



GOZDARSKI INŠTITUT SLOVENIJE

SLOVENIAN FORESTRY INSTITUTE

Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana

Ciljni raziskovalni program »Naša hrana, podeželje in naravni viri« v letu 2022

Naslov raziskovalnega projekta: Strokovna izhodišča ter smernice za gospodarjenje z gozdovi na hudourniških območjih

3.1 Priprava smernic in ukrepov za gospodarjenje z gozdovi v hudourniških območjih

Poročilo izsledka 3.1.3:

Smernice in ukrepi za gradnjo in vzdrževanje gozdnih prometnic v hudourniških območjih

Pripravil in uredil: dr. Jaša Saražin

Poglavje 3.2.1. je pripravil Aleš Klabus, HSE Invest d.o.o.

Gozdarski inštitut Slovenije, 2025



GOZDARSKI INŠTITUT SLOVENIJE

SLOVENIAN FORESTRY INSTITUTE

Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana

Kolofon

Naslov publikacije: Smernice in ukrepi za gradnjo in vzdrževanje gozdnih prometnic v hudourniških območjih

Urednik/editor: dr. Jaša Saražin

Avtorji/authors: dr. Jaša Saražin, Aleš Klabus

Sodelavci pri raziskavi: mag. Jože Papež, dr. Urša Vilhar

Vodja projekta: dr. Urša Vilhar

Ključne besede: Gozdno gradbeništvo, gozdne vlake, gozdne ceste, odvodnjavanje

Kraj izdaje: Ljubljana

Založil/Published by: Gozdarski inštitut Slovenije/Slovenian Forestry Institute

Leto izdaje dokumenta: 2025

Posodobljena izdaja

Cena: brezplačno

Publication title: Guidelines and measures for the construction and maintenance of forest roads in torrential areas

Keywords: Forestry construction, skidding trails, forest roads, drainage

DOI 10.20315/gis005



To delo je ponujeno pod licenco Creative Commons Priznanje avtorstva-Deljenje pod enakimi pogoji 4.0 Mednarodna licenca.

Financerji raziskave: Projekt CRP Strokovna izhodišča ter smernice za gospodarjenje z gozdovi na hudourniških območjih financirata Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP) ter Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS)

Kazalo vsebine

1	Uvod.....	4
2	Načrtovanje, projektiranje in financiranje	5
3	Ukrepi.....	6
3.1	Odvodnjavanje vozišča prometnice.....	6
3.1.1	Prečni naklon in širina planuma	6
3.1.2	Prečni jarki (vključno s pragovi in dražniki).....	10
3.2	Prečkanja vodotokov	13
3.2.1	Smernice za protierozijsko zavarovanje gozdnih cest pri prečkanju vodotokov (avtor: Klabus A.)	13
3.2.2	Poenostavljeno dimenzioniranje prečkanj manjših vodotokov na gozdnih vlakah.....	33
3.3	Izdelava, vzdrževanje in sanacija odprtih brežin	39
3.4	Podporni elementi (kamnometi, kašte, zidovi, gabioni)	39
3.5	Skladiščni prostori.....	40
	Zahvala.....	40
4	Viri.....	41



1 Uvod

Lanske poletne hudourniške poplave so bolj kot kadarkoli prej pokazale na pomembnost izvajanja proti-erozijskih ukrepov na hudourniških območjih in zagotavljanje erozijske odpornosti gozdnih prometnic. Stanje na terenu smo si tudi zavoljo priprave teh smernic na terenu dobro ogledali ([Saražin, Vilhar in Marinšek, 2023](#) in [Saražin, 2023a](#)).

Ker je zagotavljanje erozijsko odpornih gozdnih prometnic velikega pomena za zagotavljanje vseh gozdnih funkcij, je smiselno tem vsebinam nameniti posebno pozornost.

Gozdne prometnice so z vidika erozijske problematike tako del rešitve kakor tudi del problema.

Positivni učinki prisotnosti gozdnih prometnic v hudourniških območjih:

- Omogočajo prilagojeno gospodarjenje z gozdom na ožjih hudourniških območjih, ki zagotavlja vitalne in stabilnejše gozdove, poudarjajoč njihovo varovalno in zaščitno funkcijo
- Omogočajo spravilo potencialnega lesenega plavja iz strug hudournikov in ožjih hudourniških območij
- Omogočajo dostop mehanizaciji v ožja hudourniška območja z namenom zagotavljanja pretočnosti in stabilnosti naravnih hudourniških strug
- Omogoča dostop mehanizaciji v ožja hudourniška območja z namenom gradnje in vzdrževanja hudourniških objektov ter praznjenja zaplavnih objektov
- Lajša možnost nadzora nad ožjimi hudourniški območji in hudourniški objekti

Negativni učinki prisotnosti gozdnih prometnic v hudourniških območjih:

- Odkopne in nasipne brežine prometnic imajo višji naklon, kot pobočje brez prometnice
- Poveča se riziko za nastanek erozijskih žarišč, sploh neposredno med in po gradnji, dokler se brežine ne ustalijo in delno obrastejo
- Nepravilno konstruirane, ali vzdrževane prometnice kanalizirajo meteorne vode, ki povzročijo nove erozijske jarke

Zaradi naštetega je zelo pomembno, da v hudourniških območjih dobro usklajujemo gostoto in karakteristike prometnic s tem da maksimiramo njihove pozitivne učinke, istočasno pa minimiziramo negativne. Potrebe gospodarjenja z gozdom in relativno skromni prihodki ki iz njega izhajajo (v primerjavi s pozidanimi površinami), namreč ne omogočajo velikih investicij v omrežje gozdnih prometnic (relativno gledano, na tekoči meter, v primerjavi z javnimi prometnicami). Zato je ključno, da za erozijsko odpornost gozdnih prometnic najdemo ekonomsko vzdržne in okolju prijazne rešitve, istočasno pa za njih zagotovimo tudi javna sredstva, saj kot smo predhodno omenili, ima erozijsko odporno prometno omrežje v hudourniških območjih tudi številne koristne vplive, ki sežejo preko parcelnih meja in lastništva prometnice.

2 Načrtovanje, projektiranje in financiranje

Ukrepe za zagotavljanje in povečevanje erozijske odpornosti prometnic v hudourniških območjih lahko implementiramo v sklopu vzdrževalnih del, rekonstrukcij, priprav in novogradenj gozdnih prometnic. Meje med različnimi oblikami določa Uredba o razvrščanju objektov (2022), njihovo interpretacijo za poseg na dotični prometnici pa investitorju podajo lokalno pristojni predstavniki ZGS ([Saražin, 2025](#)).

Najenostavnejše ukrepe v sklopu vzdrževanj lahko načrtujejo in izvedejo pooblaščen uporabniki prometnic sami brez soglasij ZGS in večinskega deleža lastnikov (Saražin in Pristovnik, 2024), Medtem ko je za vse novogradnje (tudi pripravo) in rekonstrukcije, potrebno pridobiti elaborat s strani ZGS, ter druga potrebna dokazila. V kolikor zahtevnost del to zahteva, mora biti izdelan tudi projekt, s strani pooblaščenega inženirja (npr. gozdne ceste) ([Pooblaščen inženirji pri IZS, 2024](#)).

Sredstva za izgradnjo ali rekonstrukcijo gozdnih prometnic zagotovijo pobudniki (zainteresirani lastniki in pooblaščen uporabniki) sami, ki pa imajo možnost kandidirati na razpisih SKP, za povračilo od 50 % do 100 % upravičenih sredstev (odvisno od tipa investicije). Trenutno aktualni razpis za ureditev [gozdne infrastrukture \(SKP, 2024\)](#) in nedavno zaključen razpis za ureditev [protipožarne infrastrukture \(SKP, 2023\)](#).

Vzdrževanje gozdnih cest in protipožarnih prometnic izvajajo izbrani izvajalci skladno z načrtom ZGS s sistemsko zbranimi sredstvi, ki pa v obeh primerih pogosto niso zadostna. Zato morajo upravičeni uporabniki, v kolikor želijo vzdrževati prevozne in erozijsko odporne prometnice, te še na dodatne lastne stroške vzdrževati.

Vzdrževanje gozdnih vlak pa je v veliki meri prepuščeno samim pooblaščenim uporabnikom. Šele zadnji razpis SKP predvideva tudi sofinanciranje ukrepa »protierozijsko vzdrževanje gozdnih vlak«, ki pa še ni ustrezno definirano in zastavljeno. Za koriščenje sredstev s tega naslova, bo moral ZGS predhodno pripraviti elaborat teh vzdrževanj. In te dotične smernice lahko služijo tudi kot pomoč pri pripravi teh elaboratov.



Slika 1: Vzdrževalne ukrepe za vzpostavitev ali povrnitev prevoznosti in zagotovitev odvodnjavanja lahko delajo in načrtujejo upravičeni uporabniki prometnic sami

3 Ukrepi

V nadaljevanju so detajlneje predstavljeni elementi odvodnjavanja in premostitve prometnic preko vodotokov. Podpornim in opornim objektom na prometnicah, prečnim objektom na samih hudournikih in ostalim ureditvam brežin pa je namenjeno naslednje projektno poročilo (3.3 - Katalog tehničnih rešitev, ki zagotavljajo varstvo pred erozijo v gozdu).

3.1 Odvodnjavanje vozišča prometnice

3.1.1 Prečni naklon in širina planuma

S prečnim naklonom vozišča in ostalih elementov v planumu prometnice lahko pomembno vplivamo na režim odvodnjavanja prometnice. Zunaj samega vozišča planum formirajo lahko še koritnica ali jarek na notranji strani (odkopni strani) ter hodnik na zunanji strani (na nasipni strani) vozišča. Slednji so relevantni predvsem pri gozdnih cestah.

Brez prečnega naklona prometnice lahko pri nizkih vzdolžnih naklonih padavinska voda namreč zastaja na prometnici, pri večjih vzdolžnih naklonih pa ustvarja dolge erozijske jarke. Prečni naklon to vodo postopoma odvaža iz vozišča proti nasipni brežini, ali koritnici/jarku.

V skripti (Potočnik, 2009) so naštetih predlagani prečni nakloni vozišča v premi. Nižji vzdolžni nakloni in slabša utrjenost vozišča narekujejo višje prečne naklone, medtem ko obratno večji vzdolžni nakloni in boljša utrjenost vozišča narekujejo nižje prečne naklone.

Preglednica 1: Srednje vrednosti prečnih naklonov gozdnih prometnic v premi (Potočnik, 2009)

Podolžni naklon gozdne ceste (%)	Vrsta vozišča		
	neutrjeno	gramozno	sodobno
0 - 1	8 %	5 - 6%	2%
>1 - 3	7 %	4%	1,5%
> 3	6 %	3%	1%

Primerljiv razpon vrednosti zahteva tudi [Pravilnik \(2009\)](#), ki za gozdne ceste zahteva vsaj 3% prečnega naklona, za pobočne gozdne vlake pa 5 do 10 % prečni naklon.

Pri izboru usmeritve prečnih naklonov pa obstajajo tri možnosti: dvostranski, oz. strešni naklon, enostranski navzven in enostranski navznoter. Vsaka od treh možnosti ima v danih razmerah tako svoje prednosti kot slabosti, pogosto pa se optimalni učinek doseže s kombinacijo več možnosti na celotni trasi prometnice.

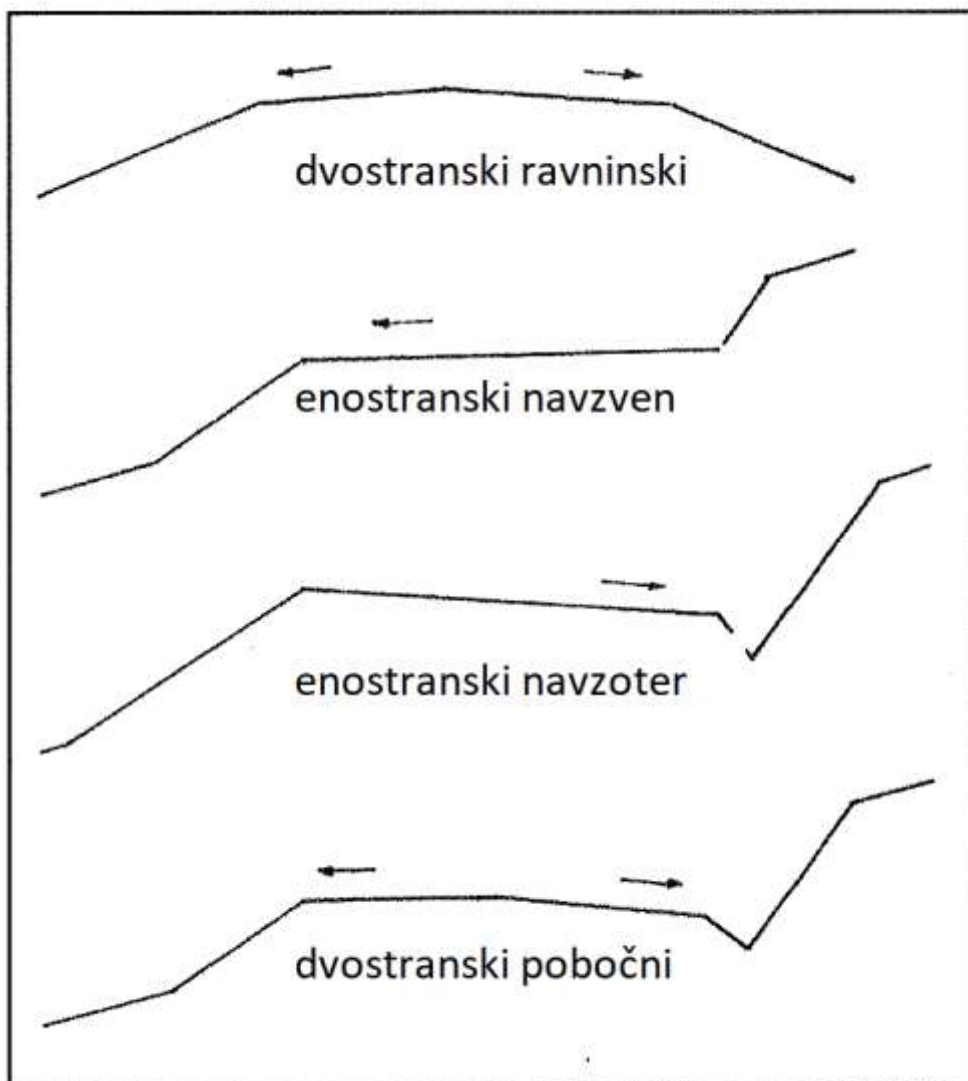
[Pravilnik o gozdnih prometnicah \(2009\)](#), ki predvideva »zgolj« tri tipe prometnic v gozdnem prostoru, pa za pobočne gozdne vlake (ki predstavljajo večino gozdnih prometnic) usmeritev prečnega naklona jasno določa. Medtem pa je pri gozdnih cestah in protipožarnih presekih izbira prečnega profila (usmerjenost prečnih naklonov, oblika hodnika, koritnice, ali jarka) dolžnost projektanta /načrtovalca prometnice.

Za vse pobočne gozdne vlake namreč velja, da morajo imeti prečni naklon za 5 – 10% nagnjen proti notranji strani. Širina planuma vlake v premi pa znaša največ 3,5 m. Iz tega je slutiti, da celotna širina pobočne vlake predstavlja v času spravila vozišče, v času mirovanja pa »koritnico«. V kolikor bi

načrtovalec vlake predvidel stranski jarek, znaša torej skupna dovoljena širina vozišča + jarka še vedno 3,5 m (slednje velja tudi za protipožarne prometnice II kategorije).

Pri gozdnih cestah je omejena zgolj širina vozišča v premi (do 3,5 m), na planumu pa so obvezni elementi še koritnica (vsaj 0,5m), ali jarek (vsaj 0,8 m) na notranji strani in bankina oziroma hodnik (vsaj 0,5 m) na zunanji strani. Tako maksimalna širina planuma ni neposredno omejena, večinoma pa sega do 5 m. Minimalni prečni naklon vozišča v poljubno stran znaša 3 %.

V nadaljevanju predstavljamo prednosti in slabosti različnih usmeritev prečnih naklonov:



Slika 2: shematski prikaz različne usmerjenosti in izvedbe prečnih naklonov vozišča

Enostranski naklon navzven

- + minimalna potreba po prečnih jarkih, saj vsa padavinska voda odteče s prometnice (razen v primeru globokih kolesnic)
- + omogoča bolj ergonomsko vožnjo v ovinkih, ki so usmerjeni tako, da centrifugalna sila deluje v smeri odkopne brežine.
- + najmanjša potreba po izkopih (do 1/3 manj v primerjavi z enostranskim navznoter *upoštevajoč 100% v zaseku, naklon terena 50%, prečni naklon +10% in -10%, odkopna brežina 100%)
- + enostavno vzdrževanje
- manjša varnost vožnje v primeru spolzkega (blatnega, zasneženega, spranega) vozišča
- težavno pri zelo erodibilnih zemljinah (spiranje nasipne brežine)
- neprimerno za vlačenje lesa

Enostranski naklon navznoter

- + primerno za vlačenje lesa
- + večja varnost vožnje v primeru spolzkega (blatnega, zasneženega, spranega) vozišča
- + omogoča bolj ergonomsko vožnjo v ovinkih, ki so usmerjeni tako, da centrifugalna sila deluje v smeri nasipne brežine.
- + enostavno vzdrževanje
- največja potreba po prečnih jarkih
- največja potreba po izkopih

Dvostranski naklon:

- + večja varnost vožnje v primeru spolzkega (blatnega, zasneženega, spranega) vozišča
- + srednje ergonomska vožnja v ovinkih
- 0 manjša potreba po prečnih jarkih
- 0 povprečna potreba po izkopih
- pogojno primerno za vlačenje lesa
- zahtevnejše vzdrževanje

Potreba po novi kategoriji gozdne vlake/gozdne prometnice

V gozdnem prostoru se poleg gozdnih cest, protipožarnih prometnic in gozdnih vlak, namenjenih vlačanju lesa nahaja še veliko drugih »upravičenih« prometnic, ki so lahko po trenutni zakonodaji razvrščene zgolj med gozdne vlake – s tem pa posredno dobijo tudi zahtevo po določenem prečnem naklonu. Tovrstne prometnice bi lahko grobo uvrstili v kategorijo utrjenih gozdnih poti, ki navkljub podanim predlogom iz preteklosti, še ne obstaja. Sem bi se lahko uvrščale pomembnejše gozdne vlake (večinoma utrjene), prednostno namenjene spravilu lesa z vožnjo (npr. z gozdarskimi prikolicami), vaški kolovozi prednostno namenjeni gospodarjenju s kmetijskimi zemljišči, ter servisne poti prednostno namenjene vzdrževanju vodne ali gospodarske infrastrukture v gozdnem prostoru. V kolikor slednje prometnice niso opredeljene kot gozdne vlake, ali izločene iz maske gozda, so po trenutni gozdarski zakonodaji (tudi če so speljane po javnem dobrem, ali z vpisanimi služnostmi) nelegalne. Na vseh teh prometnicah bi morala biti omogočena tudi druga izvedba prečnega naklona, ne izključno na notranjo stran, skladno s priporočili načrtovalca/projektanta.



Slika 3: Vlačenje lesa po tleh ni več edina možna raba gozdnih vlak. Obstajajo tudi druge oblike spravila lesa in upravičene rabe vlak, ki ne potrebujejo nujno prečnih naklonov pobočnih vlak navznoter. (Foto: M. Dolensšek)

3.1.2 Prečni jarki (vključno s pragovi in dražniki)

V kolikor je bila s prečnim naklonom voda usmerjena proti odkopni brežini (v koritnico, jarek, ali zgolj rob planuma), ali v kolikor si je zaradi neutrjenosti vozišča voda sama ustvarila pot po kolesnicah,... je to vodo potrebno odvesti z vozišča v smeri nasipne brežine z drugimi elementi. Pri pomembnejših gozdnih cestah je najpogosteje izbrana rešitev cevni prepust. Pri prometno manj obremenjenih prometnicah, sploh pa pri neutrjenih prometnicah pa je tovrstna rešitev pogosto predraga, pa tudi neprimerna. Alternative, ki se izvedejo neposredno na samem vozišču utrjene prometnice so večinoma cestni pragovi ali dražniki, medtem ko so za neutrjene prometnice najprimernejši prečni jarki.

Preglednica 2: Usmeritve za razvrščanje dražnikov na utrjenih gozdnih cestah so predstavljene v skripti (Potočnik, 200)

Naklon nivelete GC (%)	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16
Razdalja med dražniki (m)	72	56	48	44	40	36	32	28	26	23

Smernic, za razvrščanje prečnih jarkov na neutrjene gozdne vlake, pa v slovenskem prostoru nimamo. [Tako pravilnik o gozdnih prometnicah \(2009\)](#), kakor tudi Smernice za projektiranje gozdnih cest iz leta 1982 in 2002, kakor tudi Potočnik (2009), odvodnjavanje gozdnih vlak opisujejo na podoben način: »Odvodnjavanje mora biti urejeno s prečnimi jarki, katerih gostota je odvisna od podolžnega naklona gozdne vlake, občutljivosti talne podlage na erozijo in režima padavin.« Posamezni izdelovalci elaboratov gozdnih vlak so tako prepuščeni lastni presoji in izkušnjam in so brez jasnih smernic, na katere bi se lahko naslonili. V primeru potrebe po vodnem soglasju, se lahko oprejo na dodatne ekspertne usmeritve vodarjev, ki pa na področju odvodnjavanja vlak, prav tako nimajo enotne metodologije. Zato v Sloveniji ne obstajajo merila za dimenzioniranje prečnih jarkov, niti merila za njihovo frekvenco umestitve na vlako.

Zanimiv predlog za Ameriške razmere so predstavili [Copstead in sod. \(1998\)](#), ki upošteva tudi tip voziščne površine ter umestitev prometnice glede na nadležeci del pobočja.



Preglednica 3: Ameriški predlog določanja razdalj med prečnimi jarki (Copstead in sod., 1998)

Table 4—Guidelines for maximum distance^a between contiguous surface cross drains based on USCS soil erodibility groups^b.

Road Grade	Group 1 GW, GP, Aggregate Surfacing	Group 2 GM, GC	Group 3 CH, CL	Group 4 MH, SC, SM	Group 5 & 6 SW, SP, ML
percent	meters				
2	120	97	75	52	29
4	103	84	65	45	26
6	88	71	55	39	23
8	74	60	47	33	20
10	61	50	39	28	17
12	50	41	32	23 ^c	14 ^c
14	42 ^c	34 ^c	26 ^c	19 ^c	11 ^c

^aDistance between cross drains should be reduced according to the following (based on Packer and Christensen 1964):

Reduce the distance by:

5 meters

11 meters

3 meters

6 meters

If the road is located:

in the middle one-third of a slope

in the bottom one-third of a slope

on an east or west exposure

on a south slope.

If, after applying the above, the resulting distance is less than 20 meters, set the distance between cross drains at 20 meters and apply aggregate surfacing and erosion protection measures, such as vegetative seeding of road, fills, shoulders, ditches, and embankments.

^bAdapted from the distance recommendations summarized in Table 3, and soil erodibility hierarchy suggested by Gray and Leiser.

^cNot recommended for dips because they may require approach grades steeper than 15 percent.

Predlog dimenzioniranja prečnih jarkov na pobočnih gozdnih vlakah

Ker so prečni jarki z vidika uporabe gozdnih prometnic moteč faktor (v zameno za odvodnjavanje otežujejo namensko rabo), je potrebno da je tako njihova frekvenca, kakor tudi dimenzioniranje, izvedena racionalno in z upoštevanjem trajnega zagotavljanja namenske rabe. Pregloboki in pregosto postavljeni jarki namreč onemogočajo namensko rabo pooblaščenim uporabnikom.

Medtem ko je na krajših stranskih vlakah dopustno prečne jarke za čas izvajanja spravila le te zasuti, je to na pomembnejših vlakah, kjer vsako leto spravilo izvajajo številni lastniki gozdov (večinoma z gozdarskimi prikolicami), to nedopustno; saj bi tako pretežni del leta bilo odvodnjavanje teh vlak neustrezno. Prav tako ni pričakovati, da bi se prečne jarke zasovalo za vsak posamičen prehod mehanizacije. Tovrstni »posamični prehodi« mehanizacije pa so zelo pomembni pri zagotavljanju nadzora, nege, sanitarne sečnje posameznih dreves in reševanju ljudi oziroma premoženja.

Da lahko gozdna vlaka ostaja prevozna za upravičene uporabnike, je najmanjša dopustna razdalja med prečnimi jarki okvirno 20 m, največja dopustna globina pa 20 cm (globlji jarki morajo biti konstruirani v obliki mulde). Maksimalno gostoto prečnih jarkov (na vsakih 20 m) predlagamo na neutrjenih pobočnih vlakah s klasičnim prečnim nagibom proti notranji strani, z naslednjim vzdolžnim naklonom:

- nad 25 % na kamniti talni podlagi,
- nad 18 % na talni podlagi iz mešane hribine, ki je malo občutljiva na erozijo,
- nad 12 % na talni podlagi iz zemljine, ki je zelo občutljiva na erozijo.

Nižji vzdolžni nakloni potrebujejo nižjo gostoto prečnih jarkov. So pa z vidika zastajanja vode na pobočnih vlakah s klasičnim prečnim nagibom proti notranji strani problematični tudi odseki brez vzdolžnega naklona, v kolikor se ne nahajajo na zelo dobro propustni podlagi. Zato je prečne jarke smiselno predvideti na vseh slabše prepustnih podlagah, z notranjim prečnim nagibom.

V kolikor se bo v prihodnje omogočilo gradnjo odsekov utrjenih gozdnih poti tudi s prečnim nagibom proti zunanji strani, je potreba pri takih poteh po prečnih jarkih bistveno manjša.



Slika 4: na močno erodibilnih podlagah so lahko že nizki nakloni problematični in je na njih potrebna umestitev prečnih jarkov

3.2 Prečkanja vodotokov

3.2.1 Smernice za protierozijsko zavarovanje gozdnih cest pri prečkanju vodotokov (avtor: Klabus A.)

Pripravil Aleš Klabus leta 2003 v sklopu dopolnitev Novelacije smernic za projektiranje gozdnih cest, 2002 (urednik dr. Robert Robek); Posodobljeno leta 2024. Smernice so namenjene tako za prečkanja ravninskih, kakor tudi hudourniških vodotokov, glavni poudarek pa je dan gozdnim cestam.

S 1. UVOD

Pri projektiranju (trasiranju) gozdnih cest naletimo poleg običajnih reliefnih in geoloških težav in ovir tudi na problematična mesta, kjer je potrebno prečkati struge naravnih (živih) vodotokov. To so vodotoki, ki imajo očitno geomorfološko izoblikovano strugo (jarek), ki je lahko tudi deloma umetno preoblikovana in po kateri stalno ali občasno teče voda.

Poleg odsekov, kjer gozdne ceste potekajo vzporedno ob strugah ali prek nestabilnih, plazovitih pobočij, so prečkanja vodotokov odseki, kjer so ceste najbolj ogrožene in pogosteje poškodovane. Zato je za njihovo dolgoročno uporabnost zelo pomembno, da so vsa prečkanja projektirana in izvedena strokovno, skladno s hidravličnimi, gradbenimi in ekološkimi zahtevami ter redno vzdrževana.

S 1.1 NAMEN SMERNIC

*Te smernice so namenjene projektantom gozdnih cest za čim ustrežnejše projektiranje **enostavnejših** prečkanj (prepustov in muld) cest preko vodotokov.*

Predlagana metodologija je primerna za dimenzioniranje prečkanj preko manjših vodotokov (z zlivno površino $F_w < 5 \text{ km}^2$), z enostavnejšo hidravlično in gradbeno izvedbo, z (ali brez) manjšimi in enostavnimi spremljevalnimi objekti ter brez obsežnejšega vpliva na vodni režim vodotokov.

Projektiranje zahtevnejših prečkanj in spremljevalnih objektov, kjer so potrebni zahtevnejši hidravlični in statični izračuni ter detajli, izvajajo specializirani vodarski strokovnjaki.

S 1.2 VPLIV PREČKANJA NA VODOTOK

Postavitev prečkanja običajno bistveno poseže v razmere v vodotoku oziroma povzroči hujšo ali manjšo porušitev njegovega krhkega naravnega ravnovesja. Nastane sprememba oblike, naklona, hrapavosti in stabilnosti struge, kar vpliva na vodni režim vodotoka ter na erozijske procese na vplivnem odseku in v dolvodni smeri. Pomeni tudi določeno tveganje za kvaliteto vode ter ekosistem vodotoka. Poseg mora biti zato projektiran in izveden tako, da je negativnih vplivov čim manj oziroma da so obvladljivi.

S 1.3 NAPOTKI ZA TRASIRANJE GOZDNE CESTE

Že pri trasiranju bodočih gozdnih cest je potrebno upoštevati, da naj bo prečkanj čim manj ter da naj bodo odseki prečkanj čim krajši, s čim manj negativnimi vplivi na vodotok in okolico. Primernejše so lokacije:

- *kjer je struga obvladljivih dimenzij, ožja in položnejša;*
- *kjer sta struga in okoliški teren stabilna, brežine konsistentne (po možnosti skalne), kjer torej ni očitne erozije ali pojavov plazjenja;*

- *kjer je izvedba prečkanja v hidravličnem smislu enostavnejša: čim mirnejši tok vode, čim manjši vpliv nanj (torej čim manjša sprememba oblike struge);*
- *kot med osjo struge in osjo prometnice naj bo čim bliže 90°.*

S 1.4 POTEK PROJEKTIRANJA PREČKANJ

Na dokončni trasi gozdne ceste je potrebno določiti in obravnavati vsa prečkanja vodotokov (strug, jarkov) ne glede na njihovo velikost in vodnatost ter označenost na topografskih kartah. Vsako prečkanje posebej se projektira po naslednjem zaporedju:

- a.) določitev vodozbirnega območja vodotoka;*
- b.) preučitev lastnosti vodozbirnega območja ter razmer, ki vladajo v njem ter ocena vodnega režima vodotoka;*
- c.) določitev merodajnega pretoka visoke vode ter stopnje varovanja prečkanja oziroma gozdne ceste;*
- d.) določitev vrste prečkanja;*
- e.) projektiranje in dimenzioniranje prečkanja ter projektiranje spremljevalnih objektov;*

S 2. DOLOČANJE LASTNOSTI VODOTOKA

S 2.1 OSNOVNI POJMI

Za določitev tipa bodočega prečkanja (prepusta ali mulde) ter njegovo dimenzioniranje in projektiranje je potrebno spoznati najpomembnejše lastnosti vodotoka, ki ga gozdna cesta prečka, predvsem določiti njegov vodni režim.

Vodni režim vodotoka pomeni količinsko in kakovostno gibanje vode vodotoka (s plavinami) v času in prostoru. V celoti je odvisen od lastnosti njegovega vodozbirnega območja oziroma od razmer, ki vladajo v njem.

Vodozbirno območje vodotoka (zlivno območje, zliv, prispevna površina, povodje) je površina (dolina, grapa itd.), s katere se voda steka v vodotok. Določimo ga grafično na topografski karti s primernim merilom, tako da izrišemo razvodnico, ki ga obkroži, s pričetkom in koncem na odseku (točki) vodotoka, kjer načrtujemo prečkanje.

S 2.2 DEJAVNIKI VODOZBIRNEGA OBMOČJA

Obravnavati moramo vodozbirno območje kot celoto. Osnovni dejavniki, ki določajo njegove lastnosti ter razmere, ki vladajo v njem, so:

S 2.2.1. Topografske značilnosti

a.) Površina:

Izmerimo jo na karti z izrisanim vodozbirnim območjem. Večje vodozbirno območje običajno pomeni višje odtoke.

b.) Oblika:

Je lahko podolgovata, razvejena itd. Izrazito razvejano (pahljačasto) vodozbirno območje povzroči hitrejšo stekanje vode in s tem višje in nenadnejše odtok.

c.) Reliefne značilnosti:

Tip reliefa (visokogorski, gorski, hriboviti, gričevnati, nižinski), povprečni nagibi pobočij (zelo strmi, srednje strmi, položni), višinske razlike (zelo velike, srednje, majhne) soodvisno vplivajo na vodni režim vodotoka.

S 2.2.2 Geološka podlaga

a.) Prepustnost:

Geološka podlaga je lahko neprepustna, delno prepustna ali prepustna. Večji delež neprepustne podlage pomeni višje in hitrejšo odtok.

b.) Erodibilnost:

Je lahko bolj ali manj erodibilna (podvržena eroziji, ali pa obstojnejša). Erodibilnost določa erozijske procese in s tem vsebnost plavin oziroma prodonosnost vodotoka, kar je pomemben dejavnik vodnega režima vodotoka.

S 2.2.3 Padavinske razmere

a.) Povprečne letne padavine

b.) Razpored oz. jakost padavin:

Močni nalivi so glavni vzrok izjemno visokih voda v hudournikih, dolga in obilna deževja pa so vzrok za poplavljanje nižinskih vodotokov.

S 2.2.4 Pokrovnost (vegetacija)

Preučiti je potrebno delež posameznih tipov pokrovnosti oziroma vegetacije vodozbirnega območja. Na zmanjšanje odtokov najugodnejše vpliva gozd, sledijo grmišča, kmetijske površine, travniki, pašniki. Najbolj neugodne so slabo porasle ali gole površine nad gozdno mejo in erodirane površine.

S 2.2.5 Antropogeni vplivi

Pomemben, predvsem umirjajoč vpliv na vodni režim vodotoka imajo vodnogospodarske ureditve vodotokov (izvedeni protierozijski objekti in ukrepi). Na odtok vode pa človek vpliva tudi z urbaniziranjem krajine oziroma gradbenimi posegi (ceste, peskokopi itd).

S 2.3 OSNOVNI TIPI VODNEGA REŽIMA

V naših razmerah poznamo dva osnovna tipa vodnega režima: hudourni in nižinski. Ker je med njima vrsta prehodnih, vmesnih oblik, lahko dodamo še tretji tip: delno hudourni vodni režim.

S 2.3.1 Hudourni vodni režim (hudourniki)

Tipične lastnosti vodnih pretokov hudournikov:

- zelo velika nihanja, pogosti ekstremi;*
- kratki zamiki odtekanja po padavinah, izrazit lokalni vpliv padavin;*
- večja hitrost vode, prevladujoč turbulentni tok;*
- velika vsebnost plavin in plavja raznih dimenzij in sestave.*

Tipične značilnosti hudourniških vodozbirnih območij:

- visokogorska, gorska ali sredogorska področja (razgiban relief, strmejši nagibi, večje višinske razlike);*
- prevlada neprepustne in erodibilne geološke podlage (intenzivna površinska in hudourniška erozija);*
- veliko padavin, pogosti ekstremni nalivi;*
- (lahko) velik delež slabo poraslih ali neporaslih površin;*

Tipične značilnosti hudourniških strug:

- neenakomernost (spreminjanje širine in globine), strmi nakloni (nad 3% pa do 70% in več), naravne stopnje, kaskade;*
- malo ali nič vegetacije na brežinah;*
- bočna in globinska erozija v zaledju (sproščanje plavin), intenziven prenos plavin, odlaganje nanosov v spodnjih predelih (lahko izoblikovan hudourniški vršaj), mešani, grobi nanosi;*

Tipične poškodbe, ki jih povzročajo hudourniki:

- spodjedanje, rušenje, odnašanje brežin, poglobljanje dna;*
- sprožanje usadov;*
- odlaganje nanosov - zasipavanje struge ali prepusta.*

S 2.3.2 Deloma hudourni vodni režim (manj izraziti, delni hudourniki)

Lastnosti vodnih pretokov:

- srednje intenzivna nihanja, ekstremi pogosti, a manj izraziti;*
- nekoliko daljši zamiki odtekanja, vendar še očitni lokalni vplivi padavin;*
- manjša vsebnost plavin - manj grobih, več srednjih in drobnejših frakcij;*
- velika hitrost vode, vendar manj izrazit turbulentni tok;*

Tipične značilnosti vodozbirnih območij:

- sredogorska in hribovita zaledja (srednje razgiban relief, srednje strmi nakloni, srednje višinske razlike), spodnji del je lahko nižinski;

- večji delež neprepustne ali deloma prepustne geološke podlage, manj intenzivna erodibilnost;

- velik delež gozdnih površin;

Tipične značilnosti strug vodotokov:

- enakomernejše struge z manj strmimi nakloni ($i < 5\%$, strmejšje le v skrajnih zaledjih);

- brežine vsaj delno porasle z vegetacijo;

- bočna in globinska erozija le v skrajnih zaledjih, niže lokalna bočna erozija, srednje močan transport večinoma drobnejših frakcij plavin, prodišča na spodnjih odsekih struge;

Tipične poškodbe, ki jih povzročajo vodotoki z delnim hudournim vodnim režimom:

- v zalednih območjih srednje intenzivno odnašanje brežin in poglabljanje dna;

- v srednjem teku lokalno erodiranje in odlaganje nanosov;

- v spodnjem teku predvsem preplavljanje.

S 2.3.3 Nižinski vodni režim (nižinski vodotoki)

Lastnosti vodnih pretokov:

- razvlečena nihanja pretokov, maksimumi nastopijo po dolgotrajnejših deževjih;

- majhna vsebnost plavin (drobne in suspendirane plavine);

- počasnejši tok vode;

Tipične značilnosti vodozbirnih območij:

- gričevnata in nižinska področja (položnejši nagibi, majhne višinske razlike);

- geološka podlaga večinoma iz nanosov različne sestave, starosti in izvora;

- prevlada kmetijskih površin in gozda;

Tipične značilnosti strug nižinskih vodotokov:

- vijugave struge (meandriranje) enakomernejše oblike z majhnimi nakloni ($< 1\%$, redkeje in na krajših odsekih do 5%);

- običajno gosto porasle brežine;

Tipične poškodbe, ki jih povzročajo nižinski vodotoki:

- predvsem preplavljanje priobrežnih površin ali večjih poplavnih ravnici;

- odlaganje drobnih plavin in lesa, le lokalno bočno erodiranje.

S 2.4 OCENA VODNEGA REŽIMA VODOTOKA

S pomočjo Preglednice 4 lahko grobo ocenimo vodni režim obravnavanega vodotoka. Na podlagi določitve prevladujočega deleža posameznega faktorja (glej opise) se odločamo o njegovi stopnji. Seštevek točk nam da oceno vodnega režima vodotoka.

Korekcija glede na antropogene vplive:

Pomemben je predvsem vpliv ureditvenih oziroma protierozijskih vodnogospodarskih ukrepov, ki lahko deloma omilijo izrazit hudourni vodni režim. Pri sistematično in intenzivno urejenih hudournikih (sistemi zaplavnih in ustaljitvenih pregrad in pragov itd.) lahko odštejemo 1 do 2 točki.

Preglednica 4: ocena vodnega režima vodotoka

faktor	stopnja	točk	opis
RELIEF	gorski	3	visokogorski in gorski svet z velikimi višinskimi razlikami in zelo strmimi nagibi
	sredogorski	2	sredogorski, predgorski svet s srednjimi višinskimi razlikami ter od srednje do zelo strmimi nagibi
	gričevja, nižine	1	gričevja, gorice in nižinski svet z majhnimi višinskimi razlikami in položnimi nagibi
PREPUSTNOST GEOLOŠKE PODLAGE	neprepustno	3	prevladujoč je površinski odtok, ki se steka v jarke in struge, te pa v strugo glavnega recipienta vodozbirnega območja
	delno prepustno	2	vodozbirno območje je deloma prepustno (kraški apnenec) deloma pa neprepustno ali pa je geološka podlaga deloma prepustna
	večinoma prepustno	1	prevladujoč je prepustni (kraški) svet, le manjši delež odteče površinsko
ERODIBILNOST GEOLOŠKE PODLAGE	zelo erodibilna	3	zelo eroziji podvržena, razpadljiva geološka podlaga, pogosti usadi in plazovi
	srednje erodibilna	2	deloma eroziji podvržena, manj razpadljiva geološka podlaga, plazovitost redkejša
	obstojna	1	obstojna geološka podlaga, kjer se sprošča le malo plavin
PORASLOST Z GOZDNO VEGETACIJO	< 33 % gozda	3	malo gozda, veliko površin nad gozdno mejo ali erodiranih goličav, veliko kmetijskih in/ali urbanih površin
	33 - 66 % gozda	2	večje površine gozda, manj kmetijskih zemljišč, delno golih ali slabo poraslih površin
	> 66 % gozda	1	prevladuje gozd, delež kmetijskih in ostalih površin je majhen
POVPREČNE LETNE PADAVINE (KLIMA)	> 1800 mm	3	veliko padavin, zelo pogosto v obliki močnih nalivov
	1200 - 1800 mm	2	srednja količina padavin, pogosto v obliki močnih nalivov
	< 1200 mm	1	za slovenske razmere najmanj padavin, močni nalivi možni a redkejši
VODNI REŽIM VODOTOKA	IZRAZITO HUDOUREN	12-15	izraziti hudourniki
	DELOMA HUDOUREN	8-11	neizraziti hudourniki
	NIŽINSKI	5-7	izrazito nižinski vodotok

S 3. DOLOČANJE MERODAJNIH KOLIČIN VISOKIH VODA

S 3.1 PRIČAKOVANE VISOKE VODE

Za določitev tipa in dimenzij predvidenega prečkanja (prepusta ali mulde) moramo ugotoviti, kolikšen je odtok visokih voda iz pripadajočega vodozbirnega območja in kolikšna je verjetnost njihovega pojavljanja.

Gozdne ceste so večinoma v odmaknjenih, gozdnatih predelih, kjer so vodotoki zaledni, manjših dimenzij ter manj pomembni. Dolgoročnih meritev pretokov na takih vodotokih ni. Zato lahko odtočne količine visokih voda določamo oziroma ocenimo le z empiričnimi obrazci, ki so jih razni avtorji določili s poskusnimi meritvami.

Rezultati, ki jih dobimo z empiričnimi obrazci, so **pričakovane visoke vode** – Q_{vv} z določeno verjetnostjo pojavljanja. Večinoma (kolikor ni drugače navedeno) so to visoke vode, ki se pojavljajo z eno odstotno verjetnostjo ($n = 0,01$) oziroma teoretično enkrat na 100 let, lahko jih imenujemo **100 letne vode** - Q_{100} . Če poznamo Q_{100} , lahko za isti vodotok izračunamo pričakovane visoke vode s poljubno verjetnostjo pojavljanja – na primer 50 letne vode – Q_{50} ($x = 50$, $n = 0,02$) ali 20 letne vode – Q_{20} ($x = 20$, $n = 0,05$) itd. - po naslednjem obrazcu:

$$Q_x = Q_{100} \cdot (0,01 / n)^{0,25}$$

Zaradi izrazitih vremenskih ekstremov v zadnjem času, se določen Q_x poveča z indeksom podnebnih sprememb, ki je za Slovenijo regionalno določen in znaša od 6 do 20 % (ARSO, 2018).

S 3.2 STOPNJA VAROVANJA GOZDNE CESTE

Stopnja varovanja gozdne ceste določa, pred kolikšnimi pričakovanimi visokimi vodami jo želimo varovati na odseku bodočega prečkanja vodotoka. Prepust ali mulda mora biti dimenzioniran ter izveden v skladu s predvideno stopnjo varovanja gozdne ceste – torej tako, da prevaja pričakovane visoke vode brez škodljivih posledic ter da ga le-te ne morejo ogroziti oziroma poškodovati.

Odločitev o stopnji varovanja posamezne gozdne ceste je odvisna od več dejavnikov, katerih vplivnost moramo pretehtati:

- Pomembnost gozdne ceste:

Pomembnejšo, povezovalno gozdno cesto, ki se pogosteje uporablja in ima tudi širši javni pomen, je potrebno varovati pred stoletnimi visokimi vodami. Stransko, manj pomembno gozdno cesto je racionalneje varovati pred Q_{50} ali celo Q_{20} (relevantno zgolj za nižinske vodotoke).

- Vodni režim vodotoka:

Ta določa tip poškodb (oziroma stopnjo ogrožanja), ki jih lahko povzročijo visoke vode na objektu prečkanja in s tem na gozdni cesti. Če cesto ogroža silovit hudournik, jo je racionalneje varovati pred stoletnimi vodami. Če cesto ogroža tipični nižinski, počasi tekoč vodotok, ki jo občasno preplavi in pri tem huje ne poškoduje, lahko zadostuje stopnja varovanja pred Q_{50} ali manj.

- Vpliv na vodni režim vodotoka:

Pomembno je oceniti vpliv bodočega prečkanja na vodni režim vodotoka ter posledice poškodovanja ali zamašitve objekta prečkanja ter erozije na (morebitne) dolvodno ležeče objekte. Hujši negativni vpliv na vodni režim vodotoka zahteva višjo stopnjo varovanja.

- Drugi dejavniki:

Oceniti moramo še druge dejavnike, ki so lahko pomembni v posameznih primerih. Za prečkanja gozdnih cest preko vodotokov v zavarovanih območjih na primer velja, da morajo biti varovana pred stoletnimi vodami.

S 3.3 EMPIRIČNI OBRAZCI ZA DOLOČANJE VISOKIH VODA

V Slovenski hudourničarski in gozdarski praksi se najpogosteje uporabljajo empirični obrazci Kresnika (za vsa gričevnata, hribovita in gorska območja), ter Foersterja (za nižinska območja). V nadaljevanju pa navajamo še nekaj alternativnih metod, ki lahko služijo potrjevanju izvedenih izračunov po Kresniku ali Foersterju. Za določena hudourniška povodja obstajajo tudi natančne meritve hidroloških podatkov, ki se jih lahko uporabi namesto modelnih izračunov.

S 3.3.1 Kresnik

Obrazec Kresnika je najpogosteje uporabljan obrazec v slovenski hudourničarski praksi. Rezultat je Q_{100} na zgornji meji varnosti za vodotoke s hudournim vodnim režimom, z vodozbirnimi območji v gorskem ali hribovitem svetu, z večjim deležem neporaslih ali slabo poraslih površin ter pretežno neprepustno geološko podlago. S primerno določitvijo odtočnega koeficienta je pogojno uporaben tudi za deloma kraška (prepustna), hribovita vodozbirna območja.

Vhodni podatki:

Površina vodozbirnega območja – F_w (km^2)

Obrazec:
$$Q_{100} = \alpha * \frac{32}{0,5 + \sqrt{F_w}} * F_w \quad [m^3/s]$$



Preglednica 5: Odtočni koeficienti po Kresniku

α	Opis
0,4 – 0,5	manjši nagibi / velik delež prepustne podlage (kras) ali močvirnatih površin / velik delež gozdnatih površin
0,6	srednji do strmi nagibi / večinoma neprepustna geološka podlaga / do 75% gozda (Škofjeloško – Cerkljansko hribovje, Polhograjski Dolomiti, Zasavski hribi, Pohorje, nižja predgorja Alp s padavinami nad 1200 mm itd.)
0,7 – 0,8	pretežno strmi nagibi / velike višinske razlike / večinoma neprepustna podlaga / do 50% gozda (Karavanke, visoka predgorja Alp s padavinami nad 1500 mm itd.)
0,9 – 1,0	zelo strmi nagibi / velike višinske razlike – zelo globoke doline, grape / neprepustna podlaga / do 25% gozda (alpski, visokogorski svet s padavinami nad 1800 mm)

S 3.3.3 Foerster

Obrazec je v Sloveniji uporaben kot Q_{100} za nižinska, gozdnata, in gričevnata vodozbirna območja. Primeren je tudi za sušna območja ter za bolj prepusten (kraški) svet.

Vhodni podatki:

Površina vodozbirnega območja – F_w [km^2]

Specifični odtok – q [$m^3/s/km^2$]

Preglednica 6: Specifični odtok q po Foersterju

F_w	specifični odtok – q
< 1 km^2	5,0 - 3,0 $m^3/s/km^2$
1 - 10 km^2	3,0 - 1,5 $m^3/s/km^2$
10 - 40 km^2	1,5 - 1,0 $m^3/s/km^2$

Obrazec: $Q_{100} = q * F_w$ [m^3/s]

Odtok visokih voda, ki smo ga izvedli po Kresniku ali Foersterju, je mogoče validirati tudi z drugimi metodami. Nekaj jih predstavljamo v nadaljevanju, relevantne pa so tudi metode po Ilijevu, Pintarju in Knaufu.

S 3.3.4 Specifični odtok v odvisnosti od dolžine glavne doline vodozbirnega območja (avtor nepoznan)

V Sloveniji je obrazec uporaben kot Q_{100} za nižinska in gričevnata vodozbirna območja z majhnimi nagibi, ki so vsaj 50% porasla z gozdom.

Vhodni podatki:

Dolžina glavne doline vodozbirnega območja – L_w [km]

Površina vodozbirnega območja - F_w [km²]

Preglednica 7: Maksimalni specifični odtok q_{max} (m³/s/km²)

L_w	q_{max} – gričevje	q_{max} - ravnine
< 1 km	3,3	2,0
1 - 2 km	2,9	1,7
2 - 4 km	2,2	1,5
4 - 8 km	1,5	1,0
8 - 12 km	1,2	0,8

Obrazec: $Q_{max} = q_{max} * F_w$ [m³/s]

S 3.3.5 Melli

V Sloveniji je obrazec uporaben kot Q_{100} za vsa območja, vendar ob pravilni izbiri odtočnih koeficientov in z izračunom njihove splošne srednje vrednosti (ne aritmetične) za razne tipe konfiguracije in poraslosti terena.

Vhodni podatki:

Površina vodozbirnega območja – F_w [km²]

Koeficient odtoka – φ Preglednica 8: Odtočni koeficient φ po Melliju

Višinski položaj zlivnega območja	tla, poraslost	nagib terena		
		mali	srednji	velik
nad gozdo mejo	neprepustni pašniki, goličave, skalnat svet	0,4	0,6	0,8
gozdno področje	pašniki z grmičevjem in redkim drevjem	0,3	0,5	0,7
	gozd po vsem območju	0,2	0,4	0,6
nižje lege	nižji gozd, travniki, njive	0,1	0,3	0,5
	srednje star gozd	0,1	0,2	0,4
	star gozd	0,05	0,15	0,3

Obrazec:
$$Q_{100} = Fw * \varphi * \frac{18,41}{\sqrt[3]{Fw}} \quad [m^3/s]$$

S 4. VRSTE PREČKANJ IN SMERNICE ZA PROJEKTIRANJE

Prečkanja gozdnih prometnic preko strug vodotokov se tradicionalno najpogosteje izvaja s **prepusti**, ki so lahko okrogli (cevni), ploščati (škatlasti), redkeje tudi drugih oblik (obokani, ovalni). V zadnjem času, pa so vse pogosteje priporočana in izbrana prečkanja v obliki **mulde**, kar je utrjen prehod ceste preko struge.

S 4.1 MULDE

Mulde so utrjeni prehodi ceste preko struge brez premostitve. V strugi teče voda stalno ali pa le občasno.

Primernost:

Prečkanja z muldo so najbolj primerna za izrazito hudournne vodotoke, ki nosijo obilo plavin, vendar so večino časa suhi (ali z le malo vode). V času neurij hudournnik izbruhne, takrat je cesta začasno neprevozna. Voda večinoma nosi plavine preko mulde, le občasno je potrebno čiščenje zastalih plavin. Izvedba prepusta bi bila v takih primerih neracionalna, saj bi bil poseg prevelik, prepust pa preveč ogrožen zaradi plavin.

Mulde so primerne tudi za prečkanje izrazito nižinskih vodotokov s počasi tekočo vodo brez plavin, kjer je struga širša, vodni tok pa plitek. Prevoznost je mogoča večino časa, razen v primeru visokih voda, ko postane voda pregloboka. V nekaterih primerih (skalno ali stabilno prodnato dno primerne oblike) poseg v strugo sploh ni potreben.

Smernice za projektiranje:

- os mulde naj bo po možnosti bolj pravokotno na os ceste (s tem je mulda čim krajša);
- izbrati moramo stabilen odsek struge, kjer je dovolj prostora za položen prehod ceste;
- padec nivelete mulde (hidravlični padec) mora biti primerno nizek (2 do 5 %), saj mora prečni nagib ceste še omogočati varno prevoznost;
- pri muldah prek strmih hudournih strug je običajno nujen ustalitveni (zaključni) prag s stopnjo na spodnjem robu, z zavarovanim podslapjem;
- pri muldah preko počasnih nižinskih vodotokov običajno zadostuje utrditev (tlakovanje) mulde.

Tipi izvedbe:

Mulda preko strmega hudournika: položno oblikovana mulda z zaključnim pragom (iz kamna v betonu, betona, lesenih ali armiranobetonskih kašt), z zavarovanim dnom struge (kamen v betonu, beton), v nekaterih primerih lahko tudi z nezavarovanim dnom. Na vtoku so lahko vtočni prag ali vtočna krila

Mulda preko nižinske struge: utrjena mulda preko struge (z betonom ali kamnom v betonu) z enakim naklonom nivelete kot naravna struga.

S 4.2 OKROGLI (CEVNI) PREPUSTI

Prepusti z okroglim pretočnim profilom so zgrajeni iz tipskih betonskih (najpogosteje in najprimerneje), plastičnih ali jeklenih cevi. Betonske cevi so lahko še dodatno obbetonirane.

Primernost:

Cevni prepusti so primerni za prečkanja manjših vodotokov ($Q_{vv} < 7 \text{ m}^3/\text{s}$) z nižinskim ali deloma hudournim vodnim režimom, brez plavin ali z malo plavinami predvsem drobnejših frakcij. Minimalni dopusten premer cevi je 50 cm, največji še racionalni premer pa je v večini primerov 150 cm.

Smernice za projektiranje:

- os prepusta naj bo čim bolj pravokotno na os ceste ter v smeri naravnega toka oziroma osi struge;
- padec nivelete skozi prepust naj bo po možnosti med 0,5 do 3,0 % (izjemoma do 6%) in po možnosti nekoliko manjši kot v naravni strugi nad in pod prepustom (zaradi možnosti obrušenja dna cevne prepusta s plavinami);
- razlika med širinama struge in prepusta (cevi) naj bo čim manjša;
- vtok oziroma prehod iz naravne struge v cev mora biti izveden s postopno zožitvijo (lijakasto) s čim manj ostrimi robovi in lomi;
- iztok naj bo po možnosti s stopnjo oziroma nepotopljen (brez vpliva spodnje vode);
- višina nasipa nad cevjo (do nivelete ceste) naj bo vsaj 0,50m, bolj obremenjene prepuste naj se dodatno obbetonira;

Tipi izvedbe:

Cevni prepusti so lahko gradbeno zelo enostavni, zato pa običajno hidravlično bolj neugodni (kar pomeni, da je bolj ovirana prevodnost oz. pretočnost) in bolj ogroženi. Gradbeno zahtevnejši prepusti so hidravlično ugodnejši in jih manj ogrožajo erodiranje oziroma poškodbe zaradi visoke vode in plavin.

Enostavna (hidravlično manj ugodna) izvedba: cev prepusta položena skozi nasip ceste, brez vtočnega in iztočnega zidu, z minimalnim zavarovanjem struge na iztoku in vtoku (običajno s kamnito zložbo v suho)

Zahtevnejša (hidravlično ugodnejša) izvedba: cev (lahko obbetonirana) položena skozi nasip ceste, z zaključnimi zidovi (lahko ravne ali ločne izvedbe, iz betona, kamna v betonu, lesenih kašt itd.), z zavarovano (lijakasto oblikovano) strugo pred vtokom ter pod iztokom (s kamnito zložbo), iztok po možnosti s stopnjo

4.3 PLOŠČATI (ŠKATLASTI) PREPUSTI

Ploščati (škatlasti) prepusti so lahko pravokotnega, trapeznega ali kombiniranega prereza. Običajno so izvedeni iz opornikov in premostitve, lahko pa so zgrajeni iz montažnih betonskih (pravokotnih) elementov ali kot armiranobetonska škatla. Oporniki so lahko betonski, iz kamna v betonu, kamna, lesa ali lesenih kašt. Premostitev je lahko armiranobetonska, lesena ali s traverzami in lesnim prekritjem.

Primernost:

Ploščati prepusti so primerni za prečkanja večjih vodotokov vseh vodnih režimov ter manjših z deloma hudournim ali izrazito hudournim vodnim režimom, ki nosijo veliko plavin. Obvezno je projektiranje rezervne višine (glej poglavje 5.4).

Smernice za projektiranje:

- os prepusta (struge) naj bo čim bolj pravokotno na os ceste ter v smeri naravnega toka oziroma osi struge;*
- oblika in dimenzije struge skozi prepust naj bodo čim bolj podobne obliki in dimenzijam naravne struge pred in pod prepustom – pomembna sta predvsem širina in nagib brežin;*
- padec nivelete skozi prepust naj bo nekoliko večji ali enak padcu nivelete naravne struge (zaradi možnosti zastajanja plavin);*
- vtok naj bo oblikovan s čim manj ostrimi robovi in lomi, zožitev naj bo čim bolj postopna (lijakasta);*
- iztok naj bo po možnosti nepotopljen, prehod nivelete zvezen oziroma s stopnjo;*

Tipi izvedbe:

Izvedba je lahko hidravlično in gradbeno zelo enostavna ali pa zahtevnejša, od česar je odvisna tudi ogroženost - velja enako kot pri cevni prepustih.

Enostavna (hidravlično manj ugodna) izvedba: prepust izveden le z oporniki (iz kamna v betonu, betona, lesenih kašt itd.) in premostitvijo (jeklene traverze, lesene mostnice itd.), brez vtočnih in iztočnih kril, z minimalnim zavarovanjem struge na iztoku in vtoku (s kamnito zložbo), z nezavarovanim (naravnim) dnom struge med oporniki

Zahtevnejša (hidravlično ugodnejša) izvedba: prepust izveden z oporniki in premostitvijo (oporniki in premostitev iz armiranega betona (kot AB okvir) ali oporniki iz kamna v betonu z različnimi izvedbami premostitve), s krili na vtoku in iztoku (iz istega materiala kot oporniki), z zavarovanjem brežin struge pred vtokom in pod iztokom ter dna struge med oporniki (s kamnito zložbo ali kamnom v betonu)

S 5.0 DIMENZIONIRANJE PREČKANJ

S 5.1 SPLOŠNO

Za ugotavljanje potrebnih dimenzij pretočne odprtine prepusta ali mulde moramo ugotoviti oziroma oceniti, kakšna bo hitrost vode skozi. Za enostavno računanje hitrosti vode na poljubnem odseku struge oziroma pretočnega profila lahko uporabimo Manningov obrazec za povprečno profilno hitrost vodnega toka s prosto gladino:

$$V = K \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \text{ [m/s]}$$

K = Stricklerjev koeficient hrapavosti (Manningov koeficient $n_g=1/K$) – glej Preglednici 9 in 11

R = hidravlični radij = F/U

F = površina pretočnega prereza [m^2]

U = omočeni obod pretočnega prereza [m]

I = vzdolžni naklon nivelete skozi prepust (razmerje med višinsko razliko in razdaljo)

Manningov obrazec je prirejen za nižinske vodotoke s stabilnimi gladkimi strugami, z enakomernim prerezom in majhnim nagibom ($I < 0,01$). Naravne struge hudournikov pa so neenakomerne, hrapave, polne nanosov in strmejše, zato je vodni tok turbulenten in ozračen. Za realnejše in enostavno ocenjevanje hitrosti toka vode v naravnih, strmejših vodotokih si zato v praksi pomagamo s koeficienti redukcije in izgub.

$$V' = V \cdot C_1 \cdot C_2 \dots C_n \text{ [m/s]}$$

V' - reducirana povprečna profilna hitrost vode [m/s]

$C_1, C_2 \dots C_n$ - koeficienti redukcije in izgub

Pretok vode Q skozi določeni pretočni profil izračunamo po obrazcu:

$$Q = V' \cdot F \text{ [m}^3\text{/s]}$$

Pri dimenzioniranju pretočnih odprtih enostavnih prepustov predpostavljamo, da gre za prepust z nepotopljenim iztokom (torej na njegovo pretočnost ne vpliva spodnja voda), z bolj ali manj neoviranim vodnim tokom s prosto gladino.

S 5.2 DIMENZIONIRANJE OKROGLIH (CEVNIH) PREPUSTOV

Cev prepusta mora prevajati najmanj pričakovane visoke vode Q_{vv} , ki smo jih določili za obravnavani odsek struge, pri tem pa upoštevamo, da je maksimalna zapolnjenost višine cevi 75%. Hitrost po

Manningu korigiramo s koeficientom lokalnih izgub C_1 ter izračunamo pretok Q . Končni premer cevnega prepusta določimo s poizkušanjem, tako da ga povečujemo, dokler ne dosežemo relacije $Q > Q_{vv}$. Spreminjamo lahko tudi naklon nivelete, pri čemer moramo upoštevati smernice za ustrezno izvedbo cevnih prepustov (glej poglavje št. 4.1).

$$Q = F_C \cdot R_C^{2/3} \cdot I^{1/2} \cdot K \cdot C_1 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$F_C = 0.6318 \cdot D \text{ [m}^2\text{]}$$

$$R_C = 0,301 \cdot D$$

F_C - površina pretočnega prereza 75% zapolnjene cevi [m²]

R_C - hidravlični radij 75% zapolnjene cevi

D – premer cevi [m]

Q_{vv} – pričakovane visoke vode [m³/s]

C_1 – koeficient lokalnih izgub – glej Preglednico 10

Preglednica 9: Stricklerjev koeficient hrapavosti za cevi

material cevi	K
jeklena cev - gladka	80
plastična cev - gladka	80 - 100
plastična cev - rebrasta	40 - 55
betonska cev - gladek beton	80 - 90
betonska cev – nezglajen beton	55 - 70

Lokalne izgube (koeficient C_1) so posledica geometrije prepusta in povzročajo zmanjšanje njegove pretočnosti. Nastajajo zaradi hitrega zoženja struge in ostrosti robov na vtoku v prepust (kontrakcija), razlik v naklonih nivelete, dolžine prepusta in nepravilnosti v njem, hitre razširitve struge na iztoku itd. Za naše potrebe koeficient lokalnih izgub C_1 grobo ocenimo na podlagi tipa izvedbe prepusta, ki ga načrtujemo.

Preglednica 10: Lokalne izgube C₁ v prepustih

tip in izvedba prepusta	C ₁
ploščati prepust – hidravlično ugodna izvedba	0,95 - 0,90
ploščati prepust – hidravlično neugodna izvedba	0,80 - 0,70
cevni prepust – hidravlično ugodna izvedba	0,90 - 0,80
cevni prepust – hidravlično neugodna izvedba	0,70 – 0,50

Podobno kot okrogle prepuste dimenzioniramo tudi ovalne in obokane, pri čemer moramo izračunati površino in omočeni obod njihovega pretočnega profila. Upoštevati moramo, da je zapolnjenost največ 75% višine.

S 5.3 DIMENZIONIRANJE PLOŠČATIH (ŠKATLASTIH) PREPUSTOV

Pretočna odprtina ploščatega prepusta mora prevajati najmanj pričakovane visoke vode Q_{vv} , ki smo jih določili za obravnavani odsek struge. Hitrost po Manningu reduciramo s koeficientom lokalnih izgub C_1 (preglednica 10) ter izračunamo pretok Q . Končni prerez odprtine prepusta določimo s poizkušanjem, tako da mu povečujemo višino h (do neke mere lahko tudi širino b), dokler ne dosežemo relacije $Q > Q_{vv}$. Spreminjamo lahko tudi naklon nivelete. Končno določeni višini prepusta pa moramo dodati še minimalno rezervno višino – hR (glej poglavje 5.4).

$$Q = F \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \cdot K \cdot C_1 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

Za pravokotni prerez prepusta:

$$R_P = (b \cdot h) / (b + 2 \cdot h)$$

$$F_P = b \cdot h \text{ [m}^2\text{]}$$

Za trapezni prerez prepusta:

$$R_T = ((b + t) \cdot h/2) / (b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1+n^2})$$

$$F_T = b \cdot h + h^2 \cdot n \text{ [m}^2\text{]}$$

b – širina prepusta na dnu [m]

t – širina prepusta na vrhu trapeznega prereza

h – višina prepusta do višine visoke vode [m]

n – nagib stranic trapeza (1 : n)

Preglednica 11: Stricklerjev koeficient hrapavosti za ploščate prepuste

material prepusta	K
betonski oporniki, prodnato dno	40 – 45
oporniki iz kamna v betonu, prodnato dno	35 – 40
betonski oporniki, dno iz kamnite zložbe	45 – 50
Betonski oporniki, dno iz kamna v betonu	50
betonski oporniki in dno	55
brežine in dno iz kamnite zložbe	35
brežine iz kamnite zložbe, prodnato dno	25 – 30

S 5.4 REZERVNA (VARNOSTNA) VIŠINA - h_R :

Do sedaj opisano dimenzioniranje prepustov upošteva le pretok vode. V naravnih vodotokih pa visoke vode v večini primerov nosijo s sabo tudi plavine.

Visoke vode nižinskih vodotokov nosijo drobnejše frakcije plavin ter plavajoče plavine manjših dimenzij. Predvsem zaradi slednjih je pri vseh vrstah prepustov obvezna rezervna višina – h_R . Pri cevnih prepustih običajno zadostuje 25% višine, ki jo upošteva izračun v poglavju 5.2. Pri ploščatih prepustih je obvezna rezervna višina vsaj 0,50 m.

Visoke hudournne vode plavijo velik delež bolj grobih in mešanih predvsem rinjenih plavin ter veliko lesenega plavja različnih izvorov. To problematiko moramo reševati predvsem s projektiranjem in izvedbo zaplavnihih pragov ali pregrad pred prepustom (glej poglavje št. 6.2). Prav tako pa je obvezna tudi dodatna rezervna višina (h_R), ki je pri ploščatih prepustih vsaj 0.80 m. Za prečkanje hudournikov z veliko plavinami so cevni prepusti večinoma neprimerni, oz. nujno potrebujejo primerne spremljevalne objekte (poglavje 6).

S 5.5 KONČNI NAPOTEK ZA DIMENZIONIRANJE PREPUSTOV

Pri projektiranju prepustov nam mora biti z dimenzioniranjem določena pretočna odprtina z dodano rezervno višino, predvsem mera od katere velikost pretočne odprtine prepusta **ne sme biti manjša!** Dolgoročno pa je veliko bolj racionalno, da prepust nekoliko naddimenzioniramo, kolikor to omogočajo terenske razmere, seveda v razumnih mejah.

S 5.6 DIMENZIONIRANJE MULD

Utrjeni del mulde mora prevajati najmanj pričakovane visoke vode Q_{vv} , ki smo jih določili za obravnavani odsek struge.

$$Q = F_M \cdot R_M^{2/3} \cdot I^{1/2} \cdot K \cdot [m^3/s]$$

F_M – površina pretočnega prereza mulde [m^2]

R_M – hidravlični radij mulde

Pretočno površino F_M in hidravlični radij R_M mulde izračunamo glede na obliko mulde, ki je običajno polkrožna ali raztegnjen trapez. $R_M = F_M / U_M$ (U_M je omočeni obod mulde).

Kolikor je na vtoku in / ali zaključku mulde prag s stopnjo, je dimenzioniranje zahtevnejše in ga v sklopu teh smernic ne obravnavamo.

S 6. SPREMLJEVALNI UKREPI IN OBJEKTI

Spremljevalni ukrepi so razni dodatni ukrepi, ki jih izvedemo pred in po gradnji prečkanja na obravnavanem odseku struge in priobrežnih površinah:

- Čiščenje pretočnega profila struge – z odstranitvijo plavin iz struge povečamo njeno pretočno zmogljivost;
- Selektivni posek pregoste obrežne vegetacije – tudi s tem ukrepom izboljšamo pretočnost struge;
- Izravnava, humuziranje (po potrebi) in zatravitev brežin in pri gradnji prizadetih površin – s tem ukrepom zaščitimo brežine in površine pred površinsko erozijo;
- Zasaditev grmovja in drevja - s tem ukrepom zaščitimo brežine pred površinsko erozijo, jih dodatno vežemo oz. stabiliziramo ter izboljšamo ekološke razmere v strugi in okolici;

Spremljevalni objekti prečkanj so enostavni vodnogospodarski ali protierozijski objekti (pragovi, zavarovanja itd.) na odsekih struge gorvodno in dolvodno od prepusta ali mulde. Potrebni so predvsem pri prečkanjih preko vodotokov z deloma ali izrazito hudournim vodnim režimom. Lahko so priporočljivi ali pa nujni, odvisno od terenskih in erozijskih razmer, hudournosti vodnega režima vodotoka ter stopnje varovanja gozdne ceste. Brez ustreznih spremljevalnih objektov so lahko nekatera prečkanja preveč ogrožena pred erodiranjem ali zasipavanjem s plavinami ter zato nefunkcionalna.

S 6.1 REZERVNI PRELIV

Rezervni preliv je spremljevalni objekt prepustov, ki omogoča kontrolirano in neškodljivo prelivanje visoke vode preko ceste (enostavnejša mulda) oziroma preko ali mimo prepusta. Projektiramo jih za primer zamašitve prepusta s plavinami (pri hudournih vodotokih) ali pa za prelivanje višjih voda od merodajnih visokih voda (predvsem pri nižinskih vodotokih). Izvedbe so lahko različne, pomembno je, da voda pri prelivanju ne ogroža (erodira) gozdne ceste, prepusta ter bližnjih površin in objektov.

S 6.2 USTALITVENI PRAG

Ustalitveni prag običajno projektiramo v strugi nekaj metrov dolvodno od ploščatega prepusta. Prag preprečuje poglobljanje struge in s tem spodkopavanje opornikov prepusta. Prag ima lahko stopnjo (v strmejših strugah) ali pa je le talni (v nivoju dna struge). Gradimo ga iz kamnite zložbe, kamna v betonu ali lesenih oblic in pilotov. Preliv praga mora biti podobnih dimenzij kot struga, njegovo podslapje pa zavarovano.

S 6.3 ZAPLAVNI PRAG (PREGRADA)

Zaplavni prag (pregrada) je namenjen zaustavitvi plavin v strugi gorvodno od prepusta. Običajno so nujni pri prepustih (cevnih in ploščatih) preko izrazito prodonosnih hudournikov, kjer bi plavine prehitro in pogosto zatrpavale prepust, kar bi povzročilo hude poškodbe gozdne ceste. Projektiramo jih v ugodnih - ožjih in po možnosti skalnih - prerezih struge, za katerimi pa je čim večji zaplavni prostor (ki ga je mogoče redno prazniti) ter ne preveč daleč od prepusta

S 6.4 ZAVAROVANJA BREŽIN IN DNA

Obrežna zavarovanja so priporočljiva ali nujna na erozijsko ogroženih odsekih brežin struge gorvodno ali dolvodno od prečkanja, nastalih zaradi spremenjenih razmer v strugi. Pogosteje so potrebna v strmejših in hudournih strugah, kjer lahko bočno erodiranje ogrozi prečkanje. V nekaterih primerih je nujno tudi zavarovanje dna struge (drča, kineta), s čimer je preprečeno globinsko erodiranje in spodkopavanje. Zavarovanja so običajno iz kamnite zložbe v suho ali v betonu, lahko pa tudi iz lesenih kašt ali oblic s piloti. Zavarovana struga mora biti podobnih dimenzij in oblike kot naravna struga.

S 6.5 ZAVAROVANJE PODSLAPJA

Podslapje je del struge dolvodno od objekta s stopnjo, kamor pada voda preko preliva objekta kot manjši slap. Ker je tak odsek struge močno ogrožen pred erodiranjem, je nujno njegovo zavarovanje (dna in brežin). Zavarovanje ni potrebno le, če je struga pod objektom skalnata in s tem odporna pred erodiranjem.

Zavarovanje podslapja je torej obvezno pri vseh iztokih prepustov s stopnjo, pri zaključnih pragovih muld ter vseh spremljevalnih ustalitenih in zaplavnih pragovih in pregradah. Zavarovano podslapje preprečuje spodkopavanje objekta ter ga obravnavamo kot njegov sestavni del. Običajno ga izvedemo iz kamnite zložbe v suho ali v betonu. Minimalno dolžino podslapja izračunamo po formuli:

$$L = V * \sqrt{\frac{2*(H1+H2)}{g}} + 1 \quad [m]$$

L – dolžina podslapja, merjena od roba preliva [m]

H_1 – višina visoke vode na prelivu praga (ali izpustu cevnega prepusta) [m]

H_2 – stopnja objekta [m]

g – gravitacijski pospešek 9,81 m/s²

V – hitrost vode na prelivu [m/s]

S 7. IZBRANI VIRI

Brilly M., Osnove hidrologije, Ljubljana 1992

Brus J., Grafikoni za določanje velikih voda in numerične tabele za določanje odtočnih koeficientov ter povprečnih letnih specif. pretokov po empiričnih obrazcih nekaterih poznanih tujih avtorjev, Ljubljana 1981

French R.H., Open Channel Hydraulics, 1986

Gavrilović S., Inženjering o bujičnim tokovima i eroziji, Beograd, 1972

Jevtić Lj., Inženjerski priručnik za rešavanje problema iz oblasti bujičnih tokova, Beograd 1978

Odvodnjavanje cest – detajli, DDC, Ljubljana 1997

Pabst W., Die Berechnung der Bachdurchlässe nach der Theorie der Grenztiefe, ?

Pogubna razigranost – 110 let organiziranega hudourničarstva na Slovenskem 1884-1994, Ljubljana 1995

Standardi za vodnogospodarska dela, Hidrogea Maribor 1990

Steinman F., Hidravlika, Ljubljana 1992

Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja. ARSO, Ljubljana 2018



Slika 5: enostaven lovilni element nad cevnim prepustom gozdne ceste, namenjen prestrezanju plavja

3.2.2 Poenostavljeno dimenzioniranje prečkanj manjših vodotokov na gozdnih vlakah

Upoštevajoč usmeritve iz smernic (Klabus – 3.3.1), smo izdelali lastni predlog poenostavljene metodologije dimenzioniranja cevnih prepustov in muld na gozdnih vlakah.

Nepravilno dimenzioniranje cevnih prepustov in mostov lahko privede do zelo kompleksnih poškodb ceste. Pri nepravilno dimenzioniranih muldah so posledice nekoliko blažje. Običajno so hidravlični izračuni obvezna priloga novogradenj gozdnih prometnic povsod, kjer so predvideni premostitveni objekti. Teh pa običajno ne izdelujejo predstavniki ZGS, ampak zunanji izvajalci, njihova cena pa lahko pri cenejših gozdnih vlakah preseže 20 % vrednosti gradbenih del. Na pridobitev poročila je potrebno čakati tudi več mesecev, kar predvsem pri izvedbi sanacijske sečnje pogosto ni sprejemljivo.

Pravilnik o gozdnih prometnicah (2009) v izjemnih primerih predvideva tudi poenostavljen načrt za nujno izgradnjo gozdne ceste, kadar je gozd poškodovan zaradi naravne ujme, požara, kalamitet ali epifitocij do te mere, da je zanj potrebno izdelati sanacijski načrt, pravilna razdalja pa je nad 800 m. Podobne analogije pa pri gozdnih vlakah še ni. Ob nujni izgradnji gozdne ceste je potrebno v roku enega leta po izgradnji izvesti ustrezno odvodnjavanje. Tak pristop pogosto še dodatno poveča stroške, kot če bi bili objekti pravilno dimenzionirani že v začetku.

Zaradi vsega naštetega predlagamo poenostavljeno oceno odtoka iz vodozbirnih območij, manjših od okvirno 50 ha, ki bi lahko poenostavila, pospešila in pocenila postopek pridobivanja potrebnih soglasij pri umeščanju novih gozdnih vlak (izjemoma tudi pri nujni gradnji cest) v prostor. Od snovalca vlake bi namreč zadostovalo, da bi ta določil površino vodozbirnega območja in sledil tipskemu predlogu prečkanja iz nadaljevanja. Površina vodozbirnega območja je namreč najlažje določljiva veličina hidravličnih izračunov, v kolikor ni prisotnosti večjih izvirov, ki se napajajo izven vodozbirnega območja površinskih voda. Na slednje moramo biti pozorni predvsem pri različni matični podlagi znotraj vodozbirnega območja. Določitev površine vodozbirnega območja lahko določi že avtor elaborata vlake, ta pa je preverljiva tudi s strani ostalih soglasodajalcev.



Slika 6: Večji cevni prepust na gozdni cesti

Določanje odtoka s hudourniškega prispevnega območja

Upoštevajoč metodologijo predstavljeno v 3.3.1 poglavja 3.2.1 smo po Kresnikovi metodi določili odtok z vodozbirnega območja. Izbrali smo odtočni koeficient 0,6, ki je osnovni koeficient, za katerega je bila izdelana Kresnikova formula in velja za pretežni del hudourniških območij: »srednje do strme nagibe na večinoma neprepustni podlagi z do 75 % pokrovnostjo gozda«. Dobljen odtok smo povečali za 10 % zaradi indeksa podnebnih sprememb.

$$Q_{100} = 0,6 * (32 / (0,5 + \sqrt{Fw})) * Fw * 1,1$$

Izračunani odtoki 100 letnih voda in njihovi specifični odtoki so prikazani v preglednici.

Specifični odtok (q) = odtok (Q) / prispevna površina (Fw)

Preglednica 12: Modelni odtoki visokih (100-letnih) voda in specifični odtoki z vodozbirnih območij, upoštevajoč odtočni koeficient po Kresniku 0,6 in 10 % pribitek za podnebne spremembe.

Površina prispevnega območja (ha)	Odtok Q_{100} (m ³ /s)	Specifični odtok q_{100} (m ³ /s/ha)
1	0,35	0,35
2	0,66	0,33
3	0,94	0,31
4	1,21	0,30
5	1,46	0,29
6	1,70	0,28
7	1,93	0,28
8	2,16	0,27
9	2,38	0,26
10	2,59	0,26
12	2,99	0,25
14	3,38	0,24
16	3,75	0,23
18	4,11	0,23
20	4,46	0,22
25	5,28	0,21
30	6,05	0,20
35	6,77	0,19
40	7,46	0,19
45	8,12	0,18
50	8,75	0,17

Cevni prepusti

Cevni prepusti so elementi gozdnih prometnic, ki služijo tako kot premostitve manjših jarkov in strug, kakor tudi samemu odvodnjavanju gozdnih prometnic (slednje je relevantno predvsem na gozdnih cestah).

Pravilnik o gozdnih prometnicah (2009) predvideva minimalni premer betonskega cevnega prepusta za odvodnjavanje meteorne vode na novogradnjah gozdnih cest notranjega premera vsaj 50 cm (pogojno 40 cm v primeru dvoslojnih polipropilenskih ali jeklenih cevi z gladko notranjo površino). Uporaba cevni prepustov na gozdnih vlakah je manj pogosta, vendar menimo, da tam ni smiselno vgrajevati manjših cevni prepustov saj se na vlakah izvaja manj vzdrževanja, prav tako cevni prepusti najpogosteje niso tako dobro utrjeni v samo telo vlake. Zato menimo, da morajo biti smernice za dimenzioniranje prepustov enake tako na cestah, kakor vlakah.

Za cevne prepuste smo izdelali preglednico, ki omogoča enostavno dimenzioniranje cevni prepustov, le v odvisnosti od velikosti vodozbirnega območja in velja ob upoštevanju predstavljenih omejitev. Pretočno zmogljivost prepustov smo izračunali upoštevajoč metodologijo predstavljeno v S 5.2 poglavja 3.2.1. Za standardne vhodne podatke smo izbrali:

- K (Stricklerjev koeficient hrapavosti) = beton K = 75
- I (hidravlični padec) = 5%
- 75% višina zapolnjenosti
- C₁ (koeficient lokalnih izgub) = 0,6 (hidravlično neugodna izvedba)

$$Q = F_c \cdot v \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$v = R_c^{2/3} \cdot I^{1/2} \cdot K \cdot C_1 \text{ (m/s)}$$

$$F_c \text{ (površina pretočnega prereza 75% zapolnjene cevi)} = 0.6318 \cdot D$$

$$R_c \text{ (hidravlični radij 75% zapolnjene cevi)} = 0,301 \cdot D$$

D – premer cevi (m)

*Preglednica 13: Dopustna površina vodozbirnih območij glede na premer cevnih prepustov. Vrednosti v preglednici se lahko uporabljajo za: pretežno gozdnata hudourniška območja, betonski cevni prepusti vgrajeni s hidravličnim padcem 5%. * Vsi zapisani premeri cevnih prepustov niso dobavljivi.*

Premer cevnega prepusta* (cm)	Pretok 75 % zapolnjene višine cevi (m ³ /s)	Dopustna površina vodozbirnega območja (ha)
50	0,90	Do 2,5
60	1,22	4
70	1,58	5
80	1,97	7
90	2,40	9
100	2,86	11
110	3,35	13
120	3,88	16
130	4,43	19
140	5,01	23
150	5,62	27

Model se lahko pogojno uporablja tudi za dimenzioniranje dvojnih cevnih prepustov, vendar so take rešitve dopustne predvsem v primerih, ko imamo težave z globino vgradnje. Dvojni cevni prepusti so namreč problematični z vidika manjše možnosti sprejema plavja, prav tako pa imajo tudi neugodnejšo hidravlično izvedbo.

Ker so bile za predlagan model uporabljene večinoma zgornje vrednosti razponov, vsebujejo predlagane rešitve za nekatere primere dobršno nadmero, za druge pa realno stanje. Odstopanja od predlaganega modela navzdol bi bila tako mogoča zgolj ob priložitvi hidravlične študije. Tako bi se načrtovalci in investitorji lahko odločali, ali bi uporabili predlagane vrednosti in tako privarčevali na času in denarju, v skrajnih primerih pa bi tako plačali nekoliko več za izgradnjo »nadmerskih« objektov, kar bi bilo zagotovo koristno z vidika nadstandardne erozijske odpornosti. Npr. dodatna cena vgradnje cevne prepusta fi 60, namesto fi 50 cm, načeloma podraži vgradnjo za manj kot 100 € (Saražin, 2023b). Tako da za ceno enega hidravličnega poročila, ki stane več 100 €, se lahko izdelata kar nekaj nadmerskih cevni prepustov. Lahko pa bi doplačali hidravlično študijo in s tem pridobili natančne podatke, ki veljajo izključno za obravnavano vodozbirno območje in predlagane premostitvene objekte.

Hidravlični izračuni bi vsekakor ostali nujni za vodozbirna območja večja od 50 ha, gorska in negozdnata območja ter območja s prisotnostjo večjih izvirov, ki zagotavljajo vodo iz območja zunaj vodozbirnega območja površinskih voda.

Mulde



Slika 7: Mulda na gozdni vlaki

Alternativna možnost cevnim prepustom je mulda. Mulda je utrjen krajši odsek gozdne prometnice konkavne oblike, namenjen neoviranemu pretoku vode (načeloma hudournika).

Glavna prednost mulde v primerjavi s cevnim prepustom na gozdni prometnici je, da pri muldi ne pride do zamašitve s plavinami in naplavinami, zato tudi bistveno težje pride do poškodb cestnega telesa. Pomanjkljivost mulde pa je, da povzroči lom nivelete prometnice in s tem oteži vožnjo namenskim vozilom. Sicer pa je tudi muldo možno poddimenzionirati in v takih primerih lahko hudourniška erozija močno poškoduje prometnico dolvodno. Priporočilo za izvedbo mulde na gozdni cesti je betonirana površina na dolžini 10 m. Maksimalni vhodni in izhodni naklon je 10 %, priporočljiv hidravlični padec pa od 2 % do 3 % (Pičman, 2007).

Na gozdnih vlakah so mulde pogosto poddimenzionirane in niso betonirane, zato je smiselno predvideti minimalne dimenzije muld, ki bodo kos predvidenim odtokom iz pripadajočega vodozbirnega območja po analogiji cevnih prepustov. Za mulde ki nimajo utrjenega vozišča, pa je pomembno, da se primerno utrdi prag pod muldo.

Dodatna pomanjkljivost netlakovanih muld je pogosta zablatenost vozišča. Zato je pod muldo možno izdelati dodaten manjši cevni prepust, ki pa služi predvsem ohranjanju suhega vozišča v obdobju nizkih pretokov, ali lajša gradnjo same mulde. Bistvo je, da je mulda nad cevnim prepustom sposobna prevzeti celoten odtok iz vodozbirnega območja, saj se poddimenzionirani cevni prepusti hitreje zamašijo z naplavinami in plavjem ter ob nastanku visokovodnih dogodkov ne opravljajo več svoje naloge.

Za mulde je težje predvideti standardno dimenzioniranje, saj so možne številne izvedbe, tako glede materialov, kakor tudi oblik, zato naslednja preglednica (v kolikor se načrtovalec ne drži predvidene oblike) služi predvsem grobem določanju dimenzij glede na površino pretočnega prereza mulde. Širina dna mulde je najbolje, da sovпада s širino naravne struge. Pretočno zmožnost muld smo izračunali upoštevajoč metodologijo za ploščate trapezne prepuste predstavljeno v S 5.3 poglavja 3.2.1. Za standardne vhodne podatke smo izbrali:

- K (Stricklerjev koeficient hrapavosti) =30 (zemlja, pesek, prod)
- I (hidravlični padec) = 3%
- vhod in izhod 2x 2,5m dolžine x 0,5m globine (naklon 20%) (skupaj 5 m dolžine)

- širina dna (ravnega dela trapeza) 1; 2; 3; 4; in 5m (skupna dolžina 6; 7; 8; 9; in 10 m)
- C1 (koeficient lokalnih izgub) = 0,9 (hidravlično ugodna izvedba)

$$V = K \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \text{ [m/s]}$$

$$R = \text{hidravlični radij} = F/U$$

$$F = \text{površina pretočnega prereza [m}^2\text{]}$$

$$U = \text{omočeni obod pretočnega prereza [m]}$$

Preglednica 14: Dopustna površina vodozbirnih območij glede na površino pretočnega prereza in dolžino mulde. Vrednosti v preglednici se lahko uporabljajo za: pretežno gozdnata hudourniška območja in za predlagano obliko mulde.

Površina pretočnega prereza mulde (m ²)	Dolžina mulde (m)	Maksimalni pretok mulde (m ³ /s)	Dopustna površina vodozbirnega območja (ha)
1,75	6	3,56	14
2,25	7	4,89	22
2,75	8	6,26	31
3,25	9	7,65	41
3,75	10	9,06	52



Slika 8: utrjena mulda na gozdni vlaki

3.3 Izdelava, vzdrževanje in sanacija odprtih brežin

S terminom »odprte brežine« so mišljene brežine, ki niso »zaprte« s podpornimi ali opornimi objekti. Erozijska s časom spreminja obliko odprtih brežin. Odkopne brežine se lahko delno posipajo, kar zoži načrtovano širino vozišča. Pri močnejši ploskovni eroziji brežin, ali celo usadih, pa je potrebno te sanirati z zemeljskimi deli. Do naravne stabilizacije in ozelenitve bo prišlo prej, če se vrh odkopne brežine nekoliko zaobli. Za dodatno stabilizacijo odprtih brežin pa je možen tudi zelo pester nabor biotehničnih in tehničnih ukrepov. Hrovat (2002) našteva naslednje:

- žive ščetke
- popleti
- mreže (kovinske, ali iz naravnih vlaken) za površinsko vezanje zemljine
- zatravitvena dela
- pogozdovalna dela

V izjemnih primerih je možno izvesti tudi drenažo dela pobočja

Pri nepodprtih nasipnih brežinah največje erozijsko tveganje predstavljajo izteki iz cevni prepustov, kateri ukrepi so že bili opisani v poglavju 3.2.1; in bočna erozija vodotokov ki potekajo vzporedno s prometnico. Bočno erozijo vodotokov z namenom zaščite nasipnih brežin se lahko najbolj uspešno rešuje z naborom podpornih elementov.

3.4 Podporni elementi (kamnometi, kašte, zidovi, gabioni)

Podporni in oporni elementi služijo za utrditev nasipnih brežin, izjemoma tudi odkopnih. Ker so tovrstni ukrepi relativno dragi, so primerni zgolj za erozijsko najbolj izpostavljene odseke, kjer ni mogoče zagotoviti stabilnih naravnih naklonov brežin in kjer se srečujemo s tekočo vodo.

Taki elementi so: kamnometi in kamnite zložbe v suhem ali v betonu, kašte, zidovi, gabioni in drugi,... Tem elementom je detajlno namenjeno poročilo 3.3 (Katalog tehničnih rešitev, ki zagotavljajo varstvo pred erozijo v gozdu).



Slika 9: Podporni in oporni elementi so detajlneje predstavljeni v naslednjem projektne poročilu (3.3)

Na tem mestu bomo samo prikazali krajši film o leseni kašti, ki smo ga posneli v sklopu tega projekta:
https://www.youtube.com/watch?v=btj_nt4FHUw

3.5 Skladiščni prostori

Neustrezno skladiščeni sečni ostanki in gozdni lesni sortimenti lahko ob visokovodnem dogodku postanejo nevarno leseno plavje, ki še poslabšajo škodni vpliv hudournih voda. Skladišča in izogibališča na gozdnih prometnicah se umešča v prostor ob naravnih izravnavah, kjer je potrebnih najmanj zemeljskih del in jih pogosto na gozdnih prometnicah primanjkuje. Z gradbenega vidika se tovrstne izravnave pogosto nahajajo prav na stiku s hudourniki, kar pa je najmanj ugodno z vidika hudournega varstva.

V poročilu 3.1.2 (Smernice in ukrepi za zmanjšanje nevarnosti lesenega plavja v hudourniških območjih) tega projekta, smo določili 10 m območje od roba struge, oz. širše v primeru obstoja nemih prič, kot območje z vplivom visokih voda, znotraj katerega smo predlagali: prepoved, oz. omejitev puščanja sečnih ostankov po zaključeni sečnji in prepoved, oz. omejitev skladiščenja gozdnih lesnih sortimentov.

Zaradi naštetega je nujno, da se v prihodnje v izogne umeščanju novih skladišč v območje visokih voda. Umestitev novega skladišča bližje kot 10 m (ali prisotnih nemih prič) naj bo mogoča izključno ob priloženi hidrološki študiji, ki potrjuje, da se skladišče (po izvedenih gradbenih ukrepih) nahaja zunaj območja 100-letnih voda.

Zahvala

Na tej točki bi se avtor rad zahvalil Alešu Klabusu, univ.dipl.inž.gozd. iz podjetja HSE Invest d.o.o., ki je ob tej priložnosti posodobil smernice iz leta 2003 in soglašal z njihovo prvo javno objavo.

Zahvala gre tudi mag. Jožetu Papežu iz podjetja Hidrotehnik d.o.o., dr. Robertu Robeku iz podjetja SiDG d.o.o., doc. dr. Milanu Kobalu iz Biotehniške fakultete, več predstavnikom Zavoda za gozdove Slovenije in vodji projekta dr. Urši Vilhar, ki so s konstruktivnimi debatami in pripombami pripomogli h končni podobi dokumenta.

4 Viri

- Copstead R. L., Johansen D. K., Moll J. 1998. Water/Road Interaction: Introduction to Surface Cross Drains. Report 9877 1806—SDTDC. San Dimas, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service
<https://www.fs.usda.gov/biology/nsaec/assets/crossdrains.pdf>
- CROSSRISK, 2021. <https://crossrisk.eu/en/climate?period=100y>
- Dobre A. 1995. Gozdne prometnice. BF, Ljubljana
- Hrovat A. Smernica 305 – Biotehnična ustalitev in protierozijska zaščita cestnih brežin. v Robek (2002)
- SKP. 2023. Razpis za ureditev protipožarne infrastrukture <https://skp.si/javni-razpisi/18-mio-evrov-za-nalozbe-v-ureditev-protipozarne-infrastrukture>
- SKP. 2024. Razpis za ureditev gozdne infrastrukture <https://skp.si/javni-razpisi/aktualni-javni-razpisi/nalozbe-gozdne-infrastrukture-2024>
- Mikoš M. 2009. Osnove hudourništva - Varstvo pred hudourniki in zemeljskimi plazovi - draft. FGG
- Pičman D. 2007. Šumske prometnice. ŠF, Zagreb
- Pravilnik o gozdnih prometnicah. 2009. Ur. l. 4/09.
<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV9225>
- Pooblaščen inženirji pri IZS. 2024. <https://www.izs.si/imenik/pooblasцени-inzenirji/>
- Potočnik I. 2009. Gozdne prometnice: študijsko gradivo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire
- Robek R. (ur.) 2002. Novelacija smernic za projektiranje gozdnih cest. GIS
- Saražin J. 2023a. Ali so minule hudourniške poplave prinesle tudi kaj dobrega?
<https://wcm.gozdis.si/sl/infogozd/strokovni-prispevki/clanki/2023091408455449/ali-so-minule-hudourniske-poplave-prinesle-tudi-kaj-dobrega/>
- Saražin J. 2023b. Katalog stroškov – gozdne prometnice. JGS GIS
- Saražin J., Ogrin G., Mihelič J., Pristovnik D. 2025. Priročnik za podporo lastniku ob investiciji v omrežje gozdnih prometnic. TehGozd, Gozdarski inštitut Slovenije
<https://dirros.openscience.si/lzpisGradiva.php?id=23318>
- Saražin J. in Pristovnik D. 2024. Kako lastništvo gozdnih zemljišč vpliva na investicije v gozdne prometnice in gospodarjenje z gozdom?
<https://wcm.gozdis.si/sl/novice/2024011613143691/1/kako-lastnistvo-gozdnih-zemljisc-vpliva-na-investicije-v-gozdne-prometnice-in-gospodarjenje-z-gozdom/>
- Saražin J., Vilhar U., Marinšek M. 2023. Terenski ogledi stanja ožjih hudourniških območij in gozdne infrastrukture po katastrofalnih hudourniških poplavah julija in avgusta 2023. CRP-hudourniki, Gozdarski inštitut Slovenije
https://www.gozdis.si/f/docs/projekti/Porocilo-3.1_Teren-Poplave.pdf
- Thompson B. 2006. The Rational Method. Civil Engineering Department of Texas Tech University. 7 str.
- Uredba o razvrščanju objektov. 2022. Ur. l. 96/2022
- Zakon o gozdovih. 1993 in spremembe. <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=ZAKO270>



GOZDARSKI INŠTITUT SLOVENIJE

SLOVENIAN FORESTRY INSTITUTE

Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana

Ostala poročila projekta »Strokovna izhodišča ter smernice za gospodarjenje z gozdovi na hudourniških območjih« so dosegljiva na spletni strani projekta:

<https://www.gozdis.si/aktivni-projekti/strokovna-izhodisca-ter-smernice-za-gospodarjenje-z-gozdovi-na-hudourniskih-obmocjih-crp-v4-2212/>

in na DIRROS <http://dirros.openscience.si/>

Citirani projektni poročili:

- Poročilo projekta 3.3 - Saražin in sod. 2025. Katalog tehničnih rešitev, ki zagotavljajo varstvo pred erozijo v gozdu. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije – v izdaji
- Poročilo projekta 3.1.2 - Dovečar M. in Saražin J. 2025. Smernice in ukrepi za zmanjšanje nevarnosti lesnega plavja v hudourniških območjih. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije