

PREGLED LITERATURE O SIVIH, ZELENIH IN HIBRIDNIH UKREPIH ZA ZMANJŠEVANJE OGROŽENOSTI ZARADI PLAZOV

V tem poglavju je predstavljen pregled literature o sivih, zelenih in hibridnih ukrepih za zaščito pred zemeljskimi plazovi. Pri pregledu izbranih ukrepov so bili upoštevani vidiki, kot so izvedljivost, stroškovna učinkovitost, prilagodljivost, kompleksnost vzdrževanja, vpliv na podnebne spremembe in njihovo blaženje. Poleg tega sta za vsak ukrep predstavljena kratek povzetek in študija primera. Preden pa se poglobimo v podrobnosti o vsakem ukrepu, je treba najprej omeniti, kako so bili ti ukrepi razdeljeni med te tri različne kategorije.

Tako je bila v zvezi s sivimi ukrepi izbrana tradicionalna in konvencionalna (siva) infrastruktura za zmanjševanje tveganja nastanka plazov. V primerjavi z drugimi metodami zmanjševanja tveganja zemeljskih plazov sivi ukrepi vizualno predstavljajo togo infrastrukturo, ki je običajno izdelana iz nerazgradljivih materialov, kot sta beton ali jeklo, in za katero je znano, da ima prevladujoč "siv" vizualni učinek. Poleg tega tovrstni ukrepi običajno zagotavljajo omejene ekosistemske storitve ali jih skorajda ne zagotavljajo. Zeleni ukrepi pa imajo v primerjavi z drugimi kategorijami zmanjševanja ogroženosti pred plazovi prevladujoče ekosistemske funkcije in so večinoma izdelani iz razgradljivih materialov. Čeprav je v fazi izvajanja za izgradnjo zelenih ukrepov običajno potrebna določena tehnična oprema, imajo ti ukrepi pozneje po postavitvi običajno le "zeleni" vizualni učinek. V zvezi s hibridnimi ukrepi so bile izbrane rešitve za zmanjševanje ogroženosti pred plazovi, ki vključujejo elemente tako sivih kot zelenih ukrepov. Omeniti je treba tudi, da se v tem primeru hibridni ukrepi nanašajo predvsem na tiste rešitve, ki so vizualno videti bolj zelene in zagotavljajo določene ekosistemske storitve, vendar še vedno vsebujejo elemente sive infrastrukture, ki omogočajo, da ukrep opravlja svojo funkcijo.

V preglednicah 1 in 2 so navedeni izbrani sivi, zeleni in hibridni ukrepi ter opisi parametrov, ki so bili analizirani med pregledom literature za vsak posamezen ukrep.

Preglednica 1. Izbrani sivi, zeleni in hibridni ukrepi za zmanjševanje ogroženosti zaradi plazov.

Kategorija	Izbrani ukrepi
Siva	mrežne pregrade, zaplavne pregrade, globinsko odvodnjavanje, oporni zidovi (jekleni oporni zidovi, gabioni, piloti), spreminjanje mehanskih lastnosti nestabilnega materiala (injektiranje, zgoščevanje, kemična veziva).
Zelena	pogozdovanje, sajenje vegetacije, živa gradiva, hidrosejanje
Hibridni	oporni zidovi (leseni), stabilizacija zemeljskega pobočja (terase, zasipavanje z lahkim materialom), polderji za zadrževanje vode, plitvo (površinsko) odvodnjavanje, površinska zaščita in nadzor erozije (geotekstil)

Preglednica 2. Seznam deskriptorjev in njihova razlaga.

Deskriptor	Razlaga:
Kratek povzetek	Kratka razlaga/opis izbranega sivega, zelenega ali hibridnega ukrepa.
Izvedljivost	Kako težko je izvesti ukrep v smislu zasnove, postopka izvajanja itd. Poleg tega se lahko v tem razdelku upošteva tudi trajnost (življenjska doba) ukrepa.
Stroškovna učinkovitost	Kako učinkovit je ukrep z vidika blaženja poplav in drugih vidikov (po potrebi) glede na višino naložbe (npr. stroškov gradnje).
Prilagodljivost (druge nevarnosti)	Vpliv izbranega ukrepa na druge nevarnosti, kot so zemeljski plazovi, erozija, sedimentacija, onesnaženje podtalnice itd.
Vzdrževanje	Vzdrževanje (količina) da objekt ohranja funkcijo. Poleg tega se lahko v tem razdelku upoštevajo tudi stroški vzdrževanja.
Podnebne spremembe	Vpliv izbranega ukrepa na podnebne spremembe. Tu se lahko glede na izbrani ukrep upošteva blažitev ali, nasprotno, negativen vpliv na podnebne spremembe.
Primer študije primera	Opis primera, v kateri je bil izbrani ukrep izveden ali v kateri je bilo njegovo izvajanje preizkušeno.

Zemeljski plazovi - zeleni ukrepi

Ukrep: pogozdovanje	
Primer ukrepa	V Švici se varovalni gozdovi tradicionalno uporabljajo za zmanjševanje nevarnosti plazov, zemeljskih plazov in skalnih podorov. https://link.springer.com/article/10.1007/s10346-005-0018-8 Program pogozdovanja Grain for Green na Kitajskem Velika Loeska planota je znan primer, kjer so bila obsežna prizadevanja za pogozdovanje uspešna pri zmanjševanju ogroženosti zaradi zemeljskih plazov in erozije. https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-020-04491-x Varstveno območje Annapurna v Nepal: Projekt Annapurna Conservation Area Project (ACAP) vključuje pobude za pogozdovanje, katerih stranski učinek je stabilizacija strmih pobočij in zmanjšanje zemeljskih plazov. https://ntnc.org.np/project/annapurna-conservation-area-project-acap https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211464517300568 Vse pobude in programi niso namenjeni izključno blažitvi plazov, vendar je to pogosto omenjen stranski učinek teh pobud.
Kratek povzetek	Pogozdovanje je proaktivni ukrep za ublažitev ogroženosti zaradi plazov (Papathoma-Köhle in Glade), ki vključuje sajenje dreves in obnavljanje naravne gozdne odeje na območjih, ki so izpostavljena plazovom. Vergari et al. (2017) poročajo, da več kot 20 % evropskih gozdov neposredno varuje tla, izboljšuje kakovost vode ali zagotavlja druge ekosistemske storitve. Gre za rešitev, ki temelji na naravi in izkorišča stabilizacijske učinke vegetacije, predvsem korenin dreves, povečuje kohezijo tal, zmanjšuje površinski odtok in blaži erozijo ter tako povečuje odpornost pobočij proti zemeljskim plazovom.
Izvedljivost	Na splošno je pogozdovanje izvedljivo na plazljivih območjih, vendar je odvisno od dejavnikov, kot so razpoložljivo zemljišče, podnebne razmere, primernost drevesnih vrst in sodelovanje skupnosti. Za določitev izvedljivosti so ključnega pomena podrobne ocene lokacije. Vprašanja lastništva zemljišč in nasprotujoče si prednostne naloge rabe zemljišč lahko ovirajo prizadevanja za pogozdovanje. Dolgoročna zavezanost in vključenost skupnosti sta bistvenega pomena, vendar se lahko soočata z izzivi.
Stroškovna učinkovitost	Pogozdovanje je lahko stroškovno učinkovito v primerjavi s tradicionalnimi inženirskimi rešitvami, saj so lahko začetni stroški sajenja dreves in obnove nižji od stroškov gradnje in vzdrževanja inženirskih objektov. Zaradi več dolgoročnih koristi, kot so izboljšana stabilnost pobočij, zmanjšana erozija in izboljšane ekosistemske storitve, je to stroškovno učinkovita strategija. Ključni učinki gozdov na blažitev zemeljskih plazov po pregledu Vergari et al. (2017) so: (a) prestrežanje padavin in izhlapevanje (po podatkih Carlyle-Moses in Gosh 2011 zmanjšanje letnih padavin za 6-45 %), (b) poraba vode iz tal in transpiracija, ki zmanjšujeta vlažnost tal, (c) infiltracija in podpovršinski tokovi (bolj učinkovito), (d) utrjevanje tal, (e) podpiranje in oblaganje. Učinek je različen pri različnih vrstah zemeljskih plazov. Pogozdovanje je zlasti učinkovito pri zmanjševanju plitvih zemeljskih plazov na razmeroma blagih pobočjih, plazenja tal z utrjevanjem zgornjih plasti tal in plazov, ki jih povzročajo padavine, saj krošnje zmanjšujejo erozivnost padavin. Po drugi strani je pogozdovanje omejeno na zelo nagnjenih pobočjih, omejen pa je tudi njegov učinek na globoke zemeljske plazove.

Vrednotenje hibridne infrastrukture za zmanjševanje ogroženosti pod vplivom podnebnih sprememb

Prilagodljivost	Pogozdovanje pozitivno vpliva tudi na erozijo tal in na zmanjšanje konic odtokov (poplave) zaradi prestrežanja padavin.
Vzdrževanje	Uspešno pogozdovanje zahteva stalno vzdrževanje, vključno z upravljanjem invazivnih vrst, nego dreves in spremljanjem. Redni pregledi in upravljanje gozdov so bistvenega pomena za zagotavljanje zdravja in stabilnosti gozdnih površin. Vzdrževanje je odvisno tudi od tega, ali je določenim gozdnim sestojem dodeljenih več funkcij.
Podnebne spremembe	Pogozdovanje prispeva k blažitvi podnebnih sprememb, saj z rastjo dreves zadržuje ogljikov dioksid in povečuje skladiščenje ogljika v tleh. Prav tako podpira prilagajanje podnebnim spremembam, saj zmanjšuje vplive ekstremnih vremenskih dogodkov, kot so močne padavine, saj zmanjšuje erozivnost padavin.
Primer študije primera	https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-020-04491-x https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211464517300568 https://link.springer.com/article/10.1007/s10346-005-0018-8

Ukrepanje: Zasaditev vegetacije	
Primer študije primera	V Združenem kraljestvu se avtohtone trave in določene rastline uporabljajo za stabilizacijo pobočij ob avtocestah in železnicah, s čimer se zmanjša tveganje plitvih zemeljskih plazov ob močnem deževju. Japonski trpotec in druga avtohtona vegetacija se v kombinaciji z bioinženirskimi tehnikami uporabljata za utrjevanje pobočij in obvladovanje zemeljskih plazov v gorskih regijah.
Kratek povzetek	Vegetacijski ukrepi za zmanjševanje tveganja zemeljskih plazov se nanašajo na uporabo različnih vrst avtohtonih ali prilagojenih rastlin in grmovnic za stabilizacijo pobočij, utrjevanje tal in zmanjševanje tveganja zemeljskih plazov (Stokes et al. 2014). V nasprotju z obsežnim pogozdovanjem so vegetacijski ukrepi osredotočeni na posege manjšega obsega, katerih cilj je povečati lokalno stabilnost pobočij, ne da bi se območje nujno spremenilo v gozdnato pokrajino.
Nekaj primerov	https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-22087-6_5 https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2018/40/e3sconf_iccee2018_06003.pdf https://link.springer.com/article/10.1007/s10064-020-01783-1
Izvedljivost	Vegetacijski ukrepi so na splošno izvedljivi v različnih regijah, zlasti v tistih z zmernim naklonom in primernimi tlemi. Prilagodljivi so različnim pokrajinam in jih je mogoče prilagoditi posebnim razmeram na terenu.
Stroškovna učinkovitost	Vegetacijski ukrepi so v primerjavi z obsežnim pogozdovanjem ali obsežnimi inženirskimi rešitvami običajno stroškovno učinkoviti. Stroški so nižji zaradi manjših potreb po materialu in uporabe lokalno dostopne vegetacije. Vegetacijski ukrepi so lahko zelo učinkoviti pri blaženju zlasti plitvih zemeljskih plazov in površinske erozije, saj rastline povezujejo delce tal, povečujejo kohezijo in strižno trdnost tal. Rastline lahko ublažijo tudi počasne in postopne premike mase, kot je plazenje tal, plazove, ki jih povzročajo padavine, pri katerih lahko močne padavine nasičijo tla in povečajo porni tlak vode, ter plazove, ki jih povzroča erozija zaradi prestrežanja padavin. Hitra ponovna vegetacija s sajenjem lahko stabilizira tla in zmanjša tveganje za plazove po požarih. Učinkovitost sajenja je omejena na zelo strmih pobočjih. V takih primerih so morda potrebni dodatni omilitveni ukrepi ali kombinacija rešitev, ki temeljijo na naravi, in inženirskih pristopov. Prav tako nekatere študije poročajo o omejenih učinkih travnatih površin na blaženje plazov v primerjavi z gozdnatimi območji. Po podatkih Shu et al. (2017) je bila gostota zemeljskih plazov v španski študiji primera 2,0 zemeljskega plazov/km² na traviščih v primerjavi z 0,4 zemeljskega plazov/km² na gozdnih območjih.

Vzdrževanje	Vzdrževanje vegetacijskih ukrepov vključuje redno spremljanje, odstranjevanje plevela in zamenjavo poškodovanih ali odmrlih rastlin. Za preživetje rastlin je ključnega pomena ustrezno zalivanje med vzpostavljanjem rastišča. Vzdrževanje je v osnovi odvisno od kmetijske rabe in načinov upravljanja (Tasser et al. 2003), ki lahko bistveno vplivajo na lastnosti rastlin in njihov stabilizacijski učinek na tla.
Podnebne spremembe	Rastlinski ukrepi prispevajo k blažitvi podnebnih sprememb, saj z rastjo rastlin zadržujejo ogljikov dioksid in izboljšujejo splošno zdravje ekosistemov. Prav tako prispevajo k prilagajanju podnebnim spremembam, saj zmanjšujejo ekstremne hidrološke pojave in erozijo.
Druge nevarnosti	Vegetacijske ukrepe je mogoče povezati z drugimi naravnimi rešitvami in inženirskimi ukrepi, da bi zmanjšali transport sedimentov. Invazivne rastlinske vrste lahko izpodrivajo želeno vegetacijo, kar lahko povzroči ekološko neravnovesje. Tudi nekatere rastlinske vrste veljajo za invazivne, s čimer povzročajo druge biogene nevarnosti, poročali pa so tudi, da so vzrok za povečano erozijo brežin (Colleran et al. 2020).

Ukrepanje: Živa gradiva	
Študija primera	V ZDA se živa gradiva učinkovito uporabljajo za blažitev erozije in zmanjšanje nevarnosti zemeljskih plazov na območjih, ki jih je prizadel požar, ali za zaščito cestne infrastrukture. Za stabilizacijo pobočij se običajno uporabljajo avtohtone vrste, kot sta vrba in dren. https://www.wsdot.wa.gov/publications/fulltext/Roadside/SoilBioEngAlternative.pdf V regijah, kot sta Nepal in Butan, se živa gradiva iz avtohtonih vrst, kot sta jelša in vrba, uporabljajo za utrjevanje pobočij in zmanjšanje zemeljskih plazov ob cestah in poteh na strmih terenih. https://link.springer.com/article/10.1007/s00267-012-0003-7 Podroben pregled in empirična študija s Tajske sta predstavljena v diplomskem delu Tadsuwana (2017): http://ethesisarchive.library.tu.ac.th/thesis/2017/TU_2017_5922040455_8719_7216.pdf
Kratek povzetek	Živa gradiva so naravni ukrep za zmanjševanje nevarnosti (Richet et al. 2017), ki vključuje sajenje živih drevesnih odrezkov ali vej, običajno grmovnic ali dreves, na pobočja ali območja, ki so izpostavljena eroziji in zemeljskim plazovom. Ta živa gradiva se ukoreninijo in rastejo, s čimer okrepijo strukturo tal in stabilizirajo pobočje ter zmanjšajo tveganje plitvih zemeljskih plazov.
Primer študije primera	https://www.wsdot.wa.gov/publications/fulltext/Roadside/SoilBioEngAlternative.pdf . https://link.springer.com/article/10.1007/s00267-012-0003-7 .
Izvedljivost	Živa gradiva so na splošno izvedljiva na območjih z ustreznimi talnimi in podnebnimi razmerami. Prilagodljivi so za različne razmere. Priporoča se uporaba avtohtonih vrst.
Stroškovna učinkovitost	Živa gradiva so pogosto stroškovno učinkovita možnost za blažitev zemeljskih plazov zaradi nižjih stroškov materiala in minimalnih zahtev glede opreme. Posebej učinkoviti so pri blaženju določenih vrst zemeljskih plazov, predvsem tistih, ki so povezani s površinsko erozijo in plitvimi zemeljskimi plazovi. Ko se živa gradiva enkrat zasidrajo, razvijejo močne koreninske sisteme, ki stabilizirajo tla, povečajo kohezijo tal in povečajo strižno trdnost. Učinkoviti so tudi pri zemeljskih plazovih, ki jih povzroča erozija, in plazovih po požarih, saj pomagajo pri ponovni vzpostavitvi vegetacije. Uporabljajo se lahko tudi za zmanjševanje plazenja tal. Posebna uporaba je bila ugotovljena za stabilizacijo brežin ob rekah in vodotokih. Tako kot pri drugih zelenih ukrepih je lahko njihova učinkovitost omejena na zelo strmi pobočjih ali na območjih s pogostimi motnjami.
Vzdrževanje	Vzdrževanje živih gradiv vključuje predvsem spremljanje rasti rastlin, zagotavljanje, da se ukoreninijo, in zamenjavo odmrlih ali poškodovanih kolov. Ključnega pomena sta ustrezno zalivanje in zaščita pred živalmi v času rasti.
Podnebne spremembe	Živa gradiva prispevajo k blažitvi podnebnih sprememb, saj z rastjo rastlin zadržujejo ogljikov dioksid. Poleg tega podpirajo prilagajanje podnebnim spremembam, saj zmanjšujejo erozijo tal, ki lahko ob

	ekstremnih vremenskih dogodkih poslabša plazove, in zagotavljajo splošne koristi za ekosistem.
Druge nevarnosti	Živa gradiva lahko združimo z drugimi ukrepi za nadzor erozije, kot so ograje proti naplavinam in zaplavne pregrade. Izboljšana rastlinska odeja povečuje biotsko raznovrstnost in zagotavlja življenjski prostor divjim živalim. Koreninski sistemi živih gradiv pomagajo uravnati pretok vode, kar v nekaterih primerih zmanjšuje nevarnost poplav. Učinek živih gradiv se lahko zmanjša na strmih pobočjih in zaradi invazivnih vrst ali izbruhov bolezni. Uspešno izvajanje je odvisno od sodelovanja skupnosti in stalnega vzdrževanja.

Ukrep: Hidrosejanje	
Študija primera	V Združenih državah Amerike se hidrosejanje pogosto uporablja za zmanjševanje ogroženosti zaradi zemeljskih plazov v hribovitih območjih in na območjih, ki so jih prizadeli požari. Po požarih se s hidrosejanjem hitro vzpostavi vegetacija, da se preprečijo plazovi po požarih. Nova Zelandija je na območjih, ki so izpostavljena eroziji in zemeljskim plazovom, zlasti na strmih terenih in ob avtocestah, uvedla hidrosejanje, da bi okrepila stabilnost pobočij.
Kratek povzetek	Hidrosejanje je tehnika stabilizacije pobočij, ki se uporablja pri blaženju zemeljskih plazov (Chen et al. 2014) in nadzoru erozije (Montoro et al. 2000) ter vključuje razprševanje mešanice vode, semen, mulča in pogosto stabilizatorjev tal na erodibilna ali plazljiva pobočja. Ta mešanica, znana kot hidrosejna gnojevka, spodbuja rast vegetacije, povečuje stabilnost tal, zmanjšuje površinsko erozijo in zmanjšuje nevarnost zemeljskih plazov.
Primer študije primera	https://tme1.com/blog/when-hydroseeding-isnt-enough-stabilizing-steep-slopes-landslide-prone-terrain/ . https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/1099-145X(200007/08)11:4%3C315::AID-LDR394%3E3.0.CO;2-4 .
Izvedljivost	Na območjih z ustreznim dostopom in oskrbo z vodo je na splošno izvedljiva setev s hidrosejanjem. Pri ocenjevanju posameznih lokacij je treba upoštevati dejavnike, kot so stanje tal, naklon pobočja in izbor semen, da se določi izvedljivost. Učinek hidrosejanja na strmih pobočjih je precej omejen (https://tme1.com).
Stroškovna učinkovitost	Hidrosejanje je lahko stroškovno učinkovito v primerjavi s tradicionalnimi inženirskimi rešitvami. Njegova stroškovna učinkovitost izhaja iz manjših stroškov materiala in dela, hitreje izvedbe ter dolgoročnih koristi stabiliziranih pobočij in zmanjšane erozije. Hidrosejanje je učinkovit ukrep za ublažitev ogroženosti zaradi zemeljskih plazov pri plitvih zemeljskih plazovih, saj poveča kohezijo in strižno trdnost tal, zemeljskih plazovih, ki jih povzroča erozija, saj na pobočju ustvari zaščitni rastlinski pokrov, zemeljskih plazovih po požarih s hitro vzpostavitvijo vegetacije in nadzoru erozije tal. Hidrosejanje ima lahko omejitve pri reševanju globokih zemeljskih plazov ali plazov, ki jih povzročajo dejavniki, kot so pronicanje podtalnice, geološki prelomi.
Vzdrževanje	Vzdrževanje površin zahteva redno spremljanje in morebitno ponovno hidrosejanje. Redni pregledi in upravljanje invazivnih vrst so bistvenega pomena za zagotavljanje stalne učinkovitosti blažilnega ukrepa. Emeka in drugi (2021) poročajo o študiji iz Malezije, v kateri so analizirali različne učinke štirih vrst semen. Bistvenega pomena je izbira ustreznega semena za specifične razmere. Xiao et al. (2017) poročajo o

Vrednotenje hibridne infrastrukture za zmanjševanje ogroženosti pod vplivom podnebnih sprememb

	eksperimentalni študiji, ki poudarja vlogo specifične sestave mešanice, uporabljene za stabilizacijo pobočij.
Podnebne spremembe	Setev z vodno gnojenjem prispeva k blažitvi podnebnih sprememb, saj z rastjo rastlin zadržuje ogljikov dioksid in izboljšuje shranjevanje ogljika v tleh. Z zmanjševanjem erozije tal in večjim zadrževanjem vode prispeva k prilagajanju podnebnim spremembam.
Druge nevarnosti	Hidrosejanje lahko dopolnjuje druge ukrepe za nadzor erozije, kot so ograje proti zaplavne pregrade, saj stabilizira pobočja in zmanjša transport sedimentov v vodna telesa. Izboljšana rastlinska odeja povečuje biotsko raznovrstnost in zagotavlja življenjski prostor za živali. Hidrosejanje je mogoče povezati z ukrepi za zmanjšanje poplavne ogroženosti, saj so stabilizirana pobočja manj nagnjena k eroziji ob močnem deževju. Omejitve vključujejo razpoložljivost ustreznih semen in stabilizatorjev tal ter strm ali nedostopen teren.

Zemeljski plazovi - hibridni ukrepi

Ukrep: leseni jezovi	
Primer ukrepa	Leseni jezovi so po vsem svetu uporabljeni kot učinkoviti ukrepi za zmanjševanje ogroženosti zaradi zemeljskih plazov. Primeri vključujejo njihovo uporabo v italijanskih Alpah, na Japonskem, v Španiji in Združenih državah Amerike. Dolomiti, Italija: leseni jezovi, ki so pogosto zgrajeni iz hlodov, vej in ostankov, so postavljeni na območjih, ki so dovzetna za drobirske tokove in zemeljske plazove. Te objekti so zasnovani tako, da upočasnijo odtekanje površinske vode in zadržijo naplavine ter tako zmanjšajo možnost plitvih zemeljskih plazov ob močnem deževju ali taljenju snega. Japonska: Japonska: Na Japonskem so pogoste intenzivne padavine, zato so tam pogosti zemeljski plazovi. Za zmanjšanje nevarnosti zemeljskih plazov se uporabljajo leseni jezovi. Ti jezovi pomagajo stabilizirati pobočja in nadzorovati tok površinske vode ter tako zmanjšujejo verjetnost zemeljskih plazov. https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2004EO150001 Španija: na nekaterih območjih Španije se za blaženje erozije in plitvih zemeljskih plazov po požarih v naravi uporabljajo jezovi iz lesa ali hlodovine. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001670611400336X Združene države Amerike: zlasti v regijah, ki so dovzetne za gozdne požare, se leseni jezovi uporabljajo kot strategija za ublažitev posledic požarov in erozije. Požari lahko zaradi izgube vegetacije in spremenjenih lastnosti tal povečajo nevarnost drobirskih tokov in zemeljskih plazov. https://pubs.geoscienceworld.org/aeg/eeg/article-abstract/xxvi/1/109/137372/Long-Term-Landslide-Hazard-Mitigation-Programs
Kratek povzetek	Leseni jezovi so naravne rešitve za zmanjšanje nevarnosti plitvih plazov in erozije. Te objekti so sestavljeni iz hlodov, vej in drugih lesnih ostankov, ki so strateško nameščeni na nagnjenem terenu, da zmanjšajo nevarnost zemeljskih plazov. Njihov glavni namen je upočasniti odtekanje površinskih voda, nadzorovati erozijo ter stabilizirati tla in pobočja ter tako zmanjšati možnost nastanka zemeljskih plazov.
Izvedljivost	Leseni jezovi so na splošno izvedljivi, zlasti na gozdnatih in hribovitih območjih z zadostno razpoložljivostjo avtohtonega lesnega materiala. Potrebna je oskrba z lesnimi ostanki, ki so na takšnih območjih običajno na voljo. Na njihovo izvedljivost lahko vplivajo lokalni predpisi in načrtovanje rabe zemljišč ter razpoložljivost kvalificirane delovne sile za gradnjo. UNISDR (2013) navaja, da se lahko leseni jezovi uporabljajo v kombinaciji s prizadevanji za ponovno pogozdovanje za zmanjšanje nevarnosti zemeljskih plazov.
Stroškovna učinkovitost	Stroškovna učinkovitost lesenih jezov kot ukrepa za ublažitev plazov je odvisna od vrste plazov in lokalnih razmer. Stroškovno učinkoviti so pri manjših in plitvih zemeljskih plazovih ter so še posebej koristni na območjih, kjer so tradicionalne inženirske rešitve morda nepraktične ali predrage. Prav tako lahko pomagajo kot lovilec plavin v zgornjem toku in ukrep za nadzor erozije, s čimer posredno pomagajo ublažiti predpogoje za nastanek zemeljskih plazov. Pri večjih, globokih in strukturno pogojenih gravitacijskih deformacijah pobočij se lahko stroškovna učinkovitost precej zmanjša in potrebni so dodatni ukrepi.
Prilagodljivost	Leseni jezovi lahko pozitivno vplivajo na druge ukrepe za ublažitev naravnih nesreč. Tako lahko na primer prispevajo k zmanjšanju poplavne ogroženosti in

	ugodno vplivajo na kakovost vode. Podobno imajo pozitiven učinek pri nadzoru erozije v okoljih brez vegetacije (večinoma po požarih). Margiorou et al. (2022) so na območju, ki ga je pred 20 leti prizadel gozdni požar, pokazali njihov dolgoročni učinek in stabilnost. Vendar je treba upoštevati morebitne vplive v spodnjem toku, saj lahko povečano zadrževanje naplavin povzroči dvig rečne struge in s tem povezano poplavno tveganje. To je mogoče rešiti s hibridnimi zaplavnimi pregradami (Schwindt et al. 2018).
Vzdrževanje	Redno vzdrževanje je bistvenega pomena za zagotavljanje stalne učinkovitosti lesenih jezov. To vključuje odstranjevanje nakopičenih odpadkov, zagotavljanje ustreznega pretoka vode in zamenjavo dotrajanega lesa. Stroški vzdrževanja so v primerjavi z zahtevnejšimi inženirskimi rešitvami na splošno nižji, vendar zahtevajo delovno silo, ki redno nadzoruje in vzdržuje jezove.
Podnebne spremembe	Leseni jezovi pozitivno prispevajo k prilagajanju podnebnim spremembam, saj zmanjšujejo tveganje nastanka plitvih zemeljskih plazov, ki se lahko poslabša zaradi povečane količine padavin in spreminjajočih se vzorcev padavin. Pomagajo tudi pri zadrževanju vlage v tleh, kar lahko pomaga pri obnovi gozda in sekvestraciji ogljika ter prispeva k odpornosti na podnebne spremembe.
Primer študije primera	https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2004EO150001 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001670611400336X https://pubs.geoscienceworld.org/aeg/eeg/article-abstract/xxvi/1/109/137372/Long-Term-Landslide-Hazard-Mitigation-Programs

Ukrep: terase	
Primer ukrepa	Terase so bile po vsem svetu uporabljene kot učinkovit ukrep za zmanjšanje ogroženosti zaradi nastanka zemeljskih plazov, zlasti v Himalaji, Andih, jugovzhodni Aziji in Sredozemlju, znane pa so tudi iz kmetijskih regij Srednje Evrope. Nepal: Za hribovit teren Nepala je značilno ekstenzivno terasasto kmetovanje. Terasa, znane kot "Dhan" ali "Ropai", se v regiji pogosto uporabljajo za kmetijstvo. Te terase kmetom ne omogočajo le pridelave poljščin na strmih pobočjih, temveč imajo tudi vlogo pri stabilizaciji pobočij in preprečevanju erozije tal, kar prispeva k zmanjšanju nevarnosti zemeljskih plazov. https://link.springer.com/article/10.1007/s10064-005-0025-y Indija: Na območju indijske Himalaje se v nekaterih zveznih državah na razgibanih pobočjih uporabljajo ekstenzivne tehnike terasnega kmetovanja. Na teh terasah se pridelujejo poljščine, kot so riž, pšenica in koruza. Andi: V visokogorju Andov v Peruju ali Boliviji so v preteklosti uporabljali terasne tehnike kmetovanja, znane kot "andenes". Andene so kamnite terase, ki se uporabljajo v kmetijske namene. Preprečujejo erozijo tal, nadzorujejo odtekanje vode in stabilizirajo strma pobočja. https://digitalcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1049&context=geologia
Kratek povzetek	Terasa so učinkovite rešitve, ki se uporabljajo za zmanjševanje tveganja zemeljskih plazov. Te ukrepi vključujejo oblikovanje vodoravnih ali rahlo nagnjenih ploščadi na hribovitem ali goratem terenu za nadzor odtekanja površinske vode, zmanjšanje erozije in stabilizacijo pobočij, kar na koncu zmanjša tveganje zemeljskih plazov.
Izvedljivost	Izvedljivost teras je odvisna od terena in lokalnih vplivnih dejavnikov. Na območjih s strmimi pobočji in zemeljskimi plazovi v preteklosti so terase pogosto izvedljiva možnost. Dejavniki, kot so vrsta tal, vegetacija in načrtovanje rabe zemljišč, imajo ključno vlogo pri določanju njihove izvedljivosti. Na njihovo izvajanje lahko vplivajo tudi lokalni predpisi in sodelovanje skupnosti.
Stroškovna učinkovitost	Stroškovna učinkovitost teras kot ukrepa za ublažitev plazov je ugodna za različne vrste plazov. Še posebej so stroškovno učinkovite pri plitvih zemeljskih plazovih, drobirskih tokovih in počasi premikajočih se zemeljskih plazovih. Terasa je pogosto mogoče zgraditi z lokalno razpoložljivimi materiali, kar zmanjša stroške gradnje, in so cenejše od kompleksnejših inženirskih rešitev. Po drugi strani pa je bilo ugotovljeno tudi, da so slabo grajene terase lahko nagnjene k zemeljskim plazovom (Galve et al. 2014; Ažman 2015; Wen et al. 2021), z večanjem obsega teras pa lahko zemeljski plazovi prizadenejo več zemljišč in povzročijo dodatne posledice.
Prilagodljivost	Terasa lahko pozitivno vplivajo na druge ukrepe za ublažitev naravnih nesreč. Z nadzorom odtekanja površinske vode in izboljšanjem infiltracije vode lahko na primer prispevajo k zmanjšanju poplavne ogroženosti. Upoštevati je treba morebitne učinke v spodnjem toku, kot so sedimentacija v rekah ali spremembe kakovosti vode, in jih uskladiti z drugimi strategijami obvladovanja nevarnosti.
Vzdrževanje	Terasa je treba redno vzdrževati, da ostanejo učinkovite. To vključuje zagotavljanje delovanja drenažnih sistemov, popravilo poškodovanih teras in urejanje vegetacije. Ustrezno vzdrževanje je ključnega pomena za njihovo dolgoročno delovanje in je lahko stroškovno učinkovito v primerjavi s sanacijo

	plazov. Tudi načrtovanje in oblikovanje (suha gradnja) teras imata ključno vlogo pri njihovi stabilnosti.
Podnebne spremembe	Terase prispevajo k prilagajanju na podnebne spremembe, saj zmanjšujejo erozijo tal, zadržujejo vlago v tleh in spodbujajo rast vegetacije. Te lastnosti povečujejo stabilnost tal in odpornost proti ekstremnim vremenskim pojavom, vključno z močnimi padavinami in povečano količino padavin, ki lahko sprožijo zemeljske plazove.
Primer študije primera	https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2015EGUGA..17.9680A/abstract https://digitalcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1049&context=geologia https://link.springer.com/article/10.1007/s10064-005-0025-y https://www.mdpi.com/2073-445X/11/7/963

Ukrep: polderji za zadrževanje vode	
Nekaj primerov uporabe:	Čeprav se vodni zadrževalniki večinoma gradijo za zmanjševanje poplavne ogroženosti, jih je mogoče uporabiti tudi na nižinskih območjih za obvladovanje erozije brežin in zemeljskih plazov ter za zadrževanje vode in zmanjševanje nevarnosti plazov na gorskih območjih. Nižinske države Evrope: na Nizozemskem in v Belgiji se uporabljajo polderji za zadrževanje vode, ki se lokalno imenujejo "waterbergingen". Ti polderji so strateško razporejeni na območjih, ki so izpostavljena plazovom, kot so hribovita območja Limburške regije, in začasno zadržujejo odvečno padavinsko vodo ter tako zmanjšujejo namočenost pobočij in zemeljske plazove. https://thinkhazard.org/en/report/2163-netherlands-limburg/LS Kitajska: polderji so tradicionalni pristop k upravljanju v nižinskih območjih Kitajske, vendar se lahko uporabljajo tudi za zmanjšanje nevarnosti zasičenih tokov in plitvih zemeljskih plazov tako na gorskih kot tudi na nižinskih območjih. https://www.xjtlu.edu.cn/en/news/2023/02/why-is-the-polder-landscape-an-important-water-heritage-of-china https://www.adrc.asia/publications/TDRM2003Dec/11_MR.%20HONGTAO%20WAN%20_FINAL_.pdf Andi: polderji za zadrževanje vode se uporabljajo na območjih, kjer so se v preteklosti pojavljali drobirski tokovi in zemeljski plazovi. Te strukture shranjujejo odvečno vodo ob močnem deževju in so sestavni del lokalnih načrtov za zmanjšanje tveganja nesreč. https://www.fao.org/3/i2232e/i2232e.pdf
Kratek povzetek	Vodni zadrževalniki so hibridne rešitve, namenjene predvsem zmanjševanju poplavne ogroženosti in nevarnosti drobirskih tokov, lahko pa pomagajo tudi pri zmanjševanju ogroženosti zaradi zemeljskih plazov, saj nadzorujejo raven vode na občutljivih območjih. Te grajene depresije ali rezervoarji začasno zadržijo odvečne padavine in površinski odtok ter tako zmanjšajo vlažnost tal in s tem zmanjšajo pojavljanje zemeljskih plazov.
Primer študije primera	https://www.fao.org/3/i2232e/i2232e.pdf. https://www.xjtlu.edu.cn/en/news/2023/02/why-is-the-polder-landscape-an-important-water-heritage-of-china.
Izvedljivost	Izvedljivost polderjev za zadrževanje vode kot ukrepa za ublažitev plazov je odvisna od lokalne topografije, hidrologije in razpoložljivih zemljišč. Posebej primerni so za območja z občasno nevarnostjo zemeljskih plazov, ki jih določajo močne padavine (tajfun, monsun in drugi dogodki) in kjer je mogoče ustvariti depresije za shranjevanje vode. Pri oceni izvedljivosti je treba poleg topografije upoštevati tudi dejavnike, kot so lastništvo zemljišč, raba zemljišč in razpoložljivost primernih lokacij, saj polderji za svojo učinkovitost potrebujejo določeno najmanjšo površino zemljišča.
Stroškovna učinkovitost	Vodni zadrževalniki so na splošno stroškovno učinkoviti za različne vrste plazov. Posebej koristni so za plitve zemeljske plazove, drobirske tokove. Čeprav se lahko začetni stroški gradnje razlikujejo, je dolgoročna stroškovna učinkovitost ugodna v primerjavi s stroški, povezanimi s škodo zaradi zemeljskih plazov in njihovo sanacijo. Na območjih, ki so izpostavljena plitvim zemeljskim plazovom, je mogoče strateško postaviti objekte za zadrževanje vode, da bi prestregli in shranili odvečne padavine ali odtok, zmanjšali infiltracijo vode v tla in preprečili nastanek pogojev za proženje zemeljskih plazov. S podobnimi ukrepi lahko polderji za zadrževanje vode zagotovijo tudi ukrep za zmanjšanje nevarnosti pri drobirskih tokovih. Uporabljajo se lahko tudi za nadzor in upravljanje presežkov vode na rudnikih in odlagališčih jalovine.

Vrednotenje hibridne infrastrukture za zmanjševanje ogroženosti pod vplivom podnebnih sprememb

Vzdrževanje	Redno vzdrževanje je bistvenega pomena za zagotavljanje stalne učinkovitosti zadrževalnikov vode. Vzdrževalne dejavnosti vključujejo poglobljanje in odstranjevanje odloženih sedimentov, pregledovanje in vzdrževanje odtočnih objektov ter zagotavljanje ustreznega upravljanja vegetacije. Pravilno vzdrževani polderji pomagajo ohranjati svojo funkcionalnost.
Podnebne spremembe	Vodni zadrževalniki pomembno prispevajo k prilagajanju podnebnim spremembam, saj zmanjšujejo tveganje za zemeljske plazove ob vse večjih količinah padavin in ekstremnih vremenskih pojavih. Z nadzorom vodnega toka in zmanjšanjem vlažnosti tal te objekti povečujejo odpornost. Vendar so ti učinki očitni predvsem pri obvladovanju poplavne ogroženosti in ohranjanju biotske raznovrstnosti.
Druge nevarnosti	Vodni zadrževalniki lahko pozitivno vplivajo na druge ukrepe za ublažitev naravnih nevarnosti, predvsem na obvladovanje poplav in upravljanje vodnih virov. Pomagajo pri upravljanju vodnega toka, kar lahko zmanjša nevarnost zemeljskih plazov in poplav. Podobno kot pri lesenih jezovih in terasiranju pobočij je treba pri načrtih in zasnovah vodnih zadrževalnikov jasno upoštevati morebitne učinke dolvodno za izračun sedimentov in interakcije na ravni poplavnega območja in porečja.

Ukrep: biotehnična zaščita pobočij z uporabo geosintetičnega materiala	
Nekaj primerov uporabe:	 Slika 1. Primer biotehnične zaščite pobočij v Sloveniji (referenca: Tomaž Čej, Rejda d.o.o.).
Kratek povzetek	Biotehnična/bioinženirska metoda s prepletanjem korenin stabilizira površino pobočij tal, kar s prestrežanjem padavin in zmanjševanjem hitrosti odtoka povečuje infiltracijo (Ahn et al., 2002). Preprečevanje zemeljskih plazov z uporabo geosintetike se lahko izvaja na različne načine (Damians et al., 2023): • uporaba geotekstila in geomembran za opravljanje funkcije pregrade in/ali filtra, ki preprečuje izcejanje vode; • uporaba geosintetikov visoke trdnosti za ojačitev tal, kar omogoča stabilnost tudi na zelo strmih pobočjih; • uporaba geomatov, ki zadržujejo vrhno plast zemlje na mestu in preprečujejo zdrs; • uporaba geokompozitnih delov, ki omogočajo varno odvajanje odvečne deževnice, ne da bi erodiralo tla; • uporaba geosintetikov za protierozijski nadzor na površinah pobočij, da se spodbudi rast nove vegetacije in zagotovi sidrišče za koreninske strukture, s čimer se poveča njihova odpornost proti eroziji ob velikih hidravličnih obremenitvah, kar dodatno stabilizira pobočja po naravni poti.
Primer študije primera	V Sloveniji sistem biotehničnega zavarovanja pobočij z uporabo geosintetičnega materiala ni zelo pogosta metoda, ki bi se uporabljala za zavarovanje pred zemeljskimi plazovi. Uporablja se kot dopolnilni ukrep v kombinaciji z drugimi ukrepi za nadzor erozije in stabilizacijo umetnih pobočij.
Izvedljivost	Geosintetiki so zasidrani v 150 mm globokem in 150 mm širokem jarku na vrhu pobočja, nato pa se razgrnejo vzdolž pobočja, ne da bi se raztegnili. Pred namestitvijo je treba uporabiti trajno setev (transportation.alberta.ca). Na podlagi (https://www.larimit.com/mitigation_measures/1021/) ima izvajanje tega ukrepa naslednje prednosti in slabosti Prednosti: • nadzor erozije tudi na območjih, kjer se vegetacija počasi uveljavlja; • sintetične preproge se lahko uporabljajo kot ojačitev za povečanje natezne trdnosti tal; • primeren tudi na strmih pobočjih (> 3:1) ali pobočnih kanalih z velikim pretokom vode

	Slabosti: • ni primeren za zelo strma skalnata območja; • nekateri sintetični materiali lahko onesnažujejo zrak/vodo, če se uporabljajo za utrjevanje bregov potokov, pa ogrožajo vodne vrste; • nekateri geotekstilji so tesno tkani, kar otežuje ukoreninjenje travnih semen v tleh ali duši rastline med njihovo rastjo; • pobočja morajo biti pred vgradnjo enakomerna in razmeroma gladka, da se zagotovi popoln stik s tlemi. S tem povezani stroški dela so lahko visoki.
Stroškovna učinkovitost	Sistemi so večnamenski in relativno poceni ter za namestitev ne potrebujejo zahtevne opreme. Vzdrževanje biotehnične zaščite pobočij ni zahtevno in obsežno, saj se sistem sam popravlja (Ahn et al., 2002). Damians in drugi, 2023 geosintetika prinaša pomembne družbene, tehnične in funkcionalne prednosti v primerjavi z drugimi metodami stabilizacije tal, kot so drenaža, izkop in nadomestitev z določenimi granuliranimi materiali ali kemična stabilizacija. V primerjavi s tradicionalnimi metodami drenaže (tj. pesek in gramoz) je ključna prednost ta, da rešitve na podlagi geosintetike bistveno zmanjšajo potrebno debelino slojev agregata v primerjavi z običajnimi rešitvami.
Vzdrževanje	Geosintetični material je biološko razgradljiv (npr. naravna vlakna) ali nerazgradljiv (poliester, polipropilen ali polietilen). Z razvojem tehnologije sta koncept in funkcija biološko nerazgradljivih geotekstilov in drugih geosintetikov postala prednostna izbira. S tehnološkim napredkom sta koncept in funkcija nerazgradljivih geotekstilov in drugih geosintetikov postala prednostna izbira. Zaradi sestave iz polimerov (npr. poliestra, polipropilena ali polietilena) so geotekstili postali praktičen, za vzdrževanje enostaven izdelek, ki se uporablja v geotehnični stroki. Geosintetični materiali imajo relativno dolgo življenjsko dobo, zlasti tisti, ki niso biorazgradljivi. (Sklic: https://bluestonesupply.com/pages/geosynthetics-how-do-they-prevent-landslides)
Podnebne spremembe	Uporaba geosintetikov je postala pomemben material za doseganje okoljske trajnosti. Geosintetiki so trajni polimeri, ki zagotavljajo visoko zmogljivost in pogosto prispevajo k temu, da so infrastrukture v številnih pogledih bolj trajnostne (Damians et al., 2023).
Druge nevarnosti	Funkcije in uporaba biotehnične zaščite pobočij vključujejo ojačitev, ločevanje, odvodnjavanje, filtriranje in zaščito, kar vse prispeva k zmanjševanju ogroženosti zaradi zemeljskih plazov (Fang et al., 2023). To je ena od metod, ki se uporablja za nadzor erozije in preprečevanje, da bi bilo pobočje občutljivo na pobočne premike (na primer: plitvi zemeljski plazovi, podori manjših dimenzij).

Ukrep: plitvo površinsko odvodnjavanje	
Nekaj primerov uporabe:	 <i>Slika 2. Kamnita drenažna rebra imajo dvojno funkcijo: (1) najprej kot drenažni sistem na pobočju in (2) nato kot podporna konstrukcija. (Sklic: Inženirska geologija Facebook).</i>
Kratek povzetek	Površinsko odvodnjavanje je glavni ukrep pri sanaciji zemeljskih plazov. Njegov glavni namen je zbiranje in nadzor površinske vode (Mihalić Arbanas in Arbanas, 2015). Odvodnjavanje poveča stabilnost tal in zmanjša težo drsne mase. Odvodnjavanje je lahko površinsko ali podpovršinsko. Ukrepi za površinsko odvodnjavanje zahtevajo minimalno načrtovanje in stroške, imajo pa precejšnje koristi za stabilnost. Priporočljivi so na vseh potencialnih ali obstoječih zdrsih (Highland in Bobrowsky, 2008). Površinsko odvodnjavanje se lahko izvaja v obliki jarkov, kanalov ali cevi.
Primer študije primera	Površinsko odvodnjavanje je le redko samostojno, običajno dopolnjuje druge inženirske strukturne ukrepe, kot so oporni zidovi, podpovršinsko odvodnjavanje itd. V Sloveniji se površinsko odvodnjavanje uporablja tudi kot ukrep pri nestabilnosti pobočij. Je učinkovit in enostaven za izvajanje. Problematičen lahko postane, če se površinsko odvodnjavanje ne izvaja in vzdržuje pravilno ali če ostane opuščeno. V tem primeru ima lahko ta poseg v pobočje nasproten učinek in povzroči dodatno zatekanje vode v drsno ploskev. V nadaljevanju je predstavljenih nekaj primerov površinskega odvodnjavanja:



Slika 3. Površinski jarki, izvedeni v zgornjem delu plazu Betel (Jesenice, Slovenija) (Arhiv GeoZS).



Slika 4. Primer neustrezne izvedbe in vzdrževanja drenažnega sistema, zaradi katerega površinska voda nekontrolirano teče po plazu in čez cesto (izvir Urbas, plaz Urbas, Jesenice).

Izvedljivost	Ukrepi za površinsko odvodnjavanje zahtevajo minimalno načrtovanje in stroške ter imajo velike koristi za stabilnost. Priporočljivi so na vseh potencialnih ali obstoječih plazljivih območjih. Čeprav so ukrepi za površinsko odvodnjavanje poceni in enostavni za izvedbo, je ključnega pomena, da se izvedejo po skrbnem premisleku, vključno s predhodnimi preiskavami in načrti za projektiranje.
Stroškovna učinkovitost	V primerjavi z drugimi sanacijskimi ukrepi ima izvajanje površinskega odvodnjavanja na splošno najnižje stroške in največjo učinkovitost (Mihalić Arbanas & Arbanas, 2015).
Vzdrževanje	Vzdrževanje sistemov za površinsko odvodnjavanje je ključnega pomena za zagotavljanje njihovega delovanja in učinkovitosti. Za pravilno vzdrževanje upoštevajte naslednje korake: Redni pregledi, redno čiščenje in odmašitev, popravila,

Vrednotenje hibridne infrastrukture za zmanjševanje ogroženosti pod vplivom podnebnih sprememb

	Vzdrževanje je preprosto, poceni in običajno ne zahteva zahtevne opreme.
Podnebne spremembe	Izvajanje površinskega odvodnjavanja nima neposrednega vpliva na podnebne spremembe. Zaradi podnebnih sprememb se pričakuje povečanje pogostosti in intenzivnosti padavin ter s tem povečanje nestabilnosti pobočij. Zato bo imelo površinsko odvodnjavanje pomembno vlogo pri preprečevanju in sanaciji zemeljskih plazov.
Druge nevarnosti	Ukrepi za površinsko odvodnjavanje na splošno pozitivno vplivajo na stabilnost pobočij, zlasti na obvladovanje erozije in poplavljanje.

Plazovi - sivi ukrepi

Ukrep: mrežne pregrade	
Primerov uporabe	 <i>Slika 5. Mrežna pregrada v hudourniku Lukenjski graben v Sloveniji (Jošt Sodnik).</i>
Kratek povzetek	Mrežne pregrade so učinkovita zaščita pred zemeljskimi plazovi, zlasti pred drobirskimi tokovi ali skalnimi podori. Ta vrsta ukrepa omogoča veliko deformacijo, zato je primerna za absorpcijo dinamičnih udarnih obremenitev (Volkwein et al., 2011). Tipičen prožen sistem zaščite pred skalnimi podori je sestavljen iz jeklene mreže, ki je vzdolžno pritrjena na tako imenovane podporne vrvi (Volkwein et al., 2011). Prednosti prožnih pregrad so, da jih je razmeroma enostavno namestiti na strmem naravnem terenu, da so vizualno manj opazne in imajo manjši vpliv na okolje v primerjavi z betonskimi pregradami (Choi in Cheung, 2013)
Primer študije primera	Medtem ko se mrežne pregrade že več kot dvajset let uporabljajo kot zaščitni ukrep pred padci balvanov in skal, je uporaba mrežnih pregrad za zaščito pred zemeljskimi plazovi razmeroma nov koncept Choi in Cheung (2013). Prilagodljive jeklene mrežne pregrade se pogosto uporabljajo v gorskih regijah za ublažitev geoloških nevarnosti, kot so padci skal in drobirski tokovi (Wendeler et al. 2006). Choi in Cheung (2013) predstavljata vrsto ukrepov, ki so bili uporabljeni v Hongkongu.
Izvedljivost	Pomembno je izbrati ustrezen ukrep na podlagi posebnih okoljskih pogojev in značilnosti vodnega toka na zadevnem območju. Togi kontrolni jezovi so primerni za območja, kjer je potreben stabilen in dolgoročen nadzor, medtem ko so mrežne pregrade bolj prilagodljive spreminjajočim se razmeram in so primernejše na območjih s pogostimi dogodki, ki zahtevajo hiter odziv in vzdrževanje. Prilagodljive mrežne pregrade so zelo primerne za oddaljena in težko dostopna območja.
Stroškovna učinkovitost	Po podatkih Volkweina in drugih (2015) so prilagodljive mrežne pregrade stroškovno učinkovit ukrep za ublažitev. V primerjavi s togimi omilitvenimi ukrepi (Hu et al., 2020; Su et al., 2021) je prožne pregrade enostavno in ekonomično namestiti, vzdrževati in zamenjati, zlasti na gorskih območjih. Vendar je stroškovna učinkovitost teh ukrepov odvisna od več dejavnikov, kot so namen (padajoče kamenje, drobirski tok, hudourniške poplave itd.), zasnova pregrade (zmogljivost, energijska obremenitev itd.), lokacija (gore, mestno območje, težko dostopna območja itd.), namestitev, vzdrževanje in lokalni pogoji (izpostavljenost UV-žarkom, nihanje temperature itd.).
Vzdrževanje	Mrežne pregrade so zasnovane tako, da prenesejo dinamične in statične udarne obremenitve. Za zagotavljanje optimalnega delovanja zahtevajo stalno vzdrževanje, vključno z rednim čiščenjem za odstranjevanje vegetacije in manjših dogodkov. Po vsakem večjem dogodku je treba opraviti preglede in vzdrževanje. Pomembno je opozoriti, da se lahko mrežne pregrade med dogodkom deformirajo (Vicari et al., 2021).

Vrednotenje hibridne infrastrukture za zmanjševanje ogroženosti pod vplivom podnebnih sprememb

Podnebne spremembe	Prednosti mrežnih pregrad so, da jih je razmeroma enostavno namestiti na strmem naravnem terenu, da so vizualno manj moteče in imajo manjši vpliv na okolje v primerjavi z armiranobetonskimi pregradami (Choi in Cheung, 2013).
Druge nevarnosti	Z mrežnimi pregradami lahko območje zaščitite pred številnimi procesi premikanja pobočnih mas, kot so padajoče kamenje, drobirski tok, hudourniške poplave in/ali njihova kombinacija.

Ukrep: zaplavne pregrade	
Nekaj primerov uporabe:	 <i>Slika 6. Zaplavne pregrade (Koroška Bela, Jesenice, Slovenija).</i>
Kratek povzetek	Zaplavne pregrade so majhni jezovi za skladiščenje sedimentov, ki se gradijo v strugah strmih hudournikov za stabilizacijo dna struge. Običajno se uporabljajo za nadzor drobirskih tokov (Highland in Bobrowsky, 2008). Zaplavne pregrade so prečne inženirski objekti različnih velikosti in višine, ki so zgrajene iz različnih materialov, kot so betonski bloki, kamen v betonu ali les (Lucas-Barja et al., 2021). Zaplavne pregrade so pomemben nadzorni ukrep, saj zmanjšujejo hitrost vodnega toka in omejujejo erozijo, zadržujejo sedimente, stabilizirajo brežine in nadzorujejo plazove na pobočjih (Castillo et al., 2014, Mekonnen et al., 2015; Quiñonero-Rubio et al., 2016).
Primer študije primera	Pregled literature je pokazal, da je bilo v številnih študijah predstavljenih veliko različnih študijskih primerov, v katerih so bili zaplavne pregrade uporabljeni kot strukturni ukrep za ublažitev zemeljskih plazov. Najnovejša: Baggio in d'Agostion, 2022, sta analizirala erozijo in odlaganje v primeru drobirskega toka s porušitvijo zaplavnih pregrad v kanalu Rotian (vzhodnoitalijanske Alpe). Eno najnovejših študij o zaplavnih pregradah je predstavil Zhou et al., 2023. V njej je prikazana analiza ocene zaplavnih pregrad in pogozdovanja pri blaženju drobirskih tokov na podlagi študijskega primera, ki se je zgodil v soteski Loagan na Kitajskem.
Izvedljivost	Zaplavne pregrade se pogosto gradijo v zaporedju, da bi zmanjšali erozijo dna, transport sedimentov, hitrost toka in destabilizacijo bregov (Zeng et al., 2009). Tudi če so zaplavne pregrade zasnovane z upoštevanjem geomorfoloških razmer po analizi preteklih

	dogodkov, morda niso reprezentativni za prihodnje dogodke (Hübl et al., 2005).
Stroškovna učinkovitost	Zaplavne pregrade služijo različnim namenom in veljajo za stroškovno učinkovit in dolgoročen ukrep za ublažitev posledic. Ukrepi služijo različnim namenom in veljajo za stroškovno učinkovit in dolgoročen omilitveni ukrep. Poleg nadzora zemeljskih plazov se uporabljajo tudi za nadzor hudournikov, izboljšanje oskrbe z vodo, razvoj kmetijskih zemljišč in obnovo vodnih območij. Zasnova zaplavnih pregrad in njihova stroškovna učinkovitost se razlikujeta glede na okoljski kontekst. Pregled učinkovitosti zaplavnih pregrad je podrobno predstavljen v publikaciji Lucas Barja et al., 2023: The diagram illustrates the functions and effects of check dams over time, categorized into three main areas: Hydrology, Geomorphology, and Ecology. It shows the progression from an 'Empty check dam' to a state where the dam is filled with sediment, leading to 'Aggradation, widening' and 'Consolidation'. The diagram also shows the 'Flood time-scale' and 'Check dam filling time-scale'. Hydrology Functions: WATER STORAGE, GROUNDWATER RECHARGE, RUNOFF CONTROL, DEBRIS FLOW REGULATION*. Geomorphology Functions: SEDIMENT RETENTION, CHANNEL STABILIZATION, HILLSLOPE CONSOLIDATION*. Ecology Functions: VEGETATION RESTORATION, LAND RECLAMATION**. Legend: AA: Side view, BB: Transverse view. Time general direction: Indicated by a downward arrow on the left. Time scales: Flood time-scale, Check dam filling time-scale, Life-cycle time-scale. Effects and Processes: Hydrology: Water storage (transient), Peak flow buffering, Infiltration during storage. Geomorphology: Sediment retention (upstream), Jet scouring (at check dam toe), Sediment starvation, incision (downstream), Landslides*, Bed-load transport, Suspended load transport, Incision, Scouring, Organic matter sedimentation, Carbon sequestration. Ecology: Vegetation growth in sediment wedge, Vegetation regeneration on banks and hillslopes. Check dam filling time-scale: Adding new check dams? Yes/No. Deposition during events with high sediment supply*. Later erosion*. Aggradation*. Incision, narrowing*. Aggradation*. Deposition during high magnitude sediment supply events*. Re-erosion and downstream transfer during later events*. Bed-level fluctuations and solid transport regulation*. Reduction in water stream velocity due to lower slope, wider channels and vegetation roughness. Peak flow buffering. Transient infiltration. Hillslope and alluvial forest recovering and ageing. Agriculture and/or grazing on the sediment wedge and hillslopes**. Life-cycle time-scale: Reduction in water stream velocity due to lower slope, wider channels and vegetation roughness. Peak flow buffering. Transient infiltration. Hillslope and alluvial forest recovering and ageing. Agriculture and/or grazing on the sediment wedge and hillslopes**. * Rather specific to alpine catchments (debris flows and debris floods) ** Rather specific to catchments with very fine sediment transport (e.g., loess plateau in China)
Vzdrževanje	Po pretokih z veliko hitrostjo potrebujejo obsežno vzdrževanje. Zlasti je priporočljivo, da se zaplavne pregrade pregledujejo vsaj tedensko, pred napovedanimi deževnimi dogodki, dnevno med

	daljšimi deževnimi dogodki in po koncu deževnih dogodkov. Če pa se takšni objekti zrušijo ali delno poškodujejo zaradi ekstremnih dogodkov, slabega vzdrževanja in/ali neustrezne lokacije, lahko sproščeni sedimenti hudournikov iz teh objektov povečajo vpliv poplav, kar povzroči katastrofalne razmere dolvodno (Wang, 2013; Zhang et al., 2019; Motagh in Akhemi, 2023).
Podnebne spremembe	V prihodnosti je pričakovati spremembe vegetacije in povečanje števila ekstremnih padavin, s tem pa tudi premike pobočnih mas, ki so povezani z intenzivnimi padavinami. Po mnenju Luana in drugih (2022) bodo imele zaplavne pregrade pomembno vlogo pri prilagajanju na podnebne spremembe. Tudi Zhou in drugi (2023) so kot najpomembnejši nadzorni ukrep predstavili kombinacijo zaplavnih pregrad in pogozdovanja.
Druge nevarnosti	Glede na strukturo in obliko zaplavnih pregrad se lahko njegovi cilji in funkcije razlikujejo (Zhou et al., 2023). Znano je, da so pregrade učinkovite pri zaščiti dolvodnih območij pred poplavami z uravnavanjem odvajanja vode v zgornjem delu reke. Manj pogosta uporaba zaplavnih pregrad je nadzor nad brežinami in plitvimi zemeljskimi plazovi na izvornem območju drobirskih tokov (Highland in Bobrowsky, 2008).

Ukrep: globinsko odvodnjavanje (podpovršinsko izsuševanje)	
Nekaj primerov uporabe:	 <i>Slika 7. Drenažni vodnjaki (zemeljski plaz Slano Blato, Slovenija).</i>
Kratek povzetek	Odvodnjavanje je glavni ukrep pri sanaciji zemeljskih plazov (Hutchinson, 1977). Globoko drenažo lahko sestavljajo: drenažni vodnjaki (Pulko et al., 2012), horizontalni drenažni sistemi (Cook et al., 2012), drenažni predori (Yan et al., 2019) itd. Globinska drenaža je pogosto kombinacija ukrepov, kot so drenažni vodnjaki s horizontalnimi drenažami (Cotecchia, 2020) ali drenažni vodnjaki (Pulko et al., 2012). Najpogostejše drenažni sistem deluje gravitacijsko, včasih pa se za odvajanje vode iz vodnjakov uporabljajo črpalke. Vodoravne drenaže se najpogostejše uporabljajo za globinsko odvodnjavanje in se običajno uporabljajo, kadar je izkop drenažnega jarka zahteven zaradi globine ali stabilnosti med izkopom. Te drenaže so sestavljene iz niza vodoravnih vrtin, opremljenih s perforiranimi (plastičnimi) cevmi, običajno s premerom 120 do 150 mm, ki so vzporedno razporejene v obliki ventilatorjev. Običajni kot vgradnje je 2 do 5 ° nad vodoravno ravnino, da se olajša gravitacijski tok vode. Vgradnja plasti filtrov je lahko problematična, zato bi lahko geosintetične filtre ovili okoli drenažne cevi. Globoki vodnjaki se uporabljajo za odvodnjavanje nestabilnih pobočij, kadar je zaradi potrebne globine gradnja drenažnih jarkov ekonomsko neizvedljiva. V nekaterih primerih so manjši drenažni vodnjaki nameščeni tako tesno, da se prekrivajo in tvorijo medsebojno povezan drenažni sistem, ki spominja na drenažni jarek. Za povezavo drenažnega vodnjaka in odvajanje vode iz vodnjakov se izvirajo vodoravne drenaže, če vodoravne drenaže ni mogoče izvesti, pa se za odvajanje vode iz vodnjakov uporabijo črpalke. Drenažni predori se uporabljajo, kadar gradnja drenažnih vodnjakov ni ekonomsko upravičena. Pogosto se uporabljajo za sanacijo velikih globokih zemeljskih plazov pri avtocestnih in

	hidroenergetskih projektih. Drenažni predori so pogosto kombinirani z drenažnimi vrtinami.
Primer študije primera	Obstaja veliko študij primerov za različne aplikacije globokega odvodnjavanja: Shrestha et al., 2008, so preučevali tok tal v zemeljskem plazu Nuta-Yone na Japonskem in razloge za različne učinke horizontalnih drenaž ter iskali potencialno boljše lokacije za prihodnje ukrepe za sanacijo plazov. Pulko et al., 2012, so predstavili uporabo drenažnih vrtin za sanacijo dveh slovenskih globokih zemeljskih plazov (Slano blato in Macesnik). Yan et al., 2019, so predstavili učinkovitost drenažnega tunela za stabilizacijo plazu Donglingxing v bližini rezervoarja hidroelektrarne Sanbanxi na Kitajskem.
Izvedljivost	Globoko odvodnjavanje je mogoče le, če se s preiskavo tal ugotovi prisotnost vode in če projektne študije pokažejo znatno zmanjšanje možnosti okvare. Gradnja vodnjakov je lahko problematična v primeru aktivnih zemeljskih plazov (Pulko et al., 2012). Drenažne galerije se zgradijo na stabilnih tleh, navpični drenažni vodi pa se izvrtajo v telo zemeljskega plaz. Tako horizontalni kot vertikalni drenažni sistemi bi se lahko v primeru velikih premikov zemeljskega plaz zamaknili in bi jih bilo treba rekonstruirati.
Stroškovna učinkovitost	Globoki drenažni sistemi so običajno stroškovno učinkovit ukrep le v primeru velikih globokih zemeljskih plazov, zato se uporabljajo skoraj izključno pri velikih projektih, kot so avtoceste in hidroelektrarne.
Vzdrževanje	Uporaba drenaže kot dolgoročne rešitve predstavlja izziv, saj zahteva redno vzdrževanje, da se zagotovi trajno delovanje (Bromhead, 1992). Pogosto je treba horizontalne in vertikalne odtok ponovno izvrtati zaradi zamašitve in/ali poškodb zaradi premikov zemeljskih plazov. Spremljanje podzemne vode je potrebno za preverjanje zasnove in dokazovanje njene funkcionalnosti. Električne črpalke za pravilno delovanje potrebujejo stalno električno napajanje in vzdrževanje.
Podnebne spremembe	Podnebne spremembe naj bi povečale pogostost "ekstremnih" padavin. Posledica tega je zmanjšanje stabilnosti naravnih pobočij (Bernardie et al., 2021). Ker so globoki drenažni sistemi pogosto zasnovani tako, da le zmanjšujejo premike mase ali omogočajo ponovno aktivacijo v "ekstremnih" padavinskih dogodkih, lahko povečanje pogostosti takšnih dogodkov razkrije neustreznost trenutne zasnove.
Druge nevarnosti	

Ukrep: sprememba geometrije pobočja	
Nekaj primerov uporabe	 Slika 8. Preoblikovanje pobočja na zemeljskem plazu Slano Blato (Slovenija). Gladka pobočja spredaj so preoblikovana, bolj groba pobočja zadaj so naravna pobočja po aktivaciji plazu.
Kratek povzetek	Preoblikovanje telesa zemeljskega plazu je druga najpogostejše uporabljena metoda sanacije zemeljskih plazov (Hutchinson, 1977). S spreminjanjem geometrije pobočja lahko povečamo sile upora ali zmanjšamo gonilne sile. Oba ukrepa povečata stabilnost pobočij. Gonilne sile se zmanjšajo s preoblikovanjem ali zmanjšanjem naklona pobočja. Z obremenitvijo prsti zemeljskega plazu se sile odpornosti povečajo. Običajno se obremenitev izvede s kamnitim polnilom (oporo). Opomba: V primeru drugih podpornih elementov je treba nekoliko preoblikovati pobočja.
Primer študije primera	Slano Blato v Sloveniji.
Izvedljivost	Zmanjšanje geometrije pobočja je mogoče, če je zaledje plazu razmeroma ravno. Pripraviti je treba velika odlagališča za izkopani material. Zmanjšanje naklona pobočij za aktivirani zemeljski plaz med gradnjo ceste je lahko problematično zaradi omejitev na parceli. Skalni oporniki so mogoči, če je na vrhu plazu kakovostna podlaga.
Stroškovna učinkovitost	Stroškovna učinkovitost je odvisna od geometrije terena in jo je treba primerjati z drugimi alternativnimi rešitvami (odvodnjavanje, oporni zidovi itd.).
Vzdrževanje	Začetna korekcija pobočja v primeru erozije. Kasneje košnja trave, obrezovanje grmovja itd. V nekaterih primerih je potrebno opazovanje gibanja zemeljskih plazov.
Podnebne spremembe	Podnebne spremembe naj bi povečale pogostost "ekstremnih" padavin. Posledica tega je zmanjšanje stabilnosti naravnih pobočij (Bernardie et al., 2021). Podobno naj bi se zmanjšala tudi stabilnost pobočij saniranih pobočij.
Druge nevarnosti	V primeru mehkih kamnin lahko vremenske razmere zmanjšajo trdnost kamnine in povzročijo ponovno aktivacijo zemeljskega plazu. Na novo zgrajena pobočja so nagnjena k eroziji.

Ukrep: oporne strukture	
Nekaj primerov uporabe:	 Slika 9. Sidrana pilotna stena na avtocesti Razdrto-Vipava (plaz Rebernice, Slovenija) (foto B. Pulko).
Kratek povzetek	Oporne strukture povečajo odpornost sil na plaz. Na voljo je veliko možnosti, kot so: gravitacijski oporni zidovi (zidani zidovi, gabionski zidovi, armiranobetonski zidovi), konzolni ali sidrani zidovi na pilotih, itd. Gravitacijski zidovi podpirajo težo konstrukcije v tleh ter s togostjo in trdnostjo konstrukcije prenašajo obremenitve iz tal za konstrukcijo (O'Rourke in Jones, 1990). Pogosto so nagnjeni v tla, da zmanjšajo sile delovanja tal in neugodne momente. Konzolni zidovi uporabljajo težo tal za zmanjšanje neugodnih momentov. Piloti ali podobni zidovi podpirajo zemljo s prenosom sil v globlje plasti tal. Piloti se morajo sami upirati neugodnim momentom zaradi delovanja tal. Pri sidranih pilotnih stenah se del delovanja tal prek sider prenese na stabilna tla, da se zmanjšajo upogibni momenti v konstrukcijah.
Primer študije primera	Plaz Rebernice na avtocesti Razdrto-Vipava v Sloveniji je bil stabiliziran z vrsto pilotnih zidov (Pulko et al., 2005).
Izvedljivost	Oporne konstrukcije so razmeroma dobro razumljive in enostavne za izvedbo. Te strukture so razmeroma toge in ne morejo prenesti večjih premikov zemeljskih plazov. Po drugi strani pa so stene iz gabionov bolj prožne in lahko prenesejo več deformacij. Za zagotovitev pravilnega delovanja je treba sidra nenehno nadzorovati. Če so sile na sidrih večje od načrtovanih, je treba namestiti dodatna sidra.
Stroškovna učinkovitost	Stroškovna učinkovitost je odvisna od velikosti objekta. Gravitacijski zidovi so stroškovno najučinkovitejši, vendar jih je mogoče zgraditi le do določenih višin. Stroški konzolnih sten bi lahko bili problematični zaradi razmeroma velikih izkopov in podpore, potrebne med izkopi. Stene s piloti so najdražje, vendar omogočajo sanacijo globokih zemeljskih plazov. Utrjevanje tal je običajno stroškovno učinkovitejše od gravitacijskih zidov (Sahu et al., 2021).
Vzdrževanje	Pravilno oblikovane oporne konstrukcije zahtevajo minimalno vzdrževanje. Zaradi staranja materiala, zlasti v primeru betona, so lahko potrebna nekatera popravila. K staranju in spremembam materiala največ prispevajo plevel, zmrzal in sol.

Vrednotenje hibridne infrastrukture za zmanjševanje ogroženosti pod vplivom podnebnih sprememb

	Oporne konstrukcije se lahko zgradijo z drenažnimi sistemi, ki jih je treba redno vzdrževati, da se zagotovi njihovo pravilno delovanje. Večje ali bolj kritične oporne konstrukcije je treba spremljati, da se odkrijejo morebitne deformacije. Pri sidranih pilotnih stenah je treba izmeriti sidrne sile in redno preverjati, ali so glave sider poškodovane. Poškodovana sidra je treba zamenjati.
Podnebne spremembe	Podnebne spremembe naj bi povečale pogostost "ekstremnih" padavin. Posledica tega je zmanjšanje stabilnosti naravnih pobočij (Bernardie et al., 2021). Podobno naj bi se zmanjšala tudi stabilnost pobočij saniranih pobočij.
Druge nevarnosti	Lahko potencialno zmanjšujejo erozijo tal.

Ukrep: spreminjanje mehanskih lastnosti tal	
Nekaj primerov uporabe:	 Slika 10. Sidran armiranobetonski okvir na avtocesti Razdrto-Vipava (plaz Rebernice, Slovenija) (foto B. Pulko).
Kratek povzetek	Za povečanje trdnosti tal se lahko uporabi ojačitev tal. Z geomrežami se strižne sile prenesejo na stabilno telo tal. Uporabljajo se predvsem za sanacijo pobočij po zemeljskih plazovih. Za stabilizacijo zemeljskega plazu na mestu se uporabljajo talno zakovičenje ali prednapeti sidrani armiranobetonski nosilci. Navpični zid se lahko izvede z gabioni ali betonskimi oblogami. Pribijanje z žebli poveča strižno odpornost tal/mehke kamnine z vgradnjo številnih jeklenih palic. Stabilnost površine se vzdržuje z brizganim betonom, ojačanim z jekleno maso. Uporabljajo se predvsem pri začasnih izkopih, saj jekleni žebli za tla niso odporni proti koroziji ali na območjih s potencialno nestabilnostjo. Talna sidra so podobna talnim žebli, vendar so prednapeti. Namesto jeklenih palic se uporabljajo jeklene žice. Običajno obstaja "prosti" del, kjer ni tornega stika z okoliško zemljo/skalo, in "omejeni" del, ki je injektiran, da se ustvari dober stik z okoliško zemljo/skalo. Za prenos sidrskih sil v tla se običajno uporablja betonski okvir.
Primer študije primera	Turner in Jensen (2005) sta opisala pritrdjevanje z žebli za stabilizacijo aktivnega zemeljskega plazu na avtocesti v Wyomingu v ZDA. Nguyen et al. (2020) opisujejo zemeljska sidra, uporabljena za stabilizacijo globoko ležečega zemeljskega plazu Thong Nhat v Vietnamu. Rimoldi et al. (2021) navaja primer uporabe ojačitve tal za obnovo pobočij po aktiviranju zemeljskih plazov v Aziji.
Izvedljivost	Talni žebli in zemeljska sidra so razmeroma toga in ne morejo prenesti večjih premikov zemeljskih plazov. V zadnjem času se razvijajo posebne konstrukcije, ki omogočajo večje premike tal (Brezzi et al., 2021). Za trajno zasidrane sisteme na splošno velja, da imajo življenjsko dobo od 75 do 100 let. Za zagotavljanje pravilnega delovanja jih je treba nenehno nadzorovati. Če so sile na sidrih večje od načrtovanih, je treba vgraditi dodatna sidra. Poškodbe glave sidra lahko povzročijo težave s korozijo. Pri žeblih v tleh lahko pride do težav s korozijo.
Stroškovna učinkovitost	V primerjavi z drugimi rešitvami se je ojačitev tal izkazala za učinkovitejšo z vidika časa gradnje in stroškov (Rimoldi et al., 2021). Talna sidra so zanesljiv, vendar drag ukrep za stabilizacijo zemeljskih plazov v primerjavi z drugimi protiukrepi. V primerjavi z zemeljskimi žebli

Vrednotenje hibridne infrastrukture za zmanjševanje ogroženosti pod vplivom podnebnih sprememb

	zagotavljajo zemeljska sidra večjo odpornost proti drsenju in se uporabljajo predvsem pri večjih zemeljskih plazovih.
Vzdrževanje	Pri prednapetih talnih sidrih je treba meriti sile in redno preverjati, ali so glave sider poškodovane. Poškodovana sidra je treba zamenjati.
Podnebne spremembe	Podnebne spremembe naj bi povečale pogostost "ekstremnih" padavin. Posledica tega je zmanjšanje stabilnosti naravnih pobočij (Bernardie et al., 2021). Podobno naj bi se zmanjšala tudi stabilnost pobočij saniranih pobočij.
Druge nevarnosti	Lahko potencialno zmanjšujejo erozijo tal.

Viri

- Ahn, T.B., et al. (2002). Stabilization of soil slope using geosynthetic mulching mat. Geotextiles and Geomembranes, [https://doi.org/10.1016/S0266-1144\(02\)00002-X](https://doi.org/10.1016/S0266-1144(02)00002-X).
- Baggio, T., D'Agostino, V. (2022). Simulating the effect of check dam collapse in a debris-flow channel. Science of The Total Environment, 816, 151660. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151660>.
- Bezák, N., Jež, J., Sodnik, J., Jemec Auflič, M., Mikoš, M. (2020). An extreme May 2018 debris flood case study in northern Slovenia: analysis, modelling, and mitigation. Landslides, 17, 2373-2383. <https://doi.org/10.1007/s10346-019-01325-1>.
- Bouroullec, I. (2021). Modelling landslide hazards under global changes: the case of a Pyrenean valley, Natural Hazards Earth Systems Science, 21, 147–169.
- Brezzi, L., Bisson, A., Pasa, D., & Cola, S. (2021). Innovative passive reinforcements for the gradual stabilization of a landslide according with the observational method. Landslides 18:2143-2158.
- Bromhead, E.N. (1992). The stability of slopes. Blackie Academic and Professional, London: 217.
- Castillo, V. M., Mosch, W. M., García, C. C., Barberá, G. G., Cano, J. N., López-Bermúdez, F. (2007). Effectiveness and geomorphological impacts of check dams for soil erosion control in a semiarid Mediterranean catchment: El Cárcavo (Murcia, Spain). Catena, 70(3), 416-427. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.11.009>.
- Carlyle-Moses, D.E., Gash, J.H.C. (2011) Rainfall interception loss by forest canopies, chapter Forest Hydrology and Biogeochemistry, Ecological Studies, 216, Springer, pp. 407-423.
- Chen, Y.C., et al. (2014). Mechanisms of Forest Restoration in Landslide Treatment Areas. Sustainability. <https://doi.org/10.3390/su6106766>.
- Choi, K. Y., Cheung, R. W. (2013). Landslide disaster prevention and mitigation through works in Hong Kong. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 5(5), 354-365. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2013.07.007>.
- Colleran, B., et al. (2020). Invasive Japanese knotweed (*Reynoutria japonica* Houtt.) and related knotweeds as catalysts for streambank erosion. River Research and Applications. <https://doi.org/10.1002/rra.3725>.
- Cook, D., Santi, P., Higgins, J. (2012). Prediction of piezometric surfaces and drain spacing for horizontal drain design. Landslides 9:547-556.
- Cotecchia, F., Petti, R., Milella, D., Lollino, P. (2020). Design of Medium Depth Drainage Trench Systems for the Mitigation of Deep Landsliding. Geosciences 10: 1-24.
- Damians, I.P., et al. (2022). Sustainability of Geosynthetics-Based Landslide Stabilization Solutions. Progress in Landslide Research and Technology, Volume 1 Issue 1, https://doi.org/10.1007/978-3-031-16898-7_14.
- Emeka, O.J., et al. (2021). Evaluation of the Effect of Hydroseeded Vegetation for Slope Reinforcement. Land, <https://doi.org/10.3390/land10100995>.
- Fang, K. et al. (2023). Centrifuge modelling of landslides and landslide hazard mitigation: A review. Geoscience Frontiers, <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2022.101493>.
- Galve, J.P., et al. (2015). Assessment of shallow landslide risk mitigation measures based on land use planning through probabilistic modelling. Landslides, <https://doi.org/10.1007/s10346-014-0478-9>.
- Highland, L. M., Bobrowsky, P. (2008). The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides. Reston, Virginia, CO: U.S. Geological Survey (USGS) National Landslide Information Center (NLIC). <https://doi.org/10.3133/cir1325>.
- Hu, H., Zhou, G. G., Song, D., Cui, K. F. E., Huang, Y., Choi, C. E., Chen, H. (2020). Effect of slit size on the impact load against debris-flow mitigation dams. Engineering Geology, 274, 105764. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105764>.
- Hutchinson, N. (1977). Assessment of the effectiveness of corrective measures in relation to geological conditions and types of slope movement. Bulletin of the International Association of Engineering Geology 16: 131–155.
- Hübl, J., Holub, M., Suda, J. (2005, November). Structural mitigation measures. In 3rd Probabilistic Workshop: Technical Systems+ Natural Hazards, edited by: Bergmeister, K., Rickenmann, D., Strauss, A., Wieshofer, S., Curbach, M., and Proske, D., Universität für Bodenkultur, Department für Bautechnik und Naturgefahren (pp. 115-126).
- Lucas-Borja, M. E., Piton, G., Yu, Y., Castillo, C., Zema, D. A. (2021). Check dams worldwide: Objectives, functions, effectiveness and undesired effects. Catena, 204, 105390. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105390>.
- Margiorou, S., et al. (2022). Pre/Post-Fire Soil Erosion and Evaluation of Check-Dams Effectiveness in Mediterranean Suburban Catchments Based on Field Measurements and Modeling. Land, <https://doi.org/10.3390/land11101705>.

- Mekonnen, M., Keesstra, S. D., Stroosnijder, L., Baartman, J. E., Maroulis, J. (2015). Soil conservation through sediment trapping: a review. *Land degradation & development*, 26(6), 544-556. <https://doi.org/10.1002/ldr.2308>.
- Mihalić Arbanas, S., et al. (2015). Landslides: A Guide to Researching Landslide Phenomena and Processes. *Handbook of Research on Advancements in Environmental Engineering*, 10.4018/978-1-4666-7336-6.
- Montoro, J. A., et al. (2000). Three hydro-seeding revegetation techniques for soil erosion control on anthropic steep slopes. *Land Degredation & Development*, [https://doi.org/10.1002/1099-145X\(200007/08\)11:4<315::AID-LDR394>3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/1099-145X(200007/08)11:4<315::AID-LDR394>3.0.CO;2-4).
- Motagh, M., Akhiani, H. (2023). The cascading failure of check dam systems during the 28 July 2022 Emamzadeh Davood flood in Iran. *Natural Hazards*, 116(3), 4051-4057. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-05814-4>.
- Nguyen, L.C., Tien, P.V., Do, TN. (2020). Deep-seated rainfall-induced landslides on a new expressway: a case study in Vietnam. *Landslides* 17: 395–407.
- Papathoma-Köhle, M., Glade, T. (2013) The role of vegetation cover change for landslide hazard and risk. In: Renaud FG, Sudmeier-Rieux K, Estrella M (eds) *The role of ecosystems in disaster risk reduction*. UNU-Press, Tokyo, pp 293–320
- Popescu, M. E., Sasahara, K. (2009). Engineering Measures for Landslide Disaster Mitigation. In. *Landslides Disaster Risk Reduction*: 609-631.
- Pulko, B., Majes, B., Mikoš, M. (2014). Reinforced concrete shafts for the structural mitigation of large deep-seated landslides: an experience from the Macenik and the Slano blato landslides (Slovenia). *Landslides* 11: 81–91.
- Pulko, B., Popović, Z., Majes, B. (2005). Stability analysis and rehabilitation measures of landslide Rebernice. In: *Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*: 2563-2566.
- Quiñonero-Rubio, J. M., Nadeu, E., Boix-Fayos, C., de Vente, J. (2016). Evaluation of the effectiveness of forest restoration and check-dams to reduce catchment sediment yield. *Land Degradation & Development*, 27(4), 1018-1031. <https://doi.org/10.1002/ldr.2331>.
- Richet, J.B., et al., (2017). The role of vegetative barriers such as fascines and dense shrub hedges in catchment management to reduce runoff and erosion effects: Experimental evidence of efficiency, and conditions of use. *Ecological Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.08.008>.
- Rimoldi, P., Lelli, M., Pezzano, P., Trovato, F. (2021). Geosynthetic Reinforced Soil Structures for Slope Stabilization and Landslide Rehabilitation in Asia. In: *Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk*. WLF 2020. ICL Contribution to Landslide Disaster Risk Reduction. Springer, Cham. 397-404.
- Schiwndt, S., et al. (2018). Sediment traps with guiding channel and hybrid check dams improve controlled sediment retention. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, <https://doi.org/10.5194/nhess-18-647-2018>.
- Sahu, S.R., Shrotriya, D., Kumar, B. (2021) Study of Cost Effectiveness of Reinforced Earth Wall Over Conventional Retaining Wall Considering Different Heights. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development* 5(6): 1166-1169.
- Shrestha, H.K., Yatabe, R., Bhandary, N.P. (2008). Groundwater flow modeling for effective implementation of landslide stability enhancement measures. *Landslides* 5: 281–290.
- Shu, H., et al. (2019). Relation between land cover and landslide susceptibility in Val d'Aran, Pyrenees (Spain): Historical aspects, present situation and forward prediction. *Science of The Total Environment*, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.363>.
- Su, L. J., Xu, X. Q., Geng, X. Y., Liang, S. Q. (2017). An integrated geophysical approach for investigating hydro-geological characteristics of a debris landslide in the Wenchuan earthquake area. *Engineering Geology*, 219, 52-63. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2016.11.020>.
- Stokes, A., et al. (2014). Ecological mitigation of hillslope instability: ten key issues facing researchers and practitioners. *Plan and Soil*. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2044-6>.
- Tadsuwan, K. (2017). THE STUDY OF THE EFFECTS OF VEGETATION ON SLOPE STABILIZATION FOR LANDSLIDE PREVENTION IN THAILAND. PhD thesis, available at: http://ethesisarchive.library.tu.ac.th/thesis/2017/TU_2017_5922040455_8719_7216.pdf.
- Tasser, E., et al. (2003). Effects of land use in alpine grasslands on the probability of landslides. *Basic and Applied Ecology*. <https://doi.org/10.1078/1439-1791-00153>.
- Turner, J. P., Wayne, G. J. (2005). Landslide Stabilization Using Soil Nail and Mechanically Stabilized Earth Walls: Case Study. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* Archive 131(2): 141-150.
- Vergari, C. et al. (2017). Root reinforcement dynamics of European coppice woodlands and their effect on shallow landslides: A review. *Earth-Science Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.02.002>.

- Vicari, H., Ng, C. W., Nordal, S., Thakur, V., De Silva, W. R. K., Liu, H., Choi, C. E. (2022). The effects of upstream flexible barrier on the debris flow entrainment and impact dynamics on a terminal barrier. *Canadian Geotechnical Journal*, 59(6), 1007-1019. <https://doi.org/10.1139/cgj-2021-0119>.
- Volkwein, A., Schellenberg, K., Labiouse, V., Agliardi, F., Berger, F., Bourrier, F., et al. (2011). Rockfall characterisation and structural protection—a review. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11(9), 2617-2651.
- Volkwein, A., Wendeler, C., Stieglitz, L., Lauber, G. (2015). New approach for flexible debris flow barriers. In IABSE symposium report (Vol. 105, No. 48, pp. 1-7). International Association for Bridge and Structural Engineering.
- UNISDR. (2013). Forests and Landslides: The role of trees and forests in the prevention of landslides and rehabilitation of landslide-affected areas in Asia. Available at: https://www.unisdr.org/preventionweb/files/53056_i3245e.pdf.
- Xiao, H., et al. (2017). Experimental study on the soil mixture to promote vegetation for slope protection and landslide prevention. *Landslides*, <https://doi.org/10.1007/s10346-015-0634-x>.
- Wen, Y., et al. (2021). Experimental Study on Landslides in Terraced Fields in the Chinese Loessial Region under Extreme Rainfall. *Water*, <https://doi.org/10.3390/w13030270>.
- Wang, G. L. (2013). Lessons learned from protective measures associated with the 2010 Zhouqu debris flow disaster in China. *Natural Hazards*, 69, 1835-1847. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0772-1>.
- Wendeler, C., Volkwein, A., McArde, B. W., & Bartelt, P. (2019). Load model for designing flexible steel barriers for debris flow mitigation. *Canadian Geotechnical Journal*, 56(6), 893-910. <https://doi.org/10.1139/cgj-2016-0157>.
- Yan, L., Xu, W., Wang, H., Wang, R., Meng, Q., Yu, J., Xie, W.-C. (2019). Drainage controls on the Donglingxing landslide (China) induced by rainfall and fluctuation in reservoir water levels. *Landslides* 16: 1583–1593.
- Zeng, Q. L., Yue, Z. Q., Yang, Z. F., & Zhang, X. J. (2009). A case study of long-term field performance of check-dams in mitigation of soil erosion in Jiangjia stream, China. *Environmental Geology*, 58, 897-911. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1570-z>.
- Zhang, F., Yan, B., Feng, X., Lan, H., Kang, C., Lin, X., et al. (2019). A rapid loess mudflow triggered by the check dam failure in a bulldoze mountain area, Lanzhou, China. *Landslides*, 16, 1981-1992. <https://doi.org/10.1007/s10346-019-01219-2>.
- Zhou, G., Lyu, L., Xu, M., Ma, C., Wang, Y., Wang, Y., et al. (2023). Assessment of check dams and afforestation in mitigating debris flows based on dendrogeomorphic reconstructions, field surveys and semi-empirical models. *Catena*, 232, 107434. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107434>.