

**Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet**

**Međunarodni centar za istraživanje i obuku u oblasti  
urbanog odvodnjavanja IRTCUD**



# **ODVODNJAVANJE PUTEVA**

Aleksandar Đukić

Miloš Stanić

Jasna Plavšić

Jovan Despotović

Beograd, 2022.

Dr Aleksandar Đukić, dipl. građ. inž.,  
docent Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu  
Dr Miloš Stanić, dipl. građ.inž.,  
vanredni profesor Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu  
Dr Jasna Plavšić, dipl. građ. inž.,  
redovni profesor Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu  
Dr Jovan Despotović, dipl. građ. inž.,  
redovni profesor Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu  
u penziji

## **ODVODNJAVANJE PUTEVA**

Izdavač: Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet, Beograd,  
Bulevar kralja Aleksandra 73, [www.grf.bg.ac.rs](http://www.grf.bg.ac.rs)

Suizdavač: Međunarodni centar za istraživanje i obuku u oblasti urbanog  
odvodnjavanja IRTCUD doo, Beograd-Palilula

Recenzenti:

Dr Marko Ivetić, dipl. građ. inž., redovni profesor Univerziteta u Beogradu  
Dr Goran Sekulić, dipl. građ. inž., redovni profesor Univerziteta Crne Gore  
Dr Borislava Blagojević, dipl. građ. inž, docent Univerziteta u Nišu

Glavni i odgovorni urednik: prof. dr Vladan Kuzmanović, dekan

Odobreno za štampu odlukom Nastavno naučnog veća Građevinskog  
fakulteta Univerziteta u Beogradu od 27.01.2022. godine.

Štampa: Akademska misao, Beograd

Tiraž: 250

CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

625.745.4(075.8)

**ODVODNJAVANJE puteva** / Aleksandar Đukić ... [et al.]. - Beograd :  
Univerzitet, Građevinski fakultet : Međunarodni centar za istraživanje i obuku u  
oblasti urbanog odvodnjavanja IRTCUD, 2022 (Beograd : Akademska misao). -  
XIV, 202 str. : ilustr. ; 24 cm

Tiraž 250. - Bibliografija uz svako poglavlje. - Summary.

ISBN 978-86-7518-222-1

1. Ђукић, Александар, 1965- [аутор]  
а) Путеви -- Одводњавање

COBISS.SR-ID 63689993

## Sadržaj

<b>PREDGOVOR .....</b>	<b>XII</b>
<b>FOREWORD .....</b>	<b>XIII</b>
<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. HIDROLOŠKE ANALIZE.....</b>	<b>5</b>
2.1. Uvodna razmatranja .....	5
2.1.1. Vrste hidroloških analiza .....	6
2.1.1.1. Izučeni slivovi.....	6
2.1.1.2. Neizučeni slivovi .....	7
2.1.2. Merodavne veličine kao predmet hidroloških analiza.....	8
2.1.3. Verovatnoća i povratni period velikih voda.....	8
2.2. Maksimalni protoci na izučenim slivovima .....	10
2.3. Kiše kao ulaz za proračun oticaja .....	11
2.3.1. Opšta razmatranja .....	11
2.3.2. Zavisnosti visine i intenziteta kiša od trajanja i povratnog perioda (HTP i ITP) .....	13
2.3.3. Preporuke za izbor računске kiše .....	14
2.3.4. Računska kiša konstantnog intenziteta ("blok kiša") .....	15
2.3.5. Računska kiša neravnomernog intenziteta .....	16
2.3.5.1. Kiša sa naizmeničnim blokovima .....	17
2.3.5.2. Statistički oblici računске kiše .....	19
2.4. Proračun oticaja na osnovu računskih kiša .....	20
2.4.1. Oticaj od kišnih voda.....	21
2.4.1.1. Faktori koji utiču na vezu između padavina i oticaja....	22
2.4.1.2. Opisivanje hidrograma oticaja .....	23
2.4.1.3. Efektivna kiša i direktni oticaj .....	24
2.4.2. Vreme koncentracije.....	25
2.4.2.1. Vreme koncentracije za oticaj sa kolovoza.....	25
2.4.2.2. Vreme koncentracije za oticaj sa prirodnih slivova .....	30
2.4.3. Racionalna metoda.....	30
2.4.3.1. Osnovne postavke .....	30
2.4.3.2. Procena vremena koncentracije .....	32
2.4.3.3. Izbor koeficijenta oticaja .....	33
2.4.3.4. Izbor računске kiše .....	33
2.4.3.5. Primena racionalne metode na više slivnih površina u nizu.....	34
2.4.4. Metode za proračun oticaja sa slivnih površina do profila ukrštanja vodotoka sa putem .....	38

2.4.4.1. Proračun efektivne kiše metodom SCS.....	38
2.4.4.2. Jedinični hidrogram .....	43
2.4.4.3. Sintetički jedinični hidrogram po SCS metodi .....	44
2.4.4.4. Sintetički jedinični hidrogram po Brajkoviću i Jovanoviću .....	46
2.4.5. Matematički modeli za proces padavine-oticađ.....	51
2.4.5.1. HEC-HMS .....	51
2.4.5.2. EPA SWMM .....	52
2.5. Retenziranje voda .....	52
2.5.1. Opšta razmatranja .....	52
2.5.2. Vrste retenzionih prostora .....	54
2.5.3. Hidrološki proračuni za dimenzionisanje retenzionih prostora .....	55
2.5.3.1. Početna procena potrebne zapremine .....	55
2.5.3.2. Kriva zapremine .....	56
2.5.3.3. Kriva protoka na izlazu iz retenzionog prostora.....	57
2.5.3.4. Infiltracija i isparavanje.....	57
2.5.3.5. Transformacija hidrograma u retenzionom prostoru ...	58
2.5.3.6. Vodni bilans.....	59
2.5.3.7. Retenzioni prostori sa trajnim zadržavanjem vode.....	59
2.6. Literatura uz poglavlje 2.....	61

### **3. SISTEMI ZA ODVOĐNJAVANJE..... 65**

3.1. Kriterijumi za projektovanje .....	66
3.3.1. Povratni period kiša .....	66
3.3.2. Merodavni protoci.....	66
3.2. Prikupljanje kišnog oticaja .....	68
3.3.1. Podužni i poprečni nagib kolovoza .....	68
3.3.2. Tečenje uz ivičnjak .....	69
3.3.3. Vreme putovanja kišnog oticaja do slivnika $t_0$ .....	72
3.3.4. Slivnici .....	74
3.2.4.1. Proračun efikasnosti slivnika.....	74
3.2.4.2. Određivanje rastojanja između slivnika .....	79
3.3. Odvođenje vode.....	83
3.3.1. Sistem zatvorenih kolektora .....	84
3.3.1.1. Proračun propusne moći kolektora kružnog poprečnog preseka .....	85
3.3.1.2. Proračun gubitaka energije usled trenja u kolektorima kružnog poprečnog preseka.....	88
3.3.1.3. Kritična dubina i kritičan nagib kolektora kružnog poprečnog preseka .....	91
3.3.1.4. Minimalne dimenzije kolektora .....	93
3.3.1.5. Maksimalni i minimalni nagibi kolektora .....	93
3.3.1.6. Punjenje cevi – kolektora pri merodavnom protoku.....	96
3.3.1.7. Minimalne i maksimalne dubine ukopavanja kolektora.....	96

3.3.1.8. Raspodela ukupnog pada na pojedine deonice - kanale .....	97
3.3.2. Sistem otvorenih kanala .....	98
3.3.2.1. Provera eroziona stabilnosti kanala .....	99
3.3.3. Objekti na sistemu za odvođenje vode .....	100
3.3.3.1. Cevni materijali .....	100
3.3.3.2. Revizioni silazi (okna) .....	102
3.3.3.3. Kaskade .....	104
3.3.3.4. Retenzije .....	107
3.3.3.5. Objekti za prečišćavanje kišnih voda .....	108
3.3.3.6. Infiltracioni bazeni .....	108
3.3.3.7. Ispusti .....	114
3.3.3.8. Propusti .....	115
3.3.4. Potpovršinsko odvodnjavanje - drenaže .....	121
3.3.4.1. Drenažne cevi .....	122
3.3.4.2. Materijali za zasipanje .....	123
3.3.4.3. Drenažne trake .....	124
3.3. Literatura uz poglavlje 3 .....	125

#### **4. ZAŠTITA VODA I TLA OD ZAGAĐENJA..... 127**

4.1. Kvalitet oticaja i uticaji na životnu sredinu .....	127
4.1.1. Vrste, poreklo i dinamika zagađenja u površinskom oticaju sa puteva i saobraćajnica .....	128
4.1.1.1. Poreklo i karakteristike zagađenja .....	128
4.1.1.2. Akumulacija zagađenja .....	129
4.1.1.3. Spiranje zagađenja kišom .....	135
4.1.1.4. Akumulisanje i spiranje zagađenja u snežnom pokrivaču .....	138
4.1.2. Kvalitet oticaja sa puteva i saobraćajnica i uticaji na životnu sredinu .....	138
4.1.2.1. Proces u vodama od značaja za kvalitet oticaja .....	138
4.1.2.2. Prvo spiranje zagađenja .....	141
4.1.2.3. Kvalitet oticaja i količine zagađenja u oticaju sa različitih površina .....	143
4.1.2.4. Efekti zagađenja u oticaju na životnu sredinu .....	145
4.2. Modeliranje tečenja i kvaliteta kišnog oticaja .....	148
4.2.1. Osnovne postavke i postupak modeliranja .....	149
4.2.1.1. Opšti postupak modeliranja .....	149
4.2.2. Modeliranje tečenja .....	150
4.2.2.1. Površinski oticaj .....	150
4.2.2.2. Infiltracija .....	151
4.2.2.3. Isparavanje .....	153
4.2.2.4. Modeliranje tečenja u mreži kanala i cevi .....	153
4.2.2.5. Simultano modeliranje tečenja po površini terena i u mreži kanala .....	155
4.2.3. Modeliranje transporta i transformacije sastojaka (zagađenja) .....	156

---

4.2.3.1. Empirijski modeli .....	157
4.2.3.2. Statistički formulisani modeli .....	157
4.2.3.3. Deterministički modeli.....	157
4.2.3.4. Stohastički modeli .....	158
4.2.3.5. Modeli sive kutije.....	159
4.2.3.6. Podela modela prema načinu modeliranja spiranja, transporta i transformacije zagađenja.....	159
4.2.4. Softverski paketi.....	160
4.3. Zahtevi u pogledu zaštite vodnih resursa i tla od zagađenja.....	166
4.3.1. Regulatorna SAD .....	168
4.3.2. Regulatorna EU .....	170
4.4. Procena osetljivosti područja na zagađivanje .....	172
4.4.1. Načini zagađivanja vode i tla.....	174
4.4.2. Procena osetljivosti područja .....	175
4.4.2.1. Povredljivost vodonosnog sloja.....	175
4.4.2.2. Izloženost izvorišta vode .....	175
4.4.2.3. Osetljivost vodonosnog sloja .....	176
4.4.3. Načini zaštite podzemnih voda i tla.....	177
4.4.4. Zaštita površinskih voda .....	179
4.4.5. Plan preventivnih mera .....	180
4.5. Metode za kontrolu količina i kvaliteta oticaja sa puteva i saobraćajnica.....	181
4.5.1. Kontrola količina otekle vode.....	182
4.5.2. Metode prečišćavanja vode .....	183
4.5.2.1. Gravitaciona separacija – taloženje .....	184
4.5.2.2. Gravitaciona separacija – flotacija.....	188
4.5.2.3. Separatori za lake tečnosti.....	189
4.5.2.4. Retenzioni i infiltracioni bazeni.....	194
4.6. Literatura uz poglavlje 4.....	195
<b>SUMMARY .....</b>	<b>199</b>

## Spisak slika

Slika 1: Podela drenažnih sistema saobraćajnica .....	2
Slika 2: Primer zavisnosti HTP za pluviografsku stanicu Beograd-Vračar [11].....	13
Slika 3: Blok kiša ili računska kiša konstantnog intenziteta .....	15
Slika 4: Tipovi oblika računskih kiša u zavisnosti od vremena pojave najvećeg intenziteta .....	17
Slika 5: Hijetogrami računskih kiša dobijeni metodom naizmeničnih blokova za primer 2.1 sa pozicijom maksimalnog intenziteta na polovini (a) i na četvrtini (b) trajanja kiše.....	19
Slika 6: Bezdimezionalni oblici kiša trajanja 60 minuta za stanicu Beograd-Vračar za različite verovatnoće pojave „strmijeg“ oblika [25].....	20
Slika 7: Osnovni elementi hidrograma velikih voda sa podelom na bazni i direktni oticaj .....	23
Slika 8: Hidrogrami oticaja po racionalnoj metodi za različita trajanja $t_k$ kiše konstantnog intenziteta u odnosu na vreme koncentracije $t_c$ : 1) slučaj $t_k = t_c$ , 2) slučaj $t_k > t_c$ , 3) slučaj $t_k < t_c$ .....	31
Slika 9: Hipotetički primer sliva za proračun merodavnih protoka pomoću racionalne metode u primeru 2.3 .....	36
Slika 10: Dijagram odnosa ukupne i efektivne kiše po SCS metodi .....	39
Slika 11. Sintetički jedinični hidrogram prema SCS.....	45
Slika 12: Zavisnost koeficijenta $r$ u jednačini (6) od površine sliva (prema [16]).....	47
Slika 13: Zavisnost parametra $a$ u jednačini (7) od površine sliva (prema [17]).....	48
Slika 14: Merodavni hidrogram 50-godinšnje velike vode u primeru 2.4.....	50
Slika 15. Efekat retenziranja voda .....	53
Slika 16. Početna procena potrebne zapremine retenzionog prostora (prema [9]) .....	56
Slika 17. Proračun zapremina vode u retenziji pomoću sumarnih linija dotoka i isticanja .....	60
Slika 18. Shematski prikaz osnovnih elemenata sistema za odvodnjavanje: poprečni ( $S_x$ ), podužni nagib kolovoza ( $S_p$ ), širina kolovoza ( $B$ ), širina plavljenja ( $b$ ), rastojanje između slivnika ( $L_s$ ) .	65
Slika 19: Hidrogram oticaja po racionalnoj metodi za kišu konstantnog intenziteta trajanja jednakog vremenu koncentracije.....	67
Slika 20: Tečenje uz ivičnjak.....	70
Slika 21: Shematski prikaz elemenata za proračun propusne sposobnosti trougaonog poprečnog preseka .....	70
Slika 22: Shematski prikaz tipova slivnika [1] .....	74
Slika 23: Shematski prikaz plavljenja kolovoza pri padavinama različitog povratnog period ( $T_p=5, 10, 20$ god.) [1].....	75

---

Slika 24: Shematski prikaz elemenata za proračun efikasnosti slivnika .....	76
Slika 25: Granična maksimalna brzina $v_0$ u zavisnosti od dužine slivnika L u pravcu toka .....	77
Slika 26: Dijagram $Q/Q_{pp}$ , $h/h_{pp}$ i $v/v_{pp}$ za kružni profil.....	85
Slika 27: Shematski prikaz sila koje deluju na tok vode pri uniformnom tečenju u kolektoru.....	95
Slika 28: Shematski presek rova u koji se ugrađuje kolektor prečnika od 300 do 800mm .....	98
Slika 29: Trapezni kanal.....	99
Slika 30: Tipski kružni revizionni silaz za kružne kolektore prečnika do 500mm.....	103
Slika 31: Vertikalni presek revizionog sliaza za kolektore većih prečnika..	104
Slika 32: Vertikalni presek i osnova obične kaskada u revizioniom oknu, primenjiva za denivelacije $H < 40$ cm .....	105
Slika 33: Primer konstrukcije kaskade sa odbojnim zidom [11].....	106
Slika 34: Presek kroz kaskadu sa prelivom praktičnog profila i bučnicom [11].....	107
Slika 35: Shematski prikaz elemenata za proračun infiltracionog bazena.	109
Slika 36: Shematski prikaz elemenata za proračun infiltracionog bazena sa upojnim bunarima .....	112
Slika 37: Shematski prikaz propusta kod koga se ostvaruje kritična dubina na ulazu .....	116
Slika 38: Shematski prikaz propusta kod koga se ostvaruje kritična dubina na izlazu .....	118
Slika 39: Shematski prikaz propusta kod koga se ostvaruje sužena dubina na ulazu .....	120
Slika 40: Shematski prikaz propusta kod koga se ostvaruje tečenje pod pritiskom .....	121
Slika 41: Shematski prikaz pomene ukupne količine zagađenja na površini kroz vreme usled smene perioda sa i bez padavina .....	128
Slika 42: Izmerene vrednosti i funkcije akumulisanja zagađenja za HPK, TSS i TN za asfaltne (a) i betonske (b) površine u Beogradu [5] ..	133
Slika 43: Izmerene vrednosti i funkcije akumulisanja zagađenja za TP, Zn i Cr za asfaltne (a) i betonske (b) površine u Beogradu [5].....	134
Slika 44: Granulometrijska kriva ispitivane čvrste faze [23].....	141
Slika 45: $M(V)$ kriva zavisnosti $f_k$ i $f_q$ - primer dijagrama gde se javlja prvo spiranje jer prvih 20% zapremine oticaja odnese 50% ukupno spranog zagađenja tokom razmatrane kišne epizode .....	142
Slika 46: Vremenska skala efekata na vode usled povremenog izlivanja zagađenja .....	146
Slika 47: Prostorne i vremenske skale efekata na vodoprijemnike .....	147
Slika 48: Koncept površinskog oticanja [38].....	150
Slika 49: Prikaz modeliranog dela mosta „Gazela“ [47] .....	161
Slika 50: Hijetogram osmotrenih kiša na kišomeru GRF u periodu od 24.3.2014. do 23.8.2014. [47].....	163
Slika 51: Hidrogram ukupnog oticaja sa analizirane slivne površine mosta za period osmotrenih kiša [47] .....	164



---

Slika 52: Dnevni maseni protoci TSS u oticaju sa analizirane slivne površine mosta za period osmotrenih kiša [47].....	165
Slika 53: Promena količine ukupnog spranog zagađenja za različite učestalosti i efikasnosti čišćenja leve strane mosta Gazela za osmotrene kiše 2014. godine .....	166
Slika 54: Shematski prikaz sila koje deluju na idealnu sfernu česticu koja tone u mirnoj vodi .....	185
Slika 55: Idealna pravougaona taložnica sa horizontalnim tokom [56].....	187
Slika 56: Vertikalni presek kroz pravougaoni bazen za flotaciju sa horizontalnim tokom [56].....	188
Slika 57: Tipični separatori ulja: A) - konvencionalni separator sa tri komore; B) i C) - separatori sa tri komore i koalescentim filterom.....	190
Slika 58: Separator bez (levo) i sa obilaznom vodom (desno): 1 – dovod, 2- separator ulja, 3 – odvod, 4 – obilazni vod.....	192

## Spisak tabela

Tabela 1: Primer proračuna računске kiše sa naizmeničnim blokovima za trajanje kiše od 60 minuta i poziciju maksimalnog intenziteta na polovini (a) i na četvrtini (b) trajanja kiše .....	18
Tabela 2. Pregled obrazaca za određivanje vremena koncentracije [2], [33] ..	26
Tabela 3. Koeficijenti hrapavosti po Maningu (prema [8], [14], [32]) .....	28
Tabela 4: Približne prosečne brzine (m/s) površinskog tečenja za proračun vremena koncentracije po SCS metodi brzina [2].....	27
Tabela 5: Koeficijent oticaja u racionalnoj metodi [32] .....	34
Tabela 6. Definicija uslova prethodne vlažnosti tla po SCS metodi [2].....	40
Tabela 7: Hidrološke grupe tla prema SCS[6], [21] .....	40
Tabela 8: Hidrološki uslovi za oticanje pri izboru broja CN [21] .....	40
Tabela 9: Hidrološki brojevi CN za urbane oblasti (za prosečne uslove vlažnosti na slivu i $F_0 = 0,2d$ ) [21] .....	41
Tabela 10: Hidrološki brojevi CN za ruralne oblasti (za prosečne uslove vlažnosti na slivu i $F_0 = 0,2d$ )[6], [21] .....	42
Tabela 11: Proračun elemenata sintetičkog jediničnog hidrograma u primeru 2.4 .....	49
Tabela 12: Proračun elemenata sintetičkog jediničnog hidrograma u primeru 2.4 .....	49
Tabela 13. Proračun kritična maksimalne brzine $v_0$ , za slivnike tipa 1.a.....	77
Tabela 14. Proračun efikasnosti slivnika i širine plavljenja kolovoza.....	83
Tabela 15. Protoci i brzine u punom profilu kružnih kolektora za različite nagibe (za Maningov koeficijent od $0,013 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ , što odgovara apsolutnoj hrapavosti zidova cevi od 1,5 mm) .....	91
Tabela 16. Minimalni i maksimalni nagibi kružnih kolektora za različite usvojene minimalne i maksimalne brzine u punom profilu.....	95
Tabela 17. Dozvoljeni tangencijalni naponi za neobložene i obložene kanale .....	100
Tabela 18: Minimalni zahtevi za geotekstil za podpovršinsko odvodnjavanje .....	124
Tabela 19: Zahtevane osobine drenažnih traka .....	125
Tabela 20: Rezultati analiza sadržaja nutrijenata i teških metala u čvrstoj fazi [23] .....	140
Tabela 21: Opsezi koncentracija parametara zagađenja u kišnom oticaju sa urbanih slivova [35].....	143
Tabela 22: Tipična godišnja opterećenja zagađenjem od kišnog oticaja sa jedinice površine različitih namena u kg/ha.god [1].....	145
Tabela 23: Funkcije akumulisanja i spiranja zagađenja i vrednosti koeficijenata korišćenih za modeliranje zagađenja.....	163
Tabela 24: Iskustvene vrednosti koeficijenata filtracije tla i stena.....	173
Tabela 25: Iskustvene vrednosti efektivne poroznosti $m_{ef}$ za različite vrste tla i stena .....	173

---

Tabela 26: Stepni povredivosti vodonosnog sloja .....	175
Tabela 27: Stepni izloženosti izvorišta vode (vodnog resursa) .....	176
Tabela 28: Klasifikacija osetljivosti vodonosnog sloja prema povredivosti i izloženosti.....	176
Tabela 29: Klasifikacija osetljivosti vodonosnog sloja prema povredivosti i izloženosti.....	177
Tabela 30: Klasifikacija osetljivosti vodonosnog sloja prema povredivosti i izloženosti.....	178
Tabela 31: Orijentacione brzine taloženja sfernih diskretnih čestica u mirnoj vodi na 10°C.....	186

## Predgovor

Knjiga „Odvodnjavanje puteva“ sumira iskustva autora stečena u istraživačkim i privrednim projektima odvodnjavanja naselja i saobraćajnica urađenih na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu i Međunarodnom centru za istraživanje i obuku u oblasti urbanog odvodnjavanja IRTCUD - centru druge kategorije pod pokroviteljstvom UNESCO-a, koji radi pri Građevinskom fakultetu već duže od tri decenije. Namenjena je prvenstveno istraživačima i studentima master i doktorskih studija na Građevinskom fakultetu, ali i inženjerima koji se bave problematikom odvodnjavanja puteva i gradskih saobraćajnica u praksi.

Problematika odvodnjavanja puteva i saobraćajnica je obrađena u ukupno četiri poglavlja. Uvodno poglavlje definiše osnovne pojmove i podelu sistema za odvodnjavanje puteva. Drugo poglavlje detaljno obrađuje hidrološke metode i postupke za analizu i definisanje merodavnih hidroloških veličina za dimenzionisanje sistema za sakupljanje i odvođenje vode sa saobraćajnica i okolnog terena, kao i za određivanje merodavnih hidroloških veličina vodotoka na mestima njihovog ukrštanja sa trasom puta. Treće poglavlje detaljno prikazuje postupke hidrauličkih proračuna i dimenzionisanja različitih objekata i sistema za odvodnjavanje puteva, uključujući geometrijske karakteristike puta za potrebe odvođenja vode, raspored slivnika, otvorene i zatvorene drenaže, sisteme za retenziranje i infiltraciju kišnih voda i drugo. Četvrto poglavlje obrađuje problematiku zagađenja koje padavine spiraju sa kolovoza i potencijalne uticaje ovog zagađenja na vode i životnu sredinu. Prikazani su načini modeliranja procesa akumuliranja, spiranja i transporta zagađenja površinskim oticajem. Razmatrani su zahtevi u pogledu zaštite voda i tla na izbor trase puta i sistema drenaže puta, kao i pojedini postupci i objekti za kontrolu i smanjenje negativnih uticaja na životnu sredinu zagađenja koje se spira sa kolovoza.

Pored teorijskih razmatranja data su i praktična uputstva gde je to bilo potrebno, a primena prikazanih metoda analiza i proračuna je ilustrovana kroz rešene primere u drugom, trećem i četvrtom poglavlju. Na kraju svakog poglavlja dat je spisak citirane literature gde čitaoci mogu naći dodatne informacije o problematici obrađenoj u ovoj knjizi.

Beograd, decembar 2021.

Autori

## Foreword

This book summarizes the authors' experiences gained through years of research and design of road drainage projects at the Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade and the International Research and Training Centre on Urban Drainage IRCUD – a Category 2 Centre under the auspices of UNESCO which has been operating within the Faculty of Civil Engineering for over three decades. It is intended primarily for researchers, graduate and postgraduate students at the Faculty of Civil Engineering, as well as the engineers tackling the problems of road and highway drainage in practice.

Road and highway drainage is elaborated in four chapters. The introductory chapter defines the basic concepts and types of road drainage systems. The second chapter deals in detail with hydrological methods and procedures for analyzing and defining relevant hydrological parameters for sizing of road surface collection and conveyance facilities and the surrounding terrain, as well as for determining design flows of road-stream crossings. The third chapter elaborates, in detail, the hydraulic calculations and design procedures of various facilities and systems for road drainage, including geometric road characteristics, inlet positioning, open and closed drainage, rainwater retention and infiltration systems and more. The fourth chapter deals with the issue of road runoff pollution and the potential impact of this pollution on water and the environment. Modeling methods of the processes of pollution buildup, washoff and transport by surface runoff are presented. The impacts of the requirements regarding water and soil protection from road runoff pollution on selection of road routes and the types of drainage systems are considered, as well as certain procedures and facilities for the control and reduction of adverse environmental impacts thereof.

In addition to theoretical considerations, practical instructions are given where necessary, and application of the presented methods of analysis and calculation are illustrated in the solution examples provided in the second, third and fourth chapters. At the end of each chapter, there is a list of cited literature where readers can find additional information on the issues covered in this book.

Belgrade, December 2021.

Authors



# 1. Uvod

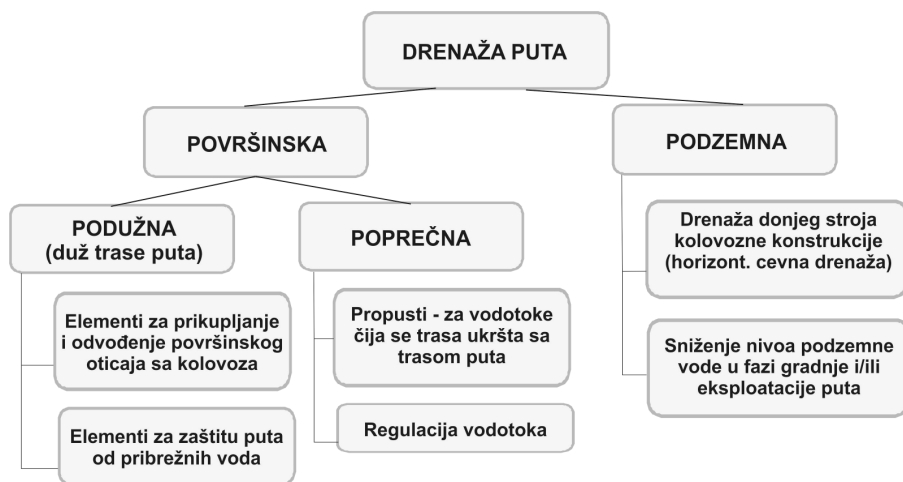
Sistem za odvodnjavanje saobraćajnica ima zadatak da na efikasan i racionalan način sakupi i odvede kišni oticaj sa kolovoza pri pojavi merodavnih padavina. Osnovni cilj je povećanje bezbednosti saobraćaja, imajući u vidu da se saobraćaj tokom padavina odvija otežano zbog formiranja sloja vode na kolovozu. Pored ovoga, zadržavanje i slivanje vode sa kolovoza, ako se ne vrši na pravilan i kontrolisani način, može dovesti do oštećenja kolovoza, povećane erozije okolnog zemljišta, ugrožavanja stabilnosti kosina pored puta u drugih problema u eksploataciji.

Funkcionalnost puta, kao i njegov uticaj na okolinu, u mnogome zavisi od pravilno projektovanog, kvalitetno izgrađenog i dobro održavanog drenažnog sistema.

Osnovni faktori koji utiču na zadržavanje vode na kolovozu i širinu plavljenja kolovoza su: poprečni i podužni nagib kolovoza, rastojanje između slivnika, intenzitet kiše i hrapavost kolovozne površine. Izbor geometrijskih elemenata trase i tipa kolovozne površine od presudnog je značaja za odvodnjavanje puta, pa je o ovim problemima potrebno razmišljati već u fazi postavljanja trase puta.

Generalna podela drenažnih sistema saobraćajnica prema njihovom položaju i nameni data je na slici 1.

Ova knjiga je fokusirana prvenstveno na hidrauličke aspekte površinske drenaže saobraćajnica i pravilno uključenje prostornih i geometrijskih zahteva površinskih drenaža prilikom trasiranja i projektovanja puteva i saobraćajnica. Detaljno su obrađeni elementi podužne drenaže puta kao i propusti – poprečna drenaža puta na mestu ukrštanja puta sa vodotokom. Regulacija vodotoka na mestu njegovog ukrštanja sa putem je veoma kompleksna problematika koja prevazilazi obim ove knjige, te se čitalac ovde upućuje na obimnu literaturu iz oblasti hidraulike otvorenih tokova i regulacije reka. Takođe, podzemne drenaže donjeg stroja kolovozne konstrukcije i problematika obaranja nivoa podzmene vode nisu posebno obrađene u ovoj knjizi jer se ova obimna problematika detaljno izučava u okviru hidraulike podzemnih voda i drenažnih sistema.



Slika 1: Podela drenažnih sistema saobraćajnica

U pogledu kriterijuma za analizu i dimenzionisanje drenažnih sistema, kod površinskih podužnih drenaža kriterijumi se svode na definisanje dozvoljene širine plavljenja kolovoza pri merodavnim padavinama određene verovatnoće pojave. Zahtevani nivoi zaštite zavise od: ranga puta, računске brzine, saobraćajnog opterećenja, ekonomskih kriterijuma – potencijalnih oštećenja kolovoza, i drugih faktora. Minimalni zahtevi se primenjuju na elemente podužne drenaže lokalnih puteva sa malim obimom saobraćaja. U tom slučaju, merodavne za dimenzionisanje su kiše povratnog perioda 2 do 5 godina uz dozvoljenu širinu plavljenja polovine vozne trake. Maksimalni zahtevi se primenjuju na elemente podužne drenaže autoputeva koji se dimenzionišu na kiše povratnog perioda najmanje 10 godina uz dozvoljeno plavljenje samo zaustavne trake.

Kod površinskih poprečnih drenaža (propusti na ukrštanju puta sa vodotokom), koji se smatraju osetljivijim elementima drenažnog sistema jer mogu dovesti do plavljenja i oštećenja kolovoza, za proračun merodavnih protoka u vodotoku sa kojim se put ukršta se koriste merodavne padavine dužih povratnih perioda: od 10 do 100 godina.

Iz svega navedenog jasna je važna uloga i hidroloških analiza u pravilnom projektovanju elemenata drenaže saobraćajnica. Zbog toga je njima posvećeno posebno poglavlje ove knjige koje sadrži niz konkretnih uputstava i kriterijuma za njihovo sprovođenje. Hidrološke analize se generalno sastoje od:



- analiza kiša kratkog trajanja i formiranja ITP krivih za lokaciju puta koji se projektuje,
- proračuna merodavnih protoka (hidrograma) za dimenzionisanje propusta i regulaciju vodotoka.

Prema dosadašnjoj praksi površinska podužna drenaža saobraćajnica se može podeliti na:

- Zatvoren sistem koji podrazumeva potpuno razdvajanje zagađenog oticaja sa kolovoza od površinskog oticaja koji gravitira prema kolovozu (pribrežne vode). Ovakav koncept treba primeniti i kada se predviđa prečišćavanje zagađenog kišnog oticaja sa kolovoza. Varijante zatvorenog sistema su:
  - o ivičnjak (rigola), slivnik, kolektor, izliv;
  - o ivičnjak, koruba (brzotok niz kosinu), putni kanal, izliv;
  - o kombinacija prethodna dva.
- Otvoren sistem je drenažni sistem u kome voda sa kolovoza završava u putnom kanalu koji prihvata i pribrežne, po pravilu nezagađene, vode. Sakupljeni kišni oticaj se bez prečišćavanja izliva u recipijent.

U dosadašnjoj praksi čest je slučaj primene otvorenog sistema u kome se voda sa kolovoza odvodi poprečnim padom preko berme i kosine puta, odakle se slobodno izliva na teren ili u kanal uz put. Međutim, ovakav način odvodnjavanja ne vodi računa o potencijalnim uticajima zagađenja koje nosi voda sa kolovoza na životnu sredinu.

Pored povećanja bezbednosti odvijanja saobraćaja u uslovima padavina, ciljevi sistema za odvodnjavanje saobraćajnica proteklih decenija sve više uključuju i ciljeve očuvanja životne sredine. Kišni oticaj sa puteva sadrži različita zagađenja koji su posledica odvijanja motornog saobraćaja i uključuju suspendovane materije i supstance koje su za njih vezane (teški metali, organske materije i dr.), ulja i masti (povremeno su prisutna), kao i druga specifična zagađenja u zavisnosti od lokalnih uslova. Ova zagađenja mogu biti posledica redovnog odvijanja saobraćaja ili posledica akcidentnih situacija kao što su kvarovi vozila ili saobraćajni udesi. Kvalitet kišnog oticaja sa saobraćajnica karakterišu velike varijacije protoka i zagađenja, kako po vremenu tako i po prostoru, tako da još uvek nije usvojen jedinstveni pristup i zakonska regulativa koja bi jednoznačno regulisala zahteve u pogledu mera za zaštitu voda i zemljišta od zagađenja površinskim oticajem sa saobraćajnica. Ova oblast je i dalje predmet intenzivnih istraživanja.

U ovoj knjizi posebna pažnja će biti posvećena zatvorenim sistemima drenaže (odvodnjavanja) i kriterijumima kada i u kom obimu treba primeniti sisteme za zaštitu voda i tla od zagađenja. Prilikom projektovanja i izbora trase puta obavezno treba ispitati da li trasa puta prelazi preko vodnih resursa i koji stepen zaštite ovi vodni resursi zahtevaju. U zavisnosti od lokalnih uslova treba definisati i primeniti potrebne mere zaštite voda i tla od zagađenja koja potiču sa razmatrane saobraćajnice.