grušča problem predstavljajo tudi podrta drevesa, ki se podirajo v strugo iz vrha nestabilnih brežin.

Izdelana je bila tudi podrobna geološka karta, ki je prikazana v nadaljevanju, kjer je razvidno, da večino zaledja predstavljajo pobočni grušči (rumena), stabilna hribina (pretežno dolomit) (rožnata), je prisotna le lokalno. Z modro barvo je prikazano tudi obsežno območje odlaganja materiala tako na sotočju kot v spodnjem delu Lukenjskega grabna.



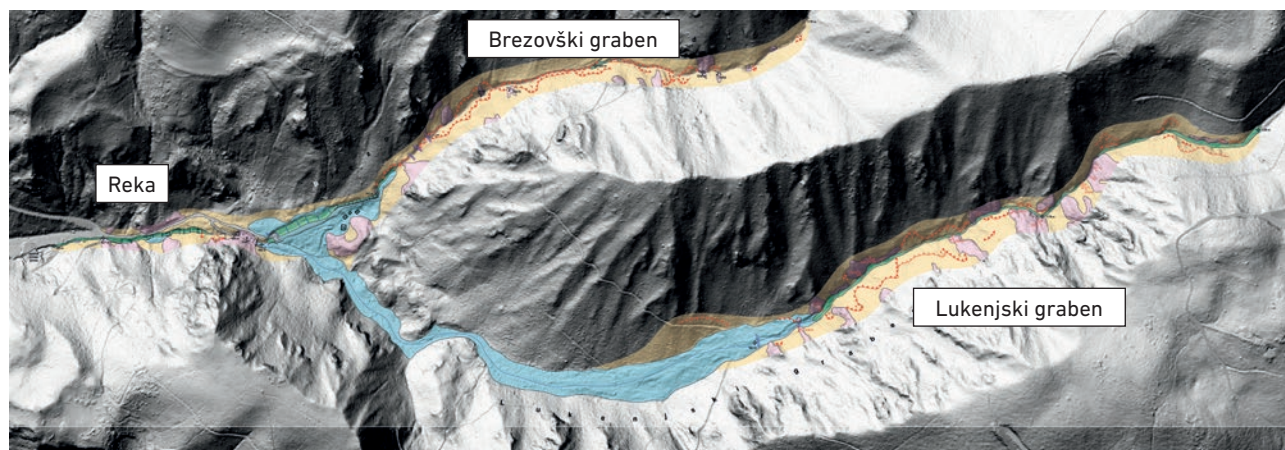
Slika 2: Stanje v zaledju Brezovškega grabna julija 2018



Slika 3: Večja debelina nestabilnega pobočnega grušča



Slika 4: Odložen material na Lukenjskem grabnu – prekrito celo dolinsko dno



Slika 5: Geološka karta območja (Reka, Brezovški graben, Lukenjski graben)

Zaključek geološkega poročila je bil, da je glede na stanje v zaledju pričakovati, da se dogodki s podobno ali večjo magnitudo lahko ponovijo.

Idejna zasnova ukrepov za celotno območje

Na podlagi geološkega poročila je bila izdelana celovita idejna zasnova, ki je obravnavala celotno območje (zaledje, sotočje, skupen hudournik Reka). V prvi fazi so bili evidentirani vsi obstoječi objekti na tem odseku. Ker je bilo območje problematično že v preteklosti, je bil potok Reka reguliran (od sotočja Lukenjskega in Brezovškega grabna dolvodno), na sotočju je bila zgrajena manjša zaplavna pregrada, ki se je med dogodkom maja 2018 izkazala za povsem poddimenzionirano. Na Lukenjskem grabnu obstoječih objektov ni bilo, na Brezovškem grabnu pa je bil reguliran zadnji odsek pred pregrado, za zaščito vrtin za vodovod je bila zgrajena lesena stena, gorvodno pa je bilo zgrajenih še nekaj pragov in tri mrežne pregrade.

Regulacija potoka Reka je bila med dogodkom poškodovana. Poškodovani so bili obstoječi pragovi, odnešena obrežna zavarovanja, pojavili so se novi usadi in plazovi na brežinah.

Pregrada na sotočju je ostala nepoškodovana, vendar zaradi svoje majhne kapacitete zadrževanja plavja ni odigrala nobene omembe vredne vloge pri zaščiti odseka dolvodno.

Ureditev Brezovškega grabna nad sotočjem pa je bila zelo verjetno že pred dogodkom maja 2018 precej dotrajana in se je samo dodatno poškodovala. Pragovi iz gabionskih mrež in kaš so bili močno poškodovani, pragovi gorvodno prav tako. Pri mrežnih pregradah pa je prišlo do poglobljanja nivelete, zato so pri dveh popustila sidra in sta se porušili, ena pa je ostala. Analiza na terenu je



Slika 6: Poškodovana regulacija potoka Reka



Slika 7: Usad na območju regulacije potoka Reka



Slika 8: Obstoječa zaplavna pregrada na sotočju Lukenjskega in Brezovškega grabna



Slika 9: Poškodovani pragovi iz gabionov in kašt.



Slika 10: Porušena fleksibilna mrežna pregrada.



Slika 11: Predvideni ukrepi v idejni zasnovi

pokazala, da so bila uporabljena samo 4m sidra, katerih sama izvedba (vrtanje, kvaliteta zalivanja) pa je prav tako vprašljiva.

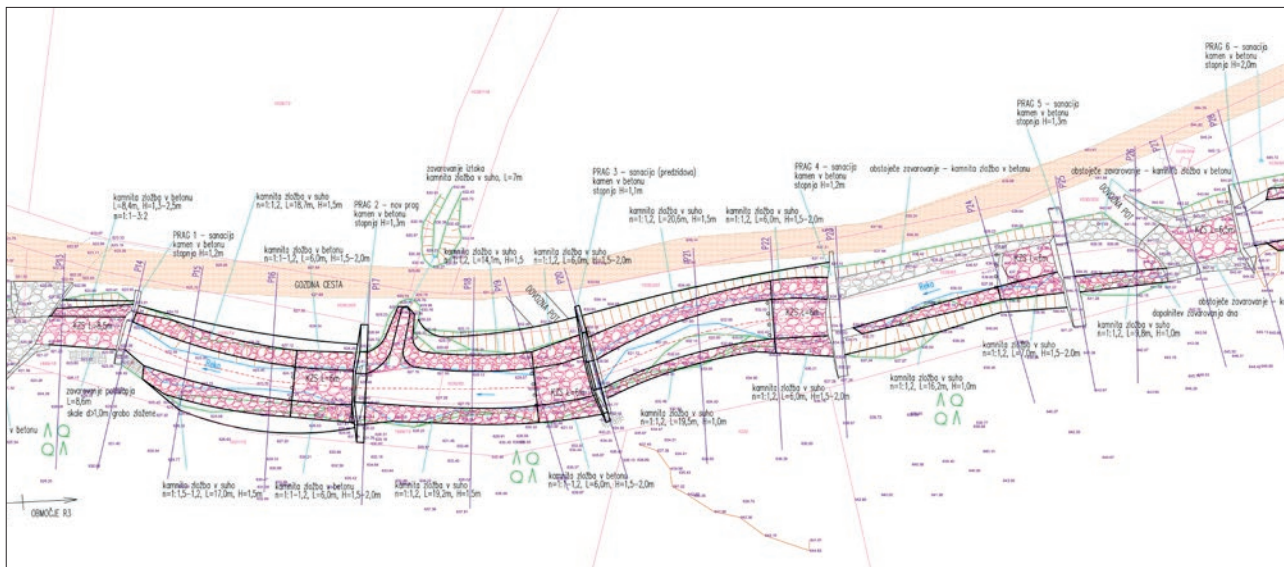
Namen idejne zasnove je bila celovita ureditev, ki bi v prihodnje preprečila ali vsaj omilila podobne dogodke kot je bil maja 2018. Ukrepi so bili razdeljeni na sanacijo regulacije potoka Reka, gradnjo večje zaplavne pregrade na sotočju Brezovškega in Lukenjskega grabna in ukrepe v zaledju s katerimi bi preprečili nadaljnje sproščanje večjih količin materiala ob intenzivnih dogodkih.

V fazi idejne zasnove je bila izdelana tudi hidrološka analiza območja, s katero so bili določeni tudi projektni pretoki za načrtovanje Q_{10} , Q_{100} in Q_{500} .

V nadaljnjih fazah je DRSV pristopila k izdelavi izvedbene dokumentacije za posamezne odseke, obdelane v idejni zasnovi, ki pa so podrobneje predstavljeni v nadaljevanju.

Regulacija hudournika Reka dolvodno od sotočja Brezovškega in Lukenjskega grabna

Januarja 2019 je bil izdelan PZI za sanacijo regulacije potoka Reka, dolvodno od pregrade, do spodnje postaje kabinske žičnice Krvavec. Namen sanacije je bila obnova ali popolna rekonstrukcija pragov, zavarovanje brežin in sanacija usadov na območju struge. S predlaganimi ukrepi se je zagotovila stabilizacija nivelete in brežin na tem odseku in s tem preprečena erozija. Vse ureditve so bile dimenzionirane na pretoke Q_{100} + ustrezna varnostna višina. Pri načrtovanju so bile v čim večji meri upoštevane obstoječe ureditve, prav tako je bil v ureditve umeščen obstoječ objekt vodovoda, ki je nesrečno umeščen v samo strugo.



Slika 12: Predvideni ukrepi na hudourniku Reka

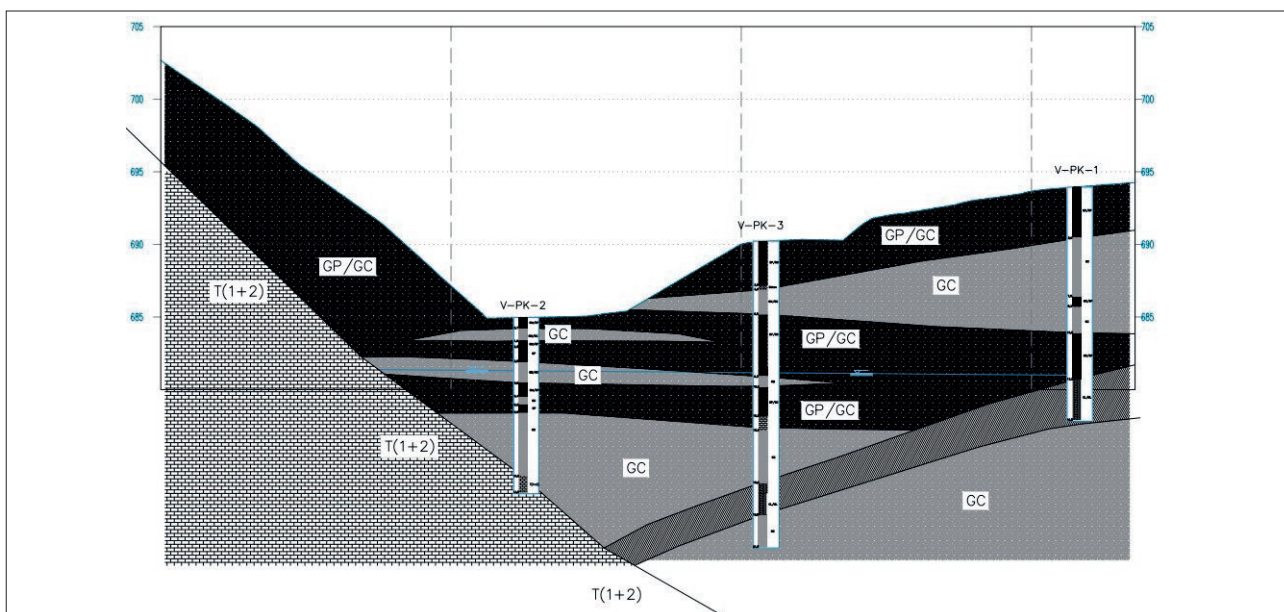
Gradnja večje zaplavne pregrade na sotočju Lukenjskega in Brezovškega grabna

Glede na to, da je obstoječa zaplavna pregrada povsem poddimenzionirana za dogodke kot je bil maja 2018, smo na sotočju Brezovškega in Lukenjskega grabna predvideli novo, večjo pregrado. Zasnovana je bila pregrada z režo (ang. Slit dam), s kapaciteto zaplavnega prostora 14.000m³, dimenzionirana na dinamičen udar potencialnega masnega toka. Glede na to, da v Sloveniji smernic za načrtovanje tovrstnih objektov nimamo, smo uporabili Avstrijske smernice in ostalo tujo literaturo s področja urejanja hudournikov. Dodaten izziv pri načrtovanju je predstavljala bližina vrtin in drenažnega zajetja za vodovod, ki napaja 5 bli-

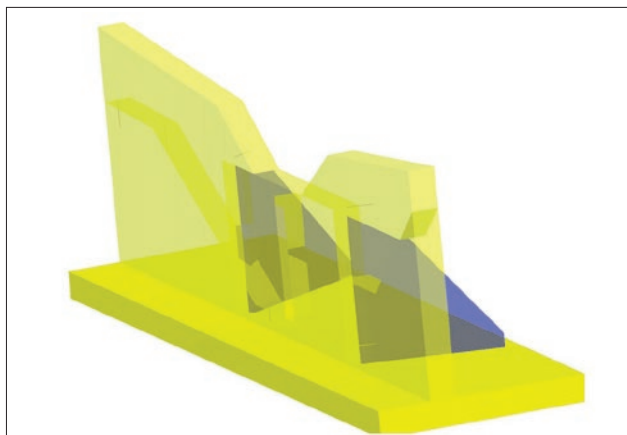
žnjih občin in je zato vitalnega pomena za oskrbo z vodo na tem območju.

Zasnova pregrade je taka, da je osnovna konstrukcija AB, sprednja stran obložena s kamenjem v betonu. Obstoječa zaplavna pregrada se ohrani in bo imela funkcijo zaključnega praga podslapja. Za povečanje zaplavnega prostora je predviden izkop v zaledju, ki pa je omejen z gladino podtalnice. Za potrebe gradnje je predvidena tudi prestavitev vodovoda od vrtin proti objektu dolvodno od pregrade. Za potrebe zagotavljanja zaplavnega prostora je predvidena tudi regulacija Brezovškega in Lukenskega grabna na sotočju.

Pred začetkom izdelave dokumentacije so bile izvedene geološko geomehanske raziskave s katerimi smo določili sestavo tal, lastnosti temeljnih



Slika 13: Geološki profil na lokacije predvidene pregrade

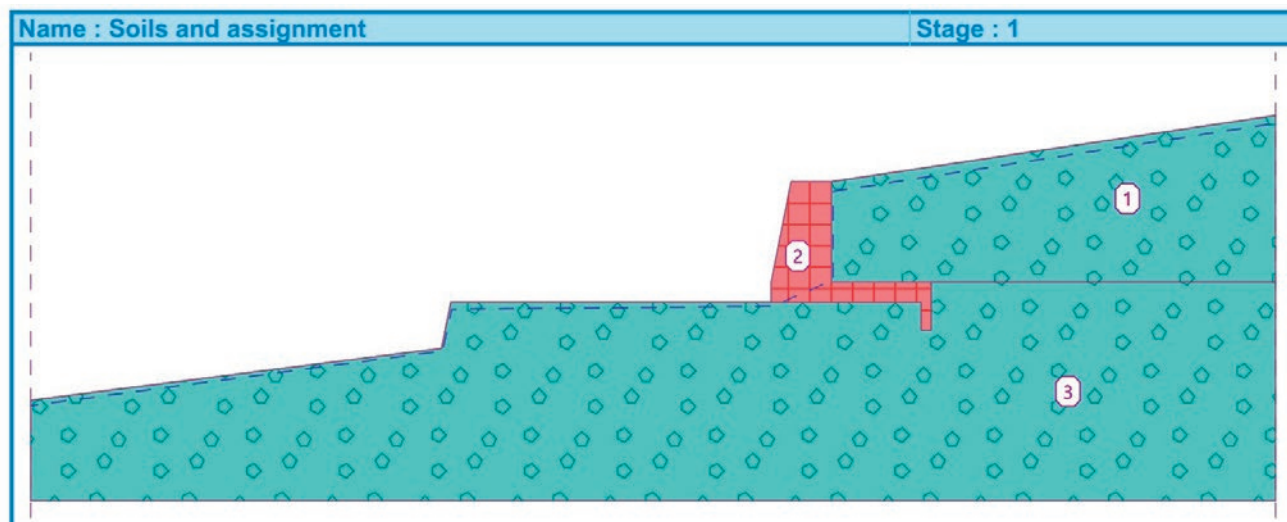


Slika 14: 3D model AB konstrukcije pregrade

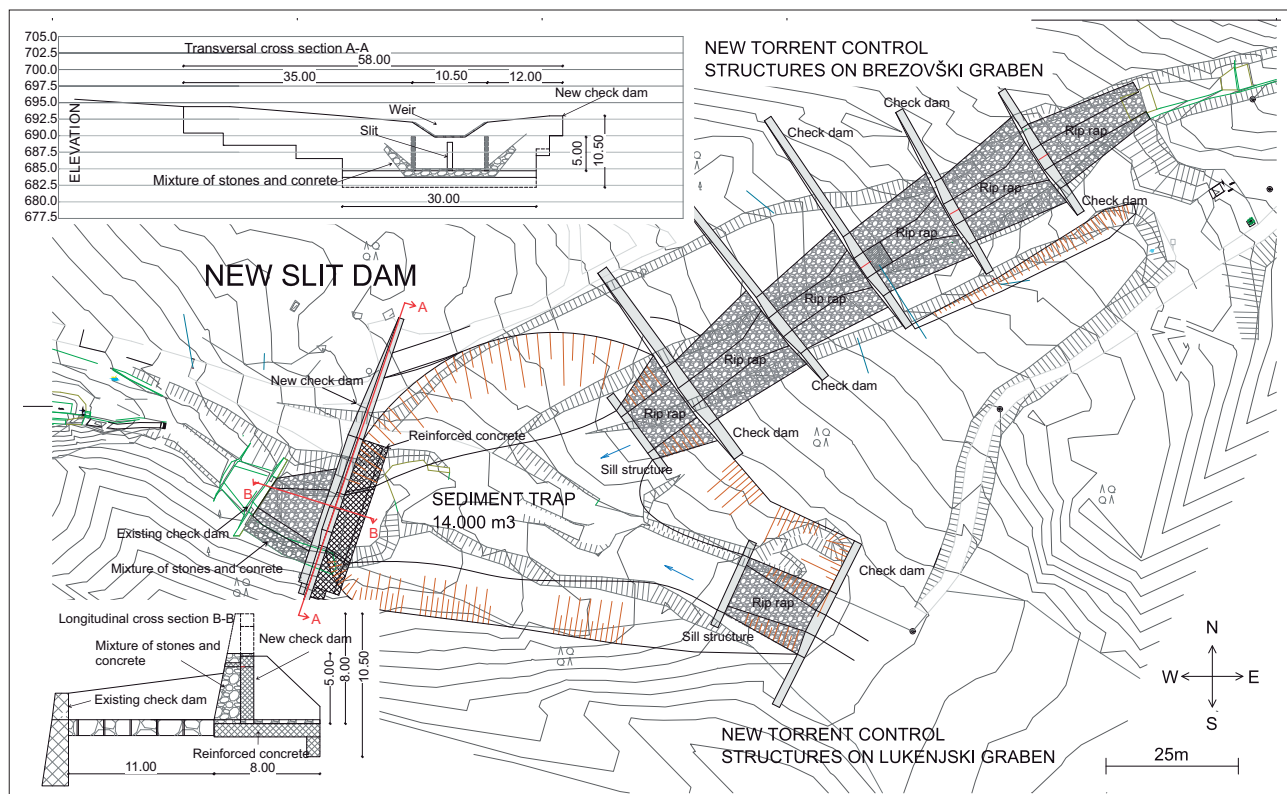
tal, nivo podtalnice in ostale vhodne podatke za potrebe načrtovanja in dimenzioniranja pregrade.

Namen zasnove pregrade z režo je, da se s pregrado ne prekine povsem transport sedimentov ob normalnih padavinskih dogodkih, ob ekstremnih dogodkih pa se reža zapolni in se zaplavni prostor pregrade zapolni. Reža je bila dimenzionirana upoštevajoč dva pogoja. Prvi je, da reža prevaja Q_{20} , drugi pa izračun širine glede na velikost zrna d_{90} .

Glede na pretekle dogodke in potencial za podobne ali večje dogodke v bodoče, je bila pregrada dimenzionirana tudi na dinamični udar masne-



Slika 15: Preverba globalne stabilnosti nove pregrade



Slika 16: Situacija ureditev na območju nove pregrade

ga toka. Izdelan je bil 3D statični model AB konstrukcije pregrade, ki je bila skupaj s temeljenjem ustrezno dimenzionirana.

Ukrepi v povirnem delu Brezovškega in Lukenjskega grabna

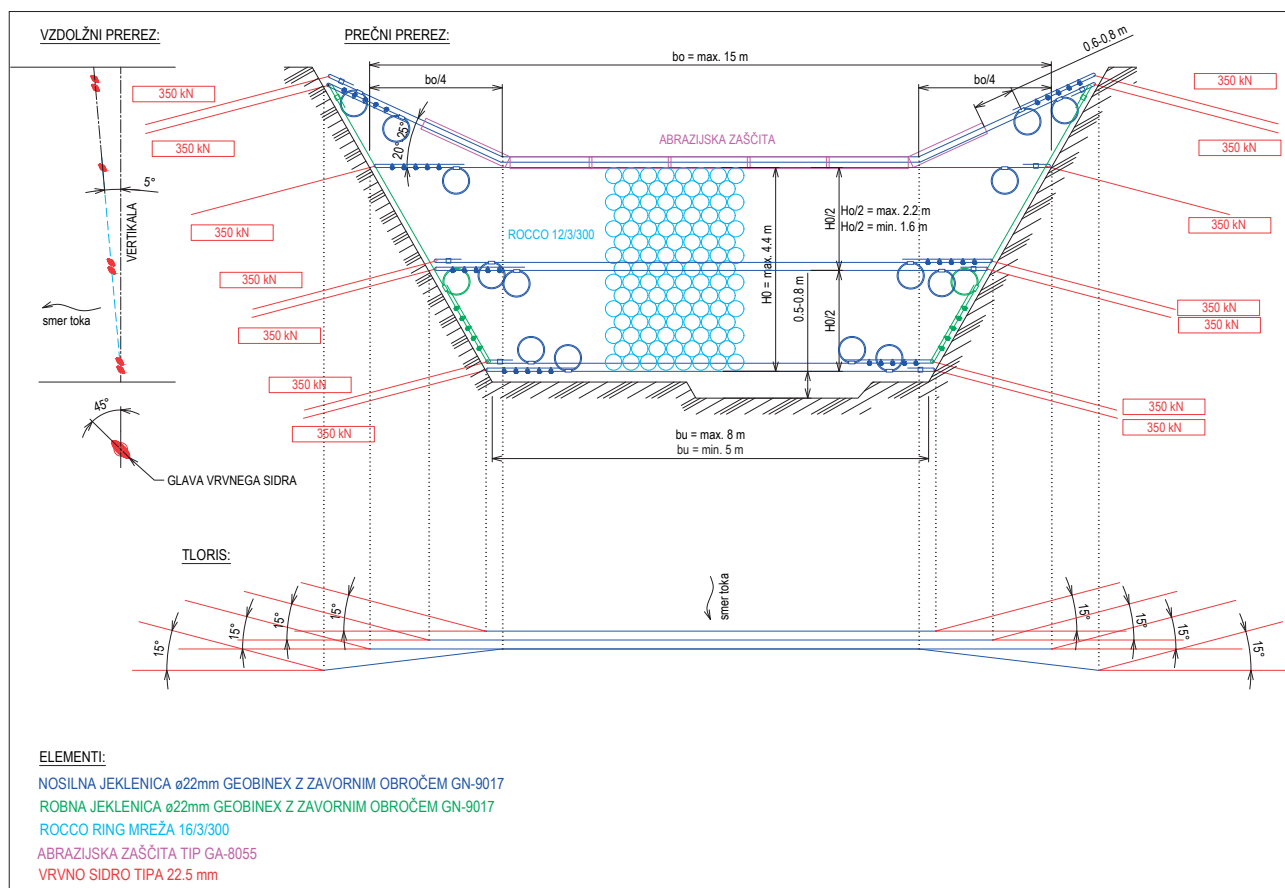
Zaradi hitrega in nekontroliranega napredovanja erozije v povirnem delu obeh hudournikov (Brezovski in Lukenjski graben), je DRSV v začetku leta 2021 pristopila tudi k izdelavi izvedbene dokumentacije za ureditev zgornjega odseka. Gre za zelo težko dostopen teren, kjer se z vsakim dnem stanje spremeni (nova porušena drevesa, novi usadi z brežin), zato je bil uporabljena rešitev s fleksibilnimi pregradami, katere je možno na mesto montaže dostaviti z gozdarsko žičnico ali helikopterjem.

Teren je bil podrobno posnet z dronom, da je bil izdelan natančen model terena. Na podlagi terenskih ogledov in analiz lokacij so bile določene lokacije pregrad. 4 na Lukenjskem grabnu in 12 na Brezovškem grabnu.

Namen pregrad je stabilizacija nivelete, upočasnitev erozijskih procesov zaradi prestrmih brežin in nestabilnega grušča. Sistem pregrad v posameznem hudourniku z namenom, da se pregrade zapolnijo z naplavinami, se s tem zmanjša padec nivelete in stabilizira odsek. Višine pregrad so bile zasnove od 3m do 6m. Pregrade se ne bodo praznile, saj imajo samo stabilizacijsko funkcijo. Kot zaplavka je bil upoštevan 22%. Sama velikost zaplavka posamezne pregrade ni ključna, bolj je pomembna višina in pozicija glede na ostale pregrade.

Praviloma se pregrade dimenzionira na dva obtežna primera. Udar masnega toka (ang. Dynamic impact) in obremenitev polne pregrade, ko se masni tok preliva preko preliva (ang. Static load – overflow). Običajno je prvi primer kritičen – udar. Za dimenzioniranje je bilo uporabljeno orodje DebFlow.

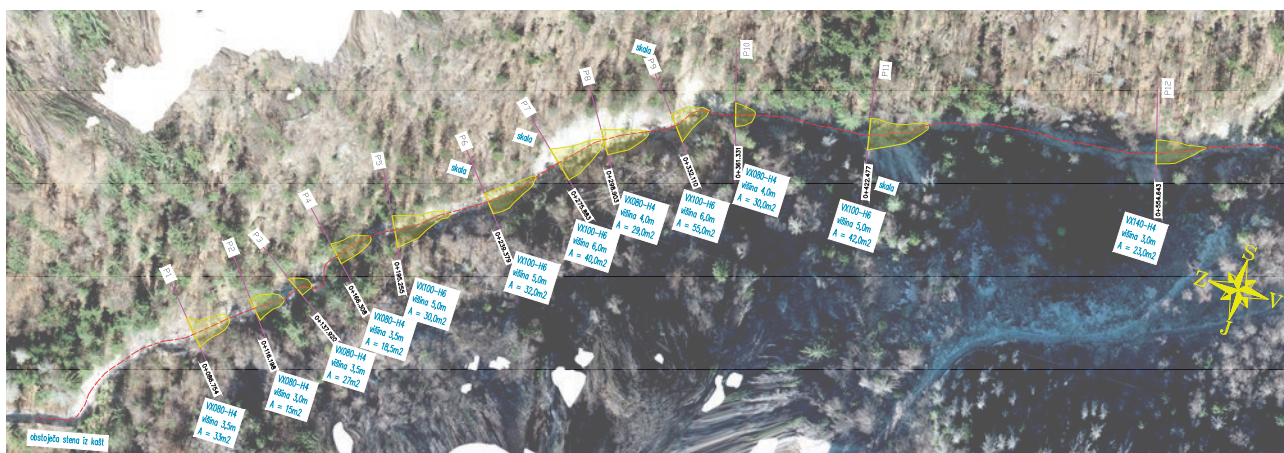
Glede na zasnovo je bilo določeno, da se pregrade na vrhu niza in pregrade, kjer je razdalja med dvema pregradama večja, dimenzionirajo na udar in prelivanje, medtem ko se pregrade v seriji dimenzionira samo na prelivanje. To ločevanje je pomembno predvsem za obdobje od vgradnje do polne zapolnjenosti. Ko bodo pregrade zapolnje-



Slika 17: Karakteristični prerez pregrade

ne z gruščom, primer udara ne bo več možen. Za določanje ključnih parametrov so bili uporabljeni različni pristopi (maksimalni pretok, hitrost čela toka, magnitude masnih tokov).

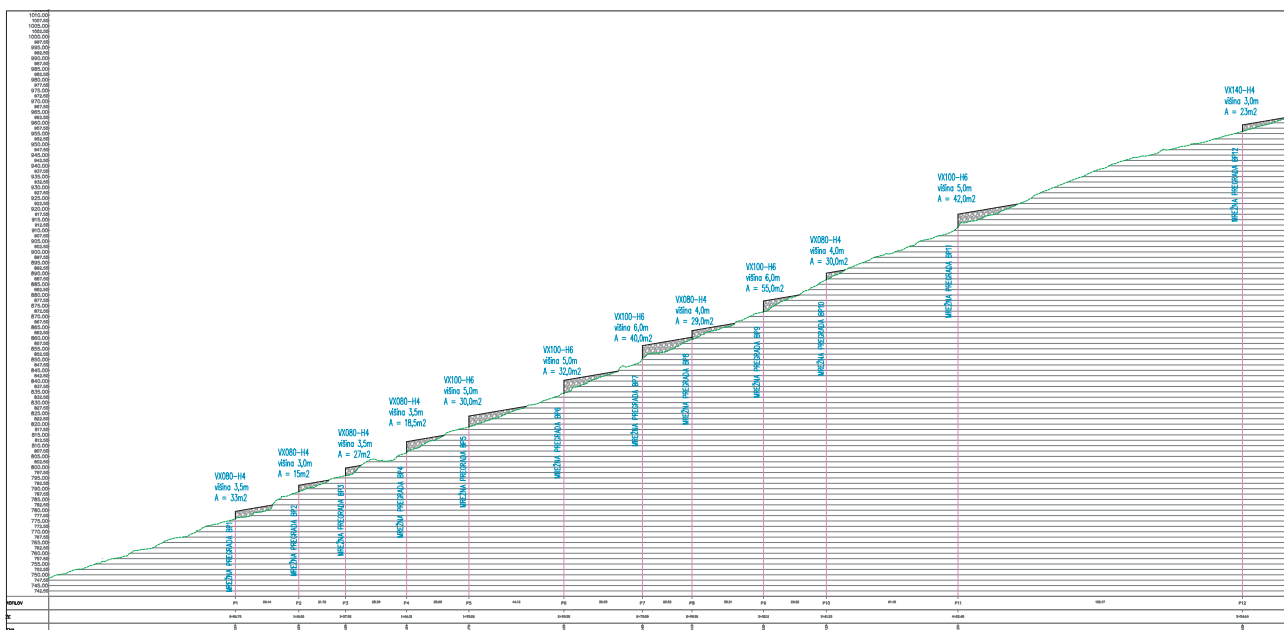
Predlagane so bile tipske pregrade proizvajalca Geobrugg, ki ima dva tipa pregrad (UX – za širše doline z vmesnimi oporami in VX – za ožje doline brez vmesnih opor), ki imajo vse potrebne certi-



Slika 18: Serija 12 pregrad na Brezovškem grabnu



Slika 19: Serija 4 pregrad na Lukenjskem grabnu



Slika 20: Vzdolžni prerez Brezovškega grabna in serija 12 pregrad

fikate za vgradnjo v hudourniške struge (ETA – Evropska tehnična ocena, skladno z Evropskim ocenjevalnim dokumentom EAD št. 340020-00-0106, ki ga je izdala EOTA "Flexible Kits for Retaining Debris Flows and Shallow Landslides / Open Hill Debris Flows).

Zaradi optimizacije posameznih pregrad (izogibanje nepotrebnemu predimenzioniranju določenih elementov) je v procesu dimenzioniranja sodeloval tudi razvojni oddelek proizvajalca, s čimer smo za vsako pregrado določili morebitne dodatne ojačitve (sidra, nosilne vrvi).

Končni PZI je predvidel 4 pregrade v zgornjem delu Lukenjskega grabna in 12 pregrad na Lukenjskem grabnu. Omenjena serija 12 pregrad je druga najdaljša v Evropi in ena daljših na svetu.

V dokumentaciji je upoštevan tudi otežen dostop in bo zato gradnja na Brezovškem grabnu potekala s pomočjo helikopterja - dostava materiala na lokacijo. Montaža pa bo potekala v celoti ročno. Pri gradnji je cilj, da se pregrade, kjer je to možno, že ob izvedbi založi s skalami in gruščem.

Izvedba ukrepov

Regulacija hudournika Reka dolvodno od sotočja Brezovškega in Lukenjskega grabna



Slika 22: Saniran usad, ustalitveni prag



Slika 21: Rekonstruirani ustalitveni pragovi



Slika 23: Ureditve na območju objekta vodovoda

V začetku leta 2021 so bila dela na hudourniku Reka s strani koncesionarja tudi izvedena.

Gradnja večje zaplavne pregrade na sotočju Lukenjskega in Brezovškega grabna

Gradnja pregrade je v času pisanja tega prispevka v fazi pridobivanja gradbenega dovoljenja.

Ukrepi v povirnem delu Brezovškega in Lukenjskega grabna

Konec leta 2021 je bila med DRSV in koncesionarjem podpisana pogodba in spomladi 2022 so

stekla prva pripravljalna dela. V času pisanja tega prispevka (junij 2022) se izvajajo pregrade na Lukenjskem grabnu. Vgrajena so vsa sidra, izveden je bil test z žrtvenim sidrom, ki je pokazal, da so predvidene sidrne dolžine 8m zadostne, saj nosilnost sidra presega s projektom predvidenih in zahtevanih 350kN.



Slika 25: Gradnja pregrade na Lukenjskem grabnu



Slika 24: Gradnja pregrade na Lukenjskem grabnu

Raziskovalno delo in meritve

Predlagana ureditvena dela smo kmalu prepoznali kot dobro priložnost za praktično izvedbo terenskih raziskav s skupnim razvojem terenske opazovalnice drobirskih tokov za boljše razumevanje dinamike drobirskih tokov in njihove interakcije z lovilnimi mrežami.

Dinamika drobirskih tokov in merilci GEOBRUGG Guard

GUARD je majhna vodoodporna naprava (masa 2,6 kg), ki se preprosto namesti na nosilno vrv vsake zaščitne pregrade (Geobruigg, 2022b). Ker je opremljena z izbranimi senzorji, ki prek mobilnega omrežja (GSM / UMTS / LTE) desetletja prenašajo okoljske in fizikalne podatke, se lahko dogodki, povezani s padci skal ali drobirskimi tokovi, jasno beležijo. Lokalno izmerjene vremenske podatke (veter, temperatura zraka, padavine ...) je treba le še povezati z zabeleženimi podatki v sistemu GUARD.

V okviru tega projekta bomo na varovalne pregrade v Brezovškem grabnu namestili več varoval, da bi: i) ocenili korozijo mrež in ii) prepoznali posamezne drobirske tokove (tudi posamezne sunke) z merjenjem udarcev na pregrade (pospeški do 200 g) in sil v vrveh pregrad (do približno 300 kN), ob poznavanju orientacije varovala.

Teren okoli varovalne pregrade bomo nadzirali z videonadzorom z uporabo npr. preprostih lovskih kamer, ki se uporabljajo za fotografiranje divjih živali. Takšne kamere se lahko sprožijo zaradi gibanja drobirskega toka tik pred trkom v varovalno pregrado. Videonadzor bo izboljšal razumevanje dinamike drobirskega toka na zadrževalnem območju nad vsako lovilno mrežasto pregrado.

Načrtujemo več občasnih terenskih meritev za oceno količine zadržanih hudourniških naplavin po vsakem dogodku (drobirska poplava, drobirski tok). V ta namen načrtujemo snemanja z brezpiilotnim letalnikom, podprta s stereofotogrametrijo in/ali terestričnim laserskim skeniranjem.

Spremljanje abrazije betonov

Trajnost konstrukcij za varstvo pred hudourniki je odvisna od lokacije in številnih dejavnikov okolja (kot so temperatura zraka, osončenost, sneg in dež, zmrzal in kemično preperevanje, udarci kamenja ali drobirskih tokov, itd....), ki so prisotni, ter od uporabljenih materialov za njihovo izdelavo (kot so trajnost betona, korozija jekla, propadanje lesa, ...).

V tem projektu nadgrajujemo pozitivne izkušnje v zvezi z abrazijsko obstojnostjo betonskih mešanic, ki se uporabljajo za hidravlične konstrukcije (Kryžanowski in ostali 2009; 2012). Tako je predvidena njihova nadgradnja s preiskavo v zahtevnejšem hudourniškem okolju, ki mu vladajo drobirske poplave in drobirski tokovi in ne suspendirane obremenitve, kot je bilo v preteklosti na spodnji Savi. Za takšne preskuse trajnosti betona je treba natančno poznati mehanske obremenitve, ki povzročajo abrazijo. Takšni terenski testi dobro ustrezajo laboratorijskemu standardiziranemu testu podvodne abrazije betona (ASTM, 2006).

V okviru tega projekta bomo izvedli terenske meritve abrazijske odpornosti betonov, načrtovani koraki so naslednji:

- betonske plošče velikosti 50 x 50 cm smo že pripravili v laboratoriju z uporabo štirih različnih receptur (po dve plošči za vsako recepturo),
- postavitve betonskih plošč v jekleni ali leseni okvir na strugo hudournika v Brezovškem grabnu gorvodno od najbolj gorvodno ležeče mrežne pregrade,
- sistematične občasne meritve abrazije plošč,
- plošče bodo na koncu poskusa odstranjene in stehane v laboratoriju, da se natančno ugotovi sprememba teže zaradi abrazije.
- s pomočjo podatkov o hudourniških naplavinah, ki se odlagajo pred mrežno pregrado, bo ocenjena dejanska prodonosnost in ta vrednost uporabljena za interpretacijo rezultatov stopnje abrazije štirih vrst betonskih mešanic.

Zaključek

V prispevku opisan primer je prikaz celovitega pristopa k obravnavanju hudourniške problematike. Pogosto se zanemari ukrepe, ki bi bili potrebno v zaledju, kjer problem nastaja (erozija, sproščanje plavin, zemeljski plazovi). V tem primeru pa je Direkcija za vode RS problem obravnavala celovito in po izvedbi vseh ukrepov bo prikazano območje lep primer dobre prakse. Še posebej je ta primer zanimiv zato, ker so uporabljeni neklasični pristopi (za Slovenijo) za reševanje erozije v nedostopnih območjih. Poleg same zaščite in sanacije območja, pa je opisan primer lep prikaz, kako je možno na praktičnem primeru izvajati tudi razvojne naloge od katerih bo napredovala celotna stroka. Z zgoraj opisanimi raziskovalnimi meritvami in opazovanji, bo storjen velik korak naprej v razumevanju problematike transporta plavin na hudournikih kot tudi glede uporabe ustreznih materialov, predvsem betona. Zaključki raziskav bodo uporabni za reševanje podobne problematike in predvsem načrtovanje hudourniških objektov pri

nas. Zaradi obsega izvedenih del, je predstavljeni objekt zanimiv tudi v širši regiji.

Viri

- ASTM C 1138M-05 (2006). Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete (Underwater Method). Annual Book of ASTM Standards, vol. 04.02. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, pp. 621-624.
- Geobruigg (2022). Geobruigg GUARD: Remote Status Monitoring. <https://www.geobruigg.com/en/Geobruigg-GUARD-157047,7859.html>
- Geološko poročilo s kartiranjem območja in idejna zasnova ureditev hudourniškega območja nad spodnjo postajo žičnice Krvavec (TEMPOS d.o.o., 127/2018, avgust 2018).
- REKA – Sanacija struge od mostu pri sp. postaji gondole Krvavec do zaplavne pregrade – PZI (TEMPOS d.o.o., 102/2019, januar 2019)
- Zaplavna pregrada in ureditev sotočja Brezovškega in Lukenjskega grabna - PZI (TEMPOS d.o.o., 113/2019, marec 2019)
- Zaplavna pregrada in ureditev sotočja Brezovškega in Lukenjskega grabna - DGD (TEMPOS d.o.o., 113/2019, april 2021)
- Fleksibilne pregrade na Brezovškem in Lukenjskem grabnu pod Krvavcem - PZI (TEMPOS d.o.o., 144/2021, junij 2021)
- Kryžanowski A., Mikoš M., Šušteršič J., Planinc I. (2009). Abrasion Resistance of Concrete in Hydraulic Structures. American Concrete Institute (ACI) Material Journal. 106(4): 349-356.
- Kryžanowski A., Mikoš M., Šušteršič J., Ukrainczyk V., Planinc I. (2012). Testing of Concrete Abrasion Resistance in Hydraulic Structures on the Lower Sava River. Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering. 58: 245-254. DOI:10.5545/sv-jme.2010.217