

Hidrotehničke građevine za oborinsku odvodnju prometnica

Marinović, Gabrijela

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:394812>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-19**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET

GABRIJELA MARINOVIĆ

**HIDROTEHNIČKE GRAĐEVINE ZA OBORINSKU
ODVODNJU PROMETNICA**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET

**HIDROTEHNIČKE GRAĐEVINE ZA OBORINSKU
ODVODNJU PROMETNICA**

ZAVRŠNI RAD

Student: Gabrijela Marinović

Mentor: prof. dr. sc. Eva Ocvirk

Komentor:

Zagreb, 2024.



TEMA ZAVRŠNOG ISPITA

Ime i prezime studenta:

JMBAG:

Završni ispit iz predmeta:

Naslov teme završnog ispita:	HR	Hidrotehničke građevine za oborinsku odvodnju prometnica
	ENG	Hydraulic Structures for Drainage of Transportation Facilities

Opis teme završnog ispita:

Zadatak završnog rada je opisati hidrotehničke građevine za oborinsku odvodnju prometnica, prikazati potrebne podloge te na primjeru prikazati osnove proračuna.

Sadržaj rada:

1. Uvod
2. HG za podzemnu odvodnju
3. HG za površinsku odvodnju
4. Podloge za projektiranje
5. Primjer
5. Zaključak

Datum:

Komentor:

(Ime i prezime komentora)

Mentor:

(Ime i prezime mentora)

(Potpis mentora)

PRINT

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Hidrotehničke građevine za podzemnu odvodnju prometnica.....	2
2.1. Drenaže.....	6
2.1.1. Drenažna cijev i ispuna	9
2.1.2. Projektiranje i izrada drenaža	11
2.2. Propusti.....	12
3. Hidrotehničke građevine za površinsku odvodnju prometnica.....	17
3.1. Odvodni jarci	19
3.1.1. Trapezni jarci.....	21
3.1.2. Segmentni jarci.....	21
3.1.3. Trokutasti jarci	22
3.1.4. Zaštitni jarci.....	22
3.2. Rigoli	23
4. Podloge za projektiranje hidrotehničkih građevina za odvodnju prometnica.....	25
4.1. Potrebe – društvo	25
4.2. Priroda	26
4.2.1. Voda	26
4.2.2. Zemljište.....	27
4.3. Geotehničke podloge hidrotehničkih građevina	29
4.4. Zrak.....	30
4.5. Ostale podloge vezane za prirodu.....	30
4.5.1. Umjetna priroda.....	31

5. Primjer odvodnje na autocesti A5	32
5.1. Opis elemenata odvodnje.....	33
5.1.1. PEHD okna.....	36
5.1.2. Armirano – betonska okna	36
6. Zaključak.....	39
7. Literatura.....	40
7.1. Popis izvora	40
7.2. Popis slika.....	42
7.3. Popis tablica.....	43

Sažetak

Hidrotehničke građevine za oborinsku odvodnju prometnica predstavljaju ključnu infrastrukturnu komponentu dizajniranu kako bi učinkovito upravljala oborinskom vodom koja se skuplja na cestama i prometnicama. Ovaj rad prikazuje osnovne aspekte ovih građevina, uključujući njihovu svrhu, vrste i ključne komponente za oborinsku odvodnju. Svrha hidrotehničkih građevina za oborinsku odvodnju prometnica je minimiziranje potencijalnih šteta koje oborinska voda može uzrokovati na prometnicama i okolišu. Oborinska voda koja se ne kontrolira može izazvati poplave, eroziju tla, oštećenja ceste i zagađenje okoliša. Stoga je njihova osnovna svrha sprječavanje tih problema. Postoje različite vrste hidrotehničkih građevina, a odabir ovisi o specifičnim potrebama i uvjetima mjesta.

Ključne riječi: hidrotehničke građevine; oborinska odvodnja; prometnice; slivnici; odvodni kanal

Abstract

Hydrotechnical structures for road storm drainage are a key infrastructure component designed to effectively manage storm water that collects on roads and thoroughfares. This paper presents the basic aspects of these structures, including their purpose, types and key stormwater drainage components. The purpose of hydrotechnical structures for road storm drainage is to minimize the potential damage that storm water can cause on roads and the environment. Uncontrolled stormwater can cause flooding, soil erosion, road damage and environmental pollution. Therefore, their main purpose is to prevent these problems. There are different types of hydraulic structures, and the choice depends on the specific needs and conditions of the site.

Keywords: hydrotechnical buildings; Rainfall drainage; roads; drains; drainage channels



1. Uvod

Suvremeni prometni sustavi nam omogućuju učinkovitu i brzu povezanost gradova i regija te su kao takvi neizostavan dio našeg svakodnevnog života. Međutim, kako se prometna mreža intenzivira i širi, postaje sve važnijim razmišljati o očuvanju infrastrukture i njezinoj prilagodbi izazovima koje donosi. Jedan od ključnih izazova u održavanju cestovne infrastrukture je suočavanje s oborinskim vodama koje padaju na okolni teren i površinu ceste. Ključno je upravljanje ovim oborinskim vodama vezano za očuvanje cestovne infrastrukture, prometne sigurnosti i zaštitu okoliša, a to je područje koje se bavi hidrotehničkim građevinama za površinsku odvodnju prometnica.

Hidrotehničke građevine za površinsku odvodnju prometnica predstavljaju složen sustav koji ima za cilj kontrolirati, usmjeriti te odvesti oborinske vode s površine ceste na siguran način. Ovaj sustav uključuje različite komponente poput drenažnih kanala, kolektorskih sistema, propusta i drugih elemenata, koji zajedno omogućuju efikasno upravljanje vodama.

Da bismo uspješno riješili probleme vezane uz odvodnju, nužno je provesti različita mjerenja i istraživanja kako bismo pronašli najbolja rješenja te odabrali prave korake u planiranju i izvođenju projekata. U procesu planiranja, projektanti imaju ključnu ulogu, a njihove odluke trebaju se temeljiti na načelima racionalnosti i standardizacije.

2. Hidrotehničke građevine za podzemnu odvodnju prometnica

Cestovni promet predstavlja najvažniji i najrazvijeniji oblik kopnenog prometa, omogućujući prijevoz najvećeg broja robe te putnika. Pojam "prometnice" obuhvaća sve ceste, ulice i puteve kroz koje se odvija promet. Osnovna struktura prometnica uključuje kolnik, rubni trak, bankinu, bermu, biciklističku stazu i nogostup [1]. Prilikom planiranja i projektiranja prometnica, izuzetno je važno uzeti u obzir hidrogeološka svojstva podzemlja, geološku strukturu terena i način pojavljivanja vode zbog toga kako bi se osigurala visoka kvaliteta izvedbe infrastrukture [2].

Brza evakuacija vode s kolnika ima ključnu ulogu u očuvanju sigurnosti svih sudionika u prometu. Stoga odvodnja ima značajnu odgovornost u održavanju stabilnosti ceste i njezinih konstrukcija. Pravilnim odabirom materijala i geometrijskih parametara pri izradi vozne plohe, postiže se ubrzanje odvodnje, što pozitivno utječe na povećanje sigurnosti u prometu. Voda može imati štetan utjecaj na prometnice na različite načine, bilo kao oborinska voda, infiltrirajuća voda ili podzemna voda. Stoga je važno usmjeriti napore prema kontroliranoj i učinkovitoj odvodnji kako bi se minimizirao negativan utjecaj vode na cestovne konstrukcije i osigurala sigurnost prometa. Ukupno gledano, pravilno planiranje i implementacija sustava odvodnje ključni su čimbenici za očuvanje prometnica i sigurnosti sudionika u prometu, a to se postiže temeljitim razumijevanjem terena i vodnih karakteristika kako bi se napravili optimalni građevinski zahvati [3].

Neki od načina na koje voda može utjecati na prometnice:

- **Poplave:** Otapanje snijega te konstantne kiše mogu uzrokovati poplave na prometnicama, što može dovesti do zatvaranja cesta i otežati promet. Poplave također mogu oštetiti mostove i prometnice.
- **Erozija tla:** Intenzivne i velike padaline mogu uzrokovati eroziju tla duž prometnica, što može rezultirati oštećenjem prometnice i stvaranjem udarnih rupa.
- **Klizišta:** Voda može potaknuti klizišta na padinama i brdskim područjima, što može ozbiljno ugroziti prometnice i sigurnost vozača.
- **Poledica:** Zaleđene prometnice i kolnici pokriveni snijegom mogu biti opasni za vozače. Led i snijeg zahtijevaju posebne mjere održavanja i čišćenja kako bi se osigurala sigurnost prometa.

- Korozija: Voda može uzrokovati koroziju infrastrukture na prometnicama, uključujući metalne elemente i mostove, što može dovesti do oštećenja i smanjenja vijeka trajanja objekata.
- Povećana potreba za održavanjem: Intenzivne padaline i voda mogu brže trošiti površinske slojeve asfalta i prometnice, zahtijevajući češće održavanje i popravke.
- Smanjen protok prometa: Vodene prepreke, kao što su klizišta i poplave, mogu zatvoriti prometnice i usporiti ili onemogućiti promet.

Podzemne vode predstavljaju izazov kada je riječ o stabilnosti usjeka i nasipa na cestama ili o pojavljivanju strujnih tlakova, a kako će se te vode ponašati ovisi o vrsti materijala na kojima se prometnica nalazi. Da bi se ovo rješavalo na optimalan način, projektira se sustav odvodnje i drenaže s ciljem da se podzemne i površinske vode uklone s donjeg dijela prometnice na najkraći mogući način, pri čemu se osigurava da ne predstavljaju prijetnju za sigurnost prometa [4].

Inženjeri i prometni stručnjaci razvijaju različite mjere kako bi se smanjio negativan utjecaj vode na prometnice, a neke od mjera su bolja drenaža, redovito održavanje konstrukcija mostova i nasipa koji su otporni na poplave, kao i mjere za smanjenje erozije tla. Prate se vremenski uvjeti i provode hitne mjere kako bi se održala sigurnost prometa.

Potrebno je osigurati odgovarajuće mjere za odvodnju na cestama kako bi se osiguralo zadovoljavajuće djelovanje kolnika. Glavne funkcije sustava odvodnje cesta su [5]:

- sprječavanje stvaranja bara na površini ceste i plavljenja ceste,
- zaštita nosivosti podloge i kolnika,
- izbjegavanje erozije bočnih padina.

Prije nego što se pristupi izgradnji sustava odvodnje, nužna su razna ispitivanja i mjerenja kako bi se osigurala njegova učinkovitost. Hidrološka mjerenja i istraživanja igraju ključnu ulogu u ovom procesu, a dobro razumijevanje hidraulike i hidrologije je ključno za postizanje optimalnih rješenja. Iznos koji je potrebno uložiti u uređaje za odvodnju te mjere koje su potrebne kako bi se spriječilo štetno djelovanje vode može činiti značajan dio ukupnog proračuna za građevinske radove. Ta cijena može doseći čak i do 30% ukupnih troškova projekta. Ova investicija je opravdana jer pravilno planiranje i implementacija sustava odvodnje igraju ključnu ulogu u očuvanju stabilnosti i dugotrajnosti građevinskih objekata. Za projektiranje odvodnje za veće građevine i prometnice, važno je poznavati hidrometeorološke podatke. To uključuje informacije o intenzitetu, visini, trajanju i učestalosti oborina,

temperaturnim oscilacijama, trajanju i dubini prodora mraza te sličnim faktorima. Ovi podaci omogućuju precizno planiranje i dimenzioniranje sustava odvodnje kako bi se odgovarajuće nosili s vodenim izazovima koji se mogu pojaviti tijekom vremenskih promjena i sezonskih varijacija [6].

S obzirom na činjenicu da dionice prometnica koje zahtijevaju posebne uvjete za odvodnju obično zahtijevaju veće investicije, pristup optimizaciji postaje nužan jer se mogu postići značajne uštede kako u relativnom, tako i u apsolutnom iznosu. Istodobno, treba posvetiti najveću pažnju efikasnosti sustava zaštite, kako u skladu s postojećim zakonima i propisima, tako i s primjenom najmodernijih ekoloških rješenja iz prakse Europske unije i šireg svijeta. Optimizacija igra ključnu ulogu jer omogućuje bolje iskorištavanje resursa i financija. Na dionicama cesta s posebnim odvodnjnim zahtjevima, postoji potencijal za ostvarivanje znatnih ušteda, bilo u relativnom smislu, gdje se troškovi smanjuju u odnosu na planirani budžet, ili u apsolutnom smislu, gdje se ukupni troškovi smanjuju, što je ključno za održavanje financijske održivosti projekta. S druge strane, fokusiranje na učinkovitost sustava zaštite također je od iznimne važnosti. To podrazumijeva poštivanje postojećih zakona i propisa koji reguliraju odvodnju i zaštitu okoliša. Nadalje, primjena najnovijih ekoloških iskustava iz Europe i svijeta pomaže u osiguravanju da infrastrukturni projekti budu ekološki prihvatljivi i održivi [7].

Odvodnja viška vode sa zemljišta predstavlja skup tehničkih mjera usmjerenih na kontrolirano uklanjanje vode s površine tla i iz podzemlja te njen preusmjerenje u glavni prijamnik za prihvata voda. Ova odvodnja ima ključnu ulogu u optimizaciji poljoprivrednih površina kako bi se osigurala sigurna i visokoproduktivna proizvodnja hrane. Ovaj proces obično prolazi kroz tri faze. Prva faza obuhvaća sustav zaštite od vanjskih voda, čime se osigurava obrana od poplava. Ova faza uključuje uređenje prirodnih vodotoka kako bi se prihvatile veće količine vode, izgradnju nasipa, retencija (zadržavanje vode), akumulacija i obodnih kanala. Cilj je minimizirati rizik od poplava na poljoprivrednim površinama. Druga faza, koja je odvodnja, usmjerenija je na rješavanje problema viška vode. Ovdje se izgrađuju sustavi za uklanjanje viška vode s poljoprivrednih površina. Izbor odgovarajućeg sustava ovisi o specifičnim karakteristikama tla, hidrološkim uvjetima, topografiji i ciljevima poljoprivredne proizvodnje. Cilj je postići povoljan zračno-vodni režim u tlu koji omogućava visoku i stabilnu poljoprivrednu proizvodnju. Treća faza, natapanje, odnosi se na dodavanje vode na poljoprivredne površine prema potrebi. Nakon što je osigurana zaštita od vanjskih voda i riješen

problem viška vode, ovom fazom se dopunjuju potrebni resursi kako bi se potaknula optimalna poljoprivredna proizvodnja [8].

Ovisno o vodi koju treba preusmjeriti tj. odvesti, postoje dva načina odvodnje:

- skupljanje i odvođenje površinskih voda, te
- skupljanje i odvođenje podzemnih voda [1].

Prema Vidačku (1998.), postoje tri kategorije sustava odvodnje na poljoprivrednim površinama u zemlji:

- Potpuno sagrađeni sustavi odvodnje: Ovi sustavi su potpuno izgrađeni i u funkciji do kraja 80-ih godina. Pokrivaju ukupno 600 054 hektara površina, što čini otprilike 33% svih površina tla kojima je potrebna odvodnja.
- Djelomično sagrađeni sustavi odvodnje: Ove površine zahtijevaju rekonstrukciju postojećih sustava odvodnje ili dodatne mjere kako bi se poboljšala njihova funkcionalnost. Ova kategorija obuhvaća 29% površina ili 518 830 hektara tla kojima je potrebna odvodnja.
- Površine bez izgrađenih sustava odvodnje: Na 37,5% poljoprivrednih površina u zemlji uopće nisu izgrađeni sustavi odvodnje. To znači da na tim površinama trenutno nema uspostavljenih mjera za upravljanje vodom.

U tablici je prikazana izgrađenost sustava podzemne odvodnje po slivnim područjima [9].

Vodna područja	Melioracijske površine		Izgrađeni sustavi		Potreba izgradnje novih sustava	
	ha	%	ha	%	ha	%
Sava	517 060	63,0	97 753	18,9	419 308	81,1
Drava i Dunav	281 860	34,4	58 871	20,9	222 989	79,1
Istra i Primorje	11 850	1,4	2 618	22,1	9 233	77,9
Dalmacija	9 500	1,2	2 290	24,1	7 210	75,9
Ukupno	820 350	100	161 530	19,7	658 820	80,3

Tablica 1 Izgrađenost sustava površinske odvodnje [9]

Odvodnja podzemne vode koja je prodrla u tijelo prometnice ili se nalazi izvan nje ima iznimnu važnost iz nekoliko razloga. Primarno, njezina svrha je sprječavanje negativnog utjecaja podzemnih voda na tijelo prometnice. Osim toga, također ima zadatak smanjenja razine podzemnih voda te poboljšanja stabilnosti građevine donjeg ustroja, posebice kako bi se spriječila pojava klizišta [1].

Za provođenje odvodnje podzemnih voda koriste se specijalizirani uređaji. Ovi uređaji prihvaćaju različite vrste podzemnih voda, uključujući drenažne, temeljne i slojevne vode. Ključna komponenta ovih uređaja je drenažni materijal koji se koristi kao filter. Drenažni materijal ima sposobnost propuštanja vode bez stvaranja mulja u drenažnim cijevima i bez dopuštanja prolaska većih čestica [4].

2.1. Drenaže

Podzemna odvodnja može se izvoditi putem dvaju sustava: otvorenih kanala ili sustava podzemnih cijevi, poznatih kao drenaža. Izbor između tih dvaju sustava ovisi o specifičnim karakteristikama tla i potrebama za reguliranjem razine podzemne vode. Otvoreni kanali su rijetko korišteni kao sustav odvodnje, posebno zato što ih treba postavljati na relativno malom razmaku od manje od 50 metara kako bi bili učinkoviti. Izuzetak su situacije u vrlo propusnim tlima, gdje se razmaci između kanala mogu povećati na 100 do 150 metara, što može biti dovoljno za reguliranje razine podzemne vode. Međutim, u suvremenim praksama, za regulaciju podzemnih voda uglavnom se koristi sustav cijevne drenaže. Ovaj sustav koristi različite vrste cijevi kako bi prihvatio i odveo podzemnu vodu na odgovarajuće mjesto. Drenažni sustavi mogu imati različite konfiguracije i mogu biti postavljeni uzdužno-paralelno s osi usjeka, koso, poprečno ili u drugim konfiguracijama prema potrebama specifičnog područja [10].

Kod prihvata i odvodnje podzemne vode koriste se različite vrste drenažnih sustava. To uključuje drenaže koje su uzdužno-paralelne s osi usjeka, kose drenaže, poprečne drenaže te različite drenažne sustave. Ovi sustavi se obično polažu ispod rigola u usjeku ili dna jarka te ili ispod zelenog pojasa na autocestama. Kako bi se postigla učinkovita odvodnja, koriste se plitke drenaže različitih materijala i konstrukcija. Projektiranje drenažnih sustava ima za cilj osigurati stabilnost donjeg ustroja građevine i efikasno uklanjanje podzemnih voda. Drenaže igraju ključnu ulogu u odvodnjavanju vode koja može utjecati na stabilnost građevinskih objekata. Osim toga, drenaže su važne i za odvodnjavanje ispune iza stupova mostova, obložnih ili

potpornih stupova mostova, obložnih ili potpornih zidova, galerija i drugih građevina. Pravilan položaj, dubina i duljina drenažnih sustava odrede se na temelju prethodnih terenskih istraživanja i laboratorijskih ispitivanja tla [6]. Također je bitno postavljanje drenaže na odgovarajućoj dubini, pri čemu je važno osigurati da dno drenaže bude niže od maksimalne dubine smrzavanja tla. Ovo je ključno kako bi drenaža ostala funkcionalna tijekom cijele godine, čak i u uvjetima niskih temperatura [3].

Drenažni sustavi koriste se za različite svrhe, a podijeljeni su prema različitim kriterijima:

1. Za spuštanje razine podzemne vode koriste se različite tehnike i sustavi, uključujući [4]:

- Drenažni krovovi: Postavljeni na površinu kako bi prikupili i odvodili površinsku vodu.
- Horizontalni bušeni drenovi: Drenažni sustavi koji se izvode horizontalno kako bi odvodili podzemnu vodu.
- Elektropneumatski drenovi: Koriste elektronske ili pneumatske metode za kontrolirano odvođenje vode.
- Sifonski drenovi: Koriste se za prijenos vode preko prepreke, poput brda ili prepreke na terenu.

2. Za sanaciju klizišta koriste se drenažni usustavi kako bi se kontroliralo klizanje tla i odvodila višak vode [4].

3. Za prikupljanje viška vode koriste se [4]:

- Drenažni pokopi: Materijali koji apsorbiraju vodu i sprečavaju stvaranje lokvi ili erozije.
- Vertikalne dubinske drenaže: Drenažni sustavi koji idu duboko u tlo kako bi sakupili višak vode.

4. Prema položaju na osi prometnice drenaže se mogu podijeliti na [4]:

- Uzdužne drenaže: Postavljeni uzduž osi prometnice kako bi odvodili vodu s površine ceste.
- Poprečne drenaže: Postavljeni poprečno na os prometnice za odvođenje vode s ceste na bočne površine.

5. Prema načinu djelovanja drenaže se mogu podijeliti na [4]:

- Pojedinačne drenaže: Samostalni sustavi za odvodnju vode.
- Vezane u zajednički sustav: Drenažni sustavi koji su međusobno povezani kako bi se odvodila voda s više mjesta prema istom cilju.

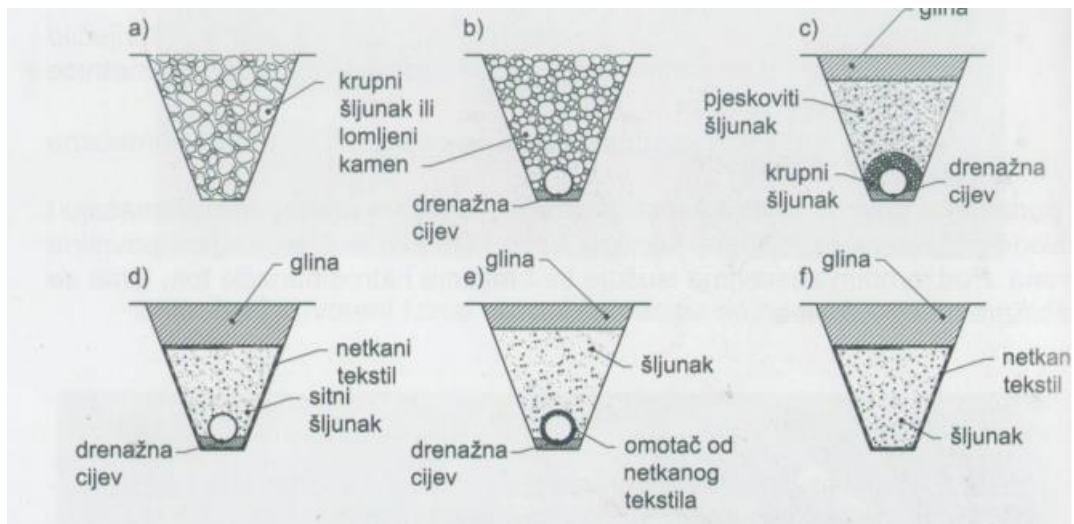
6. Ovisno o namjeni drenaže se mogu podijeliti na [4]:

- Otvorene drenaže: Drenažni sustavi koji su vidljivi na površini, poput kanala ili jaraka.
- Zatvorene drenaže: Drenažni sustavi koji su skriveni ispod površine, često se koriste za podzemno odvođenje vode.

Projektiranje drenažnih sustava je ključno kako bi se osigurala stabilnost građevine i/ili terena te postigla učinkovita odvodnja podzemnih voda. Položaj, duljina i dubina drenažnih sustava određuju se na temelju detaljnih terenskih istraživanja i laboratorijskih ispitivanja tla. Važan faktor za ispravno funkcioniranje drenažnog sustava je ispunjavanje drenažnih rovova ili cijevi. U prošlosti su se drenažni rovovi ispunjavali krupnim kamenom, a taj pristup postupno evoluirao s uvođenjem drenažnih cijevi. Drenažne cijevi se obično postavljaju na glinenu ili betonsku podlogu, dok okolno tlo često sadrži pjeskoviti šljunak. U suvremenim praksama, umjesto tradicionalnog filtarskog sloja, često se koriste geotekstili. Geotekstili su materijali koji se koriste za filtriranje vode i sprječavanje začepljenja drenažnih sustava. Oni omogućuju propuštanje vode, ali sprječavaju ulazak čestica koje bi mogle začepiti cijevi ili drenažne rovove. Sustav drenaže uz primjenu geotekstila sastoji se od [4]:

- zrnatog materijala,
- omotača od geotekstila,
- drenažne cijevi.

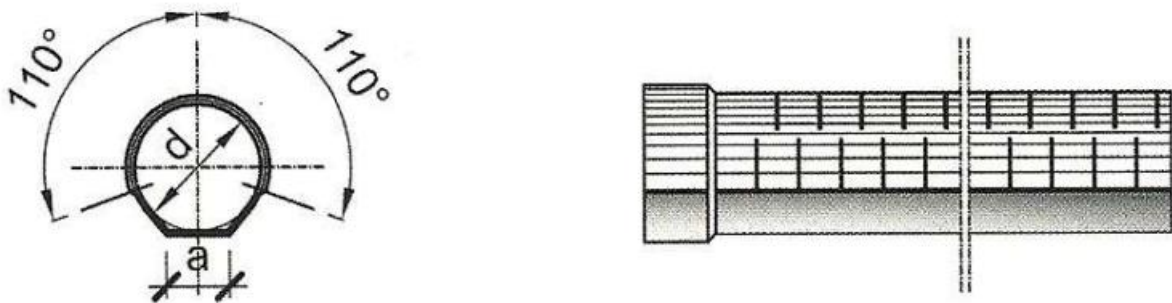
U ovom sustavu, geotekstil ima ključnu ulogu filtriranja vode kako bi se spriječilo ulazak sitnih čestica tla u drenažni sustav. Ovaj pristup omogućio je drenažu bez upotrebe tradicionalnih drenažnih cijevi i poznat je kao "francuski drenažni sustav." U francuskom drenažnom sustavu, geotekstil se koristi kako bi se osigurala odvodnja viška vode iz tla i spriječilo začepljenje drenažnih kanala ili rovova. Geotekstil djeluje kao barijera koja dopušta propuštanje vode kroz sebe, ali istovremeno sprječava ulazak čestica tla ili drugih materijala koji bi mogli ometati funkcionalnost drenažnog sustava. Ovaj sustav je učinkovit način za rješavanje problema odvodnje bez potrebe za tradicionalnim drenažnim cijevima, a geotekstil igra ključnu ulogu u njegovom uspješnom izvođenju.[4].



Slika 1 Sustavi plitkih drenaža kroz povijest [4]

2.1.1. Drenažna cijev i ispuna

Plastične drenažne cijevi dolaze u dvije osnovne varijante: rebraste (naborane) i glatke. Međutim, danas se uglavnom koriste rebraste cijevi. U ovim cijevima, voda ulazi kroz niz malih perforacija ili otvora koje se nalaze u utoru drenaže, a dimenzije tih otvora obično su oko 15 mm x 1-2 mm. Drenažne plastične cijevi dostupne su u standardnim promjerima koji variraju od 50 do 200 mm. Duljina drenaže ovisi o promjeru cijevi i obično se kreće u rasponu od 50 do 200 metara. Za spajanje cijevi istog ili različitog profila, koriste se fazonski komadi ili spojni elementi koji omogućuju povezivanje cijevi u željenom obliku ili kutu. Rebraste plastične drenažne cijevi su široko prihvaćene u praksi zbog svoje učinkovitosti pri odvodnji vode i praktičnosti pri instalaciji [10].



Slika 2 Presjek i pogled drenažne cijevi [6]

Razmak između drenažnih cijevi predstavlja važan element u sustavu detaljne odvodnje pomoću cijevne drenaže. Učinkovitost reguliranja visine podzemne vode u obradivim tlima uvelike ovisi o dubini i gustoći postavljenih cijevi. Za određivanje optimalnog razmaka između drenažnih cijevi postoje različite formule i nomogrami koje su razvili različiti autori. Ove metode obično se temelje na pretpostavci stacionarnog tečenja vode, što znači da se pretpostavlja da se razina vode ne mijenja tijekom vremena i ostaje u stalnom položaju. Stacionarno tečenje, međutim, rijetko se događa u prirodi jer razina podzemne vode obično varira, raste ili opada. Unatoč tome, jednadžbe koje se temelje na stacionarnom tečenju često se koriste za izračun razmaka između drenažnih cijevi, jer su matematički jednostavnije. Ove jednadžbe, poput Hooghoudt-ove i Ernst-ove, uzimaju u obzir horizontalnu, vertikalnu i radijalnu komponentu protoka vode prema cijevima [10].

Jedna od čestih grešaka prilikom izrade drenažnog sustava je korištenje materijala poput lomljenog kamena, krupnog odsijanog šljunka i slično za ispunu drenaže. Takvi materijali nisu prikladni za funkciju filtra jer se brzo začepuju česticama tla. Ispuna drenaže treba biti odabrana tako da odgovara sastavu tla koje se odvodi kako bi se osigurala efikasna odvodnja vode [2].



Slika 3 Plastična drenažna cijev na podlozi od betona [4]

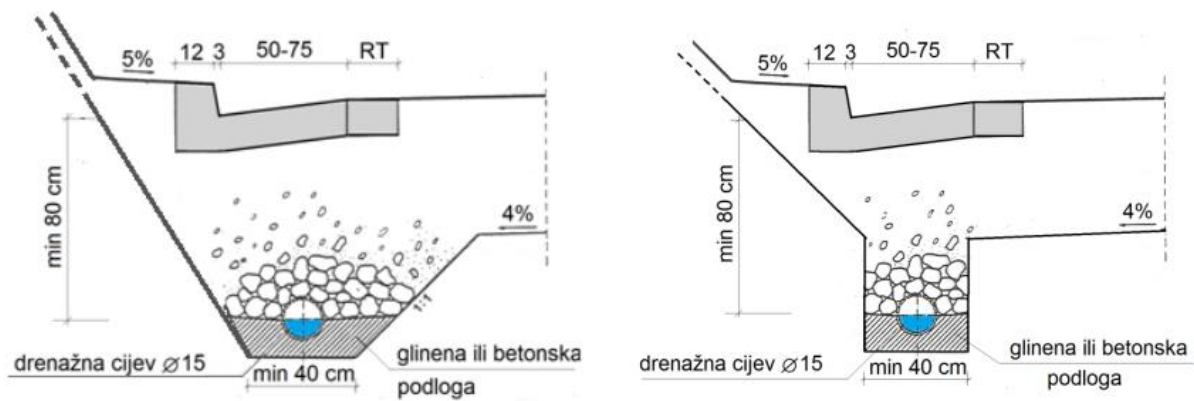
Važno je da sustav drenažne ispune bude pravilno konstruiran i odgovara okolnom terenu koji se odvodi. Drenažna ispuna smatra se učinkovitom samo ako je pravilno usklađena s karakteristikama tla koje se drenira. Ključna uloga filtarskih slojeva je omogućiti efikasno filtriranje podzemne vode i spriječiti ispiranje čestica prirodnog tla koje se odvodi, čime se sprječava zamućenje filtriranog tijela vode. Ovaj koncept filtracije temelji se na filtarskim pravilima koja je 1920. godine postavio Karl von Terzaghi [2].

Filtarski slojevi moraju biti sastavljeni od materijala koji udovoljavaju određenim kriterijima kako bi osigurali učinkovito filtriranje i spriječili zamućenje. Materijal za filtarsku ispunu mora imati jednoličan granulometrijski sastav, biti čist, otporan na smrzavanje te sadržavati minimalne količine organskih materijala, sitnih čestica i raspadajućih stijena. Ako se ne poštuju ovi zahtjevi, drenaža neće biti dovoljno propusna i brzo će doći do zamućenja vode u sustavu [1].

2.1.2. Projektiranje i izrada drenaža

Drenažni sustav za odvodnju treba biti pažljivo projektiran, s posebnom pozornošću na iskop drenažnih rovova. Iskop drenažnog rova treba obaviti duž cijele dužine i početi od najniže točke kako bi se dobila potpuna slika terena. Proučavanjem terena u stvarnom vremenu dobivamo priliku za korekciju eventualnih nedostataka u projektu. Na terenu, važni faktori za drenažni sustav uključuju vrste slojeva tla, njihov raspored, razinu vodonosnog sloja, uzdužni nagib terena, količinu vode te geotehničke karakteristike tla. Drenažu treba postaviti na dubinu koja je veća od maksimalne dubine smrzavanja tla (obično između 0,8 i 1 metar) te najmanje 60 centimetara ispod klizne površine ili vodonosnog sloja.

Izrada drenažnog sustava obično se provodi kroz nekoliko faza. Prvo je iskopavanje drenažnog rova, zatim uređivanje dna drenaže što uključuje izradu vodonepropusnog sloja ili betonskog temelja. Nakon toga slijedi postavljanje drenažnih cijevi ili betonskih/kamnenih kanala za odvodnju, ugradnja procijednog tijela i postavljanje vodonepropusnog dijela. Sve ove faze su ključne za ispravno funkcioniranje drenažnog sustava i učinkovito odvodnjavanje vode [4].



Slika 4 Načini izvedbe drenaže [11]

Drenažni sustav ima višestruke učinke koji doprinose dreniranju i stabilizaciji terena. Neki od tih učinaka uključuju [6]:

- Povećanje posmične čvrstoće tla: Smanjenjem vlažnosti tla, drenažni sustav pomaže povećati posmičnu čvrstoću tla, što znači da tlo postaje manje sklono klizanju ili pomicanju.
- Usmjeravanje strujnog pritiska: Drenaža usmjerava strujni pritisak vode iz tla, sprječavajući nakupljanje vode koja bi mogla uzrokovati nestabilnost terena.
- Zamjena neadekvatnog materijala: Drenaža omogućava zamjenu vlažnog ili manje prikladnog materijala u drenažnom rovu materijalom poput kamena ili šljunka, koji su bolji za stabilizaciju terena.
- Razbijanje mase tla sklonog klizanju: Drenaža može razbiti velike mase zemlje koje su sklone klizanju na manje dijelove, kako bi se poboljšala stabilnost pokosa.
- Stvaranje sile trenja: Drenažni sustav stvara silu trenja na dodiru između drenažnog materijala i prirodnog tla. Ova sila trenja doprinosi stabilnosti pokosa i sprječava klizanje ili pomicanje tla.

Sve ove funkcije drenaže zajedno doprinose povećanju stabilnosti terena i smanjenju rizika od klizanja ili drugih oblika erozije i nestabilnosti.

2.2. Propusti

Zatvoreni cjevovod koji je postavljen ispod nasipa za provođenje vode preko kolnika je propust. U NRS 2070, propusti su prenosne konstrukcije linearnih plovnih putova raspona

manjeg od oko 6 m. Koristi se opsežno u sustavu odvodnje cesta. Zapravo, više od 75% poprečnih drenažnih konstrukcija su propusti [12].

Propusti su izrađeni od raznih materijala i dostupni su u raznim oblicima i konfiguracijama. Odabir propusta uključuje čimbenike kao što su profili kolnika, karakteristike kanala, procjenu štete od poplava, troškove izgradnje i održavanja te procjene radnog vijeka [13].



Slika 5 Različiti oblici propusta [13]

Odabir materijala za propust može ovisiti o nekoliko faktora kao što su hidraulička hrapavost, strukturna čvrstoća, trajnost (otpornost na koroziju i abraziju) i mogućnosti izgradnje. Najčešće korišteni materijali za propuste su valoviti metal (aluminij ili čelik), beton (armirani i nearmirani), plastika (polietilen visoke gustoće (HDPE) ili polivinil klorid (PVC)) [13].

Funkcije propusta su [12]:

- skupljanje i odvodnja vode preko ceste kako se ne bi oštetila obala ceste ili korito potoka ripanjem,
- potrebno je osigurati dovoljan protok vode kako bi se spriječilo podizanje vode iznad površine ceste.

Prilikom projektiranja propusta, potrebno je uzeti u obzir nekoliko ključnih faktora [1]:

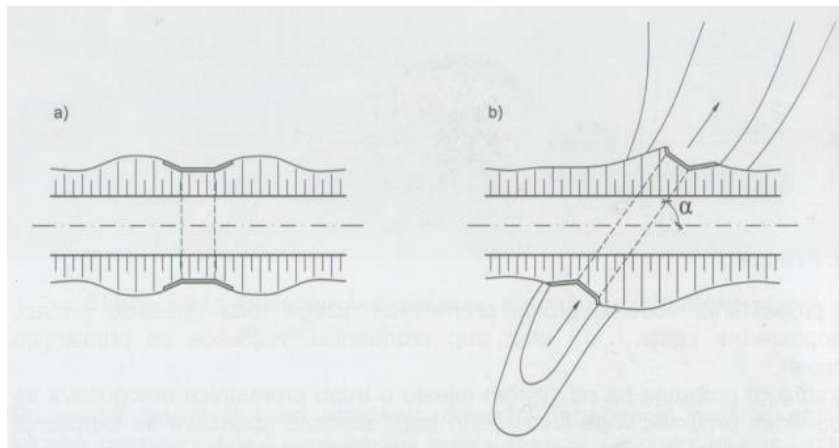
- Veličina otvora: Treba odrediti veličinu otvora propusta na temelju količine vode koja se očekuje da će prolaziti kroz njega. Ova veličina će ovisiti o hidrološkim karakteristikama područja i potrebama za odvodnjom ili prolaskom vode.

- Položaj propusta: Potrebno je odabrati optimalan položaj propusta u odnosu na os prometnice i teren. Ovo uključuje razmatranje prometnih potreba i zahtjeva za vodenim tokovima ili kanalima te kako će propust utjecati na protok vode i promet.
- Kote ulaza i izlaza: Treba odabrati visinu ulaza i izlaza propusta uzimajući u obzir mogućnost uvođenja vode iz vodotoka, kanala, rigola ili drugih izvora. Visina ovih točaka će utjecati na protok vode kroz propust.
- Način temeljenja propusta: Ovisno o svojstvima temeljnog tla, treba odabrati odgovarajući način temeljenja propusta. To uključuje razmatranje stabilnosti i nosivosti temeljnog tla kako bi se osigurala trajnost i sigurnost propusta.

Propusti se razvrstavaju prema načinu gradnje i statičkom sustavu na četiri osnovne vrste [15]:

- Crijevni propusti: To su propusti koji se izvode u obliku cijevi ili cijevnih sustava kako bi regulirali vodotok ispod ceste. Ovi propusti su često okomiti na os ceste.
- Svođeni propusti: Svođeni propusti izgrađeni su u obliku mosta ili svoda koji prelazi vodotok ispod ceste. Ova vrsta propusta često se koristi za veće i dublje vodotokove.
- Okvirni propusti: Okvirni propusti obično se sastoje od čeličnih ili betonskih okvira s postavljenim rešetkama ili rešetkastim pločama koje omogućuju prolaz vode. Ovi propusti se često koriste na manjim cestama.
- Pločasti propusti: Pločasti propusti su izvedeni kao ravne ploče postavljene preko vodotoka. Ova vrsta propusta može biti korisna za manje vodotokove i može se postaviti okomito ili pod kutem na os ceste.

Iako se najčešće koriste okomiti propusti kako bi se regulirao vodotok uz cestu, mogu se izvesti i kosi propusti ako je to potrebno za specifične uvjete na terenu ili za bolje upravljanje odvodom vode [15].



Slika 6 Položaj propusta s obzirom na os ceste [14]

Cijevni propusti su često upotrebljavana vrsta propusta, posebno u gradnji cesta i željeznica, jer olakšavaju proces izgradnje. Koriste se za odvodnju površinske vode koja se skuplja na određenim mjestima, obično se postavljaju na najnižim točkama u uzdužnom profilu ceste ili željeznice kako bi omogućili učinkovito odvođenje vode. Cijevni propusti se ne koriste ako je visina nasipa manja od 0.8 metara, mjereno od gornje površine cijevi do površine planuma na najnižem mjestu. Postoje različite vrste materijala iz kojih se izrađuju cijevni propusti, uključujući beton, montažne A.B cijevi, čelične limove i čelične cijevi. Betonski cijevni propusti imaju svojstvo da se čeka dok beton postigne svoju potrebnu čvrstoću, što može usporiti proces gradnje. Općenito, cijevni propusti su praktična opcija za upravljanje odvodnjom na cestama i željeznicama, ali odabir materijala i dimenzija ovisi o specifičnim potrebama projekta i lokalnim uvjetima [15].

Propusti su dostupni u raznim veličinama, materijalima i oblicima. Ovi čimbenici, utječu na njihov kapacitet i ukupnu izvedbu. Oblici i veličine mogu se razlikovati od malih kružnih cijevi do iznimno velikih lučnih dijelova koji se ponekad koriste umjesto mostova. Najčešći oblik propusta koji se koristi je kružni, ali se koriste i lukovi, kutije i eliptični oblici. Lučni, pravokutni i eliptični oblici općenito se koriste umjesto kružnih cijevi gdje postoji ograničeni pokrov. Lučni propusti se primjenjuju na mjestima gdje je poželjna značajka manje zapreka vodenom putu i gdje su temelji prikladni za konstrukcijsku potporu. Kutijasti propusti mogu se projektirati kako bi propustili velike protoke te da odgovaraju gotovo svim uvjetima na gradilištu. Kutijasti ili pravokutni propust pogodniji je nego drugi oblici za situacije niske dopuštene gornje vode budući da se visina može smanjiti, a raspon povećati kako bi se zadovoljili zahtjevi lokacije [15].

Međusobni razmak propusta ovisi o veličini slivnog područja. Ako se može omogućiti da se dva susjedna najniža mjesta uzdužnog profila odvede jarkom uz nožicu nasipa, tada je potrebno izgraditi samo jedan propust [2]. Cijevni propusti se obično ne koriste ako je visina nasipa manja od 0,8 metara, mjerenih od gornje površine cijevi do površine planuma na najnižem mjestu. Veličina otvora propusta varira ovisno o količini vode koja će prolaziti kroz njega, a propusti se obično izvode prije nego što se izgradi nasip [1].

Pločasti betonski propusti izrađuju se u nasipima manjih visina i usjecima te su konstrukcijski slični manjim mostovima. Noseći elementi za prenošenje opterećenja obično su armiranobetonske ploče ili grede s betonskim pločama preko kojih se postavlja kolnička konstrukcija. Duljina pločastog propusta jednaka je širini planuma prometnice [1].

Prilikom projektiranja i izgradnje propusta, važno je uzeti u obzir smjernice koje se odnose na različite tipove propusta, njihove dimenzije, otvore i načine izrade. Također, postavljanje minimalnih svjetlosnih otvora, ovisno o dužini propusta, olakšava pregled i održavanje tih objekata. Ove smjernice pomažu projektantima, stručnjacima iz vodoprivrede i izvođačima u pravilnom planiranju i izvođenju propusta kako bi bili funkcionalni i lako održavani [4]

Pri projektiranju propusta, ključno je uzeti u obzir nekoliko važnih faktora:

- Veličinu otvora propusta: Treba odrediti dimenzije otvora propusta na temelju količine vode koja se očekuje da će prolaziti kroz njega.
- Položaj propusta u odnosu na os prometnice: Treba odlučiti hoće li propust biti postavljen okomito na os prometnice ili pod kutem.
- Način utemeljenja: Potrebno je odabrati odgovarajući način temeljenja propusta, ovisno o svojstvima temeljnog tla i potrebnoj stabilnosti.
- Kote ulaza i izlaza vode: Treba precizno odrediti visine ulaza i izlaza vode u propustu, uzimajući u obzir mogućnost uvođenja vode iz vodotoka, kanala ili rigola.

Propust se obično sastoji od tri glavna dijela:

- Glavnog provodnog dijela: Ovo je centralni dio propusta kroz koji voda protječe.
- Cijevi propusta: Cijevi se koriste za vođenje vode kroz propust i često se izrađuju od betona, čelika ili drugih materijala.
- Izlaznih i ulaznih dijelova (uljevne i izljevne glave): Ovi dijelovi su važni za usmjeravanje vode prema cijevima propusta i osiguranje stabilnosti.

3. Hidrotehničke građevine za površinsku odvodnju prometnica

Površinska odvodnja igra ključnu ulogu u stvaranju optimalnih uvjeta za poljoprivrednu proizvodnju. Ova metoda uključuje sakupljanje i uklanjanje suvišne vode koja se nakuplja u tlu na poljoprivrednim ili drugim površinama kako bi se omogućila produktivna upotreba zemljišta. U Republici Hrvatskoj, površinska odvodnja je već primijenjena na otprilike 1 050 000 hektara zemljišta, no većina tih sustava ima minimalno 25 godina i zahtijeva obnovu. Veći dio ovih sustava izgrađen je u kontinentalnom dijelu Hrvatske, posebno u područjima rijeka Save i Drave. Obnova ili revitalizacija ovih sustava je ključna jer omogućuje bolje upravljanje vodom na poljoprivrednim površinama. To može poboljšati teksturu i strukturu tla, smanjiti rizik od poplava, i općenito poboljšati uvjete za poljoprivrednu proizvodnju. Revitalizacija površinske odvodnje može uključivati popravke i nadogradnje postojećih sustava kako bi se osigurala njihova učinkovitost i dugotrajnost [9].

U tablici 2 je prikazana izgrađenost sustava površinske odvodnje po slivnim područjima [9].

Vodna područja	Melioracijske površine		Stupanj izgrađenosti površinske odvodnje					
			Potpuno		Nepotpuno		Nije riješeno	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Sava	1 129	63,1	374	33,1	264	23,4	491	43,5
	757		434		085		238	
Drava i Dunav	570	31,9	213	37,4	230	40,4	126	22,2
	846		620		360		850	
Istra i Primorje	43 830	2,5	4 200	9,6	9 340	21,3	30 290	69,1
Dalmacija	44 647	2,5	7 801	17,5	15 046	33,7	21 800	48,8
Ukupno	1 789	100	600	33,5	518	29,0	670	37,5
	070		054		830		186	

Tablica 2 Izgrađenost sustava površinske odvodnje [9]

Površinska odvodnja igra ključnu ulogu u produženju trajnosti građevina. Za učinkovito odvodjenje površinskih voda koriste se otvoreni jarci, rigoli i propusti koji omogućuju vodi da se usmjeri i ispušta u određene recipijente ili prihvatne objekte.

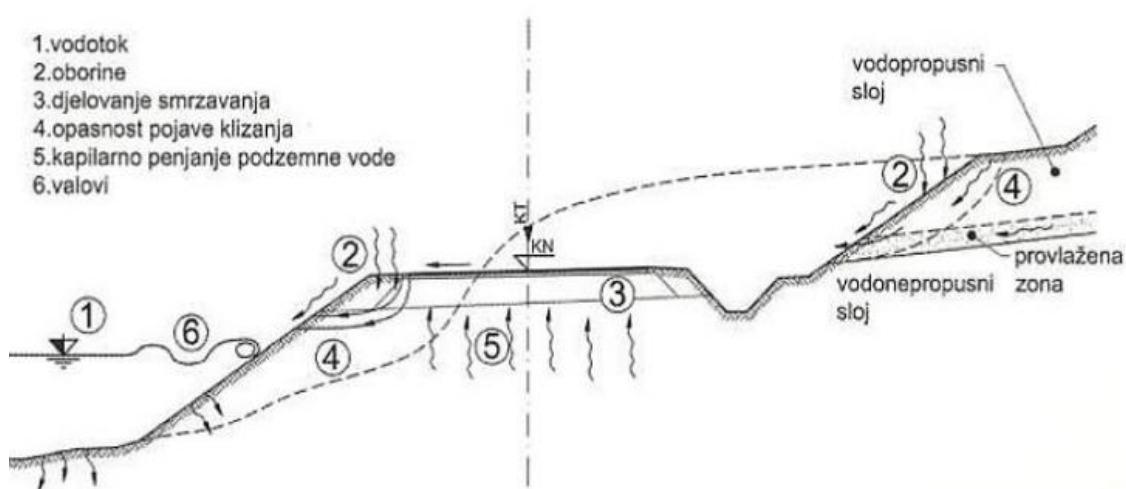
Prilikom određivanja dimenzija građevina za površinsku odvodnju važni su sljedeći faktori [2]:

- Namjena građevine, odnosno kako će se koristiti i kakve količine vode se očekuju.
- Uzdužni nagib terena, koji utječe na protok površinskih voda.
- Količina vode koja se mora odvesti, što ovisi o oborinama i drugim faktorima.
- Vrsta materijala u kojem su građevine izgrađene, jer različiti materijali mogu zahtijevati različite dimenzije odvodnih sustava.

Srednja visina oborina slivna (H_s) je važan parametar koji se koristi u proračunima za odvodnju površinskih voda. Projektanti je koriste kako bi osigurali da se prikupljena voda efikasno i brzo odvede na najkraći i najučinkovitiji način [4].

$$H_s = \frac{V}{\sum \Delta F} [mm]$$

- V predstavlja ukupnu količinu oborina u slivu (m^3),
- H_x je prosječna visina oborina između dvije susjedne izohijate,
- ΔF je parcijalna površina između izohijeta (linije istih oborina).



Slika 7 Djelovanje vode na prometnicu [2]

3.1. Odvodni jarci

Odvodni jarci su jednostavan način za odvođenje vode s kolnika. Njihova osnovna svrha je brzo i učinkovito preusmjeriti vodu s površine kolnika i sa pokosa usjeka. Kod projektiranja odvodnih jaraka, potrebno je uzeti u obzir nekoliko ključnih uvjeta [1]:

Odvesti vodu sa površine što kraćim putem:

- Glavni cilj odvodnog jarka je da vodu što brže usmjeri izvan prometnice kako bi se spriječila stvaranje lokacija s nakupljanjem vode.
- Bez taloženja: U jarku ne bi smjelo dolaziti do nakupljanja i zadržavanja vode jer to može uzrokovati poplave ili eroziju tla.
- Očuvanje površine: Površina oko odvodnog jarka ne smije biti podložna eroziji ili oštećenju uslijed protoka vode.
- Minimalna hrapavost: Unutarnje obloge odvodnog jarka trebaju imati što manju hrapavost kako bi se olakšao protok vode i smanjila mogućnost taloženja čestica.

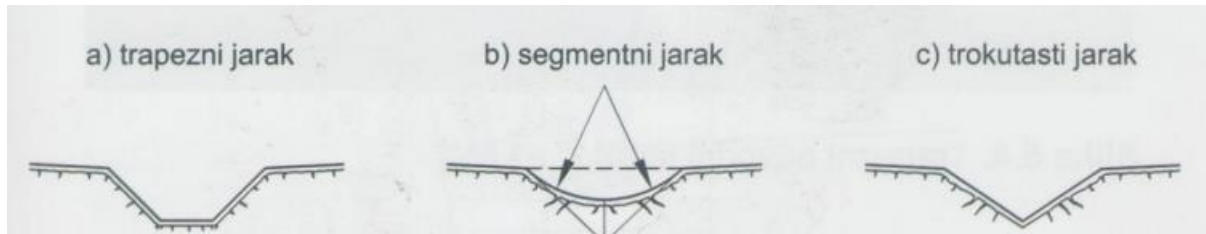
Također, važno je osigurati odgovarajući uzdužni nagib odvodnog jarka, koji će ovisiti o vrsti tla i prisutnosti obloge u jarku kako bi se osigurala učinkovita odvodnja vode [6].

Na temelju građevinskih standarda odvodni kanali: grade se na mjestima gdje su podzemne vode smještene dublje od 2 metra; položen u smjeru sliva s nagibom od 10 m kanala: 2 cm na glinovitim tlima, 3 cm na pjeskovitim; smješten na bočnoj strani dotoka vode iz gornjeg područja; položeni u zatvorene pladnjeve u prisutnosti vode u zemlji tijekom cijele godine; kako bi se spriječilo siltiranje, brzina protoka treba biti 25-30 cm/s (ako padine nisu uređene) [16].

Odvodni jarci predstavljaju najosnovniji način odvođenja vode s kolnika. Oni prikupljaju vodu s površine kolnika, pokosa i usjeka te je preusmjeravaju dalje. Ključno je da odvodni jarci budu pravilno projektirani kako bi osigurali učinkovitu odvodnju vode. To se postiže određivanjem odgovarajućeg uzdužnog nagiba. Odvodne jarke možemo podijeliti u nekoliko osnovnih oblika, uključujući [2]:

- Trapezne odvodne jarke: Ovi jarci imaju oblik trapeza te se često koriste za jednostavne sustave odvodnje. Trapezni oblik omogućuje učinkovito vođenje vode niz jarak.

- Segmentni odvodni jarci: Segmentni odvodni jarci sastoje se od više manjih segmenata ili blokova, što olakšava montažu i prilagodbu obliku terena.
- Trokutasti odvodni jarci: Ovi jarci imaju oblik trokuta i često se koriste u specifičnim situacijama gdje je potrebna posebna geometrija za odvodnju vode.



Slika 8 Odvodni jarci [14]

Oblaganje odvodnih jaraka, tj. unutarnje obloge ili premaze, izuzetno je važno kako bi se osigurala njihova dugotrajnost i otpornost na različite uvjete. Ovaj proces uključuje upotrebu različitih materijala kako bi se stvorila zaštita od erozije i drugih štetnih utjecaja. Evo nekoliko materijala koji se često koriste za oblaganje odvodnih jaraka [2]:

- Kamen-beton i betonski proizvodi: Beton je čest materijal koji se koristi za oblaganje odvodnih jaraka. Može se oblikovati na licu mjesta ili koristiti gotovi betonski elementi.
- Asfalt i asfaltni proizvodi: Asfalt se često koristi kao obloga za odvodne jarke. On je otporan na vodu i vremenske uvjete.
- Cement, bitumen i ostali kemijski proizvodi: Cement i bitumen (katran) također se koriste za oblaganje kako bi se stvorila vodonepropusna barijera i zaštita od erozije.
- Montažni elementi: Ponekad se koriste montažni elementi, kao što su plastični paneli ili drvene daske, za oblaganje odvodnih jaraka. Ovi materijali su često jednostavni za instalaciju.

Važno je napomenuti da obloga odvodnih jaraka mora biti izdržljiva i otporna na smrzavanje, posebno u hladnijim klimatskim uvjetima. Također, ako je uzdužni nagib dna jaraka manji od 0,2%, obloga je posebno potrebna kako bi se spriječila erozija i održala učinkovita odvodnja vode. Minimalni uzdužni nagib neobloženih jaraka obično iznosi 0,5% [4].

3.1.1. Trapezni jarci

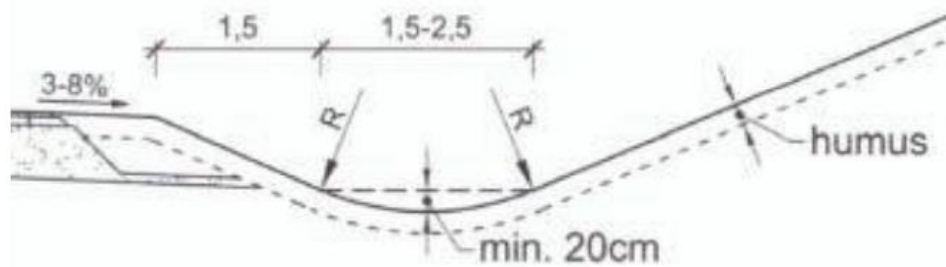
Odvodni jarci dolaze u različitim oblicima i veličinama, a izbor odgovarajućeg oblika ovisi o vrsti prometnice i drugim faktorima. Trapezni jarci koriste se za odvođenje većih količina vode, često na manje važnim cestama ili šumskim cestama. Oni obično imaju širinu od 30 do 50 cm, iako se ta dimenzija može prilagoditi potrebama. Nagib pokosa i jarka često iznosi omjer 1:1.5, a dno jarka nalazi se najmanje 20 cm ispod posteljice ceste kako bi se spriječio ulazak vode u kolničku konstrukciju ili gornji ustroj [2].



Slika 9 Trapezni odvodni jarak [14]

3.1.2. Segmentni jarci

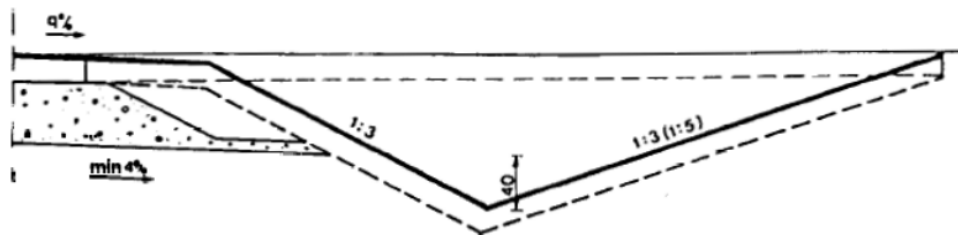
Segmentni jarci često se primjenjuju na značajnijim cestovnim prometnicama. Dno ovih jaraka obično je segmentnog oblika i također se nalazi barem 20 cm ispod posteljice prometnice kako bi se osigurala odvodnja vode i spriječilo njeno dospjeće u kolničku konstrukciju [6].



Slika 10 Segmentni dovodni jarak [14]

3.1.3. Trokutasti jarci

Trokutasti jarci su česta opcija za suvremene ceste jer se lako uklapaju u okolinu i prirodni krajolik. Osim toga, oni se smatraju sigurnijim za vozila u slučaju skliznuća s kolnika [6].



Slika 11 Trokutasti odvodni jarak [14]

3.1.4. Zaštitni jarci

Zaštitni jarci su posebni odvodni jarci koji se nalaze izvan područja usjeka i nasipa prometnice. Njihova svrha je prihvatiti površinske vode s šireg slivnog područja i zaštititi prometnice od potencijalno razornog djelovanja površinskih voda. Ovi jarci se obično grade na padinama iznad usjeka i nasipa, paralelno s prometnicom. Važno je izbjegavati gradnju tih jaraka uz sam rub usjeka kako ne bi došlo do klizanja pokosa. Ako se zaštitni jarci grade u blizini vrha usjeka, posebna pažnja se posvećuje njihovoj izgradnji kako bi se spriječilo izlijevanje. Također, redovito održavanje je neophodno kako bi se izbjeglo začepljenje i taloženje materijala u jarcima. U krškim predjelima, obično nije potrebna izgradnja ovakvih jaraka jer prirodni reljef pruža dovoljnu zaštitu [1].



Slika 12 Zaštitni jarak [4]

U nasipima, zaštitni jarci često dolaze u obliku segmentnih, trokutastih ili trapeznih oblika kako bi zaštili nožicu nasipa od potencijalno štetnog djelovanja oborinskih voda. Minimalni uzdužni nagib ovih jaraka iznosi 0,5%. Nagib zaštitnog jarka obloženog lomljenim kamenom ili izvedenog kanalicama može biti i veći od 10% kako bi se osigurala što bolja odvodnja vode i zaštita nasipa [2].

3.2. Rigoli

Neposredna odvodnja s kolnika ili usjeka može se provoditi i putem različitih rigola, što su mali odvodni uređaji koji služe za uklanjanje površinske vode s usjeka, pokosa i zasjeka. Postoje različite vrste rigola, uključujući trokutaste, podzemne i pokrivene. Rigoli se obično izrađuju od materijala kao što je beton, i mogu biti izvedeni i s malim kockama ili od kanalicama, ovisno o potrebama. Ovisno o materijalu od kojeg su izrađeni, rigoli se postavljaju na različite podloge. Idealno je da se postave na zbijeni mehanički sloj ispod kolničke konstrukcije. Glavna svrha rigola je prikupljanje površinske vode. Nakon što se voda prikupi u rigolu, obično se pomoću slivnika odvodi u sustave unutarnje odvodnje ili se pušta u sustav vanjske odvodnje, kako bi se spriječilo nakupljanje vode na kolniku ili usjecima te se osigurala sigurnija prometna situacija [3].



Slika 13 Rigoli [1]

Na visokim nasipima izgrađenim od slabo vezanih ili nevezanih sitnozrnastih materijala, posebno u područjima s velikom količinom oborina, izrađuju se rigoli paralelno s rubom kolnika kako bi prikupljali vodu koja se potom ispušta niz pokose nasipa do prihvatnog kanala [4].

Betonski rigoli se postavljaju na podlozi koja može biti nosivi sloj od zrnatog kamenog materijala ili sloj od cementom stabiliziranog kamenog materijala. Najčešće se betonski rigoli izrađuju u dva dijela koristeći tvornički proizvedene elemente - rubnjake i posebne ploče za dno rigola, koje su postavljene pod određenim nagibom ili poprečnim padom, kako je navedeno u projektu. Dno rigola može biti izrađeno od monolitnog betona prema projektu ili od tvornički proizvedenih elemenata odgovarajućih dimenzija. Monolitna izvedba rigola obično se radi u kampadama dužine prema projektu, često u segmentima duljine od 3 do 5 metara. Kod kampada kraćih od 3,0 metra, koriste se odgovarajući umetci koji ostaju u razdjelnicama. Nakon završetka betoniranja, ovi umetci se režu ili na neki drugi način uklanjaju kako bi se postigla željena geometrija dna rigola [6].

4. Podloge za projektiranje hidrotehničkih građevina za odvodnju prometnica

Za pripremu, izvođenje i uporabu hidrotehničkih sustava i građevina od suštinske je važnosti razumijevanje odgovarajućih svojstava društva (čovjekova uloga u sustavnom odnosu između čovjeka i vode), prirode te postojećih i planiranih intervencija (ljudskih djelovanja na prirodno okruženje). Ova znanja čine temeljne osnove ili polazišta za razvoj hidrotehničkih građevina [17].

4.1. Potrebe – društvo

Hidrotehnički sustavi i građevine su pokretani osnovnim potrebama koje treba ispuniti, što predstavlja polazište za njihovo planiranje i izvođenje. Ove potrebe proizlaze iz društva, odnosno od ljudi, i važno je razumjeti kakve su te potrebe, kako se mijenjaju tijekom vremena, te koliko su bitne za očuvanje života i poboljšanje kvalitete života. Potrebe se razmatraju u kontekstu upotrebe voda, zaštite od voda i zaštite voda. To uključuje pitanja količine i kvalitete voda koje su potrebne, te kako se vode koriste i štite.

Saznanja o potrebama dolaze iz različitih izvora, uključujući državne agencije koje se bave vodama, organizacije koje koriste vodu ili su izložene riziku od voda te one koje provode mjere zaštite od voda. Također, planski dokumenti igraju važnu ulogu u definiranju potreba u vezi s vodama. Važno je napomenuti da se hidrotehnički sustavi izgrađuju za budućnost, stoga je ključno razumjeti potrebe koje će biti prisutne u budućim razdobljima planiranja.

Osim poznavanja potreba, važno je pridržavati se zakonskih propisa koji reguliraju uvjete i dokumentaciju potrebnu za izgradnju i uporabu hidrotehničkih objekata. Ova regulativa osigurava da se građevine izvode u skladu s odgovarajućim standardima i normama, te pod propisanim uvjetima.

Prostorno planiranje i dokumentacija također igraju važnu ulogu u reguliranju namjene prostora i uvjeta za uporabu građevina. Ako planirani hidrotehnički zahvati nisu u skladu s prostorno-planskim dokumentima, potrebno je provesti postupak izmjene i usklađivanja tih dokumenata kako bi se zadovoljile potrebe i ciljevi projekta [17].

4.2. Priroda

Prirodu razmatramo na temelju njezinih procesa (djelovanja) koji se u njoj odvijaju u odnosu na ljudsku (društvo) i umjetnu (izgrađenu) prirodu te njezine strukture. Proces se razmatraju tijekom vremena i možemo razlikovati događaje koji se događaju u vremenskim jedinicama koje su nam vidljive (desetke, stotine godina i manje) od događaja koji se događaju u dugim vremenskim jedinicama (stotine tisuća i milijuni godina). Gledajući iz planiranih operacija, to nisu procesi.

Primjer prvog procesa je kružno strujanje vode, koja isparava sa zemljine površine pod utjecajem Sunčeve energije, izdiže se u atmosferu, kondenzira, pod utjecajem gravitacije pada na zemljinu površinu te se kreće po zemljinoj površini. a podzemlje prema morima i oceanima. Ovakav ciklus događa se oko 40 puta godišnje i važno je svojstvo vode u prirodi: obnovljivo blago (resurs).

Kao primjer drugog procesa mogu se navesti neki od geoloških proces. Oblik i struktura tla naše zemlje nastala je u geološkoj prošlosti i danas se može smatrati nepromjenjivom značajkom. Izuzetak su procesi površinske erozije, promjene uzrokovane djelovanjem vode, vjetra i čovjeka, krške pojave. Izuzetak su i neotektonske aktivnosti, koje povremeno izazivaju potrese i tako stavljaju građevine na tešku kušnju i ugrožavaju njihovu stabilnost, o čemu se mora voditi računa [17].

4.2.1. Voda

Voda je osnovni medij hidrotehničke prakse, pa je posebno važno poznavanje svojstava vode i njezine prisutnosti u prirodi. Površinske i podzemne vode su nam dostupne, kako bi zadovoljili naše potrebe potrebno je reguliranje odnosa s tim vodama, stoga je poznavanje tih voda neophodno.

Temeljno je poznavanje kvalitete i količine vode u vremenu i prostoru. Budući da je proces kretanja vode u prirodi veoma snažan i da se razina vode mijenja praktički iz trenutka u trenutak, potrebno je stalno pratiti stanje vode.

Voda u prirodi također djeluje na okoliš u kojem se pojavljuje ili kreće, djelujući kroz kemijske, fizičke i biološke procese koje je potrebno poznavati. Osim što utječe na prirodu, voda ima također utjecaj i na čovjeka i umjetnu prirodu, a ta su nam znanja potrebna i pri rješavanju odnosa s vodom. Razmatranjem vode u prirodi i istraživanjem procesa i zakona

stanja, kretanja i funkcioniranja vode bave se sljedeće grane znanosti: mehanika (mehanika fluida), geofizika (hidrologija, meteorologija, oceanologija), geologija (hidrogeologija) i građevinarstvo [17].

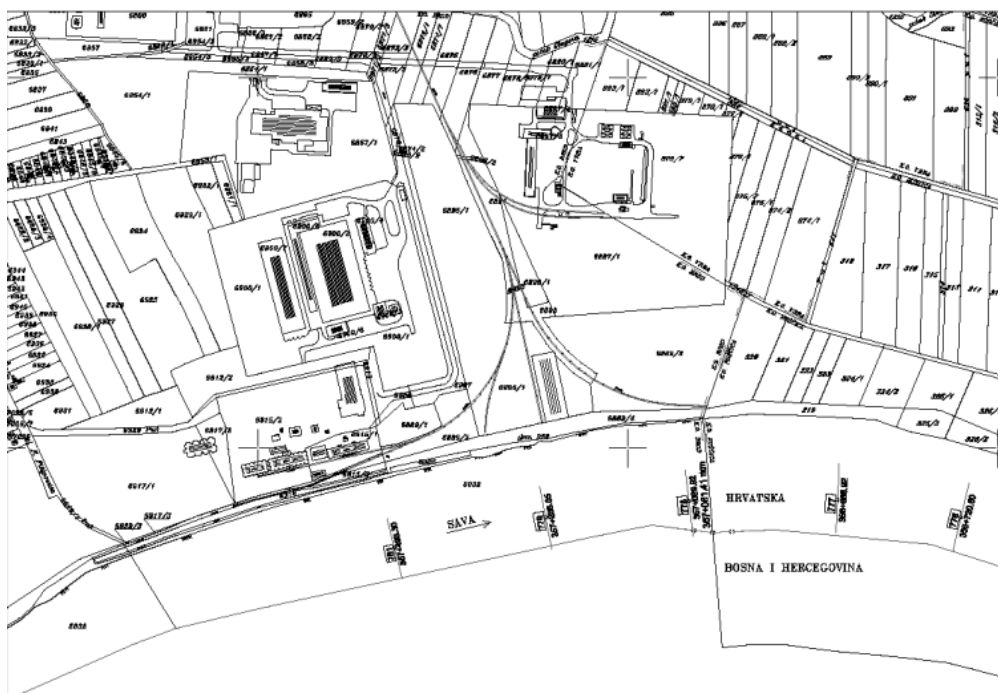
4.2.2. Zemljište

Geodetske karte nam služe za prikazivanje planova velikih hidrotehničkih građevina, dok se male prikazuju na geodetskim planovima. Druga svrha geodetskih baza podataka odnosi se na hidrauličke, hidrološke i geotehničke proračune, na primjer određivanje vododjelnica, profila vodotoka i profila terena.

U Državnoj geodetskoj upravi u Zagrebu možemo javno otkupiti državne geodetske podloge za područje cijele Hrvatske. Dostupni su u analognom (na papiru) i digitalnom obliku kao rasterska slika (bitmapa), koja se ubacuje kao pozadina u digitalne crteže (npr. Autocad). Sve digitalne karte su geokodirane; tj. prikazane u geodetskim koordinatama.

Posebnost detaljnih planova ili situacija hidrotehničkih radova je prikaz vodotoka (rijeka i mora) ispod razine vode pomoću izohipe ili izobate.

Katastarski planovi (koji ne prikazuju topografiju lokacije) prikazuju vlasničku strukturu korištenjem katastarskih čestica i crteža postojećih zgrada. Koriste se za crtanje budućih zgrada na njima. Ovaj predložak je stoga prijeko potreban kako bi se prilikom ishoda lokacijskog rješenja i građevinske dozvole moglo provjeriti postoji li pravo građenja (vlasništvo, koncesija ili pravo služnosti) na katastarskim podacima planirane građevine.



Slika 14 Katastarski plan [17]

Pri izgradnji hidrotehničkih građevina, važno je osigurati stabilnost temelja kako mehaničku tako i kemijsku stabilnost, a često i vodoodrživost prostora u kojem se građevine izvode. Također, važno je poznavati materijale koji će se koristiti za izgradnju, uključujući njihova svojstva i kako se ponašaju tijekom ugradnje.

Ovisno o utjecaju i veličini zahvata na prostor, važno je dublje razumjeti svojstva tla i geološke karakteristike šireg ili užeg prostora. To uključuje proučavanje zemljišta kako površinskih, tako i dubljih slojeva s obzirom na interakciju s hidrotehničkim građevinama. Opća znanja o geologiji, inženjerskoj geologiji, seizmologiji i hidrogeologiji omogućuju bolje razumijevanje i planiranje ovih svojstava i karakteristika prostora.

Poznavanje mehanike stijena i mehanike tla također je važno jer omogućuje pripremu podloge za definiranje načina građenja i temeljenja. Također, važno je razumjeti kako se voda kreće u tlu (vodopropusnost) jer to može imati značajan utjecaj na izvedbu hidrotehničkih građevina. Potrebno je također uzeti u obzir potresna svojstva prostora, jer potresi predstavljaju važno opterećenje koje utječe na dimenzioniranje građevina. Sve ove spoznaje i razumijevanja omogućuju sigurnu i učinkovitu izgradnju hidrotehničkih građevina [17].

4.3. Geotehničke podloge hidrotehničkih građevina

Geotehnički temelji sastoje se od geološkog i geomehaničkog elementa i određuju geološka i geomehanička svojstva tla i stijenske podloge. Ti se temelji utvrđuju geološkim i geotehničkim istraživanjima.

Kada se zgrada nalazi na susjednom i/ili nepovezanom zemljištu prijeko je potreban rad na terenu. U slučaju kada se veliki i teški objekti postavljaju direktno na stijenu nužni su radovi koji uključuju istraživanje stijena, dok se kod malih objekata obično pretpostavlja da je stijena dovoljno nosiva, tako da obično nisu potrebni posebni istražni radovi.

Geološka istraživanja potrebna su za velike strukture, tj. strukture koje se oslanjaju na složene uvjete tla, kao što su klizišta, za tumačenje temeljnih svojstava tla između mjesta na kojima su provedena istraživanja tla. Naime, iz ekonomskih razloga nije moguće skupim istražnim radovima pokriti čitavo područje ležišta, pa se neistraženi dijelovi temeljnog tla mogu stručno interpretirati geomehaničarima na geološkim principima.

Projektant građevine izrađuje program geotehničkih zahvata. Istraživački rad temeljen na programu provode specijalizirane tvrtke sastavljene od stručnjaka geologije, građevine i geofizike. Ovaj rad sastoji se od terenskog istraživanja, laboratorijskih ispitivanja i izvješća koja opisuju obavljeni rad te prikazuju rezultate i interpretacije istraživanja. Terenski rad provodi se terenskim pregledom, bušenjem i istražnim iskapanjima.

Laboratorijska ispitivanja provode se u geotehničkom laboratoriju na uzorcima prikupljenim s terena. Iz poremećenih i nekonzistentnih uzoraka može se odrediti: suha i potopljena volumenska masa, prirodna vlažnost i krivulja veličine zrna. Atterbergove granice također se mogu ispitati na koherentnim perturbiranim uzorcima i može se napraviti izravan rez. Kohezivni, neporemećeni uzorci mogu se ispitati na aksijalnu i triaksijalnu čvrstoću u drenažnim ili nedreniranim uvjetima. Ovo su standardni testovi, ali se provode i drugi testovi za specifična svojstva tla.

Geotehničko izvješće sadrži rezultate pregleda, terenskih ispitivanja, laboratorijskih istraživanja i, ako je primjenjivo, prethodnih istraživanja na lokaciji koja se razmatra. Sadrži i tekstualni dio koji sadrži identifikaciju i geotehničku interpretaciju sastava tla (mehanički parametri, parametri otpora, modul stišljivosti, koeficijenti propusnosti). Pri planiranju se mora voditi računa o stanju terena s navedenim ispitnim točkama, reljefima i geotehničkim profilima. Općenito, uzimaju se u obzir seizmičke karakteristike mjesta.

Za proučavanje hidrogeoloških karakteristika područja, moguće je primijeniti istraživačke metode koje su ranije spomenute. Ove metode se često koriste za dobivanje informacija o podzemnim vodonosnicima i njihovim svojstvima. U nekim slučajevima, mogu se integrirati različite istraživačke radnje kako bi se dobila cjelovita slika.

Konkretno, za proučavanje hidrogeoloških podloga, može se primijeniti mjerenje tlaka u vodonosnicima pomoću piezometara. Ovo mjerenje omogućuje praćenje promjena razine podzemne vode i razumijevanje njenog ponašanja [17].

4.4. Zrak

Klimatske značajke gradilišta promatraju se s dva gledišta: sa stajališta mogućih promjena i sa stajališta građevno-uporabne situacije koje mogu nastati u vezi s izgradnjom hidrotehničkih građevina ili sustava. Važni su nam uvjeti za hidrotehniku koji vladaju u ovom dijelu atmosfere, kao što su temperatura zraka i vode, vlaga, vjetar, isparavanje iz tla, biljaka i vodene površine, kao i oborine, sunce i klimatski uvjeti. Provode se promatranja neposredno uzimajući u obzir svojstva ovih pojava.

Podaci o klimi vjetra su ključni za projektiranje svake građevine, uključujući i hidrotehničke objekte, kako bi se pravilno proračunalo opterećenje od vjetra. Prema europskim standardima (EN), tlak ili sila vjetra na građevinu izračunava se temeljem prosječne 10-minutne brzine vjetra s povratnim razdobljem od 50 godina za najnepovoljniji smjer djelovanja vjetra (označen kao V600s50god). Ova brzina vjetra se naziva referentnom brzinom vjetra i označava se kao V_{ref} [17].

4.5. Ostale podloge vezane za prirodu

Ostale osnove tiču se znanja o životnom okolišu (biocenoza, zajednica) u području zahvata (biotopu, staništu), kako o onome što živi iznad vode tako i o onome što je u vodi, te o području razvoja i položaju utjecaja koji se mogu očekivati od izgradnje i uporabe zgrada. Osim toga, posebnu pozornost treba posvetiti zaštićenim prirodnim vrijednostima. Te su osnove nužne za ocjenu utjecaja izgradnje i uporabe građevina i hidrotehničkih sustava na okoliš te za planiranje i provedbu mjera zaštite okoliša [17].



4.5.1. Umjetna priroda

Razumijevanje strukture prostora ima ključnu važnost u planiranju i razvoju područja, kako u pogledu uvođenja novih aktivnosti, tako i u pogledu utjecaja tih aktivnosti na postojeće i buduće planirane djelatnosti. Takvi podaci obično se nalaze u različitim dokumentima, uključujući zemljišne knjige, kartografske zapise i druge relevantne izvore, te su djelomično podložni registraciji.

Posebno je važno poznavati postojeće hidrotehničke sustave i građevine na tom području, kao i razumjeti kako se mogu iskoristiti za zadovoljenje potreba ili dijelova potreba, bilo kroz njihovo poboljšanje, modernizaciju ili prenamjenu. Također, bitno je razmotriti prisutnost kulturno-arheoloških vrijednosti na tom području i odnositi se prema tim vrijednostima s poštovanjem i pažnjom prilikom planiranja i izvođenja razvojnih zahvata [17].

5. Primjer odvodnje na autocesti A5

Autocesta Beli Manastir - Osijek - Svilaj, dio je međunarodnog Paneuropskog cestovnog koridora Vc i jedan od najvažnijih ogranaka TEM/ TER Projekta. Ova autocesta ima ulogu u europskoj prometnoj mreži s oznakom E-73, koja povezuje sjever Europe s Jadranom. Prometni koridor Vc, koji se proteže od Budimpešte preko Sarajeva do Ploča, ima ključnu ulogu u povezivanju sjeverne, srednje i južne Europe. Ovaj prometni koridor ima iznimnu važnost u kontekstu procesa gospodarske i prometne integracije srednjoeuropskog prostora.

Izgradnja prometnog koridora Vc ima za cilj poboljšati povezanost i transparentnost prometnih ruta, uključujući ceste, željeznice, rijeke i zračni promet. Ovaj projekt će direktno utjecati na razvoj šireg i jačeg prometnog čvorišta koje će služiti Europi i Aziji.

Autocesta A5, koja se proteže od granice s Mađarskom do granice s Bosnom i Hercegovinom, te autocesta A10, koja se proteže od granice s Bosnom i Hercegovinom do luke Ploče, čine važan dio ovog prometnog koridora. Ove autoceste igraju ključnu ulogu u prometnom povezivanju između različitih zemalja i regija te omogućuju brži i učinkovitiji transport tereta i putnika [18].

Pripremajući se za izgradnju autoceste koridora Vc, posebna pažnja posvećena je utjecaju na okoliš i vodne resurse. Ovi utjecaji se mogu javiti tijekom pripreme radova, same gradnje i kasnijeg korištenja autoceste te mogu zahvatiti podzemne vode, crpilišta, vodotokove i poljoprivredna područja, kao i zaštićeno područje parka prirode Kopački Rit, koje se nalazi u blizini. Utjecaj može biti rezultat izljeva različitih vrsta zagađenja, bilo da se radi o točkastim ili difuznim izvorima.

Kako bi se adekvatno nosili s ovim potencijalnim utjecajima na okoliš, izrađen je idejni projekt i glavni projekt, koji su usklađeni s uvjetima Hrvatskih voda. Ovi projekti uključuju tehnička rješenja za unutarnju odvodnju glavne trase autoceste A5 na dionici Osijek - Beli Manastir u rasponu od kilometra 5+000 do kilometra 29+589,67. Ova dokumentacija i prihvaćanje takvih projektnih rješenja osmišljeni su kako bi zaštitili površinske i podzemne vode od onečišćenja oborinskim vodama s prometnice.

Dionica autoceste prolazi kroz područja koja su važna za opskrbu podzemnih voda, poput crpilišta „Vinogradi“ i „Livade“, koja su podložna strožem režimu zaštite. Prilikom izrade projektne dokumentacije, primijenjeni su odgovarajući postupci i mjere zaštite okoliša kako bi se minimizirao utjecaj na vodne resurse.

Tijekom gradnje i kasnijeg korištenja autoceste, primjenjivat će se posebne organizacijske mjere kako bi se spriječilo onečišćenje podzemnih i površinskih voda. Sve ovo je učinjeno kako bi se osiguralo da utjecaj na okoliš bude minimalan ili da se, ovisno o stupnju osjetljivosti, dovede na prihvatljivu razinu kako ne bi uzrokovao nepoželjne posljedice. Ova dionica autoceste pažljivo je promatrana i planirana kako bi se osigurala zaštita njezinih oborinskih voda u područjima koja prolazi [3].

5.1. Opis elemenata odvodnje

Sustav odvodnje predmetne građevine obuhvaća sljedeće zajedničke komponente za sve slivne površine [3]:

- Slivne površine: Ove površine uključuju cijeli kolnik prometnice, uključujući zeleni pojas, bankinu, središnji dio i eventualno usjek. To su mjesta s kojih oborinske vode skupljaju vodu koja treba biti odvedena.
- Elementi odvodnje kolnika: Uključuju različite komponente poput rubnjaka, rigola (male odvodne kanale), kanalice, slivnika i ispusta. Ovi elementi pomažu u prikupljanju i usmjeravanju oborinskih voda prema sustavu za obradu ili odvodnji.
- Zatvoreni kanali: Ovi kanali smješteni su u tijelu prometnice i koriste se za sakupljanje oborinskih voda. Uz njih obično postoje revizijska okna koja omogućuju pristup i održavanje kanala.
- Građevine za obradu sakupljene vode: U sustavu odvodnje mogu se ugraditi separatori ulja i masti. Ovi uređaji služe za uklanjanje ulja i masti iz oborinskih voda prije nego što se voda ispušta ili pročišćava dalje.
- Laguna visoke učinkovitosti pročišćavanja: Ova komponenta sustava služi za dodatno pročišćavanje oborinskih voda prije nego što se ispuštaju u okoliš. Lagune visoke učinkovitosti mogu uključivati različite tehnike za čišćenje i pročišćavanje vode.

Sve ove komponente zajedno čine sustav odvodnje koji omogućuje sigurno prikupljanje, obradu i/ili odvodnju oborinskih voda s prometnice kako bi se zaštitio okoliš i očuvala kvaliteta vode.

Odvodnja vode s prometnice počinje sa sljedećim karakteristikama:

- Poprečni pad kolnika: Kolnik prometnice ima dvostrani simetrični pad s nagibom od 2,5%, osim na mjestima proširenja za postavljanje separatora. Na tim mjestima, poprečni nagib kolnika je jednostran.
- Poprečni nagib kolnika: Voda s kolnika slijeva se prema rigolima, koji su kanali širine 75 cm, nagiba 15% i visine 14 cm. Rigoli prihvaćaju vodu kako s kolnika tako i s bankine, jer je nagib bankine usmjeren prema rigolu
- Uporaba segmentnih kanalicica: Na dionicama ceste s zatvorenom odvodnjom, umjesto rigola koriste se segmentne kanalice koje imaju veći kapacitet prihvaćanja oborinske vode i vode s površine usjeka.
- Slivne rešetke i slivna okna: Voda koja se slijeva prema kanalima prvo prolazi kroz slivne rešetke. Zatim se voda usmjerava u slivna okna i dalje kroz revizijska okna.
- Glavni odvodni kanali: Glavni odvodni kanali postavljeni su na udaljenosti od 45 cm od vanjskog ruba bankine autoceste. Oni služe za prikupljanje vode iz slivnih okna.
- Slivničke rešetke: Slivničke rešetke su standardni elementi dimenzija 450/450 mm i izrađene su od lijevanog željeza s nosivosti od 250 kN.
- Slivna površina: Veličina slivne površine s koje voda otječe prema slivnoj rešetci može varirati. Za jednostruki slivnik, površina je 400 m², dok je za dvostruki slivnik površina 700 m².

Sam slivnik je izrađen od polipropilenskih cijevi obloženih betonom s minimalnim promjerom od 50 cm. Te cijevi se priključuju na gotova PEHD okna cijevima promjera 160 ili 200 mm, ovisno o broju slivničkih rešetki [3].



Slika 15 PEHD cijevi [3]

Sustav slivnika i kanalizacije uključuje sljedeće karakteristike [3]:

- Slivnik za prihvrat krupnih nečistoća: Slivnik je izrađen s namjerom da prihvati krupne mehaničke nečistoće i ima taložnicu dubine od 100 cm.
- Kanalizacijske cijevi: Cijevi povezuju okna i separatore ispod trupa prometnice izrađene su visoke krutosti i sposobne podnijeti prometna opterećenja. To uključuje težinu slojeva autoceste te opterećenje tijekom zbijanja tih slojeva. Cijevi su obložene armiranim betonom klase C 25/30.
- Materijal cijevi za zatvorenu kanalizaciju: Na području zatvorene kanalizacije koristi se druga vrsta cijevnog materijala, a to su cijevi od nezasićene poliesterske smole ojačane staklenim vlaknima krutosti SN 5000.
- Revizijska okna: Voda se dalje vodi prema revizijskim oknima koja su postavljena uzduž kanalizacije. Ta okna izrađena su od dva različita materijala, armiranog betona i PEHD (polietilena visoke gustoće). PEHD okna dominiraju u većem dijelu sustava odvodnje, dok se armirano-betonska okna koriste u iznimnim situacijama, kao što su uljevna i izljevna okna kod separatora te ispred i iza mostova i drugih objekata gdje se oborinske vode upuštaju u sustav odvodnje.

5.1.1. PEHD okna

PEHD okna izrađena su od polietilena srednje gustoće i imaju različite visine zbog različitih zahtjeva projekta. Opremljena su poklopcima od lijevanog željeza s otvorom promjera $\varnothing = 600$ mm. Nosivost tih okana varira ovisno o njihovoj lokaciji: okna u prometnoj zoni imaju nosivost od 400 kN, dok ona smještena iza sigurnosne ograde imaju nosivost od 150 kN.

Okna postavljena na nasipu iza zaštitne ograde izdignuta su za 5 cm u odnosu na okolni teren. S druge strane, okna postavljena na komunikacijskoj razini nalaze se u ravnini s terenom.

Spajanje tih okana na cijevi izvodi se pomoću spojnika, razdjelnika i dvostrukih spojnika kako bi se osigurala funkcionalnost i sigurnost cijelog sustava odvodnje.



Slika 16 PEHD okna i slivnik [3]

5.1.2. Armirano – betonska okna

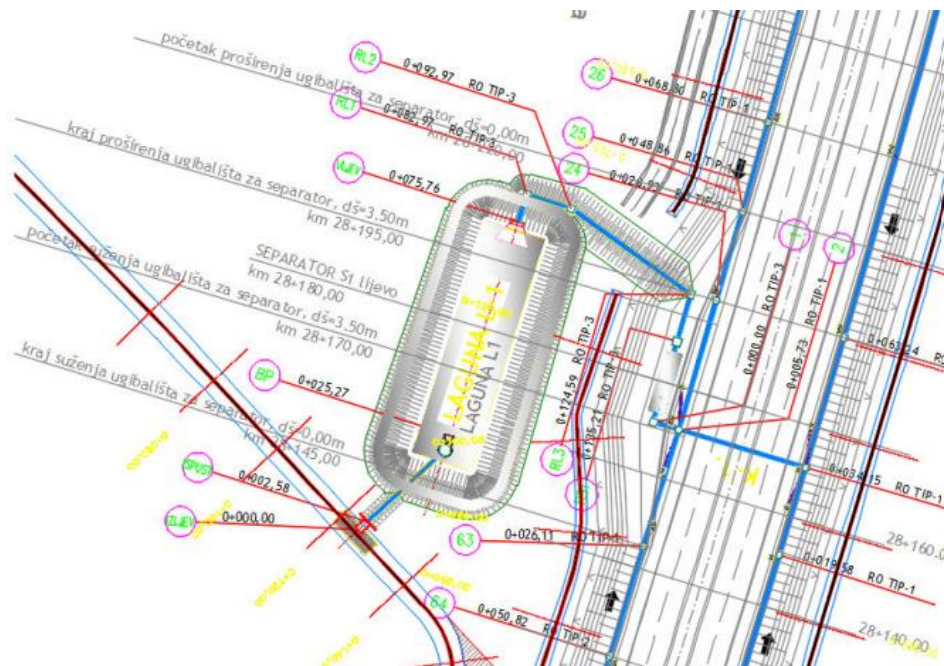
Izgradnja okana izvodi se uz pomoć dvostrane oplata i betonom klase C 30/37, pri čemu je debljina stjenke okana 25 cm. Proces izgradnje pokrovne ploče okna je identičan procesu izgradnje samog okna. Kontrola tečenja vode unutar okana provodi se na isti način kao i kod PEHD (polietilenskih) okana. Prilikom betoniranja zidova okana, posebna pažnja se posvećuje

kvaliteti spoja između cijevi i okana, jer PEHD cijevi podložne su širenju i skupljanju pod utjecajem temperatura.

Sastavni dio sustava odvodnje čine i građevine za prikupljanje voda s prometnih površina autoceste, odnosno separatori za ulje i masti. Separatori omogućuju odvajanje ulja, masti i drugih plivajućih tvari od taloženih čestica u onečišćenoj vodi. Dimenzije separatora prilagođene su hidrauličkom proračunu, a određuju se na temelju relevantnih parametara dotoka vode. Svaki separator konstruiran je tako da može zadržati i krupnije i teže čestice koje nisu ostale u slivnicima. Pročišćavanje onečišćene vode u separatoru odvija se putem taloženja nečistoća. Separatori za masti i ulje su protočni i dimenzionirani za zadržavanje 15 m³ nafte ili drugih lakih tekućina. Tokom vremena provedbe procesa taloženja, istovremeno se odvija i proces flotacije ulja, masti, nafte i naftnih derivata.

Svaki separator sastoji se od podložnog betona debljine 10 cm s određenim padom, dok je klasa betona za izradu dna, zidova pregrade i gornje ploče C 30/37. Gornja ploča separatora ima predviđene otvore dimenzija 800x800 i 1000x1000 mm te nosivost od 150 kN. Oprema separatora uključuje stupaljke, zaštitne ljestve, zapornicu za kontrolu čišćenja i pražnjenja objekta. Separator može obavljati svoju funkciju ako je ispunjen oborinskom vodom do visine zadnje pregrade, što predstavlja statički nivo vode u separatoru [3].

Laguna je depresija u terenu, koja može biti prirodna ili stvorena umjetnim putem. U ovu depresiju, povremeno se može skupljati oborinska voda. Učinkovitost procesa plavljenja, koji se događa u laguni, uklanjanju zagađujućih tvari iz vode, raste s povećanjem vremena zadržavanja vode unutar lagune [3].



Slika 17 Laguna na dionici autoceste Beli Manastir – Osijek [3]

Laguna je dimenzionirana u hidrauličkom proračunu uzimajući u obzir vremensko zadržavanje oborine od 48 sati i dubinu oborine od 12 mm koja je palala na površinu slivnog područja lagune.

Kako bih se bolje zaštitile crpne stanice „Vinogradi“ i „Livade“, voda nakon pročišćavanja u laguni ne ispušta se izravno u same crpne stanice. Umjesto toga, voda se prevozi gravitacijskim cjevovodom do odvodnog kanala, koji je opremljen odgovarajućom konstrukcijom za ispuštanje. Taj odvodni kanal ima duljinu od 10 metara i dubinu od 1 metra. Cijev koja se koristi za drenažu izrađena je od istog materijala kao i glavna cijev za odvodnju, odnosno HDPE materijala kapaciteta SN 800 [3].

6. Zaključak

Očuvanje cestovne infrastrukture od vode je od posebne važnosti zbog brojnih izazova s kojima se suočavaju prometnice. Ozbiljne prijetnje prometnoj sigurnosti i trajnosti cesta predstavljaju erozija tla, povremene poplave i oštećenja puta uslijed vode. Hidrotehničke građevine imaju ključnu ulogu u sprječavanju ovih problema, tako što kontroliraju i usmjeravaju protok oborinskih voda s prometnica i okolnog terena.

Kroz ovaj rad, saznali smo da je prijeko potrebno pravilno planiranje i dizajn hidrotehničkih građevina. Podrazumijevajući uzimanje u obzir lokalnih klimatskih uvjeta, topografije terena, opterećenja prometom te ekoloških čimbenika. Samo tako se može osigurati učinkovita odvodnja i minimizirati rizik od problema uzrokovanih vodom.

Također, ključni čimbenici su redovno čišćenje i održavanje hidrotehničkih građevina kako bi osigurali njihovo dugoročno funkcionalno djelovanje. U slučaju zanemarivanja ovog aspekta može doći do začepjenja sustava i smanjenja učinkovitosti, što dugoročno dovodi povećavanja troškova održavanja i rizik od oštećenja cesta.

Kao zaključak, hidrotehničke građevine za površinsku odvodnju prometnica imaju značajnu ulogu kako bi se očuvala cestovna infrastruktura, prometna sigurnost i zaštitio okoliš. Njihova pravilna provedba, uz poštivanje posebnosti svake lokacije, te redovito održavanje su ključni faktori za dugoročnu funkcionalnost i učinkovitost. Osim toga, konstantno ulaganje u istraživanje, inovacije i obuku osoblja u ovoj oblasti je neophodno kako bi se osiguralo održivo upravljanje površinskom odvodnjom na cestama. Samo se optimiziranim pristupom i suradnjom svih sudionika može raditi na očuvanju kvalitete cesta i okoliša za buduće generacije.

7. Literatura

7.1. Popis izvora

- [1] P. Čerčić, “Odvodnja prometnica u kršu,” Završni rad, Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2018.
- [2] D. Skoko, “Projektiranje i proračun kolničke konstrukcije vjetroparkova,” Završni rad Sveučilište Sjever, 2018.
- [3] F. Knežević, “Izbor mehanizacije i analiza učinka kod izvođenja trase ceste u urbanim sredinama,” Diplomski rad, Građevinski fakultet, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, 2016.
- [4] K. Gospić, “Odvodnja prometnica,” Završni rad, Sveučilište Sjever, 2015.
- [5] The Department of the Environment Heritage and Local Government, *Guidelines for Road Drainage*. 2004. [Online]. Available: <https://www.roadex.org/wp-content/uploads/2014/01/Guidelines-on-Road-Drainage.pdf>
- [6] B. Epet, “Unutarnja i vanjska odvodnja prometnica,” Završni rad, Sveučilište Sjever, 2016.
- [7] “Odvodnja prometnica.” [http://grad.hr/nastava/hidrotehnika/gf/odvodnja/predavanja/ODVODNJA PROMETNICA.pdf](http://grad.hr/nastava/hidrotehnika/gf/odvodnja/predavanja/ODVODNJA_PROMETNICA.pdf)
- [8] S. Prišlič, “Zaštita od poplava na neregularnim dijelovima vodotoka,” Završni rad, Sveučilište Sjever, 2016.
- [9] D. Tešinski, “Dimenzioniranje hidrotehničkih objekata na sustavu površinske odvodnje,” Diplomski rad, Agronomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2021.
- [10] I. Šimunić and A. Špoljar, *Tloznanstvo i popravak tla (II dio)*. Križevci: Visoko gospodarsko učilište u Križevcima, 2007.
- [11] M.- Cindori Kovačević, *Priručnik za projektiranje cesta*. Zagreb, 2016. [Online]. Available: http://ss-graditeljska-zg.skole.hr/upload/ss-graditeljska-zg/images/static3/2021/File/PRIRUČNIK_ZA_PROJEKTIRANJE_CESTA.pdf
- [12] “Highway drainage,” 2019. <https://abhashacharya.com.np/wp->

content/uploads/2019/02/Highway-Drainage.pdf

- [13] “Culverts,” Mustansiriyah University, 2021.
- [14] V. Dragčević and R. Rukavina, *Donji ustroj prometnica*. Zagreb: Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2006.
- [15] “Culverts,” 2001. [Online]. Available: https://www.fcgov.com/utilities/img/site_specific/uploads/UDFCD_V_2_Chapter_9_Culverts.pdf
- [16] “Kako iskopati i ojačati odvodni jarak.” <https://ihome.techinfus.com/hr/kanalizaciya/vodootvodnaa-kanava/>
- [17] B. Beraković, N. Kuspilić, and M. Pršić, *Hidrotehničke građevine*. Zagreb: Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2011. [Online]. Available: http://www.grad.hr/nastava/hidrotehnika/gf/hidrotehnicke_gradevine/nastavni_materijali/Dio1/HG_dio1_2011.pdf
- [18] ACO sustavi odvodnje, “Koridor Vc,” 2014. https://www.aco.hr/fileadmin/standard/aco_hr/Case_study/Koridor_Vc.pdf

7.2. Popis slika

Slika 1 Povijesni razvoj sustava plitkih drenaža [4]	9
Slika 2 Presjek i pogled drenažne cijevi [6]	9
Slika 3 Plastična drenažna cijev na podlozi od betona [4]	10
Slika 4 Načini izvedbe drenaže [11]	12
Slika 5 Različiti oblici propusta [13]	13
Slika 6 Položaj propusta s obzirom na os ceste [14]	14
Slika 7 Djelovanje vode na prometnicu [2]	18
Slika 8 Odvodni jarci [14]	20
Slika 9 Trapezni odvodni jarak [14]	21
Slika 10 Segmentni dovodni jarak [14]	22
Slika 11 Trokutasti odvodni jarak [14]	22
Slika 12 Zaštitni jarak [4]	23
Slika 13 Rigoli [1]	24
Slika 14 Katastarski plan [17]	28
Slika 15 PEHD cijevi [3]	35
Slika 16 PEHD okna i slivnik [3]	36
Slika 17 Laguna na dionici autoceste Beli Manastir – Osijek [3]	38



7.3. Popis tablica

Tablica 1 Izgrađenost sustava površinske odvodnje [9]	5
Tablica 2 Izgrađenost sustava površinske odvodnje [9]	17