

VELIKE PRIRODNE BRANE S OSVRTOM NA ONE NASTALE KLIZANJEM

Prof. dr. sc. Tanja Roje-Bonacci, dipl.ing.grad.

1. UVOD

Velika klizišta i odroni nastaju kada se pokrenu padine na rubu stabilnosti, potaknute nekom od prirodnih sila koje izazivaju katastrofe. One nastaju tijekom cijele geološke prošlosti pod djelovanjem egzogenih sila, u procesu oblikovanja Zemljine površine (Bertolini et al. 2004.).

Pod djelovanjem gravitacije pokreću se nestabilni dijelovi površinskog pokrivača u nastojanju da se neravna površina Zemlje izravna. Pri tom neke od tih nakupina raznorodnog tla i svega što se na njemu u trenutku pokretanja našlo zapune korito vodotoka, privremeno ili trajno, i oblikuju jezera, također privremena ili trajna. Na ovaj način nastaju brane više i od najviših izgrađenih nasutih brana. (Shuster, 2000.).

Najstarije zabilježeno klizanje s pregrađivanjem vodotoka zabilježeno je u središnjoj Kini u provinciji Huan 1737. godine prije Krista. Klizanje je bilo potaknuto potresom, a pregrađena su korita rijeka Yi i Lo (Xue-Cai i An-ning 1986.). U povijesnim zapisima iz Europe, postoje podatci o velikoj poplavi nastaloj uslijed proloma brane nastale klizanjem obale 563. godine u Švicarskoj (Eisbacher i Clague, 1984.). Na otoku Javi zabilježen je slučaj klizanja s pregrađivanjem vodotoka 1006. godine. Tada je na jugozapadnom obronku vulkana Merapi došlo do odrona stijenja koje je stvorilo branu. Duboko jezero, koje je nastalo iz brane, potopilo je hinduističke hramove i još neke spomenike (Holmes, 1985.). U francuskim Alpama je 1191. godine nastala brana koja je popustila nakon 28 godina i potopila dio Grenobla.

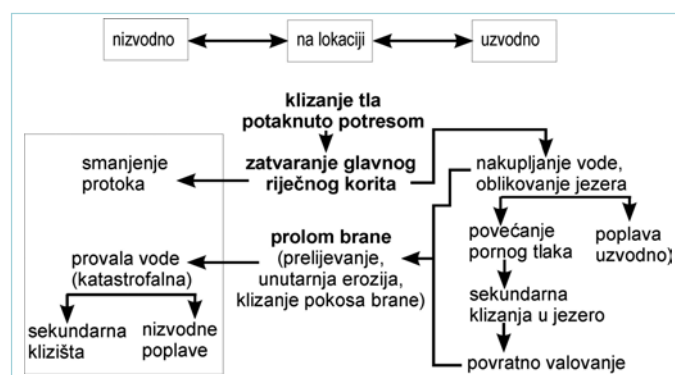
Velika većina ovih brana bude prije ili kasnije prelivena vodama jezera koja se stvaraju iza njih, a što uzrokuje njezin prolom s katastrofalnim posljedicama izazvanim poplavama u nizvodnom području.

Najgora do sada zabilježena takva poplava nastala je 1786. godine u Kini. Uslijed Kangding-Louding potresa u provinciji Sichuan, klizište je pregradilo rijeku Dadu. Brana se prolomila uslijed naknadnog potresa i prelijevanja, nakon 10 dana. Poplava je putovala 1400 km nizvodno, a računa se da je život izgubilo oko 100000 ljudi. (Lee, Dai, 2011.).

2. O PRIRODNIM BRANAMA OPĆENITO

Prirodne brane nastaju na različite načine i u najrazličitijim geološkim i morfološkim uvjetima. One su uzrok nastanku jezera. Prvi zapisi o branama koje tvore jezera u novijoj literaturi sežu u 1882. kada je Davis izvršio općenitu, ali učinkovitu razradbu jezerskih bazena prema načinu postanka. On ih je podijelio na konstruktivne, destruktivne i obstruktivne. Ovu je razradbu upotpunio Hutchinson (1957.). Costa i Schuster (1988.a) su objavili dio podjele Davisa i Hutchinsona, koji se odnosi na obstruktivno ili smetajuće nastale jezerske bazene uzrokovane pojavom prirodnih brana. Njihova podjela prikazana je u [tablici 1](#).

Spomenuti rad Coste i Schustera iz 1987. godine prvi se sustavno bavi prirodnim branama koje su opasne za okolinu u smislu da svojim nastankom prouzročuju izrazito velike štete bilo da se nakon nekog vremena prolome ili da ostanu kao trajne pregrade koje oblikuju jezera u svom zaleđu. U tom se smislu mogu svrstati u elementarne nepogode. U radu se bave branama nastalim klizanjem tla, glečerskim branama i morenskim branama koje su se pokazale najopasnije po okoliš. Opasne su kada se prolome nakon vremena koje je dovoljno dugo da se iza njih skupi veća količina zarobljene vode. U trenutku njihovog proloma nastaje rušilački poplavni val. On uzrokuje daljnje katastrofalne pojave nizvodno. Ovo je



Slika 1 Utjecaj pregrađivanja korita vodotoka kliznom masom na okoliš (poticaj ne mora nužno biti potres)

Tablica 1 Vrste obstruktivnih, (smetajućih), prirodnih brana s primjerima (Costa & Schuster 1988)

Izvor gradiva	Vrsta brane	Primjer
Vulkanska brane		
	vulkanski krater	jezero Nicaragua, Nikaragva
	pregrada od toka lave	jezero Sang, Kalifornija
	pregrada od piroklastičnog toka	jezero Rio Magdalena, Meksiko
Brane nastale klizanjem boka		
	klizanje/odron tla**	jezero Earthquake, Montana; (Sarez, Tajikistan)
	muljni/zemljani/tok miješan s otpadom*	jezero San Cristobal, Colorado
	lavina stijanja i zemlje s otpadom*	jezero Spirit, Washington
	likvefakcija snezitivnih glina	jezero Yamaska River, Quibek, Kanada
	klizanje treseta	jezero Addergoole Bog, Irska
	odron kršja	Gostwater, UK
Glacijalne brane		
	od leda	jezero Gapshan, Pakistan
	morenska	jezero Nostetuko, Kanada
	snježno-ledena lavina	Rio Plomo, Argentina
Rječne brane		
	nanos pritoka	jezero Pepin, Minesota-Wiskonsin
	nanos glavnog korita (bočna jezera)	jezero Tung-ting, Kina
	poplavne muljne pregrade	jezero Tulare, Kalifornija
	delte	jezero Blue, Kalifornija
	spojeno korito (u U zavoju rijeke)	Old River, Louisiana
Eolske brane		
	dine	jezero Moses, Washingron
Obalne brane		
	pregrađeni zaljev	Freshwater laguna, Eureka, Kalifornija
Organske brane		
	trupci i ostala vegetacija	jezero Okeechobee, Florida
	dabrove brane	jezero Beaver, (Dabrovo), Montana

*pod otpadom se podrazumijeva raslinje koje je kliznulo zajedno s padinom i predmeti koje je klizna masa pokupila na svom putu, do trenutka zaustavljanja.

naročito opasne vrste prirodnih brana označene su masnim slovima (bold**).

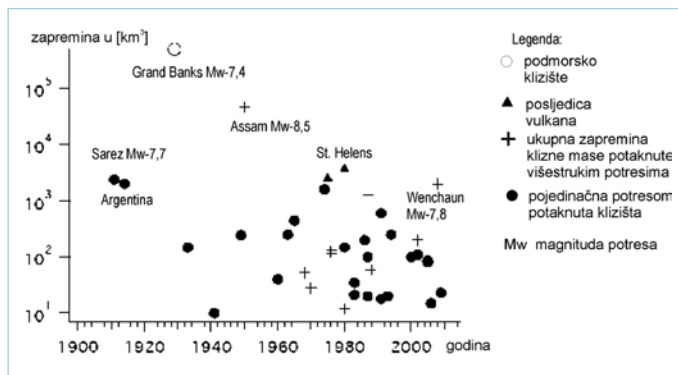
tek 2005. godine artikulirao Korup, u svom radu u kojem analizira pojave prirodnih brana na Novom Zelandu i njihov učinak na okoliš. Razmatrao je učinak brana nastalih klizanjem potaknutim potresima, koji su na Novom Zelandu učestali. Grafički je prikazao učinak ovih brana i zarobljene vode na okoliš. Dijagram je prikazan na slici 1.

Sustavni pregled podataka o klizanjima s pregrađivanjem vodotoka, tj. o prirodnim branama diljem

svijeta može se naći u radu Costa i Schuster, 1991. Oni tamo daju pregled 463 brane nastale klizanjem, za koje postoje bilo kakvi podatci u bilo kojem povijesnom razdoblju. Podatci su, za svaku od 463 brane, trebali sadržavati sljedeće: mjesto nastanka, datum nastanka, mehanizam koji je potaknuo klizanje, vrstu, veličinu, vrijeme i mehanizam klizanja, veličinu proloma, naknadno upravljanje, gradivo i referencu iz koje su podatci uzeti. Vremenski raspon nastanka ovih brana je od -1767. godine prije Krista do podataka do kojih su mogli doći u trenutku publiciranja rada. Jasno je da za svaku od nabrojanih brana nisu ni približno mogli sakupiti sve predviđene podatke, ali su sakupili barem trenutno dostupne.

Istovremeno s gore navedenim autorima pojavljuju se i drugi istraživači kojima pažnju privlače velika katastrofalna klizanja kao posljedica drugih elementarnih nepogoda kao što su potresi i vulkani. Tako Keefer 1984. objavljuje dijagram koji prikazuje velika klizanja po zapremini u odnosu na godinu nastanka za poznata klizišta u 20. stoljeću. Osim na kopnu, velika su klizanja zabilježena i pod morem.

Isti dijagram su za cijelo 20. stoljeće nadopunili Ambraseys i Bilham (2012.). Dijagram je prikazan na slici 2.



Slika 2 Značajna klizanja u 20. stoljeću (prema Keefer 1984.; nadopunjeno Ambraseys i Bilham 2012.)

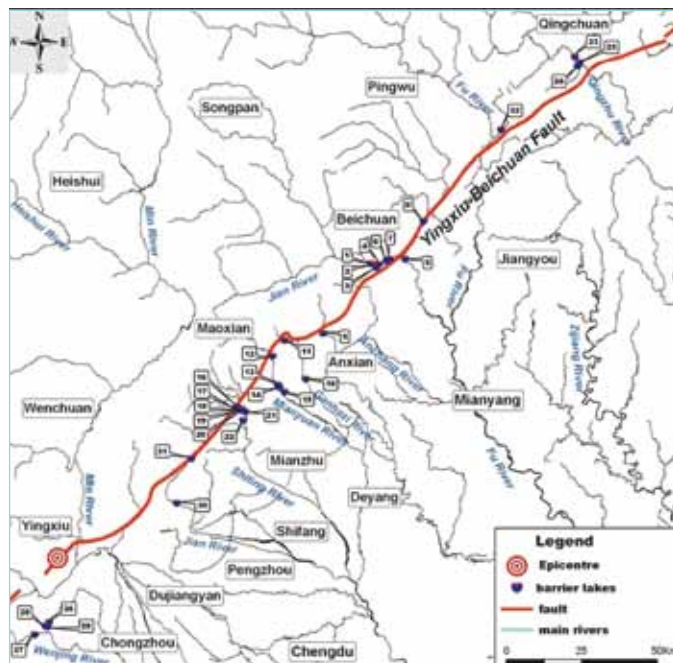
Izučavanje pojava prirodnih brana nastalih kao posljedica drugih prirodnih katastrofa kao što su potresi, erupcije vulkana i topljenje snijega, uz ili bez intenzivnih oborina, najvjerojatnije je nastao iz potrebe izučavanja katastrofe uslijed pojave muljnog toka nastalog nakon erupcije vulkana St. Helen 18. 05. 1980. godine u državi Washington, a koji je pregradio rijeku Columbia. Erupcija je izazvala gotovo trenutno topljenje snijega na vrhu planine (2250. m nm.). Voda je pokrenula tlo na padini brzinom od 140 km/sat i u nekoliko trenutaka nastala je blatna rijeka. Isto se dogodilo na nekoliko mjesta na vulkanskom stošću.

3. BRANE NASTALE KAO POSLJEDICA KLIZANJA

Okidač za pokretanje masa tla s padina, na granici stabilnosti su geofizičke pojave, reološke pojave i djelovanje čovjeka. To su intenzivne oborine i otapanje snijega, kao najčešći pokretač masa, a zatim potresi. Erupcije vulkana, progresivni slom bez vidljivih povoda, prolom prirodne brane uzvodno (npr. morenske) i ljudski faktor (potkopavanje, rudarenje i intenzivno natapanje) su također poznati pokretači, ali statistički manje utjecajni na promatranu pojavu. Kombinacija nekih od ili svih prethodnih učinaka također je mogući pokretač klizanja mase.



Slika 3 Umireni muljni tok kao posljedica erupcije vulkana St. Helen (Washington)



Slika 4 Položaj 32 izučene brane nastale nakon potresa 2008. godine u Kini (Xu et al. 2009.)

Pokretanje masa i nastanak prirodnih brana izazvanih vulkanskim erupcijama spadaju u posebnu grupu vrlo složenih pokreta. Dobar je primjer erupcija vulkana Mount St. Helen u državi Washington u SAD-u 1980. godine. Ova je erupcija, osim toka lave, izazvala muljni tok uslijed topljenja snijega na vrhu vulkana i kamenu lavinu nastalu uslijed potresa kao posljedice erupcije. (Wikipedia). Na slici 3 prikazan je dio učinka muljnog toka nakon erupcije vulkana St. Helen.

Kada pokrenuto tlo pregradi korito vodotoka u dnu padine može nastati prirodna brana, potpuno nekontrolirana građevina iza koje se oblikuje jezero. Njen nastanak ovisi o geometriji doline u koju je masa kliznula u odnosu na geometriju i količinu pokrenutog tla, svojstvima klizne mase i protoku vodotoka koji će masa pregraditi. (Evans, 2006.)

Zajednička osobina svih prirodnih brana je da su heterogene, potpuno nekontroliranog sastava, mogu sadržavati biljni pokrivač unutar mase tla, a morenske brane sadrže i komade leda raznih veličina. Potpuno su nepredvidivog ponašanja u budućnosti i nemaju kontrolirani preljev.

Postoji podatak da se nakon potresa 1783. godine u Kalabrij (Južna Italija) pojavilo 215 jezera nastalih pregrađivanjem korita (Canuti et al. 1988.). U Kini je 12. svibnja 2008. godine, nakon potresa u provinciji Wenchuan (jugozapadna Kina) zabilježen nastanak 30000 klizišta i 256 prirodnih brana od kojih su 32 detaljno obrađene (Xu et al. 2009.). Na slici 4 prikazan je geografski položaj ovih brana.

Prema broju pojava po državama, najviše registriranih ovakvih brana ima u Kini, zatim Japanu, SAD-u i Italiji.



Slika 5 Muljni tok je pregradio rijeku Gunnison (US Geological Survey)

Prema obliku, prirodne brane nastale klizanjem, mogu se podijeliti u tri osnovne vrste: brane nastale u uskim kanjonima koji su pregrađeni odronima stijena, kamenim lavinama, za koje nije potrebna velika količina klizne mase; brane nastale pregrađivanjem nizinskih riječnih korita muljnim tokom ili klizanjem (slamp), za koje je potrebna veća količina klizne mase, a koja ovisi i o širini vodotoka i brane nastale morenskim nanosom nakon otapanja leda iza čela morene, a koji onda na svom putu ponovo blokira vodotok.

Costa i Schuster dali su prikaz šest oblika prirodnih brana nastalih klizanjem (Roje-Bonacci 2009.):

Tip I: Nepotpuno pregrađeno korito;

Tip II: Potpuno pregrađeno korito s uzdizanjem mase tla na susjedni bok;



Slika 6 Kamena lavina

Tip III: potpuno pregrađeno korito i razlijevanje mase tla uzvodno i nizvodno;

Tip IV: klizanje obaju bokova koji se mogu susresti čeonno ili bočno;

Tip V: prstasto klizanje s više izdanaka koji pregrade korito i oblikuju više jezera;

Tip VI: podnožično klizanje tla ispod dna korita koje se uslijed klizanja proširi i podigne.

Najčešći oblici brana, utvrđeni na nizu primjera (Costa i Schuster, 1988.a), imaju oblik tipa II i III. Tip III može uzrokovati i pregrađivanje ušća pritoka i oblikovati više jezera.

Prema gradivu, brane nastale klizanjem tla mogu biti sastavljene od (Xu et al., 2009.): 1. tla i kršja, koje sadrži više od 50% čestica promjera od 20 do 200 mm; 2. tla i kršja s nešto većih blokova, ali koji sadržavaju više od 50% čestica tla i stijena promjera od 20 do 200 mm, dok su blokovi i komadi stijena veći od 200 mm; 3. gromada i blokova s malo čestica tla i kršja, više od 50% ukupne mase čestica ima promjer veći od 200 mm i 4. gromada i blokova promjera preko 200 mm, bez sitnijih čestica.

Prema sastavu mase koja zatrpava vodotok postoji sljedeća podjela: 1. muljni tok izazvan obilnim oborinama, sadrži u početku kretanja znatnu količinu



Slika 7 Klizište izazvano iskopom zasjeka za cestu u nožici padine na rubu stabilnosti

vode, nema nikakav otpor na smicanje; 2. obrušavanje, kamena lavina, većinom kao posljedica potresa, ali može biti potaknuta intenzivnim oborinama; 3. klizanje tla po kritičnoj kliznoj plohi, izazvano potresom, obilnim oborinama i/ili promjenom razine podzemne vode. Nekoliko primjera dano je na fotografijama koje slijede (slike 5, 6 i 7).

Iz analize koju je učinio Xu (2009.) brane nastale klizanjem tla imaju širok raspon visina. Iz 32 analizirane brane nakon potresa 2008. godine on daje dijagram prikazan na slici 8.

Najviša, do danas poznata, brana na svijetu je brana Usoi u istočnom Tadžikistanu u dolini rijeke Mugab. Visoka

je, prema raznim izvorima, od 500-700 metara i zatvara do danas poznatu najveću količinu vode zadržanu na ovaj način u svom jezeru Sarez. Nastala je 1911. godine uslijed potresa. Među ovim branama nisu neuobičajene visine između 100 i 200 metara.

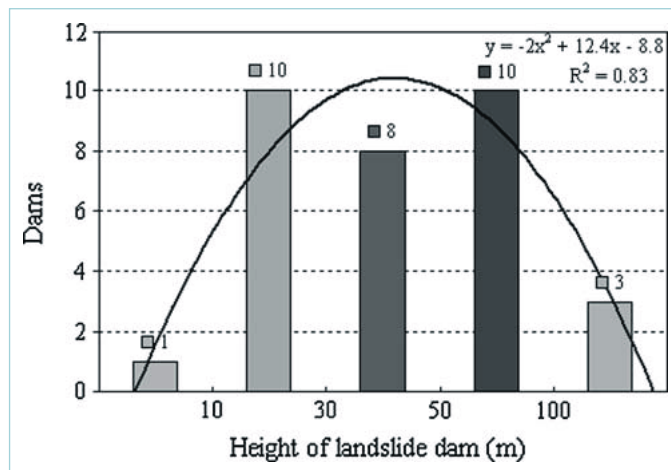
Prema raspoloživim statističkim podacima, prirodne brane nastale klizanjem traju od nekoliko sati do više od stoljeća. Neke su pravovremenom intervencijom, koja omogućava evakuaciju vode iz jezera, spašene i ostale su kao trajne i relativno sigurne. Slika 9 prikazuje dijagram trajanja brana prema Costa i Schuster (1988.a), koji je i danas u upotrebi (Schneider et al. 2011.).

Neke od ovako nastalih brana su čak toliko rekonstruirane i osigurane da su kasnije iskorištene za proizvodnju električne energije. Primjer je brana Zavoj u istočnoj Srbiji, nastala klizanjem tla u rijeku Visočicu 23.-27. veljače 1963., uslijed topljenja snijega. Brana je visoka 35 metara, duljine u kruni 150 metara i širine po koritu 500 metara. Kroz branu je izveden tunel promjera 2,5 metara za evakuaciju vode (Anagnosti 1988.).

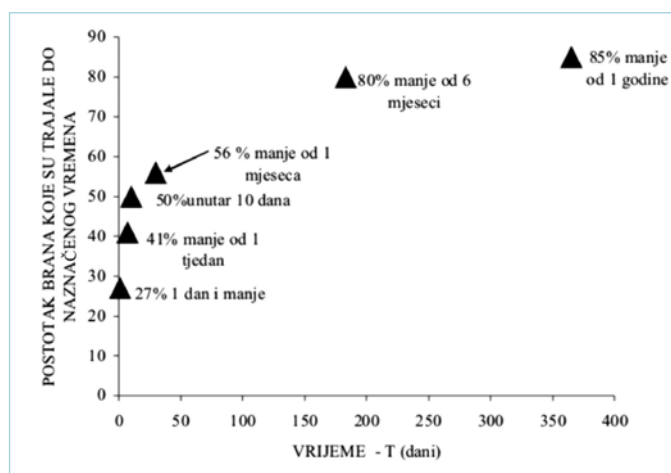
Jezero Quarto di Savio (Italija) nastalo je klizanjem mase s planine Montalto 1812. godine. Podatak o dubini je provjeren, kada je bilo moguće, geofizičkim metodama i utvrđena je visina mase koja je pregradila jezero na oko 100 m. Ova je brana 1828. godine, za vrlo sušnog ljeta, rekonstruirana na način da je nešto snižena, tako da se oblikovao preliv kojim je voda kontrolirano odvedena nizvodno na skupinu mlinova. Kasnije (1923. g) na ovoj brani je dograđena betonska brana za potrebe proizvodnje električne energije. Brana je još uvijek u funkciji, ali je problem odlaganja nanosa u jezero velik (Casagli et al. 2001.).

Koliko su ove brane opasne, bez obzira na njihovu starost, pokazuju podatci u tablici 2.

Osim brana nastalih klizanjem, vrlo su opasne glede naglog rušenja morenske brane. One nastaju kada se ledenjak spusti dovoljno nisko, tako da je tokom ljetnih mjeseci moguće topljenje leda iza čela. Sama morenska brana nastaje od gradiva koje ledenjak gura ispred svog čela. U takvoj nakupini, osim tla i stijena, ima i komada leda. Brana je potpuno nekontroliranog sastava koji je nemoguće niti prognozirati. Najčešće se prolom ovih brana dogodi kada se u jezero odlomi komad leda i izazove prelijevanje jezera. Na slici 11 je prikazana jedna takva prolomljena brana. Česta su pojava u Andama i drugim vrlo visokim planinama. Posljedice su nešto blaže, jer se uglavnom prolomi događaju u nenaseljenim područjima.



Slika 8 Visine brana nastalih klizanjem nakon potresa 2008. u Kini (Xu, 2009.)



Slika 9 Trajanje prirodnih brana nastalih klizanjem tla (Costa i Schuster 1988.a)



Slika 10: Brana jezera Quarto di Savio, ojačana i stavljena u funkciju proizvodnje struje

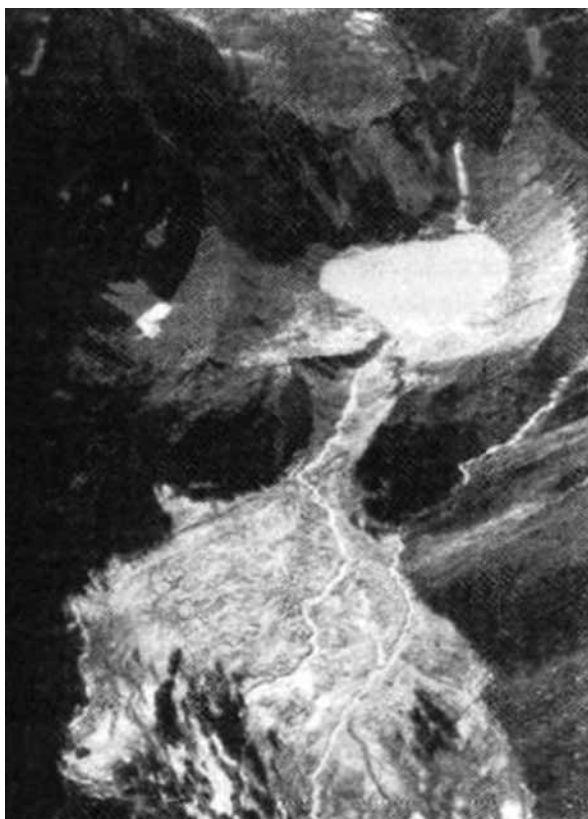
Tablica 2 Nekoliko poznatih povijesnih slučajeva rušenja prirodnih brana nakon što su trajale niz godine

rjeka ili lokacija	godina nastanka	trajanje i uzrok rušenja	šteta
r. Romanche, francuske Alpe	1191.	28 g., erozija nizvodne kosine	poplava u Grenoblu
r. Ojik, Japan	1683.	40 g.	katstrofalna poplava
r. Tegernach, j. Yashinkul, Kirgistan	1835.	133 g., sufozija	

Prolomi prirodnih brana uzrokovani su najčešće prelijevanjima kao morenska brana na slici 11.

Najčešći uzrok rušenja prirodnih brana je prelijevanje, vrlo rijetko sufozija i klizanje. Prelijevanje može nastati uslijed dugotrajnog kišnog razdoblja i dovoljno brzog podizanja zajezerene vode, ali i uslijed pojava klizanja obala koje izaziva novo nastalo jezero. Tako nastali vodni val prelije krunu i izazove eroziju nizvodne nožice. Tada se oblikuje poplavni val, ali i muljni tok od ostataka brane koji ponovo može blokirati vodotok. Ova se pojava događa i na umjetnim jezerima iza izgrađenih brana i može biti vrlo opasna. Najdrastičniji primjer je klizanje južnog boka planine Mt. Toc u jezero Vajont 1963. godine. Poplavni val je potpuno razorio naselje Longarone u dolini rijeke Piave u sjevernoj Italiji. Pojava je uočena i na umjetnom jezeru iza brane Tri klanca u Kini (slika 12). Jezero Tri klanca je preveliko da bi se osjetio poplavni val na brani, ali su klizanja potopila nekoliko ribara na jezeru i uništila novo izgrađenu infrastrukturu na obali.

Učinci poplava nakon proloma brane su katastrofalni. Povijesni podatci govore da je u Kini 1786. godine (01. 06.), katastrofalni potres magnitude $M=7,75$ u području Kangding –Ludinga prouzročio klizanje u korito rijeke Dadu (Dai et al. 2005.). Brana je trajala dovoljno dugo – 10 dana (pukla 10. 06.) da zarobi veliku količinu vode, a prolomila se nakon jačeg potresa koji je slijedio iza glavnog udara. Prema pisanim kineskim dokumentima poplava je potopila oko 100000 ljudi. U novije doba



Slika 11 Prolomljena morenska brana s nizvodnim poplavljenim područjem



Slika 12 Klizište na obali jezera Tri klanca u Kini

Kineska država, poučena iskustvom iz prošlosti, ulaže velike napore u rano obavještanje, tako da u 20. stoljeću i u najnovijim takvim događanjima ima znatno manje žrtava.

4. BRANA USOI I JEZERO SAREZ

Brana Usoi i jezero Sarez nalaze se u Pamir gorju u istočnom Tajikistanu. Jezero je nastalo 18. veljače 1911. godine nakon što je potresom pokrenuto klizište ogromnih razmjera, procijenjeno na oko 2-3 km³ tla. Klizna masa zatvorila je korito rijeke Murghab, pritoke Batrang rijeke. Rijeka Batrang utječe u rijeku Pyanj, koja teče granicom između Afganistana i Tadžikistana, da bi skrenula prema rijeci Amu Darya, koja utječe u Aralско more. Površina mu je na nadmorskoj visini od cca 3200 m nm.. Jezero je dugačko oko 60 km i duboko oko 500 m. Današnja količina vode u jezeru, oko 17 km³, iznosi dvije trećine količine vode Ženevskog jezera. Smatra se da je to danas najveće jezero nastalo iza jedne ovakve brane. Klizište je zatrpalo selo Usoi po kojem je brana dobila ime (Alford et al. 2000.)

Prirodna brana Usoi je, procjenjuje se, visoka između 500 i 700 metara, te je kao takva apsolutno najviša brana na svijetu. Dužina u kruni iznosi 1370 metara. U uzdužnom presjeku, duž korita, duga je oko 4000 m. Iz povijesnih podataka zna se da je dvoje ljudi iz sela Usoi preživjelo katastrofu jer su na vrijeme pobjegli. Oni su ispričali da se prašina nakon klizanja taložila puna tri

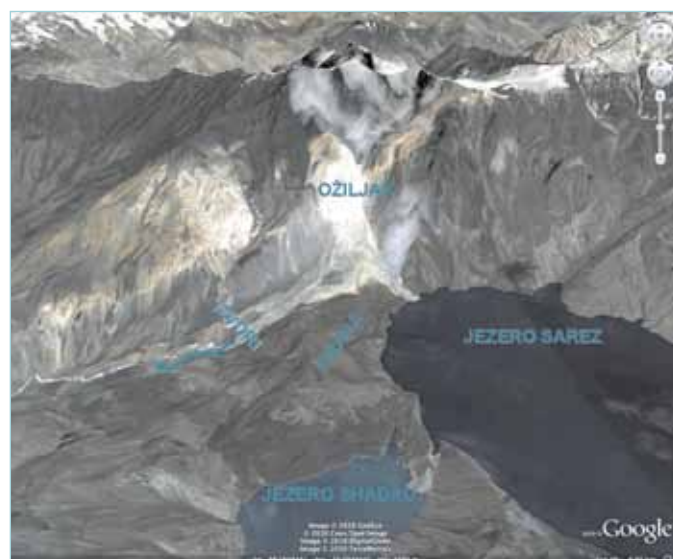


Slika 13 Položaj brane Usoi i jezera Sarez u istočnom Tajikistanu

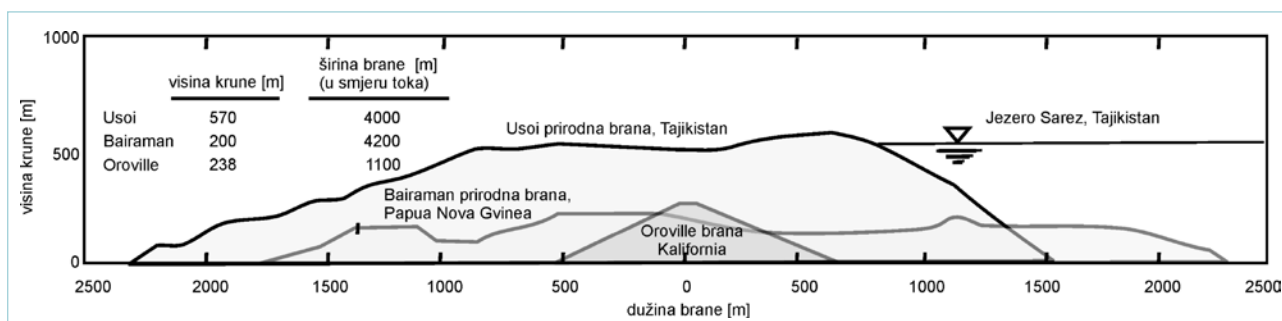
dana. Također je iz postojećih podataka poznato da su povremena obrušavanja stijena s padine nastale nakon klizanja, trajala još gotovo 15 godina (Agakhanjanz 1989., 1996.). Na slici 14 prikazana je brana Usoi, dio jezera Sarez i manje jezero nazvano „Shadau ozero“ (Preobrazhenski 1920.)

Najviša izgrađena nasuta brana na svijetu je brana Nurek, visoka 315(305?) metara, također u Tajikistanu, nešto zapadnije. Na slici 15 prikazana je brana Usoi u poprečnom presjeku, duž korita Murghab-a u usporedbi s prirodnom branom Bairaman, papua Nova Gvineja i nasutom građenom branom Oroville u Kaliforniji. Može se uočiti golemost ove brane.

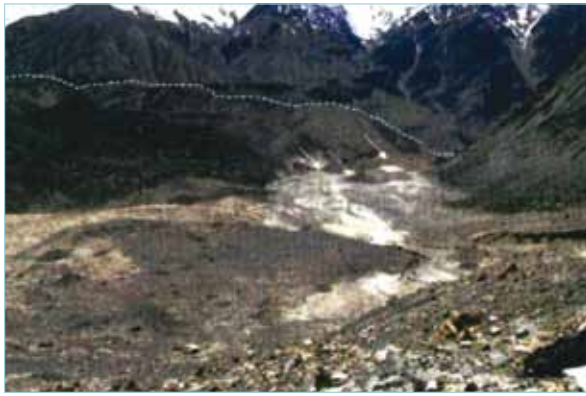
Jezero je ime dobilo po selu Sarez koje je potopilo. Razina jezera Sarez je u početku rasla brzinom od 75. metara godišnje. Postepeno se brzina punjenja smanjila i na kraju stala. Danas razina oscilira oko $\pm 6,00$ metara. Područje na kojem se jezero nalazi okruženo je planinskim lancima visine i preko 6000 m nm. Ovaj prostor ima



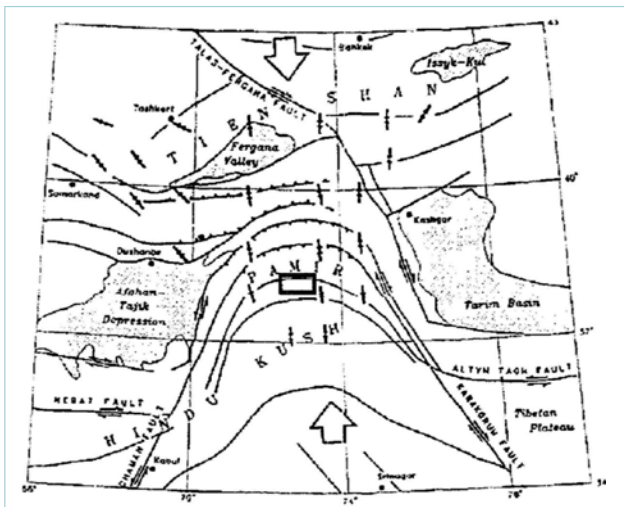
Slika 14 Brana Usoi, s pripadnim jezerima i izvorima na nizvodnom pokosu. U sredini gore je ogoljena klizna ploha



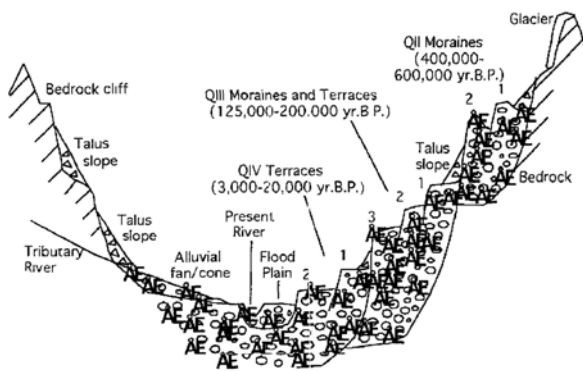
Slika 15 Usporedba presjeka tri brane duž korita vodotoka



Slika 16 Izvori na nizvodnoj kosini brane Usoi, kroz koje se prazni jezero Sarez (crtkano kontura brane)



Slika 17 Tektonska karta područja Pamira (Hanisch i Söder 2000.)



Slika 18 Geomorfologija dolina rijeka u Pamiru (Watanabe 2000.)

vrlo malu godišnju količinu oborina, svega oko 100 mm godišnje. S obzirom na veliku površinu jezera od 7970 hektara, evapotranspiracija odnosi dio vode iz jezera. Utvrđeno je da brana nikada nije bila poplavljena, tj. prelijevana. Evakuacija vode odvija se procjeđivanjem kroz branu na oko 150 metara ispod krune. Na slici 16 prikazani su izvori na nizvodnoj kosini brane (Alford et al. 2000.).

Na satelitskoj se snimci jasno vidi oblikovanje novog vodotoka u koritu nizvodno od brane.

Brana Usoi nalazi se u seizmički vrlo aktivnom području. Stoga postoji bojazan da bi neki od jačih potresa mogao prouzročiti njeno veće oštećenje ili čak i rušenje. Kroz 90. godine prošlog stoljeća počela se ovoj brani posvećivati određena pažnja. Počelo se učestalije osmatrati njeno ponašanje iz više razloga. Utvrđeno je da vodostaj raste oko 5 cm/god. pa bi i to jednog dana moglo ugroziti branu. Pretpostavka, temeljena na dosadašnjem iskustvu, je da bi se na obalama mogla pojaviti klizišta. Ona bi pak mogla uzrokovati poplavni val koji bi u slučaju prelijevanja brane mogao biti koban za nizvodna područja čak i do Aralskog jezera (Alford et al. 2000.)

Osim spašavanja same brane kao takve, javila se i ideja korištenja njenog ogromnog potencijala u proizvodnji energije i navodnjavanju. Stoga je 1999. godine organiziran obilazak brane i ozbiljno razmatranje njenih potencijalnih mogućnosti. Na slici 17 je tektonska karta šireg područja Pamira s položajem brane Usoi u pravokutniku. Može se primijetiti niz aktivnih rasjeda. Strelice označavaju kretanje ploča Hindukuša prema sjeveru i Tjen Shana prema jugu. Ova aktivnost pretpostavlja moguću pojavu novih razornih potresa.

Prilikom obilaska lokacije od strane UN-a izrađen je i prognozni inženjersko geološki profil dolina u području Pamira, u koje spada i dolina rijeke Mugab. Postaje jasno zašto je nastala ova brana, ali i velika vjerojatnost da bi se na obalama jezera mogla pojaviti klizišta.



Slika 19 Brana Usoi „A“ i potencijalno klizište na sjevernoj obali „B“ (iz Usoi Dam Wave Overtopping and Flood Routing in the Bartang and Panj Rivers, Tajikistan, J. Risley, J. Walder, and R. Denlinger U.S. Agency for International Development.)



Slika 20 Obrisi potencijalnog klizišta na sjevernoj obali jezera Usoi (područje označeno kao B sa slike 19) (Hanisch i Söder 2000.)



Slika 21 Istraživački tim UN-a u dolini Batang (Alford et al. 2000.)

Obale jezera je moguće obići isključivo čamcem, što je ekspedicija UN-a i učinila. Utvrđeno je da postoji aktivno klizište na obali u jezero. Nalazi se na sjevernom obronku jezera u blizini brane i nakon značajnog pomaka id cca 100 m se zaustavilo. To je još jedna moguća prijetnja stabilnosti brane. Ovo je klizište opasno upravo zbog blizine brane i mogućnosti njenog prelijevanja u slučaju naglog klizanja u jezero. Položaj klizišta u odnosu na branu prikazan je na slici 19.

Pogled na klizište s označenim obrisima prikazano je na slici 20.

Obilazak brane i jezera organiziran 1999. godine imao je zadatak: procijeniti opću stabilnost brane Usoi; procijeniti trenutno stanje i učinak procjeđivanja vode kroz branu i mogućnost pojave „Cijevljenja“; procijeniti vjerojatnost pojave klizišta na desnoj obali

jezera; u suradnji s domaćim seizmolozima procijeniti seizmičnost područja i mogući učinak potresa na branu. Slika 21 pokazuje uvjete prilaza ekspedicije UN-a brani Usoj kroz Batang dolinu.

Eksperti su predvidjeli sljedeće scenarije moguće procjene rizika: Rušenje brane uslijed potresa; prolom brane uslijed unutarnje erozije; prolom brane uslijed prelijevanja izazvanog valom nastalim klizanjem desne obale u jezero; destabilizacija brane izazvana pritiskom vode na branu; klizanje uzvodne i nizvodne kosine; progresivni gubitak stabilnosti brane i njene okoline uslijed novih klizanja i muljnih tokova. Rad grupe eksperata detaljno je opisan u radu Alford et al. 2000.

Najčešći način zaštite prirodnih brana od rušenja je izrada sigurnog i stabilnog preljeva ili nekog drugog načina evakuacije velikih voda (npr. tunelom). Izrada preljeva često je vrlo opasan zahvat jer se radi o općenito nestabilnoj masi tla. Brana Usoi je i u tom smislu posebna. Ozbiljnim pregledima, proračunima i izračunom potrebnih sredstava za bilo kakav zahvat, uvijek se dolazilo u slijepu ulicu. Brana se naime nalazi u vrlo nepristupačnom, slabo naseljenom području i u vrlo siromašnoj državi. Cijena izgradnje prometnice potrebne da se pristupi samoj brani iziskivala bi golema sredstva. Stoga je obilazak zaključen nizom preporuka za sprječavanje katastrofe i ublažavanje njezinih posljedica koje su velikim dijelom u ovom udaljenom, siromašnom i nepristupačnom kraju neizvedive. ■

IZVORI:

- Agakhanjanz, O. E. (1989.) *Sarez*. Leningrad: Leningrad Press, 110 pp.
- Agakhanjanz, O. E. (1996.). *A night in the Year of the Pig*. In *Around the Roof of the World*, ed. N. Shoumatoff and N. Shoumatoff, 122– 143. Ann Arbor, Michigan: University of Michigan Press.
- Alford, D; Schuster, R, at all,, (2000.), *Usoi Landslide Dam and Lake Sarez*, An Assessment of Hazard and Risk in the Pamir Mountains, Tajikistan, (D, Alford nabd R, Schuster eds.), United Nations Publication, ISDR Prevention series N° 1
- Ambraseys, N, Bilham, R, (2012.) *The Sarez-Pamir Earthquake and landslide of 18. February 1911.*, SRL 83:2-Historical seismologist, str 1–29
- Anagnosti, P. (1988.) *Contribution of Yugoslavia, Land Slides*. International workshop on natural disasters in European-Mediterranean countries, 27. 06. -01. 07. 1988., Perugia, Italy
- Bertolini, G., Casagli, N., Ermini, L., Laudio Malaguti, C. (2004.) *Radiocarbon Data on Lateglacial and Holocene Landslides in the Northern Apennines*. *Natural Hazards* 31: 645–662.
- Casagli, N. i Ermini, L. (2001.). *Landslide Dam Management: from Hazard Source to Environmental Resource*. *Water Resources Management in a Vulnerable Environment for Sustainable Development*, National Research Council of Italy, Perugia, 209–218 str.
- Costa J.E., Schuster R.L. (1988.a), *The formation and failure of natural dams*. *GSA Bulletin*, 100: 1054–1068.
- Costa J.E., Schuster R.L. (1988.b), *Investigation of Landslide Dams*. *International Workshop on Natural Disasters in European-Mediterranean Countries*, WARREDOC, Italian University for Foreigners, 27 June–01 Jule, Peruggia, Italy
- Costa J.E., Schuster RL (1991.) *Documented historical landslide dams from around the world*. *US Geological Survey Open-File Report: 91–239*, 486 str., Vancouver, Washington
- Davis, W. M.(1882.), *On classification of lake basins*. *Proceedings, Boston Society of Nat ural History*, v. 21, p. 315–381.
- Dai, F.C., Lee, C.F., Deng, J.H., Tham, L.G. (2005.), *The 1786 earthquake-triggered landslide dam and subsequent dam-break flood on the Dadu River, southwestern China*. *Geomorphology* 65 (2005.) 205-221.

- Eisbacher, G.H., and Clague, J.J. (1984.) *Destructive mass movements in high mountains: hazard and management*: Geological Survey of Canada Paper 84-16, 230 p.
- Hanisch, J., Söder, C-O. (2000.), Chap 3.: *Geotechnical assessment of the Usoi landslide dam and the right bank of lake Sarez*. U Usoi Landslide Dam and Lake Sarez, An Assessment of Hazard and Risk in the Pamir Mountains, Tajikistan, (D, Alford nabd R, Schuster eds,), United Nations Publication, ISDR Prevention series N° 1str 23-42
- Holmes, A. (1985.), *Principles of physical geology*: Ronald Press, New York, p. 485-487.
- Hutchinson, G. E. (1957.) *A treatise on limnology*, Volume 1: New York, John Wiley&Sons, 1015 p.
- Keefer, D. K. (1984.). *Landslides caused by earthquakes*. Geological Society of America Bulletin **95** (4), 406-421.
- Korup, O. (2005.) *Geomorphic hazard assessment of landslide dams in South Westland*, New Zealand: fundamental problems and approaches. *Geomorphology* 66:167-188
- Lee, C.F. Dai C. F. (2011.) The 1786 Dadu River Landslide Dam, Sichuan, China Natural and Artificial Rockslide Dams. *Lecture Notes in Earth Sciences*, Volume 133, 2011, pp 369-388
- Preobrazhenski, I. A. (1920.). *Usoiskii zaval*. Trudi Geologiska Kommitte Materiali po Obshchei Prikladnoi Geologis 4, Petrograd.
- Roje-Bonacci, T. (2009.) *Origin, Duration and Reclamation of Natural Dams*. In: Bauer, Semprich, Zenz, (ur.), Long term Behaviour of Dams, Proceedings of the 2nd International Conference, 12.-13. Oct. 2009., Graz, Austria
- Schneider, J.F., Gruber, F.E., Mergili, M. (2011.) *Recent cases and geomorphic evidence of landslide-dammed lakes and related hazards in mountains of Central Asia*. Proceedings of second World Landslice Forum, 3.-7. Oct. 2011., Romr, Italy
- Schuster, R. (2000.), Chap 2.: *A worldwide perspective on landslide dams*, U Usoi Landslide Dam and Lake Sarez, An Assessment of Hazard and Risk in the Pamir Mountains, Tajikistan, (D, Alford nabd R, Schuster eds,), United Nations Publication, ISDR Prevention series N° 1str 19-22
- Watanabe, T. (2000.), Chap 5.: *Environmental impact assessment: geomorphology of the Batrang and Kudara valleys*. U Usoi Landslide Dam and Lake Sarez, An Assessment of Hazard and Risk in the Pamir Mountains, Tajikistan, (D, Alford nabd R, Schuster eds,), United Nations Publication, ISDR Prevention series N° 1str 53-58
- Xue-Cai, F., and An-ning, G., 1986, The principal characteristics of earthquake landslides in China: *Geologia Applicata e Idrogeologica* [Italy], v. 21, part 2, p. 27-45.
- Xu, Q., Fan, X-M., Huang, R-Q., Westen, C.V. (2009.) *Landslide dams triggered by the Wenchuan Earthquake, Sichuan Province, south west China*. *Bull Eng Geol Environ* (2009.) 68:373-386