

# POMEN VAROVALNE VLOGE GOZDOV V HUDOURNIŠKIH POVIRJIH NA ZMANJŠANJE NEVARNOSTI NEGATIVNIH (KASKADNIH) UČINKOV ZEMELJSKIH PLAZOV NA HUDOURNIŠKE POPLAVE - KAJ NAM RAZKRIVAJO PODATKI POPLAV 2023?

**izr. prof. dr. Milan Kobal**, u.d.i.gozd., Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Biotehniška fakulteta UL, Večna pot 83, 1000 Ljubljana, milan.kobal@bf.uni-lj.si

**mag. Jože Papež**, u.d.i.gozd., Hidrotehnik, Vodnogospodarsko podjetje d.o.o., Slovenčeva 97, 1000 Ljubljana, joze.papez@hidrotehnik.si

**Aleš Poljanec**, u.d.i.gozd., Zavod za gozdove Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, ales.poljanec@zgs.si

**doc. dr. Primož Simončič**, u.d.i.les., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, primoz.simoncic@gozdis.si

**prof. dr. Andrej Bončina**, u.d.i.gozd., Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Biotehniška fakulteta UL, Večna pot 83, 1000 Ljubljana, andrej.boncina@bf.uni-lj.si

## Povzetek

Glede na značilnosti pretežno hudourniških poplav avgusta 2023 se v naslednjem petletnem obdobju načrtujejo pomembni vodnogospodarski (pretežno) gradbeni ukrepi za obvladovanje negativnih učinkov sproščanja, premeščanja in odlaganja hudourniških plavin in lesnega plavja. Vendar pa upravljanje s hudourniški območji ni zgolj urejanje strug in erozijskih žarišč, temveč je to upravljanje s celotnim vodozlivnim območjem, torej v prvi vrsti upravljanje s prostorom.

Ker so slovenska hudourniška povirja pretežno gozdnata, je sonaravno, trajnostno in mnogonamensko gospodarjenje z gozdovi, značilno za Slovenijo, tudi z vidika obvladovanja hudourniške in erozijske problematike ključnega pomena za zmanjševanje ogroženosti dolvodnih območij pred škodljivim delovanjem voda. Načrtno usmerjanje nege in razvoja gozdnih sestojev v hudourniških območjih v smeri vzdrževanja in optimiranja varovalne in zaščitne funkcije gozdov je v Sloveniji, in tudi drugje na območju Alp, nujno za obvladovanje poplavnih škod. Sonaravno gospodarjenje z goz-

dovi v Sloveniji je nedvomno primer dobre prakse izvajanja na naravi temelječe rešitve (t.i. NBS) in ni naključje, da je zato vpisano v Register nesovne kulturne dediščine, ki ga vodi Ministrstvo za kulturo. Slovenija se uvršča med vodilne države v Evropi na področju sonaravnega gospodarjenja z gozdovi in je zgled mnogim.

V prispevku prikazujemo rezultate raziskave na podlagi podatkov daljinskega zaznavanja študijskega območja pred in po ujmi 2023, s katerimi je kvantificiran varovalni učinek gozda v hudourniških povirjih na zmanjšanje nevarnosti kaskadnih učinkov zemeljskih plazov na hudourniške poplave. Rezultati analiz kažejo na pozitivno vlogo gozdov na zmanjševanje negativnih kaskadnih učinkov, ki jih predstavlja nastanek in proženje zemeljskih plazov in usadov na območjih nastanka, koncentracije in odtoka visokih hudournih voda. Zaradi pozitivnih učinkov gozdov in ustreznega načrtnega gospodarjenja z njimi je v gozdnem prostoru v primerjavi z drugimi rabami tal manj pojavov (plitvih) zemeljskih plazov kot na površinah z drugačno rabo. Pojavljajo se ob večjih naklonih površja, njihov doseg pa je manjši. Naša raziskava potrjuje, da gozd značilno prispeva k zmanjšanju vnosa plavin in plavja v času visokih hudournih voda, kar posledično pomeni zmanjšanje poplavne ogroženosti dolvodnih odsekov in (poseljenih) območij.

## Uvod

Hudourniška erozija je ključna erozijska nevarnost v Sloveniji, zato je treba čim bolj razumeti hudourniške procese in ugotovitve vključevati v preventivno delovanje. Naravne danosti Slovenije omogočajo razvoj teh procesov, ki se najbolj izrazito kažejo v času visokih hudournih voda v obliki drobirskih tokov. Ti so znani po nenadnem pojavu, visoki intenzivnosti in uničevalni moči, saj prenašajo velike količine plavin in pogosto tudi lesenega plavja. Razumevanje nastanka in razvoja erozijskih procesov je nujno za dokumentiranje in presojo poplavne in erozijske nevarnosti. Pri analizi hudourniških območij je pomembno ugotoviti, katere vrste premeščanja in naplavljanja plavin lahko pričakujemo, kar je zahtevna naloga zaradi vpliva številnih dejavnikov (npr. zrnavost plavin, nagib struge, geomorfologija). Zato je ob izrednih dogodkih nujno ustrezno dokumentirati in analizirati vidne posledice na terenu. S tem lahko ne le rekonstruiramo potek dogodka, temveč tudi izboljšamo umerjanje in verifikacijo modelov poplavne in erozijske nevarnosti.

Odtok visokih voda iz hudourniških območij je kompleksen proces, ki se prostorsko in časovno

spreminja. Da bi razumeli procese v strugi, je treba dokumentirati pojave vzdolž celotne struge v širšem območju vpliva visokih voda. Na podlagi dokumentiranih podatkov lahko opišemo razvoj in spreminjanje procesov med dogodkom. Na primer, znaten vnos plavin zaradi bočne in globinske erozije lahko povzroči, da se pretežno s plavinami neobremenjena visoka hudournna voda spremeni v proces premeščanja večjih količin rinjenih plavin, ob večji koncentraciji pa v hiperkoncentrirani transport plavin. V majhnih strmih erodibilnih vodobirnih območjih lahko visoka voda hitro preide v drobirski tok, prav tako pa se lahko v drobirski tok preoblikujeta tudi hiperkoncentrirani transport plavin in zemeljski plaz.

Za obvladovanje hudourniške problematike je zaželeno, da je v času ujem obseg zemeljskih plazov čim manjši in da zemeljski plazovi ne dosežejo hudourniških strug. Na pojavnost in obseg zemeljskih plazov bistveno vplivajo gozdovi, saj ustrezna zgradba in sestava gozdnih sestojev zmanjšuje pojavnost zemeljskih plazov.

Gozdovi v Sloveniji pokrivajo skoraj 60 % površja in opravljajo varovalne in zaščitne funkcije. Značilnost varovalnih in drugih ekoloških funkcij je, da jih je težko kvantificirati, pogosto pa je varovalni učinek gozdov podcenjen. Leta 2023 so bile v Sloveniji izjemne poplave. Na takratne hudourniške in erozijske procese so zagotovo imeli vpliv tudi gozdovi. Namen naše študije je oceniti/kvantificirati varovalne in zaščitne učinke gozdov ob tem dogodku.

## Zemeljski plazovi in gozd

### Zemeljski plazovi

Zemeljski plazovi sodijo med gravitacijske procese. Splazi lahko hribina in/ali zemljina. Pojavljajo se na brežinah in pobočjih z zmernim do strmim naklonom. Nestabilnost pobočja se kaže z različnimi pojavnimi oblikami plazenja. Zemeljski plazovi so pogostejši na večjih naklonih terena in neugodnih značilnostih hribin in/ali zemljin, ob intenzivnih ali dolgotrajnih padavinah, ali drugih procesih, ki povečujejo količino vode v zemljini, kot je recimo taljenje snega. Zemeljski plazovi se lahko sprožijo tudi zaradi sekundarnega premikanja zemljine na globlje ležečem fosilnem zemeljskem plazu. Globina drsne ploskve je različna, uveljavljane je delitev na plitve, srednje globoke in globoke plazove.

Slovenija je zaradi geoloških, topografskih in podnebnihi značilnosti močno izpostavljena pojavi

plazenja (Ribičič in sod., 1994). Na območju države naj bi bilo aktivnih med 7.000 in 10.000 zemeljskih plazov (Ribičič in sod., 1994), vendar je ta podatek zastarel. Samo ob ujmi leta 2023 naj bi se sprožilo in reaktiviralo 10.000 zemeljskih plazov (Peternel s sod., 2023).

V interni raziskavi Podjetja za urejanje hudournikov (1995) so ugotovili, da je okoli 30 % površine Slovenije potencialno podvržene plazenju. Poleg zemeljskih plazov, ki direktno ogrožajo objekte in infrastrukturo, veliko škode povzročajo tudi zemeljski plazovi, ki ob poplavah zajezijo hudourniške struge in na ta način lahko povzročijo, da se visoke hudourne vode spremenijo v rušilne oblike hudourniških poplav z obsežnim premeščanjem plavin in plavja.

## Vplivni dejavniki za nastanek zemeljskih plazov

Pretekle raziskave v Sloveniji (npr. Komac in sod., 2005; Zorn in Komac, 2008; Šinigoj in sod., 2013; Ferjan, 2024) so pokazale, da na nastanek zemeljskih plazov bistveno vplivajo geološke značilnosti, naklon terena, raba tal, ukrivljenost površja, orientacija ter bližina strukturnih elementov (npr. prelomi in diskontinuitete). Geološka zgradba se izkazuje kot eden izmed ključnih dejavnikov, saj nekatere kamnine hitreje preperevajo, zato je tam višja verjetnost pojavljanja zemeljskih plazov. Najpogosteje se plazovi pojavljajo v vulkanoklastičnih in sedimentnih klastičnih kamninah, kot so tufi, peščenjaki, fliš, glinavci, laporovci ter nevezani sedimenti (glina, pesek in prod). Po drugi strani so kamnine, kot so apnenci, dolomiti, magmatske kamnine, manj podvržene plazenju (Ribičič in Vidrih, 1994; Zorn in Komac, 2008).

Naklon pobočja je pomemben dejavnik za plazenje. Najpogosteje se zemeljski plazovi pojavljajo na pobočjih z naklonom med 10° in 20°, medtem ko so na pobočjih nad 50° redkejši, saj je tam prisotna predvsem erozija zemljin ter padanje, prevračanje in drsenje hribin (Komac in sod., 2005; Zorn in Komac, 2008; Ferjan, 2024).

Raba tal vpliva na plazenje preko kompleksnih odnosov med naravnimi in družbenimi dejavniki. Plazovi so pogostejši v urbanih območjih, vinogradih, pašnikih in na kmetijskih površinah z naravno vegetacijo (Komac in sod., 2005).

Vzdolžna ukrivljenost vpliva na stabilnost in premeške zemeljskih mas, pri čemer se vrednosti razlikujejo med območji proženja in območji odlaganja. Prečna ukrivljenost vpliva na širjenje in obliko plazov. Skupna ukrivljenost združuje vplive vzdolžne in prečne ukrivljenosti ter vpliva na ce-

loten obseg plazov (Ferjan, 2024). V Sloveniji se zemeljski plazovi pogosteje pojavljajo na vbočnem delu pobočij, kamor se steka voda (Komac in sod., 2005).

## Varovalni učinek gozdov

Številne raziskave potrjujejo, da gozdovi zmanjšujejo verjetnost pojavljanja zemeljskih plazov. Varovalna funkcija gozdov in varovalni gozdovi so opredeljeni v slovenski zakonodaji (Zakon o gozdovih, 1993; Pravilnik o načrtih za gospodarjenje z gozdovi in upravljanje z divjadjo, 2010, 2020). V nadaljevanju s pojmom varovalni gozdovi označujemo gozdove z varovalno funkcijo. Le ti so najučinkovitejša zaščita pred zemeljskimi plazovi (Brang in sod., 2006), vendar pa je za učinkovito zaščito potrebno aktivno načrtovanje in gospodarjenje v teh gozdovih (Fehrner in sod., 2007; Guček in sod. 2012). V Švici, na primer, letno porabijo 120 milijonov evrov za vzdrževanje varovalnih gozdov, kar je 5- do 10-krat ceneje kot tehnična zaščita (Wehrli in Dorren, 2013).

Pri določitvi varovalnih gozdov v Sloveniji se med drugim upoštevajo tudi lastnosti gozdnih rastišč, ki so vključene v predlog metodologije za določanje plazljivih območij (Košir, 1976; Anko in sod., 1985; Čampa, 1991; Anko in Golob, 1998; Horvat, 2001). Košir (1976) je gozdne združbe razdelil v skupine glede na varovalni pomen, posebej je opredelil tudi skupino gozdov na labilnih tleh. Ferme (1995) je analiziral pojavljanje plazenja v dolini Lučnice in ugotovil dobro ujemanje s skupinami, ki jih je predlagal Košir (1976).

Gozdovi zagotavljajo dolgoročno zaščito pred naravnimi nevarnostmi, vendar je za to potrebno sistemsko financiranje ter ustrezno ukrepanje. Kljub zmanjševanju verjetnosti za pojavljanje zemeljskih plazov v gozdovih to ne pomeni, da se plazovi tam ne bodo več pojavljali, zato so včasih potrebni dodatni tehnični ukrepi, kar otežuje prepoznavanje in priznavanje pozitivnega varovalnega učinka gozda (Čampa, 1991; Renaud in sod., 2016).

Pri vrednotenju varovalnega učinka gozda je pomembno upoštevati zgradbo krajine ter razporeditev gozdov in ostale rabe tal, ki je povezana z zgodovinsko rabo prostora, saj so gozdovi pogosteje prisotni na strmejših naklonih, medtem ko so ravnine namenjene poselitvi in kmetijstvu (Rikli in Graf, 2009).

Varovalni učinek gozda se kaže predvsem v izvornih območjih zemeljskih plazov, kjer je najpomembnejši, saj vpliva na to, ali se bo zemljina splazila ali ne. V območju proženja zemeljskih

plazov koreninski sistem stabilizira zemljinu, predvsem to velja v primeru plitvih zemeljskih plazov. Učinek je odvisen od lastnosti zemljine in globine koreninjenja dreves (Golob, 1994; Gray in Barker, 2004; Burylo in sod., 2011; Caviezel in sod., 2014). Zemeljski plazovi se v gozdovih pojavljajo pravilom na strmejših naklonih in v gozdnih sestojih z vrzelastim sestojnim sklepom (Rickli in sod., 2002; Bischetti in sod., 2016). Pri globokih zemeljskih plazovih je varovalni učinek gozda majhen oz. ni enoznačen (Biöetti in sod., 2009). Na območju premeščanja in odlaganja gozd vpliva predvsem na hitrost plazenja in kinetično energijo mase ter njen doseg in njeno lateralno širjenje (Brang in sod., 2006).

Gozdna vegetacija vpliva na vodno bilanco tudi z večjo intercepcijo padavin, evapotranspiracijo, spremembo pornih tlakov v zemljini in zmanjšanjem površinskega odtoka (Keim, 2007). Med močnimi padavinami ti učinki oslabijo, zato je njihov vpliv zanemarljiv (Caviezel in sod., 2014).

Poleg preprečevanja proženja plazov lahko gozdovi tudi povečujejo možnosti za njihov pojav. Do tega pride zaradi obremenitve zemljine z biomaso drevja in posrednega vpliv vetra preko drevja na tla oz. zemljinu (Steinacher in sod., 2009; Pawlik, 2013). Teža biomase vpliva na značilnosti zemljine, pri čemer je učinek odvisen od vrste zemljine in njenih lastnosti. Na območjih z nekoherentno in plitvo zemljinu, ki je tanjša od globine koreninjenja, je učinek gozda nevtralen do rahlo pozitiven. Pri koherentni zemljini pa učinek teže ni jasen, medtem ko je v primerih z globokimi drsnimi ploskvami pozitiven učinek zanemarljiv (Steinacher in sod., 2009).

Veter negativno vpliva na plazenje preko gibanja dreves, saj povzroča razrahljanje zemljine, kar povečuje infiltracijo vode in vodi do preperevanja nižje ležeče hribine. To ustvarja pogoje za erozijo in plazenje (Frehner in sod., 2007). Izruvanje dreves lahko prav tako sproži plazove (Pawlik, 2013). Kljub omenjenim negativnim vplivom so pozitivni učinki gozda na preprečevanje pojava zemeljskih plazov precej večje od negativnih vplivov gozda zaradi biomase in vetra (Steinacher in sod., 2009).

## **Pomen gospodarjenja z gozdom za zmanjšanje nevarnosti pred zemeljskimi plazovi**

Gozd učinkovito ščiti pred plazovi, kadar so njegovi varovalni učinki večji od obremenitev (Čampa, 1994). Ključna je stalna pokrovnost drevja, pomembne pa so tudi razvojna oblika, struktura, mešanost in vitalnost gozdnih sestojev. Največje varovalne učinke imajo odrasli, vitalni in ohra-

njeni gozdni sestoji (Rickli in Graf, 2009; Bischetti in sod., 2016). Pri presojanju varovalnih učinkov gozdnih sestojev je treba upoštevati njihov celoten življenjski cikel, pri čemer je obdobje obnavljanja sestojev kritično.

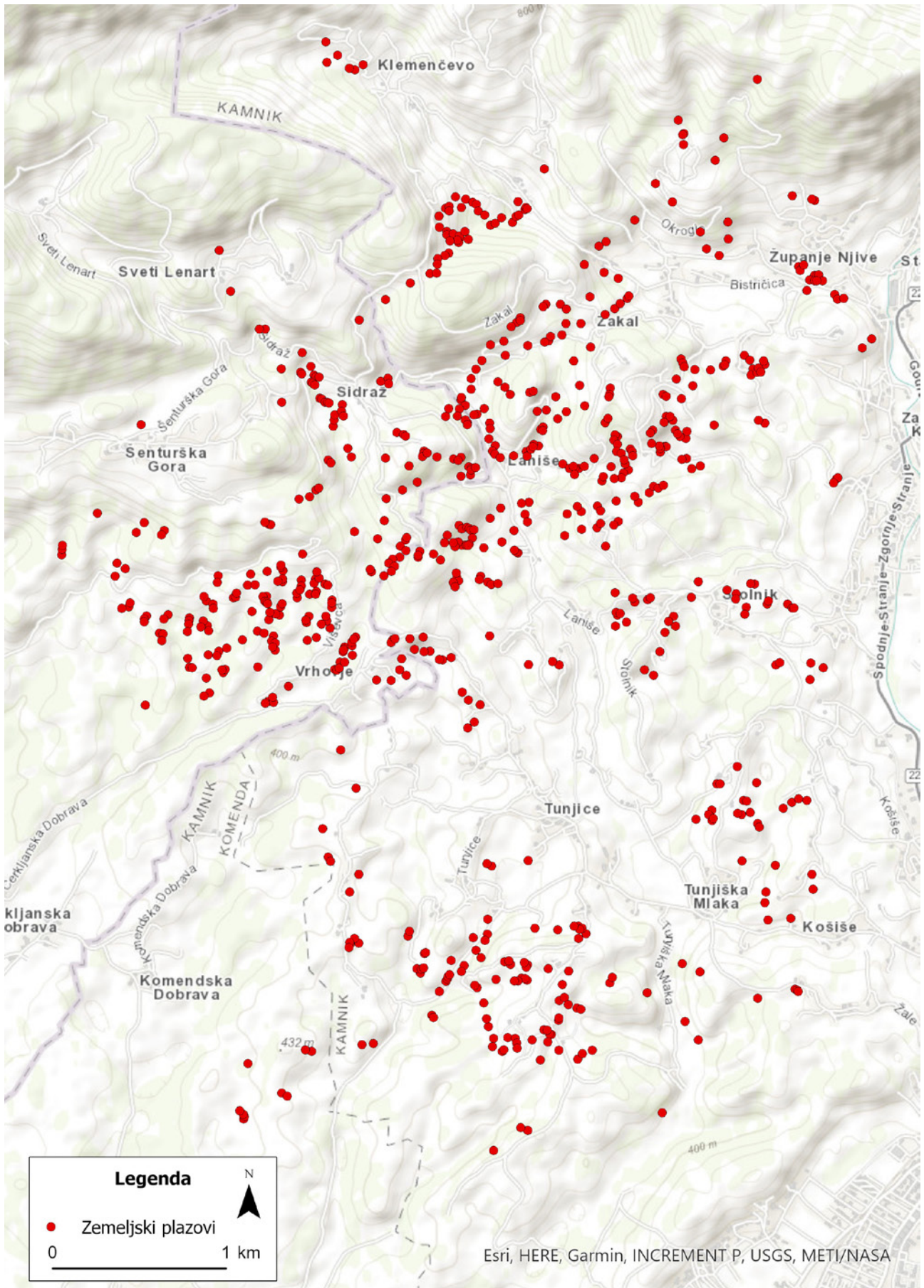
Pri poseku gozdnega sestoja se učinki vegetacije bistveno zmanjšajo, mehanski vpliv korenin pa se izgublja postopoma, običajno v približno desetih letih; v tem obdobju so varovalni učinki mladovja manjši od učinkov odraslega sestoja (Horvat, 1995; Ammann in sod., 2009; Steinacher in sod., 2009; Preti, 2013; Bischetti in sod., 2016). Zato je stalno naravno pomlajevanje pomembno, pri čemer se priporoča pomlajevanje v manjših vrzelih (dolžina površin do 20 m) (Moos in sod., 2016). Predlagani načini gospodarjenja vključujejo zastorno, skupinsko postopno (Guček, 2016), prebiralno (Golob, 1994) in v nekaterih primerih tudi panjevsko gospodarjenje (Rice, 1977). Podrast v gozdovih stabilizira tla oz. zemljinu, vendar lahko v primerih, ko v njej prevladujejo zeliščne in grmovne vrste oteži pomlajevanje drevesnih vrst (Burylo in sod., 2011; Bischetti in sod., 2016).

Različne drevesne vrste različno vplivajo na zaščito pred plazovi. Na splošno so primernejše vrste z globokimi koreninami in večjo porabo vode (Golob, 1995; Horvat in Zemljič, 1998; Mao in sod., 2014). Bukev velja za ustrežnejšo, medtem ko je smreka manj primerna (Golob, 1994; Norris in sod., 2008; Chiaradia in sod., 2016). Pomembno je, da so drevesne vrste prilagojene rastišču, saj to vpliva na vitalnost drevja in njihovo odpornost na povzročitelje motenj (Golob, 1994; Chiaradia in sod., 2016). Vrsta pestrost koreninskega pleteža je še posebej pomembna, saj ima večji vpliv kot sama gostota korenin (Caviezel in sod., 2014).

Vitalnost drevja ogrožajo biotski (npr. podlubniki, divjad) in abiotski dejavniki (npr. veter, sneg), pa tudi antropogeni posegi, kot so gradnja gozdnih prometnic in degradacija tal (Rice, 1977; Horvat, 1995). Pomembno je, da se gradnjo prometnic usmerja na stabilnejše terene, gospodarjenje pa prilagodi razmeram na labilnih tleh.

Aktivno ukrepanje v varovalnih gozdovih je ključno za zagotavljanje primerne zastiranja tal in usmerjanja procesov pomlajevanja (Krauchi in sod., 2000; Brang, 2001; Dorren in sod., 2004; Dorren in Berger, 2006; Guček in sod. 2012). Stroški gospodarjenja v varovalnih gozdovih so višji kot v preostalih gozdovih, vendar so za zagotavljanje varovalnih učinkov dolgoročno 5- do 10-krat nižji od stroškov tehničnih ukrepov (Wehrli in Dorren, 2013; Renaud in sod., 2016).

## Metodologija



Slika 1: Karta zemeljskih plazov, ki so bili vključeni v analizo (Ferjan, 2024).

Območje raziskave obsega del porečja Kamniške Bistrice, za katero so na voljo orto-foto posnetki ter podatki laserskega skeniranja površja avgusta 2023 (Slika 1). Zajem podatkov je bil izveden na območjih, ki jih je ujma najmočneje prizadela, in sicer z namenom pomoči pri ocenjevanju povzročene škode (Letno poročilo 2023, 2023). Poligone zemeljskih plazov smo povzeli po Ferjan (2024), ki je v svoji diplomski nalogi analiziral reliefne dejavnike proženja zemeljskih plazov v porečjih Kamniške Bistrice in Sore po ujmi avgusta 2023.

Gostoto zemeljskih plazov glede na rabo tal (kmetijska zemljišča, gozdovi) smo izračunali kot število zemeljskih plazov, ki se pojavljajo na območju raziskave. Območje raziskave smo definirali tako, da smo izdelali orise različne velikosti (50 m, 100 m, 150 m, 200 m, 250 m, 300 m, 350 m, 400 m, 450 m in 500 m) okrog poligonov zemeljskih plazov in znotraj tega izračunali površino posamezne rabe tal. Pri tem smo izhajali iz krajinske ekologije in problema ekološkega merila (Peterson in Parker, 1998). Med kmetijska zemljišča smo uvrstili vse rabe tal s kodami 1100, 1180, 1190, 1211, 1221, 1222, 1300 ter 1600, med gozdove pa rabo tal s kodami 1410, 1420, 1500, 1800 in 2000. Uporabili smo karto rabe tal MKGP z datumom 30. 09. 2024 (<https://rkg.gov.si/GERK/WebViewer>)

Zemeljske plazove smo razdelili v tri kategorije, in sicer:

- 1) Celotna površina zemeljskega plazu se nahaja na kmetijskih zemljiščih;
- 2) Celotna površina zemeljskega plazu se nahaja v gozdu;
- 3) Na območju zemeljskega plazu so prisotna tako kmetijska zemljišča kot gozdovi.

Podatke o gozdnih vlakih smo pridobili v evidencah o gozdnih prometnicah na Zavodu za gozdove Slovenije (<https://prostor.zgs.gov.si/pregledovalnik/>). Povprečni naklona na območju zemeljskega plazu smo izračunali iz podatkov laserskega skeniranja Slovenije iz let 2014 in 2015, dostopnih na portalu eVode (<https://gis.arso.gov.si/evode/>), iz katerih smo izdelali digitalni model višin (prostorska ločljivostjo  $1 \times 1$  m). Kot izvorno območje smo določili zgornjih 25 % celic digitalnega modela višin znotraj območja zemeljskega plazu.

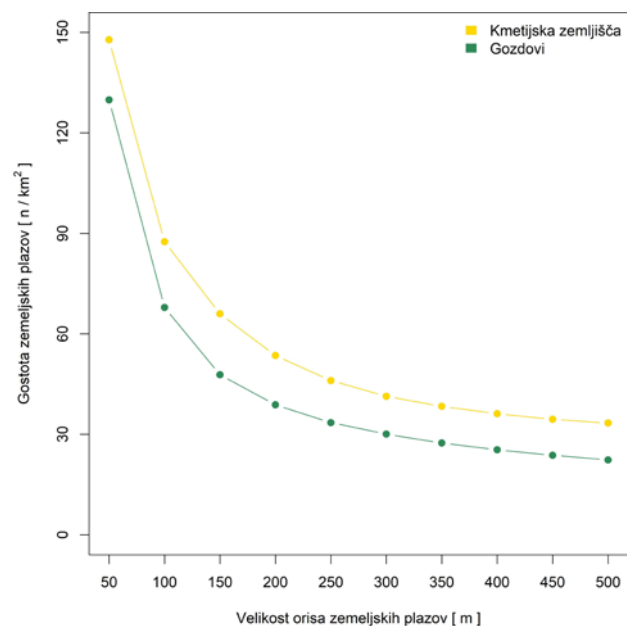
Podatke smo obdelali v programu ArcGIS Pro ter programskem okolju R, kjer smo izdelali tudi vse grafične prikaze ter statistične analize (enostavna analiza variance). Kot neodvisno spremenljivko smo obravnavi kategorijo rabe tal (kmetijska zemljišča oz. gozdovi), kot odvisne spremenljivke pa: 1) gostoto zemeljskih plazov, 2) prisotnost gozdne vlake na območju zemeljskega plazu, 3) naklon pobočja, 4) L/H razmerje (dolžina/višina

zemeljskega plazu) ter 5) delež gozdov na območju zemeljskega plazu. Podatkom o naklonu na območju zemeljskega plazu smo priredili empirično kumulativno porazdelitveno funkcijo.

## Rezultati in razprava

V analizo je bilo vključenih 721 zemeljski plazov, in sicer se jih 260 nahajajo izključno v gozdovih, 182 izključno na kmetijskih zemljiščih, 276 zemeljskih plazov pa se nahaja tako na kmetijskih zemljiščih kot gozdovih. Štirje plazovi se nahajajo izven kmetijskih zemljišč in gozdov.

Gostota zemeljskih plazov se spreminja glede na površino, ki jo vzamemo kot območje opazovanja. Pri orisu 50 m okrog zemeljskih plazov, je gostota na kmetijskih zemljiščih 147,8 zemeljskih plazov / km<sup>2</sup>, v gozdovih pa 129,8 zemeljskih plazov / km<sup>2</sup>. Pri orisu 500 m okrog zemeljskih plazov, je gostota na kmetijskih zemljiščih 33,3 zemeljskih plazov / km<sup>2</sup>, v gozdovih pa zemeljskih 22,4 plazov / km<sup>2</sup>. Relativna razlika v gostoti zemeljskih plazov narašča z naraščanjem velikosti orisa, in sicer iz 12,1 % na 33,0 % pri velikosti orisa 500 m (Slika 2).



Slika 2: Gostota zemeljskih plazov na kmetijskih zemljiščih in gozdovih v odvisnosti od velikosti orisa.

## Gozdne vlake

Od skupno 721 evidentiranih zemeljskih plazov, jih 112 prečka gozdna vlaka. Med 536 zemeljskimi plazovi, ki se nahajajo na gozdnatih območjih (kjer delež gozda na območju plazu presega 0 %), jih 100 prečka vlako, kar predstavlja 18,6 %. Za dobro dvajsetino teh plazov (33 plazov oziroma 6,2 % od 536) obstaja velika verjetnost, da se je sprožila

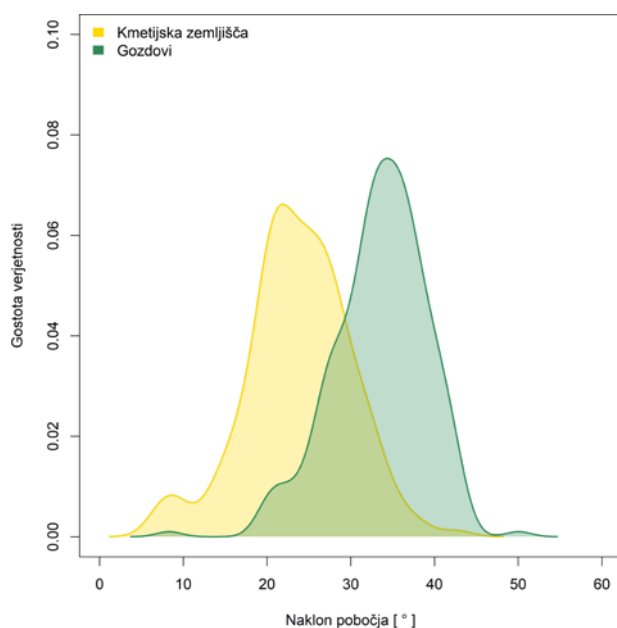
zaradi prisotnosti gozdne vlake. Od vseh plazov ima 474 območje proženja v gozdu, kar pomeni, da se je zaradi gozdne vlake v gozdu potencialno sprožilo največ 7,0 % plazov. Zelo verjetno pa je ta delež manjši, ker zgolj prisotnost gozdne vlake ni vedno glavni vzrok za sprožitev.

## Naklon pobočja

Povprečna vrednost naklona pobočja, kjer se nahajajo zemeljski plazovi v gozdu, znaša  $33,5^\circ$ , na kmetijskih zemljiščih pa  $23,7^\circ$  (Slika 3). Interval zaupanja za kmetijska zemljišča znaša  $0,91^\circ$ , za gozdna zemljišča pa  $0,68^\circ$ . Največ plazov na kmetijskih zemljiščih ima naklon  $21,9^\circ$ , v gozdu pa  $34,3^\circ$ .

Decil	Kmetijska zemljišča [°]	Gozdovi [°]	Razlika [°]
0,0	6,7	8,3	1,6
0,1	16,5	26,7	10,2
0,2	19,7	29,2	9,5
0,3	20,9	31,3	10,4
0,4	22,2	32,7	10,5
0,5	23,7	33,9	10,2
0,6	25,3	35,4	10,1
0,7	27,0	36,7	9,7
0,8	28,6	37,9	9,3
0,9	31,5	40,2	8,7
1,0	42,7	50,1	7,4

Tabela 1: Decil naklona pobočja, pri katerem se pojavljajo zemeljski plazovi na kmetijskih zemljiščih in gozdovih.



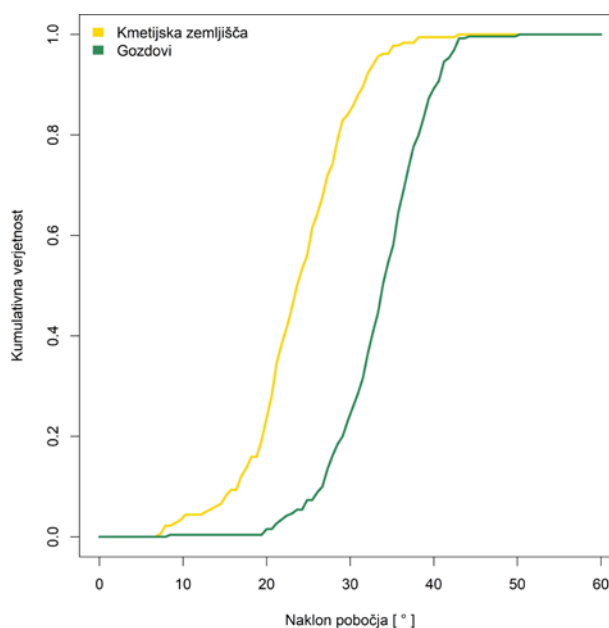
Slika 3: Gostota verjetnosti za naklon pobočja, kjer se pojavljajo zemeljski plazovi, prikazano ločeno za kmetijska zemljišča in gozdove.

Nakloni pobočij, kjer se pojavljajo zemeljski plazovi, so v povprečju višji v gozdovih kot na kmetijskih zemljiščih (Tabela 1). Razlika v naklonih med gozdovi in kmetijskimi površinami je največja pri nižjih decilih in se zmanjšuje proti višjim decilnim vrednostim. To pomeni, da so plazovi v gozdovih pogostejši na strmejših pobočjih v primerjavi s kmetijskimi zemljišči. Razlika v povprečni vrednosti naklona pobočja je statistično značilna ( $p < 0,001$ ).

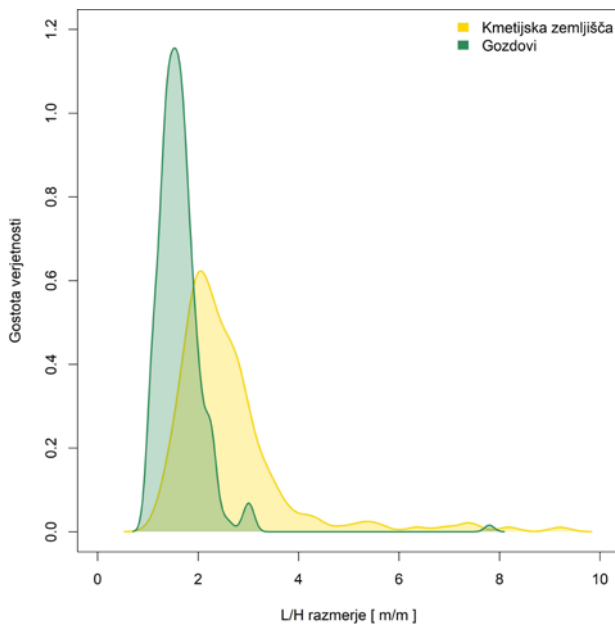
Deleži zemeljskih plazov glede na naklon pobočja kažejo pomembne razlike med kmetijskimi zemljišči in gozdovi (Tabela 2). Pri nižjih naklonih (do  $10^\circ$ ) je delež plazov na kmetijskih zemljiščih zelo majhen, medtem ko je v gozdovih še manjši in skoraj zanemarljiv. Ko se naklon povečuje, se

Naklon [°]	Kmetijska zemljišča [%]	Gozdovi [%]	Razlika [%]
5,0	0,0	0,0	0,0
10,0	4,4	0,4	4,0
15,0	8,2	0,4	7,9
20,0	23,6	1,5	22,1
25,0	58,8	7,3	51,5
30,0	85,7	24,6	61,1
35,0	97,3	57,3	39,9
40,0	99,5	89,2	10,2
45,0	100,0	99,6	0,4
50,0	100,0	99,6	0,4
55,0	100,0	100,0	0,0

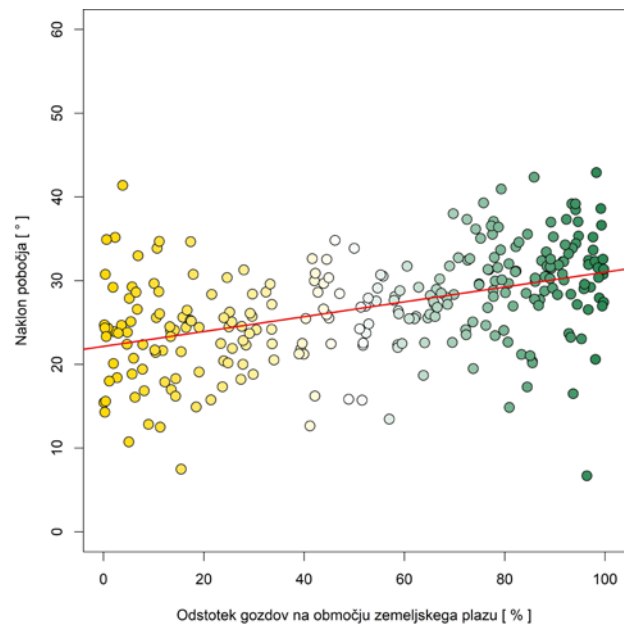
Tabela 2: Kumulativna verjetnost za pojavljanje zemeljskih plazov na kmetijskih zemljiščih in gozdovih v odvisnosti od naklona pobočja.



Slika 4: Empirična kumulativna verjetnost za naklon pobočja, kjer se pojavljajo zemeljski plazovi, prikazano ločeno za kmetijska zemljišča in gozdove.



Slika 5: Gostota verjetnosti za L/H razmerje za zemeljske plazove, prikazano ločeno za kmetijska zemljišča in gozdove.



Slika 6: Vpliv gozdnosti na območju zemeljskega plazu na naklon pobočja, kjer se zemeljski plazovi pojavljajo, prikazano ločeno za kmetijska zemljišča in gozdove.

delež plazov na kmetijskih zemljiščih hitro povečuje. Pri naklonu 20° je delež plazov na kmetijskih zemljiščih že 23,6 %, medtem ko je v gozdovih le 1,5 %. Ta razlika se še povečuje pri naklonu 25°, kjer je delež plazov na kmetijskih zemljiščih 58,8 %, v gozdovih pa 7,3 %.

Največja razlika med deleži plazov na kmetijskih zemljiščih in gozdovih je pri naklonu 30°, kjer je delež plazov na kmetijskih zemljiščih 85,7 %, v gozdovih pa 24,6 % (Slika 4). To kaže, da so plazovi na kmetijskih zemljiščih veliko pogostejši pri srednjih naklonih v primerjavi z gozdovi.

### L/H Razmerje

L/H razmerje je pomemben kazalnik za razumevanje dinamike plazov, saj nam pove, kako daleč se plaz premakne glede na višino pobočja, s katerega se je sprožil. Povprečne vrednosti L/H razmerja za zemeljske plazove kažejo, da se plazovi na kmetijskih zemljiščih v povprečju premikajo dlje. Povprečno L/H razmerje je 2,6 za kmetijska zemljišča in 1,6 za gozdove (Slika 5).

Vrednosti L/H razmerja so pri nižjih vrednostih nekoliko višje na kmetijskih zemljiščih v primerjavi z gozdovi. To pomeni, da se plazovi na kmetijskih zemljiščih premikajo nekoliko dlje glede na višino pobočja. Pri srednjih vrednostih razlika med kmetijskimi zemljišči in gozdovi ostaja, pri čemer so vrednosti L/H razmerja na kmetijskih zemljiščih še vedno višje. Pri višjih vrednostih pa je razlika med kategorijama bolj izrazita. Najvišje vrednosti L/H razmerja so precej višje na kmetijskih zemljiščih (9.2) v primerjavi z gozdovi

(7.8), kar kaže na to, da se plazovi na kmetijskih zemljiščih lahko premikajo precej dlje.

Ta analiza kaže, da so zemeljski plazovi na kmetijskih zemljiščih na splošno bolj mobilni in se premikajo dlje v primerjavi s plazovi v gozdovih. Razlika v povprečni vrednosti L/H razmerja je tudi statistično značilna ( $p < 0,001$ ).

### Vpliv gozdnosti

Model linearne regresije je pokazal, da se za vsako dodatno enoto (1 %) povečanja deleža gozdov na območju zemeljskega plazu, povprečni naklon pobočja, kjer se pojavljajo zemeljski plazovi, poveča za 0,1° (Slika 6). Rezultati kažejo, da je večji delež gozdov na območju zemeljskega plazu povezan s strmejšimi pobočji, kar pomeni, da gozdnata območja prispevajo k stabilnosti strmejših pobočij ali da se plazovi na gozdnatih območjih pojavljajo na strmejših pobočjih v primerjavi s kmetijskimi zemljišči. Oba koeficienta (odsek na ordinati in delež gozdov) sta statistično značilna ( $p < 0,001$ ), kar pomeni, da je vpliv deleža gozdov v linearnem modelu statistično značilen.

## Zaključki

Poglavitni zaključki opravljene raziskave so naslednji:

- Analiza podatkov o sproženih zemeljskih plazovih med avgustovskimi poplavami leta 2023 potrjuje statistično značilen velik vpliv gozdov v hudourniških povirjih na zmanjšanje nevarnosti



negativnih (kaskadnih) učinkov zemeljskih plazov na hudourniške poplave.

- Gostota zemeljskih plazov je namreč zaradi varovalnega učinka drevja na gozdnih površinah bistveno manjša kot na negozdnih površinah (pretežno kmetijskih površinah).
- Plazovi se na območju gozdov prožijo pri strmejših naklonih pobočja in doseg sprožene splazele plazovine je krajši kot na kmetijskih površinah.
- Analiza morebitnega vpliva prisotnosti vlak na območju plaznic je pokazala, da v območju gozdov prisotnost vlak ne vpliva na pojav zemeljskih plazov.
- Varovalni učinki gozdov niso samoumevni, ampak so rezultat stalnega in načrtnega gospodarjenja z gozdovi s strani Zavoda za gozdove Slovenije in lastnikov gozdov. Ključno orodje za proaktivno gospodarjenje na območjih s potencialnimi zemeljskimi plazovi je gozdnogospodarsko načrtovanje. Opredelitev teh območij in prilagojeno gospodarjenje je zasnovano na sistemu funkcij gozdov; ena od njih je varovalna funkcija. Prepozna slabost pri dosedanem gospodarjenju z varovalnimi gozdovi je pomanjkanje aktivnega ukrepanja. Po zgledu Švice bi bilo smiselno uvesti obvezno izvajanje ukrepov za varovalne funkcije v vseh gozdovih, ki bi jih morala financirati država. S tem bi so stopnja preventive pred naravnimi nevarnostmi bistveno izboljšala.
- Vse pogostejše naravne ujme zaradi orkanskega vetra, žleda, požara in snega v zelo kratkem času močno zmanjšajo varovalni učinek gozdov (npr. vetrolom v Radovni). Hitra in učinkovita sanacija poškodovanih gozdov je zato pomemben preventivni ukrep zmanjševanja poplavne ogroženosti.

## Viri in literatura

- Anko B., Golob A., SMOLEJ I. 1985. Varovalni gozdovi v Sloveniji. Stanje po popisu 1980. Ljubljana, BF, VTOZD za gozdarstvo, 118 s.
- Anko B., Golob A. 1998. Protective forests in Slovenia. Mountain forestry in Europe. Glück, P., Weber, M., (ur.). Wien, Institute for forest sector policy and economics, 35: 5–8.
- Ammann M., Böll A., Rickli C., Speck T., Holdenrieder O. 2009. Significance of Tree Root Decomposition for Shallow Landslides. *Forest Snow and Landscape Research*, 82, 1: 79-94
- Bischetti G. B., Bassanelli C., Chiaradia E. A., Minotta G., Vergani C. 2016. The Effect of Gap Openings on Soil Reinforcement in Two Conifer Stands in Northern Italy. *Forest Ecology and Management*, 359: 286-299
- Chiaradia E. A., Vergani C., Bischetti G. B. 2016. Evaluation of the Effects of Three European Forest Types on Slope Stability by Field and Probabilistic Analyses and Their Implications for Forest Management. *Forest Ecology and Management*, 370: 114-129
- Čampa A. 1994. Varovalne funkcije gozdov na plazovitih območjih Slovenije. V: Prvo slovensko posvetovanje o zemeljskih plazovih. Janež J, Režun B. (ur.). Idrija, Rudnik živega srebra : 53-64
- Dorren L. K., Berger F., Imeson A. C., Maier B., Rey F. 2004. Integrity, Stability and Management of Protection Forests in the European Alps. *Forest Ecology and Management*, 195, 1: 165-176
- Dorren L.K.A., Berger F. 2006. Balancing Tradition and Technology to Sustain Rockfall Protection Forests in the Alps. *Forest Snow Landscape Research*, 98: 87-98
- Ferjan M. 2024. Proženje masnih tokov na območju porečij rek Kamniška Bistrica in Sora : diplomsko delo - univerzitetni študij - 1. stopnja = Triggering of mass flows in the Kamniška Bistrica and Sora river basins : B. Sc. Thesis - academic study programmes. Ljubljana, 43 str.
- Frehner M., Wasser B., Schwitter R. 2007. Sustainability and Success Monitoring in Protection Forests - Guidelines for Silvicultural Interventions in Forests with Protective Functions. Bern, Federal Office for the Environment: 29 str.
- Golob S. 1994. Preprečevanje zemeljskih plazov v gozdnem prostoru. V: Prvo slovensko posvetovanje o zemeljskih plazovih. Janež J, Režun B. (ur.). Idrija, Rudnik živega srebra: 65-74
- Guček, M., Bončina, A., Diaci, J., Firm, D., Poljanec, A., Rugani, T. 2012. Gozdovi s poudarjeno zaščitno in varovalno funkcijo: značilnosti, valorizacija in gospodarjenje. *Gozdarski vestnik*, 70/2: 59-71
- Guček M. 2016. Opredelitev gozdnih območij s poudarjeno varovalno in zaščitno funkcijo = Identification of forest areas with indirect and direct protection function : magistrsko delo : M. Sc. thesis. Ljubljana, 2016. 130 str.
- Horvat A. 1995. Analiza erozijske in hudourniške problematike v Sloveniji. V: Pogubna razigranost: 110 let organiziranega hudourničarstva na Slovenskem. Jesenovec S. (ur.). Ljubljana, Podjetje za urejanje hudournikov: 222-225
- Horvat A., Zemljič M. 1998. Protierozijska vloga gorskega gozda. V: Gorski gozd: zbornik referatov. Diaci J. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo: 411-424
- Komac M., Ribičič M., Šinigoj J., Krivic M., Kumelj Š. 2005. Analiza pojavljanja plazov v Sloveniji in izdelava karte verjetnosti plazenj- fazno poročilo za leto 2005. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 138 str.
- Mao Z., Bourrier F., Stokes A., Fourcaud T. 2014. Three-Dimensional Modelling of Slope Stability in Heterogeneous Montane Forest Ecosystems. *Ecological Modelling*, 273, 11-22
- Norris J. E., Stokes A., Mickovski S. B., Cammeraat E., van Beek R., Nicoll B. C., Achim, A. 2008. Slope Stability and Erosion Control: Ecotechnological Solutions. Dordrecht, Springer Science & Business Media: 287 str.
- Pawlik Ł. 2013. The Role of Trees in the Geomorphic System Of Forested Hillslopes—A Review. *Earth-Science Reviews*, 126: 250-265
- Peternel T., Jež J., Novak A., Jemec Auflič M., Šegina E.,

- Bavec M., 2023. Zemeljski plazovi in ostali pojavi pobočnega masnega premikanja med ujmo avgusta 2023. V: Zbornik prispevkov III. Slovenski kongres o vodah, Ptuj, 2023, s. 25-31
- Peterson D., Parker T. 1998. Ecological Scale: Theory and Applications Edited by David L. Peterson and V. Thomas Parker. 1998. Published by Columbia University Press, New York, 615 str.
  - Projekt »Strokovna izhodišča ter smernice za gospodarjenje z gozdovi na hudourniških območjih«, ki ga vodi Gozdarski inštitut Slovenije, financirata pa ARIS in MKGP (J2-1743) v okviru Ciljnega raziskovalnega programa (CRP 2022) »Naša hrana, podeželje in naravni viri«. <https://www.gozdis.si/projekti/strokovna-izhodišča-ter-smernice-za-gospodarjenje-z-gozdovi-na-hudourniških-območjih-crp-v4-2212/>
  - PUH, 1995. Pogubna razigranost - 110 let organiziranega hudourničarstva na Slovenskem 1884-1994, Ljubljana, 276 s.
  - Renaud F. G., Nehren U., Sudmeier-Rieux K., Estrella M. 2016. Developments and Opportunities for Ecosystem-Based Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation. V: Ecosystem-Based Disaster Risk Reduction and Adaptation in Practice. Renaud F. G., Sudmeier-Rieux K., Estrella M., Nehren U (ur.). Cham, Springer: 1-20
  - Rice R. 1977. Forest management to minimize landslide risk. V: Guidelines for Watershed Management. Kunkla, S., Thames, J. (ur.). Rome, Food and Agriculture Organization: 271-286
  - Steinacher R., Medicus G., Fellin W. Zangerl C. 2009. The Influence of Deforestation on Slope (In-)Stability. Austrian Journal of Earth Sciences (Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft), 102, 2: 90-99
  - Wehrli A., Dorren L. 2013. Protection Forests: A Key Factor in Integrated Risk Management in the Alps. V: The Role of Ecosystems in Disaster Risk Reduction. Renaud F. G., Sudmeier-Rieux K., Estrella M. (ur.). Tokyo, United Nations University Press: 343-415