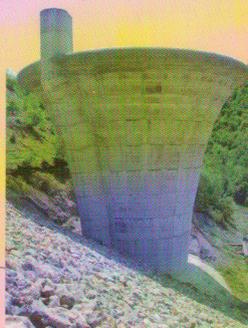


# УВОД У ХИДРОТЕХНИЧКЕ ГРАЂЕВИНЕ

Друго издање



Љубодраг М. Савић

Грађевински факултет - Београд

ISBN 978-86-7518-125-5

Др Љубодраг М. Савић, дипл. грађ. инж.  
Ванредни професор

## УВОД У ХИДРОТЕХНИЧКЕ ГРАЂЕВИНЕ

Рецензенти:

Др Миодраг Јовановић, ред. проф.

Др Ђула Фабијан, в. проф.

Одобрено за штампу одлуком Већа катедара за хидротехничке дисциплине  
Грађевинског факултета у Београду 5.03.2002. године

Издавач:

Грађевински факултет Универзитета у Београду  
Београд, Булевар краља Александра 73

Главни и одговорни уредник:

Др Ђорђе Вуксановић, ред. проф.

Прелом текста и цртежи:

Љубодраг Савић

Штампа и повез:

ДЕДРАПЛАСТ, Генерала Арчића 13, Београд

CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

626 / 627 (075.8)

532.5(075.8)

САВИЋ, Љубодраг М., 1960 –

Увод у хидротехничке грађевине /

Љубодраг М. Савић. – 2. изд. – Београд : Грађевински  
факултет, 2009 (Београд : Дедрапласт).

- XXVI, 528 стр. : граф. прикази, табеле ;  
30 cm

На врху насл. стр. : Универзитет у Београду.

Тираж 300. – Библиографија уз свако  
поглавље. – Регистри.

ISBN 978-86-7518-125-5

а) Хидротехничке конструкције б)

Хидромеханика

COBISS.SR-ID 169390860

## САДРЖАЈ

	страна
СПИСАК ТАБЕЛА .....	xii
СПИСАК СЛИКА .....	xiii
СПИСАК ВАЖНИЈИХ ОЗНАКА .....	xxi
ПРЕДГОВОР .....	1
УВОД .....	1
<b>I ВОДОПРИВРЕДА - ГАЗДОВАЊЕ ВОДАМА .....</b>	<b>3</b>
I.1 ОПШТЕ О ВОДАМА .....	3
I.2 НЕУСКЛАЂЕНОСТ ДОТИЦАЈА И ПОТРОШЊЕ .....	4
I.3 ВОДОПРИВРЕДА .....	5
I.4 ВОДОПРИВРЕДНО ПЛАНИРАЊЕ, СМЕРНИЦЕ, ВОДОПРИВРЕДНА ОСНОВА .....	5
I.5 ХИДРОТЕХНИКА .....	6
ЛИТЕРАТУРА .....	6
<b>II АКУМУЛАЦИОНИ БАСЕНИ И РЕГУЛИСАЊЕ</b>	
<b>ПРОТИЦАЈА .....</b>	<b>7</b>
II.1 РЕГУЛИСАЊЕ ПРОТИЦАЈА, УЛОГА АКУМУЛАЦИЈА .....	7
II.2 ОСНОВНИ ПАРАМЕТРИ АКУМУЛАЦИЈЕ .....	8
II.3 КОРИСНА ЗАПРЕМИНА АКУМУЛАЦИЈЕ .....	9
II.4 ВИДОВИ РЕГУЛИСАЊА ПРОТИЦАЈА .....	16
II.5 ВРСТЕ АКУМУЛАЦИЈА .....	17
II.6 ЗАСИПАЊЕ АКУМУЛАЦИЈА .....	18
II.7 ОСТАЛИ ПРОБЛЕМИ АКУМУЛАЦИЈА .....	21
II.8 ТРАНСФОРМАЦИЈА ПОПЛАВНОГ ТАЛАСА У АКУМУЛАЦИЈИ .....	22
ЛИТЕРАТУРА .....	29
<b>III ХИДРОТЕХНИЧКЕ ГРАЂЕВИНЕ .....</b>	<b>31</b>
III.1 ОСОБЕНОСТИ ХИДРОТЕХНИЧКИХ ГРАЂЕВИНА .....	31
III.2 ПОДЕЛА ХИДРОТЕХНИЧКИХ ГРАЂЕВИНА .....	32
III.3 ПРОЈЕКТОВАЊЕ И ПОДЛОГЕ .....	33
III.3.1 Подлоге за пројектовање .....	34
III.3.2 Прорачун хидротехничких грађевина .....	35
III.4 МАТЕРИЈАЛИ И ГРАЂЕЊЕ .....	36
III.4.1 Хидротехнички бетон .....	37
III.4.2 Планирање и фазе извођења радова .....	38
ЛИТЕРАТУРА .....	39
<b>IV БРАНЕ .....</b>	<b>41</b>
IV.1 СВРХА БРАНА .....	41
IV.2 ПОДЕЛЕ И ТИПОВИ БРАНА .....	42

IV.3	ОСНОВНИ ЕЛЕМЕНТИ БРАНЕ.....	44
IV.4	ИЗБОР ПРЕГРАДНОГ ПРОФИЛА.....	46
IV.5	ИЗБОР ТИПА БРАНЕ.....	47
IV.6	УЗРОЦИ РУШЕЊА БРАНА.....	49
	ЛИТЕРАТУРА.....	51
<b>V</b>	<b>ГРАВИТАЦИОНЕ БЕТОНСКЕ БРАНЕ.....</b>	<b>53</b>
V.1	ОПТЕРЕЂЕЊА КОЈА ДЕЛУЈУ НА ГРАВИТАЦИОНУ БРАНУ.....	55
V.1.1	Хидростатички притисак.....	55
V.1.2	Узгон.....	59
V.1.3	Динамички притисак воде услед таласа и ветра.....	71
V.1.4	Притисак леда.....	74
V.1.5	Притисак наноса (муља).....	76
V.1.6	Силе од земљотреса – сеизмичке силе.....	76
V.1.7	Тежина бране и темеља.....	80
V.1.8	Реакција темеља.....	81
V.1.9	Комбинације оптеређења.....	81
V.2	СТАБИЛНОСТ ГРАВИТАЦИОНЕ БЕТОНСКЕ БРАНЕ.....	82
V.2.1	Стабилност против клизања (смицања).....	83
V.2.2	Стабилност против превртања и испливавања.....	86
V.2.3	Прорачун напонског стања методом хоризонталних пресека.....	87
V.2.4	Вертикални нормални напони и одсуство напона затезања.....	87
V.2.5	Смичући напони и хоризонтални нормални напони.....	90
V.2.6	Главни нормални напони и дозвољени (допуштени) напони.....	92
V.3	ДИМЕНЗИОНИСАЊЕ И ОДРЕЂИВАЊЕ ПОПРЕЧНОГ ПРЕСЕКА ГРАВИТАЦИОНЕ БРАНЕ.....	96
V.3.1	Димензионисање попречног пресека бране.....	96
V.3.2	Круна бране.....	99
V.4	КОНСТРУКТИВНА ПРАВИЛА.....	100
V.4.1	Температурни утицаји.....	100
V.4.2	Узгон, инјектирање и дренажање темеља.....	103
V.4.3	Смањење узгона у телу бране.....	105
V.4.4	Напони у темељним спојницама услед неједнаког слегања.....	106
V.4.5	Припрема темеља.....	106
	ЛИТЕРАТУРА.....	108
<b>VI</b>	<b>ЛУЧНЕ, КОНТРАФОРНЕ И ОЛАКШАНЕ БРАНЕ.....</b>	<b>109</b>
VI.1	ЛУЧНЕ БРАНЕ.....	109
VI.2	КОНТРАФОРНЕ И ОЛАКШАНЕ БРАНЕ.....	116
	ЛИТЕРАТУРА.....	119
<b>VII</b>	<b>НАСУТЕ БРАНЕ.....</b>	<b>121</b>
VII.1	ПРЕЛИВАЊЕ И ПОВРШИНСКА ЕРОЗИЈА.....	122
VII.2	УНУТРАШЊА ЕРОЗИЈА.....	123
VII.2.1	Испирање – суфозија.....	123
VII.2.2	Флуидизација – подизање.....	126
VII.3	АНАЛИЗА СПОЉНИХ СИЛА.....	128
VII.4	ПРОВИРАЊЕ КРОЗ БРАНУ И ПРОВИРНА ЛИНИЈА.....	129

VII.4.1	Касаграндеов поступак за одређивање провирне линије на бази Козенијевог решења.....	130
VII.4.2	Линеарна апроксимација .....	136
VII.4.3	Провирање кроз брану са сложеним – зонираним пресеком.....	137
VII.5	ПРОВИРАЊЕ У ТЕМЕЉИМА.....	139
VII.5.1	Провирање испод бетонске бране у хомогеном нестеновитом тлу ограничене дебљине .....	140
VII.5.2	Темељ из два слоја ("нивоа") – покровни слој и водоносни слој.....	144
VII.5.3	Насуте бране на водопропусном темељу .....	145
VII.6	ЗАШТИТА ОД УНУТРАШЊЕ ЕРОЗИЈЕ .....	146
VII.6.1	Заштита тела бране.....	146
VII.6.2	Заштита темеља .....	151
VII.7	ПРОРАЧУН СТАБИЛНОСТИ КОСИНА И ТЕМЕЉА НАСУТИХ БРАНА.....	157
VII.7.1	Ранкинова метода - Клизање по хоризонталним равнима.....	157
VII.7.2	Методe критичних клизних кругова.....	159
VII.8	РЕЗИМЕ О ОСНОВНИМ ПРАВИЛИМА ЗА ПРОЈЕКТОВАЊЕ НАСУТИХ БРАНА .....	161
VII.9	ТИПОВИ НАСУТИХ БРАНА.....	162
VII.9.1	Земљане бране .....	162
VII.9.2	Бране од каменог набачаја.....	165
VII.10	КОНСТРУКТИВНА ПРАВИЛА И ОРИЈЕНТАЦИОНЕ ДИМЕНЗИЈЕ.....	166
VII.10.1	Земљае бране .....	166
VII.10.2	Бране од каменог набачаја.....	172
	ЛИТЕРАТУРА.....	173
<b>VIII</b>	<b>ЕВАКУАЦИЈА ВЕЛИКИХ ВОДА И ЕВАКУАЦИОНИ ОРГАНИ.....</b>	<b>175</b>
VIII.1	ИЗБОР МЕРОДАВНОГ – РАЧУНСКОГ ПРОТИЦАЈА .....	177
VIII.2	ОДРЕЂИВАЊЕ КРИВЕ ПРОТИЦАЈА ДОЊЕ ВОДЕ.....	180
VIII.3	ОСНОВНИ ТИПОВИ И ДИСПОЗИЦИЈЕ ЕО.....	184
VIII.4	ПРЕЛИВНЕ БРАНЕ.....	188
VIII.4.1	Улазни део – Прелив .....	189
VIII.4.2	Преливи код ниских брана, низводни утицаји, потопљено преливање.....	199
VIII.4.3	Преливи контролисани уставама .....	203
VIII.4.4	Утицај мостовских стубова на преливање .....	205
VIII.4.5	Проводник – преливно лице бране .....	206
VIII.4.6	Умирење - расипање енергије .....	221
VIII.4.7	Умирујући базен – слапиште.....	223
VIII.4.7.1	Хидраулички прорачун умирујућег базена .....	228
VIII.4.7.2	Хидрауличко димензионисање умирујућег базена.....	229
VIII.4.7.3	Избор меродавног протицаја за димензионисање базена .....	235
VIII.4.7.4	Динамичка оптерећења у умирујућем базену .....	236
VIII.4.7.5	Базени са нагнутим дном и непризматични базени.....	241
VIII.4.7.6	Двостепени умирујући базен .....	242
VIII.4.8	Заштита корита низводно од базена .....	243
VIII.4.9	Ски одскок.....	246
VIII.4.10	Потопљени одскок.....	257
VIII.5	ЕВАКУАЦИОНИ ОРГАНИ ЛУЧНИХ БРАНА .....	260
VIII.6	ПРЕЛИВ СА БРЗОТОКОМ.....	264
VIII.6.1	Чеони прелив .....	265

VIII.6.2	Брзоток .....	267
VIII.7	БОЧНИ ПРЕЛИВ.....	274
VIII.7.1	Сабирни канал .....	275
VIII.8	ШАХТНИ ПРЕЛИВ .....	283
VIII.8.1	Преливни левак и прилазна деоница .....	287
VIII.8.2	Вертикални шахт, дефлектор и аерација .....	290
VIII.8.3	Вертикална Кривина и Тунел .....	294
VIII.9	ОСТАЛИ ТИПОВИ ЕВАКУАЦИОНИХ ОРГАНА .....	300
VIII.9.1	Модификовани бочни прелив (кутијаста прелив) .....	300
VIII.9.2	Упрошћени шахтни прелив за мале протицаје .....	300
VIII.9.3	Сифонски прелив.....	301
VIII.9.4	Помоћни прелив (емергенциони прелив, зечији насип) .....	302
VIII.9.5	Степенаста прелив .....	303
	ЛИТЕРАТУРА .....	306
<b>IX</b>	<b>ЗАТВАРАЧИ И УСТАВЕ .....</b>	<b>309</b>
IX.1	ПОВРШИНСКИ ЗАТВАРАЧИ.....	311
IX.1.1	Табласти затварачи (равни, штитни) .....	315
IX.1.2	Гредни затварачи (гредни загати, дамбалкени) .....	319
IX.1.3	Сегментни (радијални) затварачи .....	320
IX.1.4	Ваљкасти затварачи.....	323
IX.1.5	Секторски затварачи .....	324
IX.1.6	Клапне (запорнице).....	325
IX.2	ТЕЧЕЊЕ ИСПОД ПОВРШИНСКИХ ЗАТВАРАЧА .....	327
IX.3	ДУБИНСКИ ЗАТВАРАЧИ.....	333
IX.3.1	Силе при подизању и спуштању дубинских затварача .....	335
IX.3.2	Пристап дубинским затварачима.....	337
IX.3.3	Кавитација и вибрације код дубинских затварача.....	339
IX.3.4	Аерација иза затварача.....	345
IX.3.5	Табласти и сегментни дубински затварачи .....	347
IX.3.6	Кружно-цилиндрични затварач.....	348
IX.3.7	Лептирасти затварач.....	349
IX.3.8	Кугласти затварач.....	350
IX.3.9	Конусни затварач (Howel – Bunger) .....	351
IX.3.10	Игличасти затварач .....	353
	ЛИТЕРАТУРА .....	353
<b>X</b>	<b>ЕВАКУАЦИЈА ВОДЕ ЗА ВРЕМЕ ГРАЂЕЊА.....</b>	<b>355</b>
X.1	СКРЕТАЊЕ РЕКЕ КРОЗ ОПТОЧНИ ТУНЕЛ.....	355
X.2	ПАРЦИЈАЛНО (ВИШЕФАЗНО) ПРЕГРАЂИВАЊЕ РЕКЕ .....	359
	ЛИТЕРАТУРА .....	362
<b>XI</b>	<b>ЗАХВАТИ – УЛАЗНЕ ГРАЂЕВИНЕ.....</b>	<b>363</b>
XI.1	ПОВРШИНСКИ ЗАХВАТИ.....	364
XI.1.1	Проблеми површинских захвата .....	364
XI.1.2	Избор места захвата .....	364
XI.1.3	Подела површинских захвата.....	367
XI.1.4	Делови површинског захвата .....	370
XI.2	ДУБИНСКИ ЗАХВАТИ .....	376

XI.2.1	Улазни део захвата (улазна – захватна грађевина) .....	380
XI.2.2	Проводник .....	386
XI.2.3	Излазни Део .....	389
XI.2.4	Крива Протицаја .....	390
	ЛИТЕРАТУРА .....	390
<b>XII</b>	<b>ГРАЂЕВИНЕ ЗА ТРАНСПОРТ ВОДЕ – ДОВОДИ</b> .....	<b>393</b>
XII.1	КАНАЛИ .....	393
XII.1.1	Избор попречног пресека и трасе канала .....	394
XII.1.2	Необложени канали .....	398
	XII.1.2.1 Процена губитака на процуривање из канала .....	399
	XII.1.2.2 Ерозиона стабилност необложених канала .....	400
XII.1.3	Обложени канали .....	412
	XII.1.3.1 Канали са савитљивом (флексибилном) облогом .....	413
	XII.1.3.2 Канали са крутом облогом .....	416
XII.1.4	Неустаљено течење у каналима .....	419
XII.2	ЗАТВОРЕНИ ДОВОДИ СА СЛОБОДНОМ ПОВРШИНОМ .....	419
XII.3	ХИДРОТЕХНИЧКИ ТУНЕЛИ .....	421
XII.4	ЦЕВОВОДИ .....	427
	ЛИТЕРАТУРА .....	428
<b>XIII</b>	<b>ОБЈЕКТИ НА ДОВОДИМА</b> .....	<b>429</b>
XIII.1	ОБЈЕКТИ ЗА УКРШТАЊЕ .....	429
XIII.1.1	Аквадукти .....	430
XIII.1.2	Сифони .....	434
XIII.1.3	Пропусти .....	439
XIII.1.4	Мостовски стубови .....	454
	XIII.1.4.1 Процена успора изазваног мостовским сужењем .....	454
	XIII.1.4.2 Ерозија услед мостовског сужења .....	460
	XIII.1.4.3 Локална ерозија око мостовских стубова и бочних ослонаца .....	463
	XIII.1.4.4 Заштита од локалне ерозије око стубова и ослонаца .....	472
	XIII.1.4.5 Хидродинамичка сила на стубове .....	474
XIII.2	ОБЈЕКТИ ЗА САЛАДАВАЊЕ ВИШКА ПАДА – КАСКАДЕ (СТЕПЕНИЦЕ, СЛАПОВИ) .....	475
XIII.2.1	Вертикална каскада .....	476
XIII.2.2	Каскада са брзотоком (коси слап) .....	483
XIII.2.3	Брзоток са блоковима .....	483
XIII.3	РИБЉЕ СТАЗЕ .....	485
XIII.4	ОБЈЕКТИ ЗА МЕРЕЊЕ ПРОТИЦАЈА У КАНАЛИМА И МАЊИМ ПРИРОДНИМ ВОДОТОЦИМА .....	487
XIII.4.1	Мерна сужења са хоризонталним дном .....	489
XIII.4.2	Широки праг као мерни објекат .....	500
	XIII.4.2.1 Правоугаони широки праг .....	500
XIII.4.3	Остали мерни објекти у каналима .....	505
	ЛИТЕРАТУРА .....	507
	<b>РЕГИСТАР ПОЈМОВА</b> .....	<b>509</b>

## СПИСАК ТАБЕЛА

Таб.2.1	Однос исталоженог и приспелог наноса зависно од степена регулације протицаја .....	19
Таб.5.1	Коефицијент, $K$ , зависно од односа $W_0/L_0$ .....	72
Таб.5.2	Зависност статичке силе леда од дебљине и дужине покривача .....	75
Таб.5.3	Коефицијент, $K$ , зависно од граничне чврстоће леда на дробљење .....	75
Таб.5.4	Зависност коефицијента сеизмичности од степена сеизмичности према MKS скали .....	78
Таб.5.5	Оријентационе вредности кохезије и коефицијента трења .....	84
Таб.5.6	Минималне (захтеване) вредности коефицијената сигурности за прорачун опште стабилности (Петровић 2002) .....	85
Таб.5.7	Оријентационе вредности дозвољених напона притиска .....	93
Таб.7.1	Оријентационе вредности критичног градијента филтрације на испирање (суфозију) и коефицијента филтрације .....	125
Таб.7.2	Зависност односа $\Delta a/(a+\Delta a)$ од угла $\alpha$ .....	133
Таб.7.3	Зависност бездимензионалног филтрационог протицаја од односа дубине прибоја и дебљине водоносног слоја .....	143
Таб.8.1	Зависност релативног коефицијента преливања и релативног потпритиска од односа $H/H_R$ .....	196
Таб.8.2	Зависност релативног коефицијента преливања од односа $P/H_{eR}$ .....	198
Таб.8.3	Зависност релативног коефицијената преливања од денivelације круне прага и дна низводног корита .....	199
Таб.8.4	Зависност коефицијента потопљености од степена потопљености за Кригеров прелив .....	201
Таб.8.5	Зависност коефицијента брзине од односа $(H_p+y)/H_p$ (сл. 8.27) .....	211
Таб.8.6	Ефикасност скока зависно од Фрудовога броја улазног млаза .....	227
Таб.8.7	Зависност коефицијента преливања од односа $H_R/R$ и угла $\alpha$ .....	262
Таб.8.8	Зависност коефицијента преливања од односа $H_R/D$ , за $P/D \cong 0.5$ .....	288
Таб.9.1	Стадијум развоја кавитације зависно од односа $\sigma/\sigma_C$ .....	344
Таб.10.1	Зависност односа $\varphi = \tilde{h}_2/d_0$ од Фрудовога броја на излазу тунела .....	358
Таб.11.1	Брзина таложења појединачних сферних честица (зрна) у мирној води .....	372
Таб.11.2	Зависност губитка на кривини од односа $R/d_0$ .....	388
Таб.12.1	Процена губитака на процуривање зависно од врсте тла у коме се гради канал .....	400
Таб.12.2	Нееродирајуће брзине зависно од врсте материјала дна и косина .....	401
Таб.12.3	Однос смичућег напона у кривини и на правој деоници .....	409
Таб.12.4	Процена нагиба косина канала према искуственим подацима .....	410
Таб.13.1	Процена вредности коефицијената у једначини 13.7 .....	444
Таб.13.2	Зависност односа $\varphi = \tilde{h}_{DV}/D$ од Фрудовога броја на излазу из пропуста и дубине доње воде .....	450
Таб.13.3	Чинилац закошења осовине стуба зависно од угла $\beta$ и односа $l_S/b_S$ .....	469
Таб.13.4	Гранулометријски састав камене заштите .....	473
Таб.13.5	Зависност за одређивање дужине и енергије млаза .....	480

## СПИСАК СЛИКА

Сл.1.1	Неусклађеност дотицаја и потрошње воде .....	4
Сл.2.1	Основни параметри акумулације .....	8
Сл.2.2	Секвентни поступак .....	10
Сл.2.3	Секвентни поступак са поновљеним периодом .....	11
Сл.2.4	Промена запремине акумулације са потпуним искоришћењем дотицаја .....	13
Сл.2.5	Сумарне криве дотицаја и потрошње .....	13
Сл.2.6	Распоред наноса дуж акумулације.....	20
Сл.2.7	Трансформација таласа у акумулацији .....	23
Сл.2.8	Улазни и излазни хидрограм .....	25
Сл.2.9	Конструкција помоћне функције .....	26
Сл.2.10	Улазни талас пресеца врх излазног таласа .....	27
Сл.2.11	Рад прелива са уставом .....	28
Сл.4.1	Типови брана .....	42
Сл.4.2	Преношење оптерећења код брана .....	43
Сл.4.3	Основни елементи бране .....	45
Сл.5.1	Попречни пресек непреливног дела бетонске гравитационе бране .....	53
Сл.5.2	Рачунски сегмент бране јединичне дужине .....	54
Сл.5.3	Хидростатичко оптерећење на непреливни део бране .....	56
Сл.5.4	Хидростатичко оптерећење на преливни део бране .....	58
Сл.5.5	Узгон .....	59
Сл.5.6	Поређење потенцијалне теорије са линеарним законом .....	60
Сл.5.7	Моменат превртања код "линеарног" и "потенцијалног" узгона .....	61
Сл.5.8	Потисак и филтрациони део узгона за филтрационо хомогену и изотропну средину, за случај када филтрација почиње на најнижој коти темеља на узводном лицу, а завршава на најнижој коти темеља на низводном лицу .....	62
Сл.5.9	Слика узгона за филтрационо хомогену и изотропну средину, за случај када постоји добра веза између бране и темељне средине по целој дужини додира .....	63
Сл.5.10	Слика узгона за филтрационо нехомогену (или анизотропну) средину .....	65
Сл.5.11	Смањивање узгона дренажом .....	66
Сл.5.12	Смањивање узгона узводним хоризонталним застором .....	67
Сл.5.13	Узгон код преливног дела бране и слапишта .....	67
Сл.5.14	Утицај хетерогености средине на узгон.....	68
Сл.5.15	Инјекциона завеса гравитационе бетонске бране .....	68
Сл.5.16	Квантификовање дејства антифилтрационих мера на смањење узгона .....	69
Сл.5.17	Положај пијезометарске линије код темељне спојнице са узводним зубом .....	70
Сл.5.18	Величине које одређују висину таласа.....	71
Сл.5.19	Висина таласа, и сила од таласа на гравитациону брану.....	72
Сл.5.20	Пењање таласа уз косину .....	73
Сл.5.21	Статички притисак леда .....	74
Сл.5.22	Статички притисак леда – основа .....	75
Сл.5.23	Сила од наноса .....	76
Сл.5.24	Могући правци деловања земљотреса .....	77
Сл.5.25	Метода коефицијената .....	77
Сл.5.26	Сеизмичка сила воде према Вестергарду.....	79
Сл.5.27	Сила тежине.....	80
Сл.5.28	Стабилност против клизања (смицања), превртања и испливавања .....	83
Сл.5.29	Коса раван клизања (смицања) .....	86
Сл.5.30	Вертикални нормални напони.....	88
Сл.5.31	Резултанта делује унутар језгра пресека.....	89
Сл.5.32	Одређивање компоненталних напона на граници.....	91
Сл.5.33	Расподела смичућих напона у пресеку.....	91
Сл.5.34	Главни нормални напони на низводном лицу бране .....	92

Сл.5.35	Оптерећење пресека.....	94
Сл.5.36	Разматрани облици попречног пресека.....	94
Сл.5.37	Постепено димензионисање.....	96
Сл.5.38	Директно (једноступено) димензионисање.....	97
Сл.5.39	Закошење узводног лица.....	97
Сл.5.40	Круна гравитационе бране.....	99
Сл.5.41	Круна са парапетним зидом и валобраном.....	99
Сл.5.42	Разделнице код гравитационе бране.....	101
Сл.5.43	Постављање инјекционе галерије и инјекционих бушотина.....	104
Сл.5.44	Дренажа за смањење узгона у телу бране.....	105
Сл.5.45	Ламеле гравитационе бране.....	106
Сл.5.46	Могући пут провирања код темеља на шиповима.....	107
Сл.6.1	Лучна брана.....	109
Сл.6.2	Однос висине лучне бране и дужине бране у круни.....	110
Сл.6.3	Карактеристике лука.....	110
Сл.6.4	Цилиндрична лучна брана.....	111
Сл.6.5	Геометријски елементи куполне лучне бране.....	113
Сл.6.6	Олакшана брана.....	116
Сл.6.7	Контрафорна брана.....	117
Сл.6.8	Вишелучна брана.....	117
Сл.6.9	Основа контрафорне бране са појачаном узводном главом.....	118
Сл.6.10	Основа контрафорне бране са ошупљеним контрафорима – Марчело типа.....	118
Сл.7.1	Суфозија кроз насип бране.....	124
Сл.7.2	Испирање сферичних честица.....	124
Сл.7.3	Принцип филтарске заштите.....	126
Сл.7.4	Флуидизација тла.....	126
Сл.7.5	Баласт.....	127
Сл.7.6	Хидростатички притисак на застор насуте бране.....	129
Сл.7.7	Утицај хетерогености материјала на положај провирне линије у насипу.....	130
Сл.7.8	Козенијево аналитичко решење.....	131
Сл.7.9	Могући положаји дрена код Касаграндеовог поступка.....	132
Сл.7.10	Провирна линија за насип без дрена.....	132
Сл.7.11	Једначина параболе у поларним координатама.....	133
Сл.7.12	Једначина одржања масе за равански проблем.....	134
Сл.7.13	Трансформација x-координате.....	135
Сл.7.14	Линеарна апроксимација провирне линије.....	136
Сл.7.15	Линија провирања кроз брану са глиненим језгром.....	138
Сл.7.16	Филтрација кроз суседне слојеве различите вододрживости.....	138
Сл.7.17	Филтрација испод темеља бетонске бране.....	140
Сл.7.18	Филтрација за темељ са прибојем.....	142
Сл.7.19	Узгон испод бране са прибојем.....	143
Сл.7.20	Темељ из два слоја различите водопропусности.....	144
Сл.7.21	Провирање кроз темељ хомогене насуте бране.....	145
Сл.7.22	Провирање кроз темељ насуте бране са глиненим језгром.....	146
Сл.7.23	Испирање материјала који се штити кроз заштитни материјал.....	146
Сл.7.24	Загушење филтра.....	147
Сл.7.25	Гранулометријска крива филтра.....	148
Сл.7.26	Неки типови дренаже.....	149
Сл.7.27	Дренажа код водопрпусног темеља.....	149
Сл.7.28	Апроксимација течења у дренажи.....	150
Сл.7.29	Низводна ножица, и низводна заштита од флуидизације.....	150
Сл.7.30	Уклањање алувиона (наноса) из темеља.....	151
Сл.7.31	Преграђивање алувиона широком вододрживом преградом.....	152
Сл.7.32	Заштита вертикалним застором (дијафрагмом).....	153
Сл.7.33	Непотпуни ров.....	155
Сл.7.34	Постављање више застора.....	155

Сл.7.35	Хоризонтални и комбиновани застор.....	156
Сл.7.36	Релаксациони бунар.....	156
Сл.7.37	Смицање (клизање) по хоризонталној равни.....	158
Сл.7.38	Шведска (Феленијусова) метода критичних клизних кругова.....	160
Сл.7.39	Земљане бране различитог степена хетерогености.....	163
Сл.7.40	Брана са глиненим језгром фундирана на алувиону.....	164
Сл.7.41	Положај језгра код земљаних брана.....	164
Сл.7.42	Бране са армирано-бетонским екраном.....	166
Сл.7.43	Нагиб материјала при прекиду насипања.....	168
Сл.7.44	Неједнако слегање прелива и насипа бране.....	168
Сл.7.45	Берме на низводној косини.....	169
Сл.7.46	Вежа бетонске конструкције и насипа.....	170
Сл.7.47	Вежа насипа са зидом и постављање цеви испод насипа.....	171
Сл.7.48	Оријентационе димензије земљаних брана.....	171
Сл.7.49	Зонирање материјала у брани од каменог набачаја.....	172
Сл.8.1	Делови евакуационог органа.....	176
Сл.8.2	Крива доње воде за сложено корито.....	181
Сл.8.3	Конвергенција линија нивоа за различите вредности граничног услова.....	181
Сл.8.4	Прорачун линије нивоа између два пресека.....	182
Сл.8.5	Поређење слободног и контролисаног прелива.....	186
Сл.8.6	Насута брана комбинована са преливном бетонском гравитационом браном.....	188
Сл.8.7	Основни типови преливних брана.....	189
Сл.8.8	Прелив практичног профила (Кригеров прелив).....	190
Сл.8.9	Преливање преко "широког прага".....	191
Сл.8.10	Распоред притисака у преливном млазу.....	193
Сл.8.11	Протицајни пресек код Кригеровог прелива.....	193
Сл.8.12а)	Бездимензионалне координате млаза оштроивичног прелива према Кригеру.....	194
Сл.8.12б)	Одређивање контуре Кригеровог прелива помоћу кружних лукова и параболе према USA Corps of Engineers.....	195
Сл.8.13	Положај млаза при различитим висинама испред прелива.....	196
Сл.8.14	Утицај узводне висине прага на преливање.....	197
Сл.8.15	Преливни праг са малим вредностима односа $P/H_{eR}$ .....	198
Сл.8.16	Утицај низводних услова на преливање.....	200
Сл.8.17	Услови "потопљености" прелива.....	201
Сл.8.18	Примена енергетске једначине на потопљено преливање.....	201
Сл.8.19	Крива протицаја ниског преливног прага.....	203
Сл.8.20	Преливање и истицање.....	204
Сл.8.21	Положај уставе у односу на круну прелива.....	204
Сл.8.22	Прелив са стубовима (основа).....	205
Сл.8.23	Главе стуба и бочног ослоња.....	206
Сл.8.24	Преливна брана.....	207
Сл.8.25	Повезивање узводног лица бране са контуром прелива.....	207
Сл.8.26	Прорачун линије нивоа код брзотока.....	209
Сл.8.27	Поједностављени поступак за прорачун линије нивоа.....	211
Сл.8.28	Турбулентни гранични слој и увлачење ваздуха.....	212
Сл.8.29	Течење мешавине воде и ваздуха у брзотоку.....	213
Сл.8.30	Струјање при коме може да настане кавитација.....	215
Сл.8.31	Концентрација ваздуха по дубини, за брзоток са малим подужним нагибом.....	219
Сл.8.32	Аерација брзотока.....	220
Сл.8.33	Расипање енергије дуж преливне бране.....	222
Сл.8.34	Карактеристични типови умиривача енергије.....	222
Сл.8.35	Умирујући базен – слапиште.....	224
Сл.8.36	Хидраулички скок.....	225
Сл.8.37	Дужина хидрауличног скока.....	230
Сл.8.38	Однос спрегнуте дубине и дубине у базену.....	231
Сл.8.39	Разделни зид умирујућег базена.....	232

Сл.8.40	USBR базен, типа II.....	233
Сл.8.41	USBR базен типа III.....	233
Сл.8.42	Силе у базену са средишним блоком.....	234
Сл.8.43	Блокови у умирујућем базену.....	235
Сл.8.44	Критични услови за образовање скока у базену.....	236
Сл.8.45	Узгон у умирујућем базену.....	237
Сл.8.46	Празњење дренаже кроз отвор у узводном зупцу.....	239
Сл.8.47	Анкерисање плоче базена.....	240
Сл.8.48	Варијанте умирујућих базена.....	242
Сл.8.49	Двостепени умирујући базен.....	243
Сл.8.50	Заштита иза умирујућег базена.....	244
Сл.8.51	Ски одскок (Ски-скок).....	246
Сл.8.52	Преливање – "цурење" из кашике при малим протицајима.....	248
Сл.8.53	Путања косог хица.....	251
Сл.8.54	Домет млаза.....	251
Сл.8.55	Настанак денивелације при удару млаза у дно корита.....	253
Сл.8.56	Ерозиона јама.....	254
Сл.8.57	Процена димензија ерозионе јаме.....	256
Сл.8.58	Потопљени одскок.....	257
Сл.8.59	Димензије потопљеног одскока.....	258
Сл.8.60	Олакшани – шупљи одскок – скица и основне димензије.....	258
Сл.8.61	Олакшани – шупљи одскок у раду.....	259
Сл.8.62	Крилни зидови за сузбијање бочне ерозије.....	259
Сл.8.63	Опсег коришћења објеката за умирење енергије.....	260
Сл.8.64	Типичан евакуатор лучне бране.....	261
Сл.8.65	Преливни део (преливна капа) лучне бране.....	261
Сл.8.66	Параметри који одређују коефицијент преливања.....	262
Сл.8.67	Одскок и бучница.....	263
Сл.8.68	Прелив са брзотоком.....	265
Сл.8.69	Преливни праг чеоног прелива.....	266
Сл.8.70	Веза преливног дела са брзотоком.....	267
Сл.8.71	Транслаторни таласи.....	268
Сл.8.72	Улазни пад прелома стрмији од излазног.....	269
Сл.8.73	Улазни пад прелома блажи од излазног.....	270
Сл.8.74	Прелазна деоница на сужењу брзотока.....	271
Сл.8.75	Повезивање плоча и дренажа брзотока.....	273
Сл.8.76	Типична диспозиција са бочним преливом.....	275
Сл.8.77	Елементи бочног прелива.....	276
Сл.8.78	Елементарна запремина сабирног канала.....	277
Сл.8.79	Утицај дубине канала на смиривање турбуленције.....	281
Сл.8.80	Непотопљено преливање у сабирном каналу.....	281
Сл.8.81	Варијанте бочног прелива.....	282
Сл.8.82	Бочни прелив са тунелским проводником.....	283
Сл.8.83	Шахтни прелив.....	284
Сл.8.84	Крива протицаја и контролни пресеци код шахтног прелива.....	285
Сл.8.85	Разлика притисака у пресеку вертикалне кривине.....	285
Сл.8.86	Усклађеност капацитета шахта и преливног левка.....	286
Сл.8.87	Преливни левак са прилазном деоницом.....	287
Сл.8.88	Одступања кружног млаза од млаза праволинијског прелива.....	287
Сл.8.89	Мере за спречавање ободног струјања.....	289
Сл.8.90	Димензије прилазне деонице.....	289
Сл.8.91	Пресек дефлектора и вертикално колено (кривина).....	290
Сл.8.92	Аерација дефлектора.....	292
Сл.8.93	Димензионисање вертикалног шахта изнад дефлектора.....	293
Сл.8.94	Течење у колону и тунелу прелива.....	294
Сл.8.95	Хирауличка шема уз енергетску једначину за течење са	

слободном површином у тунелу .....	296
Сл.8.96 Прелаз са кружног на квадратни пресек на излазу тунела .....	298
Сл.8.97 Умирујући базен шахтног прелива .....	298
Сл.8.98 Вертикална прелазница у виду путање косог хица .....	299
Сл.8.99 Кутијаста прелив .....	300
Сл.8.100 Упрошћени шахтни прелив (према Smith-у, 1995) .....	301
Сл.8.101 Сифонски прелив .....	301
Сл.8.102 Помоћни прелив .....	302
Сл.8.103 Помоћни прелив са различитим kotaма насипа .....	303
Сл.8.104 Умирење енергије код а) класичног и б) степенастог прелива .....	304
Сл.8.105 Врсте течења код степенастог прелива .....	304
Сл.8.106 Степенаста заштита од ваљаног бетона .....	305
Сл.9.1 Најчешћи типови површинских затварача .....	311
Сл.9.2 Опструјавање површинских устава .....	312
Сл.9.3 Померање млаза дуж ивице табластог затварача .....	313
Сл.9.4 Преливање преко устава без аерације млаза .....	313
Сл.9.5 Пулзације услед померања потопљеног млаза .....	313
Сл.9.6 Однос висине и ширине површинске устава ослоњене у бокове објекта .....	314
Сл.9.7 Табласти затварач .....	315
Сл.9.8 Различити типови укрућења табластог затварача .....	315
Сл.9.9 Бочно заптивање устава са точковима .....	316
Сл.9.10 Обликовање доње ивице табластог затварача .....	317
Сл.9.11 Обрачунавање силе трења по заптивци .....	317
Сл.9.12 Дводелни табласти затварач .....	319
Сл.9.13 Гредни затварач .....	320
Сл.9.14 Сегментни затварач (устава) .....	320
Сл.9.15 Положај хидростатичке силе у односу на ослонац .....	321
Сл.9.16 Положај механизма за подизање устава .....	321
Сл.9.17 Заптивање сегментне устава .....	322
Сл.9.18 Сегментна устава са клапном .....	323
Сл.9.19 Ваљкасти затварач .....	324
Сл.9.20 Секторски затварач .....	324
Сл.9.21 Силе и моменти при покретању секторске устава .....	325
Сл.9.22 Клапна .....	326
Сл.9.23 Кровни штит и врењаста устава (брана) .....	327
Сл.9.24 Слободно истицање испод табласте устава .....	327
Сл.9.25 Слободно истицање испод радијалне устава .....	329
Сл.9.26 Истицање из великих отвора .....	330
Сл.9.27 Крива протицаја устава за слободно (непотопљено) течење .....	332
Сл.9.28 Потопљено истицање испод устава .....	332
Сл.9.29 Вертикална хидростатичка сила код низводног заптивања .....	335
Сл.9.30 Обликовање доње ивице затварача са низводним заптивањем .....	336
Сл.9.31 Услови за катапултирање затварача са узводним заптивањем .....	337
Сл.9.32 Дубинска затварачница .....	338
Сл.9.33 Прелазнице код довода под притиском .....	339
Сл.9.34 Снижење притиска у сужењу иза затварача .....	340
Сл.9.35 Непожељан вид “регулације“ у доводу под притиском .....	341
Сл.9.36 Течење са слободном површином низводно од регулационог затварача .....	342
Сл.9.37 Локално струјање око ниша затварача .....	343
Сл.9.38 Оптималан облик нише затварача .....	344
Сл.9.39 Затварач засунког типа, без ниша .....	345
Сл.9.40 Аерација код течења са слободном површином иза затварача .....	345
Сл.9.41 Димензионисање аерационе цеви .....	346
Сл.9.42 Контракција млаза код табластих затварача .....	348
Сл.9.43 Цилиндрични затварач .....	349

Сл.9.44	Лептирасти затварач .....	349
Сл.9.45	Кугласти затварач .....	350
Сл.9.46	Конусни (Howel – Bunger) затварач .....	351
Сл.9.47	Затварач са скретачем млаза, хидрауличка шема затварача .....	352
Сл.9.48	Нестабилно одлепљивање млаза при отвору затварача од 90 + 95% .....	352
Сл.9.49	Игличasti затварач .....	353
Сл.10.1	Скретање реке оптичним тунелом .....	356
Сл.10.2	Течење у оптичном тунелу са благим падом .....	357
Сл.10.3	Тунел са великим падом дна, течење са слободном површином .....	358
Сл.10.4	Тунел са великим падом дна, течење под притиском .....	359
Сл.10.5	Вишефазно преграђивање реке .....	360
Сл.10.6	Линија нивоа дуж загата .....	361
Сл.11.1	Сложено хеликоидно струјање у речној кривини .....	365
Сл.11.2	Настанак попречног струјања у кривини .....	365
Сл.11.3	Локација површинског захвата .....	366
Сл.11.4	Бочни и чеони захвати .....	367
Сл.11.5	Захват у дну – Тиролски захват .....	369
Сл.11.6	Бочни захват .....	371
Сл.11.7	Течење у таложници .....	372
Сл.11.8	Испирање таложница .....	373
Сл.11.9	Прелазница између захвата и канала .....	374
Сл.11.10	Скраћена прелазница .....	375
Сл.11.11	Захват без таложнице, са умиривачем енергије .....	375
Сл.11.12	Захват за прибранску хидроелектрану .....	377
Сл.11.13	Темељни испуст у склопу прелива .....	378
Сл.11.14	Водозахватна кула са узводном регулацијом .....	379
Сл.11.15	Затварачница укопана у боку долине .....	380
Сл.11.16	Одвајање млаза код необликованог улаза .....	381
Сл.11.17	Положај пијезометарске линије на улазном делу необликоване цеви .....	382
Сл.11.18	Хидрауличко обликовање улазне грађевине .....	382
Сл.11.19	Обликовање улаза са равном доњом ивицом .....	383
Сл.11.20	Улаз код ког се обликује само горња ивица .....	384
Сл.11.21	Решетке захвата .....	384
Сл.11.22	Површински вртлог и увлачење ваздуха на захвату .....	385
Сл.11.23	Елементи кривине проводника битни за процену губитка .....	387
Сл.11.24	Рачва са елементима за процену локалних губитака .....	389
Сл.11.25	USBR базен са "кецељом" .....	391
Сл.12.1	Попречни пресек канала .....	395
Сл.12.2	Геометријске величине трапезног пресека .....	395
Сл.12.3	Оптимални правоугаони пресек канала .....	397
Сл.12.4	Савлађивање вишка пада каскадама .....	398
Сл.12.5	Обарање нивоа воде на низводном крају канала .....	398
Сл.12.6	Слободна филтрација из канала .....	399
Сл.12.7	Шилдсов дијаграм .....	403
Сл.12.8	Дозвољене вредности критичног напона за невезани нанос, зависно од концентрације суспендованог наноса према Лејну (Raudkivi 1990). За $d_{50} > 5\text{mm}$ Лејнови резултати се слажу са Шилдсовим дијаграмом (па нису приказни) .....	404
Сл.12.9	Стабилност честице на косини .....	405
Сл.12.10	Угао унутрашњег трења зависно од пречника и назубљености зрна .....	406
Сл.12.11	Препоручене вредности критичног напона за везане материјале .....	407
Сл.12.12	Једнолико течење у каналу – равнотежа компоненте силе тежине у правцу тока и силе трења .....	407
Сл.12.13	Распоред смичућих напона дуж оквашеног обима канала .....	408
Сл.12.14	Максимални напон на косинама код трапезних канала .....	408
Сл.12.15	Карактеристичан пресек необложеног канала са бермама .....	412

Сл.12.16	Флексибилна каналска облога .....	415
Сл.12.17	Типичан пресек канала са бетонском облогом .....	417
Сл.12.18	Спојнице код каналске облоге .....	418
Сл.12.19	Дренажни бунар у дну канала .....	419
Сл.12.20	Типични облици попречног пресека затворених довода .....	420
Сл.12.21	Тунелски доводи .....	421
Сл.12.22	Карактеристични попречни пресеци хидротехничких тунела .....	423
Сл.12.23	Тунелска облога са челичним лимом .....	425
Сл.12.24	Оптимизација пречника тунела .....	426
Сл.12.25	Течење у тунелу код кога се може утрошити сва енергија тока .....	426
Сл.13.1	Прелаз канала преко реке .....	430
Сл.13.2	Аквадукт преко долине .....	430
Сл.13.3	Бетонско правоугаоно корито у стрмој косини .....	431
Сл.13.4	Прелазнице између проводника и канала .....	433
Сл.13.5	Скраћена излазна прелазница .....	434
Сл.13.6	Типичан сифон преко долине .....	434
Сл.13.7	Анкерни блок на прелому трасе сифона .....	435
Сл.13.8	Улазни део сифона .....	436
Сл.13.9	Хидраулички скок у сифону .....	438
Сл.13.10	Евакуација ваздуха из сифона .....	439
Сл.13.11	Подужни пресек типичног пропуста .....	440
Сл.13.12	Постављање трасе пропуста у основи .....	440
Сл.13.13	Обликовање улаза код бетонских цеви пропуста .....	441
Сл.13.14	Чиниоци који одређују режим течења у пропусту .....	442
Сл.13.15	Контрола на узводном (улазном) пресеку .....	442
Сл.13.16	Контрола на низводном (излазном) пресеку .....	445
Сл.13.17	Потопљено течење $H_{DV} \geq D$ .....	446
Сл.13.18	Пропуст са проширењем на низводном крају .....	448
Сл.13.19	Течење са потопљеним улазом ( $H_D \geq 1.5D$ ) и непотопљеним излазом $D > H_{DV}$ .....	449
Сл.13.20	Непотопљено истицање из пропуста .....	449
Сл.13.21	Локално снижење притиска може довести до кавитације .....	451
Сл.13.22	Линија нивоа у пропусту при низводној контроли .....	452
Сл.13.23	Линија нивоа у проводнику пропуста .....	453
Сл.13.24	Мостовско сужење .....	455
Сл.13.25	Сужење које ствара стуб .....	457
Сл.13.26	Стуб искошен у односу на правац тока .....	458
Сл.13.27	Бурно течење у сужењу .....	460
Сл.13.28	Ерозија услед сужења тока .....	461
Сл.13.29	Ерозија око мостовског стуба .....	463
Сл.13.30	Карактеристичне дужине објекта код стубова и обалских ослонаца .....	464
Сл.13.31	Чинилац облика на дубину ерозионе јаме (Melville 1997) .....	467
Сл.13.32	Опорац у инундацији и главном кориту .....	468
Сл.13.33	Угао закошења стуба .....	468
Сл.13.34	Стуб са неједнаком ширином по вертикали .....	470
Сл.13.35	Ерозија код вишеслојног наноса у дну .....	471
Сл.13.36	Камена заштита око стуба .....	472
Сл.13.37	Појачана ерозија око заштићених стубова у нестабилном кориту .....	474
Сл.13.38	Ерозија у боку ослонца .....	474
Сл.13.39	Хидродинамичка сила на мостовски стуб .....	474
Сл.13.40	Каскаде (степенице, слапови) .....	475
Сл.13.41	Вертикална каскада .....	476
Сл.13.42	Каскада – слап без прага .....	477
Сл.13.43	Детаљи прелива код вертикалне каскаде – слапа .....	478
Сл.13.44	Димензије умирујућег базена код вертикалне каскаде .....	479
Сл.13.45	Вертикална каскада без слапишне плоче .....	481

Сл.13.46	Спуштање дна код каскаде са каменом заштитом према Smith-у .....	482
Сл.13.47	Каскада са брзотоком (коси слап).....	483
Сл.13.48	Брзоток са блоковима .....	484
Сл.13.49	Степенасти слап .....	485
Сл.13.50	Основни типови рибљих стаза .....	486
Сл.13.51	Једнозначна веза протицаја и нивоа у контролном пресеку.....	488
Сл.13.52	Мерно сужење са хоризонталним дном у правоугаоном каналу .....	490
Сл.13.53	Зависност дубине и специфичне енергије тока .....	493
Сл.13.54	Услов непотопљености контролног (критичног) пресека .....	494
Сл.13.55	Меродавни протицај при избору денивелације дна, $\Delta Z_D$ .....	495
Сл.13.56	Мерно сужење на каскади .....	496
Сл.13.57	Потапање хидрауличног скока иза сужења .....	496
Сл.13.58	Меродавни протицај за потапање хидрауличног скока.....	497
Сл.13.59	Скица мерног сужења трапезног попречног пресека.....	498
Сл.13.60	Мерно сужење са сложеним попречним пресеком .....	499
Сл.13.61	Пример сужења без грла.....	500
Сл.13.62	Правоугаони широки праг као мерни објекат .....	501
Сл.13.63	Праг са низводним закошењем (рампом).....	503
Сл.13.64	Мерни праг троугаоног и сложеног попречног пресека .....	504
Сл.13.65	Неке врсте уских прагова.....	505