

Hidrološki odziv na spremembo sestojne zgradbe gozdov po velikopovršinskih motnjah v hudourniškem vodozbirnem območju

Hydrological response to forest stand structure change triggered by natural disturbance in a torrential catchment



Bine MEKINA¹

Izvleček:

Varovalna vloga gozdov je ključna, zlasti ob neizogibnih podnebnih spremembah, ki v alpskem svetu še povečujejo tveganje za hudourniške procese. Za analizo vpliva velikopovršinskih motenj na površinski odtok in hudourniške procese smo izbrali Dovški potok na južnem pobočju Karavank, kjer so bili v zadnjih desetih letih gozdovi zelo poškodovani. Z uporabo Kresnikove metode in hidrološkega modela ZEMOKOST smo določili pet scenarijev stanja gozda in ocenili različne razplete padavinskih dogodkov. Po enačbi Kresnik je stoletni pretok Dovškega potoka $Q_{100} = 5,8 \text{ m}^3/\text{s}$, medtem ko je bil leta 1961 izračunan $Q_{100} = 6,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Z modelom ZEMOKOST smo za različne scenarije ugotovili različne rezultate. Leta 2015, pred vplivom motenj gozdov, je bil $Q_{100} = 3,6 \text{ m}^3/\text{s}$, in sicer 45 minut po začetku padavin. Leta 2019, po motnjah gozdov, pa se je Q_{100} povečal na $4,9 \text{ m}^3/\text{s}$ in se pojavil 39 minut po začetku padavin. Analiza hidravlične prevodnosti obstoječe hudourniške ureditve je pokazala, da le-ta ni več primerna glede na povečanje pretoka. Poleg tega smo na podlagi terenskih raziskav ugotovili, da erozijski drobiri na območju pomeni nevarnost za nastanek drobirskih in blatnih tokov, kar bi lahko ogrozilo vas Dovje.

Ključne besede: podnebne spremembe, gozd, velikopovršinske motnje, sanitarna sečnja, Dovški potok, ZEMOKOST, hidravlična analiza, Polenijeva prelivna metoda

Abstract:

The protective role of forests is crucial, especially in the face of unavoidable climate change, which increases the risk of torrential processes in the alpine environment. To analyse the effects of large forest disturbances on runoff and torrential processes, we chose the Dovški potok on the southern slope of the Karawanken Mountains, where forests have been severely damaged in the last decade. Using the Kresnik method and the hydrological model ZEMOKOST, five scenarios for the state of the forests were determined and different scenarios of precipitation events were evaluated. According to the Kresnik equation, the 100-year discharge of the Dovški potok is $Q_{100} = 5.8 \text{ m}^3/\text{s}$, whereas in 1961 it was calculated as $Q_{100} = 6.0 \text{ m}^3/\text{s}$. The ZEMOKOST model provided different results for the different scenarios. In 2015, before the disturbances, the $Q_{100} = 3.6 \text{ m}^3/\text{s}$ and occurred 45 minutes after the onset of the rainfall. In 2019, after the storms, Q_{100} increased to $4.9 \text{ m}^3/\text{s}$ and occurred 39 minutes after the onset of rainfall. Analysis of the hydraulic conductivity of the existing dams has shown that it is no longer sufficient to cope with the increase in runoff. In addition, on-site investigations have shown that the erosion debris deposits in the area harbour the risk of debris flows and mudslides that could endanger the village of Dovje.

Key words: Climate change, forest, large-scale disturbance, sanitary felling, ZEMOKOST, hydraulic analysis, Poleni spillway method

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Gozdovi imajo ključno vlogo pri uravnavanju vodne bilance znotraj vodozbirnih območij. Kljub dejstvu, da gre za večje porabnike vode med drugimi kopenskimi ekosistemi, je njihova prisotnost ključna v pomenu prestrežanja padavin in zmanjševanja njihove moči, shranjevanja vode v tleh ter blaženja maksimumov in mini-

mumov površinskih odtokov med ekstremnimi vremenskimi dogodki (Rajwa-Kuligiewicz & Bojarczuk, 2024).

Procesi uravnavanja vodne bilance pa v kombinaciji z večinoma pozitivnimi učinki, ki jih ima gozd na stabilnost terena, na katerem se razprostira, tvorijo varovalno vlogo gozda. Gre za eno njegovih najpomembnejših vlog, zlasti v luči vremenskih dogajanj in z njimi povezanimi hudourniški in erozijski procesi, kot so

¹ B. M., Moste 77a, SI-4274 Žirovnica, Slovenija. bine.mekina@gmail.com

hudourniški izbruhi, zemeljski plazovi, skalni podori, drobirski in blatni tokovi ipd. Njen pomen je še posebno pomemben v goratem svetu, kjer so omenjeni procesi še pogostejši (Horvat, 1993).

V zadnjih nekaj desetletjih postaja dejstvo, da se dogajajo podnebne spremembe, vse očitnejše. V zadnjem stoletju je za spremembe v veliki meri odgovoren človek, kar je predvsem posledica odvisnosti od uporabe fosilnih goriv (Gregorčič, 2022).

Spremembe podnebja vključujejo tudi vse pogostejše velikopovršinske motnje gozdov, kot so npr. vetrolomi, žledolomi in požari. Višje temperature omogočajo tudi ugodnejše razmere za razvoj žuželk, npr. podlubnike, ki lahko povzročajo dodatne motnje gozdnega ekosistema. V celotni Evropi se je v zadnjih 50 letih zelo povečala pogostost pojavljanja motenj v gozdovih. V obdobju od 2002 do 2022 so sanitarne sečnje v povprečju zavzemale 16 % vsega poseka v Evropi. Pri tem največji delež (46 %) pripada vetrolomom, sledijo požari (24 %), takoj za njimi pa napadi podlubnikov (17 %), katerih delež se je v tem obdobju podvojil (Patacca in sod., 2022).

Kot območja strmih naklonov, plitvih prsti in zahtevnih rastiščnih razmer, kjer so erozijski in hudourniški procesi pogosti (Horvat, 1993), so hudourniška območja še posebno občutljiva za motnje, ki hkrati povzročijo še dodatne grožnje z zmanjšanjem varovalnega učinka gozda.

V Sloveniji je bilo od začetka organizirane hudourniške dejavnosti ob koncu 19. stoletja pa do danes zgrajenih več tisoč hudourniških objektov. V luči podnebnih sprememb pa v zadnjih desetletjih nastajajo spremembe v vzorcu razporeditve padavin čez leto v smeri izrednih dogodkov, ki vedno bolj odstopajo od dolgoletnih povprečij. V prihodnosti je pričakovati, da se bosta frekvenca in tudi intenzivnost takih dogodkov še povečevali (Sodnik in sod., 2023). Posledično se pojavlja vprašanje o zmožnosti obstoječih protierozijskih ureditev in objektov, da bi svojo nalogo opravljali tudi ob spremembah v količinah in razporeditvi padavin (Horvat in sod., 2008).

1.1 Cilji in raziskovalne hipoteze

1.1 Goals and research hypotheses

V raziskavi smo se posvetili vlogi gozda glede na zmanjševanje površinskega odtoka padavinskih voda. Na primeru hudournika Dovški potok, ki teče nad vasjo Dovje na južnem pobočju Karavank, smo si postavili naslednje raziskovalne cilje:

- analizirati spremembe v sestojni zgradbi gozdov po velikopovršinskih motnjah v vodozbirnem območju hudournika Dovški potok,
- narediti hidrološke analize ob upoštevanju sprememb v sestojni zgradbi,
- preveriti hidravlično prevodnost obstoječih hudourniških objektov,
- preveriti tveganje za razvoj hudourniških procesov v zaledju hudourniškega območja Dovški potok.
- Za doseganje omenjenih ciljev smo si postavili naslednje raziskovalne hipoteze:
- v zadnjih letih se povečuje količina sanitarnega poseka na vodozbirnem območju Dovškega potoka,
- po velikopovršinskih motnjah gozdov v zaledju hudournika Dovški potok se je povečal površinski odtok vode,
- obstoječe pregrade na zahodnem pritoku hudournika Dovški potok hidravlično ne ustrezajo povečanemu pretoku,
- v zaledju Dovškega potoka obstaja nevarnost sprožitve blatnih in/ali drobirskih tokov.

2 METODE

2 METHODS

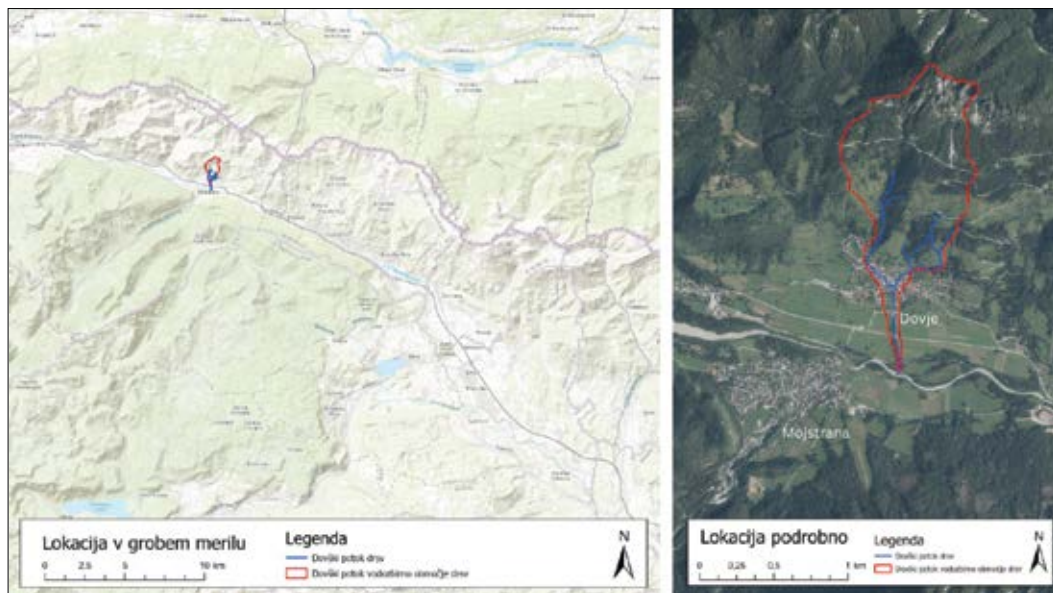
2.1 Naravne danosti hudourniškega območja

2.1 Natural features of the torrential area

2.1.1 Splošen opis

2.1.1 General description

Dovški potok je ledinsko ime za hudournik, ki teče skozi vas Dovje na Gorenjskem (Slika 1). Izvira na južnem pobočju Borovja, 1476 m visokega hriba na južni strani Karavank, kjer se številni pritoki postopno združijo v en vodotok. Skupaj s slednjimi lahko hudournik razdelimo na vzhodni in srednji ter zahodni del oz. pritok.



Slika 1: Lokacija Dovškega potoka (vir: Atlas okolja, b. l.)

Figure 1: Location of the Dovški potok stream (source: Environmental Atlas, n.p.)

Kljub določenemu stalnemu vodostaju, ki je na zahodnem pritoku nekoliko večji, ima Dovški potok izrazit hudourniški značaj, ki je predvsem posledica strmega in jarkastega južnega pobočja Borovja (Atlas voda, b. l.).

Oba pritoka se združita v vasi Dovje, od koder Dovški potok odteče še 610 m po strugi čez kmetijska zemljišča, preden se izlije v Savo Dolinko na nadmorski višini 635 m (Atlas voda, b. l.).

2.1.2 Dosedanja hudourniška ureditev

2.1.2 The current torrential regulation

Dovški potok teče skozi zelo tesno pozidano naselje Dovje. Zaradi njegovega izrazito hudourniškega značaja lahko sklepamo, da gre za problematičen vodotok. Leta 1948 je nastal izredno visok pretok, katerega posledica je bila velika škoda v celotni vasi Dovje (Projektivni biro za urejanje hudournikov, 1961). Dogodek je opozoril, da je potrebna obsežna hudourniška ureditev oz. nadgradnja že obstoječih protierozijskih ukrepov. V naslednjih letih sta bila zgrajena dva niza pregrad na zahodnem pritoku (v letih 1954 in 1960), urejene struge in kinete v vasi Dovje (1961) zgrajene kinete nad hišami v srednjem pritoku (okoli leta 1950) (Projektivni

biro za urejanje hudournikov, 1961). Kasneje je bila zgrajena še izrazita nadgradnja slednje kinete (leta 1979) (Podjetje za urejanje hudournikov, 1979), urejeno erozijsko žarišče na hudourniškem vršaju srednjega pritoka (leta 1984) (Podjetje za urejanje hudournikov, 1984) in nazadnje še urejen odsek med vasjo in glavno cesto (leta 2023).

Za našo raziskavo je ključnega pomena niz ustalitevno-zaplavni pregrad na razdalji 104 m nad hišami na zahodnem pritoku. Glede na pregledane projekte so bile najverjetneje zgrajene leta 1954 po razdejanju, ki ga je Dovški potok povzročil leta 1948. Gre za pet pregrad s stopnjo med 1,7 m in 3,0 m (Slika 2). Postavljene so nad potjo, ki poteka nad hišami po robu gozda. Nekaj podobnih pregrad stoji na odseku med omenjeno potjo in kineto v sami vasi, zgrajene pa so bile v letih od 1958 do 1960.

Spodnje tri pregrade so (razen njihove stopnje) glede velikosti enake, zgornji dve pa se od njih razlikujeta. Na zgornji ni izrazitega pretočnega profila, je enako visoka po celotnem zgornjem robu, njeno desno krilo pa je podaljšano na travnik, kar poudarja njeno zaplavno funkcijo. Na spodnji je v primerjavi z drugimi nekoliko manjši pretočni profil.



Slika 2: Pregrade na zahodnem pritoku Dovškega potoka tik nad vasjo, zgrajene leta 1954. (Foto: B. Mekina)
Figure 2: Barriers on the western tributary of the Dovški potok stream just above the village, built in 1954. (Photo: B. Mekina)

2.1.3 Podnebne razmere območja

2.1.3 Climate conditions of the area

2.1.3.1 Podnebje v okolici Dovškega potoka

2.1.3.1 Climate in the vicinity of the Dovški potok stream

Za podatke o podnebjju v okolici Dovškega potoka smo uporabili podatke treh padavinskih postaj v bližini (Agencije Republike Slovenije za okolje, ARSO) na primerljivem območju kot Dovje. Še zlasti to velja za postaji Planina pod Golico in Javorniški Rovt, ki obe ležita dvignjeni nad dolino na južni strani Karavank; prva na nadmorski višini 957 m, druga pa 939 m, kar je le malo višje kot sama vas Dovje, ki se razprostira med 700 in 750 m. Tretja padavinska postaja je v Zgornji Radovni, na nadmorski višini 755 m, od Zgornjesavske doline pa jo ločuje planota Mežakla (ARSO, 2023).

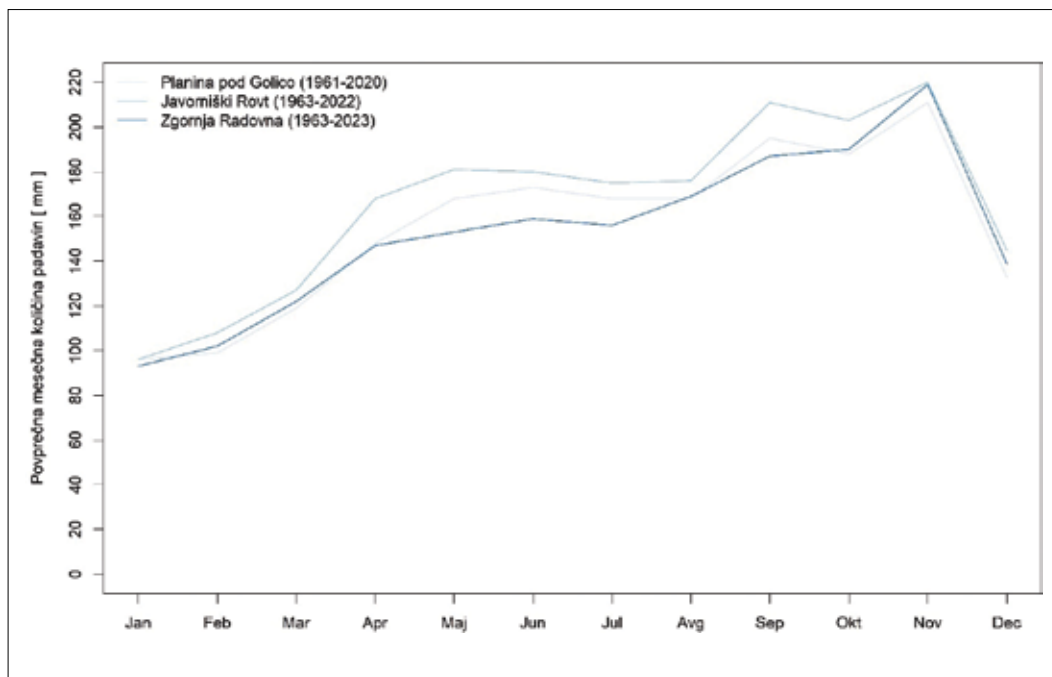
Za vse tri padavinske postaje smo za obdobje med letoma 1961 in 2020 pridobili podatke o skupni mesečni količini padavin ARSO (2023).

S slike (3) lahko razberemo, da se na vseh treh postajah pojavita po dva maksimuma mesečnih količin padavin v letu: prvi ob koncu pomladi oz. v začetku poletja, drugi, nekoliko večji pa v jeseni. Pri tem gre večinoma za dež, v višjih legah ali v primeru kasnejšega jesenskega maksimuma tudi za sneg. Čez poletje se količina padavin rahlo zmanjša, pozimi pa je padec v količini mesečnih padavin večji. Najbolj suha meseca sta januar in februar (ARSO, 2023).

2.1.3.2 Povratne dobe za ekstremne padavine za postajo Javorniški rovt

2.1.3.2 Return periods for extreme precipitation for the Javorniški rovt station

Količine padavin (mm) za povratne dobe ekstremnih padavin na postaji Javorniški rovt uporabljamo za ugotavljanje/določanje padavinskih vzorcev določenega območja. Ugotovimo jih na podlagi statistične analize prejšnjih padavinskih dogodkov, z njihovo pomočjo pa določimo razmerje med intenzivnostjo in trajanjem padavin za določeno povratno dobo. Začetki metode sodijo že v prvo polovico 20. stoletja, v zadnjem času pa se zanimanje zanjo vedno bolj veča (Gnecco in sod., 2023).



Slika 3: Graf povprečne skupne mesečne količine padavin za vse tri uporabljene meteorološke postaje (vir: ARSO, b. l.)

Figure 3: Graph showing average total monthly precipitation for all three meteorological stations used (source: ARSO, n.d.)

2.1.4 Vodozbirno območje Dovškega potoka

2.1.4 The catchment area of the Dovški potok stream

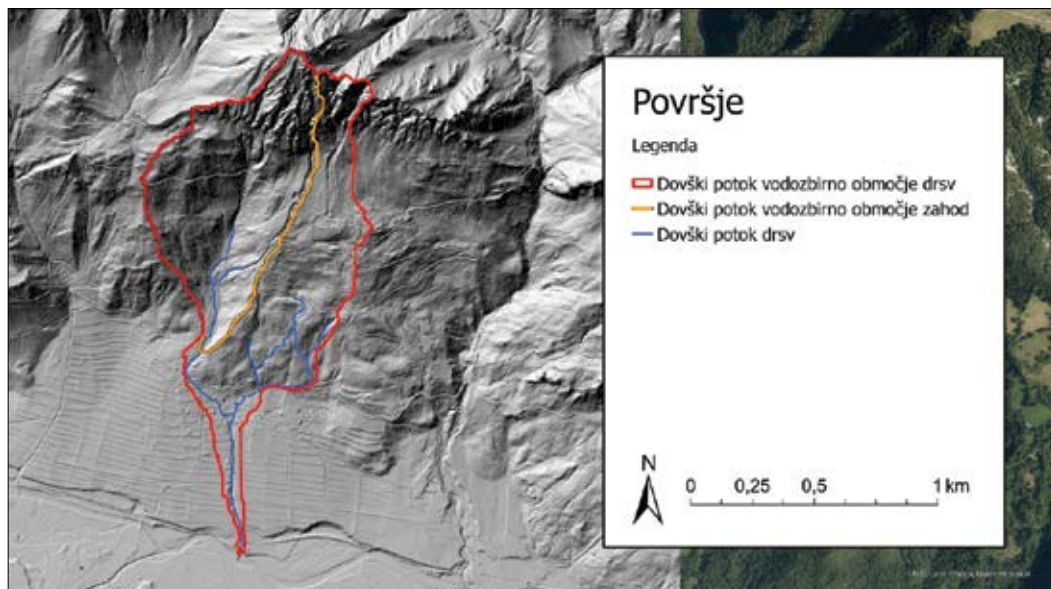
Vključno z delom vasi je vodozbirno območje Dovškega potoka veliko 94,5 ha in pokriva zahodno polovico južnega pobočja Borovja. Na vzhodno stran meji na vodozbirno območje Mlince, zahodno pa na vodozbirno območje zelo reguliranega Sedučnika. Oba sosednja vodotoka sta od Dovškega potoka večja, saj se njuni vodozbirni območji nadaljujeta višje v Karavanke (Atlas okolja, b. l.).

Gozd porašča skoraj dve tretjini vodozbirnega območja Dovškega potoka (60,2 ha). Ker sta vzhodna pritoka Dovškega potoka precej manjša od zahodnega in nimata stalnega pretoka, smo največ pozornosti namenili zahodnemu pritoku, katerega vodozbirno območje meri 48,7 ha in zavzema 51 % površine celotnega vodozbirnega območja (Atlas okolja, b. l.).

2.1.4.1 Površje

2.1.4.1 Surface area

Površje vodozbirnega območja Dovškega potoka z večanjem nadmorske višine postaja vedno bolj strmo in razgibano (Slika 4). Že spodnji del, takoj ob Savi Dolinki, je dokaj strm, s približevanjem vasi pa se naklon nekoliko zmanjša. Nato se od vasi pa do vrha Borovja spet povečuje, dokler v najvišjem delu gozdov ne doseže 34 °, na neporaščenem delu do 60, v nekaterih delih pa so skalne stene tudi navpične. Pod vasjo so položne, rahlo terasaste kmetijske površine. Površje nad vasjo v gozdu je jarkasto, potem pa se nekaj večjih jarkov z vzpenjanjem navzgor zmanjšuje in deli, dokler ne pridemo do vrha Borovja, pod katerim je na južni strani zelo strmo skalovito pobočje z globokimi grapami (Pregledovalnik gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtov, b. l.).



Slika 4: Površje vodozbirnega območja Dovškega potoka (vir: Atlas okolja, b. l.).

Figure 4: Surface area of the Dovški potok catchment area (source: Environmental Atlas, n.p.).

2.1.4.2 Geološke značilnosti

2.1.4.2 Geological characteristics

Geološka sestava na za nas pomembnem, gozdnatem delu vodozbirnega območja Dovškega potoka je značilna za Karavanke. V višjem delu, na južnem pobočju Borovja, je matična podlaga pobočni grušč. Po sestavi je iz apnenca in dolo-mita, kot so tudi višje gore v bližnjih Karavankah. Glede na površinsko skalovitost v gozdu se na tem območju večinoma pojavlja apnenčasti pobočni grušč (osnovna geološka karta, tolmač listov Beljak in Ponteba L 33-51 L33-52, 1986).

V gozdu se kamnitost in skalovitost ne dvigneta nad 5 %, izjema je zgornji del hriba, kjer je gozd redkejši in so tla bolj izpostavljena eroziji, posledično pa se skalovitost poveča na 15 % (Pregledovalnik gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtov, b. l.).

2.1.4.3 Pedološke značilnosti

2.1.4.3 Pedological characteristics

Po celem gozdnatem delu vodozbirnega območja Dovškega potoka prevladujejo prhninaste rendzine. To so slabše rodovitni plitvi talni tipi z veliko

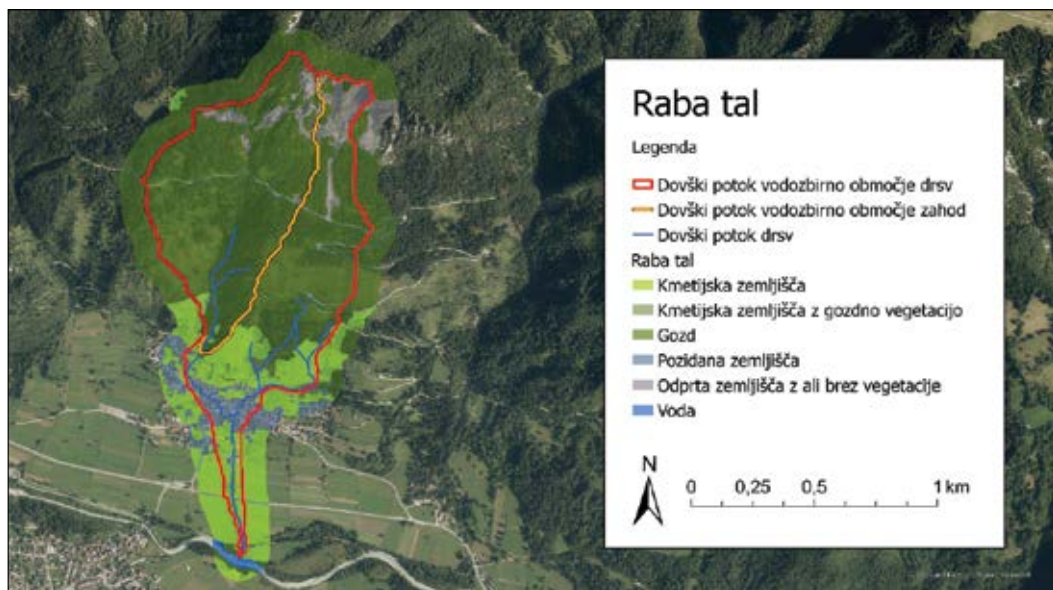
količino počasi razkrajajočih se ali nerazkrojenih organskih snovi v zgornjih horizontih. Kljub bazični matični podlagi lahko glede na veliko prisotnost iglavcev in posledično njihovih organskih ostankov sklepamo na kislja tla (Vrščaj in sod., 2019).

2.1.4.4 Raba tal

2.1.4.4 Land use

Z gozdom je porasle 72,5 % površine vodozbirnega območja (Slika 5). Na najbolj skalovitem delu pod vrhom Borovja so suha odprta zemljišča s posebnim rastlinskim pokrovom, v našem primeru strmo skalovje, melišča in grape z rušjem ter manjšimi zaplatami trave in zelišč. V okolici vasi prevladujejo kmetijske površine večinoma s travniki in pašniki, vmes so tudi manjše njive. Dodatna 2,2 % površin v bližini gozda spadata med kmetijske površine, na katerih je prisotna gozdna vegetacija in sta uvrščena med površine v zaraščanju (Javni pregledovalnik grafičnih podatkov ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, 2023).

Na vodozbirnem območju zahodnega pritoka Dovškega potoka prevladuje gozd na 91 % povr-



Slika 5: Raba tal na vodozbirnem območju Dovškega potoka (Javni pregledovalnik grafičnih podatkov ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, 2023)

Figure 5: Land use in the catchment area of the Dovški potok stream (Public viewer of graphic data from the Ministry of Agriculture, Forestry, and Food, 2023)

šine. Sledi mu nekaj odprtih oz. neporaslih zemljišč v zgornjem delu Borovja (7 % površine), po 1 % pa pokrivajo kmetijska in pozidana zemljišča (Javni pregledovalnik grafičnih podatkov ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, 2023).

2.1.4.5 Značilnosti gozdov

2.1.4.5 Forest characteristics

2.1.4.5.1 Drevesna sestava

2.1.4.5.1 Tree structure

V lesni zalogi od drevesnih vrst prevladuje smreka (*Picea abies*) s 60 %. Poleg nje gozd sestavljajo tudi rdeči bor (*Pinus sylvestris*), bukev (*Fagus sylvatica*), v manjših deležih pa še jelka (*Abies alba*), macesen (*Larix decidua*), gorski javor (*Acer pseudoplatanus*), veliki jesen (*Fraxinus excelsior*) in mokovec (*Sorbus aria*). V okolici vasi je v manjšem deležu prisoten tudi graden (*Quercus petraea*), proti vrhu Borovja pa se pojavlja vedno več rušja (*Pinus mugo*) (Pregledovalnik gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtov, b. l.).

2.1.4.5.2 Funkcije gozdov

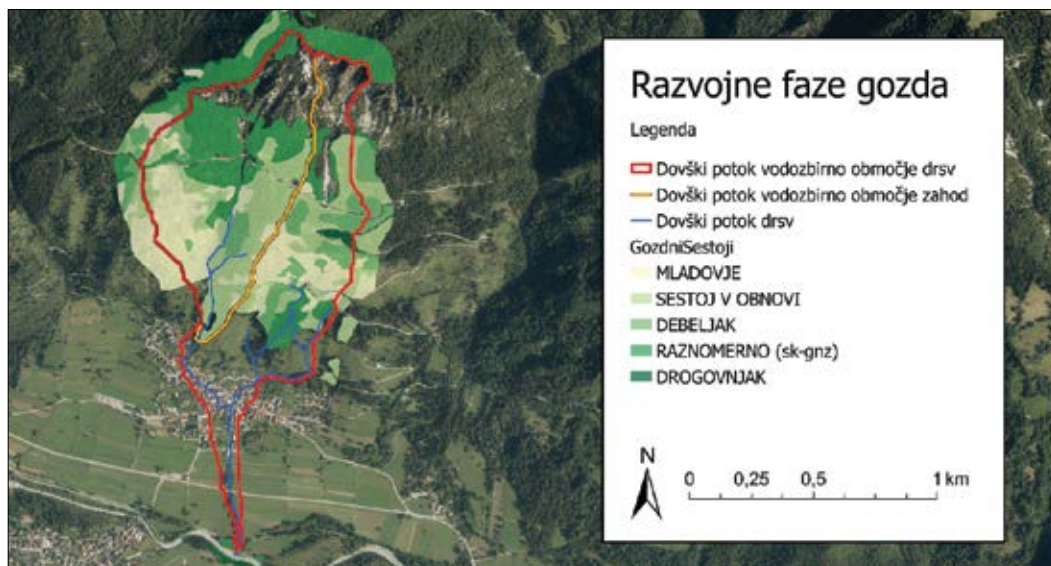
2.1.4.5.2 Forest functions

Na celotnem območju prevladuje lesnoproizvodna funkcija gozda (54,3353 ha s prvo stopnjo). Poleg nje imata visoko prioriteto še hidrološka funkcija (26,8888 ha s prvo stopnjo) in funkcija varovanja gozdnih zemljišč in sestojev, v delu nad vasjo pa še zaščitna funkcija (6,2200 ha s prvo stopnjo). Poleg tega 14,3847 ha gozdov v vodozbirnem območju Dovškega potoka spada med varovalne gozdove (Pregledovalnik gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtov, b. l.).

2.1.4.5.3 Razvojne faze gozda

2.1.4.5.3 Forest development phases

Po napadu podlubnikov v letih 2016 in 2017 na spodnji polovici južnega pobočja Borovja, kjer so prej rasli mlajši debeljaki in sestoji v obnovi, prevladujejo mladovja in sestoji v obnovi (na mestih, kjer so ostala posamezna odrasla drevesa). V grapah, neposredno nad vasjo, se je obdržalo nekaj sestojev debeljaka, drogovnjaka in sestojev



Slika 6: Razvojne faze gozda na vodozbirnem območju Dovškega potoka (Pregledovalnik gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtov, b. l.)

Figure 6: Development phases of the forest in the catchment area of the Dovški potok stream (Viewer of forest management and forest cultivation plans, n.p.)

v obnovi (Slika 6) (Pregledovalnik gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtov, b. l.).

V zgornjem delu pobočja, kjer gozdovi niso tako poškodovani, pa najdemo smrekove debeljake in raznomerni gozd, v katerem ima poleg smreke velik delež v lesni zalogi tudi bukev (Pregledovalnik gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtov, b. l.).

2.2 Sestojna zgradba na vodozbirnem območju

2.2 Stand structure in the catchment area

Za opis stanja lesne zaloge in poseka v gozdovih na območju vodozbirnega območja Dovškega potoka smo se osredotočili na gozdna odseka 06 10A in 06 10B, ki obsegata večino vodozbirnega območja zahodnega pritoka, poleg tega pa tudi večino površin, ki so jih v prejšnjih letih prizadele velikopovršinske motnje (Slika 7).

2.2.1 Analiza lesne zaloge na vodozbirnem območju

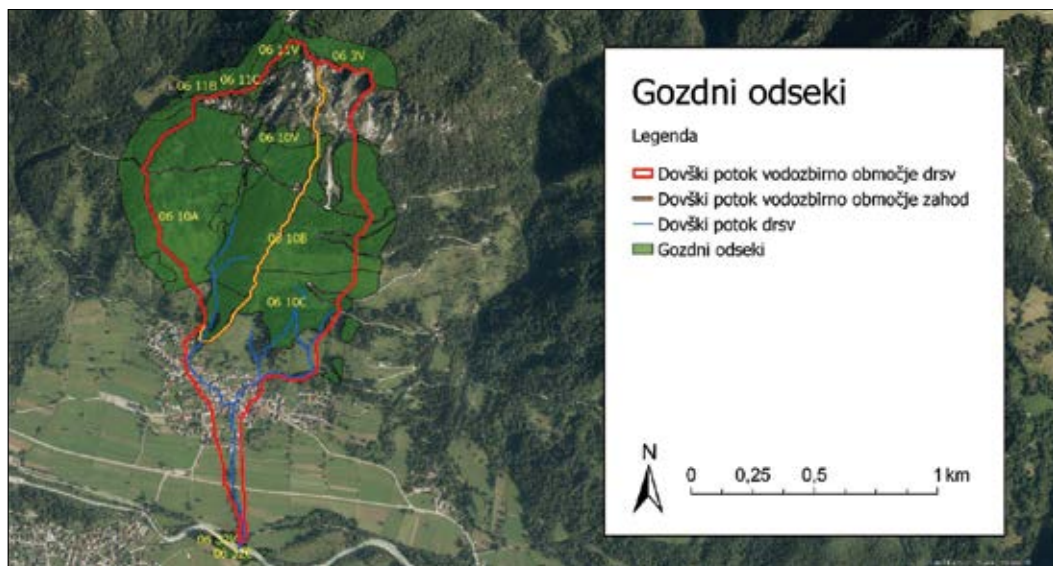
2.2.1 Analysis of growing stock in the catchment area

Na podlagi podatkov revirnega gozdarja za obdobje od 2012 do 2023 smo analizirali spreminjanje lesne zaloge v gozdnih odsekih. Uporabili smo podatke o lesni zalogi iz gozdnogospodarskih načrtov za enoto Jesenice (GGN) iz let 2008 in 2018. V izračunu je v veliki večini že všteta izguba lesne zaloge, ki jo je povzročil napad podlubnikov, niso pa upoštevane posledice vetroloma iz leta 2019.

2.2.1.1 Analiza sprememb lesne zaloge na vodozbirnem območju

2.2.1.1 Analysis of growing stock changes in the catchment area

Na podoben način smo analizirali tudi posek. Zaradi prevlade smreke med iglavci in bukve med listavci smo predpostavili, da posek obeh vrst predstavlja celoten posek na območju.



Slika 7: Gozdni odseki po ZGS na območju vasi Dovje (Pregledovalnik gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtov, b. l.)

Figure 7: Forest sections according to ZGS in the area of the village of Dovje (Viewer of forest management and forest cultivation plans, n.p.)

2.3 Hidrološka analiza

2.3 Hydrological analysis

2.3.1 Analiza površinskega odtoka in določitev Q_{100} po obrazcu Kresnik

2.3.1 Analysis of surface runoff and determination of Q_{100} according to the Kresnik formula

V slovenski hudourniški praksi je za izračun visokih oz. stoletnih vod (Q_{100}) najpogosteje v uporabi obrazec po Kresniku (Brus, 1981, povzeto po Voda in gozd, 2020). Uporaben je zlasti za vodozbirna območja v gorskem ali hribovitem svetu z večjim deležem neporaslih ali slabo poraslih površin na predvsem neprepustni geološki podlagi. Z njim ugotovimo pričakovane največje pretoke (Q_{100}). Za uporabo obrazca oz. enačbe 1 je pomembno poznavanje velikosti samega vodozbirnega območja ter določanje odtočnega koeficienta α .

Stoletni pretok Q_{100} je bil izračunan že v enem od starih projektov iz leta 1961. Še dodatno smo ga izračunali tudi sami.

$$Q_{100} = \alpha * \frac{32}{0,5 + F_w} * F_w \quad \dots \quad (1)$$

Ker so vsa naša vodozbirna območja manjša od 1 km², za izračun uporabimo poenostavljeno enačbo 2 (Koren, 2005):

$$Q_{100} = \alpha * F_w * 20$$

Q_{100} – stoletni pretok (m³/s)

α – odtočni koeficient (–)

F_w – velikost vodozbirnega območja (km²) ... (2)

2.3.1.1 Določitev odtočnega koeficienta

2.3.1.1 Determination of the runoff coefficient

Odtočni koeficient določimo za vsako vodozbirno območje posebej, in sicer na podlagi strmine in oblikovanosti terena.

Glede na relief in upoštevajoč končan projekt ureditve spodnjega toka Dovškega potoka v letu 2023, smo tudi za vodozbirno območje zahodnega pritoka določili odtočni koeficient $\alpha = 0,6$, kar pomeni srednji naklon vodozbirnega območja. Enak koeficient je bil za izračun uporabljen že pri projektu leta 1961.

2.3.2 Modeliranje površinskega odtoka in določitev Q_{100} z modelom ZEMOKOST

2.3.2 Modeling surface runoff and determining Q_{100} with the ZEMOKOST model

2.3.2.1 Splošen opis modela

2.3.2.1 General description of the model

Za modeliranje površinskega odtoka smo uporabili hidrološki model ZEMOKOST (Zeller MODifiziert nach Kohl und Štepanek), ki ga razvijajo v Avstriji za modeliranje pretoka na hudourniških vodozbirnih območjih s površino (F_w), manjšo od 100 km². Poleg modela je izšel tudi priročnik (Markart in sod., 2011), ki je v pomoč pri ocenjevanju hidroloških značilnosti vodozbirnega območja (npr. vegetacija, hrapavost površja, matična podlaga), da lahko čim bolj natančno določimo koeficiente, ki jih vnesemo v model.

V modelu najprej definiramo lastnosti vodozbirnega območja. To so površina (48,7 ha), povprečna največja razdalja toka po površini do vodotoka (183 m) in povprečen naklon (36,9 °). Temu sledi definicija dveh koeficientov (Markart in sod., 2011):

SRC – koeficient površinskega odtoka, s katerim ocenimo, kolikšna je količina površinskega odtoka glede na količino padavin na lestvici od 0 (brez površinskega odtoka) do 6 (površinski odtok 100 % padavin) na podlagi tipa tal, rabe tal, vlažnosti in posebnih značilnosti območja;

RCC – koeficient površinske hrapavosti, ki prav tako zajema razpon od 0 (asfalt, beton, kamen, led – zelo majhna hrapavost) do 6 (gozd – velika hrapavost). Tudi tega določimo na podlagi vegetacijskih tipov, za lažje analize pa deluje na predpostavki, da je med trajanjem padavin enak in zane-marimo morebiten vpliv samih padavin (toča, sneg ...) na samo hrapavost.

Definiranje obeh koeficientov poteka subjektivno in je delno odvisno od uporabnika. Zato so pri tem v veliki meri pomembne izkušnje oz. sodelovanje več ljudi pri določanju, lahko pa si pomagamo tudi s priročnikom. V model na koncu

vnesemo deleže površin z enakim koeficientom.

Sledi še vpis lastnosti glavnega vodotoka izbrane vodozbirnega območja, kamor vnesemo njegovo dolžino (1239 m), njegov povprečni naklon (23,8 °) in še hrapavost same struge, ki jo definiramo z velikostjo prodnika d_{90} – velikost zrna, ki je večji od 90 % preostalih prodnikov, ki jih najdemo v strugi (0,12 m).

Zadnja faza modeliranja pa je dodajanje podatkov o količini padavin za izbrano povratno dobo. V stolpec vnesemo trajanje padavin, v naslednja dva pa predhodno izračunane količine padavine za povratne dobe eno leto in sto let.

2.3.2.2 Scenariji modela in koeficienta SRC ter RCC

2.3.2.2 Model scenarios and SRC and RCC coefficients

Model ZEMOKOST smo za potrebe naše raziskave zagnali trikrat, vedno z drugačnimi parametri, ki smo jih določili tako, da ponazarjajo tri različne scenarije stanja gozda na samem vodozbirnem območju. Scenarije smo določili kot:

- zdajšnje stanje (scenarij 2019),
- stanje v nedavni preteklosti (scenarij 2015),
- in potencialno poslabšanje stanja v prihodnosti (scenarij brez smreke).

Scenariji so se razlikovali glede na deleže površin, ki jim pripišemo določene koeficiente SRC in RCC. Pri tem je treba upoštevati, da pri realnem določanju samih koeficientov veliko vlogo določajo izkušnje določevalca.

V prvem scenariju smo se osredotočili na obstoječe stanje, torej gozd p tem, ko so ga že prizadeli žledolom, napadi podlubnikov in vetrolom med letoma 2014 in 2019. Na podlagi terenskega ogleda s pomočjo daljinsko vodenega letalnika, ortofoto posnetkov, Pregledovalnika Zavoda za gozdove Slovenije in priročnika za določanje koeficientov v modelu smo posameznim kategorijam površja določili koeficienta SRC in RCC. Tako v prvem kot tudi v drugem scenariju gozd pokriva enak delež površine (79 %), saj smo podatke o površinah razvojnih faz povzeli po Pregledovalniku ZGS.

Drugi scenarij je predstavljal stanje gozda pred velikopovršinskimi motnjami gozdov. Na podlagi

Preglednica 1: Površine in koeficienta SRC ter RCC različnih kategorij za različne scenarije v modelu ZEMOKOST
Table 1: Areas and SRC and RCC coefficients of different categories for different scenarios in the ZEMOKOST model

Kategorija	Delež [%]			Koeficient SRC			Koeficient RCC		
Mladovje	21	9	50	5	5	5	3	3	3
Debeljak	4	36	0	2	2	2	2	2	2
Sestoj v obnovi	27	7	4	3	3	3	5	5	5
Raznomerni gozd	27	27	25	2	2	3	3	3	2
Pašnik	2	2	2	5	5	5	2	2	2
Ruševje in pritlikav gozd nad zgornjo gozdno mejo	11	11	11	5	5	5	2	2	2
Golo skalovje, ponekod poraslo s travo in zelišči	8	8	8	5	5	5	1	1	1

zgodovinskih satelitskih posnetkov (Google Earth, b. l.), posnetkov iz let 2015 (pred prvo ujmo) in 2019 (po končanih sanitarnih sečnjah), ki smo jih geolocirali v programu ArcGis Pro, smo določili površine, kjer je pred napadi podlubnikov in vetrolomom uspeval debeljak, zdaj pa te površine pokriva mladovje; gre za 57,6 ha gozdov. Poleg tega smo upoštevali, da so na površinah, ki so zdaj gozd v obnovi, prej uspevali debeljaki, saj so bile prav motnje gozdov in sanacija vzrok za začetek obnove.

V tretjem scenariju smo v modelu upoštevali stanje gozdov v primeru, da bi se zgodilo še več motenj, ki bi povzročile popoln propad smreke na vodozbirnem območju. Za tak primer smo iz modela odstranili čiste smrekove debeljake, zelo pa smo zmanjšali tudi delež sestojev v obnovi. Ohranili smo 4 % površine, kjer smreko nadomešča rdeči bor. Vse površine smo nato pripisali mladovju oz. s praprotjo poraščenim površinam, kjer se počasi ponovno vzpostavlja gozd. Tudi v raznomernih gozdovih smo koeficiente prilagodili takim spremembam.

Vsi uporabljeni koeficienti so po scenarijih prikazani v preglednici (preglednica 1). Vsaka vrednost ima tri različice, ki se nanašajo na posamezne scenarije: levo scenarij 2019, v sredini scenarij 2015 in desno scenarij brez smreke.

2.4 Hidravlična analiza

2.4 Hydraulic analysis

Namen izvedbe same hidravlične analize je pridobitev podatkov, ki so ključni za ustrezno načrtovanje velikosti pregrad in drugih hudourniških objektov.

2.4.1 Pretočna zmogljivost obstoječih prelivov pregrad

2.4.1 Flow capacity of existing barrier spillways

Pretočno zmogljivost obstoječih prelivov pregrad za stoletni pretok (Q_{100}) smo preverili s Polenijevo prelivno metodo (Poleni, 1717, povzeto po Salaberger & Rauch, 2018), ki izhaja iz podatkov o koeficientu preliva, višini krila pregrade in srednji širini prelivne sekcije. Uporabili smo naslednjo enačbo (Enačba 3):

$$Q = \frac{2}{3} * \mu * b_{A,M} * \sqrt{2g} * H_A^{\frac{3}{2}}$$

Q – pretok (m^3/s)

μ – koeficient preliva (–)

$b_{A,M}$ – srednja širina prelivne sekcije (m)

H_A – višina krila pregrade (m)

... (3)

Srednjo širino prelivne sekcije izračunamo z uporabo naslednje enačbe (Enačba 4):

$$b_{A,M} = b + \frac{2}{3}H_A$$

$b_{A,M}$ – srednja širina prelivne sekcije (m)

b – širina prelivne sekcije na višini prelivne krone (m)

H_A – višina krila pregrade (m) ... (4)

Iz navedenih dveh enačb lahko izračunamo višino krila pregrade, pri kateri bo dosežena ustrezna pretočna zmogljivost prelivov obstoječih pregrad. Enačba ima naslednjo obliko (Enačba 5):

$$H_A^{\frac{5}{2}} = \frac{3}{2} \cdot \left(\frac{3Q}{2 \cdot \mu \cdot \sqrt{2g}} - b \cdot H_A^{\frac{3}{2}} \right)$$

H_A – višina krila pregrade (m)

Q – pretok (m³/s)

μ – koeficient preliva (–)

b – širina prelivne sekcije na višini prelivne krone (m) ... (5)

Enačba je implicitna, saj je tako na levi kot na desni strani enačbe. V statističnem paketu za obdelavo velikih količin podatkov R smo uporabili funkcijo uniroot za numerično rešitev.

Povratno dobo pretoka, ki jo prevajajo prelivni obstoječi pregrad, smo izračunali z uporabo naslednje enačbe (Enačba 6):

$$n = 100 \cdot \left(\frac{Q}{Q_{100}} \right)^4$$

n – povratna doba pretoka, ki jo prevajajo prelivni obstoječi pregrad (let)

Q – pretok (m³/s)

Q_{100} – stoletni pretok (m³/s) ... (6)

3 REZULTATI

3 RESULTS

3.1 Posek na vodozbirnem območju Dovškega potoka

3.1 Felling in the catchment area of the Dovški potok stream

Pred letom 2014 so spodnji del pobočja Borovja preraščali smrekovi debeljaki, stari okoli 110 let (slika 8). Ker so tam strmi tereni, kjer prevladuje žičniško spravilo lesa in so večinoma zasebni gozdovi, je bilo v njih gospodarjenje manj intenzivno, zaradi česar so bili sestoji gosti, brez podmladka.

Na tem območju je žledolom februarja 2014 znatno poškodoval gozdove. Domnevno je bilo poškodovanih dovolj dreves, da je to povzročilo močno gradacijo podlubnikov v poznejših letih (Legat, 2023). Tako je bilo zaradi gradacije podlubnikov do leta 2018 na celotnem vodozbirnem območju sanitarno posekanih 8.204 m³ smreke.

Leta 2019 je sledil vetrolom v osrednjem delu zahodnega vodozbirnega območja, zaradi katerega je bilo posekanih še dodatnih 600 m³ smreke. Po končani sanaciji je celotna količina sanitarno posekane smreke med letoma 2015 in 2021 znašala 10.344 m³.

Opisane motnje gozdov so v krajini nad Dovjem povzročile večje spremembe, saj je bila posekana skoraj polovica gozdov nad vasjo (slika 8 in slika 9).

Analiza poseka v obdobju od 2012 do 2023 v oddelku 06 10 je prikazana v preglednici (2). Redni posek v letih pred motnjami je bil velik, po motnjah pa se je za nekaj let popolnoma zmanjšal. Šele v zadnjih letih se redni posek ponovno rahlo večja. Drugačna je dinamika sanitarnega poseka. V letih 2015 in 2016, ko se je redni posek zaradi sanitarnega poseka zmanjšal, se je količina sanitarnega poseka iglavcev povečala na 3.772,7 m³. Po treh letih, ko je bila sanacija napada podlubnikov končana, se je sanitarni posek zopet zmanjšal. Nato se je za dve leti ponovno povečal zaradi vetroloma. Glede na podatke lahko sklepamo, da je smreka za motnje gozdov veliko bolj občutljiva kot bukev, saj med sanitarnim posekom komaj zasledimo listavce (Preglednica 7).



Slika 8: Satelitski posnetek stanja gozda na južnem pobočju Borovja leta 2014 (Google Earth, b. l.)

Figure 8: Satellite image of the forest condition on the southern slope of Borovje in 2014 (Google Earth, n.d.)



Slika 9: Satelitski posnetek stanja gozda na južnem pobočju Borovja leta 2019 (vir: Google Earth, b. l.)

Figure 9: Satellite image of the forest condition on the southern slope of Borovje in 2019 (source: Google Earth, n.p.)

Preglednica 2: Količina poseka v odsekih 06 10A in B glede na iglavce in listavce za obdobje od 2012 do 2023
Table 2: Volume of felling in sections 06 10A and B by conifers and deciduous trees for the period 2012-2023

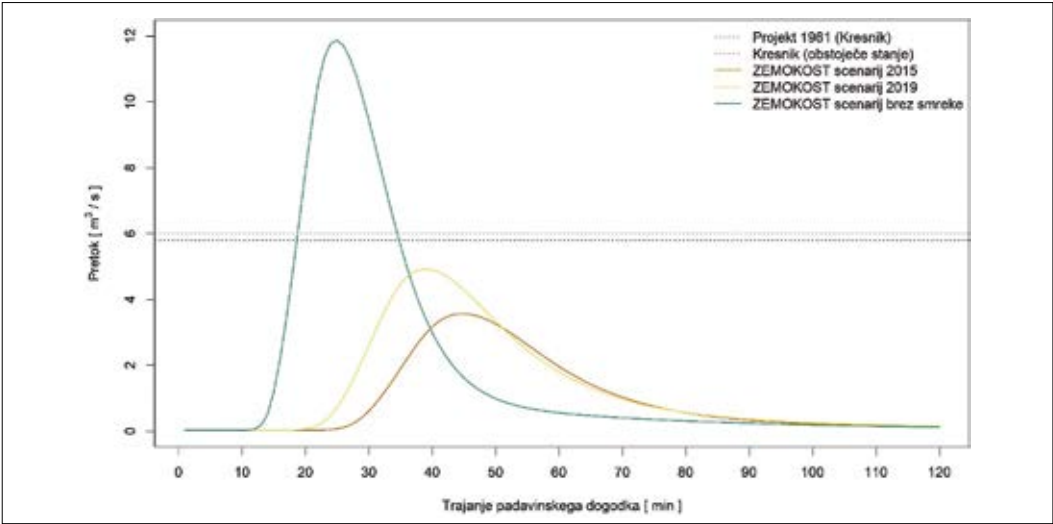
Leto	Redni posek [m ³]		Sanitarni posek [m ³]		Redni posek [m ³]	Sanitarni posek [m ³]
	Iglavci	Listavci	Iglavci	Listavci		
2012	525,9	25,0	0,0	0,0	550,9	0,0
2013	20,7	0,0	22,8	0,0	21,4	22,8
2014	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2015	551,7	42,2	1615,8	0,0	593,9	1615,8
2016	356,6	1,1	3772,7	50,2	357,7	3822,8
2017	101,6	0,0	2737,5	0,0	101,6	2737,5
2018	30,5	5,2	78,5	0,8	35,6	79,2
2019	0,0	0,0	1487,9	8,9	0,0	1496,7
2020	0,0	0,0	510,5	7,0	0,0	517,5
2021	15,8	2,5	141,5	0,0	18,3	141,5
2022	12,6	2,6	36,2	0,2	15,2	36,4
2023	0,0	8,5	71,5	1,0	8,5	72,5

3.2 Površinski odtok glede na spremembe sestojne zgradbe

3.2 Surface runoff depending on changes in forest structure

Po Kresniku smo izračunali stoletni pretok Dovškega potoka $Q_{100} = 5,8 \text{ m}^3/\text{s}$. V projektu

iz leta 1961 je bil stoletni pretok po Kresniku $Q_{100} = 6,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Z modelom ZEMOKOST smo za vsak scenarij ugotovili različne rezultate. V scenariju za leto 2015 je stoletni pretok Dovškega potoka znašal $Q_{100} = 3,6 \text{ m}^3/\text{s}$, nastal pa je 45 minut po začetku padavinskega dogodka. Scenarij za leto



Slika 10: Prikaz spreminjanja pretoka med padavinskim dogodkom po modelu ZEMOKOST za tri scenarije
Figure 10: Illustration of changes in flow during a precipitation event according to the ZEMOKOST model for three scenarios

2019 je pokazal višji stoletni pretok, ki je v tem primeru dosegel $Q_{100} = 4,9 \text{ m}^3/\text{s}$ in se je pojavil 39 minut po začetku padavin.

Potencialni scenarij s popolno izgubo smreke pa je pokazal stoletni pretok $Q_{100} = 11,9 \text{ m}^3/\text{s}$ s pojavom 25 minut po začetku padavinskega dogodka. Poteki spreminjanja pretoka med padavinskim dogodkom za vse tri scenarije so prikazani na spodnji sliki (slika 10).

3.3 Hidravlična analiza obstoječih pregrad

3.3 Hydraulic analysis of the existing barriers

Kot je razvidno iz preglednice z velikostmi vseh petih pregrad nad vasjo (Preglednica 3), so si spodnje tri velikostno zelo podobne, zato smo analizo omejili le nanje.

3.3.1 Pretočna krivulja prelivov obstoječih pregrad

3.3.1 Flow curve of existing barrier spillways

Na podlagi Polenijeve prelivne metode (Poleni, 1717, povzeto po Sallaberger & Rauch, 2018) smo izdelali pretočno krivuljo za pregrade s širino prelivne sekcije in naklonoma brežin, kakršne so obstoječe pregrade (slika 11).

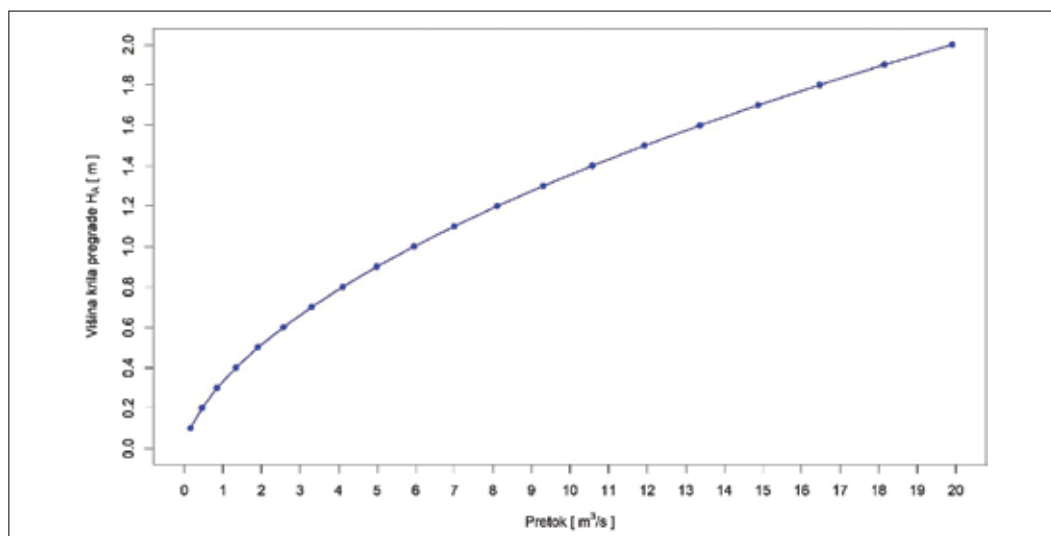
Pretočna zmogljivost obstoječih prelivov pregrad znaša $4,1 \text{ m}^3/\text{s}$ (Preglednica 4). Izračunali smo tudi najmanjšo višino krila pregrade, ki omogoča prevajanje stoletnih vod. Vrednosti se gibljejo od 0,74 m do 1,50 m.

S pomočjo Polenijeve prelivne metode smo izračunali, kakšne so povratne dobe pretokov, ki so jih obstoječi prelivi pregrad danih dimenzij sposobni prevajati. Obstoječa ureditev je sposobna prevajati stoletne vode le v primeru

Preglednica 3: Velikosti pregrad nad vasjo na zahodnem pritoku Dovškega potoka

Table 3: Dimensions of the barriers above the village on the western tributary of the Dovški potok stream

Dimenzija pregrade	Pregrada 1	Pregrada 2	Pregrada 3	Pregrada 4	Pregrada 5
Širina prelivne sekcije [m]	–	2,0	3,0	3,0	3,0
Višina krila pregrade [m]	–	0,2	0,8	0,8	0,6
Naklon brežin	–	1 : 2	1 : 1	1 : 1	1 : 1



Slika 11: Pretočna krivulja prelivov obstoječih pregrad

Figure 11: Flow curve of the existing barriers

Preglednica 4: Rezultati izračunov hitrosti toka po Rickemannovi enačbi (Q_{100}), pretočne zmogljivosti pregrad (P_{oleni}), najmanjše višine kril pregrade (H_{Amin}) in povratne dobe, ki jo obstoječe pregrade lahko prevajajo (n) za vse scenarije

Table 4: Results of calculations of flow velocity according to Rickemann's equation (Q_{100}), flow capacity of barriers (P_{oleni}), minimum height of barrier wings (H_{Amin}) and return periods that the existing barriers are capable of transmitting (n) for all scenarios

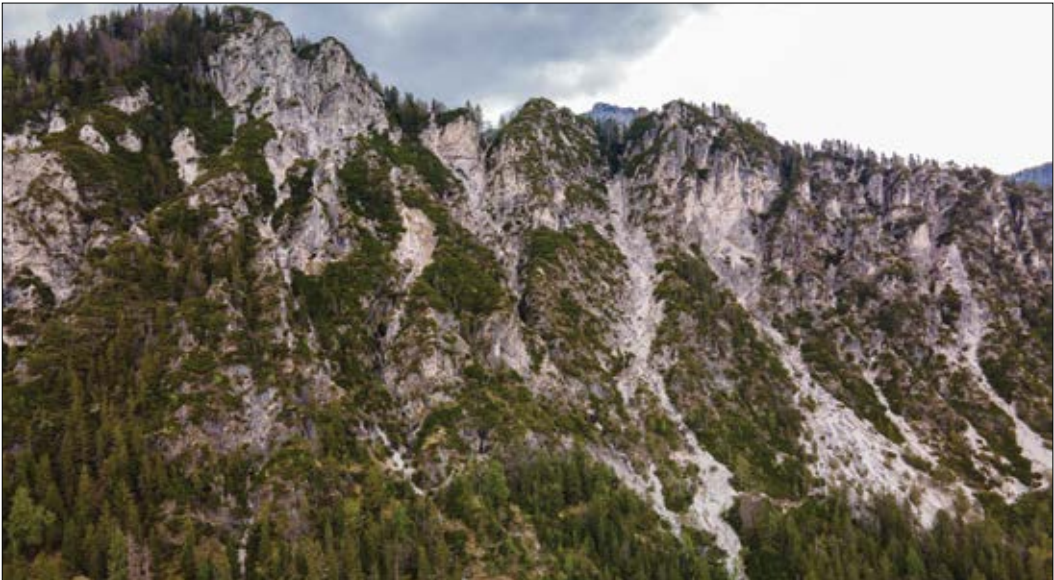
Pridobitev podatka	Q_{100} [m ³ /s]	Q_{Poleni} [m ³ /s]	H_{Amin} [m]	n [let]
Projekt 1961 (Kresnik)	6,0	4,1	1,00	21,8
Kresnik (obstoječe stanje)	5,8		0,98	25,0
ZEMOKOST, scenarij 2015	3,6		0,74	168,2
ZEMOKOST, scenarij 2019	4,9		0,89	49,0
ZEMOKOST, scenarij brez smreke	11,9		1,50	1,4

scenarija za stanje pred motnjami (scenarij 2015). Pri scenariju za današnje stanje (scenarij 2019) bi bile pregrade sposobne prevajati 49-letne pretoke, v primerih scenarijev po Kresniku za današnje stanje (Kresnik (obstoječe stanje)) 25-letne pretoke, za izračun iz leta 1961 (Projekt 1961 (Kresnik)) pa 22-letne pretoke. V primeru scenarija ob popolni izgubi smreke (scenarij brez smreke) pa prevodnost prelivov pregrad ne bi zadoščala niti dvoletnim pretokom (Preglednica 4).

3.4 Razvoj potencialnih hudourniških procesov v zaledju Dovškega potoka v prihodnosti

3.4 Development of potential torrential processes in the hinterland of the Dovški potok stream in the future

O razvoju hudourniških procesov na območju zahodnega pritoka lahko predvidevamo predvsem na podlagi terenskega ogleda. Gre za površine z večjimi količinami nakopičenega erozijskega drobirja in pobočnega grušča različne velikosti: od



Slika 12: Zgornji del vodozbirnega območja zahodnega pritoka Dovškega potoka (Foto: B. Mekina)

Figure 12: Upper part of the catchment area of the western tributary of the Dovški potok stream (Photo: B. Mekina)

skal, kamenja in peska v višjih legah (Slika 12) do zemljin v nižjih (Slika 13). V prihodnosti bi lahko, predvsem ob velikih količinah padavin, material predstavljal nevarnost za nastanek posameznih drobirskih in blatnih tokov, predvsem zaradi slabše pokrovnosti z gozdom.

V zgornjem in osrednjem delu so grape že zasute s peskom in kamenjem, kar nakazuje na erozijsko aktivnost, v spodnjem delu pa sta se že sprožila dva manjša zemeljska plazova (Slika 13).

4 RAZPRAVA

4 DISCUSSION

V raziskavi smo analizirali stanje vodozbirnega območja in obstoječe hudourniške ureditve Dovškega potoka nad vasjo Dovje. Izhajali smo iz dejstva, da se v zadnjih letih in desetletjih pojavlja vse več vremenskih ekstremov, ki so posledica zdaj že neizbežnih podnebnih sprememb (Patacca in sod., 2022).

S svojim hudourniškim značajem, majhnim vodozbirnim območjem in velikimi spremembami v gozdovih zaradi velikopovršinskih motenj v zadnjem desetletju se je Dovški potok izkazal

za idealen primer za raziskavo vpliva sprememb v sestojni zgradbi gozdov na površinski odtok in posledično pretok samega hudournika.

Po terenskih ogledih, pogovoru z revirnim gozdarjem, pregledovanju arhivskih podatkov o prejšnjih ureditvah Dovškega potoka in obdelanih podatkih o stanju gozdov, podnebja in vodozbirnega območja v okolju GIS smo sestavili zbirko podatkov, ki smo jih uporabili za analizo poseka in hidrološko modeliranje ter hidravlične izračune.

Ugotovili smo, da se je na južnem pobočju Borovja v zadnjih desetih letih zelo spremenilo stanje gozdov. Potem ko so se na tem območju gozdovi uspešno izognili zledolomu, je domnevno vseeno nastalo dovolj škode, da se je v prihodnjih letih pojavila močna gradacija podlubnikov. Tako je bilo v letih od 2015 do 2018 na celotnem pobočju Borovja sanitarno posekanih 8204 m³ smreke, v vetrolomu leta 2019 pa še 600 m³, v veliki večini smrekovega lesa (Legat, 2023), kar potrjuje hipotezo, da se je na vodozbirnem območju Dovškega potoka povečala količina sanitarnega poseka.

Kljub začetnemu trudu domačinov s podporo Zavoda za Gozdove Slovenije za umetno obnovo gozdov s sajenjem smreke, bukve in macesna, le-to



Slika 13: Spodnji del vodozbirnega območja zahodnega pritoka Dovškega potoka (Foto: B. Mekina)

Figure 13: Lower part of the catchment area of the western tributary of the Dovški potok stream (Photo: B. Mekina)

ni bilo uspešno. Revirni gozdar kot vzroke za to navaja predvsem pomankanje znanja o pravilnem sajenju ter pomanjkljivo nego posajenega mladja (obžetev), ne izključuje pa možnosti slabe kakovosti posajenih sadik. Tako so se poskusi sajenja končali s približno 30 % uspešnostjo. Površine nad Dovjem ostajajo prepuščene naravni obnovi, ki bo zaradi močne zeliščne plasti še počasnejša. Razmere so boljše v vzhodnem delu, kjer so zemljišča večinoma v lasti agrarne skupnosti. Tam so za sajenje najeli usposobljene izvajalce, ki so kasneje poskrbeli tudi za obžetev. Na tamkajšnjem delu vsako leto poskrbijo za nekaj spopolnitvenega sajenja (Legat, 2023).

Za primerjavo različne sestojne zgradbe gozda na območju smo se odločili za uporabo več scenarijev. Metodo po Kresniku smo izbrali za osnovo zaradi njene pogoste uporabe, hkrati pa je bila uporabljena že pri protierozijski ureditvi in ukrepih v preteklosti. Čeprav je Kresnikova metoda prilagojena za računanje visokih vod v gorskem ali hribovitem svetu z večjim deležem neporaslih ali slabo poraslih površin na predvsem neprepustni geološki podlagi, se osredotoča predvsem na oblikovanost terena, ne na samo vegetacijo, ki je v našem primeru ključnega pomena.

To težavo smo odpravili z uporabo hidrološkega modela ZEMOKOST, ki namenja več poudarka sami vegetaciji vodozbirnega območja. Ker model omogoča določanje različnih koeficientov glede na vegetacijo in teren različnih delov vodozbirnega območja, smo dodali še tri scenarije, ki so se razlikovali glede na stopnjo poškodovanosti gozda. Po pričakovanjih je bil stoletni pretok najmanjši v scenariju 2015 z nepoškodovanim gozdom in je znašal $Q_{100} = 3,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Sledil je scenarij 2019 z zdajšnjim stanjem gozda in stoletnim pretokom $Q_{100} = 4,9 \text{ m}^3/\text{s}$, ki potrjuje hipotezo o povečanju količine površinskega odtoka po motnjah gozda. Čeprav se vrednost modeliranega pretoka že v tem primeru skoraj podvoji, pa je bil največji pretok modeliran v potencialnem scenariju popolnega propada smreke in je znašal $Q_{100} = 11,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Dejstvo, da je ta vrednost skoraj dvakratnik trenutno najslabšega scenarija (Kresnik), opozarja, da bi se lahko stanje v prihodnosti še poslabšalo navkljub že veliki spremembi v pretoku po prejšnjih motnjah.

Podobne rezultate so ugotovili tudi iranski znanstveniki, ki so v svoji raziskavi primerjali različne načine gospodarjenja z gozdom glede na količino površinskega odtoka (Behjou in sod., 2024). Čeprav gre v našem primeru za gozdove, poškodovane zaradi ujm, v njihovem pa za rezultate gospodarjenja z gozdom, je situacija zelo podobna. V osnovi so primerjali površinski odtok med vodozбирnimi območji, kjer gospodarijo golosečno, in tistimi, kjer je prisotno sonaravno gospodarjenje. Ugotovili so, da je površinski odtok v gozdovih z golosečnim gospodarjenjem v bolj sušnih pa tudi v bolj namočenih mesecih večji od tistega v gozdovih s sonaravnim gospodarjenjem. Poleg tega navajajo, da med posameznimi padavinskimi dogodki nastaja veliko večja variabilnost v površinskem odtoku (Behjou in sod., 2024). Če se ob tem navežemo na našo analizo, lahko postavimo vzporednice med gozdovi z golosečnim gospodarjenjem in površinami, poškodovanimi zaradi ujm ter gozdovi s sonaravnim gospodarjenjem in nepoškodovanimi oz. negovanimi gozdovi.

Raziskava, opravljena v zahodni polovici ZDA leta 2021 (Goeking in Tarboton, 2022), je obsegala analizo sprememb v površinskem odtoku na 159 vodozбирnih območjih, tako kot v primeru Dovškega potoka, ki so jih prizadele motnje gozda. Rezultati analize lahko kažejo nekoliko nepričakovane ugotovitve. Kot smo že ugotovili v naši raziskavi, tudi v njihovem primeru motnja v gozdu največkrat povzroči povečanje količine površinskega odtoka, zlasti v gozdovih, kjer je količina evapotranspiracije večja od količine padavin. Vendar to pravilo ne velja za vse gozdove, vključene v raziskavo. V primerih zelo suhih vodozбирnih območij obstaja večja verjetnost, da se bo po pojavu motnje zmanjšal površinski odtok. Poleg tega je tudi večja verjetnost za pojav motenj na takih območjih (Goeking in Tarboton, 2022).

Tudi na Kitajskem (Ding in sod., 2022) so ugotavljali razlike v površinskem odtoku glede na sestavo gozda. Ugotovili so, da je površinski odtok največji v grmovnih gozdovih, manjši v iglastih in nato mešanih gozdovih ter najmanjši v listnatih gozdovih. Površinski odtok je bil v grmovnih gozdovih večji od običajnega v bolj

mokrih letih, v listnatih gozdovih pa v bolj sušnih, kar še dodatno nakazuje na pomembnost vloge gozda pri zadrževanju vode. Z večanjem pokritosti površine z gozdom so ugotovili zmanjševanje površinskega odtoka (Ding in sod., 2022).

Polenijeva prelivna metoda je omogočila izračun največjega stoletnega pretoka Q_{100} , ki so ga obstoječe pregrade sposobne prevajati, in znaša $Q_{100} = 4,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Iz tega rezultata je razvidno, da za večino scenarijev pregrade ne bodo zadostovale pretokom stoletnih vod, s čimer potrdimo tretjo hipotezo. Pretok je manjši od sposobnosti pregrad le v primeru scenarija v letu 2015, ko gozdovi še niso bili poškodovani in pregrade hidravlično zadoščajo pretokom s povratno dobo do 169 let. Razmere so najslabše v scenariju brez smreke, kjer stoletne vode dosežejo skoraj trikratnik pretočne sposobnosti pregrad, ki pa ne zadostujejo niti dvoletnim padavinam.

Čeprav je v projektu iz leta 1961 uporabljen izračun visokih vod po Kresniku, ki znaša $Q_{100} = 6,0 \text{ m}^3/\text{s}$, pregrade hidravlično ne morejo prevajati takih pretokov in v tem primeru zadostujejo le za povratno dobo 22 let. Vzroka za tako neujemanje nismo zasledili, je pa treba omeniti, da omenjeni projekt ne zajema izgradnje dotičnih pregrad, ampak ureditev nižje ležečega dela struge. V arhivih žal nismo našli Izvirnega projekta za pet pregrad nad vasjo z izračunom pretoka za namen njihove gradnje.

Cilj raziskave je bil tudi preveriti potencialne nevarnosti zaradi proženja blatnih in drobirskih tokov v zaledju Dovškega potoka. Na podlagi terenskega ogleda in izračunov ugotavljamo, da obstaja možnost hudourniških procesov, ki za nižje ležečo vas lahko pomenijo tveganje in tako potrdimo še četrto hipotezo. V zgornjem, skalovitem delu hudourniškega območja so večje količine erozijskega drobirja in pobočnega grušča, kar je posledica zelo krušljive matične podlage (Jurkovšek, 1987). Ob močnih deževjih voda material prenaša proti dolini, pri čemer obstaja nevarnost sprožitve drobirskega toka. Na območju med cesto in gozdno mejo ter nižje ležečih delih nismo našli posebnih nevarnosti, saj gre za površine, kjer se je obdržal gozd, ki v večji ali manjši meri še vedno opravlja svojo varovalno vlogo.

Zaradi motenj gozdov pomeni največje tveganje ogolelo območje neposredno nad hišami na desni strani vodotoka, kjer so motnje gozdov povzročile največje posledice. Večja površina je zdaj porasla z redkimi drevesi in grmičevjem, nakloni so strmi, tla na tistem območju pa globoka in bi lahko tvorila blatni tok. Na tistem delu so sicer prisotne rendzine na apnencu in apnenčastem pobočnem grušču (Vrščaj in sod., 2019). Prav tako so na celotni površini sečni ostanki, ki predstavljajo tveganje za vnos lesnega plavja.

5 ZAKLJUČEK

5 CONCLUSION

Na podlagi rezultatov naše raziskave lahko potrdimo vse štiri raziskovalne hipoteze:

- na vodozbirnem območju Dovškega potoka se je v zadnjem desetletju zelo povečala količina sanitarnega poseka,
- po motnjah gozdov v zaledju Dovškega potoka se je povečal površinski odtok vode,
- obstoječe pregrade na zahodnem pritoku hidravlično ne zadostujejo povečanju pretoka ter
- v zaledju Dovškega potoka obstaja nevarnost za sprožitev drobirskih in/ali blatnih tokov.

6 ZAHVALA

6 ACKNOWLEDGEMENT

Ob tej raziskavi se zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Milanu Kobalu z Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete v Ljubljani za pomoč pri terenskih ogledih in izračunih.

Dodatna zahvala velja tudi g. Tadeju Jeršiču iz podjetja Apus, d. o. o., za informacije o projektu ureditve struge Dovškega potoka nad glavno cesto v času izvedbe raziskave, g. Tomažu Ceju za strokovno pomoč na terenu, g. Urbanu Ilcu z Direkcije za vode RS, območje zgornje Save za pomoč s projekti o obstoječi ureditvi, g. Mihi Kostevcu za pomoč s Pregledovalnikom ZGS, revirnemu gozdarju na Dovjah, g. Juretu Legatu, za vse informacije o stanju gozdov ter Gašperju Leverju in uredništvu Gozdarskega vestnika, za popravke, pomoč pri oblikovanju ter lektoriranje.

7 VIRI

7 REFERENCES

- ARSO. 2024. Arhiv meritev. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje, <https://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/> (21. mar. 2023)
- Atlas okolja. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje, https://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso&AspxAutoDetectCookieSupport=1 (26. maj. 2023)
- Atlas voda. Ljubljana, Direkcija Republike Slovenije za vode, <https://geohub.gov.si/portal/apps/webappviewer/index.html?id=f89cc3835fcd48b5a980343570e0b64e> (27. apr. 2023)
- Behjou F. K., Mostafazadeh R., Alaei N. 2024. Effects of forest logging systems on the river flow regime indices using graphical techniques: a case study in a small natural forest. *Hydrology*, 11, 7: 94, <https://doi.org/10.3390/hydrology11070094>
- Brus, J. (1981, povzeto v). V: Zbornik prispevkov „Voda in gozd“ (2020). Ljubljana: Gozdarski vestnik, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani, https://gsd.bf.uni-lj.si/2020/Prispevki/GSD20_zbornik_notranjost_20201223.pdf
- Ding, B., Zhang Y., Yu X., Jia G., Wang Y., Wang Y., Zheng P., Li Z. 2022. Effects of forest cover type and ratio changes on runoff and its components. *International Soil and Water Conservation Research*, 10, 3: 445–456, <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2022.01.006>
- Gnecco, I., Palla, A., La Barbera, P., Roth, G., Giannoni, F. 2023. Defining intensity-duration-frequency curves at short durations: a methodological framework. *Hydrological Sciences Journal*, 68, 11: 1499–1512, <https://doi.org/10.1080/02626667.2023.2224002>
- Goeking, S. A., Tarboton D. G. 2022. Variable streamflow response to forest disturbance in the western US: a large-sample hydrology approach. *Water Resources Research*, 58: e2021WR031575, <https://doi.org/10.1029/2021WR031575>
- Google Earth. Mountain View, Google, <https://earth.google.com/web/>, (24. apr. 2023)
- Grafični in pisni podatki pedološke karte in pedoloških profilov. 2022. Ljubljana, Odprti podatki Slovenije, <https://podatki.gov.si/dataset/pedoloska-karta> (2. maj 2023)
- Gregorčič, T. 2022. Proučevanje vpliva podnebnih sprememb na slovenske gozdove z uporabo metode maksimalne entropije: diplomsko delo. Ljubljana, Filozofska fakulteta
- Horvat, A. 1993. Ekološke osnove urejanja erozijskih območij. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 41: 5–49
- Horvat, A., Jeršič T., Papež J. 2008. Varstvo pred hudourniki in erozijo ob vse intenzivnejših vremenskih ekstremih. *Ujma*, 22: 200–208, <https://ojs-gr.zrc-sazu.si/ujma/article/view/8924/8356>
- IPI Pregledovalnik. Ljubljana, Geodetska uprava Republike, <https://ipi.eprstor.gov.si/jv/> (27. apr. 2024)
- Javni pregledovalnik grafičnih podatkov ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano 2023. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, <https://rkg.gov.si/GERK/WebViewer> (3. maj 2023)
- Jurkovšek B. 1987. Tolmač listov Beljak in Ponteča: osnovna geološka karta Republike Slovenije in Republike Hrvaške: L 33–51, L33–52. Beograd, Zvezni geološki zavod
- Koren, M. (2016). Analiza erozijske ogroženosti turističnih območij. Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, https://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/dn_koren_marko.pdf
- Legat, J. 2023. Informacije revirnega gozdarja o nedavni zgodovini in današnjem stanju gozdov na območju Borovja (osebni vir, 8. maj 2023)
- Markart, G., Kohl B., Sotier B., Klebinder K. Schauer G., Bunza H. Pirkel H., Stern R. 2011. A Simple Code of Practice for the Assessment of Surface Runoff Coefficients for Alpine Soil-/Vegetation units in Torrential Rain (Version 2.0). Tehnično poročilo. (Department of Natural Hazards, Federal Research and Training Centre for Forests, Natural Hazards and Landscape (BFW)). Innsbruck
- Osnovna geološka karta. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije, <https://ogk100.geo-zs.si>, (17. apr. 2023)
- Patacca, M., Lindner, M., Lucas-Borja, M. E., Cordonnier, T., Fidej, G., Gardiner, B., Hauf, Y., Jasinevičius, G., Labonne, S., Linkevičius, E., Mahnken, M., Milanovic, S., Nabuurs, G., Nagel, T. A., Nikinmaa, L., Panyatov, M., Bercak, R., Seidl, R., Ostrogović Sever, M. Z., Socha, J., Thom, D., Vuletic, D., Zudin, S., Schelhaas, M. 2023. Significant increase in natural disturbance impacts on European forests since 1950. *Global change biology*, 29, : 1359–1376, <https://doi.org/10.1111/gcb.16531>
- Podjetje za urejanje hudournikov. 1979. Projekt IV-1/79: Dovški potok, pritok – II, vzdrževalna dela - 1979. Trkman A. Ljubljana, Podjetje za urejanje hudournikov (neobjavljeno)
- Podjetje za urejanje hudournikov. 1984. Projekt IV-49/84: Dovški potok, območje pod Borovljem. Pintar J. Ljubljana, Podjetje za urejanje hudournikov (neobjavljeno)

- Poleni, G. (1717). *De motu aquae mixto*. Povzeto v: Sallaberger, M., & Rauch, W. (2018). *On the historical development of the Poleni weir equation*. International Symposium on Hydraulic Structures (ISHS), 2018. Utah State University, <https://digitalcommons.usu.edu/ishs/2018/session2-2018/5/>
- Pregledovalnik gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtov. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije, http://www.zgs.si/delovna_podrocja/gozdnogospodarsko_nacrtovanje/pregledovalnik_gozdnogospodarskih_in_gozdnogojitvenih_nacrtov/index.html (6. maj 2023)
- Projektivni biro za urejanje hudournikov. 1961. Projekt 33/1: Idejni načrt za ureditev glavne struge Dovškega potoka skozi vas Dovje. Ljubljana, Projektivni biro za urejanje hudournikov (neobjavljeno)
- Rajwa-Kiligiewicz A., Bojarczuk A. 2024. Streamflow response to catastrophic windthrow and forest recovery in subalpine spruce forest. *Journal of hydrology*, 634: 131078, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131078>
- Sodnik, J., Mikoš, M., & Bezak, N. 2023. Torrential Hazards' Mitigation Measures in a Typical Alpine Catchment in Slovenia. *Applied Sciences*, 13(20), 11136. <https://doi.org/10.3390/app132011136>
- Vrščaj B., Grčman H., Kralj T. 2019. Klasifikacija tal Slovenije 2019: sistem za opisovanje in poimenovanje tal Slovenije. 2019. Ljubljana, Pedološko društvo Slovenije, https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOPE/Okolje/Tla/Klasifikacija_tal_Slovenije.pdf (2. maj 2023)