

Idejno rješenje zaštite priobalnog dijela naselja Volosko od olujnih uspora

Pilat, Matija

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:709775>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Matija Pilat

**Idejno rješenje zaštite priobalnog dijela naselja Volosko od olujnih
uspora**

Diplomski rad

Rijeka, 2022.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Sveučilišni diplomski studij Građevinarstvo
Hidrotehnika
Osnove obalnog inženjerstva**

**Matija Pilat
JMBAG: 0114029515**

**Idejno rješenje zaštite priobalnog dijela naselja Volosko od olujnih
uspora**

Diplomski rad

Rijeka, 2022.

IZJAVA

Diplomski rad izradio sam samostalno, u suradnji s mentorom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Matija Pilat

U Rijeci, 11.09.2022.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Ninu Krvavici na savjetima, strpljivosti, prenesenom znanju i pruženoj pomoći za izradu diplomskog rada.

Zahvaljujem se laborantu Duji Kalajžiću na uloženom vremenu, raspoloživosti i pomoći prilikom izrade diplomskog rada.

SAŽETAK

U ovome radu predloženo je idejno rješenje zaštite priobalnog dijela naselja Volosko od olujnih uspora, odnosno kombiniranog djelovanja visokih razina mora i valova. U uvodnom dijelu rada dan je pregled Plana upravljanja vodnim rizicima s prikazom rezultata opasnosti i rizika od poplava s mora za predmetno područje. U okviru rada prikupljeni su i prikazani rezultati analize vjerojatnosti pojave visokih razina mora i valova ispred naselja Volosko iz najnovijih studija i istraživanja na temu poplava od mora i ranjivosti obalnog područja. Opisano je postojeće stanje u naselju Volosko te problemi koji se javljaju za vrijeme olujnih uspora pri puhanju olujnog juga. Predložena su četiri potencijalna rješenja zaštite obalnog pojasa naselja Volosko od olujnih uspora i prelijevanja valova: niska zaštitna školjera, visoka zaštitna školjera, podmorski prag i potopljeni valolom. U središnjem dijelu rada napravljen je pregled analitičkih izraza za procjenu prelijevanja pomoću kojih je analizirana učinkovitost predloženih zaštitnih građevina. S ciljem pouzdanije ocjene učinkovitosti predloženih rješenja dodatno je provedeno eksperimentalno istraživanje u hidrotehničkom laboratoriju, u okviru čega je izrađeni fizikalni modeli u umanjenom mjerilu. Nakon ocjene učinkovitosti, odabrane su dvije obalne građevine, visoka zaštitna školjera i potopljeni valolom te je za njih proveden proračun stabilnosti i dimenzioniranje osnovnih konstruktivnih elemenata.

Ključne riječi: opasnost od poplava, visoka razina mora, olujni uspori, morski valovi, prelijevanje valova, zaštitne obalne građevine, fizikalni eksperiment.

ABSTRACT

In this Thesis, a conceptual solution is proposed for the protection of the coastal part of the settlement of Volosko from storm surges, as well as from the combined flooding caused by high sea level and waves. In the introductory part of the paper, an overview of the Water Risk Management Plan is provided, with the main results on coastal flood hazards and risks for the area in question. In addition, this Thesis presents the results of the analysis of the probability of occurrence of high sea levels and waves off Volosko from the latest studies and research on coastal flooding and vulnerability of the coastal area. An overview of the characteristics of the Volosko and the problems encountered during storm surges and strong south wind sirocco is presented. Four possible solutions are proposed to protect the Volosko coastal zone from storm surges and overtopping waves: a low breakwater, a high breakwater, a submerged sill, and a submerged breakwater. The central part of the paper provided an overview of the analytical expressions for wave overtopping, which were then used to evaluate the effectiveness of the proposed protective structures. To evaluate more reliably the effectiveness of the proposed solutions, additional experimental investigations were carried out in the hydrotechnical laboratory. As part of these investigations, several physical models were built at a model scale. After evaluating the effectiveness, two coastal structures, a high rubble- mound breakwater and a submerged breakwater, were selected, and a stability check was performed, followed by a design of their structural elements.

Key words: flood hazard, high sea level, storm surges, sea waves, wave overtopping, coastal structures, physical experiment.

Sadržaj

1. UVOD	1
2. OPASNOSTI I RIZICI OD POPLAVA	3
2.1. Karte opasnosti i rizika od poplava	3
2.2. Studija upravljanja rizicima od poplava mora (VEPAR)	12
2.2.1. Poplave od mora	12
2.2.2. Numeričko modeliranje ekstremno visokih razina mora	14
2.2.3. Numeričko modeliranje ekstremnih valova	18
2.3. Analiza ugroženosti od obalnog plavljenja ranjivih naselja PGŽ	22
3. POSTOJEĆE STANJE	27
3.1. Naselje Volosko	27
3.2. Postojeći problemi	30
4. PREGLED PROSTORNO PLANSKE DOKUMENTACIJE	31
4.1. Prostorni plan Primorsko – goranske županije (SN PGŽ 32/13, 07/17-ispravak, 41/18)	31
4.2. Prostorni plan uređenja Grada Opatije (SN PGŽ br. 01/07, 56/12, 4/16, 8/16-proč. tekst, 10/21 i 05/22-proč. tekst)	36
4.3. Urbanistički plan uređenja naselja Opatija (SN PGŽ br. 10/09, 56/12, 13/19, 16/19 - proč. tekst i 10/21)	43
5. PODLOGE I PODACI	48
5.1. Oceanografski podaci	48
5.1.1. Studija upravljanja rizicima od poplava mora (VEPAR)	48
5.1.2. Analiza ugroženosti od obalnog plavljenja ranjivih naselja PGŽ	51
5.2. Topografske podloge	54
5.2.1. Visina terena	54
5.2.2. Dubina mora	55
6. PRIJEDLOG RJEŠENJA ZAŠTITE	57
6.1. Niska zaštitna školjera	57
6.2. Visoka zaštitna školjera	58
6.3. Podmorski prag	59
6.4. Potopljeni valolom	60
7. PROCJENA UČINKOVITOSTI PREDLOŽENIH RJEŠENJA	61
7.1. Analitički izrazi za prelijevanje	61

7.1.1.	Preljevanje preko glatkog obalnog nasipa sa šetnicom i zidom	67
7.1.2.	Preljevanje preko nasutog lukobrana	68
7.1.3.	Preljevanje preko vertikalnog zida	71
7.1.4.	Preljevanje preko kompozitnog vertikalnog zida	74
7.1.5.	Provjera prelijevanja	76
7.1.6.	Diskusija rezultata prelijevanja dobivenih empirijskim izrazima	125
7.2.	Fizikalni model	128
7.2.1.	Uspostava fizikalnog modela	128
7.2.2.	Rezultati fizikalnog modeliranja.....	136
7.3.	Diskusija rezultata	144
8.	PRORAČUN ODABRANOG RJEŠENJA	146
8.1.	Dimenzioniranje nasutog lukobrana	146
8.1.1.	Proračun nasutog lukobrana	149
8.2.	Dimenzioniranje potopljenog valoloma	153
8.2.1.	Proračun potopljenog valoloma	155
9.	ZAKLJUČAK	157
10.	LITERATURA	160
11.	NACRTI	162

Popis slika

Slika 1: Matrica preliminarnog rizika [1]	6
Slika 2: Preliminarni rizik od poplava (nakon provedene korekcije), prema [1]	7
Slika 3: Područja potencijalno značajnih rizika od poplava, prema [4]	8
Slika 4: Prostorna raspodjela registriranih poplava od mora na hrvatskoj obali Jadranskog mora [3]	13
Slika 5: Prognozirane rezidualne razine mora za povratne periode (od 2-1000 godina) za scenarije bez klimatskih promjena (lijevo) i sa klimatskim promjenama (desno) [3]	15
Slika 6: Prikaz polja visokih razina mora na području teritorijalnog mora RH u GIS sučelju (raster 200m × 200m). Prikazani su scenarij 1 (lijevo) i scenarij 4 (desno), prema [3] ...	17
Slika 7: Prikaz polja visokih razina mora na području teritorijalnog mora RH u GIS sučelju (raster 200m × 200m). Prikazani su scenarij 2 (lijevo) i scenarij 5 (desno), prema [3] ...	17
Slika 8: Prikaz polja visokih razina mora na području teritorijalnog mora RH u GIS sučelju (raster 200m × 200m). Prikazani su scenarij 3 (lijevo) i scenarij 6 (desno), prema [3] ...	18
Slika 9: Prikaz polja značajnih valnih visina H_s na području teritorijalnog mora RH u GIS sučelju (raster 200m × 200m). Prikazani su scenarij 1 (gore), scenarij 2 (sredina) i scenarij 3 (dole) pri valovanju iz SE sektora (lijevo) i SW sektora (desno), prema [3]	20
Slika 10: Prikaz polja vršnih spektralnih perioda T_p na području teritorijalnog mora RH u GIS sučelju (raster 200m x 200m). Prikaz se odnosi na scenarij srednje vjerojatnosti pojavljivanja (povratni period 100 godina; lijevo – djelovanje valova iz SE sektora ; desno – djelovanje valova iz SW sektora), prema [3]	21
Slika 11: Površine obalnog plavljenja naselja Volosko za $MR=1,15$ m n. m. (postojeće stanje) – lijevo; površine obalnog plavljenja naselja volosko za $MR=1,45$ m n. m. – desno [6]	23
Slika 12: Dubine obalnog plavljenja naselja Volosko za $MR=1,15$ m n. m. (zabilježeno plavljenje) – lijevo; dubine obalnog plavljenja naselja Volosko za $MR=1,45$ m n. m. (moguća poplava) – desno [6]	24
Slika 13: Površine obalnog plavljenja naselja Volosko za MR od 1,15 m n. m. do 2,65 m n. m. [6]	25
Slika 14: Položaj naselja Volosko (maps.google.hr)	27

Slika 15: Valovi u Voloskom [6]	30
Slika 16: Korištenje i namjena prostora prema PP-PGŽ (SN PGŽ 32/13, 07/17-ispravak, 41/18).....	33
Slika 17: Uvjeti korištenja, uređenja i zaštite prostora, zaštita kulturno povijesnog nasljeđa prema PP-PGZ (SN 32/13, 07/17-ispravak, 41/18)	34
Slika 18: Korištenje i namjena prostora prema PPUG Opatija (SN PGŽ br. 01/07, 56/12, 4/16, 8/16-proč.tekst,10/21 i 05/22-proč. tekst).....	37
Slika 19: Promet, pošta i telekomunikacije prema PPUG Opatija (SN PGŽ br. 01/07, 56/12, 4/16, 8/16-proč.tekst,10/21 i 05/22-proč. tekst)	39
Slika 20: Uvjeti korištenja i zaštite prostora, područja posebnih uvjeta korištenja prema PPUG Opatija (SN PGŽ br. 01/07, 56/12, 4/16, 8/16-proč.tekst,10/21 i 05/22-proč. tekst)	40
Slika 21: Građevinska područja – zaštićena kulturna baština prema PPUG Opatija (SN PGŽ br. 01/07, 56/12, 4/16, 8/16-proč.tekst,10/21 i 05/22-proč. tekst)	42
Slika 22: Korištenje i namjena površina prema UPU Opatija (SN PGŽ br. 10/09, 56/12,13/19,16/19 - proč. tekst i 10/21)	44
Slika 23: Značajne visine vala, SE smjer 50-god. Povratni period, Volosko, MR = 1,15 m n. m. [6]	52
Slika 24: Pregledna situacija naselja Volosko.....	54
Slika 25: Pozicija profila 1 na Obali Frana Supila u Voloskom (lijevo) i poprečni presjek profila 1 (desno).....	55
Slika 26: Prikaz slojnica ispred obalnog zida u Voloskom sa prikazanom udaljenosti planiranog potopljenog valoloma.....	55
Slika 27: Sličnost trokuta za određivanje dubine x	56
Slika 28: Karakteristični poprečni presjek niske zaštitne školjere uz Obalu Frana Supila u Voloskom	57
Slika 29: Karakteristični poprečni presjek visoke zaštitne školjere uz Obalu Frana Supila u Voloskom	58
Slika 30: Karakteristični poprečni presjek podmorskog praga uz Obalu Frana Supila u Voloskom	59

Slika 31: Karakteristični poprečni presjek potopljenog valoloma uz Obalu Frana Supila u Voloskom	60
Slika 32: Vrste loma vala na padini, prema [15].....	63
Slika 33: Visina uspona vala, prema [15]	64
Slika 34: Mirno kontinuirano prelijevanje [15].....	65
Slika 35: Raspršeno prelijevanje [15]	66
Slika 36: Prelijevanje preko nasipa sa zidom, prema [15]	67
Slika 37: Prelijevanje preko nasutog lukobrana, prema [15].....	68
Slika 38: Prelijevanje preko vertikalnog zida, prema [15]	71
Slika 39: Strategija za predviđanje prelijevanja preko vertikalnog i kompozitnog zida, prema [15]	72
Slika 40: Prelijevanje preko kompozitnog vertikalnog zida, prema [15].....	74
Slika 41: Shematski prikaz presjeka postojećeg stanja za srednju razinu mora sa kotama u m (gore), shematski prikaz vertikalnog zida sa parametrima (dole).....	77
Slika 42: Shematski prikaz presjeka postojećeg stanja za ekstremnu razinu mora bez klimatskih promjena sa kotama u m (gore), shematski prikaz vertikalnog zida sa parametrima (dole)	79
Slika 43: Shematski prikaz presjeka postojećeg stanja za ekstremnu razinu mora sa klimatskim promjenama sa kotama u m (gore), shematski prikaz vertikalnog zida sa parametrima (dole)	81
Slika 44: Shematski prikaz presjeka niske zaštitne školjere za srednju razinu mora sa kotama u m (gore), shematski prikaz nasipa sa šetnicom i zidom i potrebnim parametrima (dole)	83
Slika 45: Shematski prikaz presjeka niske zaštitne školjere za srednju razinu mora sa kotama u m (gore), shematski prikaz nasutog lukobrana sa potrebnim parametrima (dole).....	85
Slika 46: Shematski prikaz presjeka niske zaštitne školjere za ekstremnu razinu mora bez klimatskih promjena sa kotama u m (gore), shematski prikaz nasipa sa šetnicom i zidom i potrebnim parametrima (dole)	87

Slika 47: Shematski prikaz presjeka niske zaštitne školjere za ekstremnu razinu mora bez klimatskih promjena sa kotama u m (gore), shematski prikaz nasutog lukobrana sa potrebnim parametrima (dole)	89
Slika 48: Shematski prikaz presjeka niske zaštitne školjere za ekstremnu razinu mora sa klimatskim promjenama sa kotama u m (gore), shematski prikaz vertikalnog kompozitnog zida sa parametrima (dole)	91
Slika 49: Shematski prikaz presjeka niske zaštitne školjere za srednju razinu mora sa kotama u m (gore), shematski prikaz nasipa sa šetnicom i zidom i potrebnim parametrima (dole)	93
Slika 50: Shematski prikaz presjeka visoke zaštitne školjere za srednju razinu mora sa kotama u m (gore), shematski prikaz nasutog lukobrana sa parametrima (dole)	95
Slika 51: Shematski prikaz presjeka visoke zaštitne školjere za ekstremnu razinu mora bez klimatskih promjena sa kotama u m (gore), shematski prikaz nasipa sa šetnicom i zidom i potrebnim parametrima (dole)	97
Slika 52: Shematski prikaz presjeka visoke zaštitne školjere za ekstremnu razinu mora bez klimatskih promjena sa kotama u m (gore), shematski prikaz nasutog lukobrana sa parametrima (dole)	99
Slika 53: Shematski prikaz presjeka visoke zaštitne školjere za ekstremnu razinu mora sa klimatskim promjenama sa kotama u m (gore), shematski prikaz nasipa sa šetnicom i zidom i potrebnim parametrima (dole)	101
Slika 54: Shematski prikaz presjeka visoke zaštitne školjere za ekstremnu razinu mora sa klimatskim promjenama sa kotama u m (gore), shematski prikaz nasutog lukobrana sa parametrima (dole)	103
Slika 55: Shematski prikaz presjeka kraćeg podmorskog praga za srednju razinu mora sa kotama u m (gore), shematski prikaz nasipa sa šetnicom i zidom i potrebnim parametrima (dole)	105
Slika 56: Shematski prikaz presjeka kraćeg podmorskog praga za srednju razinu sa kotama u m (gore), shematski prikaz nasutog lukobrana sa parametrima (dole)	107

Slika 57: Shematski prikaz presjeka kraćeg podmorskog praga za ekstremnu razinu mora bez klimatskih promjena sa kotama u m (gore), shematski prikaz vertikalnog komozitnog zida sa parametrima (dole)	108
Slika 58: Shematski prikaz presjeka kraćeg podmorskog praga za ekstremnu razinu mora sa klimatskim promjenama sa kotama u m (gore), shematski prikaz vertikalnog komozitnog zida sa parametrima (dole).....	110
Slika 59: Shematski prikaz presjeka dužeg podmorskog praga za srednju razinu mora sa kotama u m (gore), shematski prikaz nasipa sa šetnicom i zidom i potrebnim parametrima (dole)	112
Slika 60: Shematski prikaz presjeka dužeg podmorskog praga za srednju razinu sa kotama u m (gore), shematski prikaz nasutog lukobrana sa parametrima (dole)	114
Slika 61: Shematski prikaz presjeka dužeg podmorskog praga za ekstremnu razinu mora bez klimatskih promjena sa kotama u m (gore), shematski prikaz vertikalnog komozitnog zida sa parametrima (dole).....	115
Slika 62: Shematski prikaz presjeka dužeg podmorskog praga za ekstremnu razinu mora sa klimatskim promjenama sa kotama u m (gore), shematski prikaz vertikalnog komozitnog zida sa parametrima (dole).....	117
Slika 63: Shematski prikaz potopljenog valoloma udaljenog 30 m od Obale Frana Supila za srednju razinu mora sa kotama u m (gore), shematski prikaz transmisije vala preko uronjenog valoloma sa parametrima (dole) [16].....	119
Slika 64: Shematski prikaz potopljenog valoloma udaljenog 30 m od Obale Frana Supila za ekstremnu razinu mora bez klimatskih promjena sa kotama u m (gore), shematski prikaz transmisije vala preko uronjenog valoloma sa parametrima (dole) [16]	121
Slika 65: Shematski prikaz potopljenog valoloma udaljenog 30 m od Obale Frana Supila za ekstremnu razinu mora sa klimatskim promjenama sa kotama u m (gore), shematski prikaz transmisije vala preko uronjenog valoloma sa parametrima (dole) [16]	123
Slika 66: Generator valova sa lopaticom u kanalu sa vodom	129
Slika 67: Shematski prikaz kanala s vodom, lopatice i modela (nije u mjerilu)	129
Slika 68: Kontrolna ploča kanala s vodom	130

Slika 69: 1. scenarij – obalni zid; položaj scenarija u laboratoriju (lijevo) i shematski prikaz sa dimenzijama u cm (desno).....	131
Slika 70: 2. scenarij – niska zaštitna školjera; položaj scenarija u laboratoriju (lijevo) i shematski prikaz sa dimenzijama u cm (desno)	131
Slika 71: 3. scenarij – niži potopljeni valolom; položaj scenarija u laboratoriju (gore) i shematski prikaz sa dimenzijama u cm (dole)	132
Slika 72: 4. scenarij – kraći podmorski prag; položaj scenarija u laboratoriju (lijevo) i shematski prikaz sa dimenzijama u cm (desno)	133
Slika 73: 5. scenarij – viši potopljeni valolom; položaj scenarija u laboratoriju (gore) i shematski prikaz sa dimenzijama u cm (dole)	134
Slika 74: 6. scenarij – visoka zaštitna školjera; položaj scenarija u laboratoriju (lijevo) i shematski prikaz sa dimenzijama u cm (desno)	134
Slika 75: 7. scenarij – duži podmorski prag; položaj scenarija u laboratoriju (gore) i shematski prikaz sa dimenzijama u cm (dole)	135
Slika 76: Dijagram prelijevanja 1. scenarija (postojeće stanje) za pojedinu frekvenciju	137
Slika 77: Dijagram prelijevanja 2. scenarija (niska zaštitna školjera) za pojedinu frekvenciju.....	138
Slika 78: Dijagram prelijevanja 3. scenarija (niži potopljeni valolom) za pojedinu frekvenciju.....	139
Slika 79: Dijagram prelijevanja 4. scenarija (kraći podmorski prag) za pojedinu frekvenciju.....	140
Slika 80: Dijagram prelijevanja 5. scenarija (viši potopljeni valolom) za pojedinu frekvenciju.....	141
Slika 81: Dijagram prelijevanja 6. scenarija (visoka zaštitna školjera) za pojedinu frekvenciju.....	142
Slika 82: Dijagram prelijevanja 7. scenarija (duži podmorski prag) za pojedinu frekvenciju.....	143
Slika 83: Dijagram ukupnog prelijevanja za svaki scenarij dobiven eksperimentalnim istraživanjem.....	145

Slika 84: Dijagram ukupnog prelijevanja za količinu utrošenog materijala dobiven eksperimentalnim istraživanjem.....	145
Slika 85: Poprečni profil nasutog lukobrana, prema [18]	148
Slika 86: Shematski prikaz uronjenog valoloma sa njegovim parametrima, prema [16]	153

Popis tablica

<i>Tablica 1: Rezidualne razine mora za povratne periode od 25 (velika vjerojatnost), 100 (srednja vjerojatnost) i 1000 (mala vjerojatnost) godina – bez utjecaja klimatskih promjena, prema [3].....</i>	<i>48</i>
<i>Tablica 2: Rezidualne razine mora za povratne periode od 25 (velika vjerojatnost), 100 (srednja vjerojatnost) i 1000 (mala vjerojatnost) godina – s utjecajem klimatskih promjena, prema [3].....</i>	<i>48</i>
<i>Tablica 3: Rezidualne razine mora mareografske postaje Bakar za 5 godišnje plansko razdoblje po mjesecima, prema [3].....</i>	<i>49</i>
<i>Tablica 4: Ekstremne razine mora za povratne periode od 25 (velika vjerojatnost), 100 (srednja vjerojatnost) i 1000 (mala vjerojatnost) godina – bez i sa utjecajem klimatskih promjena, očitano iz [3]</i>	<i>49</i>
<i>Tablica 5: Značajne visine vala H_s za povratne periode od 25 (velika vjerojatnost), 100 (srednja vjerojatnost) i 1000 (mala vjerojatnost) godina – bez i sa utjecajem klimatskih promjena, očitano iz [3]</i>	<i>50</i>
<i>Tablica 6: Vršni spektralni period T_p za povratne periode od 25 (velika vjerojatnost), 100 (srednja vjerojatnost) i 1000 (mala vjerojatnost) godina – bez i sa utjecajem klimatskih promjena, očitano iz [3]</i>	<i>50</i>
<i>Tablica 7: Plavljene površine u Voloskom pri analiziranim morskim razinama [6]</i>	<i>51</i>
<i>Tablica 8: Raylegihova distribucija pojedina visine vala za svaki povratni period, smjer SSE [13]</i>	<i>53</i>
<i>Tablica 9: Vrijednosti faktora propusnosti i hrapavosti obloge γ_f, prema [15].....</i>	<i>69</i>
<i>Tablica 10: Preljevni protoci svake varijante po razini mora</i>	<i>125</i>
<i>Tablica 11: Prikaz rezultata 1. scenarija.....</i>	<i>136</i>
<i>Tablica 12: Prikaz rezultata 2. scenarija.....</i>	<i>137</i>
<i>Tablica 13: Prikaz rezultata 3. scenarija.....</i>	<i>138</i>
<i>Tablica 14: Prikaz rezultata 4. scenarija.....</i>	<i>139</i>
<i>Tablica 15: Prikaz rezultata 5. scenarija.....</i>	<i>140</i>
<i>Tablica 16: Prikaz rezultata 6. scenarija.....</i>	<i>141</i>

<i>Tablica 17: Prikaz rezultata 7. scenarija</i>	<i>142</i>
<i>Tablica 18: Tablični prikaz preporučenog koeficijenta stabilnosti K_D [17]</i>	<i>146</i>
<i>Tablica 19: Koeficijent sloja k_A, prema [17]</i>	<i>147</i>
<i>Tablica 20: Projektirane vrijednosti stupnja oštećenja za zaštitnu oblogu, prema [19]</i>	<i>153</i>

1. UVOD

Ekstremno visoke razine mora najčešće su na sjevernoj i istočnoj obali Jadranskog mora i upravo su to područja koja su u opasnosti od plavljenja. Glavni uzrok velikog broja poplava na Jadranskom moru jesu olujni uspori koji su izazvani prolaskom duboke ciklone iznad područja Jadrana zajedno sa pojavama vjetra i atmosferskog tlaka zraka. Olujni uspori nastaju djelovanjem olujnog juga (vjetar južnog do jugoistočnog smjera puhanja) koji pomiče vodene mase prema sjevernom Jadranu. Olujno jugo stvara valove na sjevernoj i istočnoj obali Jadranskog mora koji svojim djelovanjem podižu razinu mora. Klimatske promjene uvelike utječu na rizike od poplava jer se njihovom pojavom podiže srednja razina mora te kombiniranim djelovanjem vjetra dolazi do visoke opasnosti od poplava i prelijevanja valova u priobalnim naseljima. Naselje Volosko nalazi se na području koje je u opasnosti od plavljenja te pri djelovanju olujnog juga i pojavi olujnih uspora dolazi do prelijevanja te plavljenja javnih površina zbog neadekvatne zaštite obalnog pojasa [3].

Cilj ovoga rada je odabir zaštitne obalne građevine koja štiti priobalni dio naselja Volosko od olujnih uspora i prelijevanja.

U drugom poglavlju dan je kratak uvod u Plan upravljanja vodnim područjima koji je temeljni dokument za gospodarenje stanjem vodama i rizicima od poplava. Sastoji se od dvije komponente od kojih je prva upravljanje stanjem vodama a druga je upravljanje rizicima od poplava. Proučeni su podaci i rezultati iz najnovijih studija i istraživanja na temu poplava od mora i ranjivosti obalnog područja kako bi se mogle dobiti vrijednosti za proračun i dimenzioniranje.

U trećem poglavlju opisana su geološka obilježja te klimatske karakteristike naselja Volosko. Predstavljeni su i opisani postojeći problemi koji se javljaju na obalnom pojasu naselja Volosko, točnije na Obali Frana Supila koja pri svakom većem olujnom jugu poplavi.

Četvrto poglavlje daje pregled prostorno planske dokumentacije koja se tiče lokacije zahvata na kojemu se planira zaštita od olujnih uspora.

U petom poglavlju su prikazani rezultati iz Studije upravljanja rizicima od poplava mora (VEPAR) [3] koja je rađena za cijelo Jadransko more, te rezultati detaljnije analize koja je rađena posebno za naselje Volosko u okviru projekta „Analiza ugroženosti od obalnog plavljenja ranjivih naselja Primorsko-goranske županije“ [6]. Iz navedenih dokumenata preuzeti su podaci o visokim razinama mora za povratni period od 100 godina bez i s utjecajem klimatskih promjena te podaci o valovima neposredno ispred naselja Volosko.

Kako bi se zaštitio obalni pojas naselja Volosko od prelijevanja, predložene su četiri varijante mjera zaštite u vidu obalnih građevina: niska zaštitna školjera, visoka zaštitna školjera, podmorski prag i potopljeni valolom.

Putem analitičkih izraza za prelijevanje provedena je procjena učinkovitosti pojedine zaštitne obalne građevine. Analitički izrazi preuzeti su iz EurOtop priručnika [15] za prelijevanje. Pošto analitički izrazi imaju određena ograničenja s obzirom na tipove obalnih koonstrukcija dodatno je provedeno eksperimentalno istraživanje u hidrotehničkom laboratoriju u okviru kojega je napravljen fizikalni model kako bi se utvrdili dobiveni rezultati. Simuliralo se djelovanje valova na obalni zid na Obali Frana Supila u Voloskom. Fizikalnim eksperimentom dana je realnija slika prelijevanja te se utvrdilo koja je mjera koliko učinkovita. Na kraju je proveden postupak dimenzioniranja odabrane dvije varijante rješenja.

2. OPASNOSTI I RIZICI OD POPLAVA

2.1. Karte opasnosti i rizika od poplava

Plan upravljanja vodnim područjima

Za pojedino vodno područje i za njegove dijelove (po potrebi) Hrvatske vode izrađuju plan upravljanja rizicima od poplava prema odredbama iz članaka 110., 111 i 112. Zakona o vodama (Narodne novine, br. 153/09, 63/11, 130/11, 56/13 i 14/14). Temeljem Zakona o vodama (Narodne novine, br. 66/19 i 84/21) izrađen je Plan upravljanja vodnim područjima (2022. – 2027.). Plan upravljanja rizicima od poplava sastavni je dio Plana upravljanja vodnim područjima temeljem odredba Pravilnika o sadržaju plana upravljanja vodnim područjima (Narodne novine, br. 74/13, 53/16 i 64/18) te odredbama iz članka 127. Zakona o vodama. Sukladno s time Plan upravljanja vodnim područjima 2022. -2027. sadrži dvije komponente upravljanja vodnim područjima [1]:

- komponenta I.: Upravljanje stanjem vodama. Ova komponenta uključuje dopunjeni pregled stanja voda i sustav za praćenje voda [1]
- komponenta II.: Upravljanje rizicima od poplava. U komponentu II. spadaju Prethodne procjene rizika od poplava, karte opasnosti i rizika od poplava, ciljevi za upravljanje rizicima od poplava zajedno sa programom mjera za ostvarenje ciljeva[1].

Glavni dokument za upravljanje rizicima od poplava i stanjem voda jest Plan upravljanja vodnim područjima. Ovim se planom najznačajniji dio mjera i ciljeva određuje na nacionalnoj razini i nadovezuje se na vodno područje Jadrana i rijeke Dunav. Zbog prethodnog razloga Plan upravljanja vodnim područjima propisan je Zakonom o vodama kao jedinstveni dokument. Za svako se vodno područje pojedini elementi plana obrađuju zasebno, naročito vanjska opterećenja i utjecaji te prirodne značajke vodnih područja koji su polazna točka za definiranje ciljeva i mjera za rješavanje vodnogospodarskih pitanja [1].

Na prostorima Hrvatske pojavljuju se brojne poplave koje se prema planu upravljanjima vodnim područjima svrstavaju u sljedeće skupine prema izvorima plavljenja [1]:

- riječne (fluvijalne) poplave uslijed obilnih kiša,
- poplave izazvane visokim morskim razinama zbog olujnih uspora,
- bujične poplave koje nastaju uslijed kiša visokog intenziteta kratkog trajanja,
- poplave na krškim područjima zbog obilatih kiša i slabe propusnosti ponora,
- poplave unutarnjih voda kod nizinskih površina,
- poplave zbog otapanja ledenjaka,
- poplave zbog gubitka stabilnosti sustava za branjenje od poplava na rijekama i retencijama (proboj nasipa i brana, aktivacija klizišta itd.).

U planskom ciklusu Plana upravljanja vodnim područjima obuhvaćene su [1]:

- riječne poplave zajedno s poplavama koje su prouzročene zbog leda na rijekama i poplave zbog gubitka upotrebljivosti sustava za branjenje od poplava,
- poplave prouzročene podzemnim vodama, koje su tipične za krška područja
- poplave zbog visokih morskih razina,
- plavljenje zbog zakazivanja vodnih infrastruktura – akumulacija i kanala.

Prema podacima o mogućim poplavama iz Prethodne procjene rizika od poplava i kartama opasnosti od poplava bazirane su procjene preliminarne opasnosti od poplava [1].

Karte opasnosti od poplava napravljene su za teritorije koji su definirani kao područja sa mogućim znatnim rizicima od poplava u Prethodnoj procjeni rizika od poplava. Karte opasnosti od poplava prikazane su odnosno obuhvaćaju tri moguća specifična scenarija plavljenja u mjerilu 1:25 000 [1]:

- poplave s malom vjerojatnosti pojavljivanja (povratno razdoblje otprilike 1000 godina) uključujući i umjetne poplave (poplave zbog rušenja nasipa i brana),
- poplave sa srednjom vjerojatnosti pojavljivanja (povratno razdoblje otprilike 100 godina),
- poplave sa velikom vjerojatnosti pojavljivanja (povratno razdoblje otprilike 25 godina).

Klimatske promjene utječu na rizike od poplava na cijelom području RH Hrvatske što je zaključeno na osnovu rezultata modeliranja klimatskih promjena. Sukladno tome klimatske promjene kod svih segmenata upravljanja rizicima od poplava trebaju pomno biti uzete u obzir. Negativni efekti koje uzrokuju klimatske promjene na rizike od poplava rastu od sjeveroistoka prema jugozapadu. Negativni efekti se povećavaju i na obali mora gdje dolazi do kombiniranja meteoroloških efekata sa efektima podizanja morske razine [1].

Prethodna procjena rizika od poplava

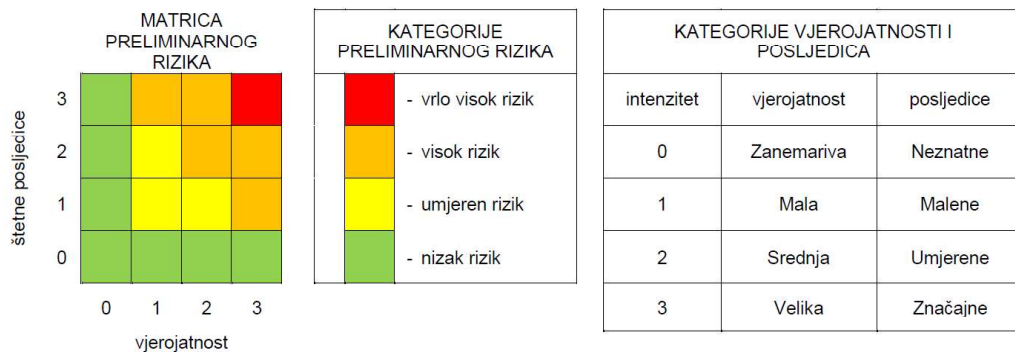
Prije izrade plana upravljanja vodnim područjima potrebno je odrediti Prethodnu procjenu preliminarnog rizika od poplava nakon koje se obavlja konačna provjera rezultata, koja spada u proces konačnog utvrđivanja područja mogućih značajnih rizika. Konačna verifikacija rezultata obavlja se iz razloga da se usklade rezultati Prethodne procjene rizika od poplava sa iskustvenom i stručnom praksom upravljanja rizicima od poplava u RH. Klasifikacija svih dijelova vodnih područja zajedno sa obalnim područjima, gdje postoje ili može doći do potencijalno značajnijih rizika od poplava, obavljena je u procjeni rizika od poplava [1].

Prethodna procjena rizika od poplava sadrži:

1. Zemljovide (karte) određenog vodnog područja u odgovarajućem mjerilu, zajedno s ucrtanim granicama podslivova, vodnih i priobalnih područja s prikazom topografije.
2. Pregled poplava tijekom prošlosti koje su ostavile štetne posljedice na ljudsko zdravlje, okolinu, gospodarstvo i kulturnu baštinu i prikazana je vjerojatnost pojave takvih poplava (dogadaja) koji mogu prouzročiti slične posljedice.
3. Procjenu opasnih posljedica budućih poplava za ljudsko zdravlje, okolinu, gospodarske djelatnosti i kulturu. U sklopu procjene prikazane su hidrološke, geomorfološke i topografske značajke kao i položaj vodotoka. Uključena su prirodna retencijska područja, poplavna područja, efikasnost sadašnjih građevina za zaštitu od poplava, položaji industrijske zone i naseljenih područja, utjecaji

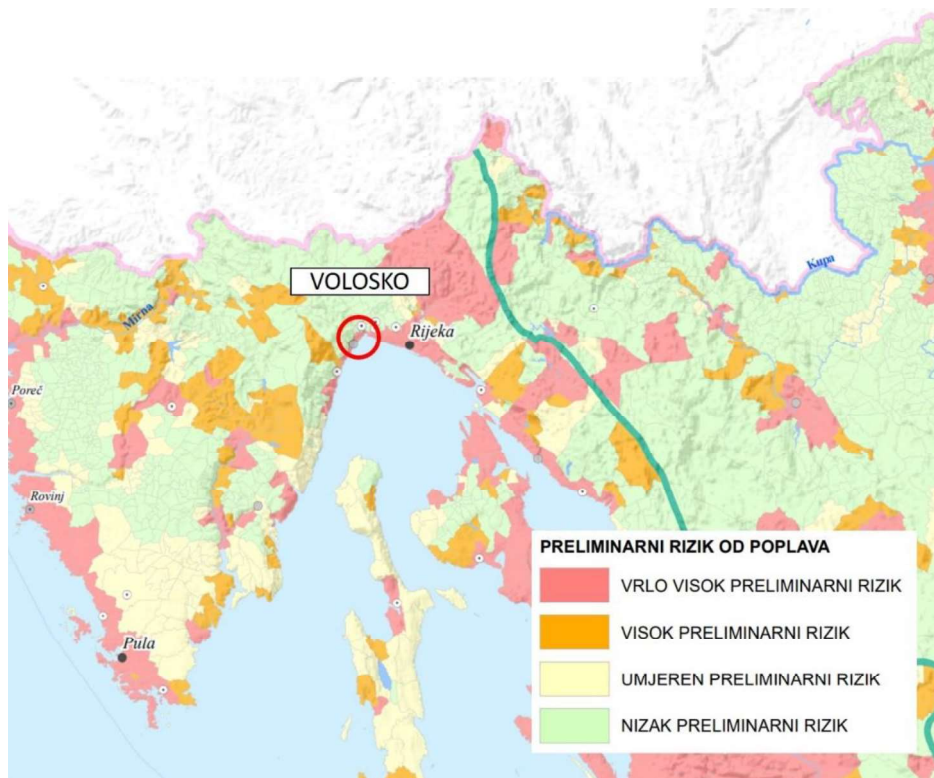
klimatskih promjena na mogućnost pojave poplava te planovi za dugoročni razvoj [2].

Preliminarni rizik od poplava ne određuje se iskustveno nego je normiran te se za njegovo određivanje koriste matrice rizika (slika 1) koje su prilagođene kontekstu [1].



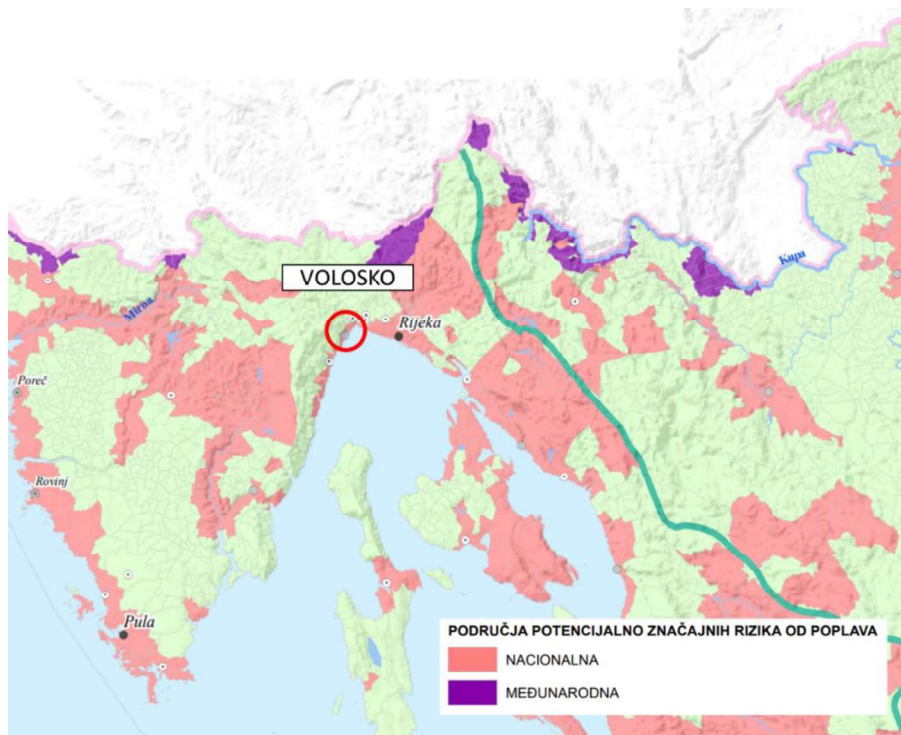
Slika 1: Matrica preliminarnog rizika [1]

Nakon što je određena Prethodna procjena preliminarnog rizika provodi se njena korekcija imajući u vidu klimatske promjene, kulturnu baštinu, budući razvoj te prethodno evidentirane poplave odnosno poplavne događaje. Ukoliko je zabilježeno više poplavnih događaja na nekom području od 2011. godine, preliminarni rizik od poplava definiran je kao vrlo visok za određeni čimbenik. Ako na nekom području prevladavaju naznake da su potencijalne razvojne aktivnosti vrlo velike, da su klimatskih promjena značajno utjecale na povećanje rizika, da na povećanje ukupnog rizika od poplava utječu moguće štetne posljedice na kulturnu baštinu te je zabilježena poplava od 2011. godine, preliminarnom riziku od poplava pridodaje se kategorija više u odnosu na prvobitne rezultate proračuna. Na slici 2 prikazana je karta preliminarnog rizika od poplava na kojoj je vidljivo da za naselje Volosko postoji vrlo visok rizik od poplava.



Slika 2: Preliminarni rizik od poplava (nakon provedene korekcije), prema [1]

U posljednjem koraku planskog ciklusa određuje se lokacija sa potencijalno značajnim rizicima od poplava na sveukupnom državnom teritoriju. Sukladno tome provodi se proces verifikacije rezultata te se tako povećala pouzdanost procesa i spriječene su potencijalne greške. Konačna verifikacija obavlja se za područja koja su pod preliminarnim visokim ili vrlo visokim rizikom te su uvrštena u područja kod kojih je prisutan potencijalno značajan rizik od poplava. U konačnici lokacije sa potencijalno značajnim rizicima od poplava (slika 3) definirane su pomoću Prethodne procjene rizika od poplava te provedenom verifikacijom njenih rezultata [1].



Slika 3: Područja potencijalno značajnih rizika od poplava, prema [4]

Iz priložene slike vidljivo je da je naselje Volosko unutar područja potencijalno značajnih rizika od poplava.

Karte opasnosti i karte rizika od poplava

Temeljem odredbi Zakona o vodama i pripadnih podzakonskih akata izrađene su Karte opasnosti od poplava i karte rizika od poplava za vodna područja. Karte opasnosti od poplava i rizika od poplava napravljene su u okviru Plana upravljanja rizicima od poplava, a on je sastavni dio Plana upravljanja vodnim područjima.

Karte opasnosti od poplava prikazane su za tri moguća specifična scenarija plavljenja:

- poplave s malom vjerojatnosti pojavljivanja (povratno razdoblje od otprilike 1000 godina). Stupanj zaštite od poplava većih gradova uz zaštitu prostora i infrastrukturnih građevina gdje se pojavljuju štete poplave za zajednicu te poplave zbog rušenja nasipa i brana

- poplave sa srednjom vjerojatnosti pojavljivanja (povratno razdoblje od otprilike 100 godina) Stupanj zaštite od poplava manjih gradova i infrastrukturnih građevina,
- poplave sa velikom vjerojatnosti pojavljivanja (povratno razdoblje od otprilike 25 godina) Stupanj zaštite od poplava naselja te područja koja su značajna za poljoprivredu [1].

Za svaki poplavni scenarij napravljena je karta u mjerilu 1:25 000 za područja sa mogućim značajnim rizicima od poplava koja su definirana u Prethodnoj procjeni rizika od poplava. Analize su odrađene na otprilike 30 000 km². Područja koja su uključena u Kartama opasnosti od poplava spadaju u područja koja su potencijalno značajnih rizika od poplava i broje malo više od 34 000 km². Karte sadrže i područja koja trenutno nisu pod značajnim rizikom od poplava ukoliko su za ta područja postojale adekvatne informacije i obim plavljenja. No kod područja koja nisu definirana sa potencijalnim rizikom od poplava, podaci (informacije) nisu potpuni te se pri dodatnim planskim aktivnostima ne uzimaju u obzir [1].

Na području potencijalno značajnih rizika od poplava (PPZRP) iz scenarija male vjerojatnosti pojavljivanja (MV) ugroženo je 9049 km² (16,0 %), iz scenarija srednje vjerojatnosti (SV) 4259 km² (7,5 %) te iz scenarija velike vjerojatnosti (VV) 3249 km² (5,7 %) državnog kopnenog teritorija [1].

Pri izradi karata upotrijebljene su topografske, hidrometeorološke i mareografske podloge Državne geodetske uprave, Državnog hidrometeorološkog zavoda i Hrvatskog hidrografskog instituta. Karte se nalaze u WebGIS preglednicima te imaju mogućnost spremanja i prenošenja odabranih prostora u „pdf“ format i ispis.

Pomoću karte rizika od poplava može se napraviti prostorni pregled potencijalnih opasnih posljedica koje su povezane sa poplavnih scenarijima koji su prikazani na kartama opasnosti od poplava. Karte su namijenjene za javnost kako bi se olakšalo korištenje i sudjelovanje u upravljanju raznim rizicima od poplava. Karte ne sadrže sve moguće scenarije plavljenja. Procjena intenziteta rizika, provodi se u Planu upravljanja rizicima od

poplava. Intenzitet rizika je kombinacija vjerojatnosti poplavnih događaja te štetnih posljedica mogućih poplavnih događaja [1].

Karte rizika od poplava izrađene su u mjerilu 1:25 000 te su za javnost dostupne s web stranice. Na području Republike Hrvatske po scenariju male vjerojatnosti pojavljivanja ugroženo je 19 % ukupnog stanovništva. Ugroženo stanovništvo prema scenariju srednje vjerojatnosti pojavljivanja iznosi 3,4 % dok za scenarij velike vjerojatnosti pojavljivanja iznosi 1,6 % ukupnog stanovništva Republike Hrvatske. Unutar sveukupne plavljene površine na jadranskom vodnom području postotak urbanih i gospodarskih područja iznosi 8 i 10 % ovisno o scenariju, gdje su najučestalije poplave koje su uzrokovane ekstremnim razinama mora [1].

Program mjera

Unutar programa mjera predviđene mjere dijele se na regulatorne (legislativne) i provedbene mjere [1].

Pod regulatorne mjere spadaju:

- zakoni i podzakonski akti
- registri/popisi
- vodopravni akti (dozvole i ograničenja)
- zabrane
- prostorno planiranje (ograničenja)

Pod provedbene mjere spadaju:

- direktna provedba mjere
- nacionalno poticajna aktivnost
- dobrovoljna primjena i preporuka dobre prakse
- savjetodavna kampanja
- istraživanja i edukacija

U sklopu Višegodišnjeg programa gradnje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i građevina za melioracije temeljito je razrađen dio programa provedbenih mjera te se njime osigurava [1]:

- porast stanovništva sa umanjenim rizikom od poplava i porast područja sa smanjenim rizikom od poplava
- porast broja sustava obrane od poplava koji se temelje na ekološki prihvatljivom pristupu

Generalno, postavljeni ciljevi mogu se ostvariti informiranjem javnosti o problemu srječavanja i zaštite od poplava, smanjenjem poplava te razvitkom i unaprijeđenjem sustava obavještanja i predviđavanja poplava [1].

Treći tip mjera, preventivne mjere zaštite, uključuju sve djelatnosti koje se provode da bi se smanjio rizik od poplava. U većem dijelu pod njih spada kombinacija građevinskih i raznih administrativnih mjera. Preventivna zaštita od poplava uključuje provedbu aktivnosti i mjera kako bi se eliminiralo štetno djelovanje voda te smanjila ili spriječila ugroženost ljudi i materijalnih dobara od štetnog djelovanja voda. One se razmatraju na području čitavog sliva. Ukoliko se razne preventivne mjere provode u kontinuitetu kroz duže razdoblje ili tijekom godine, moguće je značajno smanjenje rizika od plavljenja [1].

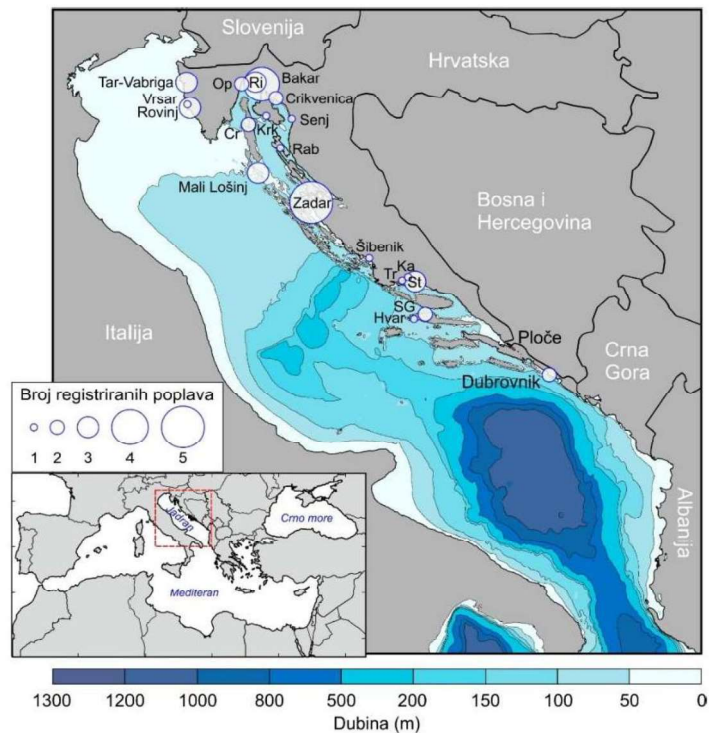
Kako bi se unaprijedili dijelovi preventivne i operativne obrane od poplava, kroz programsko razdoblje 2016. – 2021. napravljene su studije i pripremila se tehnička dokumentacija koja ima za cilj bolje razumijevanje i upravljanje rizicima od poplava. Jedna od studija koja je izrađena u tom programskom razdoblju jest Projekt VEPAR, čiji su naručitelj Hrvatske vode. Projekt čine načini kojima je moguće unaprijediti negrađevinske mjere upravljanja rizicima od poplava na području Republike Hrvatske. [1].

2.2. Studija upravljanja rizicima od poplava mora (VEPAR)

Poboljšanje negrađevinskih mjera za upravljanje rizicima od poplava osnovni je cilj projekta VEPAR. Unaprjeđenje mjera se odnosi na mjere od poplava koje su u ovlasti Hrvatskih voda i DHMZ-a koji su ujedno korisnici projekta. U nastavu se prenose glavni rezultati iz Studije upravljanja rizicima od poplava mora (VEPAR) u okviru koje su provedene analize opasnosti i rizika od poplava mora za obalno područje Republike Hrvatske [3].

2.2.1. Poplave od mora

Iznimno visoke razine mora u Jadranskom moru najučestalije su na sjevernoj i istočnoj obali jadranskog mora, stoga zbog njih postoji opasnost da će doći do poplava u tim područjima. Poznatije i bolje istražene poplave javljaju se na sjevernoj obali Jadranskog mora, odnosno u Veneciji. Te su poplave poznate kao „Acqua Alta“ (visoka voda). Pošto poplave imaju razoran učinak, gradske vlasti grada Venecije su napravile sustav brana za zaštitu od poplava MOSE koji je aktiviran 10. listopada 2020. godine pri čemu je učinkovito zaštitio Veneciju od poplave. Unatoč dominantnim poplavama u sjevernom dijelu, koje su izazvane ekstremno visokim morskim razinama, one se javljaju i na hrvatskoj obali jadranskog mora. Poplave na našim obalama su manje poznate i istraživane ali se događaju ujednačeno na čitavom hrvatskom dijelu obale Jadranskog mora što se može vidjeti na slici 4 [3]. Iz priložene slike vidljivo je da je broj registriranih poplava u području naselja Volosko prilično velik.



Slika 4: Prostorna raspodjela registriranih poplava od mora na hrvatskoj obali Jadranskog mora

[3]

Uzrok pojave većine poplava na Jadranu jest sinoptičko atmosfersko djelovanje odnosno olujni uspori. Pojava ekstremno visokih razina Jadranskog mora razdvaja se u dvije kategorije, odnosno dva atmosferska fenomena: meteorološki tsunamiji i olujni uspori [3].

Meteorološki tsunamiji nastaju zbog poremećaja u atmosferskom tlaku te njegovim prolaskom iznad zahvaćenog područja [3]. Meteotsunami „uzima“ energiju iz atmosfere te prilikom njegove pojave dolazi do iznenadnog podizanja razine mora tj. velikog vala. Uglavnom se javljaju na mjestima prikladnih barometrijsko-topografskih karakteristika te kod manjih izoliranih područja (manja od nekoliko desetaka kilometara). Meteorološki tsunamiji su teško uočljivi na otvorenom moru, kratkog su trajanja (od desetak minuta do par sati) i nije ih moguće kvalitetno prognozirati s trenutno dostupnim modelima [4].

Olujni uspori, koji svojom pojavom podižu razinu mora i uzrokuju poplave, izazvani su dubokom ciklonom koja prolazi iznad područja Jadrana zajedno sa pojavom vjetera i atmosferskog tlaka zraka. Za razliku od meteoroloških tsunamija, olujni uspori zahvaćuju

veće područje (par stotina kilometara), traju od nekoliko sati do par dana te se uglavnom mogu predvidjeti pomoću atmosferskih i oceanografskih modela. Ciklona koja se pojavljuje te izaziva poplave na obalama Jadranskog mora najčešće je nastala u Genovskom zaljevu [3].

Olujno jugo nastaje zbog prolaska Genovske ciklone lociranom iznad Tirenskog mora i sjevernog Jadrana te područja visokog tlaka zraka koji je prisutan na istočnom Mediteranu. Kod takve situacije pojavljuje se „jugo“ (vjetar južnog do jugoistočnog smjera puhanja) koji puše iznad cijelog Jadrana. Zbog puhanja „juga“ vodene mase se primiču prema sjevernom Jadranu, odnosno prisutni su valovi na sjevernoj i istočnoj obali Jadranskog mora te tako podižu razinu mora [5]. Podizanje razine mora na sjevernoj i istočnoj obali Jadranskog mora ujedno je posljedica inverznog barometarskog efekta prilikom kojega se za smanjenje tlaka zraka od 1 hPa razina mora se podiže za približno 1 cm [3].

Olujni uspori su povezani s vjetrom koji je orijentiran direktno prema zahvaćenoj lokaciji te s poljem niskog tlaka zraka. Uz prolazak ciklone nad Jadranom postoje i dodatni procesi zbog kojih se pojavljuju ekstremno visoke razine mora. Ti procesi jesu plimne oscilacije te oscilacije razine mora u periodu trajanja duljeg od 10 dana. Naime na morsku razinu utječu sporo-propagirajući atmosferski planetarni valovi kod perioda duljih od 10 dana. Takvi valovi imaju mogućnost podizanja pozadinske razine mora za više od 30 cm i tako stvaraju prikladne uvjete za nastajanje poplava uslijed prolaska ciklone [3].

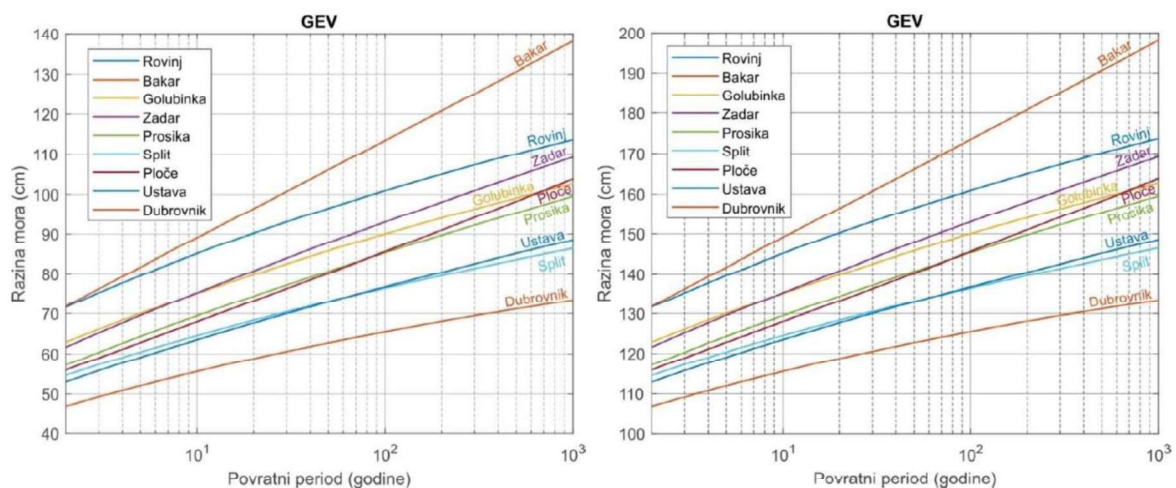
Plimne oscilacije posljedica su privlačnog gravitacijskog djelovanja Sunca i Mjeseca na oceane. U Mediteranskom području plimne su oscilacije uzrokovane plimnim oscilacijama Atlantskog oceana koje se kreću u Mediteran (gdje su slabije) kroz Gibraltar [3].

2.2.2. Numeričko modeliranje ekstremno visokih razina mora

U Studiji upravljanja rizicima od poplava mora (VEPAR) [3] provedeno je numeričko modeliranje prema 18 scenarija s ciljem procjene ekstremno visoke razine mora uzrokovane klimatskim promjenama. Prvih 6 scenarija definirani su za malu, srednju i veliku vjerojatnost pojave visokih razina mora. Preostalih 12 scenarija definirani su

mjesečnim ekstremnim razinama mora za 5-godišnje plansko razdoblje. Modeli se koriste s ciljem procjene visokih razina mora na cijeloj domeni Jadranskog mora.

Unutar Studije upravljanja rizicima od poplava mora (VEPAR) [3] provedena je statistička analiza kojom se ustanovila vrijednost visokih razina mora na 9 mareografskih postaja na Jadranskom moru. Vrijednosti visokih razina mora svake mareografske postaje određene su za tri scenarija: mala vjerojatnost (povratno razdoblje od 1000 godina), srednja vjerojatnost (povratno razdoblje od 100 godina) i velika vjerojatnost (povratno razdoblje od 25 godina) bez i sa klimatskim promjenama, prikazano na slici 5. Za sve mareografske postaje dobivene su i rezidualne razine mora po mjesecima za povratni period od 5 godina prema scenarijima očekivanih mjesečnih stanja mora (12 scenarija) [3]. Za naselje Volosko mjerodavna je mareografska postaja Bakar.



Slika 5: Prognoziranje rezidualne razine mora za povratne periode (od 2-1000 godina) za scenarije bez klimatskih promjena (lijevo) i sa klimatskim promjenama (desno) [3]

Za modeliranje ekstremno visokih razina mora za područje cijelog Jadranskog mora u navedenoj studiji koristio se oceanografski model SCHISM (eng. *Semi-implicit Cross-scale Hydroscience Integrated System Model*). Mjerenja na mareografskim postajama su uspoređena sa rezultatima simulacija koji su dobiveni SCHISM modelom. Dobiveni se rezultati koriste za prikazivanje prostorne raspodjele ekstremno visokih razina mora te za proračun povratnih perioda. Kod prikaza rezultata numeričkih modelskih simulacija koristi se mjerilo 1:25 000 te su uzeti u obzir svi otoci koji su vidljivi na tom mjerilu.

Rezultati su prikazani u GIS sučelju koristeći adekvatne vektorske i rasterske slojeve te se predaju na elektronskom mediju. Rezultati su prikazani za malu (povratni period = 1000 godina), srednju (povratni period = 100 godina) i veliku (povratni period = 25 godina) vjerojatnost pojavljivanja. Numeričke simulacije te njihovi rezultati provedeni su bez utjecaja valova za dva slučaja – bez i sa utjecajem klimatoloških promjena [3].

Scenariji koji su korišteni za dobivanje rezultata numeričkih simulacija visokih razina mora bez utjecaja valova jesu sljedeći:

Scenarij 1 – visoke razine mora za veliku vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 25 godina, bez utjecaja klimatskih promjena

Scenarij 2 – visoke razine mora za srednju vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 100 godina, bez utjecaja klimatskih promjena

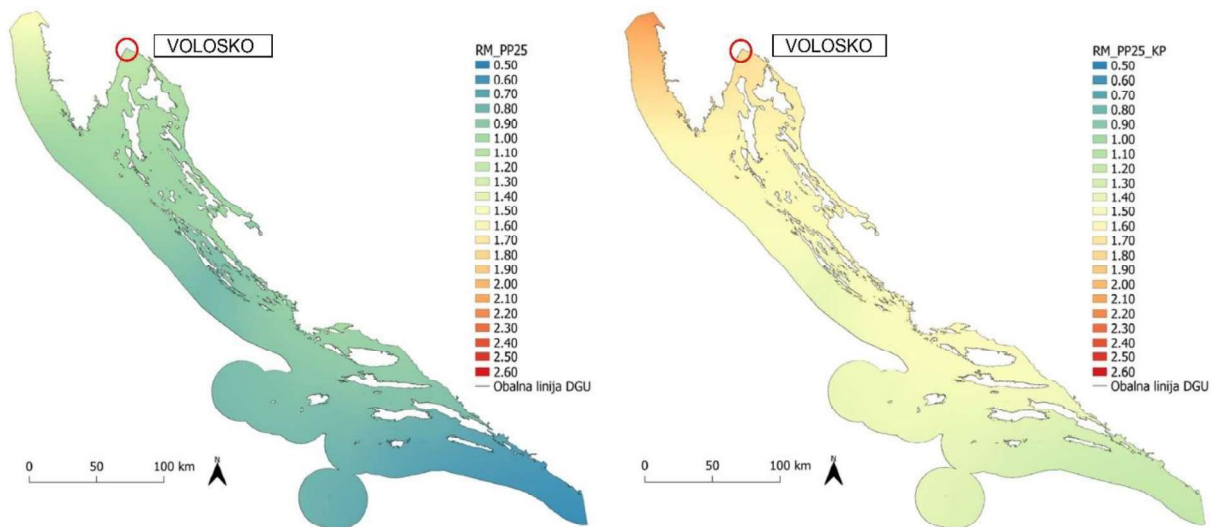
Scenarij 3 – ekstremne razine mora za malu vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 1000 godina, bez utjecaja klimatoloških promjena

Scenarij 4 – visoke razine mora za veliku vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 25 godina, sa utjecajem klimatskih promjena

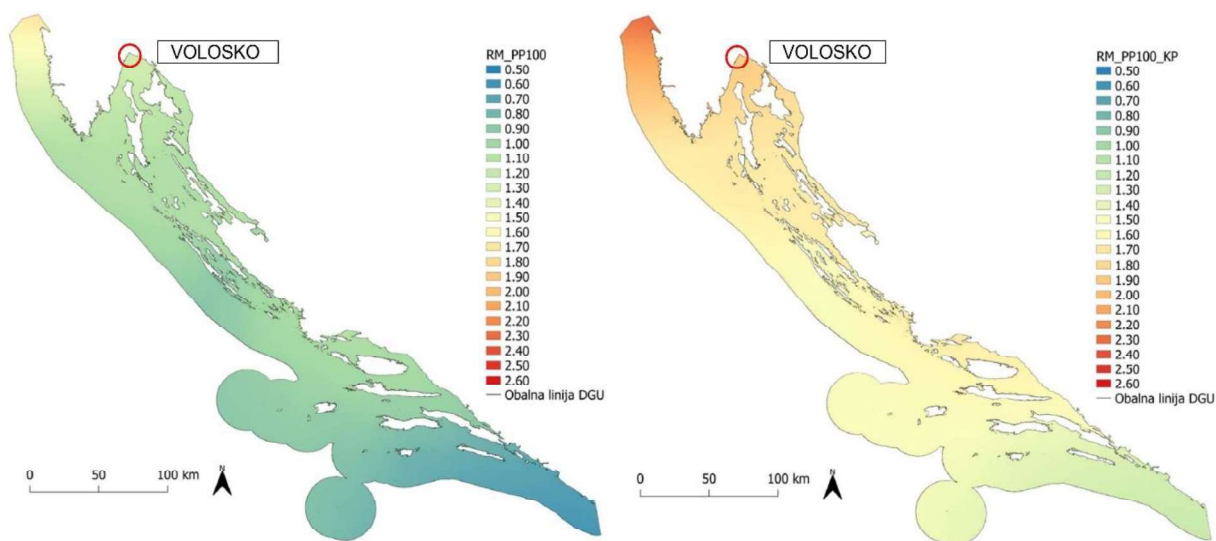
Scenarij 5 – visoke razine mora za srednju vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 100 godina, sa utjecajem klimatskih promjena

Scenarij 6 – ekstremne razine mora za malu vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 1000 godina, sa utjecajem klimatoloških promjena

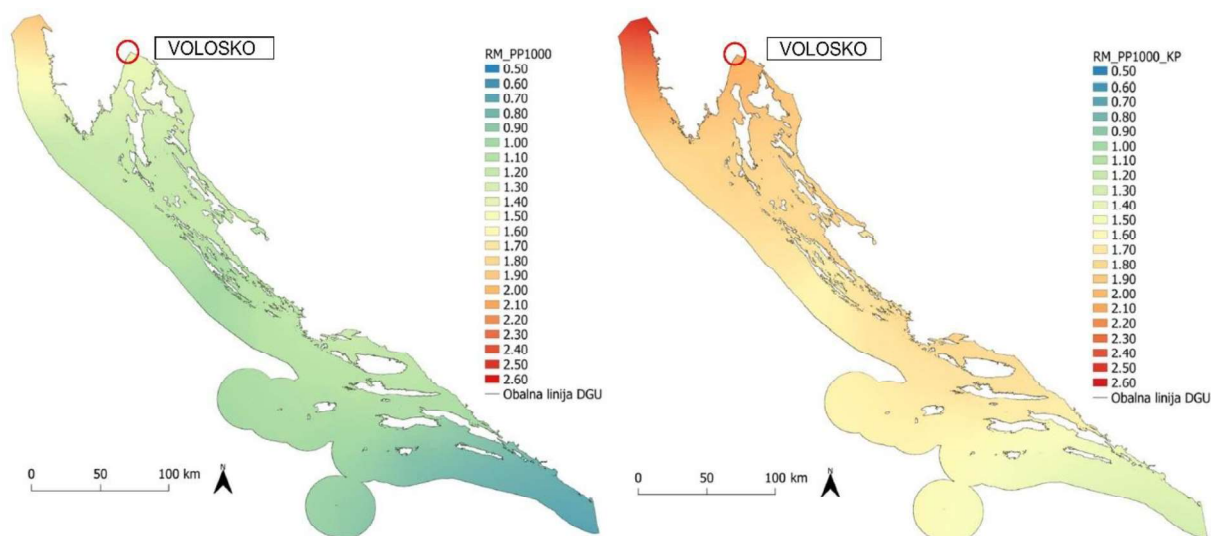
Rezultati modelske analize za svih šest scenarija prikazani su na slikama 6 - 8.



Slika 6: Prikaz polja visokih razina mora na području teritorijalnog mora RH u GIS sučelju (raster 200m × 200m). Prikazani su scenarij 1 (lijevo) i scenarij 4 (desno), prema [3]



Slika 7: Prikaz polja visokih razina mora na području teritorijalnog mora RH u GIS sučelju (raster 200m × 200m). Prikazani su scenarij 2 (lijevo) i scenarij 5 (desno), prema [3]



Slika 8: Prikaz polja visokih razina mora na području teritorijalnog mora RH u GIS sučelju (raster 200m × 200m). Prikazani su scenarij 3 (lijevo) i scenarij 6 (desno), prema [3]

Iz priloženih rezultata vidljivo je da se razine mora kreću u vrijednostima od +0,5 m n. m. do +2,6 m n. m. Najveće vrijednosti razina mora jesu za malu vjerojatnost pojave poplava sa povratnim periodom od 1000 godina (slika 8). Razine mora se povećavaju prema sjeveru te su najveće vrijednosti u zaljevima i zatvorenom moru. Valja napomenuti da klimatske promjene znatno povećavaju razinu mora. U odnosu na cijelu Hrvatsku vidimo da je područje gdje se nalazi Volosko među većim vrijednostima razine mora.

2.2.3. Numeričko modeliranje ekstremnih valova

U okviru studije VEPAR [3] korišten je i model SWAN za numeričke modelske simulacije generiranja vala i valnih deformacija. Kao i u prethodnom modelu, korišteno je 18 scenarija. Rezultat numeričkih simulacija jesu vrijednosti značajnih valnih visina H_s , vršnih spektralnih perioda T_p i incidentnog smjera valovanja (rasterski slojevi rezolucije 200m × 200 m) [3].

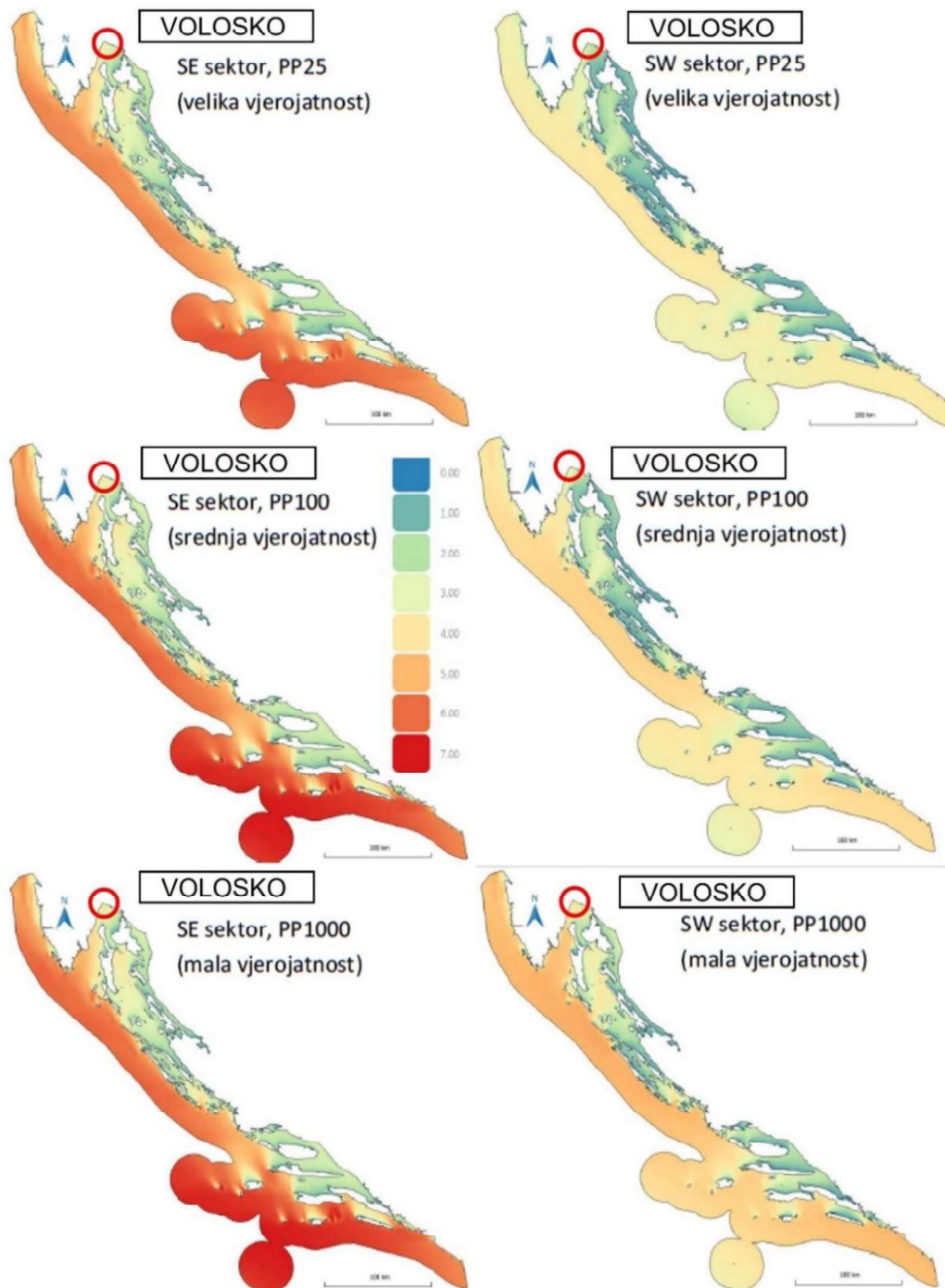
Scenariji koji su korišteni za dobivanje rezultata numeričkih simulacija visokih razina mora sa utjecajem valova jesu sljedeći:

Scenarij 1 – visoke razine mora za veliku vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 25 godina, bez utjecaja klimatskih promjena

Scenarij 2 – visoke razine mora za srednju vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 100 godina, bez utjecaja klimatskih promjena

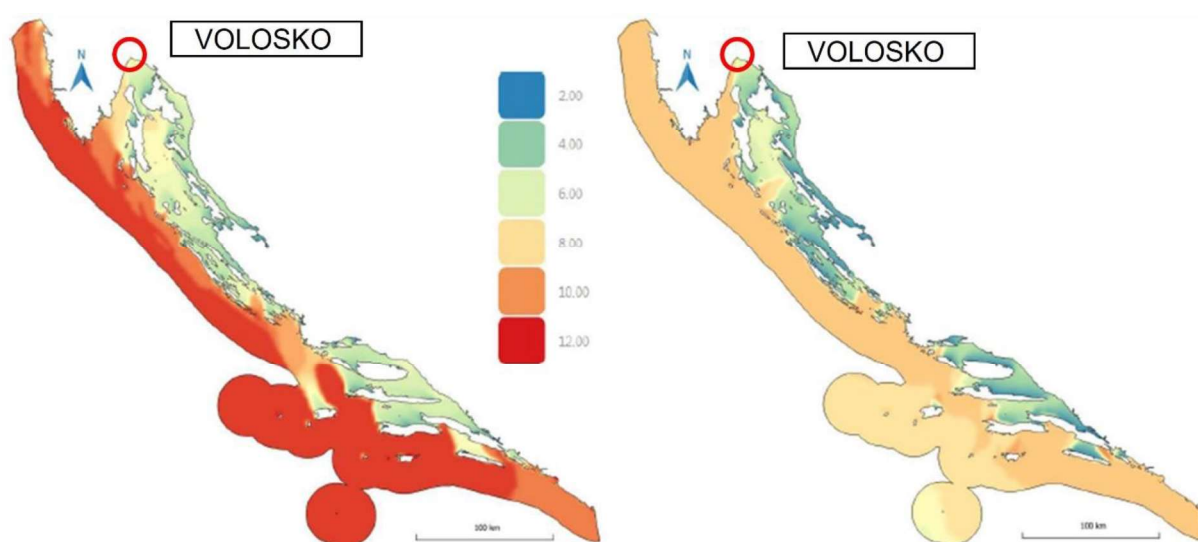
Scenarij 3 – visoke razine mora za malu vjerojatnost pojave sa povratnim periodom 1000 godina, bez utjecaja klimatskih promjena

Slike 9 i 10 grafički prikazuju rezultate područja plavljenja pri visokim razinama mora (model SCHISM) i djelovanju valova (model SWAN) bez utjecaja klimatskih promjena za valovanje iz SE (jugoistočnog) i SW (jugozapadnog) sektora za prethodno navedene scenarije.



Slika 9: Prikaz polja značajnih valnih visina H_s na području teritorijalnog mora RH u GIS sučelju (raster $200\text{m} \times 200\text{m}$). Prikazani su scenarij 1 (gore), scenarij 2 (sredina) i scenarij 3 (dole) pri valovanju iz SE sektora (lijevo) i SW sektora (desno), prema [3]

Iz slike 9 vidi se da su za područje Jadranskog mora visine valova od 0,5 m do svega 7 m. Valne visine jesu većih vrijednosti što su udaljenije od kopna. Najveće su vrijednosti na otvorenome dijelu Jadranskog mora gdje ono nije pokriveno mnogobrojnim otocima. Visine valova u području gdje se nalazi Volosko jesu iznad prosječnih vrijednosti.



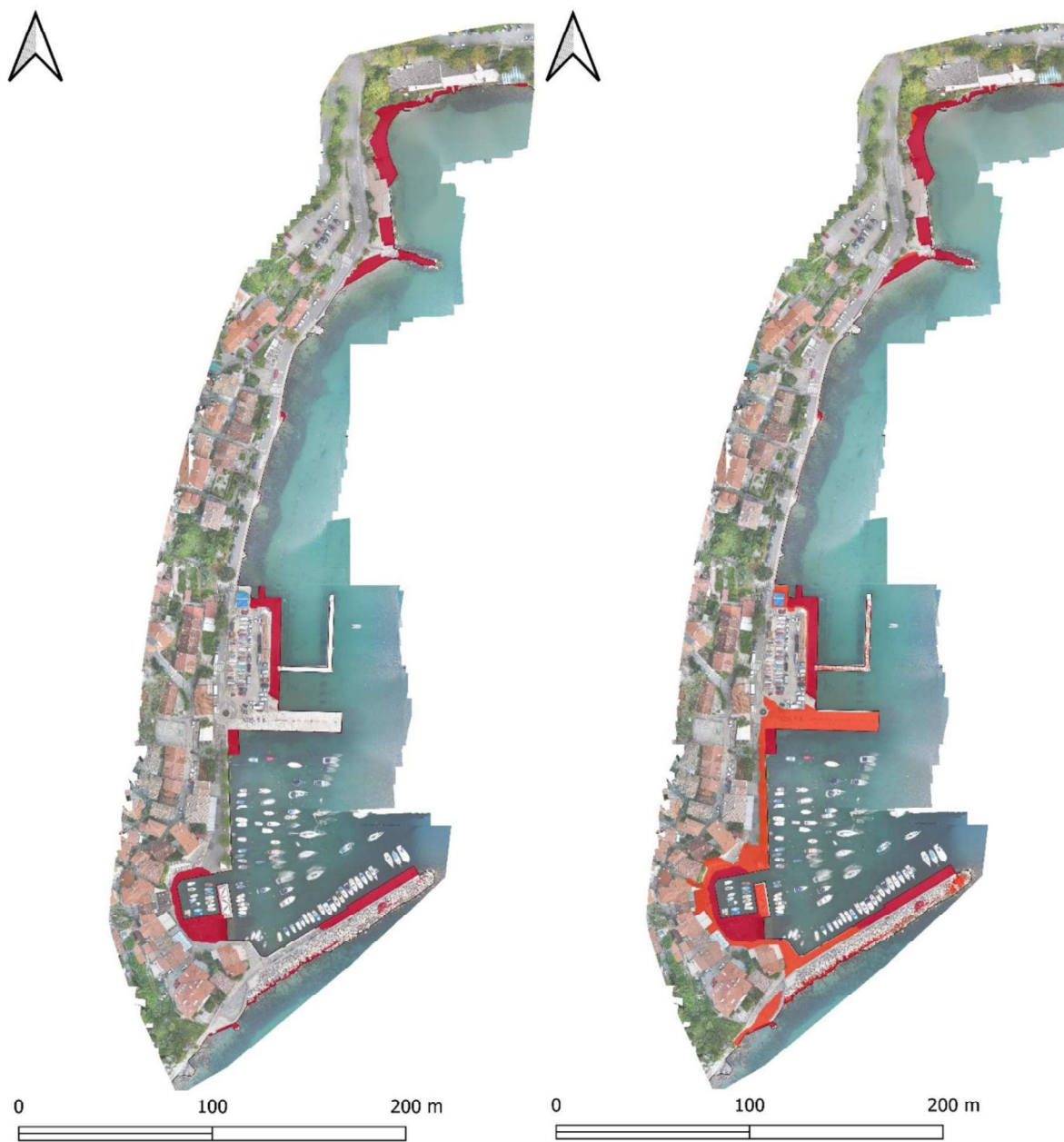
Slika 10: Prikaz polja vršnih spektralnih perioda T_p na području teritorijalnog mora RH u GIS sučelju (raster 200m x 200m). Prikaz se odnosi na scenarij srednje vjerojatnosti pojavljivanja (povratni period 100 godina; lijevo – djelovanje valova iz SE sektora ; desno – djelovanje valova iz SW sektora), prema [3]

Sa slike 10 vidljivo je da se spektralni period vala T_p kreće od 2 s do 12 s. Kao i kod visine vala H_s , period vala jest najveći upravo na otvorenom dijelu Jadrana koji ne obiluje otocima.

2.3. Analiza ugroženosti od obalnog plavljenja ranjivih naselja PGŽ

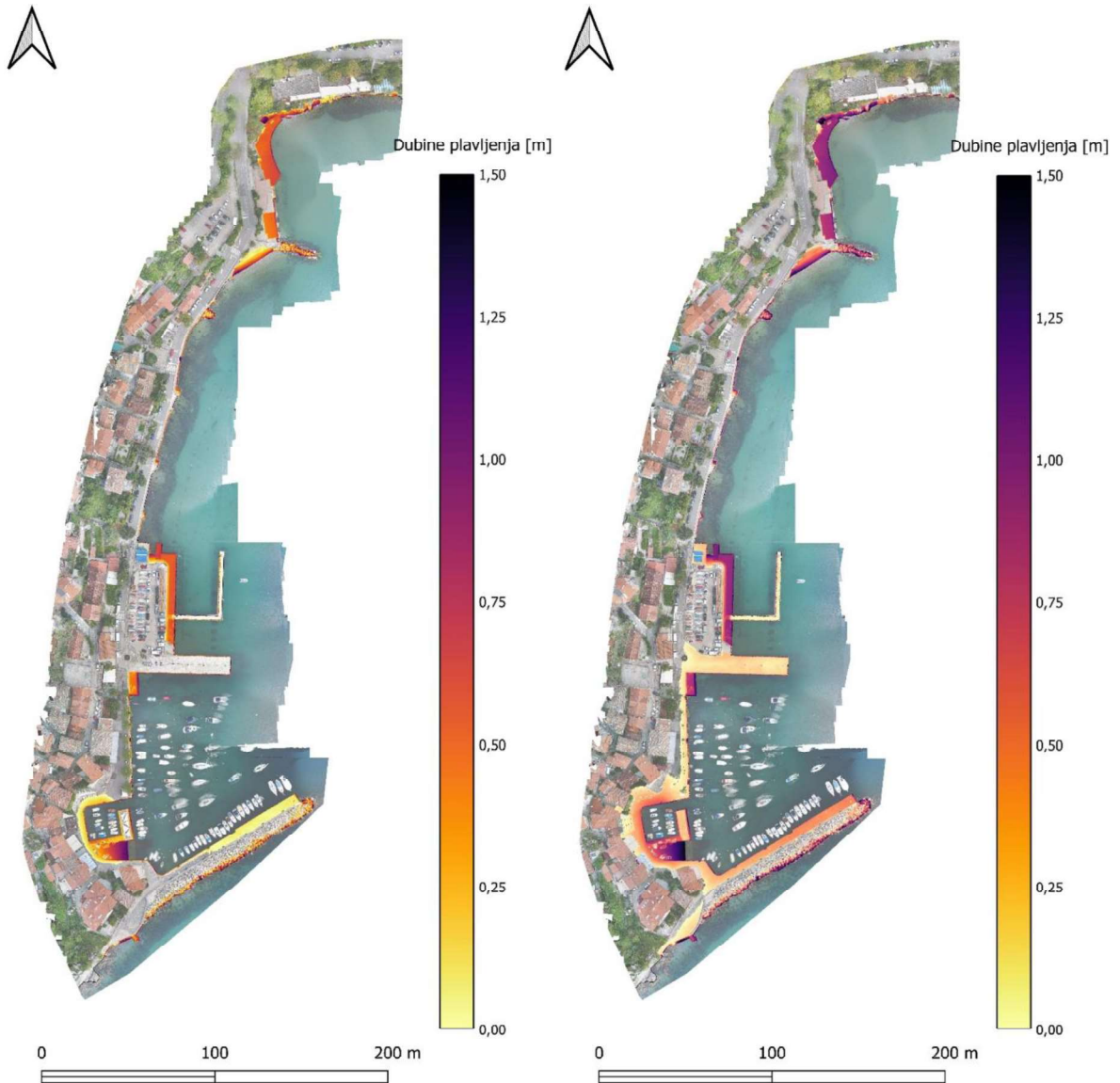
Unutar elaborata Analiza ugroženosti od obalnog plavljenja ranjivih naselja PGŽ [8] napravljena je analiza ugroženosti od obalnog plavljenja ugroženih naselja obalnog područja Kvarnera u Primorsko-goranskoj županiji. Izvješće je izradio Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci a naručitelj je Javna ustanova „Zavod za prostorno uređenje Primorsko-goranske županije“. U ovom su projektu obavljene analize ranjivosti za postojeće stanje i nekoliko scenarija podizanja morske razine za naselja Cresa, Raba, Punta i Voloskog. Provedene su i analize valovanja za područje Riječkog zaljeva za najnepovoljnija valovanja smjera SE (jugo) za trenutnu maksimalnu razinu mora od 1,15 m n. m. Na slikama u nastavku prikazane su površine i dubine plavljenja naselja Volosko za odgovarajuće morske razine koje su dobivene u navedenom elaboratu.

Na slici 11 prikazane su površine postojećeg obalnog plavljenja naselja Volosko za morske razine (MR) od 1,15 m n. m. (lijevo) te 1,45 m n. m. (desno). Površine plavljenja za razinu mora od 1,45 m n. m. biti će dvostruko veće u odnosu na postojeća plavljenja pri razini mora od 1,15 m n. m., a obalno će područje biti pod morem u prosjeku širine 9 m. Ukupne površine plavljenja jesu 2027 m². Pri plavljenju dolazi do pomaka obalne linije za 4,5 m [6].



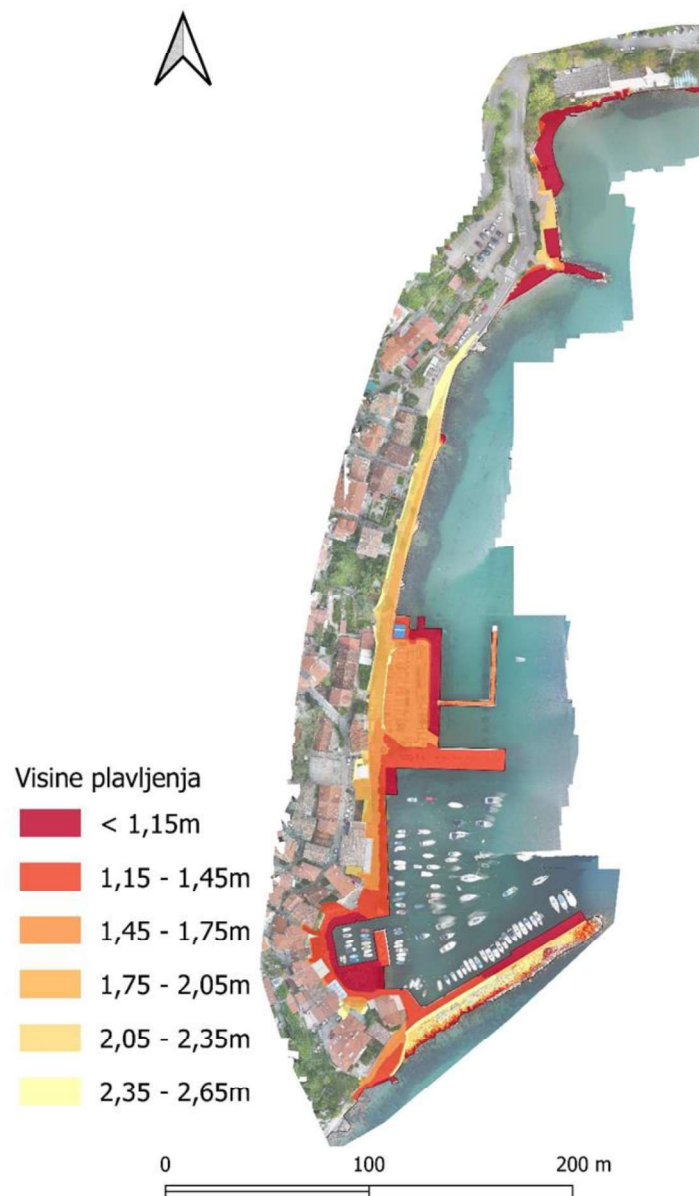
Slika 11: Površine obalnog plavljenja naselja Volosko za MR=1,15 m n. m. (postojeće stanje) – lijevo; površine obalnog plavljenja naselja volosko za MR=1,45 m n. m. – desno [6]

Slika 12 prikazuje zabilježene dubine plavljenja za obalno plavljenje naselja Volosko za morske razine (MR) 1,15 m n. m. i 1,45 m n. m. [6].



Slika 12: Dubine obalnog plavljenja naselja Volosko za MR=1,15 m n. m. (zabilježeno plavljenje) – lijevo; dubine obalnog plavljenja naselja Volosko za MR=1,45 m n. m. (moguća poplava) – desno [6]

Za razine mora od 1,15 m n. m. do 2,65 m n. m. prikazane su površine obalnog plavljenja naselja Volosko na slici 13 [6]:



Slika 13: Površine obalnog plavljenja naselja Volosko za MR od 1,15 m n. m. do 2,65 m n. m. [6]

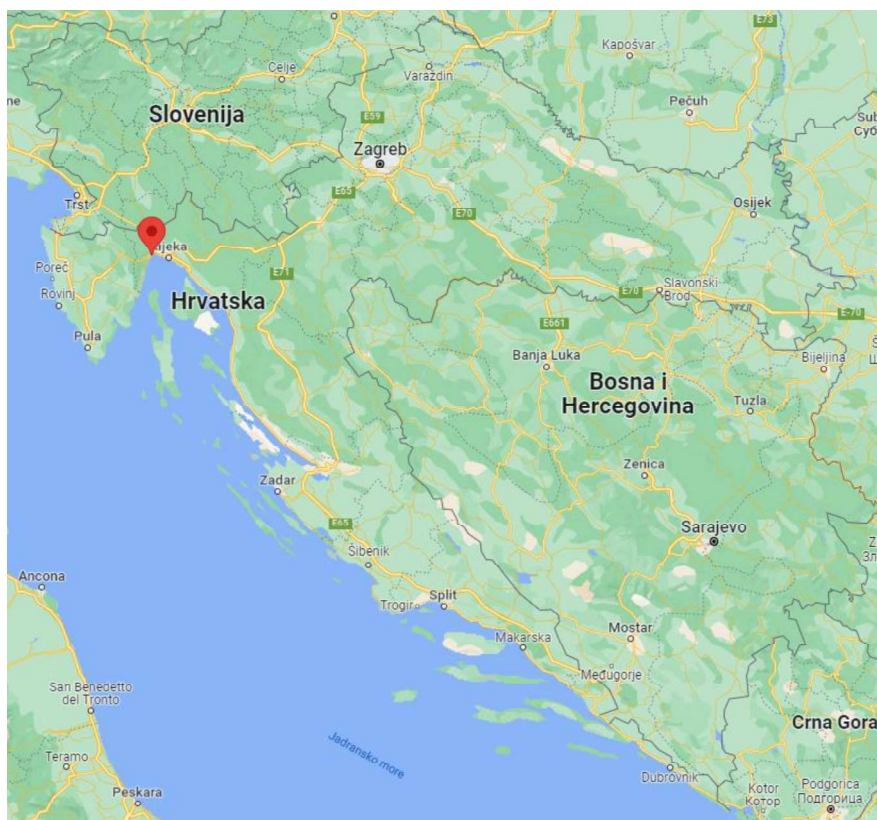
Za morsku razinu 1,15 m n. m. nema značajnog plavljenja naselja Volosko. Kod ovog će slučaja ispod mora biti 2 000 m² sa nijednim plavljenim objektom. Kako rastu razine mora dolazi do povećanja plavljenih površina koje je zanemarivo. Kod razine mora od 1,45 m n. m. pod morem će biti nekolicina građevina u južnom djelu naselja no pošto je dubina plavljenja relativno mala (slika 12) neće doći do većih posljedica. Plavljenje se velikim dijelom javlja na javnim površinama kao što su parking te prometnice [6].

Problem koji se javlja pretpostavljenim dizanjem morske razine jest plavljenje lukobrana i prometnice, što je vidljivo na slici 13 (površine plavljenja). Pri jačem vjetru uslijed olujnih uspora se valovi prelijevaju na prometnicu, a rast će i doseg valova podizanjem razine mora ako ne dođe do provođenja odgovarajućih mjera [6].

3. POSTOJEĆE STANJE

3.1. Naselje Volosko

Staro obalno naselje Volosko nalazi se na istočnoj obali istarskog poluotoka u vrhu Kvarnerskog zaljeva. Smješteno je uz desni bok grada Opatije na obalnoj cesti Opatija-Rijeka. Svojom položajem pripada Kvarneru i dio je makroregije poznate kao Sjeverno hrvatsko primorje. Ovaj je položaj pogodno položen za ostvarivanje najpovoljnijeg kontakta između Srednje Europe i svijeta. Uz gorski greben Učke, koji se pruža po meridijanu, nalazi se transverzalna obala koja je jedina u ovom dijelu primorja. Naime obala je nerazvedena, zavojita, strma i zašiljena [9]. Na slici 14 prikazan je položaj naselja u odnosu na cijelu državu.



Slika 14: Položaj naselja Volosko (maps.google.hr)

Naselje Volosko prvi je put spomenuto 1543. kada je postalo izlaz na more za Kastavsku gospoštiju te sam Kastav, ali se pojavljuju tragovi naseljenosti još u prapovijesti, rimskom

dobu te u srednjem vijeku. Danas se stopilo s Opatijom, koja je udaljena 2 km jugozapadno. Starogradska jezgra, koja je najstariji dio naselja Voloska, postavljena je amfiteatralno oko jedrenjačke luke u koju pristaju manji brodovi s gazom do 3 metra. Povijesna svrha luke bila je spremište za robu koja se prevozila do Kastava ili se utovarila na brod. Luka je zaklonjena od sjevernih i zapadnih vjetrova te sadrži gat koji služi za sitne popravke u slučaju kvara manjih brodova. Volosko je bilo ribarsko naselje no za vrijeme francuske vladavine (1809-13) Volosko je preuzelo potpunu funkciju upravnog i sudskog središta od Kastava te se razvilo brodogradnja, pomorstvo i trgovina. Spomenute djelatnosti su utjecale na intenzivniji gospodarski razvoj u 19. st. Novi cestovni putevi pogodovali su daljnjem širenju naselja i njegovom razvoju, prvenstveno ceste prema Rijeci, Lovranu i Puli. Naime tada su iznad dotadašnje starogradske jezgre niknule brojne brodovlasnički i kapetanski ljetnikovci i kuće, a uz središte nove kuće uz more. Iz Voloska kreće obalna šetnica zvana „Lungomare“ koja vodi do Lovrana te je duga 14 kilometara. Volosko je izvorno bilo pomorsko naselje ,no zajedno s razvitkom grada Opatije postalo je turističko područje i to jedinstvena rivijera [7][8].

Prostorna i geografska obilježja

Ukupna površina područja koje Grad Opatija obuhvaća iznosi 80,92 km² pri čemu je 80 % kopnena površina (67,20 km²) dok 20 % pripada morskom akvatoriju (13,72 km²). Duljina morske obale koja se proteže kroz Opatiju je 9710 m. Grad Opatija smješten je na sjeveru Jadrana te svojim položajem pripada Kvarneru. Nalazi se na obalnom pojasu koji je bogat bregovima između kojih su nastale uvale, drage i doline [10].

Klimatska obilježja

Područje Grada Opatije i naselja Voloska umjerene je klime, nema temperaturnih ekstrema te je zaklonjeno od hladnih vjetrova. Područje od Opatije do Mošćeničke drage obilježavaju blage zime i svježja ljeta. Stabilna temperatura ima ljetni prosjek od 21,7°C a zimski od 6°C. Temperatura se predvečer spušta zbog djelovanja vjetra koji puše sa Učke te rashlađuje obalno područje. Razvitak parkova i perivoja zaslužan je zbog dobrih mikroklimatskih prilika [10].

Tlak zraka je relativno visok, relativna vlaga iznosi oko 60% te je prisutno stalno gibanje zraka. Stoga Opatija ima ugodne i svježije noći zbog kojih se ljeti bolje spava. Ljeta nisu topla i sparna te se ljetne vrućine lakše podnose. Prosječne godišnje padaline na Učki iznose oko 3000 mm, no uz obalu su manje te za opatiju iznose 1723 mm [10].

Područje je izloženo nešto kraćoj insolaciji (trajanje sijanja Sunca) koja je važan klimatski resurs. Prosječna godišnja insolacija iznosi 2074 sati. Ljeti Sunce zalazi oko 17.30 sati zbog visine Učke koja se nalazi iznad Opatije te zbog toga prosječna insolacija u ljetnim mjesecima iznosi preko 1000 sati. Pored kraće insolacije tijekom ljeta je prisutno manje oblačnih dana te Opatija u odnosu na Rijeku ima veći broj vedrih dana u godini [10] [11].

Temperatura mora je nešto niža zbog velikih dubina mora, strmog morskog dna te podvodnih izvora. Tijekom ljetne sezone temperatura mora ima raspon vrijednosti od 20,1 °C do 26,5 °C [10].

Područje grada Opatije, pa tako i naselja Volosko, zaštićeno je od djelovanja jačih vjetrova. Prevladavajući vjetrovi koji djeluju na ovom području jesu jugo, bura, tramontana i maestral. Vjetar koji puše iz NNE smjera, odnosno sjeverosjeveroistočnog smjera (15.6%) je najčešći smjer vjetra u Gradu Opatiji koji je poznat pod imenom burin. Burin je vjetar slabe jačine koji puše duž hrvatske obale Jadrana. Druga dva vjetra koji se javljaju Gradu Opatiji pušu iz N smjera (14.8%) te NE smjera (11.1%). Vjetar koji puše iz sjeveroistočnog smjera je bura koja se pojavljuje u prilikama kada hladni zrak prodire iz polarnih ili sibirskih područja [11][12].

3.2. Postojeći problemi

Naselje Volosko i grad Opatija nisu poznati po jakim olujnim valova. No sve češće se dešavaju situacije da na obalu nailaze veliki udarni valovi uslijed puhanja olujnih vjetrova koji zapljuskuju obalu. Na područje sjevernog Kvarnera padaju velike količine kiše koju prati olujni jugo. Prilikom puhanja juga na obalu nailaze jaki udarni valovi visoki i do nekoliko metara visine koji ne rade velike materijalne štete, no uzrokuju određene probleme u pomorskom prometu i vlasnicima plovila. Naime jugo se ne klasificira kao olujni vjetar, stoga prilikom pojave valova najvišu brigu imaju vlasnici plovila koji su ih „pustili“ u moru, odnosno nisu ih izvukli na vrijeme iz mora te vlasnici ugostiteljskih objekata uz more. Za vrijeme puhanja juga dodatni problem predstavlja razina mora koja se izuzetno podigne. Zbog visokih razina mora i olujnog juga valovi zapljuskuju obalnu šetnicu te prelijevaju preko obalnog zida (slika 15). Kao posljedica zapljuskivanja valova javlja se plavljenje priobalnog područja.



Slika 15: Valovi u Voloskom [6]

4. PREGLED PROSTORNO PLANSKE DOKUMENTACIJE

Područje Voloska je prostorno-planski pokriveno s Prostornim planom PGŽ (SN PGŽ 32/13, 07/17-ispravak, 41/18) , PPUG Opatija (SN PGŽ br. 01/07, 56/12, 4/16, 8/16 proč.tekst, 10/21 i 05/22 proč. tekst) i UPU (SN PGŽ br. 10/09, 56/12, 13/19, 16/19-proč. Tekst i 10/21)). U nastavku se daje pregled osnovnih odredbi vezanih uz obalni pojas naselja Volosko.

4.1. Prostorni plan Primorsko – goranske županije (SN PGŽ 32/13, 07/17-ispravak, 41/18)

„.....

1.1.2. Razgraničenja prostora prema osjetljivosti

Članak 10.

Ovim Planom određuje se zaštićeno obalno područje mora i voda. Zaštićeno obalno područje mora obuhvaća sve otoke, pojas kopna u širini od 1.000 m od obalne crte i pojas mora u širini od 300 m od obalne crte.

Zaštićeno obalno područje voda obuhvaća površine svih rijeka i jezera, te pojas kopna u širini od 100 m od obalne crte.

.....

1.2.2. Prirodna područja

Članak 16.

Vodne površine razgraničuju se na:

- more,
- vodotoci te
- jezera, akumulacije i retencije.

Vodne površine se određuju u odnosu na kopneni dio obalnom crtom.

Namjena i način korištenja obale i vodne površine je nadopunjujuća te razgraničenje vodne površine mora biti sukladno razgraničenju namjene pripadajuće kopnene površine.

Razgraničenje namjene vodne površine provodi se po istim kriterijima kao i za kopneni dio. Namjena prostora koja se proteže s kopna na vodnu površinu i obratno formira jedinstvenu funkcionalnu cjelinu.

Namjena vodnih površina odredit će se prostornim planom uređenja općine ili grada prema kriterijima za građenje određenih ovim Planom.

Namjena i način korištenja vodne površine odnosi se na prostor ispod i iznad vodne plohe.

.....

6.1. INFRASTRUKTURA PROMETNOG SUSTAVA

6.1.1. Lučko-terminalna infrastruktura

.....

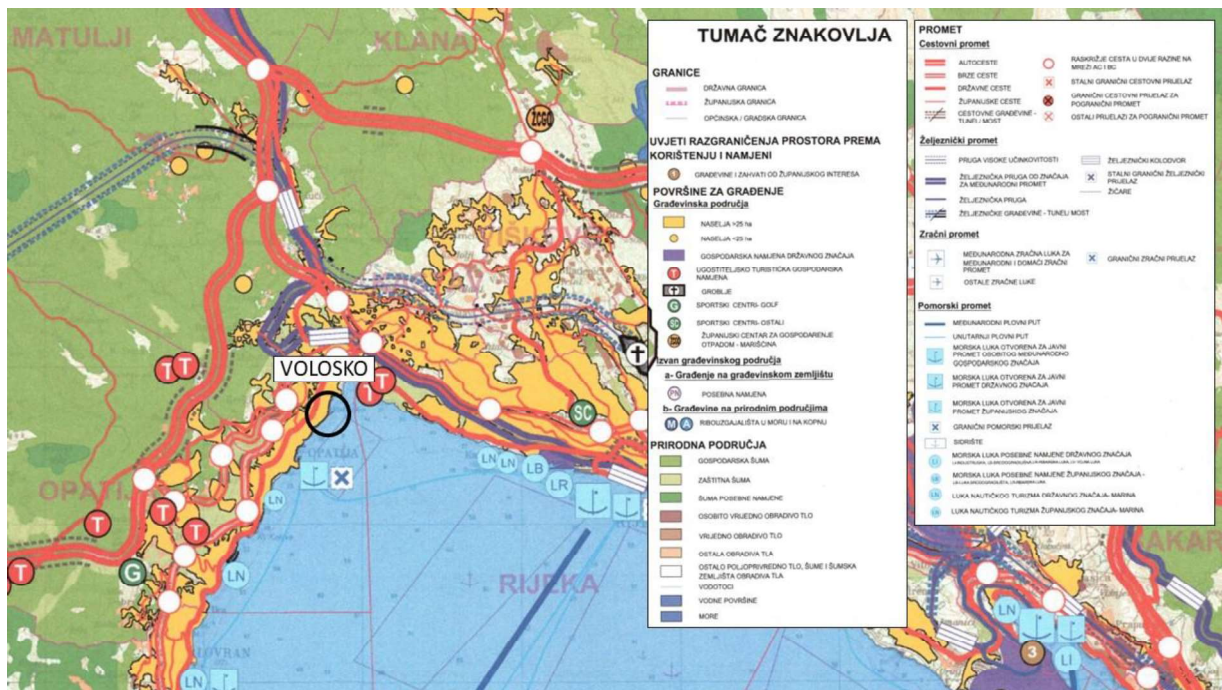
Članak 131.

Prema namjeni kojoj služe, luke se dijele na:

- luke otvorene za javni promet, i
- luke posebne namjene.

Položaj i značenje luka, sidrišta i plovni putova prikazan je shematski u grafičkom prilogu broj 1. Korištenje i namjena prostora.“

Na slici 16 prikazan je kartografski prikaz 1: Korištenje i namjena prostora iz Prostornog plana Primorsko – goranske županije (SN PGŽ 32/13, 07/17-ispravak, 41/18). Na karti se vidi da Volosko spada u naselje veće od 25 ha te se blizu njega nalazi morska luka otvorena za javni promet županijskog značaja i granični zračni prijelaz.



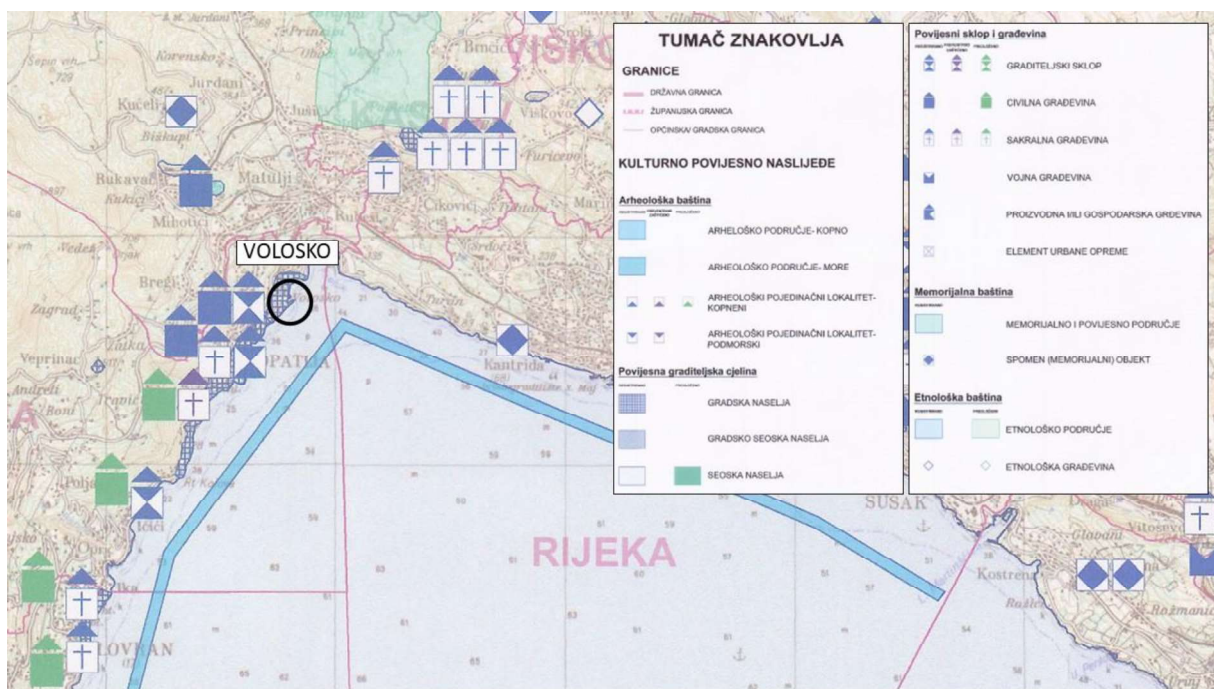
Slika 16: Korištenje i namjena prostora prema PP-PGŽ (SN PGŽ 32/13, 07/17-ispravak, 41/18)

8.2. UVJETI ZAŠTITA KULTURNO-POVIJESNOG NASLIJEĐA

8.2.1. Kulturno-povijesno naslijeđe od značenja za državu i Županiju

Članak 261.

Ovim Planom se utvrđuju područja i lokaliteti registrirani i evidentirani kao vrijedna kulturna baština državnog, odnosno županijskog značenja, te područja i lokaliteti koji se ovim Planom predlažu za registraciju. Područja i lokaliteti registrirani i evidentirani kao vrijedna kulturna baština državnog, odnosno županijskog značenja, te područja i lokaliteti koji se ovim Planom predlažu za registraciju prikazani su u kartografskom prikazu br. 3b. Zaštita kulturno povijesnog naslijeđa.“



Slika 17: Uvjeti korištenja, uređenja i zaštite prostora, zaštita kulturno povijesnog naslijeđa prema PP-PGZ (SN 32/13, 07/17-ispravak, 41/18)

Slika 17 prikazuje zaštitu kulturnog povijesnog naslijeđa u Primorsko – goranskoj županiji. Prema toj karti Volosko spada u gradsko naselje. Na udaljenosti od otprilike 1 km od obale more spada pod arheološko područje.

„10.2. ZAŠTITA OD ŠTETNOG DJELOVANJA VODA I MORA

.....

10.2.2. Zaštita od štetnog djelovanja mora

Članak 302.

Za gradove i općine koji su uz morsku obalu preporuča se izraditi kartu ugroženosti od djelovanja valova, kao i podizanja razine mora u mjerilu 1:5.000. Toj karti treba prethoditi izrada katastra obalnog ruba s naglaskom na katastar prirodnih žala, kao osobito ranjivih dijelova obale.

Za mikrozoniranje izraditi lokalni model štetnog učinka valova od dominantnih vjetrova te utjecaj ekstremno visokih razina mora na temelju važećih regionalnih prognostičkih modela. Katastar prirodnih žala trebao bi sadržavati kartografski prikaz s vrstom i karakteristikama sedimenta u tijelu žala.

Članak 303.

Prije planiranja izgradnje obalnih građevina (lukobrana, valobrana, gatova i sl.) kao i prije planiranja uređenja kupališnih zona potrebno je izraditi odgovarajuću studiju iz koje će se dobiti optimalno rješenje s tehničkog i ekološkog gledišta. Studija se mora temeljiti na prethodno obavljenim geodetskim, geološkim i hidrografskim mjerenjima.

.....

10.6. POSEBNE MJERE ZAŠTITE

.....

10.6.3. Mjere zaštite od poplava

.....

Članak 361.

Kod planiranja i gradnje prometnica voditi računa o pojavi uspora (dizanje mora) te treba izbjegavati gradnju prometnica na tom području. Potrebno je predvidjeti urbanističke mjere za zaštitu od porasta razine mora za urbane zone uz obalu.“

4.2. Prostorni plan uređenja Grada Opatije (SN PGŽ br. 01/07, 56/12, 4/16, 8/16-proč. tekst,10/21 i 05/22-proč. tekst)

„.....

1.2. POVRŠINE IZVAN NASELJA ZA IZDOJENE NAMJENE

Članak 8.

(1) Prostorni plan određuje sljedeće površine građevinskog područja izvan naselja za izdvojene namjene:

.....

f) **R6** kupališno-rekreacijska i sportsko-rekreacijska namjena obuhvaća:

- područja uređenih plaža (kupališta) opremljenih sa pratećim sadržajima na deset (10) lokacija (Črnikovica, Lipovica, Tomaševac, Lido, Slatina, Vasanska, Mali Raj, Ičići, Triestina i Ika) ukupne površine kopna 10,32 ha,

- područja utvrđenih za sportsko-rekreacijske aktivnosti što uključuje uređenje površina i izgradnju pratećih sadržaja kupališnog dijela na jednoj (1) lokaciji (Preluk) sa površinom od 1,02 ha.

.....

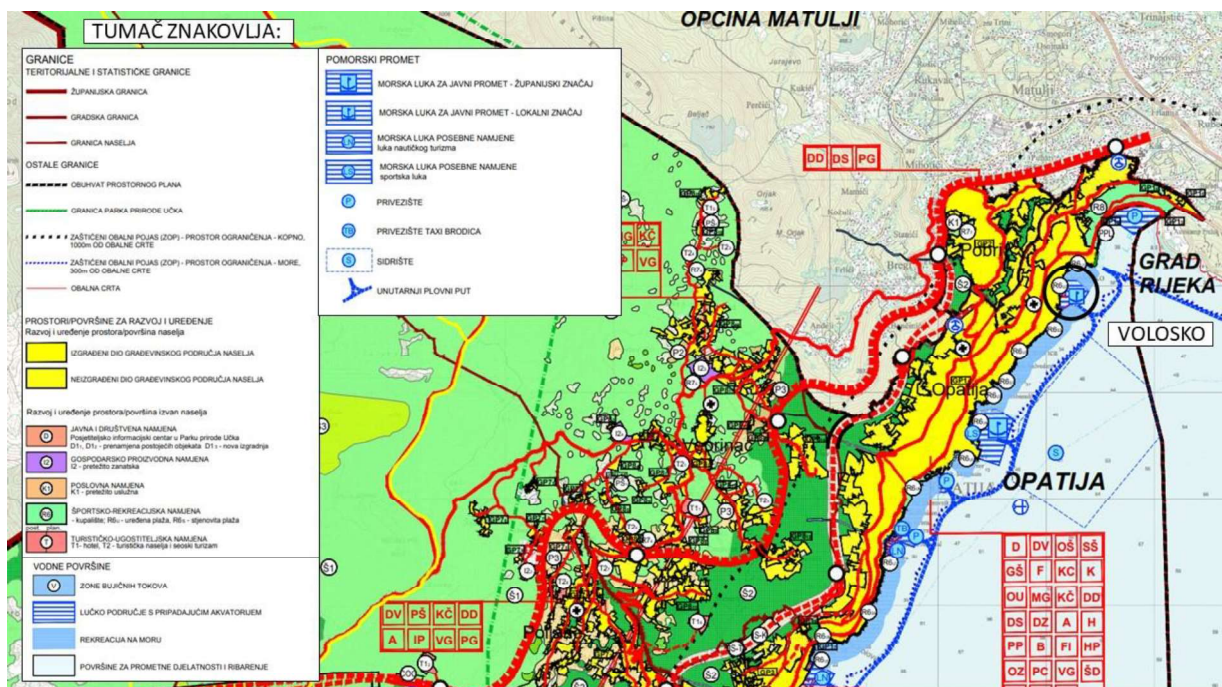
2.2. GRAĐEVINSKA PODRUČJA NASELJA

2.2.1. Opće odredbe ili kriteriji za korištenje izgrađenog i neizgrađenog dijela područja

Članak 16.

....

(4) Izgrađeni i neizgrađeni dijelovi građevinskog područja naselja uređuju se i koriste na način propisan ovim Prostornim planom, a prikazani su na kartografskom prikazu br. 1A “Korištenje i namjena površina“ u mj. 1:25.000.““



Slika 18: Korištenje i namjena prostora prema PPUG Opatija (SN PGŽ br. 01/07, 56/12, 4/16, 8/16-proč.tekst,10/21 i 05/22-proč. tekst)

Slika 18 prikazuje korištenje i namjenu prostora naselja Volosko prema Prostornom Planu Uređenja Grada Opatije. Prema kartografskom prikazu 1A, obalni pojas u naselju Volosko spada u zonu R6 (športsko-rekreacijska namjena), odnosno u zonu R6u: uređena plaža. Nadalje, Volosko je naselje u kojem se nalazi morska luka za javni promet lokalnog značaja sa vlastitim akvatorijem. Ispod naselja Volosko nalazi se akvatorij grada Opatije koji sadrži morsku luku za javni promet županijskog značaja. Iz karte je vidljivo da se obalni pojas klasificira kao izgrađeni dio građevinskog područja naselja za razvoj i uređenje prostora/površina naselja.

„.....

2.3. IZGRAĐENE STRUKTURE VAN NASELJA

Članak 56.

U smislu ovoga Prostornog plana, izgrađene strukture izvan građevinskih područja naselja su:

– površine izvan naselja - građevinsko područje za izdvojene namjene,

– površine i građevine izvan građevinskog područja.

2.3.1. Površine IZVAN naselja - građevinsko područje za izdvojene namjene

2.3.1.4. Površine kupališno-rekreacijske i sportsko-rekreacijske namjene

Članak 66.

(1) Prostorni plan određuje **kupališno-rekreacijsku namjenu R6 kao uređena kupališta** s obalnom šetnicom, koja obuhvaćaju sljedeće zone:

.....

R62 kupalište „Črnikovica“ 0,08 ha,

.....

(2) Kupališta obuhvaćaju kopneni dio i pripadajući dio akvatorija širine 150 m, a namijenjena su kupanju, sportovima na vodi i u vodi i sl.

.....

5.1.1.4. Pješački promet

Članak 105.

(1) Prostorni plan određuje obalnu šetnicu (lungomare) kontinuirano uzduž cijele obale na području

Grada Opatije, od Preluka do Ike.

(2) Uređenje obalne šetnice, s njoj pratećim sadržajima, temeljit će se na Studiji obalne šetnice i posebnim uvjetima nadležnog konzervatorskog odjela i službe zaštite prirode.

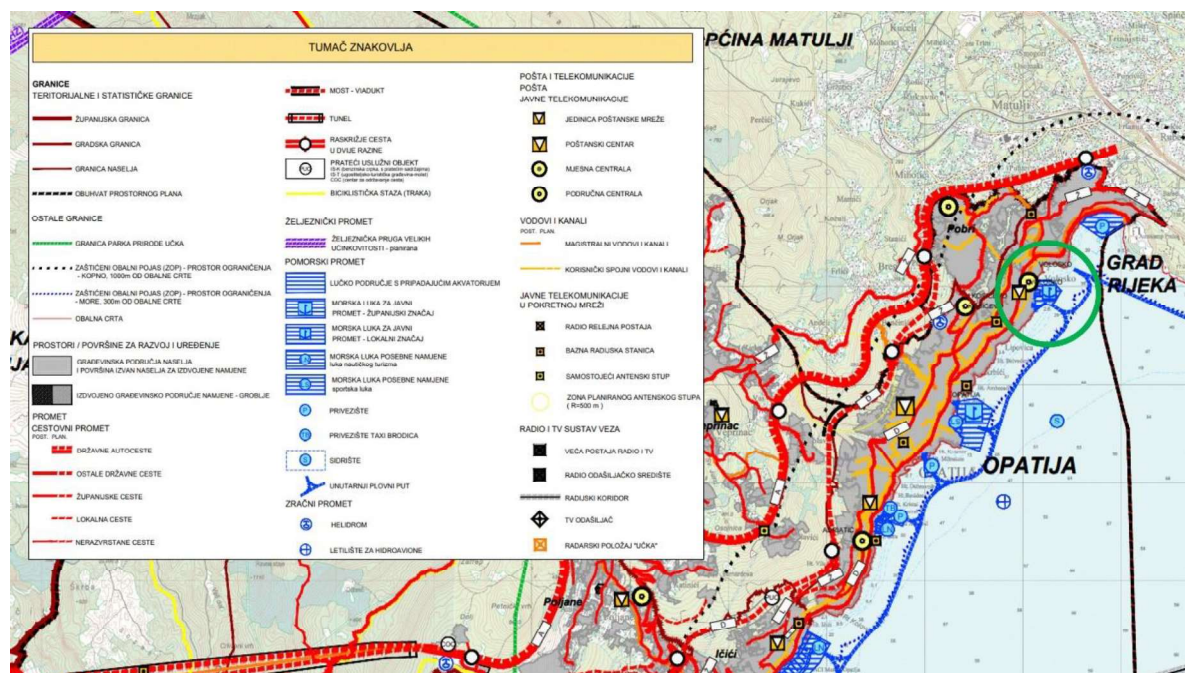
.....

5.1.2. Pomorski promet

Morske luke i plovni putevi

Članak 107.

(1) Razmještaj luka i plovni put na području Grada Opatije prikazani su na kartografskom prikazu br. 1B "Promet, pošta i telekomunikacije", u mj. 1:25.000."



Slika 19: Promet, pošta i telekomunikacije prema PPUG Opatija (SN PGŽ br. 01/07, 56/12, 4/16, 8/16-proč.tekst,10/21 i 05/22-proč. tekst)

Na slici 19 prikazani su plovni putevi i razmještaj luka na području Grada prema Prostornom Planu Uređenja Grada Opatije. Prema kartografskom prikazu 1B, luka u Volosku spada u luku koja je otvorena za javni promet lokalnog značaja dok luka Opatija spada pod luke otvorene za javni promet županijskog značaja. Točkastom plavom linijom prikazan je unutarnji plovni put između luka.

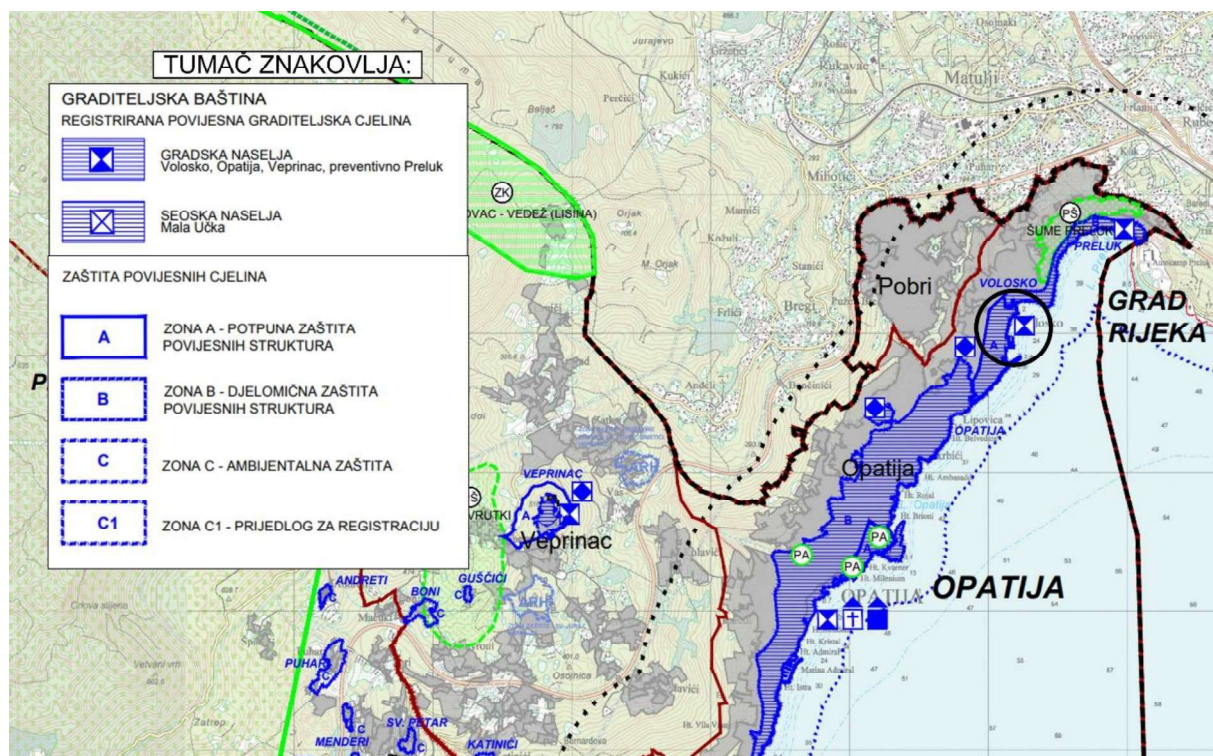
„.....

6. MJERE ZAŠTITE KRAJOBRAZNIH I PRIRODNIH VRIJEDNOSTI I KULTURNO-POVIJESNIH CJELINA

6.1. MJERE ZAŠTITE KRAJOBRAZNIH I PRIRODNIH VRIJEDNOSTI

Članak 117.

Zaštićeni i za zaštitu predloženi dijelovi prirode (prema Zakonu o zaštiti prirode) opisani u člancima 119. i 120. označeni su planskim znakom na kartografskom prikazu br. 3A "Uvjeti korištenja i zaštite prostora - Područja posebnih uvjeta korištenja", u mjerilu 1:25.000."



Slika 20: Uvjeti korištenja i zaštite prostora, područja posebnih uvjeta korištenja prema PPUG Opatija (SN PGŽ br. 01/07, 56/12, 4/16, 8/16-proč.tekst,10/21 i 05/22-proč. tekst)

Slika 20 prikazuje kartu područja posebnih uvjeta korištenja. Iz priložene slike vidljivo je da Volosko spada u gradsko naselje i za njega vrijedi potpuna zaštita povijesnih struktura.

„.....

6.2. MJERE ZAŠTITE KULTURNO-POVIJESNIH CJELINA

Povijesne graditeljske cjeline

Gradsko naselje

Članak 124.

(1) Ovim se Prostornim Planom kao kulturno dobro štite sljedeća **povijesna gradska naselja** (cjeline su određene granicama zone zaštite):

a) Registrirane cjeline:

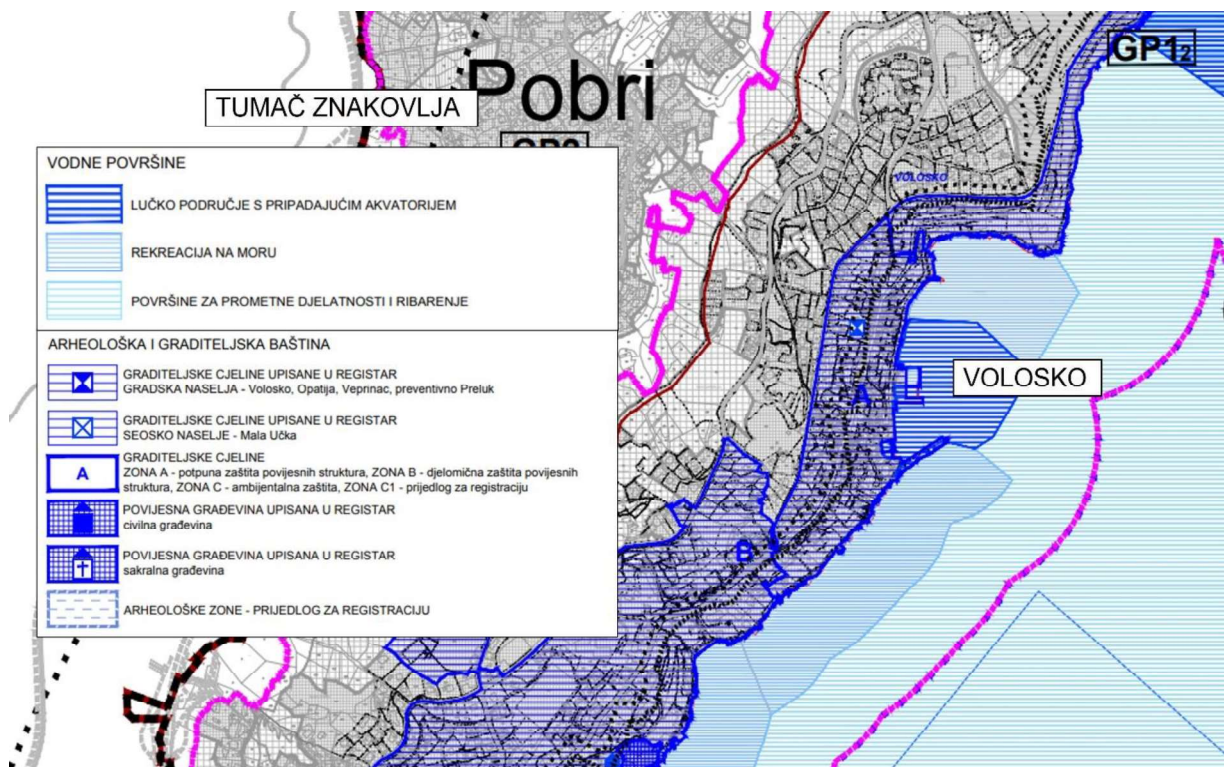
.....

3. Volosko upisano u Registar nepokretnih kulturnih dobara RH (rješenje Ministarstva kulture broj Z-2696), kao povijesna urbanistička cjelina naselja Volosko,

(2) **Registrirane cjeline gradskih naselja** (u granicama zaštite utvrđenim na kartografskom prikazu br. 4B „Građevinska područja-Zaštićena kulturna baština“ u mj 1:5000) obuhvaćaju sljedeće zone zaštite:

– „**A zona – potpuna zaštita povijesnih struktura**“. Moguće minimalne fizičke intervencije radi prilagodbe suvremenim potrebama. Prihvatljive metode sanacije, konzervacije, restauracije, konzervatorske rekonstrukcije i prezentacije.

– „**B zona – djelomična zaštita povijesnih struktura**“. Mogući i zahvati rekonstrukcije, rekompozicije i skladno integrirane interpolacije, uz zaštitu povijesnog zelenila.“



Slika 21: Građevinska područja – zaštićena kulturna baština prema PPUG Opatija (SN PGŽ br. 01/07, 56/12, 4/16, 8/16-proč.tekst,10/21 i 05/22-proč. tekst)

Prema slici 21, koja prikazuje zaštićenu kulturnu baštinu, Volosko spada pod graditeljsku cjelinu upisanu u registar kao gradsko naselje. Obalni pojas se nalazi u graditeljskoj cjelini zone A koja je u potpunoj zaštiti povijesnih kultura. Sa slike je vidljivo lučko područje s pripadajućim akvatorijem za Volosko. Iznad i ispod njege nalaze se pripadajućim akvatoriji za rekreaciju na moru.

„....

(5) Za registrirane povijesne graditeljske cjeline Opatiju i Volosko temeljem Plana obavezna je izrada urbanističkog plana uređenja na temelju postojeće konzervatorske podloge ili utvrđenog sustava mjera zaštite. Detaljni pokazatelji namjene površina i uvjeti gradnje, rekonstrukcije, interpolacije i svih ostalih zahvata u prostoru definirati će se UPU-om.

.....

8.4. ZAŠTITA MORA

Članak 144.

(1) Mjere zaštite mora obuhvaćaju:

a) mjere ograničenja izgradnje u zaštićenom obalnom području mora,

– cijela obala Grada Opatije određuje se kao osobito vrijedno područje, koje se čuva u svrhu zaštite, uređenja i valoriziranja morske obale,

– uz cijelu morskobalnu obalu, između obalne linije i šetnice Prostorni plan osigurava prolaz uz obalu i zabranjuje svaku novu izgradnju osim one koja po prirodi svoje funkcije mora biti na samoj obali ili one koje pripada krugu općeg interesa kao što je obalna šetnica,

– u zaštićenom obalnom području, na pojasu kopna širine 1000 m od obalne crte, zabranjuje se svaka izgradnja koja nije utvrđena urbanističkim planom uređenja, osim infrastrukture,

.....“

4.3. Urbanistički plan uređenja naselja Opatija (SN PGŽ br. 10/09, 56/12, 13/19, 16/19 - proč. tekst i 10/21)

Obuhvat se nalazi na dijelu k.č. 193/2 k.o. Volosko.

Obuhvat se nalazi u području gdje je na snazi Urbanistički plan uređenja naselja Opatija.

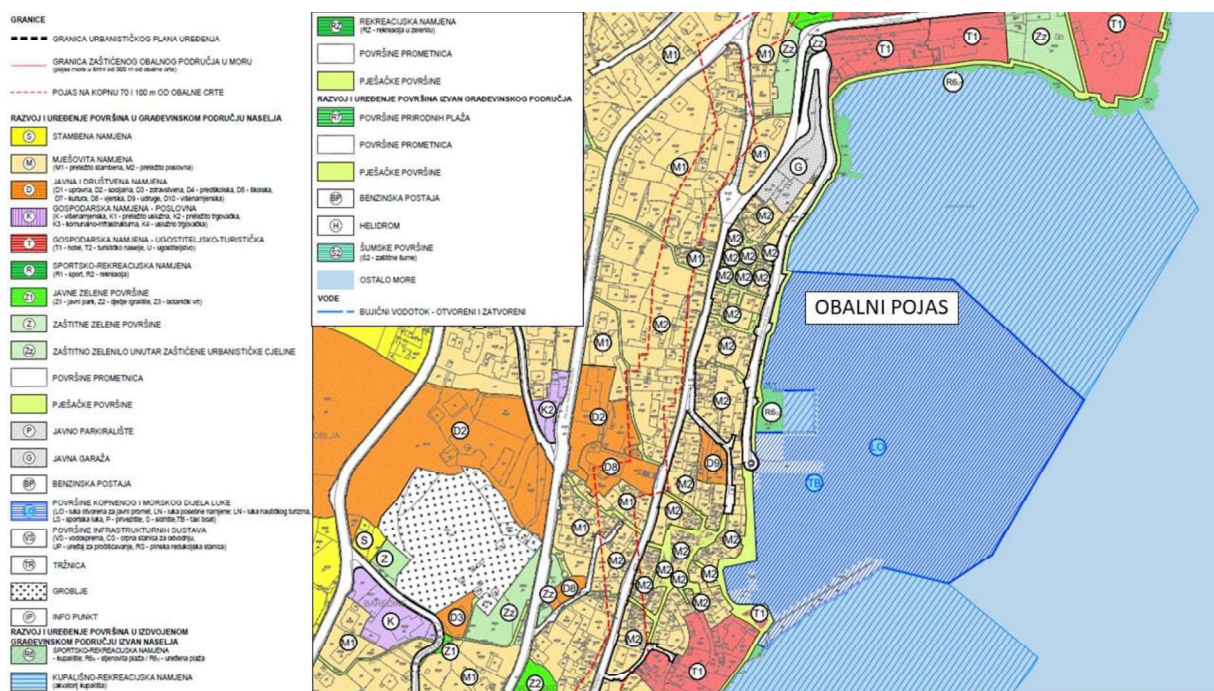
Na temelju Urbanističkog plana uređenja naselja Opatija – izmjene i dopune (Službene novine Primorsko-goranske županije br. 10/2021) obuhvat spada u zonu R6 (sportsko-rekreacijska namjena). Točnija zona pod koju obuhvat spada jest R6u: uređena plaža.

„.....

1. UVJETI ODREĐIVANJA I RAZGRANIČAVANJA POVRŠINA JAVNIH I DRUGIH NAMJENA

Članak 5.

(1) Osnovna namjena i način korištenja prostora te razgraničenje, razmještaj i veličina pojedinih površina detaljno su označeni rubnom linijom, bojom i planskim znakom na kartografskom prikazu br. 1.: Korištenje i namjena površina.“



Slika 22: Korištenje i namjena površina prema UPU Opatija (SN PGŽ br. 10/09, 56/12,13/19,16/19 - proč. tekst i 10/21)

Prema slici 22, koja prikazuje korištenje i namjenu površina prema Urbanističkom planu uređenja naselja Opatija, obalni pojas spada u zonu R6 (sportsko-rekreacijska namjena). Obalni pojas nalazi se u izdvojenom građevinskom području izvan naselja. Točnija zona obalnog pojasa jest R6u: uređena plaža koja se nalazi uz obalni pojas na sjeveru te iznad luk. Luka u Volosku je otvorena za javni promet (LO). Prometnica koja prolazi kroz naselje nalazi se odmah uz obalni dio. Namjena površine koja se pruža uz prometnicu bliže moru je pješačke površine. Sa druge strane prometnice, prema kopnu, nalaze se objekti mješovite namjene i to pretežito poslovne. Na sjevernom djelu uz obalni pojas, nalazi se javna garaža. Na samome jugu, uz lukobran, smješten je hotel.

„.....

1.2. UVJETI ODREĐIVANJA I RAZGRANIČAVANJA POVRŠINA U IZDVOJENOM GRAĐEVINSKOM PODRUČJU IZVAN NASELJA

1.2.1. KUPALIŠNO-REKREACIJSKA NAMJENA (R6)

Članak 16.

(1) *Planom* su određene površine kupališno-rekreacijske namjene: uređene plaže (R6U) i kupališta na stjenovitim obalama (R6S).

(2) Površine uređenih plaža (R6U) obuhvaćaju uređeni dio kopna i mora s pripadajućim dijelom akvatorija, a namijenjena su kupanju (prvenstveno) te sportsko-rekreativnim sadržajima i ostalim prema odredbama čl. 100.

(3) Površine kupališta na stjenovitim obalama R6S koriste prirodnu stjenovitu obalu s mogućnošću samo instalacije tuševa na obali i drvenih pontona u moru.

.....

Uvjeti i način gradnje:

6.2. UVJETI UREĐENJA ZELENIH I KUPALIŠNIH POVRŠINA U IZDVOJENOM GRAĐEVINSKOM PODRUČJU IZVAN NASELJA

6.2.21. Uređene plaže

Članak 100.

(1) Planom su razgraničene uređene plaže i kupališta na stjenovitim obalama, ovisno o razini uređenja na priobalnom području, na zone označene s R6U i R6S.

(2) Na površinama **uređenih plaža** R6U dozvoljeno je uređenje kupališnih površina i sunčališta, javnih „zelenih“ površina, dječjih igrališta, pješačkih površina i odmorišta i sl. i izgradnja pratećih sadržaja: rekreacija, ugostiteljstvo, trgovina, zabava, sanitarni uređaji, tuševi, kabine i sl., zatim otvorenih igrališta za rekreacijske sadržaje kupališta (boćalište, odbojka na pijesku, *aquagan*, skakaonica, bazen i sl.) te građevina infrastrukture, uz

primjenu nastavno navedenih posebnih uvjeta za pojedine lokacije. U akvatoriju plaža moguće je postavljanje igrališta za vaterpolo, pontona za sunčališta i sl.

(3) Unutar površine uređene plaže R6U moguća je gradnja, rekonstrukcija i održavanje, kao i uklanjanje postojećih sadržaja (građevina),

(4) Unutar površina uređenih plaža *Planom* se predviđa gradnja pratećih sadržaja: (ugostiteljstvo, trgovina, zabava, sanitarni uređaji, tuševi, kabine i sl.) čiji GBP ne prelazi 10% površine pojedine uređene plaže, osim za plažu *Slatina* gdje predmetno ograničenje iznosi 20%. Građevine se izvode visine prizemlja, odnosno 4,00 m od najniže kote uređenog terena uz građevinu do vijenca građevine s kosim ili ravnim krovom kao sunčalište ili terasa te svojom visinom ne smije prijeći kotu komunikacije uz plažu, a smještavaju se uz stražnju granicu plaže prema komunikacijskim površinama osim:

- na plaži *Slatina* paviljoni uz postojeću obalnu šetnicu gdje smiju imati 2 etaže, ravne ili kose krovove, visinu do 7,00 m, ukupnu visinu do 10,00 m. Paviljoni užom stranom trebaju gledati prema obalnom šetalištu kako bi što manje smetali pogledu prema moru, a u prizemlju/drugoj etaži koristiti prozirni materijal za obradu pročelja;

- u zoni *Pančera* paviljoni smiju imati 2 etaže, ravne ili kose krovove, visinu do 8,00 m, ukupnu visinu do 11,00 m.

(5) Izgradnja novih pratećih sadržaja u zonama označenim s R6U moguća je samo uz uvjet najmanje zadržavanja postojećeg kapaciteta plaže. Uređenjem plaže ne smiju se narušiti ambijentalne vrijednosti priobalnog i okolnog prostora, a prilikom uređenja treba koristiti prirodne materijale karakteristične za podneblje te očuvati postojeću i planirati sadnju nove visoke vegetacije.

(6) Unutar površine uređene plaže mogu se obnoviti ranija povijesna kupališta (*Lido*, *Slatina* i druga) u povijesnom oblikovanju (drvena) i gabaritu.

(7) Na dijelu uređene plaže označene s R6U1 (Črnikovica) predviđaju se sljedeći zahvati:

- izvedba platoa - sunčališta kao drvenih platformi i sl. u moru, povezanih s kopnom, postavljenim u pojasu mora na udaljenosti cca 30,00 m od obalne linije,

- očuvanje prirodnog žala u uvali.

(8) Na dijelu obale predviđa se proširenje uređene plaže označene s R6U8 na raspoloživi neizgrađeni prostor na kopnu, pri čemu se ista uređuje kao površina za boravak i rekreaciju (odbojka na pijesku i sl.) uz obvezu očuvanja ukupne postojeće vegetacije. Moguća je izgradnja pratećih sadržaja (trgovina, ugostiteljstvo, sanitarni čvor i dr.) kao jednostavne građevine ukupne tlocrtnne površine do 12,00 m², visine prizemlja, odnosno 4,00 m od najniže kote uređenog terena uz građevinu do vijenca građevine (izvedene priljubljeno uz stražnji potporni zid čestice). Na dijelu prostora može se urediti površina za igru djece površine do 250 m².

(9) Uređenu plažu *Lipovica* očuvati kao šljunčano žalo, bez nasipavanja i betoniranja sunčališta od ove plaže do plaže hotela *Ambasador*. Dozvoljeno je formiranje sunčališta postavljanjem drvenih pontona ili stabilnih drvenih konstrukcija platformi na stupovima, u pojasu širine cca 30 m.

(10) U dijelu akvatorija uređenih plaža moguća je izvedba potopljenih „pera“ za zadržavanje nasutog materijala ukoliko se dokaže da takav zahvat neće negativno utjecati na biološku raznolikost pridnene flore i faune tog područja.

(11) Dozvoljeno proširenje kopnenog dijela pojedine plaže nasipavanjem mora iznosi najviše do 20% postojećeg kopnenog dijela plaže.

.....“

5. PODLOGE I PODACI

5.1. Oceanografski podaci

5.1.1. Studija upravljanja rizicima od poplava mora (VEPAR)

U okviru studije VEPAR [8] statističkom analizom ustanovila se vrijednost visokih razina mora na mareografskim postajama za tri scenarija: mala vjerojatnost (povratno razdoblje = 1000 godina), srednja vjerojatnost (povratno razdoblje = 100 godina) i velika vjerojatnost (povratno razdoblje = 25 godina). Vrijednosti visokih razina mora uzimaju se za postaju Bakar jer se nalazi blizu naselja Volosko te stoga daje najpouzdanije vrijednosti i prikazane su u tablicama 1 i 2.

Tablica 1: Rezidualne razine mora za povratne periode od 25 (velika vjerojatnost), 100 (srednja vjerojatnost) i 1000 (mala vjerojatnost) godina – bez utjecaja klimatskih promjena, prema [3]

Period	25 godina	100 godina	1000 godina
	Razina mora (cm)	Razina mora (cm)	Razina mora (cm)
Postaja Bakar	98,8	113,5	138,1

Tablica 2: Rezidualne razine mora za povratne periode od 25 (velika vjerojatnost), 100 (srednja vjerojatnost) i 1000 (mala vjerojatnost) godina – s utjecajem klimatskih promjena, prema [3]

Period	25 godina	100 godina	1000 godina
	Razina mora (cm)	Razina mora (cm)	Razina mora (cm)
Postaja Bakar	158,8	173,5	198,1

U tablici 3 prikazane su vrijednosti rezidualnih razina mora po mjesecima za povratni period od 5 godina koji su dobiveni prema 12 scenarija. Scenariji jesu ekstremne razine mora za pojedini mjesec u godini tijekom 5 godišnjeg razdoblja.

Tablica 3: Rezidualne razine mora mareografske postaje Bakar za 5 godišnje plansko razdoblje po mjesecima, prema [3]

Mjesec	Bakar - razina mora za 5 god. pp (cm)
Siječanj	56,3
Veljača	61,2
Ožujak	54,0
Travanj	41,3
Svibanj	40,7
Lipanj	30,7
Srpanj	29,2
Kolovoz	28,1
Rujan	34,7
Listopad	52,5
Studeni	57,2
Prosinac	68,3

Kao mjerodavna vrijednost visoke razine mora za 5 godišnje plansko razdoblje uzima se maksimalna vrijednost koja iznosi +0,7 m n. m.

U studiji VEPAR napravljene su modelske simulacije koje za rezultat prikazuju ekstremne razine mora bez utjecaja valova za dva slučaja – bez i sa utjecajem klimatskih promjena. Simulacije jesu rađene za cijelo područje Jadranskog mora RH. U tablici 4 navedeni su rezultati visokih razina mora za Volosko.

Tablica 4: Ekstremne razine mora za povratne periode od 25 (velika vjerojatnost), 100 (srednja vjerojatnost) i 1000 (mala vjerojatnost) godina – bez i sa utjecajem klimatskih promjena, očitano iz [3]

Period	Razina mora bez klimatskih promjena (m n. m.)	Razina mora sa klimatskim promjenama (m n. m.)
25 godina	1,2	1,8
100 godina	1,3	1,9
1000 godina	1,5	2,1

Druga numerička simulacija napravljena je u vidu polja značajnih valnih visina H_s , vršnih spektralnih perioda T_p i incidentnog smjera valovanja za smjer djelovanja vjetra iz jugoistočnog smjera te jugozapadnog smjera. U tablicama 5 i 6 navedeni su rezultati značajne visine vala H_s i vršnih spektralnih perioda vala T_p za Volosko za smjer djelovanja vjetra iz SE i SW sektora.

Tablica 5: Značajne visine vala H_s za povratne periode od 25 (velika vjerojatnost), 100 (srednja vjerojatnost) i 1000 (mala vjerojatnost) godina – bez i sa utjecajem klimatskih promjena, očitano iz [3]

Period	Značajna visina vala za SE sektor (m)	Značajna visina vala za SW sektor (m)
25 godina	3,4	2,5
100 godina	3,6	3,1
1000 godina	3,9	3,9

Tablica 6: Vršni spektralni period T_p za povratne periode od 25 (velika vjerojatnost), 100 (srednja vjerojatnost) i 1000 (mala vjerojatnost) godina – bez i sa utjecajem klimatskih promjena, očitano iz [3]

Period	Period vala za SE sektor (s)	Period vala za SW sektor (s)
25 godina	8,4	7,1
100 godina	7,5	7,1
1000 godina	7,2	8,0

5.1.2. Analiza ugroženosti od obalnog plavljenja ranjivih naselja PGŽ

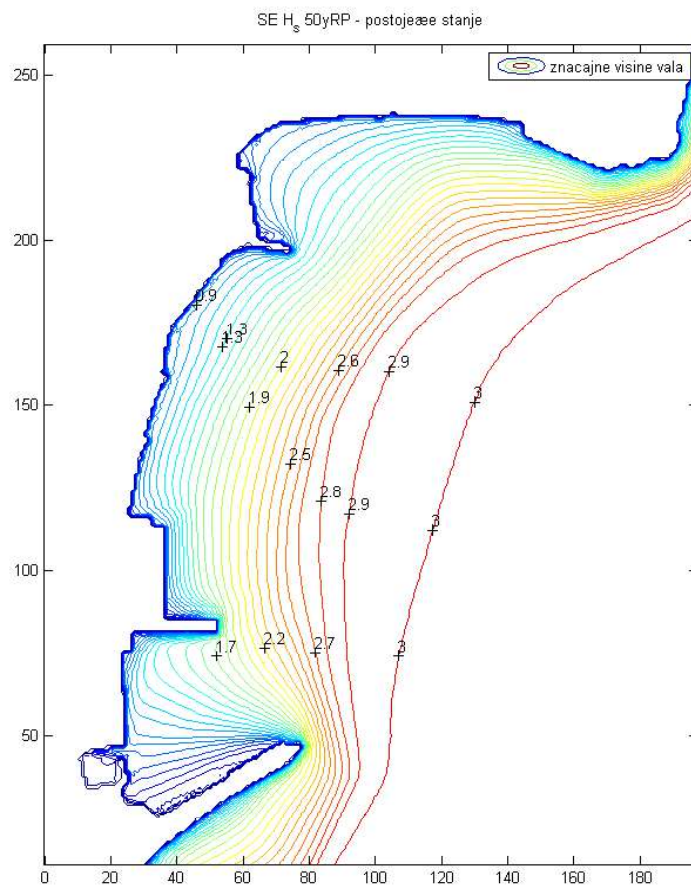
Prethodni rezultati jesu iz analize koja je rađena na širem području RH, odnosno za cijelo Jadransko more. No napravljena je i detaljnija analiza, posebno za Volosko u okviru projekta Analiza ugroženosti od obalnog plavljenja ranjivih naselja Primorsko-goranske županije [8]. U nastavku slijede rezultati analize koja je provedena za Volosko.

U tablici 7 prikazane su površine plavljenja koje nastaju kod određene visoke razine mora. Uz površinu plavljenja naveden je i broj objekata koji će biti zahvaćeni poplavom.

Tablica 7: Plavljene površine u Voloskom pri analiziranim morskim razinama [6]

Razina [m n. m.]	Plavljena površina [m ²]	Broj plavljenih objekata
< 1,15	2 027	0
1,15 – 1,45	4 269	8
1,45 – 1,75	6 258	12
1,75 – 2,05	7 276	12
2,05 – 2,35	8 473	12
2,35 – 2,65	9 116	12

Na slici 23 prikazane su značajne valne visine juga za sadašnju maksimalnu razinu mora 1,15 m n. m. dobivene analizom valovanja.



Slika 23: Značajne visine vala, SE smjer 50-god. Povratni period, Volosko, MR = 1,15 m n. m. [6]

Analizom valovanja za smjer vjetrova sa SE (jugo) pri razini mora od 1,15 m n. m. za 50 godišnji povratni period dobiveno je da se na 100 m od obale javljaju valovi od 3 m i zbog plićine obalnog dijela padaju na 0,9 metara uz samu obalu. Za proračun djelovanja valova na obalne građevine odabrana je visina vala $H_s = 1,5$ m prema preporuci iz navedene studije, dok je za dubokovodne uvjete odabrana vrijednost visine vala $H_s = 2,5$ m.

Parametri za proračun

Za daljnje proračune mjerodavne vrijednosti razine mora preuzete su iz Studije upravljanja rizicima od poplava mora (VEPAR) [3]. Podaci jesu za povratni period od 100 godina (srednja vjerojatnost) bez i sa klimatskim promjenama. Razina mora bez klimatskih promjena iznosi +1,3 m n. m. dok sa klimatskim promjenama iznosi +1,9 m n. m. Visoka razina mora za 5 godišnji povratni period iznosi +0,7 m n. m.

Mjerodavna vrijednost značajne visina vala za proračun jest $H_s = 1,5$ m. Za dubokovodne uvjete uzima se vrijednost značajne visine vala $H_s = 2,5$ m. Podaci su preuzeti iz Analiza ugroženosti od obalnog plavljenja ranjivih naselja PGŽ.

Vrijednosti vršnih spektralnih perioda vala nisu mjerodavne pošto je analiza vršnih spektralnih perioda rađena na području cijele RH. Podaci za period uzimaju se iz diplomskog rada Projekt raščlanjenog betonskog gata plivališta u luci Volosko [13]. U radu su izračunate valne prognoze za određene povratne periode specifično za naselje Volosko. Budući da se najveći valovi pojavljuju u smjeru puhanja juga, podaci za smjer SSE biti će relevantni za daljnji proračun. U tablici 8 prikazani su valni parametri za smjer vjetra SSE koji su dobiveni iz Groen-Dorensteinovog dijagrama.

Tablica 8: Raylegihova distribucija pojedina visine vala za svaki povratni period, smjer SSE [13]

PP(god.)	H_s (m)	T_{hs} (s)	$H_{1/10}$ (m)	$T_{1/10}$ (s)	$H_{1/100}$ (m)	$T_{1/100}$ (s)	H_{max} (m)	T_{max} (s)
1	1,5	3,8	1,9	4	2,5	4,4	2,9	4,6
5	2,1	4,2	2,7	4,5	3,5	5,2	4,0	5,3
10	2,4	4,4	3,0	4,8	4,0	5,3	4,6	5,7
50	3,1	4,8	3,9	5,2	5,2	6,1	5,9	6,2
100	3,4	5,1	4,3	5,5	5,7	6,2	6,5	6,5

Pošto se vrijednost značajne visine vala H_s preuzela za 50 godišnji povratni period, mjerodavna vrijednost vršnog perioda vala za daljnji proračun iznosi $T_s = 4,8$ s.

5.2. Topografske podloge

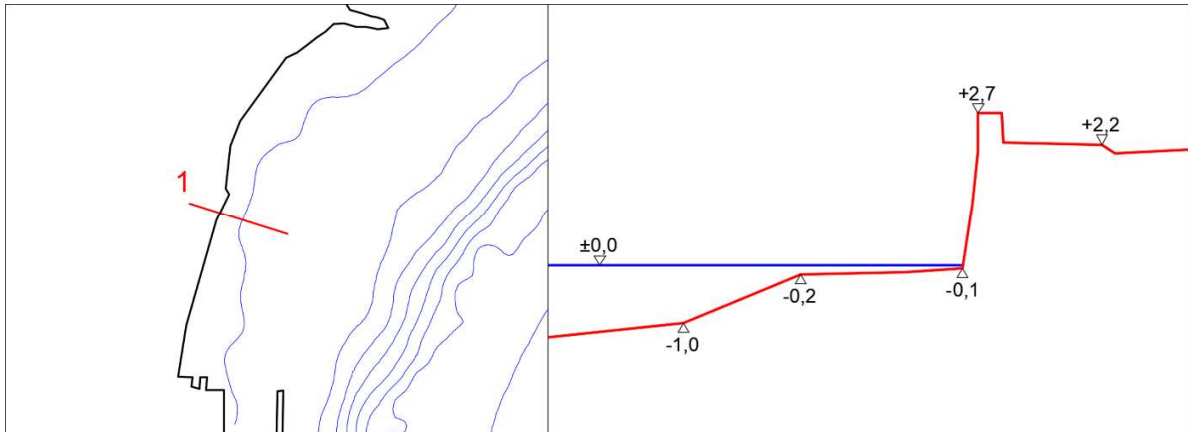
5.2.1. Visina terena

Na slici 24 prikazana je pregledna situacija naselja Volosko na kojoj je prikazan ugroženi obalni pojas.



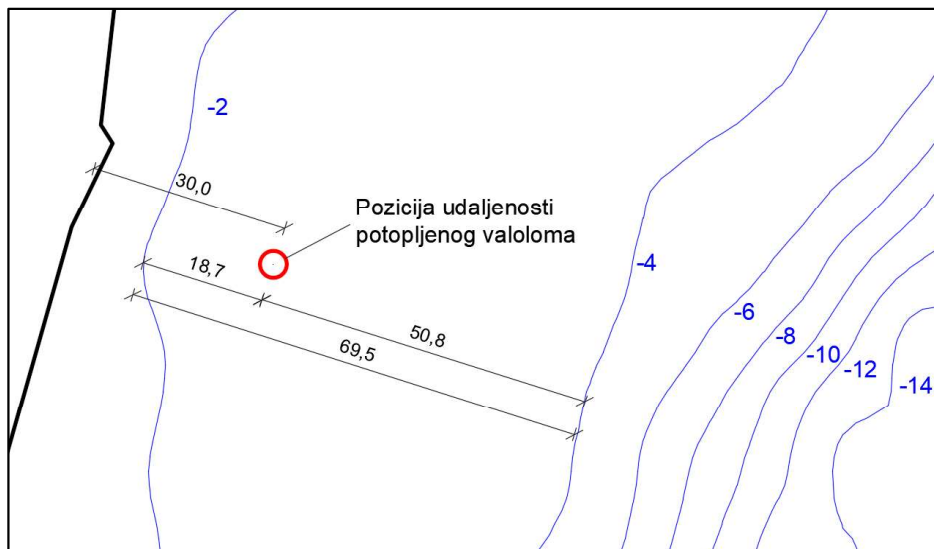
Slika 24: Pregledna situacija naselja Volosko

Slika 25 prikazuje poziciju Profila 1 koji se nalazi na Obali Frana Supila u Voloskom te prikaz poprečnog presjeka. Profil 1 okomit je na obalnu šetnicu na koju nailaze valovi tijekom olujnog juga. Podaci koji su uzeti za visine terena obale preuzeti su iz projekta Analiza ugroženosti od obalnog plavljenja ranjivih naselja Primorsko-goranske županije [8]. Obalni zid uz more, preko kojega se prelijevaju valovi, nalazi se na visini od +2,7 m n. m. dok se obalna šetnica iza njega nalazi na +2,2 m n. m.



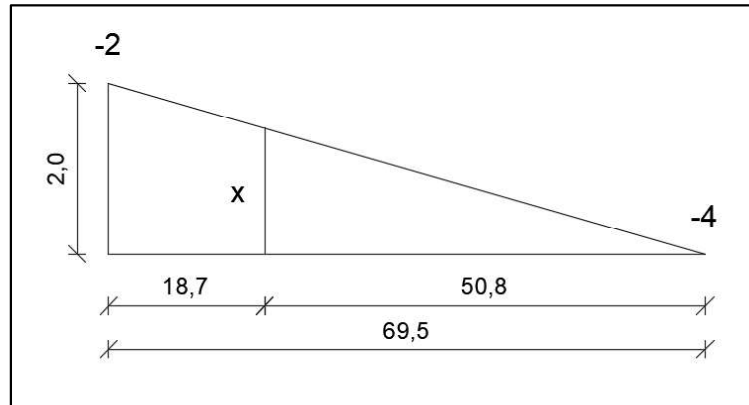
Slika 25: Pozicija profila 1 na Obali Frana Supila u Voloskom (lijevo) i poprečni presjek profila 1 (desno)

5.2.2. Dubina mora



Slika 26: Prikaz slojnica ispred obalnog zida u Voloskom sa prikazanom udaljenosti planiranog potopljenog valoloma

Dubina mora koja se uzima u proračun duljine vala nalazi se na 30 m ispred obalnog zida u Volosku gdje je predviđen potopljeni valolom (slika 26). Dubina mora na udaljenosti od 30 izračunata je iz sličnosti trokuta (slika 27) između dviju slojnica koje se nalaze na -2 i -4 m od razine mora. Potopljeni valolom koji se nalazi 30 m od obale udaljen je za 18,7 m u odnosu na slojnicu od -2 m.



Slika 27: Sličnost trokuta za određivanje dubine x

$$\frac{-2}{69,5} = \frac{x}{51,3}$$

$$69,5x = -102,6$$

$$x = -1,47 \text{ m} \approx -1,5 \text{ m}$$

Dobivenu vrijednost $x = -1,5 \text{ m}$ oduzeti ćemo od slojnice na -4 m te dobiti vrijednost dubine mora z na 30 m od obale: $z = -2,5 \text{ m}$. Dubina mora od $-2,5 \text{ m}$ jest dubina koja je dana od hidrografske nule. Hidrografska nula jest srednja vrijednost opažanih razina oseka. Srednja razina mora odgovara geodetskoj nuli koja predstavlja srednju vrijednost izmjerenih plima i oseka. Da bi dobili vrijednost te srednje razine mora moramo izračunati razliku između razine mora hidrografske nule i srednje razine mora. Srednja razina mora uzimati će se za referentnu razinu HRVS71 pošto su u studiji VEPAR razine mora su dane za HRVS71 sustav. Prema javnim podacima Hrvatskog hidrografskog instituta (HHI) razlika između hidrografske nule (H_0) i geodetske nule (HVR571) na postaji Bakar iznosi 31 cm [20].

Na dubinu dna od $2,5 \text{ m}$ dodajemo $0,31 \text{ m}$ kako bi dobili dubinu mora u odnosu na geodetsku nulu.

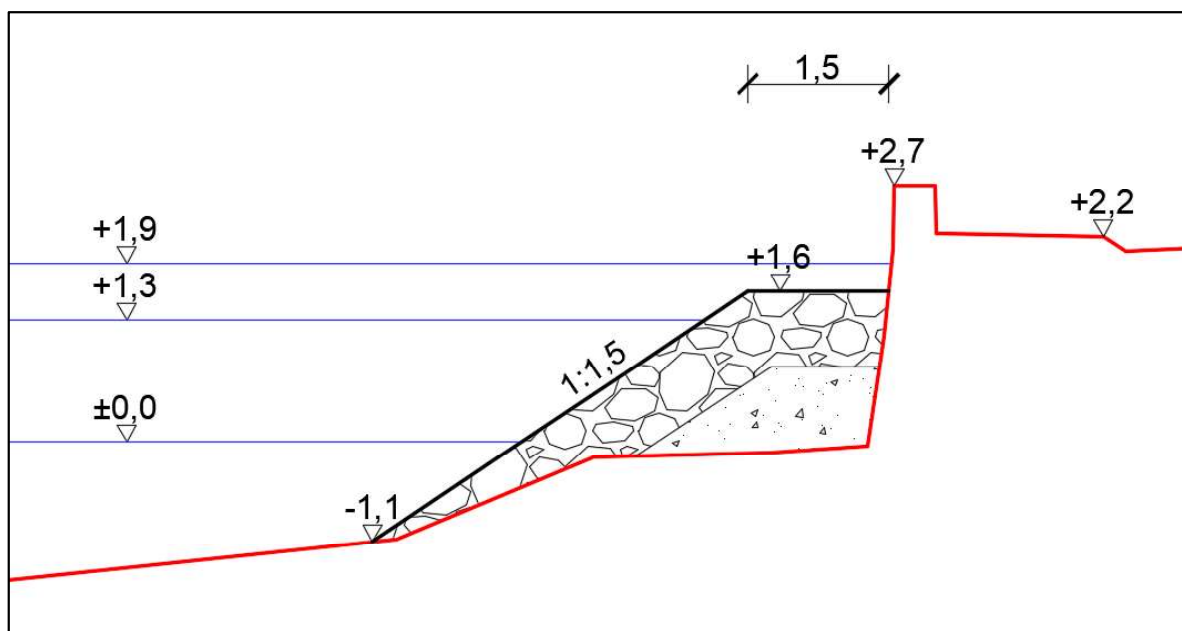
$$z_{30} = 2,5 \text{ m} + 0,31 \text{ m} = 2,81 \text{ m} \approx 2,8 \text{ m}$$

Na udaljenosti 30 m od obale dubina mora iznosi $z_{30} = 2,8 \text{ m}$.

6. PRIJEDLOG RJEŠENJA ZAŠTITE

Kako bi se zaštitio obalni pojas naselja Volosko od olujnih uspora potrebno je primijeniti adekvatne mjere zaštite. Predlažu se mjere zaštite u obliku obalnih građevina koje bi štatile obalnu šetnicu uz more od olujnih uspora. Obalne građevine kojima bi se zaštitio obalni pojas jesu nasuti lukobran i valobran. Varijante koje se predlažu za zaštitu obale jesu: niska zaštitna školjera, visoka zaštitna školjera, podmorski prag te potopljeni valolom. Navedene mjere mogu se primijeniti na mjestima obalne linije u čijoj je blizini izgrađen obalni zid.

6.1. Niska zaštitna školjera

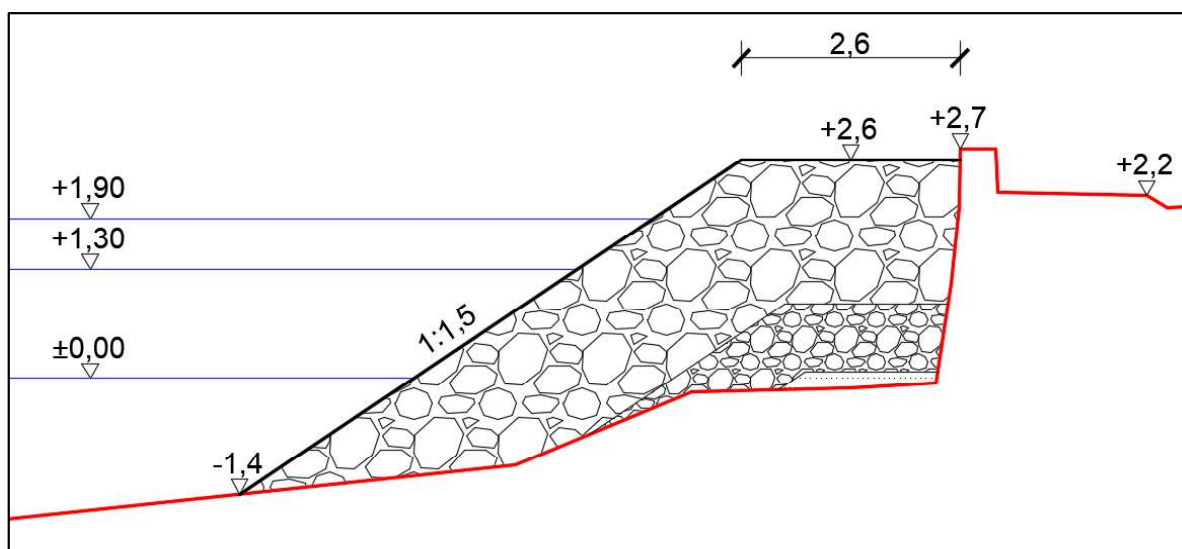


Slika 28: Karakteristični poprečni presjek niske zaštitne školjere uz Obalu Frana Supila u Voloskom

Prvo rješenje koje se predlaže pri smanjenju prelijevanja i zapljuskivanja valova uz obalu jest niska zaštitna školjera. Niska zaštitna školjera izvodi se kao nasuti tip lukobrana i sastoji se od 2 sloja: jezgre, sekundarne obloge (filterni sloj) i primarne obloge koju u ovom slučaju sačinjavaju kamena blokovi (slika 28). Školjera je pod vanjskim nagibom od 1:1,5. Kota krune školjere nalazi se na +1,6 m n. m. dok je širina krune 1,5 m. Nožica

školjere u kojoj vanjski pokos dodiruje morsko nalazi se na -1,0 m n. m. Kruna ove školjere je iznad razine mora za srednju razinu i ekstremno visoku razinu bez klimatskih promjena, međutim kruna je potopljena za ekstremno visoku razinu uz klimatske promjene.

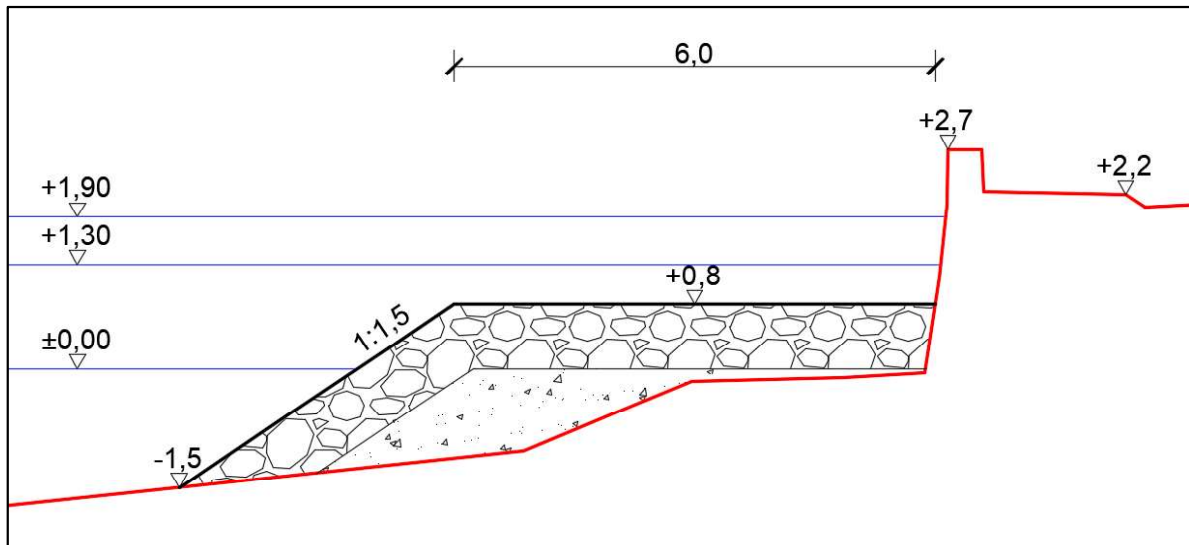
6.2. Visoka zaštitna školjera



Slika 29: Karakteristični poprečni presjek visoke zaštitne školjere uz Obalu Frana Supila u Voloskom

Kao druga varijanta zaštite predlaže se visoka zaštitna školjera koja se također izvodi kao nasuti tip lukobrana (slika 29). Školjerom se postiže disipacija energije valova čime bi se smanjilo prelijevanje valova i zaštitila obala. Teški kameni materijal oblaže se ispred obalnog zida u Voloskom sa krunom iznad razine mora. Ispod kamenog materijala nalazi se sekundarna obloga (filtarski sloj) ispod koje se nalazi jezgra. Kruna školjere nalazi se na +2,6 m n. m. čija je širina 2,6 m. Vanjski pokos školjere je u nagibu od 1:1,5 dok je nožica školjere na dubini od -1,4 m n. m. Kruna školjere je iznad morske razine za sva tri scenarija.

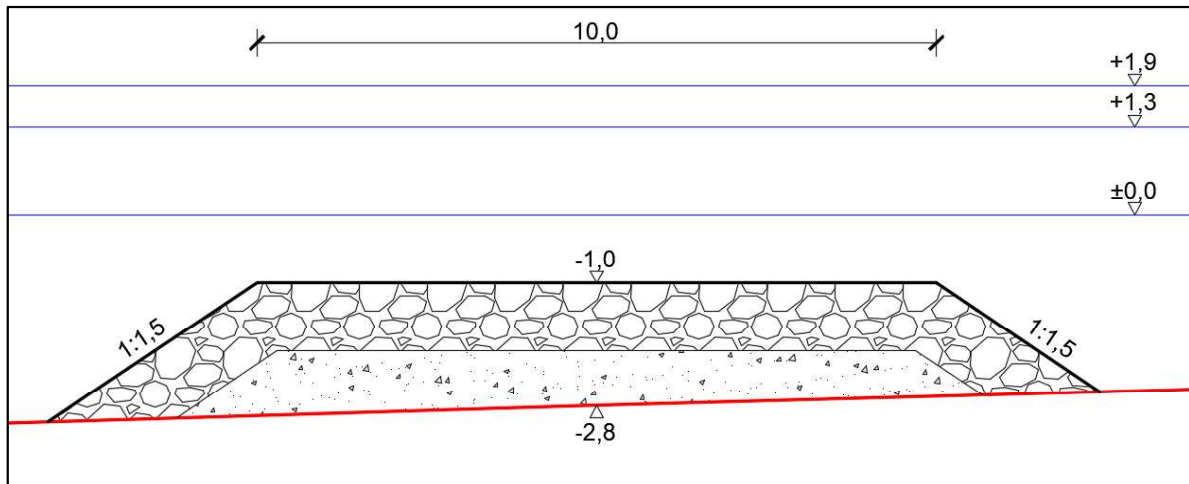
6.3. Podmorski prag



Slika 30: Karakteristični poprečni presjek podmorskog praga uz Obalu Frana Supila u Voloskom

Podmorski prag je po definiciji obalna građevina koja se nalazi ispod razine mora te se proteže paralelno sa obalom. Uloga podmorskog praga je smanjenje visine vala čime se štiti obala i obalne građevine. Smanjenjem visine vala postiže se smanjenje prelijevanja i sila koje djeluju na obalne građevine, smanjuje se erozija te se omogućuje taloženje sedimenata [14]. Predlažu se dvije varijante podmorskog praga: kraći podmorski prag i duži podmorski prag. Širina krune kraćeg praga iznosi 3,0 m dok je širina krune dužeg praga dvostruko veća te iznosi 6,0 m. Kota krune kraćeg i dužeg podmorskog praga je ista i nalazi se na koti od +0,8 m n. m. Na slici 30 prikazana je varijanta dužeg podmorskog praga. Nožica praga je na dubini od -1,5 m n. m. a vanjski pokos je pod nagibom od 1:1,5. Prag se izvodi od dva dijela: jezgre i zaštitne obloge koja je od kamenog materijala.

6.4. Potopljeni valolom



Slika 31: Karakteristični poprečni presjek potopljenog valoloma uz Obalu Frana Supila u Voloskom

Potopljeni valolom jest podmorski prag čija se kruna nalazi ispod morske razine te je izgrađen na određenoj udaljenosti od obale. Potopljeni valolom disipira energiju vala te se na taj način smanjuje visina vala i štiti obalni pojas. Kao rješenje predlaže se izvedba potopljenog valoloma koji je udaljen 30,0 m od Obale Frana Supila. Valolom je uronjen ispod srednje razine mora za -1,0 m sa širinom krune od 10,0 m (slika 31). Sastoji se od jezgre i zaštitne obloge koja je od kamenog materijala. Vanjski je pokos pod nagibom od 1:1,5.

7. PROCJENA UČINKOVITOSTI PREDLOŽENIH RJEŠENJA

7.1. Analitički izrazi za prelijevanje

Za izračun prelijevanja korišten je EurOtop priručnik za prelijevanje [15]. Ovaj priručnik daje smjernice za analizu i/ili predviđanje prelijevanja valova kod obalnih građevina. EurOtop je namijenjen primarno pomoći vladi, agencijama, tvrtkama i stručnim savjetnicima koji se bave smanjenjem rizika od poplava te obranom od poplava. Metode i smjernice opisane u priručniku mogu biti od pomoći projektantima ili operaterima lukobrana, melioracija ili unutarnjih jezera ili akumulacija. Priručnik za prelijevanje uključuje tehnike za predviđanje prelijevanja valova na morskim zidovima, nasipima, lukobranima i drugim obalnim građevinama. U njemu su dane smjernice za analizu i/ili predviđanje prelijevanja valova za obranu od poplava uslijed djelovanja valova. Glavni fokus priručnika je na nasutim, kosim i vertikalnim lukobranima te nasipima [15].

U EurOtop priručniku opisane su vrste obalnih građevina i pojašnjeni su parametri sa kojima će se ulaziti u proračun. Nakon toga pružene su upute za interpretaciju rezultata. Nadalje priručnik sadrži dopuštene vrijednosti prelijevanja za različite vrste građevina i metoda procjene prelijevanja. Navedeni su preporučeni pristupi za izračun preljevnog protoka, volumen preljevnog vala i udio valova koji preplavljaju zid [15].

Kako bi se omogućilo razumijevanje prelijevanja preko krune vertikalnog zida neophodno je shvatiti pojmove koji se vežu uz valove i konstrukciju obalne građevine [15].

Visina vala korištena u izračunu za nalet i prelijevanje tumači se kao značajna visina vala na vrhu konstrukcije, H_{m0} , odnosno H_s , a izražava se u metrima. Druga definicija značajne visine vala kaže da je to veličina koja predstavlja prosječnu (srednju) visinu trećine najviših valova, $H_{1/3}$. U plitkim vodama razlike između tih dviju vrijednosti visina vala mogu biti 10-15% dok u dubokovodnom području imaju gotovo iste vrijednosti. Unatoč što daju slične vrijednosti ipak se valna visina H_{m0} koristi u priručniku EurOtop jer je ona predviđena numeričkim modelima [15].

Period vala je veličina kojom se iskazuje ciklus trajanja vala u sekundama. Uobičajeni valni periodi su vršni period T_p , prosječni period T_m i značajni period $T_{1/3}$ koji je prosjek najviših

valnih trećina. $T_{m-1,0}$ je spektralni period koji u spektru daje veću važnost dugačkim periodima nad prosječnim i često se zna pojavljivati u nekim izrazima. Sljedeći izraz predstavlja odnos perioda [15] :

$$T_p = 1,1T_{m-1,0} \quad (1)$$

$$T_p = 1,2T_m \quad (2)$$

Strmost vala s_0 opisana je kao odnos visine vala H_{m0} i valne duljine L_0 , $s_0 = H_{m0}/L_0$. Strmost vala upućuje na uzrok nastanka vala i njegove karakteristike. Na valove mrtvog mora ukazuje strmost vala $s_0=0,01$ dok valovi koji su generirani vjetrom poprimaju strmost $s_0=0,04-0,06$. Ukoliko dolazi do loma vala na blagoj obali, valovita mora imaju nisku strmost valova. Prilikom loma vala dolazi do smanjenja visine vala iako ne dolazi do značajne promjene perioda vala [15].

Parametar loma vala, odnosno Iribarrenov broj, definiran je kao:

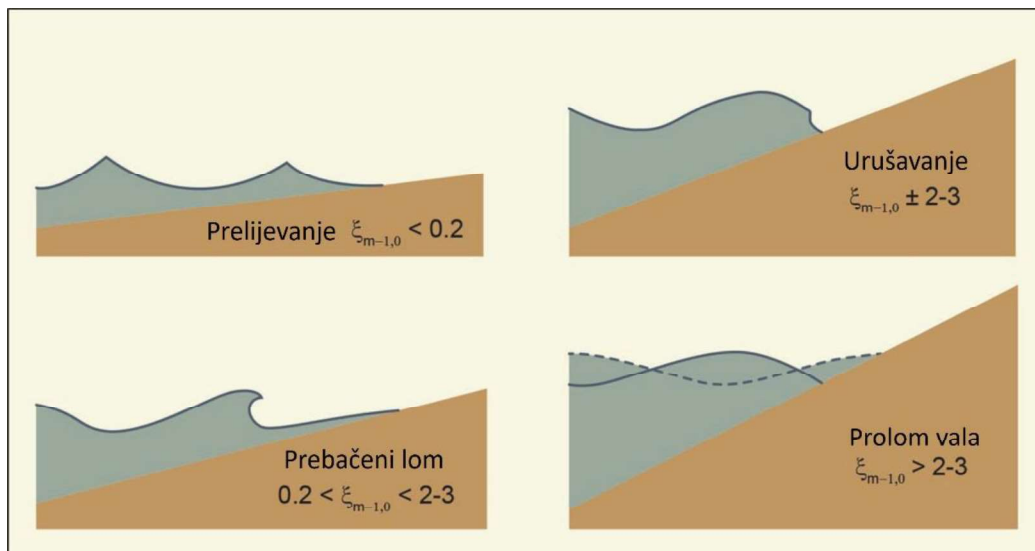
$$\xi_{m-1,0} = \frac{\tan\alpha}{\left(\frac{H_{m0}}{L_{m-1,0}}\right)^{1/2}} \quad (3)$$

Gdje je α nagib konstrukcije okrenut prema moru a $L_{m-1,0}$ je duljina dubokovodnog vala.

Duljina dubokovodnog vala računa se prema formuli:

$$L_{m-1,0} = \frac{gT_{m-1,0}^2}{2\pi} \quad (4)$$

Lom vala ovisi o nagibu građevine i strmosti vala kao što je prikazano na slici 32. Za vrijednost $\xi_{m-1,0} > 2$ valovi se ne lome (premda postoji neko lomljenje), a za vrijednost $\xi_{m-1,0} < 2$ valovi se lome [15].



Slika 32: Vrste loma vala na padini, prema [15]

Preljevanje vala, koji se javlja za $\xi_{m-1,0} < 0,2$, obično se pojavljuje na obalama sa blagim nagibom. Kod prebačenog loma vala, koji se pojavljuje za $0,2 < \xi_{m-1,0} < 2-3$, val koji nailazi na obalu je okomit. Kod ove vrste loma viseći vrh vala će udariti obalnu građevinu ili će se slomiti i pogoditi povratnu vodu na obali. Za $\xi_{m-1,0} \pm 2-3$ javlja se urušavanje vala kod kojega fronta vala postaje gotovo okomita. Prolom vala, koji se uočava za $\xi_{m-1,0} > 2-3$, smatra se neslomljivim premda se mogu javiti neki lomovi [15].

Parametri h i d služe kako bi se ustanovilo hoće li se pojaviti lom vala. Parametar h opisuje lokalnu dubinu vode neposredno ispred obalnog zida dok parametar d opisuje dubinu vode iznad nasipa koji se nalazi ispred zida [15].

Nožica građevine izvodi se u podnožju građevine, na mjestu kontakta građevine sa obalom (morskim dnom). Nožice povećava stabilnost obalne građevine i pruža zaštitu od erozije [15].

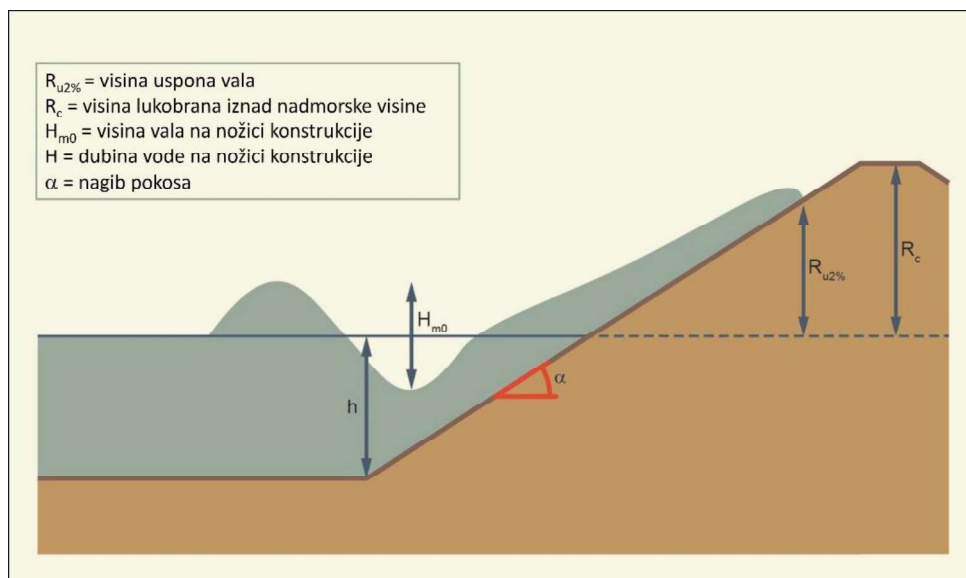
Pojam obale u ovom je kontekstu dio batimetrije morskog dna koja se prostire prema moru od obalne konstrukcije koju karakteriziraju valni procesi izazvani dubinom kao to je lomljene vala ispred lukobrana. Može bit vodoravna ili u nagibu do 1:10. Obala strmija od nagiba 1:10 neposredno ispred konstrukcije može se smatrati dijelom te konstrukcije.

Ovisno o vrsti obale valovi će se različito ponašati, a ona može biti duboka, plitka, vrlo plitka pa čak i izrazito plitka [15] .

Berma je sastavni dio građevine kojoj nagib vara između vodoravnog pa sve do 1:15. Berma se često nalazi na nagnutoj konstrukciji poput nasipa te na visini projektirane razine vode jer je berma tamo najučinkovitija. Kruna obalne građevine može se izvesti niže ako se izvede berma budući da ona stvara blaži nagib [15] .

Visina konstrukcije iznad razine vode – vrh nadvođa (nadvišenje iznad morske razine), R_c , jest mjesto na konstrukciji gdje preljevna voda ne može otjecati natrag na obalu [15] .

Uspinjanje vala (eng. *run-up*) jest izdizanje mora uz građevinu ili obalu zbog posljedice djelovanja valova. To je okomita udaljenost između razine mora i najviše točke dosega vala na konstrukciji ili obali. On često može uzrokovati pojavu erozije podlokavanjem ili premještanjem materijala. Kao parametar za opis dosega vala koristi se $R_{u2\%}$. Naime on premašuje visinu run-upa za 2% od broja nadolazećih valova. Broj se ne odnosi na valove koji premašuju razinu uspinjanja već na broj valova koji se kreću uz nasip. Na slici 33 prikazana je visina dosega vala u odnosu na ostale parametre vala [15] .



Slika 33: Visina uspona vala, prema [15]

Kad se spominje pojam prelijevanje, bitno je poznavati i razlikovati sljedeće fizikalne veličine: preljevni protok q te maksimalni preljevni volumen V_{max} [15] .

Preljevni protok valova, q , je prosječni protok po dužnom metru širine. Mjerna jedinica preljevnog protoka je $m^3/s/m$ ili $l/s/m$. U stvarnosti nema konstantnog protoka preko krune konstrukcije tijekom prelijevanja. Naime, proces prelijevanja valova je nasumičan u vremenu, prostoru i volumenu. Prosječni protok prelijevanja ne opisuje koliko će se vode preliti u svakom valu niti koliko će se valova preliti [15] .

Preljevni volumen vala, V , dolazi preko vrha konstrukcije i izražava se u m^3 po valu po metru širine. Većina je preljevnih valova mala no zato su količine preljevnog volumena znatno veće. Maksimalni preljevni volumen, V_{max} , ovisi o srednjem protoku q , trajanju oluje i postotku preljevnih valova. Duže trajanje oluje donosi više valova koji se prelijevaju te u konačnici veći maksimalni volumen [15] .

Postoji nekoliko vrsta prelijevanja kao što su npr. mirno kontinuirano prelijevanje i raspršeno prelijevanje. Mirno kontinuirano prelijevanje je pojava kada se preljevni val prelijeva preko krune građevine u kontinuiranoj vodenoj masi. Do raspršenog prelijevanja dolazi kada se valovi lome ispred obale pa udaraju i zapljuskuju obalu ili građevinu. Obje vrste prelijevanja prikazane su na slikama 34 i 35 [15] .



Slika 34: Mirno kontinuirano prelijevanje [15]



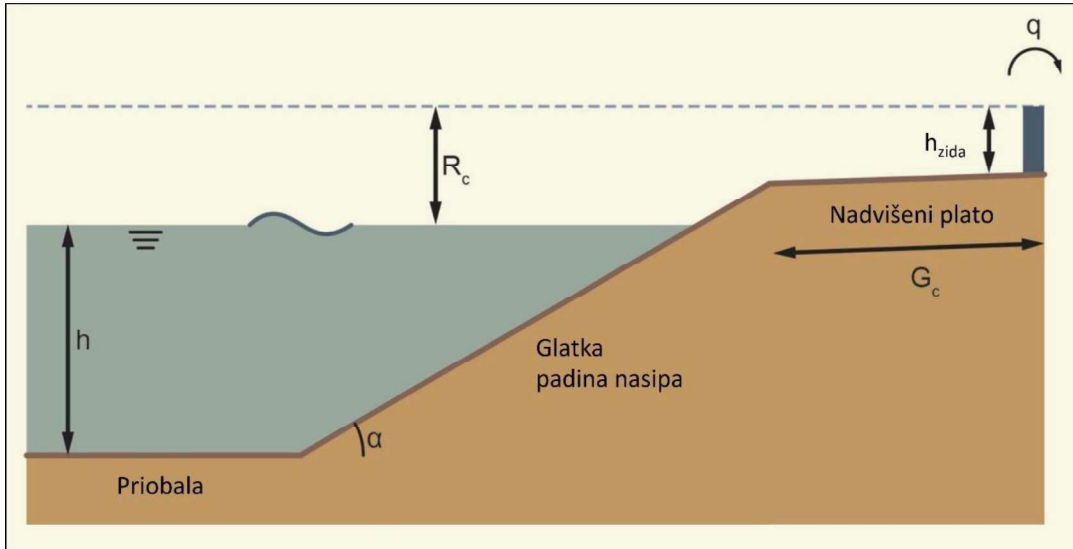
Slika 35: Raspršeno prelijevanje [15]

U priručniku su dani izrazi preljevnog protoka za izračun srednje vrijednosti te za projektni pristup i za procjenu sigurnosti. Srednja vrijednost se koristi za predviđanja i usporedbe s mjerenjima u laboratoriju. Srednji protok prelijevanja ili stopa prelijevanja često se koristi za procjenu dopuštenog prelijevanja. Ovo srednje ispuštanje naravno ne opisuje stvarno ponašanje prelijevanja valova, gdje će samo veliki valovi doći do vrha strukture i izazvati preljev. Slučajno pojedinačno prelijevanje vala znači da se prelijevanje vala događa nasumično u vremenu i svaki val daje drugačiji volumen preljeva [15].

Za proračun prelijevanja koristiti će se izrazi za projektiranje i procjenu sigurnosti.

7.1.1. Prelijevanje preko glatkog obalnog nasipa sa šetnicom i zidom

Na slici 36 prikazan je nasip sa zidom te parametri za izračun preljevno protoka.



Slika 36: Prelijevanje preko nasipa sa zidom, prema [15]

Preljevni protok računa se prema jednadžbi [15]:

$$q = 0,09 \sqrt{g H_{m0}^3} \exp \left[- \left(1,5 \frac{R_c}{H_{m0} \gamma_{plato}} \right)^{1,3} \right] \quad (4)$$

Gdje je q preljevni protok, g je ubrzanje sile teže, H_{m0} je procijenjena značajna visina vala, R_c je visina zida iznad razine mora a γ_{plato} je utjecajni faktor.

Za jednadžbu (4) zanemaruju se faktor propusnosti i hrapavosti obloge γ_f te faktor nagiba vala γ_β pošto se u modelskom ispitivanju koristio glatki pokos.

Utjecajni faktor $\gamma_{plato,v}$ određuje se iz sljedećeg izraza [15]:

$$\gamma_{plato} = 0,87 \left(1 - 0,47 \frac{G_c}{L_{m-1,0}} \right) \exp \left(-0,56 \frac{h_{zida}}{R_c} \right) \quad (5)$$

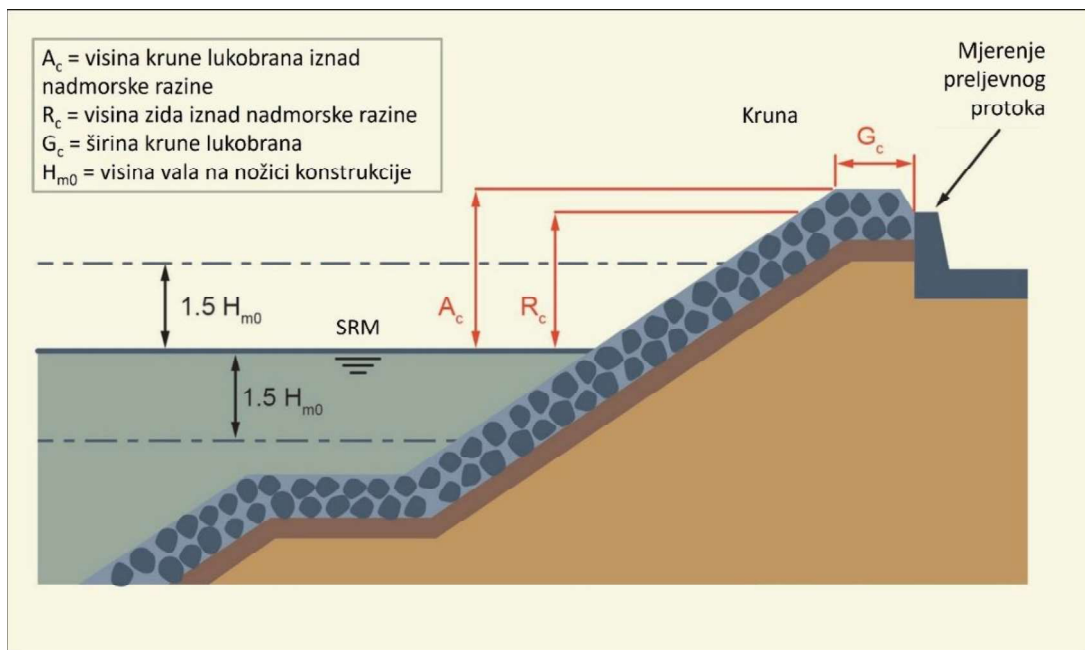
Gdje je G_c duljina nadvišenog platoa a h_{zida} je visina zida od nadvišenog platoa.

Izraz (5) vrijedi za vrijednosti $G_c/L_{m-1,0} = 0,05 - 0,40$ i $h_{zida}/R_c = 0,07 - 0,80$.

Za ovaj postupak prelijevanja nema izraza za proračun maksimalnog preljevskog volumena.

7.1.2. Prelijevanje preko nasutog lukobrana

Na slici 37 prikazana je shema nasutog lukobrana sa odgovarajućim parametrima za proračun prelijevanja.



Slika 37: Prelijevanje preko nasutog lukobrana, prema [15]

Preljevni protok preko krune nasutog lukobrana računa se prema izrazu [15]:

$$q = 0.1035 \sqrt{gH_{m0}^3} \exp \left[- \left(1,35 \frac{R_c}{H_{m0} \gamma_f \gamma_\beta} \right)^{1,3} \right] \quad (6)$$

Gdje je R_c visina krune lukobrana iznad razine mora. γ_f faktor propusnosti i hrapavosti obloge a γ_β je faktor nagiba vala.

Ako je visina zida R_c veća od visine krune lukobrana A_c , u proračunu se koristi R_c .

Faktor propusnosti i hrapavosti obloge γ_f u ovisnosti je o tipu obloge i prikazan je u tablici 9.

Tablica 9: Vrijednosti faktora propusnosti i hrapavosti obloge γ_f , prema [15]

Vrsta obloge	γ_f
Glatka nepropusna površina	1,00
Kamen (1 sloj, nepropusna jezgra)	0,60
Kamen (1 sloj, propusna jezgra)	0,45
Kamen (2 sloja, nepropusna jezgra)	0,55
Kamen (2 sloja, propusna jezgra)	0,40
Kocke - qubes (1 sloj, specijalno postavljene)	0,49
Kocke - qubes (2 sloja, slučajno postavljene)	0,47
Antiferi	0,50
HARO	0,47
Tetrapodi	0,38
Dolosi	0,43
Accropodi I	0,46
Xbloc, Accropodi II	0,44
Cupidi (1 sloj)	0,49
Cupidi (2 sloja)	0,47

Faktor nagiba vala γ_β ovisi o kutu dolaska vala β te se računa prema sljedećim izrazima [15]:

$$\gamma_\beta = 1 - 0,0033 * |\beta| \quad \text{za } 0^\circ \leq \beta \leq 80^\circ$$

$$\gamma_\beta = 0,8 \quad \text{za } |\beta| > 80^\circ$$

Maksimalni preljevni volumen računa se prema izrazu [15]:

$$V_{max} = a(\ln N_{ow})^{\frac{1}{b}} \quad (7)$$

Gdje je V_{max} maksimalni preljevni volumen, N_{ow} je broj valova koji se prelijevaju, a je dimenzionalni faktor mjerila a b je bezdimenzionalni faktor oblika.

Faktori a i b računaju se prema izrazima (8) i (9) [15]:

$$a = \left(\frac{1}{\Gamma\left(1+\frac{1}{b}\right)} \right) \left(\frac{qT_m}{P_{ov}} \right) \quad (8)$$

Gdje je Γ matematička funkcija gama, T_m je srednji period vala, P_{ov} je vjerojatnost prelijevanja.

$$b = 0,73 + 55 \left(\frac{q}{gH_{m0}T_{m-1,0}} \right)^{0,8} \quad (9)$$

Vjerojatnosti prelijevanja P_{ov} određuje se slijedećom formulom [15]:

$$P_{ov} = \frac{N_{ow}}{N_w} = \exp \left[- \left(\sqrt{-\ln 0,02} \frac{R_c}{R_{u2\%}} \right)^2 \right] \quad (10)$$

Gdje je N_w broj ukupnih valova (za vrijeme trajanja oluje) a $R_{u2\%}$ je visina uspona vala (run-upa).

Ukupan broj valova koji nailaze na obalu (number of incident waves) ovisi o trajanju oluje koja generira valova (obično između 1-3 sata, može biti i dulje). Proračun volumena se radi za oluju trajanja 1 sat (3600 sekundi). Ukupan broj valova određuje se tako da se duljina trajanja oluje (1 sat) podijeli sa spektralnim periodom vala $T_{m-1,0}$:

$$N_w = \frac{T_{oluje}}{T_{m-1,0}} \quad (11)$$

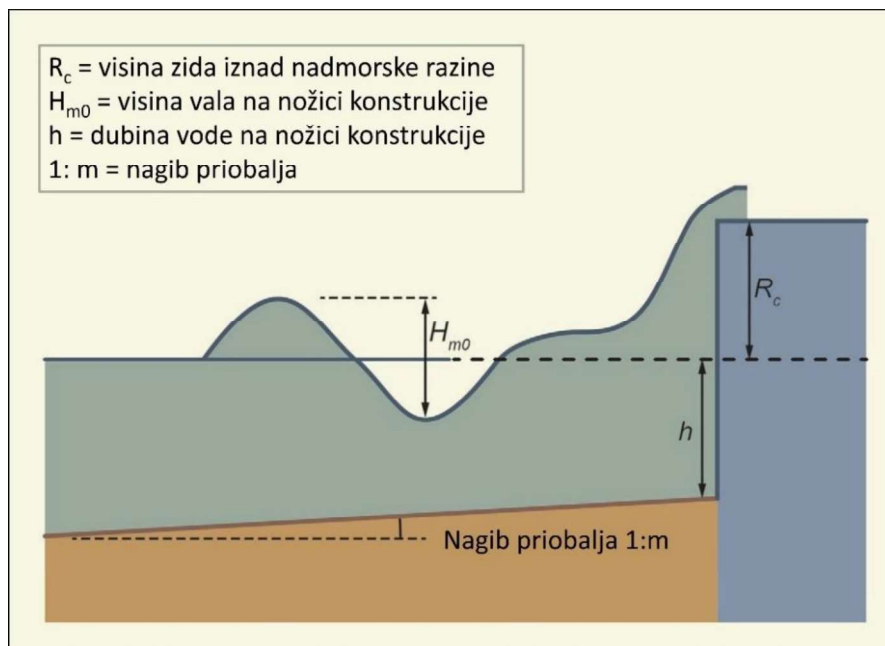
Visina uspona vala, $R_{u2\%}$, računa se prema formuli [15]:

$$R_{u2\%} = 1,75 * H_{m0} * \gamma_b * \gamma_f * \gamma_\beta * \xi_{m-1,0} \quad (12)$$

Gdje je γ_b utjecajni faktor za bermu. Utjecajni faktor za bermu γ_b je 1 pošto nasuti lukobran nema bermu.

7.1.3. Prelijevanje preko vertikalnog zida

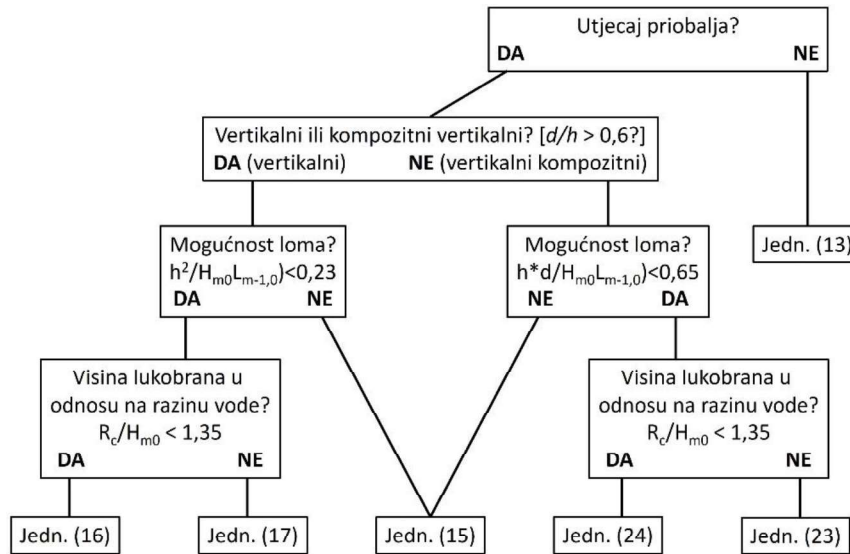
Prelijevanje valova preko vertikalnog zida ovisi o utjecaju obale ispred zida, visini zida u odnosu na normalnu razinu mora te o mogućnosti loma vala. Ovisno o prethodnim parametrima, za izračun preljevnog protoka koriste se različite formule. Na slici 38 je shematski prikaz preljevanja val preko vertikalnog/kompozitnog zida sa odgovarajućim parametrima za proračun preljevnog protoka [15].



Slika 38: Prelijevanje preko vertikalnog zida, prema [15]

Kako bi se vertikalni zid mogao raspoznati od kompozitnog, koristi se odnos $\frac{d}{h}$, gdje je d dubina vode na nožici a h dubina vode ispred zida. Ako je odnos $\frac{d}{h} \geq 0,6$, zid je vertikalni. U protivnome zid je kompozitni.

EurOtop priručnik daje strategiju proračuna za preljevni protok koji ovisi o uvjetima mora i zida. Strateški dijagram je grafički prikazan na slici 39:



Slika 39: Strategija za predviđanje prelijevanja preko vertikalnog i kompozitnog zida, prema [15]

U slučaju da obala ispred zida nema utjecaj na valove ili ako je razina mora jako plitka, prelijevanje se računa prema formuli [15]:

$$q = 0.054\sqrt{gH_{m0}^3} \exp \left[- \left(2.12 \frac{R_c}{H_{m0}} \right)^{1.3} \right] \quad (13)$$

Za slučaj da obala ispred zida ima utjecaj na valove, što ovisi o dubini, slijedi strategija proračuna prema mogućnosti loma vala i visine zida u odnosu na razinu mora.

Za provjeru loma vala koristi se izraz (11) [15]:

$$\frac{h^2}{H_{m0}L_{m-1,0}} > 0,23 \quad (14)$$

Gdje je h dubina vode ispred zida.

Ako je (11) $> 0,23$ ne dolazi do loma vala i prelijevanje se računa prema formuli [15]:

$$q = 0.062\sqrt{gH_{m0}^3} \exp \left(-2.61 \frac{R_c}{H_{m0}} \right) \quad (15)$$

Ako postoji vjerojatnost loma vala, gdje (11) $\leq 0,23$, neophodno je provjeriti visinu zida, odnosno odnos $\frac{R_c}{H_{m0}}$.

Ako vrijedi odnos $\frac{R_c}{H_{m0}} < 1,35$, prelijevanje se računa prema izrazu [15]:

$$q = 0.0155 \sqrt{g H_{m0}^3} \left(\frac{H_{m0}}{h s_{m-1,0}} \right)^{0.5} \exp \left(-2.2 \frac{R_c}{H_{m0}} \right) \quad (16)$$

Gdje je $s_{m-1,0}$ strmost vala.

U protivnome ako vrijedi odnos $\frac{R_c}{H_{m0}} \geq 1,35$, prelijevanje se računa prema [15]:

$$q = 0.0020 \sqrt{g H_{m0}^3} \left(\frac{H_{m0}}{h s_{m-1,0}} \right)^{0.5} \left(\frac{R_c}{H_{m0}} \right)^{-3} \quad (17)$$

Maksimalni preljevni volumen preko vertikalnog zida V_{max} računa se prema izrazu (7) iz proračuna maksimalnog volumena kod nasutog lukobrana.

Faktori a i b računaju se prema izrazima u nastavku [15]:

$$a = \left(\frac{1}{\Gamma(1+\frac{1}{b})} \right) \left(\frac{q T_m}{P_{ov}} \right) \quad (18)$$

$$b = \begin{cases} 0,66 \text{ za } s_{m-1,0} = 0,02 \\ 0,82 \text{ za } s_{m-1,0} = 0,04 \end{cases} \quad (19)$$

Vjerojatnost prelijevanja P_{ov} računa se kao odnos N_{ow}/N_w prema izrazu (10).

Ukupan broj valova koji nailaze određuje se prema izrazu (11).

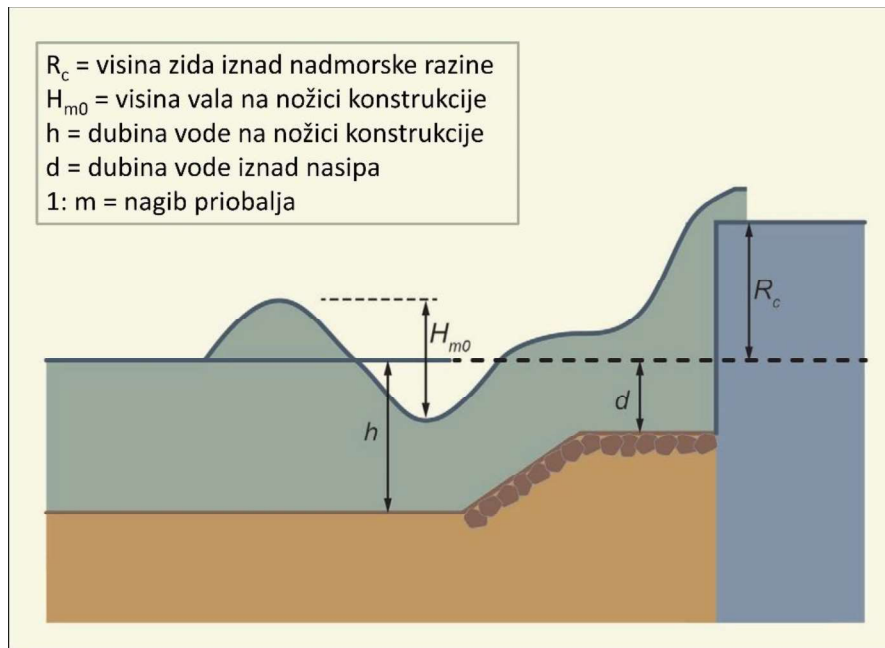
Broj valova koji se prelijevaju preko krune zida, N_{ow} , ovisi o tome dolazi li do loma vala te se računa prema formulama u nastavku [15]:

$$N_{ow} = N_w \exp \left[-1,21 \left(\frac{R_c}{H_{m0}} \right)^2 \right] \quad \text{nema loma vala} \quad (20)$$

$$N_{ow} = \max \left\{ \begin{array}{l} N_w \exp \left[-1,21 \left(\frac{R_c}{H_{m0}} \right)^2 \right] \\ N_w 0,024 \left(\frac{h^2}{H_{m0} L_{m-1,0}} \frac{R_c}{H_{m0}} \right)^{-1} \end{array} \right. \quad \text{Dolazi do loma vala} \quad (21)$$

7.1.4. Prelijevanje preko kompozitnog vertikalnog zida

Za proračun prelijevanja na kompozitnom vertikalnom zidu usvaja se slična strategija kao i za obične vertikalne zidove. Na slici 40 shematski je prikazano prelijevanje preko vertikalnog kompozitnog zida sa potrebnim parametrima za proračun.



Slika 40: Prelijevanje preko kompozitnog vertikalnog zida, prema [15]

Ako vrijedi odnos $\frac{d}{h} < 0,6$, vertikalni zid je kompozitni.

Ne postoji mogućnost loma vala ako vrijedi izraz (19).

$$\frac{d}{H_{m0}} \cdot \frac{h}{L_{m-1,0}} > 0,65 \quad (22)$$

Pri tom se slučaju za proračun preljevskog protoka koristi izraz (15).

U slučaju da postoji mogućnost loma vala, potrebno je provjeriti odnos $\frac{R_c}{H_{m0}} \geq 1,35$ na temelju kojega se odabire odgovarajuća formula. Ako vrijedi odnos $\frac{R_c}{H_{m0}} \geq 1,35$, koristi se [15]:

$$q = 1.3 \left(\frac{d}{h}\right)^{0.5} 0.0014 \sqrt{gH_{m0}^3} \left(\frac{H_{m0}}{h_{sm-1,0}}\right)^{0.5} \left(\frac{R_c}{H_{m0}}\right)^{-3} \quad (23)$$

A ako vrijedi odnos $\frac{R_c}{H_{m0}} < 1,35$ koristi se [15]:

$$q = 1.3 \left(\frac{d}{h}\right)^{0.5} 0.011 \sqrt{gH_{m0}^3} \left(\frac{H_{m0}}{h_{sm-1,0}}\right)^{0.5} \exp\left(-2.2 \frac{R_c}{H_{m0}}\right) \quad (24)$$

Napomena: Kod proračuna preljevnog protoka, izrazi (23) i (24) vrijede za srednju vrijednost protoka u slučaju da postoji lom vala kod vertikalnog kompozitnog lukobrana. Naime u EurOtop priručniku ne postoje izrazi za projektiranje i procjenu sigurnosti za loma vala kod kompozitnog vertikalnog zida.

Proračun maksimalnog preljevnog volumena V_{max} isti je kao i kod običnog vertikalnog zida.

7.1.5. Provjera prelijevanja

Postupak provjere prelijevanja proračunava se za sljedeće vrijednosti razine mora:

- RM = $\pm 0,0$ m n. m. odnosno srednja razina mora
- RM = +1,3 m n. m. za povratni period od 100 godina bez klimatskih promjena
- RM = + 1,9 m n. m. za povratni period od 100 godina sa klimatskim promjenama

Ulazni podaci za određivanje prelijevanja po navedenim metodama su značajna visina vala $H_s = H_{m0} = 1,5$ m i vršni period $T_p = 4,8$ s. Značajna visina vala na udaljenosti od 30 m od obale je $H_s = 2,5$ m.

U proračunu se koristi spektralni period $T_{m-1,0}$ i srednji period T_m koji prema izrazima (1) i (2) iznose:

$$T_{m-1,0} = \frac{T_p}{1,1} = \frac{4,8}{1,1} = 4,4 \text{ s}$$

$$T_m = \frac{T_p}{1,2} = \frac{4,8}{1,2} = 4,0 \text{ s}$$

Dubokovodna duljina vala prema formuli (4) iznosi:

$$L_{m-1,0} = \frac{gT_{m-1,0}^2}{2\pi} = \frac{9,81 \cdot 4,4^2}{2\pi} = 30,2 \text{ m}$$

Srmost vala:

$$s_{m-1,0} = \frac{H_{m0}}{L_{m-1,0}} = \frac{1,5}{30,2} = 0,05$$

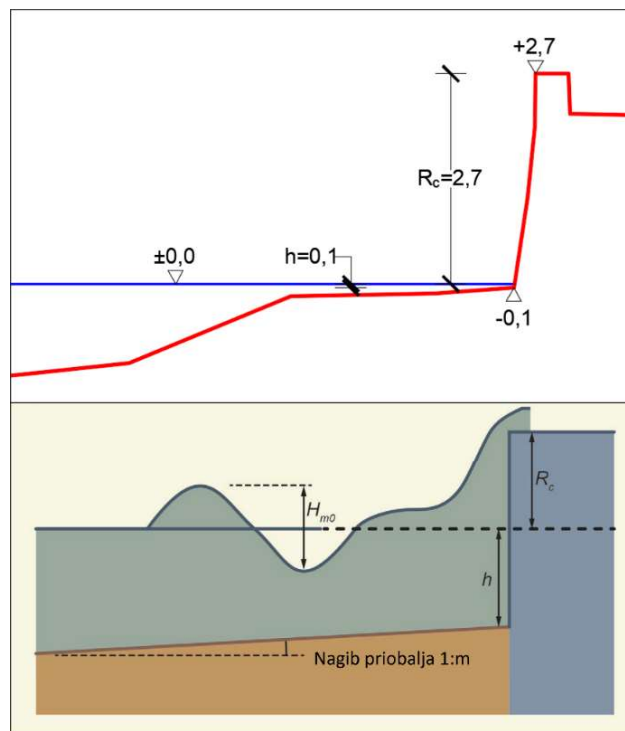
Ukupan broj valova koji prilaze obali:

$$T_{oluje} = 3600 \text{ s}$$

$$N_w = \frac{T_{oluje}}{T_{m-1,0}} = \frac{3600}{4,5} = 819 \text{ valova}$$

Postojeće stanje – srednja razina mora

Proračun prelijevanja postojećeg stanja pri srednjoj razini mora provodi se prema proračunu prelijevanja preko običnog vertikalnog zida. Geometrija građevine prikazana je na slici 41.



Slika 41: Shematski prikaz presjeka postojećeg stanja za srednju razinu mora sa kotama u m (gore), shematski prikaz vertikalnog zida sa parametrima (dole)

Ulazni parametri:

$$R_c = 2,7 \text{ m}$$

$$H_{m0} = 1,5 \text{ m}$$

$$h = 0,1 \text{ m}$$

$$L_{m-1,0} = 30,2 \text{ m}$$

Proračun preljevnog protoka:

Preljevni protok računa se prema jednadžbi (13) zbog plitke razine vode (0,1 m) ispred obalnog zida:

$$q = 0.054 \sqrt{gH_{m0}^3} \exp \left[- \left(2.12 \frac{R_c}{H_{m0}} \right)^{1.3} \right]$$

$$q = 0.054 * \sqrt{9,81 * 1,5^3} \exp \left[- \left(2.12 \frac{2,7}{1,5} \right)^{1.3} \right] = 0,001 \frac{m^3}{s} = 1,0 \frac{l}{s}$$

Proračun maksimalnog preljevnog volumena:

$$N_{ow} = N_w \exp \left[-1,21 \left(\frac{R_c}{H_{m0}} \right)^2 \right] = 819 * \exp \left[-1,21 \left(\frac{2,7}{1,5} \right)^2 \right] = 8 \text{ valova}$$

$$P_{ov} = \frac{N_{ow}}{N_w} = \frac{8}{819} = 0,01 = 1 \%$$

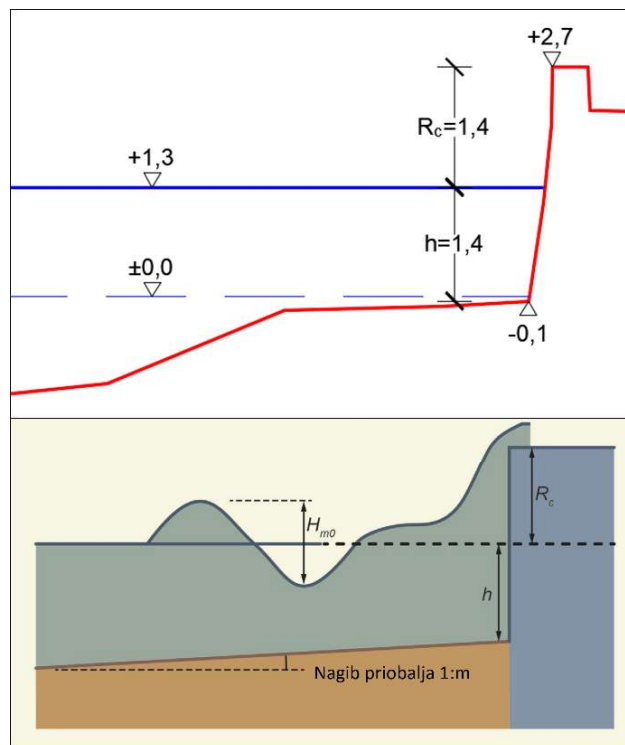
$$b = \begin{cases} 0,66 \text{ za } s_{m-1,0} = 0,02 \\ 0,82 \text{ za } s_{m-1,0} = 0,04 \end{cases} = 0,82$$

$$a = \left(\frac{1}{\Gamma \left(1 + \frac{1}{b} \right)} \right) \left(\frac{qT_m}{P_{ov}} \right) = \left(\frac{1}{\Gamma \left(1 + \frac{1}{0,82} \right)} \right) \left(\frac{0,001 * 4,0}{0,01} \right) = 0,38$$

$$V_{max} = a (\ln N_{ow})^{\frac{1}{b}} = 0,38 * (\ln * 8)^{\frac{1}{0,82}} = 0,93 m^3$$

Postojeće stanje – ekstremna razina mora bez klimatskih promjena

Proračun prelijevanja postojećeg stanja pri ekstremnoj razini mora bez klimatskih promjena provodi se prema proračunu prelijevanja preko običnog vertikalnog zida. Geometrija građevine prikazana je na slici 42.



Slika 42: Shematski prikaz presjeka postojećeg stanja za ekstremnu razinu mora bez klimatskih promjena sa kotama u m (gore), shematski prikaz vertikalnog zida sa parametrima (dole)

Ulazni parametri:

$$R_c = 1,4 \text{ m}$$

$$H_{m0} = 1,5 \text{ m}$$

$$h = 0,1 \text{ m}$$

$$L_{m-1,0} = 30,2 \text{ m}$$

Proračun preljevnog protoka:

Dubina vode na nožici d jednaka je dubini vode ispred zida h pošto nema nasipa ispred zida.

$$\frac{d}{h} = \frac{1,4}{1,4} = 1,00 > 0,6 - \text{vertikalni zid}$$

$$\frac{h^2}{H_{m0}L_{m-1,0}} = \frac{1,4^2}{1,5*30,2} = 0,04 < 0,23 - \text{dolazi do loma vala}$$

$$\frac{R_c}{H_{m0}} = \frac{1,4}{1,5} = 0,93 < 1,35$$

Preljevni se protok, za vertikalni zid kod kojeg dolazi do loma vala, računa prema jednačbi (16):

$$q = 0,0155 \sqrt{gH_{m0}^3} \left(\frac{H_{m0}}{h s_{m-1,0}} \right)^{0,5} \exp \left(-2,2 \frac{R_c}{H_{m0}} \right)$$

$$q = 0,0155 * \sqrt{9,81 * 1,5^3} \left(\frac{1,5}{1,4*0,05} \right)^{0,5} \exp \left(-2,2 \frac{1,4}{1,5} \right) = 0,0532 \frac{m^3}{s} = 53,2 \frac{l}{s}$$

Proračun maksimalnog preljevnog volumena:

$$N_{ow} = \max \left\{ \begin{array}{l} N_w \exp \left[-1,21 \left(\frac{R_c}{H_{m0}} \right)^2 \right] \\ N_w 0,024 \left(\frac{h^2}{H_{m0}L_{m-1,0}} \frac{R_c}{H_{m0}} \right)^{-1} \end{array} \right. = \max \left\{ \begin{array}{l} N_w \exp \left[-1,21 \left(\frac{1,4}{1,5} \right)^2 \right] = 229 \\ N_w 0,024 \left(\frac{1,4^2}{1,5*30,2} \frac{1,4}{1,5} \right)^{-1} = 487 \end{array} \right.$$

$$N_{ow} = 487 \text{ valova}$$

$$P_{ov} = \frac{N_{ow}}{N_w} = \frac{487}{819} = 0,59 = 59 \%$$

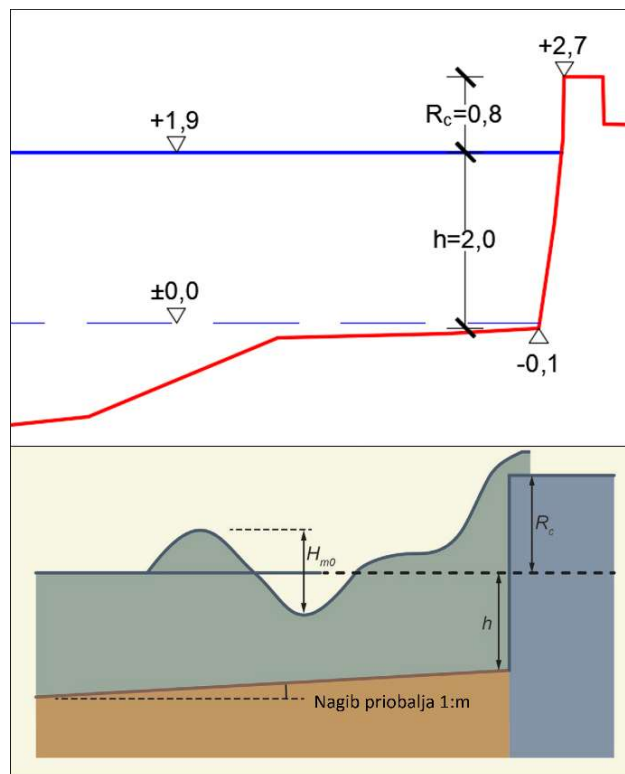
$$b = \begin{cases} 0,66 & \text{za } s_{m-1,0} = 0,02 \\ 0,82 & \text{za } s_{m-1,0} = 0,04 \end{cases} = 0,82$$

$$a = \left(\frac{1}{\Gamma \left(1 + \frac{1}{b} \right)} \right) \left(\frac{qT_m}{P_{ov}} \right) = \left(\frac{1}{\Gamma \left(1 + \frac{1}{0,82} \right)} \right) \left(\frac{0,0532*4,0}{0,59} \right) = 0,32$$

$$V_{max} = a (\ln N_{ow})^{\frac{1}{b}} = 0,32 * (\ln 487)^{\frac{1}{0,82}} = 2,97 m^3$$

Postojeće stanje – ekstremna razina mora sa klimatskim promjenama

Proračun prelijevanja postojećeg stanja pri ekstremnoj razini mora sa klimatskim promjenama provodi se prema proračunu prelijevanja preko običnog vertikalnog zida. Geometrija građevine prikazana je na slici 43.



Slika 43: Shematski prikaz presjeka postojećeg stanja za ekstremnu razinu mora sa klimatskim promjenama sa kotama u m (gore), shematski prikaz vertikalnog zida sa parametrima (dole)

Ulazni parametri:

$$R_c = 0,8 \text{ m}$$

$$H_{m0} = 1,5 \text{ m}$$

$$h = 2,0 \text{ m}$$

$$L_{m-1,0} = 30,2 \text{ m}$$

Proračun preljevnog protoka:

Dubina vode na nožici d jednaka je dubini vode ispred zida h pošto nema nasipa ispred zida.

$$\frac{d}{h} = \frac{2,0}{2,0} = 1,00 > 0,6 - \text{vertikalni zid}$$

$$\frac{h^2}{H_{m0} L_{m-1,0}} = \frac{2^2}{1,5 * 30,2} = 0,09 < 0,23 - \text{dolazi do loma vala}$$

$$\frac{R_c}{H_{m0}} = \frac{0,8}{1,5} = 0,53 < 1,35$$

Preljevni se protok, za vertikalni zid kod kojeg dolazi do loma vala, računa prema jednažbi (16):

$$q = 0,0155 \sqrt{g H_{m0}^3} \left(\frac{H_{m0}}{h s_{m-1,0}} \right)^{0,5} \exp \left(-2,2 \frac{R_c}{H_{m0}} \right)$$

$$q = 0,0155 * \sqrt{9,81 * 1,5^3} \left(\frac{1,5}{2 * 0,05} \right)^{0,5} \exp \left(-2,2 \frac{0,8}{1,5} \right) = 0,1073 \frac{m^3}{s} = 107,3 \frac{l}{s}$$

Proračun maksimalnog preljevnog volumena:

$$N_{ow} = \max \left\{ \begin{array}{l} N_w \exp \left[-1,21 \left(\frac{R_c}{H_{m0}} \right)^2 \right] \\ N_w 0,024 \left(\frac{h^2}{H_{m0} L_{m-1,0} H_{m0}} \frac{R_c}{H_{m0}} \right)^{-1} \end{array} \right. = \max \left\{ \begin{array}{l} 819 \exp \left[-1,21 \left(\frac{0,8}{1,5} \right)^2 \right] = 540 \\ 819 0,024 \left(\frac{2,0^2}{1,5 * 30,2} \frac{0,8}{1,5} \right)^{-1} = 418 \end{array} \right.$$

$$N_{ow} = 540 \text{ valova}$$

$$P_{ov} = \frac{N_{ow}}{N_w} = \frac{540}{819} = 0,66 = 66 \%$$

$$b = \begin{cases} 0,66 \text{ za } s_{m-1,0} = 0,02 \\ 0,82 \text{ za } s_{m-1,0} = 0,04 \end{cases} = 0,82$$

$$a = \left(\frac{1}{\Gamma \left(1 + \frac{1}{b} \right)} \right) \left(\frac{q T_m}{P_{ov}} \right) = \left(\frac{1}{\Gamma \left(1 + \frac{1}{0,82} \right)} \right) \left(\frac{0,1073 * 4,0}{0,66} \right) = 0,58$$

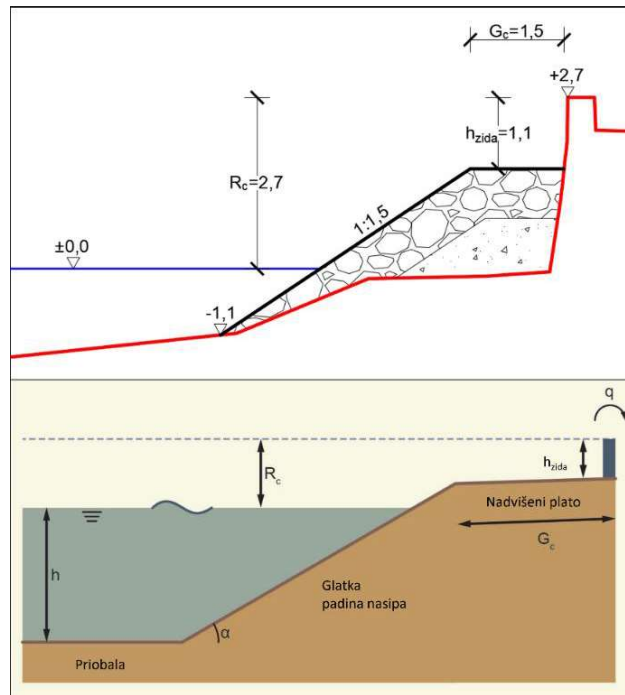
$$V_{max} = a (\ln N_{ow})^{\frac{1}{b}} = 0,58 * (\ln 540)^{\frac{1}{0,82}} = 5,50 m^3$$

Niska zaštitna školjera – srednja razina mora

Postoje dva načina proračuna prelijevanja niske zaštitne školjere za srednju razinu mora:

- a) Postupak proračuna prelijevanja prema glatkom nasipu sa šetnicom zidom:

Geometrija građevine prikazana je na slici 44.



Slika 44: Shematski prikaz presjeka niske zaštitne školjere za srednju razinu mora sa kotama u m (gore), shematski prikaz nasipa sa šetnicom i zidom i potrebnim parametrima (dole)

Ulazni parametri:

$$R_c = 2,7 \text{ m}$$

$$H_{m0} = 1,5 \text{ m}$$

$$L_{m-1,0} = 30,2 \text{ m}$$

$$G_c = 1,5 \text{ m}$$

$$h_{zida} = 1,1 \text{ m}$$

Proračun preljevnog protoka:

$$\frac{G_c}{L_{m-1,0}} = \frac{1,5}{30,2} = 0,05 - \text{zadovoljava!}$$

$$\frac{h_{zida}}{R_c} = \frac{1,1}{2,7} = 0,4 - \text{zadovoljava!}$$

$$\gamma_{plato} = 0,87 \left(1 - 0,47 \frac{G_c}{L_{m-1,0}} \right) \exp \left(-0,56 \frac{h_{zida}}{R_c} \right)$$

$$\gamma_{plato} = 0,87 \left(1 - 0,47 \frac{1,5}{30,2} \right) \exp \left(-0,56 \frac{1,1}{2,7} \right) = 0,68$$

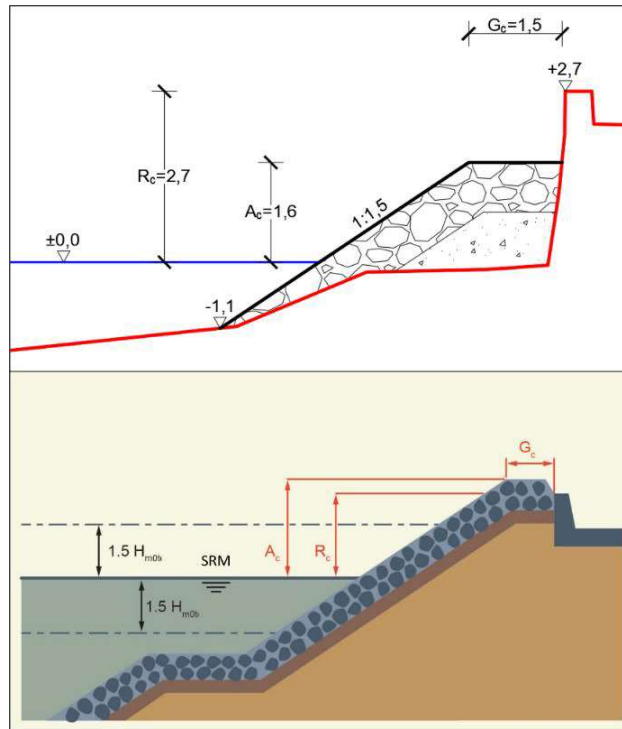
$$q = 0,09 \sqrt{g H_{m0}^3} \exp \left[- \left(1,5 \frac{R_c}{H_{m0} \gamma_{plato}} \right)^{1,3} \right]$$

$$q = 0,09 \sqrt{9,18 * 1,5^3} \exp \left[- \left(1,5 \frac{2,7}{1,5 * 0,68} \right)^{1,3} \right] = 0,0012 \frac{m^3}{s} = 1,2 \frac{l}{s}$$

Za ovu metodu nema proračuna maksimalnog volumena prelijevanja!

b) Postupak proračuna prelijevanja prema nasutom lukobranu:

Geometrija građevine prikazana je na slici 45.



Slika 45: Shematski prikaz presjeka niske zaštitne školjere za srednju razinu mora sa kotama u m (gore), shematski prikaz nasutog lukobrana sa potrebnim parametrima (dole)

Visina obalnog zida $R_c=2,7$ m viša je od visine krune lukobrana $A_c=1,6$ m, stoga se R_c uzima u proračun.

Ulazni parametri:

$$R_c = 2,6 \text{ m}$$

$$H_{m0} = 1,5 \text{ m}$$

$\gamma = 0,4$ (kamen, 2 sloja, propusna jezgra)

$\gamma_\beta = 1,0$ (val ne dolazi pod kutem)

Proračun preljevnog protoka:

$$q = 0.1035 \sqrt{gH_{m0}^3} \exp \left[- \left(1,35 \frac{R_c}{H_{m0} \gamma_f \gamma_\beta} \right)^{1,3} \right]$$

$$q = 0.1035 \sqrt{9,18 * 1,5^3} \exp \left[- \left(1,35 \frac{2,60}{1,5 * 0,4 * 1} \right)^{1,3} \right] = 0,00002 \frac{m^3}{s} = 0,02 \frac{l}{s} < 0,1 \frac{l}{s}$$

Proračun maksimalnog preljevnog volumena:

$\gamma_\beta = 1,0$ - nema berme

$\tan \alpha = 1/1,5$

$$\xi_{m-1,0} = \frac{\tan \alpha}{\left(\frac{H_{m0}}{L_{m-1,0}} \right)^{1/2}} = \frac{\frac{1}{1,5}}{\left(\frac{1,5}{30,2} \right)^{1/2}} = 2,99$$

$$R_{u2\%} = 1,75 * H_{m0} * \gamma_b * \gamma_f * \gamma_\beta * \xi_{m-1,0} = 1,75 * 1,5 * 1 * 0,4 * 1 * 2,99 = 3,1 \text{ m}$$

$$P_{ov} = \exp \left[- \left(\sqrt{-\ln 0,02} \frac{R_c}{R_{u2\%}} \right)^2 \right] = \exp \left[- \left(\sqrt{-\ln 0,02} \frac{2,7}{3,1} \right)^2 \right] = 0,06 = 6 \%$$

$$N_{ow} = P_{ov} * N_w = 0,06 * 819 = 46 \text{ valova}$$

$$b = 0,73 + 55 \left(\frac{q}{gH_{m0}T_{m-1,0}} \right)^{0,8} = 0,73 + 55 \left(\frac{0,000}{9,81 * 1,5 * 4,4} \right)^{0,8} = 0,73$$

$$a = \left(\frac{1}{\Gamma \left(1 + \frac{1}{b} \right)} \right) \left(\frac{qT_m}{P_{ov}} \right) = \left(\frac{1}{\Gamma \left(1 + \frac{1}{0,73} \right)} \right) \left(\frac{0,000 * 4,0}{0,06} \right) = 0,001$$

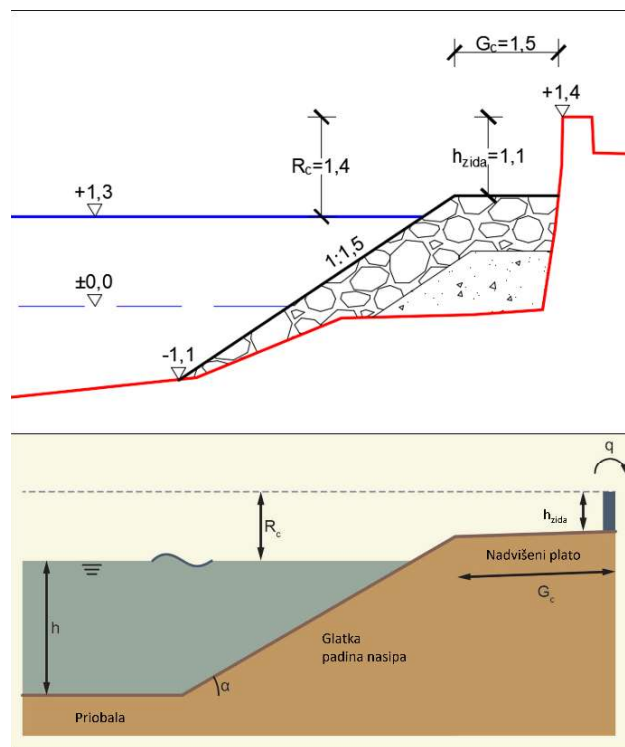
$$V_{max} = a (\ln N_{ow})^{\frac{1}{b}} = 0,001 * (\ln 46)^{\frac{1}{0,73}} = 0,01 \text{ m}^3$$

Niska zaštitna školjera – ekstremna razina mora bez klimatskih promjena

Postoje dva načina proračuna prelijevanja niske zaštitne školjere za ekstremnu razinu mora bez klimatskih promjena:

a) Postupak proračuna prelijevanja prema glatkom nasipu sa šetnicom i zidom:

Geometrija građevine prikazana je na slici 46.



Slika 46: Shematski prikaz presjeka niske zaštitne školjere za ekstremnu razinu mora bez klimatskih promjena sa kotama u m (gore), shematski prikaz nasipa sa šetnicom i zidom i potrebnim parametrima (dole)

Ulazni parametri:

$$R_c = 1,4 \text{ m}$$

$$H_{m0} = 1,5 \text{ m}$$

$$L_{m-1,0} = 30,2 \text{ m}$$

$$G_c = 1,5 \text{ m}$$

$$h_{zida} = 1,1 \text{ m}$$

Proračun preljevnog protoka:

$$\frac{G_c}{L_{m-1,0}} = \frac{1,5}{30,2} = 0,05 - \text{zadovoljava!}$$

$$\frac{h_{zida}}{R_c} = \frac{1,1}{1,4} = 0,8 - \text{zadovoljava!}$$

$$\gamma_{plato} = 0,87 \left(1 - 0,47 \frac{G_c}{L_{m-1,0}} \right) \exp \left(-0,56 \frac{h_{zida}}{R_c} \right)$$

$$\gamma_{plato} = 0,87 \left(1 - 0,47 \frac{1,5}{30,2} \right) \exp \left(-0,56 \frac{1,1}{1,4} \right) = 0,55$$

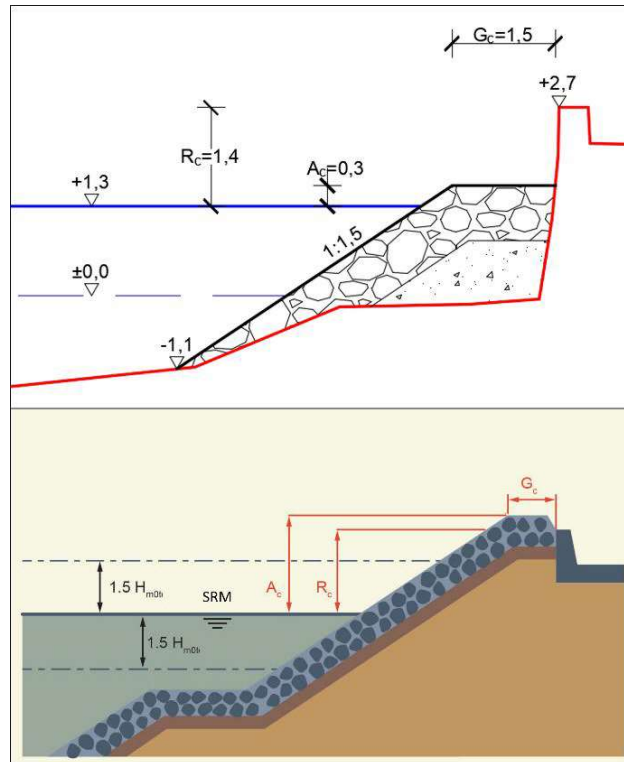
$$q = 0,09 \sqrt{g H_{m0}^3} \exp \left[- \left(1,5 \frac{R_c}{H_{m0} \gamma_{plato}} \right)^{1,3} \right]$$

$$q = 0,09 \sqrt{9,18 * 1,5^3} \exp \left[- \left(1,5 \frac{1,4}{1,5 * 0,55} \right)^{1,3} \right] = 0,0174 \frac{m^3}{s} = 17,4 \frac{l}{s}$$

Za ovu metodu nema proračuna maksimalnog volumena prelijevanja!

b) Postupak proračuna prelijevanja prema nasutom lukobranu:

Geometrija građevine prikaza je na slici 47.



Slika 47: Shematski prikaz presjeka niske zaštitne školjere za ekstremnu razinu mora bez klimatskih promjena sa kotama u m (gore), shematski prikaz nasutog lukobrana sa potrebnim parametrima (dole)

Visina obalnog zida $R_c = 1,4$ m viša je od visine krune lukobrana $A_c = 0,3$ m, stoga se R_c uzima u proračun.

Ulazni parametri:

$$R_c = 1,4 \text{ m}$$

$$H_{m0} = 1,5 \text{ m}$$

$$\gamma_f = 0,4 \text{ (kamen, 2 sloja, propusna jezgra)}$$

$$\gamma_\beta = 1,0 \text{ (val ne dolazi pod kutem)}$$

Proračun preljevnog protoka:

$$q = 0.1035 \sqrt{gH_{m0}^3} \exp \left[- \left(1,35 \frac{R_c}{H_{m0} \gamma_f \gamma_\beta} \right)^{1,3} \right]$$

$$q = 0.1035 \sqrt{9,18 * 1,5^3} \exp \left[- \left(1,35 \frac{1,4}{1,5 * 0,4 * 1} \right)^{1,3} \right] = 0,0070 \frac{m^3}{s} = 7,0 \frac{l}{s}$$

Proračun maksimalnog preljevnog volumena:

$\gamma_\beta = 1,0$ - nema berme

$\tan \alpha = 1/1,5$

$$\xi_{m-1,0} = \frac{\tan \alpha}{\left(\frac{H_{m0}}{L_{m-1,0}} \right)^{1/2}} = \frac{\frac{1}{1,5}}{\left(\frac{1,5}{30,2} \right)^{1/2}} = 2,99$$

$$R_{u2\%} = 1,75 * H_{m0} * \gamma_b * \gamma_f * \gamma_\beta * \xi_{m-1,0} = 1,75 * 1,5 * 1 * 0,4 * 1 * 2,99 = 3,1 \text{ m}$$

$$P_{ov} = \exp \left[- \left(\sqrt{-\ln 0,02} \frac{R_c}{R_{u2\%}} \right)^2 \right] = \exp \left[- \left(\sqrt{-\ln 0,02} \frac{1,4}{3,1} \right)^2 \right] = 0,46 = 46 \%$$

$$N_{ow} = P_{ov} * N_w = 0,46 * 819 = 377 \text{ valova}$$

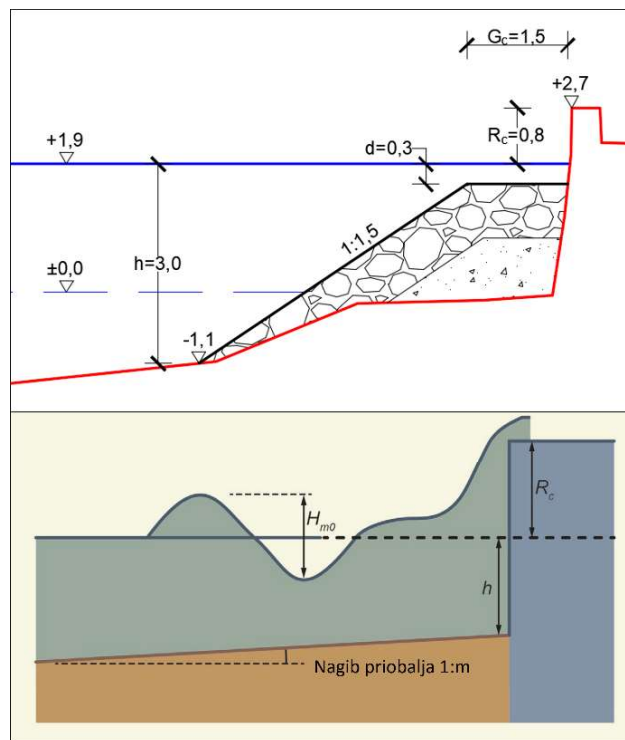
$$b = 0,73 + 55 \left(\frac{q}{gH_{m0} T_{m-1,0}} \right)^{0,8} = 0,73 + 55 \left(\frac{0,007}{9,81 * 1,5 * 4,4} \right)^{0,8} = 0,77$$

$$a = \left(\frac{1}{\Gamma \left(1 + \frac{1}{b} \right)} \right) \left(\frac{q T_m}{P_{ov}} \right) = \left(\frac{1}{\Gamma \left(1 + \frac{1}{0,77} \right)} \right) \left(\frac{0,007 * 4,0}{0,46} \right) = 0,06$$

$$V_{max} = a (\ln N_{ow})^{\frac{1}{b}} = 0,06 * (\ln 377)^{\frac{1}{0,77}} = 0,44 \text{ m}^3$$

Niska zaštitna školjera – ekstremna razina mora sa klimatskim promjenama

Proračun prelijevanja niske zaštitne školjere za ekstremnu razinu mora sa klimatskim promjenama provodi se prema postupku proračunu prelijevanja preko kompozitnog vertikalnog zida. Geometrija građevine prikazana je na slici 48.



Slika 48: Shematski prikaz presjeka niske zaštitne školjere za ekstremnu razinu mora sa klimatskim promjenama sa kotama u m (gore), shematski prikaz vertikalnog kompozitnog zida sa parametrima (dole)

Ulazni parametri:

$$R_c = 0,8 \text{ m}$$

$$H_{m0} = 1,5 \text{ m}$$

$$h = 3,0 \text{ m}$$

$$d = 0,3 \text{ m}$$

$$L_{m-1,0} = 30,2 \text{ m}$$

Proračun preljevnog protoka:

$$\frac{d}{h} = \frac{0,3}{3,0} = 0,1 < 0,6 \quad - \text{kompozitni vertikalni zid}$$

$$\frac{h^2}{H_{m0} L_{m-1,0}} = \frac{3,0^2}{1,5 * 30,2} = 0,20 < 0,65 \quad - \text{dolazi do loma vala}$$

$$\frac{R_c}{H_{m0}} = \frac{0,8}{1,5} = 0,53 < 1,35$$

Preljevni se protok, za vertikalni zid kod kojeg dolazi do loma vala, računa prema jednadžbi (24):

$$q = 1,3 \left(\frac{d}{h}\right)^{0,5} 0,011 \sqrt{g H_{m0}^3} \left(\frac{H_{m0}}{h s_{m-1,0}}\right)^{0,5} \exp\left(-2,2 \frac{R_c}{H_{m0}}\right)$$

$$q = 1,3 \left(\frac{0,3}{3,0}\right)^{0,5} 0,011 \sqrt{9,81 * 1,5^3} \left(\frac{1,5}{3,0 * 0,05}\right)^{0,5} \exp\left(-2,2 \frac{0,8}{1,5}\right) = 0,0255 \frac{m^3}{s} = 25,5 \frac{l}{s}$$

Proračun maksimalnog preljevnog volumena:

Maksimalni preljevni volumen proračunava se prema postupku vertikalnog lukobrana:

$$N_{ow} = \max \left\{ \begin{array}{l} N_w \exp \left[-1,21 \left(\frac{R_c}{H_{m0}} \right)^2 \right] \\ N_w 0,024 \left(\frac{h^2}{H_{m0} L_{m-1,0}} \frac{R_c}{H_{m0}} \right)^{-1} \end{array} \right. = \max \left\{ \begin{array}{l} N_w \exp \left[-1,21 \left(\frac{0,8}{1,5} \right)^2 \right] = 540 \\ N_w 0,024 \left(\frac{3,0^2}{1,5 * 30,2} \frac{0,8}{1,5} \right)^{-1} = 186 \end{array} \right.$$

$$N_{ow} = 540 \text{ valova}$$

$$P_{ov} = \frac{N_{ow}}{N_w} = \frac{540}{819} = 0,66 = 66 \%$$

$$b = \begin{cases} 0,66 \text{ za } s_{m-1,0} = 0,02 \\ 0,82 \text{ za } s_{m-1,0} = 0,04 \end{cases} = 0,82$$

$$a = \left(\frac{1}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)} \right) \left(\frac{q T_m}{P_{ov}} \right) = \left(\frac{1}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{0,82}\right)} \right) \left(\frac{0,0255 * 4,0}{0,66} \right) = 0,14$$

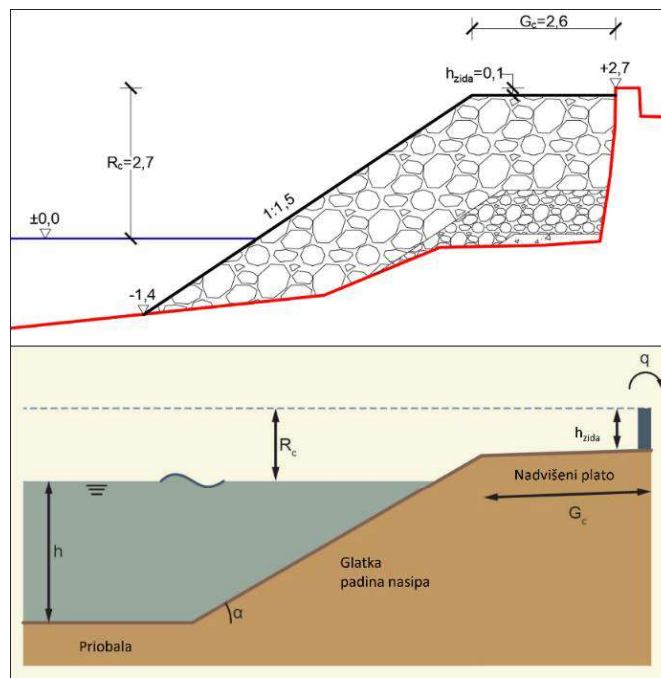
$$V_{max} = a (\ln N_{ow})^{\frac{1}{b}} = 0,14 * (\ln 540)^{\frac{1}{0,82}} = 1,31 m^3$$

Visoka zaštitna školjera – srednja razina mora

Postoje dva načina proračuna prelijevanja visoke zaštitne školjere za srednju razinu mora:

a) Postupak proračuna prelijevanja prema glatkom nasipu sa šetnicom i zidom

Geometrija građevine prikazana je na slici 49.



Slika 49: Shematski prikaz presjeka niske zaštitne školjere za srednju razinu mora sa kotama u m (gore), shematski prikaz nasipa sa šetnicom i zidom i potrebnim parametrima (dole)

Ulazni parametri:

$$R_c = 2,7 \text{ m}$$

$$H_{m0} = 1,5 \text{ m}$$

$$L_{m-1,0} = 30,2 \text{ m}$$

$$G_c = 2,6 \text{ m}$$

$$h_{zida} = 0,1 \text{ m}$$

Proračun preljevnog protoka:

$$\frac{G_c}{L_{m-1,0}} = \frac{2,6}{30,2} = 0,09 - \text{zadovoljava!}$$

$$\frac{h_{zida}}{R_c} = \frac{0,1}{2,7} = 0,04 - \text{ne zadovoljava!}$$

Napomena: parametri neznatno izlaze izvan granica validnosti korištenih izraza.

$$\gamma_{plato} = 0,87 \left(1 - 0,47 \frac{G_c}{L_{m-1,0}} \right) \exp \left(-0,56 \frac{h_{zida}}{R_c} \right)$$

$$\gamma_{plato} = 0,87 \left(1 - 0,47 \frac{2,6}{30,2} \right) \exp \left(-0,56 \frac{0,1}{2,7} \right) = 0,82$$

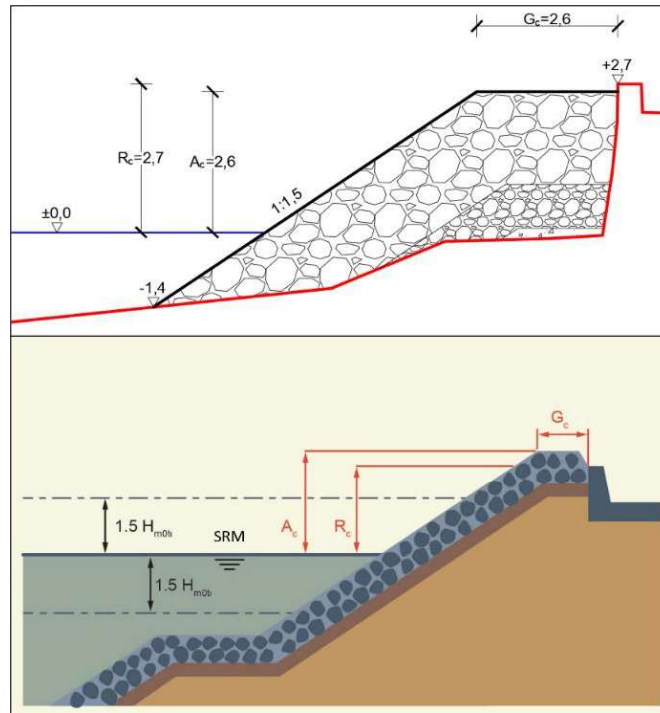
$$q = 0,09 \sqrt{g H_{m0}^3} \exp \left[- \left(1,5 \frac{R_c}{H_{m0} \gamma_{plato}} \right)^{1,3} \right]$$

$$q = 0,09 \sqrt{9,18 * 1,5^3} \exp \left[- \left(1,5 \frac{2,7}{1,5 * 0,82} \right)^{1,3} \right] = 0,0046 \frac{m^3}{s} = 4,6 \frac{l}{s}$$

Za ovu metodu nema proračuna maksimalnog volumena prelijevanja!

b) Postupak proračuna prelijevanja prema nasutom lukobranu:

Geometrija građevine prikazana je na slici 50.



Slika 50: Shematski prikaz presjeka visoke zaštitne školjere za srednju razinu mora sa kotama u m (gore), shematski prikaz nasutog lukobrana sa parametrima (dole)

Visina obalnog zida $R_c=2,7$ m viša je od visine krune lukobrana $A_c=2,6$ m, stoga se R_c uzima u proračun.

Ulazni parametri:

$$R_c = 2,7 \text{ m}$$

$$H_{m0} = 1,5 \text{ m}$$

$$\gamma_f = 0,4 \text{ (kamen, 2 sloja, propusna jezgra)}$$

$$\gamma_\beta = 1,0 \text{ (val ne dolazi pod kutem)}$$

Proračun preljevnog protoka:

$$q = 0.1035 \sqrt{gH_{m0}^3} \exp \left[- \left(1,35 \frac{R_c}{H_{m0} \gamma_f \gamma_\beta} \right)^{1,3} \right]$$

$$q = 0.1035 \sqrt{9,18 * 1,5^3} \exp \left[- \left(1,35 \frac{2,70}{1,5 * 0,4 * 1} \right)^{1,3} \right] = 0,00002 \frac{m^3}{s} = 0,02 \frac{l}{s} < 0,1 \frac{l}{s}$$

Proračun maksimalnog preljevnog volumena:

$\gamma_\beta = 1,0$ - nema berme

$\tan \alpha = 1/1,5$

$$\xi_{m-1,0} = \frac{\tan \alpha}{\left(\frac{H_{m0}}{L_{m-1,0}} \right)^{1/2}} = \frac{\frac{1}{1,5}}{\left(\frac{1,5}{30,2} \right)^{1/2}} = 2,99$$

$$R_{u2\%} = 1,75 * H_{m0} * \gamma_b * \gamma_f * \gamma_\beta * \xi_{m-1,0} = 1,75 * 1,5 * 1 * 0,4 * 1 * 2,99 = 3,1 \text{ m}$$

$$P_{ov} = \exp \left[- \left(\sqrt{-\ln 0,02} \frac{R_c}{R_{u2\%}} \right)^2 \right] = \exp \left[- \left(\sqrt{-\ln 0,02} \frac{2,7}{3,1} \right)^2 \right] = 0,06 = 6 \%$$

$$N_{ow} = P_{ov} * N_w = 0,06 * 819 = 46 \text{ valova}$$

$$b = 0,73 + 55 \left(\frac{q}{gH_{m0} T_{m-1,0}} \right)^{0,8} = 0,73 + 55 \left(\frac{0,00002}{9,81 * 1,5 * 4,4} \right)^{0,8} = 0,73$$

$$a = \left(\frac{1}{\Gamma \left(1 + \frac{1}{b} \right)} \right) \left(\frac{q T_m}{P_{ov}} \right) = \left(\frac{1}{\Gamma \left(1 + \frac{1}{0,73} \right)} \right) \left(\frac{0,00002 * 4,0}{0,06} \right) = 0,001$$

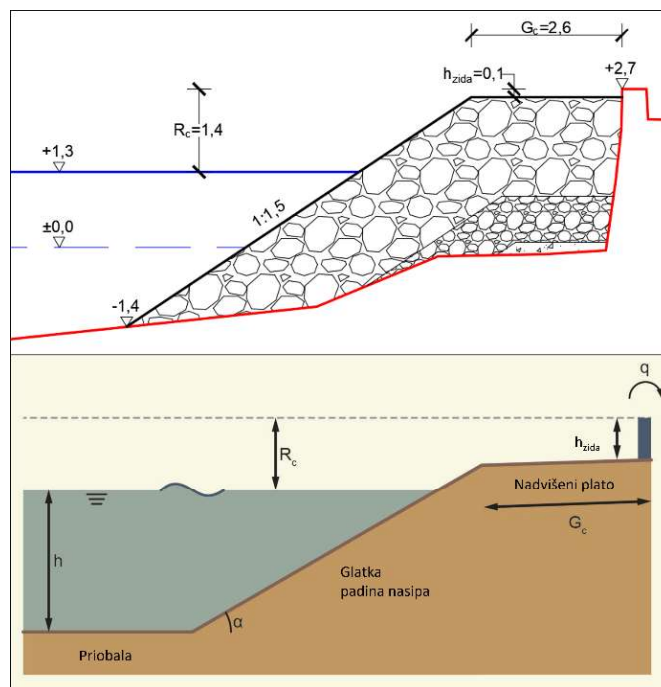
$$V_{max} = a (\ln N_{ow})^{\frac{1}{b}} = 0,0 * (\ln 46)^{\frac{1}{0,73}} = 0,01 \text{ m}^3$$

Visoka zaštitna školjera – ekstremne razine mora bez klimatskih promjena

Postoje dva načina proračuna prelijevanja visoke zaštitne školjere za ekstremnu razinu mora bez klimatskih promjena:

a) Postupak proračuna prelijevanja prema glatkom nasipu sa šetnicom i zidom:

Geometrija građevine prikazana je na slici 51.



Slika 51: Shematski prikaz presjeka visoke zaštitne školjere za ekstremnu razinu mora bez klimatskih promjena sa kotama u m (gore), shematski prikaz nasipa sa šetnicom i zidom i potrebnim parametrima (dole)

Ulazni parametri:

$$R_c = 1,4 \text{ m}$$

$$H_{m0} = 1,5 \text{ m}$$

$$L_{m-1,0} = 30,2 \text{ m}$$

$$G_c = 2,6 \text{ m}$$

$$h_{zida} = 0,1 \text{ m}$$

Proračun preljevnog protoka:

$$\frac{G_c}{L_{m-1,0}} = \frac{2,6}{30,2} = 0,09 - \text{zadovoljava!}$$

$$\frac{h_{zida}}{R_c} = \frac{0,1}{1,4} = 0,07 - \text{zadovoljava!}$$

$$\gamma_{plato} = 0,87 \left(1 - 0,47 \frac{G_c}{L_{m-1,0}} \right) \exp \left(-0,56 \frac{h_{zida}}{R_c} \right)$$

$$\gamma_{plato} = 0,87 \left(1 - 0,47 \frac{2,6}{30,2} \right) \exp \left(-0,56 \frac{0,1}{1,4} \right) = 0,80$$

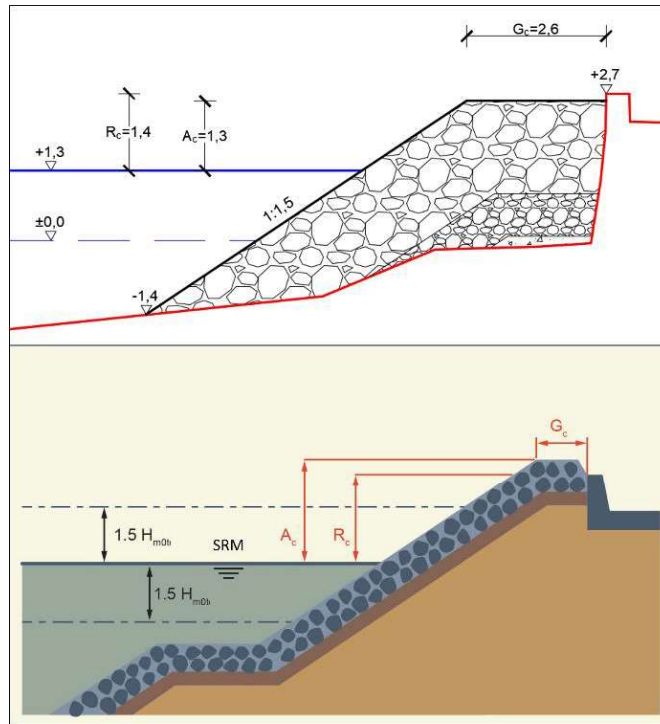
$$q = 0,09 \sqrt{g H_{m0}^3} \exp \left[- \left(1,5 \frac{R_c}{H_{m0} \gamma_{plato}} \right)^{1,3} \right]$$

$$q = 0,09 \sqrt{9,18 * 1,5^3} \exp \left[- \left(1,5 \frac{1,4}{1,5 * 0,80} \right)^{1,3} \right] = 0,0658 \frac{m^3}{s} = 65,8 \frac{l}{s}$$

Za ovu metodu nema proračuna maksimalnog volumena prelijevanja!

b) Postupak proračuna prelijevanja prema nasutom lukobranu:

Geometrija građevine prikazana je na slici 52.



Slika 52: Shematski prikaz presjeka visoke zaštitne školjere za ekstremnu razinu mora bez klimatskih promjena sa kotama u m (gore), shematski prikaz nasutog lukobrana sa parametrima (dole)

Visina obalnog zida $R_c = 1,4$ m viša je od visine krune lukobrana $A_c = 1,3$ m, stoga se R_c uzima u proračun.

Ulazni parametri:

$$R_c = 1,4 \text{ m}$$

$$H_{m0} = 1,5 \text{ m}$$

$$\gamma = 0,4 \text{ (kamen, 2 sloja, propusna jezgra)}$$

$$\gamma_\beta = 1,0 \text{ (val ne dolazi pod kutem)}$$

Proračun preljevnog protoka:

$$q = 0.1035 \sqrt{gH_{m0}^3} \exp \left[- \left(1,35 \frac{R_c}{H_{m0} \gamma_f \gamma_\beta} \right)^{1,3} \right]$$

$$q = 0.1035 \sqrt{9,18 * 1,5^3} \exp \left[- \left(1,35 \frac{1,4}{1,5 * 0,4 * 1} \right)^{1,3} \right] = 0,0070 \frac{m^3}{s} = 7,0 \frac{l}{s}$$

Proračun maksimalnog preljevnog volumena:

$\gamma_\beta = 1,0$ - nema berme

$\tan \alpha = 1/1,5$

$$\xi_{m-1,0} = \frac{\tan \alpha}{\left(\frac{H_{m0}}{L_{m-1,0}} \right)^{1/2}} = \frac{\frac{1}{1,5}}{\left(\frac{1,5}{30,2} \right)^{1/2}} = 2,99$$

$$R_{u2\%} = 1,75 * H_{m0} * \gamma_b * \gamma_f * \gamma_\beta * \xi_{m-1,0} = 1,75 * 1,5 * 1 * 0,4 * 1 * 2,99 = 3,1 \text{ m}$$

$$P_{ov} = \exp \left[- \left(\sqrt{-\ln 0,02} \frac{R_c}{R_{u2\%}} \right)^2 \right] = \exp \left[- \left(\sqrt{-\ln 0,02} \frac{1,4}{3,14} \right)^2 \right] = 0,46 = 46 \%$$

$$N_{ow} = P_{ov} * N_w = 0,46 * 819 = 377 \text{ valova}$$

$$b = 0,73 + 55 \left(\frac{q}{gH_{m0} T_{m-1,0}} \right)^{0,8} = 0,73 + 55 \left(\frac{0,007}{9,81 * 1,5 * 4,4} \right)^{0,8} = 0,77$$

$$a = \left(\frac{1}{\Gamma \left(1 + \frac{1}{b} \right)} \right) \left(\frac{q T_m}{P_{ov}} \right) = \left(\frac{1}{\Gamma \left(1 + \frac{1}{0,77} \right)} \right) \left(\frac{0,007 * 4,0}{0,46} \right) = 0,05$$

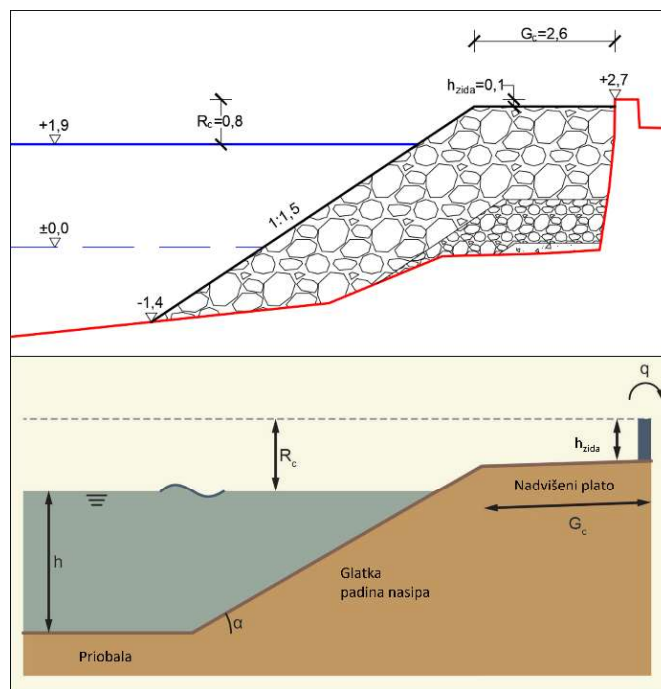
$$V_{max} = a (\ln N_{ow})^{\frac{1}{b}} = 0,05 * (\ln 377)^{\frac{1}{0,77}} = 0,4 \text{ m}^3$$

Visoka zaštitna školjera – ekstremna razina mora sa klimatskim promjenama

Postoje dva načina proračuna prelijevanja visoke zaštitne školjere za ekstremnu razinu mora bez klimatskih promjena:

a) Postupak proračuna prelijevanja prema glatkom nasipu sa šetnicom i zidom:

Geometrija građevine prikazana je na slici 53.



Slika 53: Shematski prikaz presjeka visoke zaštitne školjere za ekstremnu razinu mora sa klimatskim promjenama sa kotama u m (gore), shematski prikaz nasipa sa šetnicom i zidom i potrebnim parametrima (dole)

Ulazni parametri:

$$R_c = 0,8 \text{ m}$$

$$H_{m0} = 1,5 \text{ m}$$

$$L_{m-1,0} = 30,2 \text{ m}$$

$$G_c = 2,6 \text{ m}$$

$$h_{zida} = 0,1 \text{ m}$$

Proračun preljevnog protoka:

$$\frac{G_c}{L_{m-1,0}} = \frac{2,6}{30,2} = 0,09 - \text{zadovoljava!}$$

$$\frac{h_{zida}}{R_c} = \frac{0,1}{0,8} = 0,13 - \text{zadovoljava!}$$

$$\gamma_{plato} = 0,87 \left(1 - 0,47 \frac{G_c}{L_{m-1,0}} \right) \exp \left(-0,56 \frac{h_{zida}}{R_c} \right)$$

$$\gamma_{plato} = 0,87 \left(1 - 0,47 \frac{2,6}{30,2} \right) \exp \left(-0,56 \frac{0,1}{0,8} \right) = 0,78$$

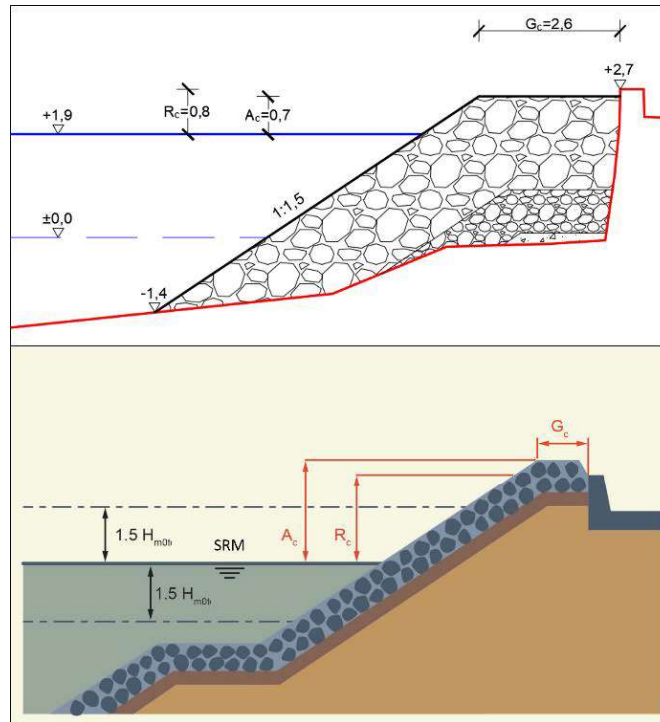
$$q = 0,09 \sqrt{g H_{m0}^3} \exp \left[- \left(1,5 \frac{R_c}{H_{m0} \gamma_{plato}} \right)^{1,3} \right]$$

$$q = 0,09 \sqrt{9,18 * 1,5^3} \exp \left[- \left(1,5 \frac{0,8}{1,5 * 0,78} \right)^{1,3} \right] = 0,1837 \frac{m^3}{s} = 183,7 \frac{l}{s}$$

Za ovu metodu nema proračuna maksimalnog volumena prelijevanja!

b) Postupak proračuna prelijevanja prema nasutom lukobranu:

Geometrija građevine prikazana je na slici 54.



Slika 54: Shematski prikaz presjeka visoke zaštitne školjere za ekstremnu razinu mora sa klimatskim promjenama sa kotama u m (gore), shematski prikaz nasutog lukobrana sa parametrima (dole)

Visina obalnog zida $R_c = 0,8$ m viša je od visine krune lukobrana $A_c = 0,7$ m, stoga se R_c uzima u proračun.

Ulazni parametri:

$$R_c = 0,8 \text{ m}$$

$$H_{m0} = 1,5 \text{ m}$$

$$\gamma = 0,4$$

$$\gamma_\beta = 1,0$$

Proračun preljevnog protoka:

$$q = 0.1035 \sqrt{gH_{m0}^3} \exp \left[- \left(1,35 \frac{R_c}{H_{m0} \gamma_f \gamma_\beta} \right)^{1,3} \right]$$

$$q = 0.1035 \sqrt{9,18 * 1,5^3} \exp \left[- \left(1,35 \frac{0,8}{1,5 * 0,4 * 1} \right)^{1,3} \right] = 0,0696 \frac{m^3}{s} = 69,6 \frac{l}{s}$$

Proračun maksimalnog preljevnog volumena:

Maksimalni preljevni volumen proračunava se prema postupku nasutog lukobrana:

$$\gamma_\beta = 1,0 - \text{nema berme}$$

$$\tan \alpha = 1/1,5$$

$$\xi_{m-1,0} = \frac{\tan \alpha}{\left(\frac{H_{m0}}{L_{m-1,0}} \right)^{1/2}} = \frac{\frac{1}{1,5}}{\left(\frac{1,5}{30,2} \right)^{1/2}} = 2,99$$

$$R_{u2\%} = 1,75 * H_{m0} * \gamma_b * \gamma_f * \gamma_\beta * \xi_{m-1,0} = 1,75 * 1,5 * 1 * 0,4 * 1 * 2,99 = 3,1 \text{ m}$$

$$P_{ov} = \exp \left[- \left(\sqrt{-\ln 0,02} \frac{R_c}{R_{u2\%}} \right)^2 \right] = \exp \left[- \left(\sqrt{-\ln 0,02} \frac{0,8}{3,1} \right)^2 \right] = 0,78 = 78 \%$$

$$N_{ow} = P_{ov} * N_w = 0,78 * 819 = 636 \text{ valova}$$

$$b = 0,73 + 55 \left(\frac{q}{gH_{m0} T_{m-1,0}} \right)^{0,8} = 0,73 + 55 \left(\frac{0,0696}{9,81 * 1,5 * 4,4} \right)^{0,8} = 0,96$$

$$a = \left(\frac{1}{\Gamma \left(1 + \frac{1}{b} \right)} \right) \left(\frac{q T_m}{P_{ov}} \right) = \left(\frac{1}{\Gamma \left(1 + \frac{1}{0,96} \right)} \right) \left(\frac{0,0696 * 4,0}{0,78} \right) = 0,35$$

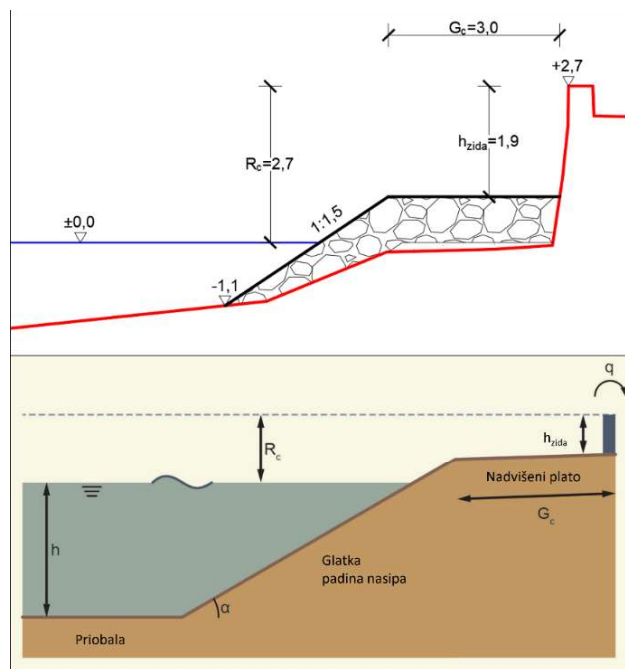
$$V_{max} = a (\ln N_{ow})^{\frac{1}{b}} = 0,35 * (\ln 636)^{\frac{1}{0,96}} = 2,37 \text{ m}^3$$

Kraći podmorski prag – srednja razina mora

Postoje dva načina proračuna prelijevanja kraćeg podmorskog praga za srednju razinu mora:

- a) Postupak proračuna prelijevanja prema glatkom nasipu sa šetnicom i zidom

Geometrija građevine prikazana je na slici 55.



Slika 55: Shematski prikaz presjeka kraćeg podmorskog praga za srednju razinu mora sa kotama u m (gore), shematski prikaz nasipa sa šetnicom i zidom i potrebnim parametrima (dole)

Ulazni parametri:

$$R_c = 2,7 \text{ m}$$

$$H_{m0} = 1,5 \text{ m}$$

$$L_{m-1,0} = 30,2 \text{ m}$$

$$G_c = 3,0 \text{ m}$$

$$h_{zida} = 1,9 \text{ m}$$

Proračun preljevnog protoka:

$$\frac{G_c}{L_{m-1,0}} = \frac{3,0}{30,2} = 0,1 - \text{zadovoljava!}$$

$$\frac{h_{zida}}{R_c} = \frac{1,9}{2,7} = 0,7 - \text{zadovoljava!}$$

$$\gamma_{plato} = 0,87 \left(1 - 0,47 \frac{G_c}{L_{m-1,0}} \right) \exp \left(-0,56 \frac{h_{zida}}{R_c} \right)$$

$$\gamma_{plato} = 0,87 \left(1 - 0,47 \frac{3,0}{30,2} \right) \exp \left(-0,56 \frac{1,9}{2,7} \right) = 0,56$$

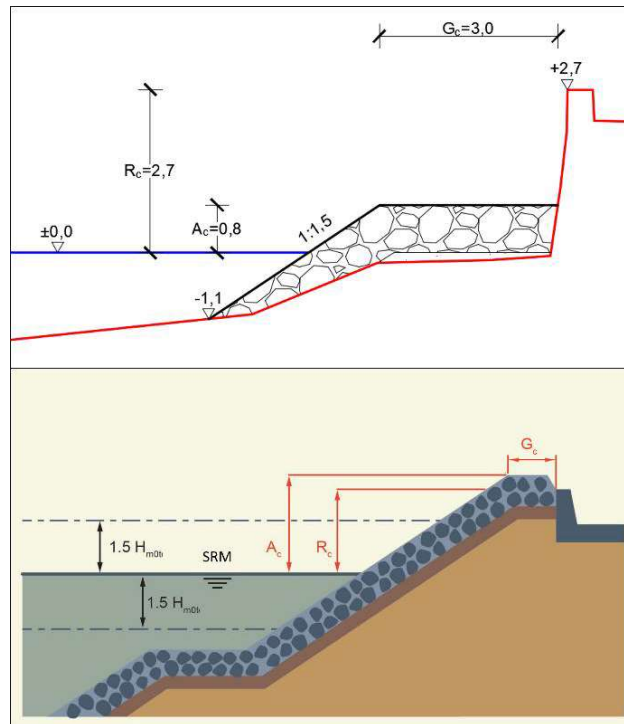
$$q = 0,09 \sqrt{g H_{m0}^3} \exp \left[- \left(1,5 \frac{R_c}{H_{m0} \gamma_{plato}} \right)^{1,3} \right]$$

$$q = 0,09 \sqrt{9,81 * 1,5^3} \exp \left[- \left(1,5 \frac{2,7c}{1,5 * 0,56} \right)^{1,3} \right] = 0,0002 \frac{m^3}{s} = 0,2 \frac{l}{s}$$

Za ovu metodu nema proračuna maksimalnog volumena prelijevanja!

b) Postupak proračuna prelijevanja prema nasutom lukobranu

Geometrija građevine prikazana je na slici 56.



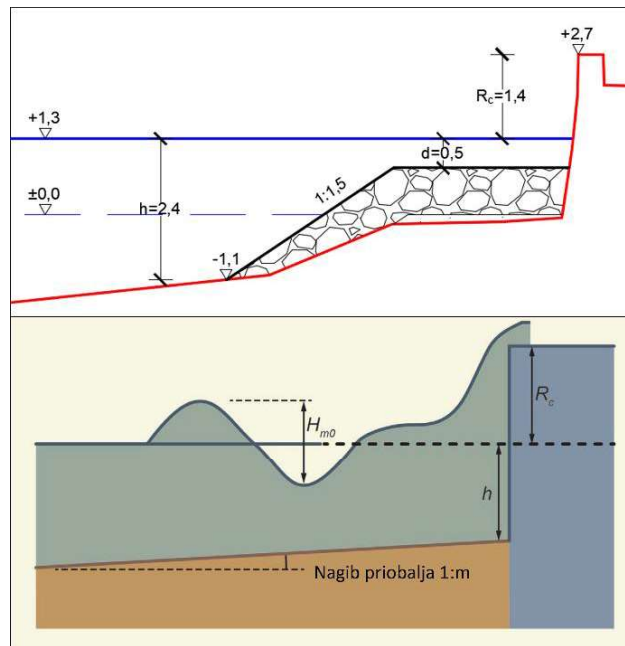
Slika 56: Shematski prikaz presjeka kraćeg podmorskog praga za srednju razinu sa kotama u m (gore), shematski prikaz nasutog lukobrana sa parametrima (dole)

Visina obalnog zida $R_c = 2.7$ m viša je od visine krune lukobrana $A_c = 0.8$ m, stoga se R_c uzima u proračun.

Dobivene su iste vrijednosti kao kod niske i visoke zaštitne školjere.

Kraći podmorski prag – ekstremna razina mora bez klimatskih promjena

Proračun prelijevanja kraćeg podmorskog praga pri ekstremnoj razini mora bez klimatskih promjena provodi se prema proračunu prelijevanja preko vertikalnog kompozitnog zida. Geometrija građevine prikazana je na slici 57.



Slika 57: Shematski prikaz presjeka kraćeg podmorskog praga za ekstremnu razinu mora bez klimatskih promjena sa kotama u m (gore), shematski prikaz vertikalnog komozitnog zida sa parametrima (dole)

Ulazni parametri:

$$R_c = 1,4 \text{ m}$$

$$H_{m0} = 1,5 \text{ m}$$

$$h = 2,4 \text{ m}$$

$$d = 0,5 \text{ m}$$

$$L_{m-1,0} = 30,2 \text{ m}$$

Proračun preljevnog protoka:

$$\frac{d}{h} = \frac{0,5}{2,4} = 0,21 < 0,6 - \text{kompozitni vertikalni zid}$$

$$\frac{h^2}{H_{m0}L_{m-1,0}} = \frac{2,4^2}{1,5 \cdot 30,2} = 0,13 < 0,65 - \text{dolazi do loma vala}$$

$$\frac{R_c}{H_{m0}} = \frac{1,4}{1,5} = 0,93 < 1,35$$

Preljevni se protok, za vertikalni zid kod kojeg dolazi do loma vala, računa prema jednadžbi (24):

$$q = 1,3 \left(\frac{d}{h}\right)^{0,5} 0,011 \sqrt{gH_{m0}^3} \left(\frac{H_{m0}}{h s_{m-1,0}}\right)^{0,5} \exp\left(-2,2 \frac{R_c}{H_{m0}}\right)$$

$$q = 1,3 \left(\frac{0,5}{2,4}\right)^{0,5} 0,011 \sqrt{9,81 * 1,5^3} \left(\frac{1,5}{2,4 * 0,05}\right)^{0,5} \exp\left(-2,2 \frac{1,4}{1,5}\right) = 0,0171 \frac{m^3}{s} = 17,1 \frac{l}{s}$$

Proračun maksimalnog preljevnog volumena:

$$N_{ow} = \max \left\{ \begin{array}{l} N_w \exp\left[-1,21 \left(\frac{R_c}{H_{m0}}\right)^2\right] \\ N_w 0,024 \left(\frac{h^2}{H_{m0}L_{m-1,0}} \frac{R_c}{H_{m0}}\right)^{-1} \end{array} \right. = \max \left\{ \begin{array}{l} 819 * \exp\left[-1,21 \left(\frac{1,4}{1,5}\right)^2\right] = 229 \\ 819 * 0,024 \left(\frac{2,4^2}{1,5 \cdot 30,2} \frac{1,4}{1,5}\right)^{-1} = 166 \end{array} \right.$$

$$N_{ow} = 229 \text{ valova}$$

$$P_{ov} = \frac{N_{ow}}{N_w} = \frac{229}{819} = 0,28 = 28 \%$$

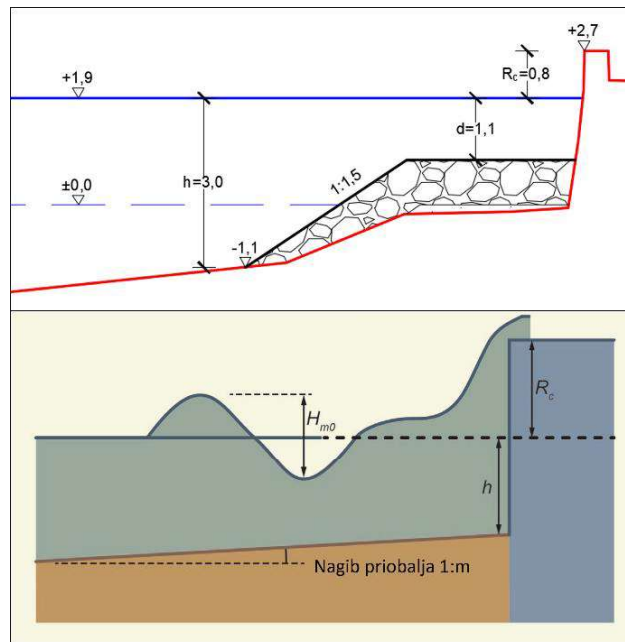
$$b = \begin{cases} 0,66 \text{ za } s_{m-1,0} = 0,02 \\ 0,82 \text{ za } s_{m-1,0} = 0,04 \end{cases} = 0,82$$

$$a = \left(\frac{1}{\Gamma\left(1+\frac{1}{b}\right)}\right) \left(\frac{qT_m}{P_{ov}}\right) = \left(\frac{1}{\Gamma\left(1+\frac{1}{0,82}\right)}\right) \left(\frac{0,0171 \cdot 4,0}{0,28}\right) = 0,22$$

$$V_{max} = a(\ln N_{ow})^{\frac{1}{b}} = 0,22 * (\ln 229)^{\frac{1}{0,82}} = 1,73 \text{ m}^3$$

Kraći podmorski prag – ekstremna razina mora sa klimatskim promjenama

Proračun prelijevanja kraćeg podmorskog praga pri ekstremnoj razini mora sa klimatskim promjenama provodi se prema proračunu prelijevanja preko vertikalnog kompozitnog zida. Geometrija građevine prikazana je na slici 58.



Slika 58: Shematski prikaz presjeka kraćeg podmorskog praga za ekstremnu razinu mora sa klimatskim promjenama sa kotama u m (gore), shematski prikaz vertikalnog kompozitnog zida sa parametrima (dole)

Ulazni parametri:

$$R_c = 0,8 \text{ m}$$

$$H_{m0} = 1,5 \text{ m}$$

$$h = 1,9 \text{ m}$$

$$d = 0,5 \text{ m}$$

$$L_{m-1,0} = 30,2 \text{ m}$$

Proračun preljevnog protoka:

$$\frac{d}{h} = \frac{0,5}{3,0} = 0,17 < 0,6 - \text{kompozitni vertikalni zid}$$

$$\frac{h^2}{H_{m0}L_{m-1,0}} = \frac{3,0^2}{1,5*30,2} = 0,20 < 0,65 - \text{dolazi do loma vala}$$

$$\frac{R_c}{H_{m0}} = \frac{0,8}{1,5} = 0,53 < 1,35$$

Preljevni se protok, za vertikalni zid kod kojeg dolazi do loma vala, računa prema jednadžbi (24):

$$q = 1,3 \left(\frac{d}{h}\right)^{0,5} 0,011 \sqrt{gH_{m0}^3} \left(\frac{H_{m0}}{h s_{m-1,0}}\right)^{0,5} \exp\left(-2,2 \frac{R_c}{H_{m0}}\right)$$

$$q = 1,3 \left(\frac{1,1}{3,0}\right)^{0,5} 0,011 \sqrt{9,81 * 1,5^3} \left(\frac{1,5}{3,0 * 0,05}\right)^{0,5} \exp\left(-2,2 \frac{0,8}{1,5}\right) = 0,0330 \frac{m^3}{s} = 33,0 \frac{l}{s}$$

Proračun maksimalnog preljevnog volumena:

$$N_{ow} = \max \left\{ \begin{array}{l} N_w \exp\left[-1,21 \left(\frac{R_c}{H_{m0}}\right)^2\right] \\ N_w 0,024 \left(\frac{h^2}{H_{m0}L_{m-1,0}} \frac{R_c}{H_{m0}}\right)^{-1} \end{array} \right. = \max \left\{ \begin{array}{l} 819 * \exp\left[-1,21 \left(\frac{0,8}{1,5}\right)^2\right] = 540 \\ 819 * 0,024 \left(\frac{3,0^2}{1,5*30,2} \frac{0,8}{1,5}\right)^{-1} = 186 \end{array} \right.$$

$$N_{ow} = 540 \text{ valova}$$

$$P_{ov} = \frac{N_{ow}}{N_w} = \frac{540}{819} = 0,66 = 66 \%$$

$$b = \begin{cases} 0,66 & \text{za } s_{m-1,0} = 0,02 \\ 0,82 & \text{za } s_{m-1,0} = 0,04 \end{cases} = 0,82$$

$$a = \left(\frac{1}{\Gamma\left(1+\frac{1}{b}\right)}\right) \left(\frac{qT_m}{P_{ov}}\right) = \left(\frac{1}{\Gamma\left(1+\frac{1}{0,82}\right)}\right) \left(\frac{0,033*4,0}{0,66}\right) = 0,18$$

$$V_{max} = a(\ln N_{ow})^{\frac{1}{b}} = 0,18 * (\ln 540)^{\frac{1}{0,82}} = 1,69 m^3$$

Proračun preljevnog protoka:

$$\frac{G_c}{L_{m-1,0}} = \frac{6,0}{30,2} = 0,2 - \text{zadovoljava!}$$

$$\frac{h_{zida}}{R_c} = \frac{1,9}{2,7} = 0,7 - \text{zadovoljava!}$$

$$\gamma_{plato} = 0,87 \left(1 - 0,47 \frac{G_c}{L_{m-1,0}} \right) \exp \left(-0,56 \frac{h_{zida}}{R_c} \right)$$

$$\gamma_{plato} = 0,87 \left(1 - 0,47 \frac{6,0}{30,2} \right) \exp \left(-0,56 \frac{1,9}{2,7} \right) = 0,53$$

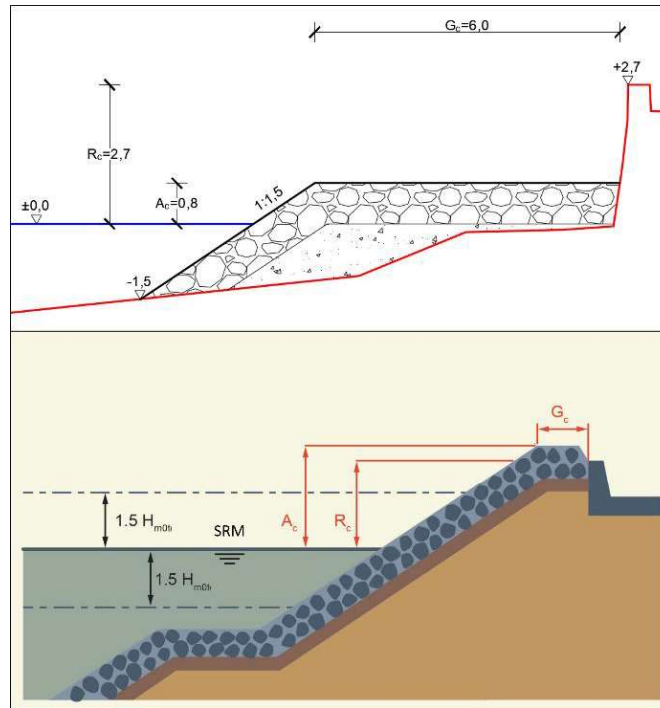
$$q = 0,09 \sqrt{g H_{m0}^3} \exp \left[- \left(1,5 \frac{R_c}{H_{m0} \gamma_{plato}} \right)^{1,3} \right] = 0,0003 \frac{m^3}{s} = 0,3 \frac{l}{s}$$

$$q = 0,09 \sqrt{9,81 * 1,5^3} \exp \left[- \left(1,5 \frac{2,7}{1,5 * 0,53} \right)^{1,3} \right] = 0,00013 \frac{m^3}{s} = 0,1 \frac{l}{s}$$

Za ovu metodu nema proračuna maksimalnog volumena prelijevanja!

b) Postupak proračuna prelijevanja prema nasutom lukobranu

Geometrija građevine prikazana je na slici 60.



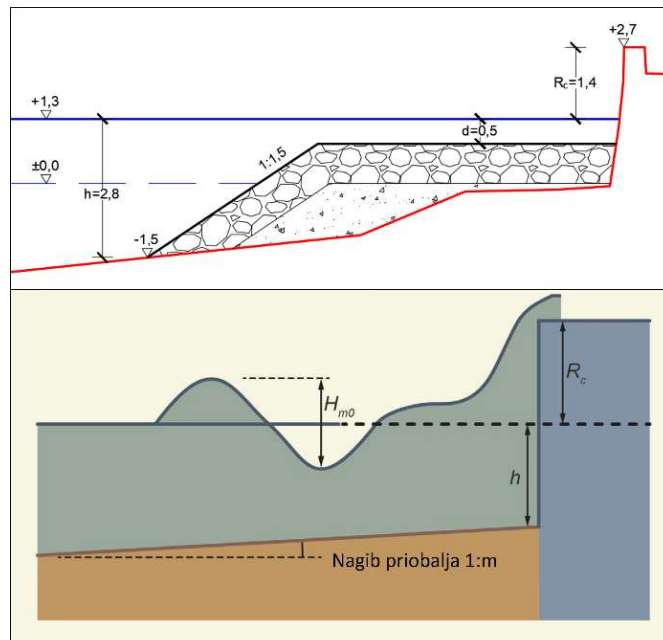
Slika 60: Shematski prikaz presjeka dužeg podmorskog praga za srednju razinu sa kotama u m (gore), shematski prikaz nasutog lukobrana sa parametrima (dole)

Visina obalnog zida $R_c = 2,7$ m viša je od visine krune lukobrana $A_c = 0,8$ m, stoga se R_c uzima u proračun.

Dobivene su iste vrijednosti kao kod niske i visoke zaštitne školjere te kraćeg podmorskog praga.

Duži podmorski prag – ekstremne razine mora bez klimatskih promjena

Proračun prelijevanja dužeg podmorskog praga pri ekstremnoj razini mora bez klimatskih promjena provodi se prema proračunu prelijevanja preko vertikalnog kompozitnog zida. Geometrija građevine prikazana je na slici 61.



Slika 61: Shematski prikaz presjeka dužeg podmorskog praga za ekstremnu razinu mora bez klimatskih promjena sa kotama u m (gore), shematski prikaz vertikalnog kompozitnog zida sa parametrima (dole)

Ulazni parametri:

$$R_c = 1,4 \text{ m}$$

$$H_{m0} = 1,5 \text{ m}$$

$$h = 2,8 \text{ m}$$

$$d = 0,5 \text{ m}$$

$$L_{m-1,0} = 30,2 \text{ m}$$

Proračun preljevnog protoka:

$$\frac{d}{h} = \frac{0,5}{2,8} = 0,18 < 0,6 - \text{kompozitni vertikalni zid}$$

$$\frac{h^2}{H_{m0}L_{m-1,0}} = \frac{2,8^2}{1,5*30,2} = 0,17 < 0,65 - \text{dolazi do loma vala}$$

$$\frac{R_c}{H_{m0}} = \frac{1,4}{1,5} = 0,93 < 1,35$$

Preljevni se protok, za vertikalni zid kod kojeg dolazi do loma vala, računa prema jednadžbi (24):

$$q = 1,3 \left(\frac{d}{h}\right)^{0,5} 0,011 \sqrt{gH_{m0}^3} \left(\frac{H_{m0}}{h s_{m-1,0}}\right)^{0,5} \exp\left(-2,2 \frac{R_c}{H_{m0}}\right)$$

$$q = 1,3 \left(\frac{0,5}{2,8}\right)^{0,5} 0,011 \sqrt{9,81 * 1,5^3} \left(\frac{1,5}{2,8*0,05}\right)^{0,5} \exp\left(-2,2 \frac{1,4}{1,5}\right) = 0,0147 \frac{m^3}{s} = 14,7 \frac{l}{s}$$

Proračun maksimalnog preljevnog volumena:

$$N_{ow} = \max \left\{ \begin{array}{l} N_w \exp\left[-1,21 \left(\frac{R_c}{H_{m0}}\right)^2\right] \\ N_w 0,024 \left(\frac{h^2}{H_{m0}L_{m-1,0}} \frac{R_c}{H_{m0}}\right)^{-1} \end{array} \right. = \max \left\{ \begin{array}{l} 819 * \exp\left[-1,21 \left(\frac{1,4}{1,5}\right)^2\right] = 229 \\ 819 * 0,024 \left(\frac{2,8^2}{1,5*30,2} \frac{1,4}{1,5}\right)^{-1} = 122 \end{array} \right.$$

$N_{ow} = 229$ valova

$$P_{ov} = \frac{N_{ow}}{N_w} = \frac{229}{819} = 0,28 = 28 \%$$

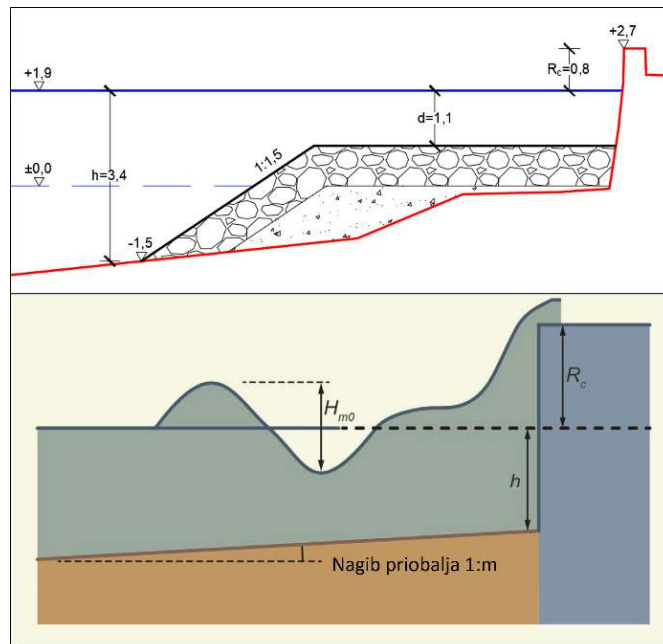
$$b = \begin{cases} 0,66 & \text{za } s_{m-1,0} = 0,02 \\ 0,82 & \text{za } s_{m-1,0} = 0,04 \end{cases} = 0,82$$

$$a = \left(\frac{1}{\Gamma\left(1+\frac{1}{b}\right)}\right) \left(\frac{qT_m}{P_{ov}}\right) = \left(\frac{1}{\Gamma\left(1+\frac{1}{0,82}\right)}\right) \left(\frac{0,0147*4,0}{0,28}\right) = 0,19$$

$$V_{max} = a(\ln N_{ow})^{\frac{1}{b}} = 0,19 * (\ln 229)^{\frac{1}{0,82}} = 1,48 m^3$$

Duži podmorski prag – ekstremne razine mora sa klimatskim promjenama

Proračun prelijevanja dužeg podmorskog praga pri ekstremnoj razini mora sa klimatskim promjenama provodi se prema proračunu prelijevanja preko vertikalnog kompozitnog zida. Geometrija građevine prikazana je na slici 62.



Slika 62: Shematski prikaz presjeka dužeg podmorskog praga za ekstremnu razinu mora sa klimatskim promjenama sa kotama u m (gore), shematski prikaz vertikalnog kompozitnog zida sa parametrima (dole)

Ulazni parametri:

$$R_c = 0,8 \text{ m}$$

$$H_{m0} = 1,5 \text{ m}$$

$$h = 3,4 \text{ m}$$

$$d = 1,1 \text{ m}$$

$$L_{m-1,0} = 30,2 \text{ m}$$

Proračun preljevnog protoka:

$$\frac{d}{h} = \frac{0,5}{3,4} = 0,32 < 0,6 - \text{kompozitni vertikalni zid}$$

$$\frac{h^2}{H_{m0}L_{m-1,0}} = \frac{3,4^2}{1,5 \cdot 30,2} = 0,25 < 0,65 - \text{dolazi do loma vala}$$

$$\frac{R_c}{H_{m0}} = \frac{0,8}{1,5} = 0,53 < 1,35$$

Preljevni se protok, za vertikalni zid kod kojeg dolazi do loma vala, računa prema jednadžbi (24):

$$q = 1,3 \left(\frac{d}{h}\right)^{0,5} 0,011 \sqrt{gH_{m0}^3} \left(\frac{H_{m0}}{h s_{m-1,0}}\right)^{0,5} \exp\left(-2,2 \frac{R_c}{H_{m0}}\right)$$

$$q = 1,3 \left(\frac{1,1}{3,4}\right)^{0,5} 0,011 \sqrt{9,81 \cdot 1,5^3} \left(\frac{1,5}{3,4 \cdot 0,05}\right)^{0,5} \exp\left(-2,2 \frac{0,8}{1,5}\right) = 0,0432 \frac{m^3}{s} = 43,2 \frac{l}{s}$$

Proračun maksimalnog preljevnog volumena:

$$N_{ow} = \max \left\{ \begin{array}{l} N_w \exp\left[-1,21 \left(\frac{R_c}{H_{m0}}\right)^2\right] \\ N_w 0,024 \left(\frac{h^2}{H_{m0}L_{m-1,0}} \frac{R_c}{H_{m0}}\right)^{-1} \end{array} \right. = \max \left\{ \begin{array}{l} 819 \cdot \exp\left[-1,21 \left(\frac{0,8}{1,5}\right)^2\right] = 540 \\ 819 \cdot 0,024 \left(\frac{3,4^2}{1,5 \cdot 30,2} \frac{0,8}{1,5}\right)^{-1} = 145 \end{array} \right.$$

$$N_{ow} = 540 \text{ valova}$$

$$P_{ov} = \frac{N_{ow}}{N_w} = \frac{542}{819} = 0,66 = 66 \%$$

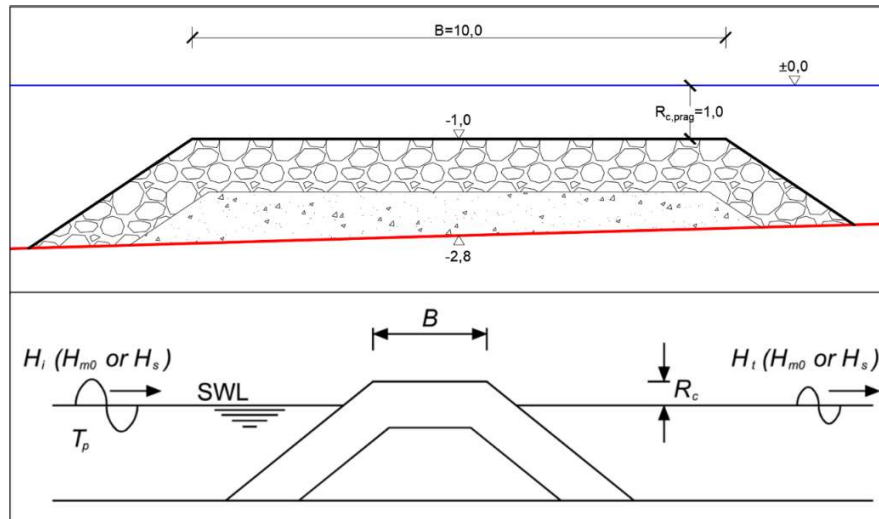
$$b = \begin{cases} 0,66 & \text{za } s_{m-1,0} = 0,02 \\ 0,82 & \text{za } s_{m-1,0} = 0,04 \end{cases} = 0,82$$

$$a = \left(\frac{1}{\Gamma\left(1+\frac{1}{b}\right)}\right) \left(\frac{qT_m}{P_{ov}}\right) = \left(\frac{1}{\Gamma\left(1+\frac{1}{0,82}\right)}\right) \left(\frac{0,0432 \cdot 4,0}{0,66}\right) = 0,24$$

$$V_{max} = a(\ln N_{ow})^{\frac{1}{b}} = 0,24 \cdot (\ln 540)^{\frac{1}{0,82}} = 2,22 m^3$$

Potopljeni valolom – srednja razina mora

Prije proračuna prelijevanja, potrebno je izračunati koliko će podmorski prag umanjiti visinu vala. Geometrija građevine prikazana je na slici 63.



Slika 63: Shematski prikaz potopljenog valoloma udaljenog 30 m od Obale Frana Supila za srednju razinu mora sa kotama u m (gore), shematski prikaz transmisije vala preko uronjenog valoloma sa parametrima (dole) [16]

Proračun transmisije vala preko uronjenog valoloma:

Val koji prilazi valolomu ima dubokovodnu vrijednost visine vala.

Ulazni parametri:

$$H_{m0} = 2,5 \text{ m}$$

$$T_{m-1,0} = 4,4 \text{ s}$$

$$L_{m-1,0} = 30,2 \text{ m}$$

$$R_{c,prag} = -1,0 \text{ m}$$

$$B = 10,0 \text{ m}$$

$$\tan \alpha = 1/1,5$$

$$\xi_{m-1,0} = \frac{\tan \alpha}{\left(\frac{H_{m0}}{L_{m-1,0}}\right)^{1/2}} = \frac{\frac{1}{1,5}}{\left(\frac{2,5}{30,2}\right)^{1/2}} = 2,32$$

$$K_t = -0,4 \frac{R_{c,prag}}{H_{m0}} + 0,64 \left(\frac{B}{H_{m0}}\right)^{-0,31} [1 - \exp(-0,5 \xi_{m-1,0})]$$

$$K_t = -0,4 \frac{1,0}{2,5} + 0,64 \left(\frac{10}{1,5}\right)^{-0,31} [1 - \exp(-0,5 * 2,32)] = 0,45$$

$$H_t = K_t * H_{m0} = 0,45 * 2,5 = 1,1 \text{ m} \quad \rightarrow \quad \text{Propuštena visina vala}$$

Pri srednjoj razini mora valolom je umanjio vrijednost visine vala za 1,4 m. Visina vala koji prilazi zahvaćenoj lokaciji odnosno obalnoj liniji iznosi 1,1 m.

Proračun preljevnog protoka pri srednjoj razini mora provodi se prema proračunu prelijevanja preko vertikalnog zida (slika 42).

Ulazni parametri:

$$R_c = 2,7 \text{ m}$$

$$H_{m0} = 1,1 \text{ m}$$

$$h = 0,1 \text{ m}$$

$$L_{m-1,0} = 30,2 \text{ m}$$

Proračun preljevnog protoka:

Preljevni protok računa se prema jednadžbi (13) zbog plitke razine vode (0,1 m) ispred obalnog zida:

$$q = 0.054 \sqrt{g H_{m0}^3} \exp \left[- \left(2.12 \frac{R_c}{H_{m0}} \right)^{1.3} \right] = 0.054 * \sqrt{9,81 * 1,5^3} \exp \left[- \left(2.12 \frac{2,7}{1,1} \right)^{1.3} \right] =$$

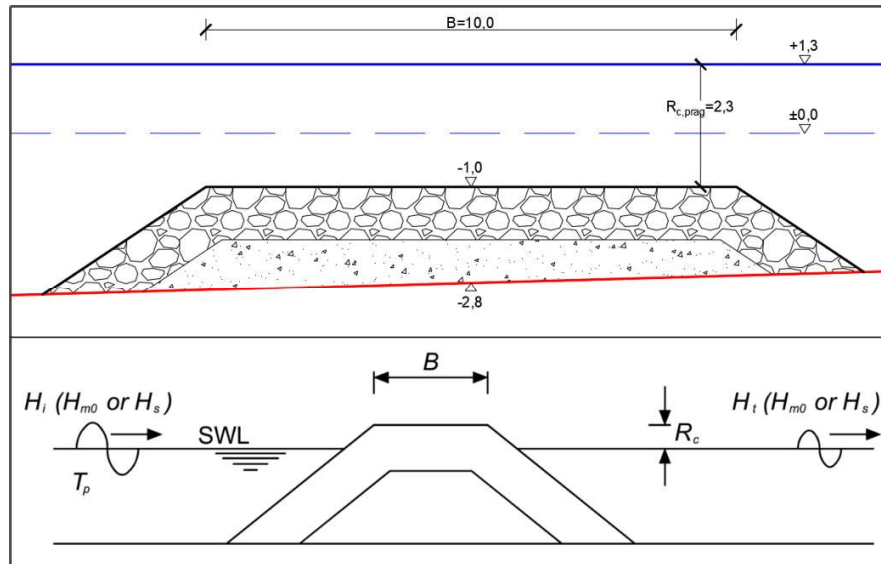
$$0,0 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0,0 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Proračun maksimalnog preljevnog volumena:

$$V_{max} = 0,0 \text{ m}^3$$

Potopljeni valolom – ekstremna razina mora bez klimatskih promjena

Prije proračuna prelijevanja, potrebno je izračunati koliko će podmorski prag umanjiti visinu vala. Geometrija građevine prikazana je na slici 64.



Slika 64: Shematski prikaz potopljenog valoloma udaljenog 30 m od Obale Frana Supila za ekstremnu razinu mora bez klimatskih promjena sa kotama u m (gore), shematski prikaz transmisije vala preko uronjenog valoloma sa parametrima (dole) [16]

Proračun transmisije vala preko uronjenog valoloma:

Val koji prilazi valolomu ima dubokovodnu vrijednost visine vala.

Ulazni parametri:

$$H_{m0} = 2,5 \text{ m}$$

$$T_{m-1,0} = 4,4 \text{ s}$$

$$L_{m-1,0} = 30,2 \text{ m}$$

$$R_{c, \text{prag}} = -2,3 \text{ m}$$

$$B = 10,0 \text{ m}$$

$$\tan \alpha = 1/1,5$$

$$\xi_{m-1,0} = \frac{\tan\alpha}{\left(\frac{H_{m0}}{L_{m-1,0}}\right)^{1/2}} = \frac{\frac{1}{1,5}}{\left(\frac{2,5}{30,2}\right)^{1/2}} = 2,32$$

$$K_t = -0,4 \frac{R_{c,prag}}{H_{m0}} + 0,64 \left(\frac{B}{H_{m0}}\right)^{-0,31} [1 - \exp(-0,5\xi_{m-1,0})]$$

$$K_t = -0,4 \frac{2,3}{2,5} + 0,64 \left(\frac{10}{1,5}\right)^{-0,31} [1 - \exp(-0,5 * 2,32)] = 0,65$$

$$H_t = K_t * H_{m0} = 0,45 * 2,5 = 1,6 \text{ m} \quad \rightarrow \quad \text{Propuštena visina vala}$$

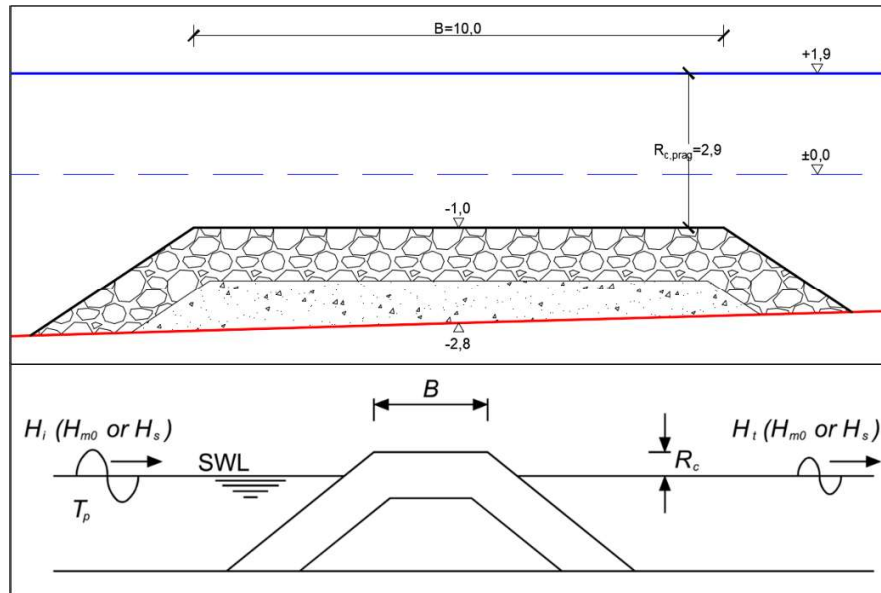
Pri srednjoj razini mora valolom je umanjio vrijednost visine vala za 0,9 m. propuštena visina vala iznosi 1,6 m te se kod nailaska na obalni zid zbog plićine mora smanjuje na 1,5 m.

Proračun preljevnog protoka pri visokoj razini mora bez klimatskih promjena provodi se prema proračunu prelijevanja preko vertikalnog zida (slika 44).

Dobivene su iste vrijednosti preljevnog protoka i maksimalnog volumena kao i za postojeće stanje.

Potopljeni valolom – ekstremna razina mora sa klimatskim promjenama

Prije proračuna prelijevanja, potrebno je izračunati koliko će podmorski prag umanjiti visinu vala. Geometrija građevine prikazana je na slici 65.



Slika 65: Shematski prikaz potopljenog valoloma udaljenog 30 m od Obale Frana Supila za ekstremnu razinu mora sa klimatskim promjenama sa kotama u m (gore), shematski prikaz transmisije vala preko uronjenog valoloma sa parametrima (dole) [16]

Proračun transmisije vala preko uronjenog valoloma:

Val koji prilazi valolomu ima dubokovodnu vrijednost visine vala.

Ulazni parametri:

$$H_{m0} = 2,5 \text{ m}$$

$$T_{m-1,0} = 4,4 \text{ s}$$

$$L_{m-1,0} = 30,2 \text{ m}$$

$$R_{c,prag} = -2,9 \text{ m}$$

$$B = 10,0 \text{ m}$$

$$\tan \alpha = 1/1,5$$

$$\xi_{m-1,0} = \frac{\tan \alpha}{\left(\frac{H_{m0}}{L_{m-1,0}}\right)^{1/2}} = \frac{\frac{1}{1,5}}{\left(\frac{2,5}{30,2}\right)^{1/2}} = 2,32$$

$$K_t = -0,4 \frac{R_{c,prag}}{H_{m0}} + 0,64 \left(\frac{B}{H_{m0}}\right)^{-0,31} [1 - \exp(-0,5 \xi_{m-1,0})]$$

$$K_t = -0,4 \frac{2,9}{2,5} + 0,64 \left(\frac{10}{1,5}\right)^{-0,31} [1 - \exp(-0,5 * 2,32)] = 0,75$$

$$H_t = K_t * H_{m0} = 0,75 * 2,5 = 1,9 \text{ m} \quad \rightarrow \quad \text{Propuštena visina vala}$$

Pri srednjoj razini mora valolom je umanjio vrijednost visine vala za 0,6 m. propuštena visina vala iznosi 1,9 m te se kod nailaska na obalni zid zbog plićine mora smanjuje na 1,5 m.

Proračun preljevog protoka pri visokoj razini mora bez klimatskih promjena provodi se prema proračunu prelijevanja preko vertikalnog zida (slika 45).

Dobivene su iste vrijednosti preljevog protoka i maksimalnog volumena kao i za postojeće stanje.

7.1.6. Diskusija rezultata prelijevanja dobivenih empirijskim izrazima

Sumarni rezultati analitičkih izraza za prelijevanje prikazani su u tablici 10.

Tablica 10: Preljevni protoci svake varijante po razini mora

Postupak	Obalni nasip	Nasuti lukobran	Vertikalni/kompozitni zid	Obalni nasip	Nasuti lukobran	Vertikalni/kompozitni zid	Obalni nasip	Nasuti lukobran	Vertikalni/kompozitni zid
	±0,00 (SRM)			+1,30 (bez KP)			+1,90 (sa KP)		
Razina mora (m n. m.)	q(l/s)	q(l/s)	q(l/s)	q(l/s)	q(l/s)	q(l/s)	q(l/s)	q(l/s)	q(l/s)
Varijante	Obalni zid		1,0			53,2			107,3
	Niska zaštitna školjera	1,2	0,1		17,4	7,0			25,5
	Visoka zaštitna školjera	4,6	0,1		65,8	7,0		183,7	69,6
	Kraći podmorski prag	0,2	0,1				17,1		33,0
	Duži podmorski prag	0,1	0,1				14,7		43,2
	Potopljeni valolom			0,0			53,2		107,3

Kao što je vidljivo iz tablice 10, obalni zid imati će dvostruko veće prelijevanje za ekstremnu razinu mora sa klimatskim promjenama nego bez istih zbog veće razine mora.

Preljevni protok visoke zaštitne školjere dobiven iz proračuna prema nasutom lukobranu (0,1 l/s, 7,0 l/s, 69,6 l/s) manja je vrijednost od preljevnog protoka izračunatog prema glatkom nasipu sa šetnicom i zidom (4,6 l/s, 65,8 l/s, 183,7 l/s). Protok prelijevanja velike školjere izračunat preko nasutog lukobrana realnija je vrijednost zato jer proračun prelijevanja preko nasipa sa zidom pretpostavlja glatki pokos a s obzirom da je prisutna školjera, puno energije će se gubiti na kamenom materijalu. Formule za proračun prelijevanja preko nasipa sa zidom provedeni su u eksperimentima koji sadržavaju glatke nasipe stoga ne sadržavaju faktor propusnosti i hrapavosti te faktor nagiba vala. Iz tog će razloga proračun podcijeniti prelijevanje u odnosu na proračun za nasuti lukobran.

Preljevni protok dobiven proračunom prelijevanja preko nasutog lukobrana pri srednjoj razini mora iznosi 0,1 l/s, odnosno prelijevanje nije spriječeno nego postoji zapljuskivanje o školjeru te zanemariva količina prelijevanja.

Preljevni protok niske zaštitne školjere kod visoke razine mora od +1,3 m n. m. bliži je i vjerojatniji vrijednosti od 7,0 l/s nego od 17,4 l/s pošto je proračunat preko izraza prelijevanja prema nasutom lukobranu koji sadrži faktor propusnosti i hrapavosti te faktor nagiba vala.

Vrijednosti preljevskog protoka niske i visoke zaštitne školjere te kraćeg i dužeg podmorskog praga izračunate prema nasutom lukobranu za razine mora od 0,0 i +1,3 m n. m. su jednake (0,1 l/s i 7,0 l/s) jer nije uzeta u obzir visina krune školjere. Naime, proračun prelijevanja preko nasutog lukobrana ovisi o parametru visine školjere ili visine obalnog zida iznad razine mora. U svim varijantama za srednju razinu mora, visoku razinu mora bez i sa klimatskim promjenama visina krune školjere nalazi se ispod obalnog zida. Za takav slučaj u proračun se nastavlja sa visinom obalnog zida. Proračun prelijevanja preko nasutog lukobrana će biti jednak za sve varijante jer ovisi o visini obalnog zida koja je jednaka u svim varijantama. Formula za izračun preljevskog protoka je ograničena jer visina krune školjere ima utjecaja jedino ako ne nalazi iznad kote visine zida.

Vrijednosti preljevskog protoka niske zaštitne školjere od 1,2 l/s za 0,0 m n. m. i 17,4 l/s za +1,3 m n. m., koje su dobivene prema proračunu preko nasipa sa zidom, manje su u odnosu na vrijednosti protoka visoke zaštitne školjere koji su 4,6 l/s za 0,0 m n. m. i 65,8 l/s za +1,3 m n. m. Za ekstremnu razinu mora sa klimatskim promjenama +1,9 m n. m. niska školjera ima preljevni protok od 25,5 l/s, a visoka školjera prelijeva 69,6 l/s. Preljevni protok niske školjere dobiven je prema formuli prelijevanja preko kompozitnog vertikalnog zida dok je protok visoke školjere izračunat prema formuli prelijevanja preko nasutog lukobrana. Proračun prelijevanja preko kompozitnog vertikalnog zida ovisi o dubini vode ispred nožice nasipa h , dubini vode iznad nasipa d te visini zida od razine mora R_c . Sudeći prema dobivenim rezultatima, niska školjera je povoljnija od visoke školjere. Objašnjenje je da se kod niske školjere val popne uz školjeru i udari o obalni zid pri čemu pljesne prema gore te zapljusne preko zida. U slučaju visoke školjere val nailazi na kameni materijal gdje dolazi do run-upa te jako puno više vala dođe do vrha krune i ništa ga ne sprječava da se prelije preko. Prethodna dva scenarija mogu u određenim situacijama imati smisla no u stvarnosti bi velika školjera trebala uvelike disipirati energiju vala te

spriječiti njegovo prelijevanje. U stvarnosti je moguće da niska školjera neće biti povoljnija s obzirom na prave dimenzije iako u proračunu ispada da je.

Pri visokim vodama bez klimatskih promjena kraći podmorski prag daje veći preljevni protok od 17,1 l/s nego duži koji iznosi 44,7 l/s. No za slučaj visoke vode sa klimatskim promjenama duži podmorski prag daje veća prelijevanja od 43,2 l/s nego od kraćeg sa protokom od 33,0 l/s. U oba dva slučaja protok prelijevanja izračunat je prema postupku prelijevanja preko vertikalnog kompozitnog zida. Formula kod kraćeg praga pretpostavlja da je pliča dubina mora u odnosu na duži prag jer ima manju vrijednost h . Formula uzima u obzir dubinu krune praga d i dubinu mora ispred nožice praga h . U izrazu se ne uzima u obzir dužina praga nego se pretpostavlja da su pragovi jednake udaljenosti na jednakoj visinskoj koti ali na različitim dubinama mora pošto duži prag doseže dalje stoga je nožica na većoj dubini. Pošto veća dubina mora daje veće prelijevanje, za slučaj visoke vode sa klimatskim promjenama duži podmorski prag daje veća prelijevanja.

Potopljeni valolom smanjuje značajnu visinu vala pri srednjoj razini vode te ne dolazi do prelijevanja. No, s druge strane daje uvjerljivo najgore odnosno najveće protoke prelijevanja pri pojavi visoke vode bez i sa klimatskim promjenama te ne pridonosi umanjenju prelijevanja.

Analitičkim izrazi pokazuju da je niska zaštitna školjera najpovoljnija te ima najmanji protok prelijevanja no upitno je da li su ti rezultati realni i važeći u stvarnosti. Zbog prethodno navedenih razloga i pošto rezultati nisu realni, napravljeni su fizikalni eksperimenti kako bi se dobila realnija slika prelijevanja i da se utvrdi koji je tip građevine stvarno učinkovitiji.

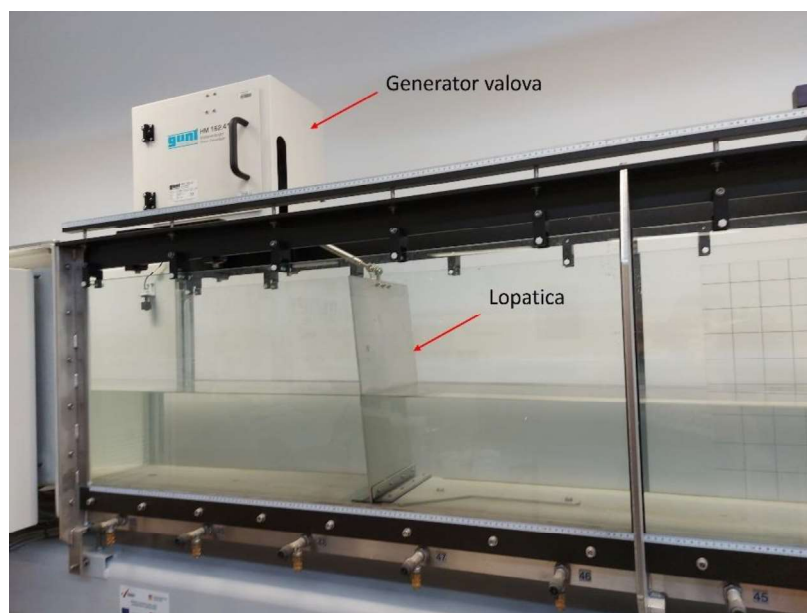
7.2. Fizikalni model

7.2.1. Uspostava fizikalnog modela

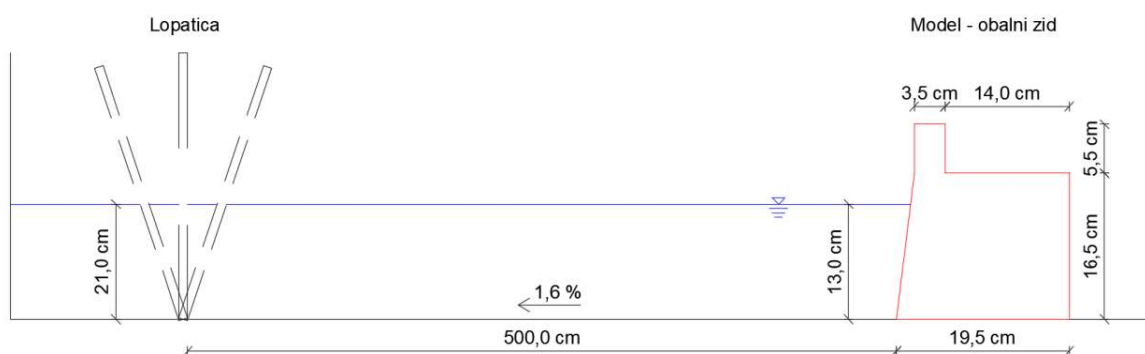
Kako bi se dodatno procijenila učinkovitost predloženih rješenja zaštite naselja Volosko, te dobila realnija slika prelijevanja, proveden je fizikalni eksperiment. Fizikalni model izrađen je u Hidrotehničkom laboratoriju Građevinskog fakulteta u Rijeci pomoću 3D printera te je istraživanje provedeno u hidrauličkom kanalu.

Valovi se proizvode lopaticom koju pokreće generator valova u hidrauličkom kanalu dužine 12,5 m, širine 31 cm i visine 45 cm. Kanal čine nosači od nehrđajućeg čelika i plastične stijenke ojačane staklom. Generator valova čine motor sa pretvaračem frekvencije i koljenasti mehanizam koji pokreće lopaticu koja je pričvršćena za dno kanala kao što je prikazano na slici 66. Generator valova postavljen je na krak od 200 mm čime se dobiva kut otklona lopatice od 18,5°. Valovi se rasipaju na obalnom zidu koji je smješten na drugom kraju kanala. Za potrebe eksperimenta koristio se umanjeni model građevine – obalni zid u naselju Volosko na Obali Frana Supila. Model je u mjerilu 1:12,5 te je isprintan pomoću 3D printera. Model je postavljen u kanal sa vodom te udaljenost između modela i lopatice koja generira valove iznosi 5 m. Visina vala varira duž kanala jer ipak dolazi do neke refleksije. Oscilacije razine vode izmjerene su na udaljenosti od 1,5 m ispred modela u kanalu.

Eksperimentalni kanal (slika 67) podešen je na nagib od 1,6 % dok dubina vode ispred lopatice iznosi 21 cm te dubina vode ispred modela iznosi 13 cm. Položaj vode u kanalu predočuje srednju razinu mora.



Slika 66: Generator valova sa lopaticom u kanalu sa vodom



Slika 67: Shematski prikaz kanala s vodom, lopatice i modela (nije u mjerilu)

Fizikalni eksperiment proveden je za ukupno 7 scenarija mjerenja. Za svaki scenarij frekvencija lopatice varirala je između 0,5 i 1,1 Hz sa korakom od 0,05 Hz čime je provedeno ukupno 13 mjerenja valovanja za svaki scenarij. Svaki je scenarij i za svaku frekvenciju fizikalni model obale bio izložen djelovanju valovima u trajanju od jedne minute od trenutka kada se prvi val prelio preko zida. Ukupno prelijevanje preko zida mjerilo se pomoću plastične posude koja se nalazila na modelu tako što se posuda, odnosno prikupljena voda od prelijevanje vagala nakon svake iteracije.

Za vršenje svake iteracije potrebno je namjestiti odgovarajuću frekvenciju vala. Prije početka određene iteracije pokusa, ručno se zadaje odgovarajuća frekvencija (slika 68).

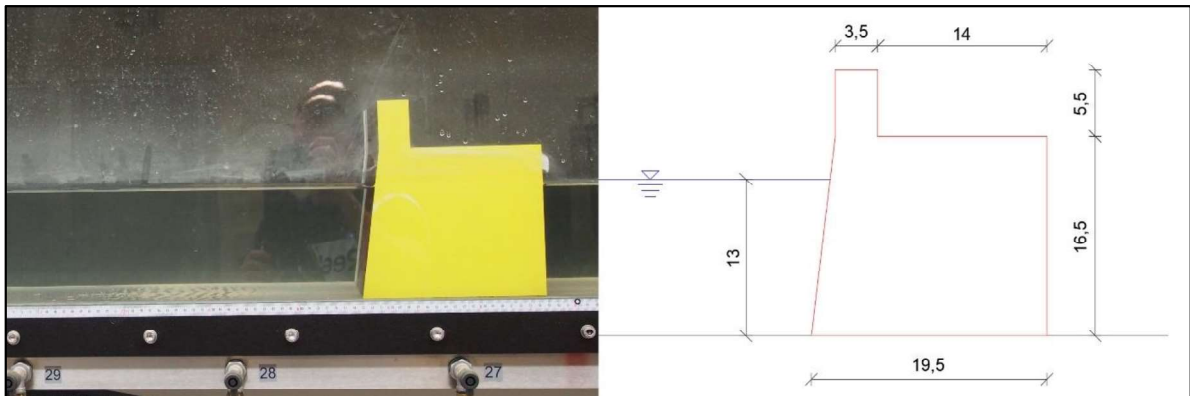


Slika 68: Kontrolna ploča kanala s vodom

Za potrebe eksperimenta napravljeno je 7 različitih scenarija koji su bili izloženi valovima. Scenariji koji su se koristili u eksperimentu navedeni su u nastavku sa poretkom od najmanje količine materijala prema većem:

1. Scenarij: Obalni zid (postojeće stanje)

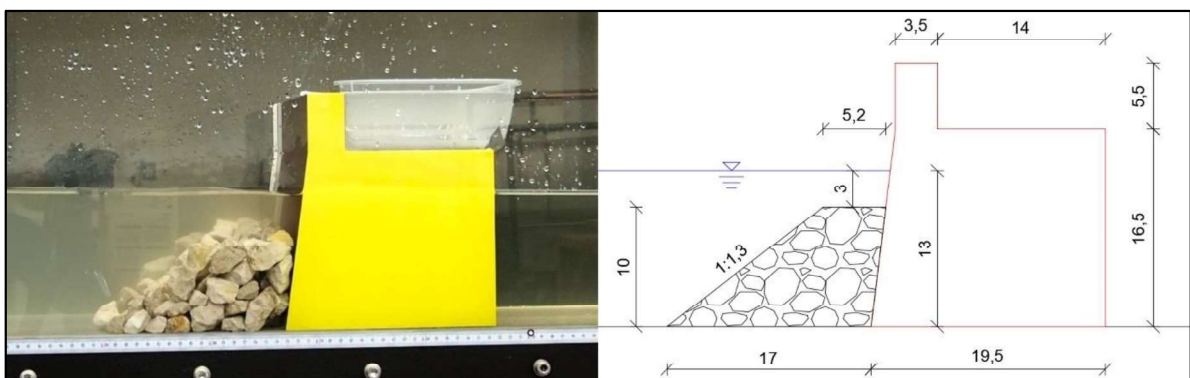
Prvi scenarij ujedno predstavlja postojeće stanje na Obali Frana Supila u naselju Volosko. Radi se o običnom vertikalnom zidu bez ikakve vrste zaštite ispred zida. Geometrijske karakteristike scenarija prikazane su na slici 69.



Slika 69: 1. scenarij – obalni zid; položaj scenarija u laboratoriju (lijevo) i shematski prikaz sa dimenzijama u cm (desno)

2. scenarij: Niska zaštitna školjera

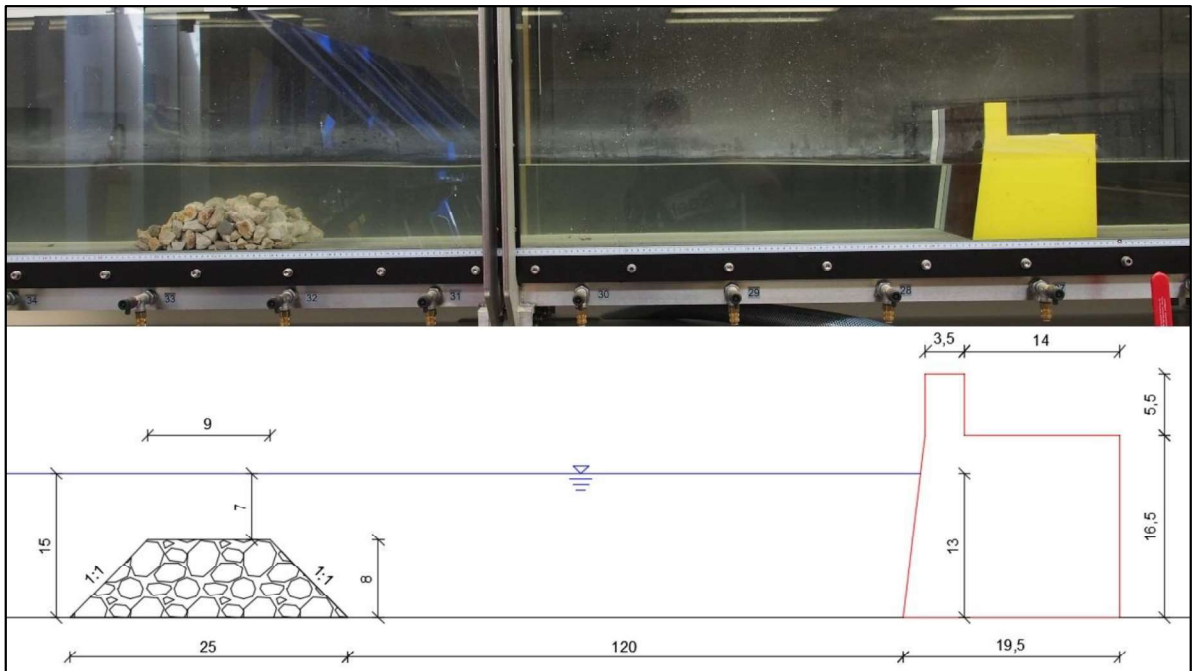
Kod drugog scenarija ispred modela postavljen je agregat frakcije 16 – 32 mm. Agregat je ugrađen pod nagibom od 1:1,3 te je položen ~3 cm ispod razine vode. Geometrijske karakteristike scenarija prikazane su na slici 70.



Slika 70: 2. scenarij – niska zaštitna školjera; položaj scenarija u laboratoriju (lijevo) i shematski prikaz sa dimenzijama u cm (desno)

3. scenarij: Niži potopljeni valolom

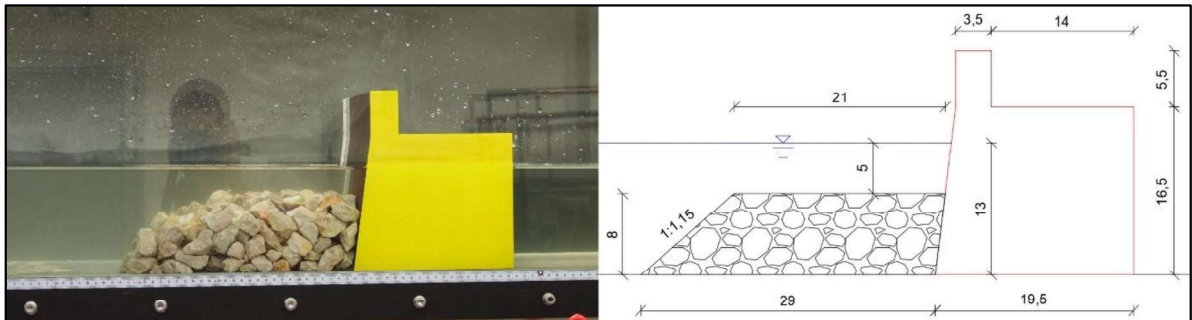
Potopljeni podmorski prag postavljen je na udaljenosti od 120 cm od modela. Kameni materijal je visine 8 cm što odgovara malo više od polovice razine vode na mjestu praga koja iznosi 15 cm. Geometrijske karakteristike scenarija prikazane su na slici 71.



Slika 71: 3. scenarij – niži potopljeni valolom; položaj scenarija u laboratoriju (gore) i shematski prikaz sa dimenzijama u cm (dole)

4. scenarij: Kraći podmorski prag

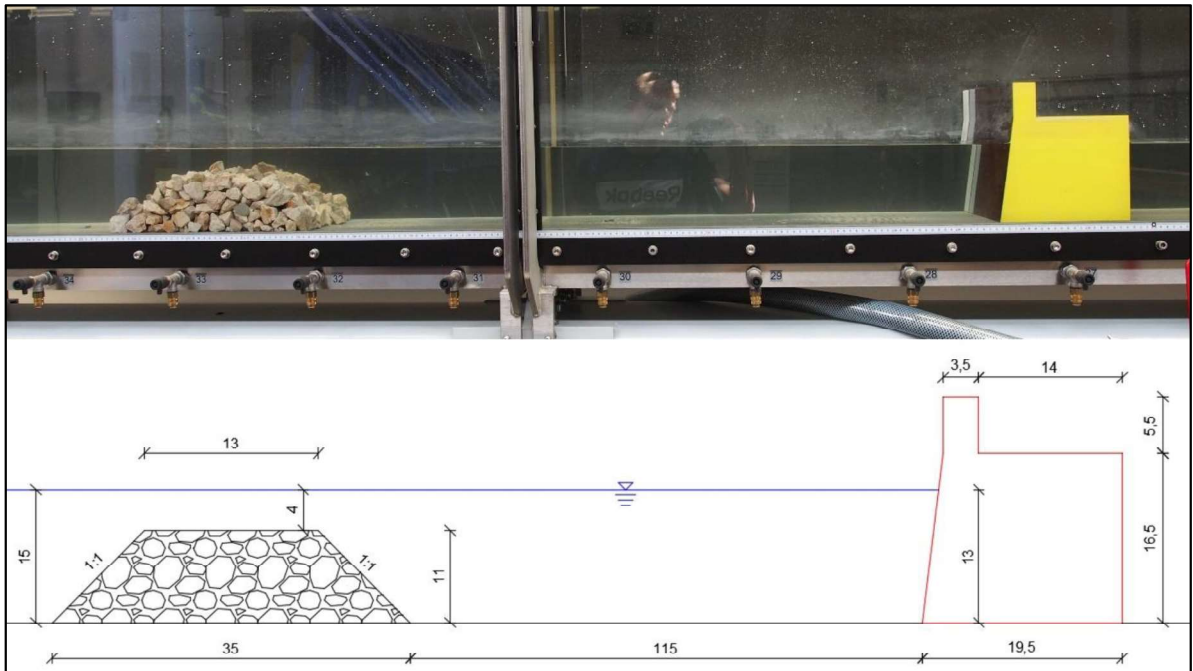
U ovome scenariju kameni agregat polaže se 5 cm ispod razine vode i proteže se 29 cm ispred modela. Geometrijske karakteristike scenarija prikazane su na slici 72.



Slika 72: 4. scenarij – kraći podmorski prag; položaj scenarija u laboratoriju (lijevo) i shematski prikaz sa dimenzijama u cm (desno)

5. scenarij: Viši potopljeni valolom

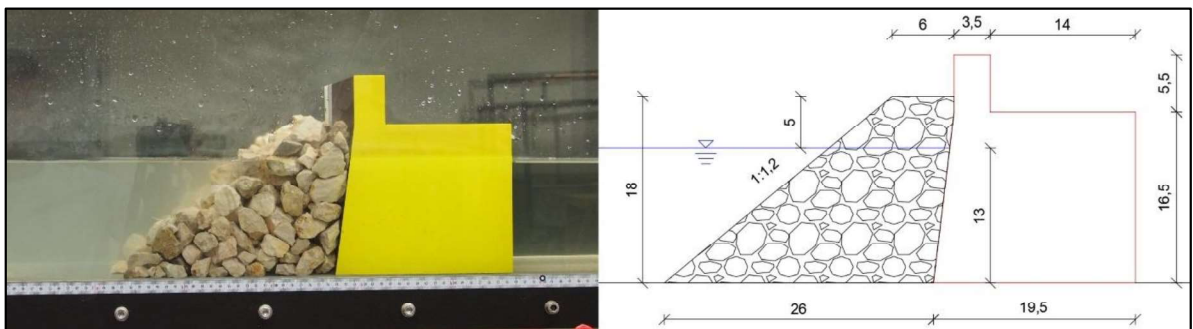
Visina potopljenog praga je 11 cm što odgovara $\frac{2}{3}$ visine vode na toj lokaciji koja iznosi 15 cm. Prag se nalazi na udaljenosti od 115 cm od modela. Geometrijske karakteristike scenarija prikazane su na slici 73.



Slika 73: 5. scenarij – viši potopljeni valolom; položaj scenarija u laboratoriju (gore) i shematski prikaz sa dimenzijama u cm (dole)

6. scenarij: Visoka zaštitna školjera

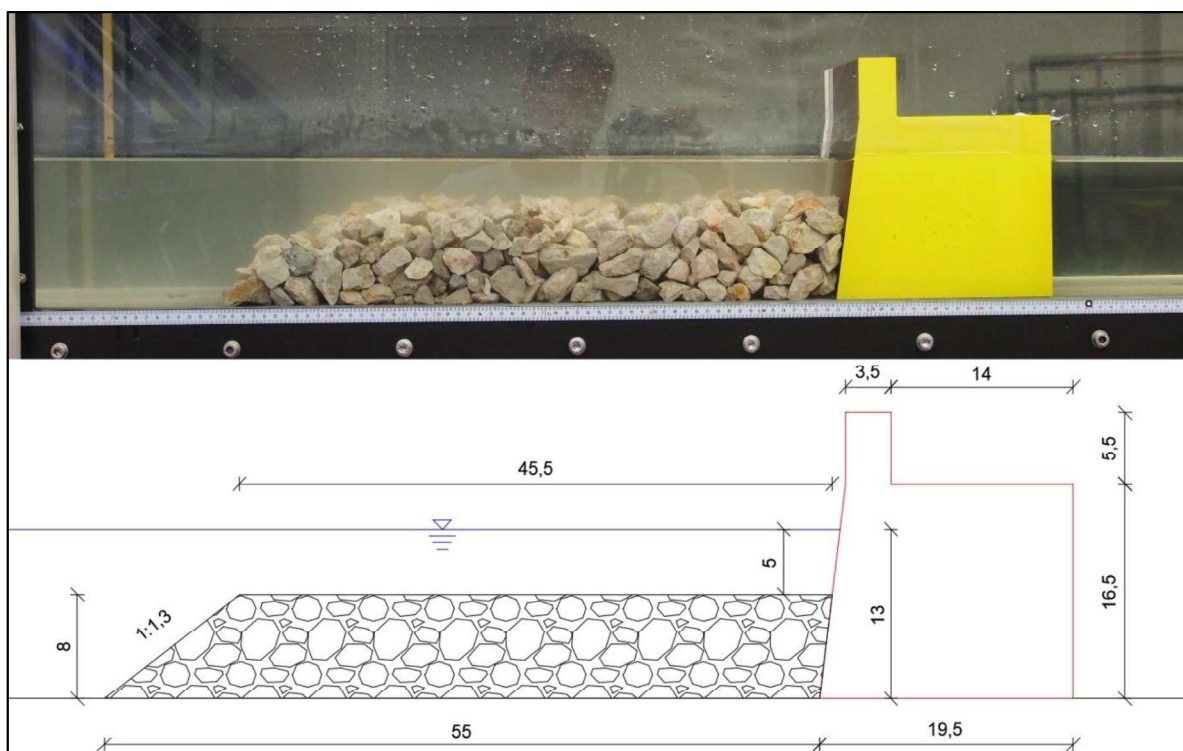
Agregat je postavljen sa nagibom od 1:1,2. Izdignut je za 5 cm iznad razine vode i prostire se 26 cm ispred modela.. Geometrijske karakteristike scenarija prikazane su na slici 74.



Slika 74: 6. scenarij – visoka zaštitna školjera; položaj scenarija u laboratoriju (lijevo) i shematski prikaz sa dimenzijama u cm (desno)

7. scenarij: Duži podmorski prag

Kod dužeg podmorskog praga kameni agregat položen je 5 cm ispod razine vode i ukupne je dužine od 55 cm. Geometrijske karakteristike scenarija prikazane su na slici 75.



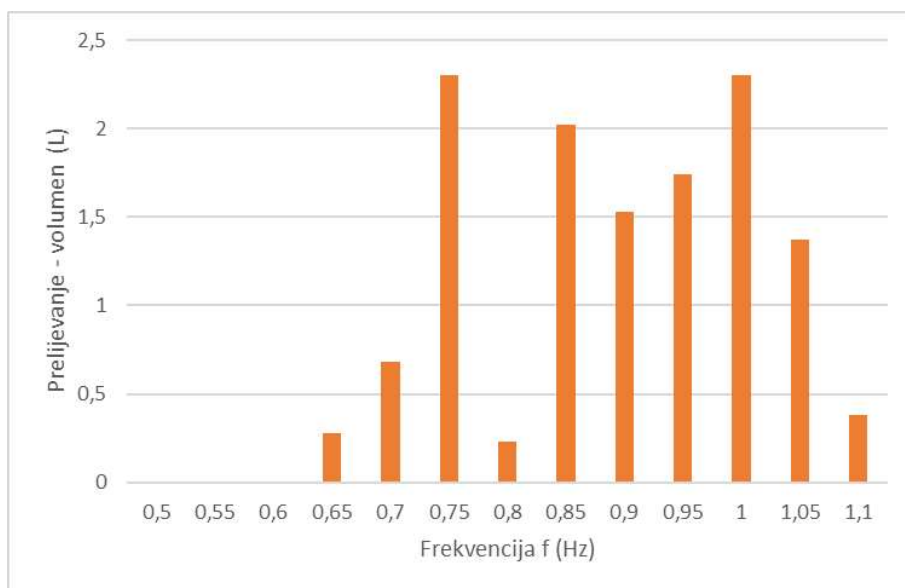
Slika 75: 7. scenarij – duži podmorski prag; položaj scenarija u laboratoriju (gore) i shematski prikaz sa dimenzijama u cm (dole)

7.2.2. Rezultati fizikalnog modeliranja

U 1. scenariju, koji predstavlja postojeće stanje, prelijevanje nije zabilježeno za frekvencije od 0,5, 0,55 i 0,6 Hz odnosno visine valova 2,6 cm, 10,6 cm te 3,6 cm. Najveća prelijevanja bila su pri frekvencijama višim od 0,7 Hz izuzev frekvencije 0,8 Hz koja je zabilježila najmanje prelijevanje. Ukupno se prelilo 247 od 397 valova (62 % valova). Najveći volumen prelijevanja od 2,3 L zabilježen je za frekvencije od 0,75 i 1,0 Hz. Kod frekvencije od 0,75 Hz posuda se napunila do vrha nakon 30 sekundi dok se za frekvenciju od 1,0 Hz posuda napunila pri samom kraju mjerenja koje je trajalo 60 sekundi. Ukupno za sve frekvencije izmjereno je prelijevanje od 12,82 L. U tablici 11 prikazani su sumarni rezultati eksperimentalnog istraživanja na fizikalnom modelu, a na slici 76 prikazani su volumeni prelijevanja po frekvencijama.

Tablica 11: Prikaz rezultata 1. scenarija

Obalni zid (postojeće stanje)													
Frenkvencija f (Hz)	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1
Period vala T (s)	2,0	1,8	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9
Duljina vala L (cm)	6,2	5,2	4,3	3,7	3,2	2,8	2,4	2,2	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3
Prosječna visina vala (cm)	2,6	10,6	3,6	12,6	4,6	20,6	14,6	28,6	20,6	16,6	30,6	28,6	16,6
Doseg vode u kanalu (cm)	17	21	17,5	22	18	26	23	30	26	24	31	30	24
Broj preljevni valova N	/	/	/	8	10	27	9	34	17	37	46	41	18
Broj valova N	/	/	/	42	24	28	22	45	36	50	55	54	41
Postotak preljevni valova (%)	/	/	/	19	42	96	41	76	47	74	84	76	44
Preljevanje - masa (g)	/	/	/	281	676	2300	228	2018	1525	1742	2300	1374	375
Preljevanje - volumen (L)	/	/	/	0,28	0,68	2,3	0,23	2,02	1,53	1,74	2,3	1,37	0,38

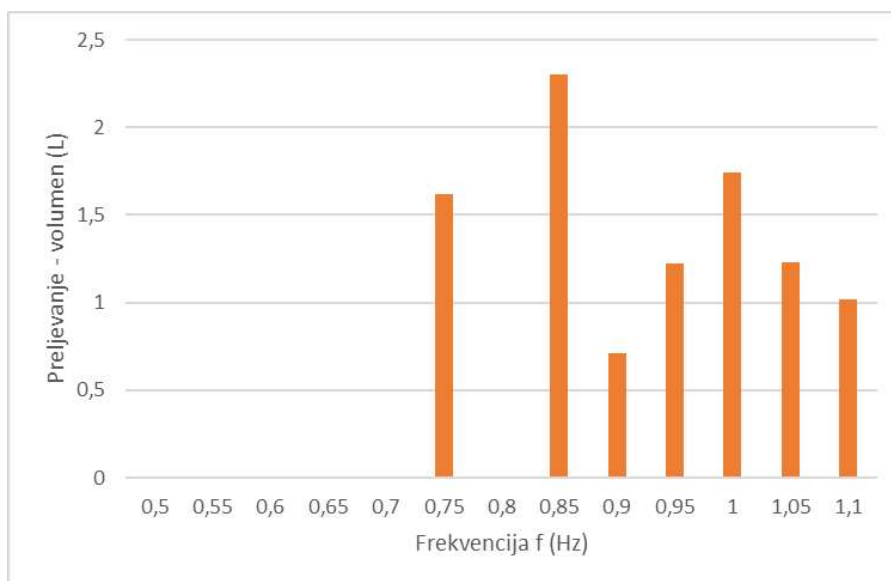


Slika 76: Dijagram prelijevanja 1. scenarija (postojeće stanje) za pojedinu frekvenciju

Kod 2. scenarija, prelijevanje nije zabilježeno za frekvencije 0,5 – 0,7 Hz te za frekvenciju 0,8 Hz. U ovom se scenariju ukupno pretilo 282 od 346 valova. Drugim riječima pretilo se 62 % valova. Frekvencija 0,85 Hz bilježi najveći volumen prelijevanja od 2,3 L koji je ujedno maksimalni kapacitet posude. Posuda se napunila prije završetka mjerenja i to za 40 sekundi. Ukupno za sve frekvencije izmjereno je prelijevanje od 9,84 L. U tablici 12 prikazani su sumarni rezultati eksperimentalnog istraživanja na fizikalnom modelu, a na slici 77 prikazani su volumeni prelijevanja po frekvencijama.

Tablica 12: Prikaz rezultata 2. scenarija

Niska zaštitna školjera													
Frekvencija f (Hz)	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1
Period vala T (s)	2,0	1,8	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9
Duljina vala L (cm)	6,2	5,2	4,3	3,7	3,2	2,8	2,4	2,2	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3
Prosječna visina vala (cm)	2,6	8,6	2,6	10,6	4,6	12,6	10,6	26,6	16,6	18,6	24,6	22,6	18,6
Doseg vode u kanalu (cm)	17	20	17	21	18	22	21	29	24	25	28	27	25
Broj prelivnih valova N	/	/	/	/	/	51	/	36	16	37	45	41	56
Broj valova N	/	/	/	/	/	53	/	36	38	53	51	49	66
Postotak prelivnih valova (%)	/	/	/	/	/	96	/	100	42	70	88	84	85
Prelijevanje - masa (g)	/	/	/	/	/	1617	/	2300	707	1217	1737	1234	1023
Prelijevanje - volumen (L)	/	/	/	/	/	1,62	/	2,3	0,71	1,22	1,74	1,23	1,02

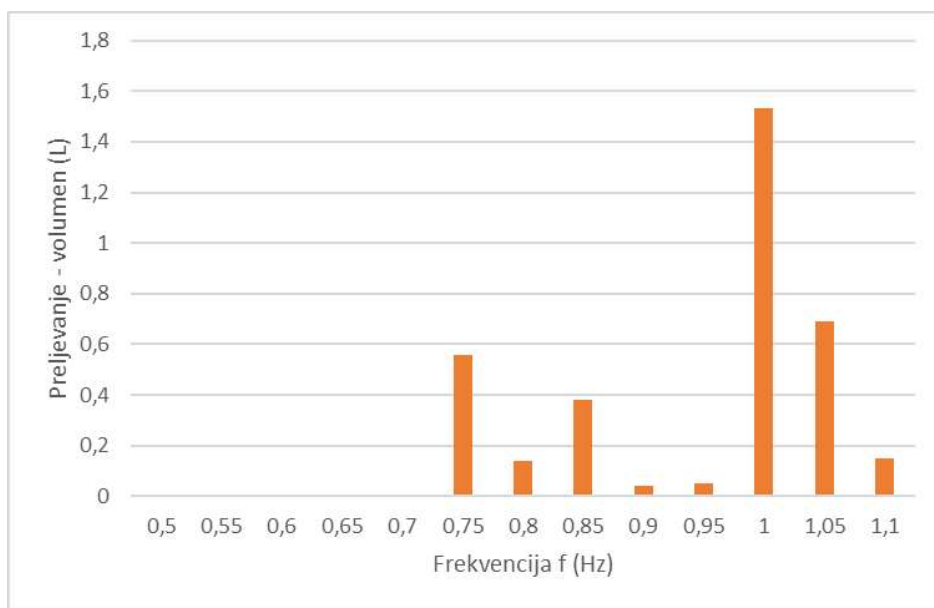


Slika 77: Dijagram prelijevanja 2. scenarija (niska zaštitna školjera) za pojedinu frekvenciju

U scenariju sa nižim potopljenim valolomom za frekvencije 0,5 – 0,7 Hz nije zabilježeno nikakvo prelijevanje. Prelijevanje je bilo zanemarivo za frekvenciju od 0,65 Hz. ukupno se prelilo 105 od 385 valova, odnosno 27 % valova. Najveći volumen prelijevanja od 1,53 L zabilježen je za frekvenciju od 1,0 Hz. Pri toj frekvenciji doseg vode u kanalu prije valoloma bio je 30 cm, a nakon valoloma spustio se za 7 cm te je iznosio 23 cm. Ukupno za sve frekvencije izmjereno je prelijevanje od 3,55 L. U tablici 13 prikazani su sumarni rezultati eksperimentalnog istraživanja na fizikalnom modelu, a na slici 78 prikazani su volumeni prelijevanja po frekvencijama.

Tablica 13: Prikaz rezultata 3. scenarija

Niži potopljeni valolom													
Frekvencija f (Hz)	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1
Period vala T (s)	2,0	1,8	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9
Duljina vala L (cm)	6,2	5,2	4,3	3,7	3,2	2,8	2,4	2,2	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3
Prosječna visina vala (cm)	3,6	11,6	2,6	10,6	2,6	18,6	6,6	18,6	18,6	10,6	28,6	22,6	16,6
Doseg prije valoloma (cm)	17,5	21,5	17	21	17	25	19	25	25	21	30	27	24
Doseg nakon valoloma (cm)	16	21	16	19	16	20	17	22	23	19	23	22	22
Broj preljevnih valova N	/	/	/	1	/	10	7	15	10	5	29	20	8
Broj valova N	/	/	/	42,0	/	50,0	26,0	33,0	52,0	35,0	41,0	31,0	75,0
Postotak preljevnih valova (%)	/	/	/	2	/	20	27	45	19	14	71	65	11
Prelijevanje - masa (g)	/	/	/	2	/	560	144	382	41	53	1534	685	149
Prelijevanje - volumen (L)	/	/	/	0	/	0,56	0,14	0,38	0,04	0,05	1,53	0,69	0,15

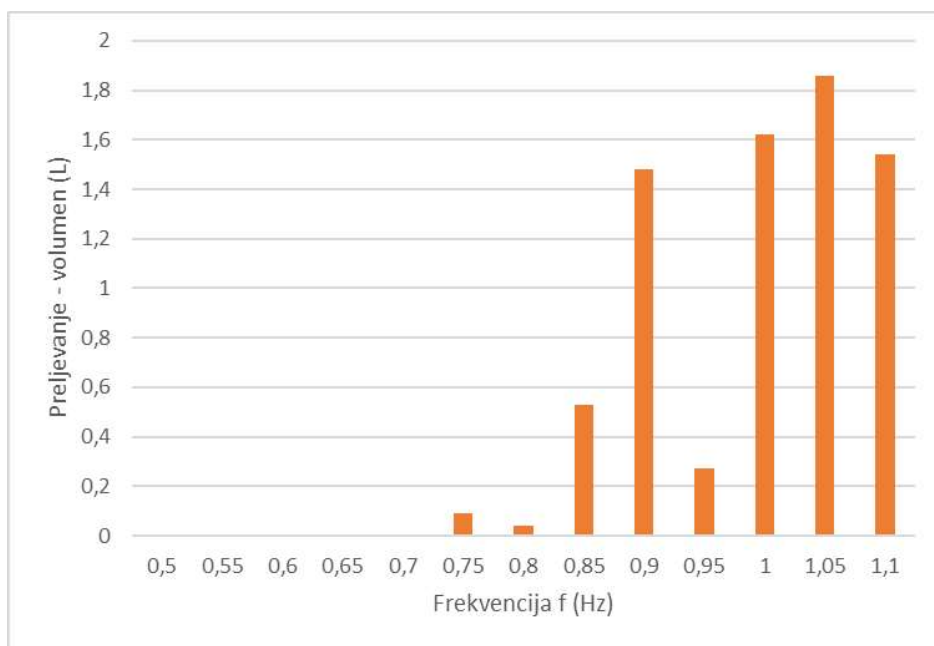


Slika 78: Dijagram prelijevanja 3. scenarija (niži potopljeni valolom) za pojedinu frekvenciju

U 4. scenariju prelijevanje nije zabilježeno za frekvencije 0,5 – 0,7 Hz. najveća prelijevanja bila su pri većim frekvencijama što u prethodnim scenarijima nije bio slučaj. Ukupno se pretilo 325 od 438 valova, odnosno 74 % valova. Za frekvenciju od 1,0 Hz nema podataka o broju preljevni i ukupni valova stoga broj preljevni i ukupni valova nije mjerodavan. Najveći volumen prelijevanja od 1,86 L zabilježen je za frekvenciju od 1,05 Hz pri kojoj se pretilo 100 % valova. Pri frekvenciji od 1,05 Hz visina vala je 16,6 cm dok je za frekvenciju od 1,1 Hz visina vala 18,6 cm iako je manje ukupno prelijevanje. Ukupno za sve frekvencije izmjereno je prelijevanje od 7,42 L. U tablici 14 prikazani su sumarni rezultati eksperimentalnog istraživanja na fizikalnom modelu, a na slici 79 prikazani su volumeni prelijevanja po frekvencijama.

Tablica 14: Prikaz rezultata 4. scenarija

	Kraći podmorski prag												
Frekvencija f (Hz)	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1
Period vala T (s)	2,0	1,8	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9
Duljina vala L (cm)	6,2	5,2	4,3	3,7	3,2	2,8	2,4	2,2	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3
Prosječna visina vala (cm)	2,6	8,6	4,6	9,6	2,6	7,6	6,6	9,6	10,6	7,6	12,6	16,6	18,6
Doseg vode u kanalu (cm)	17	20	18	20,5	17	19,5	19	20,5	21	19,5	22	24	25
Broj preljevni valova N	/	/	/	/	/	15	4	54	59	45	n/p	72	76
Broj valova N	/	/	/	/	/	52	55	58	64	61	n/p	72	76
Postotak preljevni valova (%)	/	/	/	/	/	29	7	93	92	74	n/p	100	100
Prelijevanje - masa (g)	/	/	/	/	/	86	36	534	1483	270	1618	1855	1536
Prelijevanje - volumen (L)	/	/	/	/	/	0,09	0,04	0,53	1,48	0,27	1,62	1,86	1,54

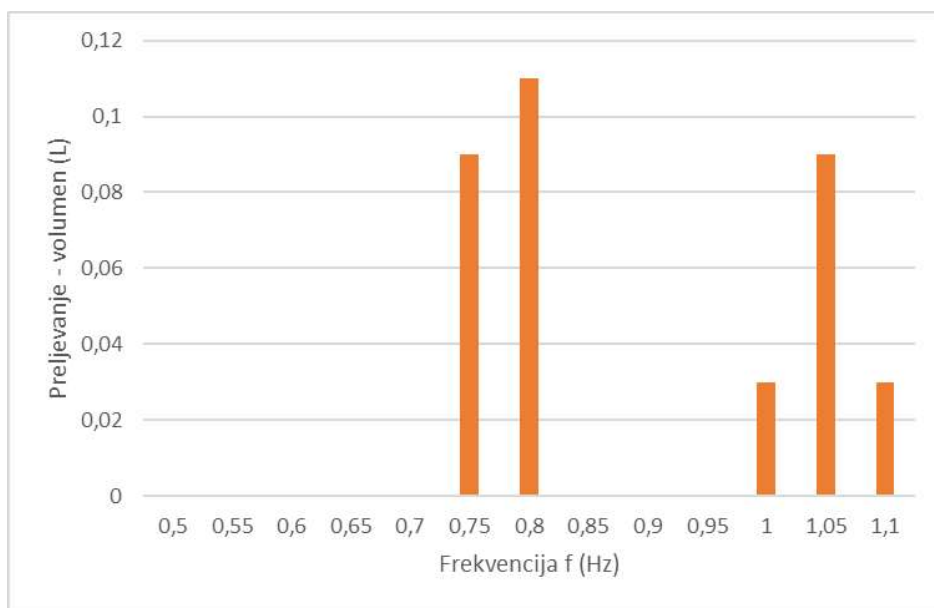


Slika 79: Dijagram prelijevanja 4. scenarija (kraći podmorski prag) za pojedinu frekvenciju

U 5. scenariju nije zabilježeno prelijevanje za frekvencije od 0,5 Hz, 0,55 Hz, 0,6 Hz, 0,65 Hz, 0,7 Hz, 0,85 Hz, 0,9 Hz te 0,95 Hz. Preljevanje je bilo zanemarivo za frekvenciju od 0,75 Hz pošto se prelio samo jedan val na početku mjerenja koji je posljedica naglog povećanja frekvencije do željene vrijednosti. Ukupno se prelio 56 od 262 valova, odnosno 21 % valova. Najveći volumen prelijevanja od 0,11 L zabilježen je za frekvenciju od 0,8 Hz. Pri toj frekvenciji doseg vode u kanalu prije valoloma bio je 21 cm, a nakon valoloma spustio se za 2 cm te je iznosio 19 cm. Ukupno za sve frekvencije izmjereno je prelijevanje od 0,35 L. U tablici 15 prikazani su sumarni rezultati eksperimentalnog istraživanja na fizikalnom modelu, a na slici 80 prikazani su volumeni prelijevanja po frekvencijama.

Tablica 15: Prikaz rezultata 5. scenarija

	Viši potopljeni valolom												
Frekvencija f (Hz)	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1
Period vala T (s)	2,0	1,8	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9
Duljina vala L (cm)	6,2	5,2	4,3	3,7	3,2	2,8	2,4	2,2	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3
Prosječna visina vala (cm)	4,6	6,6	1,6	16,6	4,6	20,6	10,6	8,6	16,6	10,6	12,6	14,6	14,6
Doseg prije valoloma (cm)	18	19	16,5	24	18	26	21	20	24	21	22	23	23
Doseg nakon valoloma (cm)	15	17	15	20	16	23	19	19	20	19	20	20	19
Broj preljevnih valova N	/	/	/	/	/	1	7	/	/	/	20	13	15
Broj valova N	/	/	/	/	/	51	16	/	/	/	66	57	72
Postotak preljevnih valova (%)	/	/	/	/	/	2	44	/	/	/	30	23	21
Preljevanje - masa (g)	/	/	/	/	/	87	111	/	/	/	28	86	33
Preljevanje - volumen (L)	/	/	/	/	/	0,09	0,11	/	/	/	0,03	0,09	0,03

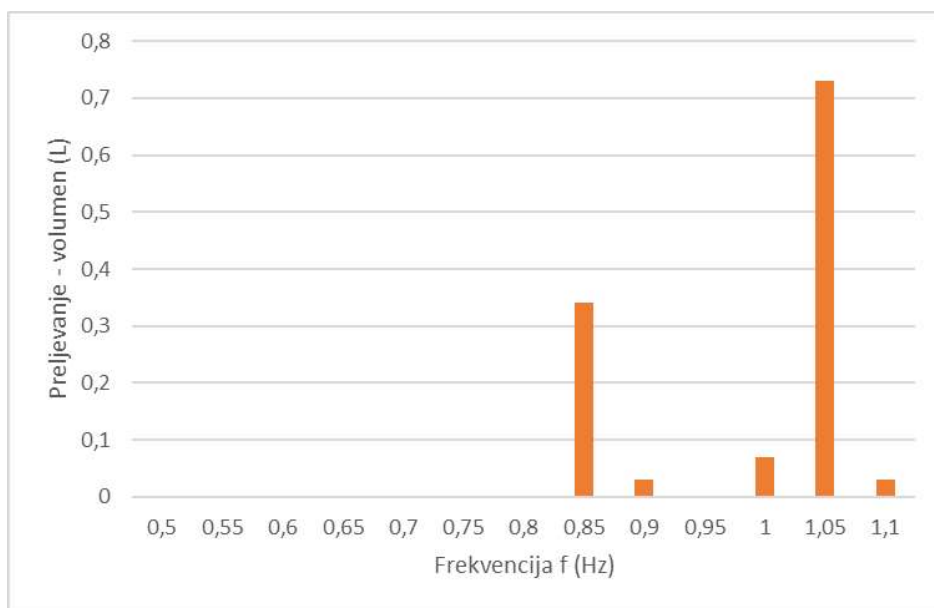


Slika 80: Dijagram prelijevanja 5. scenarija (viši potopljeni valolom) za pojedinu frekvenciju

Kod 5. scenarija prelijevanje nije zabilježeno za frekvencije 0,5 – 0,8 Hz te 0,95 Hz. prelijevanje je bilo zanemarivo za frekvenciju od 1,1 Hz kod koje se prelio samo jedan val od ukupno 72. Ukupno se prelio 117 od 333 valova, odnosno 35 % valova. Najveći volumen prelijevanja od 0,73 L zabilježen je za frekvenciju od 1,05 Hz odnosno za visinu vala od 16,6 cm. Ukupno za sve frekvencije izmjereno je prelijevanje od 1,19 L. U tablici 16 prikazani su sumarni rezultati eksperimentalnog istraživanja na fizikalnom modelu, a na slici 81 prikazani su volumeni prelijevanja po frekvencijama.

Tablica 16: Prikaz rezultata 6. scenarija

Visoka zaštitna školjera													
Frekvencija f (Hz)	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1
Period vala T (s)	2,0	1,8	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9
Duljina vala L (cm)	6,2	5,2	4,3	3,7	3,2	2,8	2,4	2,2	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3
Prosječna visina vala (cm)	2,6	5,6	2,6	5,6	3,6	5,6	6,6	14,6	10,6	10,6	14,6	16,6	10,6
Doseg vode u kanalu (cm)	17	18,5	17	18,5	17,5	18,5	19	23	21	21	23	24	21
Broj prelijevanih valova N	/	/	/	/	/	/	/	43	4	/	12	57	1
Broj valova N	/	/	/	/	/	/	/	57	60	/	68	76	72
Postotak prelijevanih valova (%)	/	/	/	/	/	/	/	75	7	/	18	75	1
Prelijevanje - masa (g)	/	/	/	/	/	/	/	335	32	/	70	726	27
Prelijevanje - volumen (L)	/	/	/	/	/	/	/	0,34	0,03	/	0,07	0,73	0,03

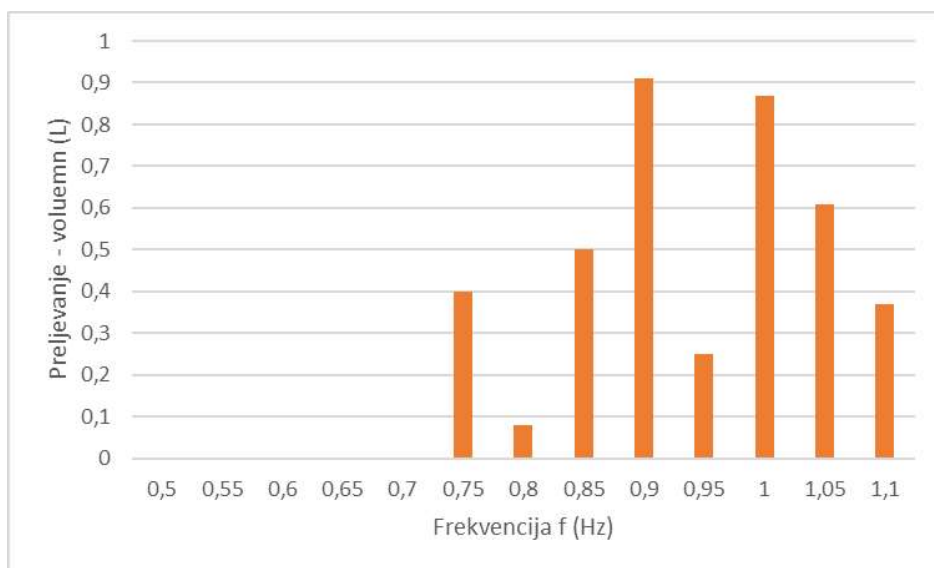


Slika 81: Dijagram prelijevanja 6. scenarija (visoka zaštitna školjera) za pojedinu frekvenciju

U zadnjem scenariju prelijevanje nije zabilježeno za frekvencije 0,5 – 0,7 Hz. najveća prelijevanja bila su pri frekvencijama od 0,9 i 1,0 Hz. Ukupno se prelilo 390 od 509 valova, odnosno 77 % valova. Najveći volumen prelijevanja od 0,91 L zabilježen je za frekvenciju od 0,9 Hz pri kojoj se prelilo 71 % valova. Pri frekvenciji od 0,9 Hz visina vala je 10,6 cm dok je za frekvenciju od 1,0 Hz visina vala 12,6 cm iako je manje ukupno prelijevanje. Ukupno za sve frekvencije izmjereno je prelijevanje od 4,00 L. U tablici 17 prikazani su sumarni rezultati eksperimentalnog istraživanja na fizikalnom modelu, a na slici 82 prikazani su volumeni prelijevanja po frekvencijama.

Tablica 17: Prikaz rezultata 7. scenarija

	Duži podmorski prag												
Frekvencija f (Hz)	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1
Period vala T (s)	2,0	1,8	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9
Duljina vala L (cm)	6,2	5,2	4,3	3,7	3,2	2,8	2,4	2,2	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3
Prosječna visina vala (cm)	4,6	4,6	3,6	6,6	4,6	6,6	8,6	9,6	10,6	10,6	12,6	12,6	9,6
Doseg vode u kanalu (cm)	18	18	17,5	19	18	19	20	20,5	21	21	22	22	20,5
Broj prelijevanih valova N	/	/	/	/	/	37	6	41	55	39	67	70	75
Broj valova N	/	/	/	/	/	51	55	58	62	65	71	72	75
Postotak prelijevanih valova (%)	/	/	/	/	/	73	11	71	89	60	94	97	100
Preljevanje - masa (g)	/	/	/	/	/	404	83	499	910	250	870	613	373
Preljevanje - volumen (L)	/	/	/	/	/	0,4	0,08	0,5	0,91	0,25	0,87	0,61	0,37



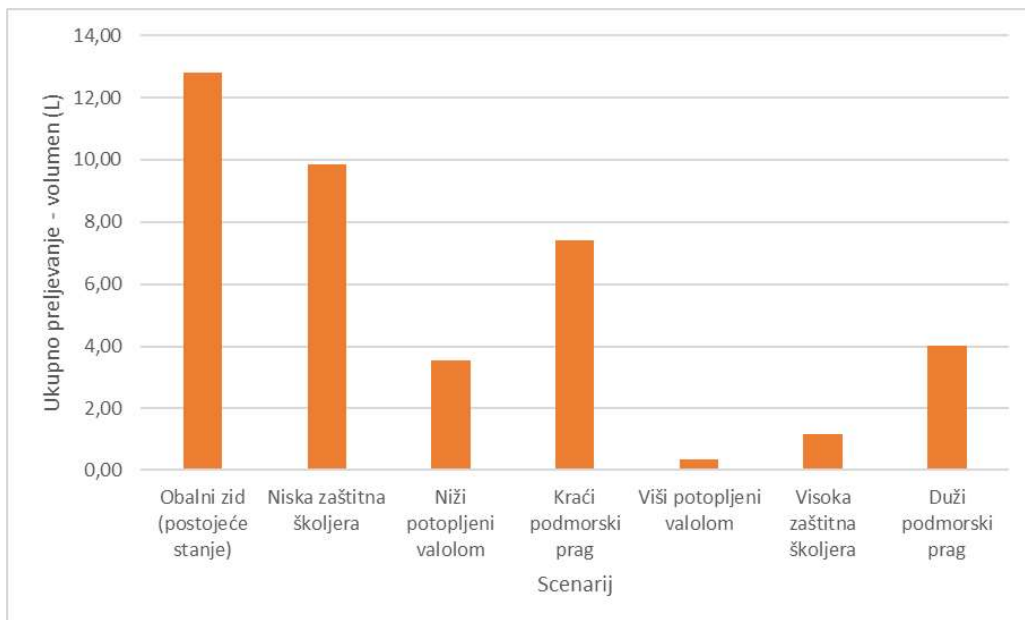
Slika 82: Dijagram prelijevanja 7. scenarija (duži podmorski prag) za pojedinu frekvenciju

7.3. Diskusija rezultata

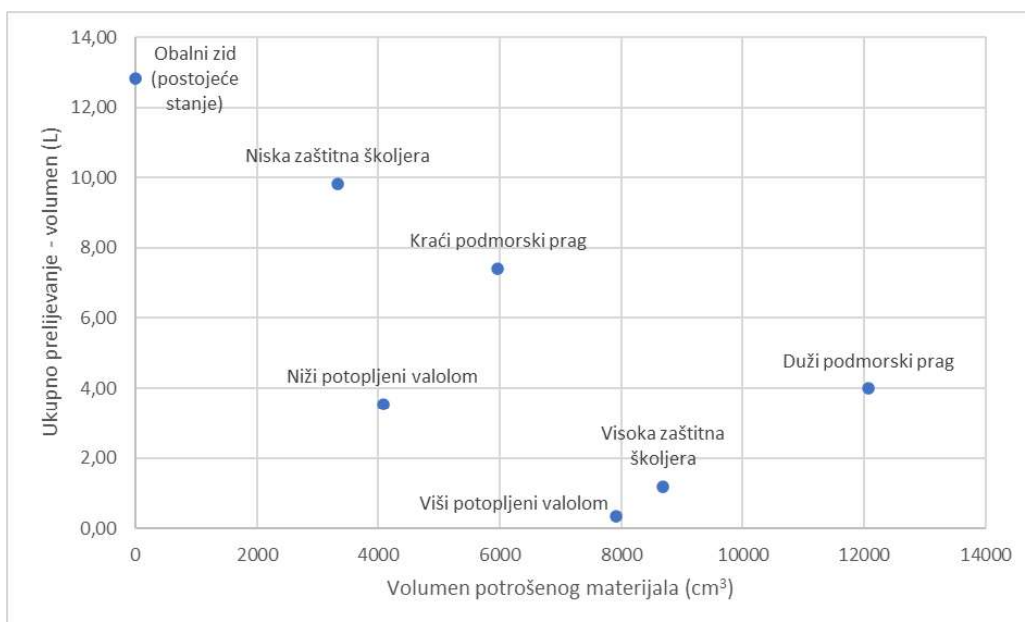
Na slici 83 prikazani su volumeni prelijevanja dobiveni eksperimentalnim istraživanjem za svaki scenarij (tip građevine), poredano od najmanje do najveće količine materijala. Slika 84 prikazuje raspodjelu volumena prelijevanja za količinu volumena utrošenog materijala. U okviru fizikalnog eksperimenta provodilo se ispitivanje prelijevanja za srednju razinu mora. Vidljivo je da se kod postojećeg stanja javlja najveće ukupno prelijevanje. Niska zaštitna školjera ima najveće ukupno prelijevanje od svih modela građevina te predstavlja najneučinkovitiju mjeru zaštite obalnog zida. Sa najmanjom količinom utrošenog materijala ujedino daje i najveće prelijevanje. Niska zaštitna školjera u fizikalnom modelu postavljena je kao kratki potopljeni prag stoga se rezultati ne uzimaju sa sigurnošću. Potom slijedi kraći valolom sa nešto manjim prelijevanjem te nakon njega duži podmorski prag. Duži podmorski prag u odnosu na kraći ima gotovo dvostruko manje ukupno prelijevanje no utrošeno je dvostruko više materijala te ukupno najviše materijala. Kod dužeg podmorskog praga javlja se najveći broj preljevnih valova. Visoka zaštitna školjera ima drugo po redu najmanje ukupno prelijevanje i količinu utrošenog materijala. U fizikalnom modeliranju visoka zaštitna školjera postavljena je dosta ispod kote modela obalnog zida stoga se rezultati ne uzimaju sa sigurnošću. Najmanje ukupno prelijevanje te najmanji broj preljevnih valova javlja se kod višeg potopljenog valoloma. Valolomom se smanjuje doseg visine vala te tako uvelike smanjuje prelijevanje. Količine prelijevanja kod višeg potopljenog valoloma jesu ujednačene za sve frekvencije dok se kod visoke zaštitne školjere javlja skok u vrijednosti prelijevanja za dvije frekvencije dok su ostale gotovo zanemarive.

Analitički izrazi pokazuju da je potopljeni valolom najnepovoljnija varijanta zaštite od prelijevanja dok je niska zaštitna školjera najpovoljnija. Fizikalnim eksperimentiranjem pokazalo se da je za srednju razinu mora najučinkovitija građevina viši potopljeni valolom a najneučinkovitija niska zaštitna školjera. Ipak valja napomenuti da je niska školjera postavljena ispod razine mora stoga rezultat nije realan. No eksperiment vrijedi samo za slučaj srednje razine vode te porastom razine mora valolom gubi na učinkovitosti. Primjer visoke razine mora jest niži potopljeni valolom koji pokazuje velik skok u količini prelijevanja u odnosu na viši potopljeni valolom jer je više uronjen. Stoga se kao

najpovoljnija varijanta uzima visoka zaštitna školjera koja je pokazala da uvelike smanjuje prelijevanje.



Slika 83: Dijagram ukupnog prelijevanja za svaki scenarij dobiven eksperimentalnim istraživanjem.



Slika 84: Dijagram ukupnog prelijevanja za količinu utrošenog materijala dobiven eksperimentalnim istraživanjem

8. PRORAČUN ODABRANOG RJEŠENJA

U ovom poglavlju provedeno je dimenzioniranje dvije varijante rješenja zaštite. U prvom dijelu proračunati će se visoka zaštitna školjera, a u drugom dijelu proračunati će se potopljeni valolom.

8.1. Dimenzioniranje nasutog lukobrana

Dimenzioniranje nasutog lukobrana temeljen je na određivanju slojeva i dimenzija lukobrana, odnosno uspostavljanju poprečnog presjeka samog lukobrana. Dimenzioniranje nasutog lukobrana provoditi će se prema Hudsonovoj formuli (25) i proračunati će se stabilnost elemenata obloge [17] :

$$G_A = \frac{\rho_{obl} * g * H_{pr}^3}{K_D * \left(\frac{\rho_{obl}}{\rho_m} - 1\right)^3 * ctg \alpha} [N] \quad (25)$$

Gdje je G_A težina primarne obloge, ρ_{obl} je gustoća mase materijala obloge, ρ_m je gustoća mora, H_{pr} je projektna visina vala, K_D je eksperimentalni koeficijent obloge za 0 do 5%-tno oštećenje ovisan o tipu obložnih blokova (tablica 18) dok je α kut nagiba pokosa lukobrana od horizontale.

Tablica 18: Tablični prikaz preporučenog koeficijenta stabilnosti K_D [17]

Preporučeni koeficijent stabilnosti K_D									
Redni broj obloge	Vrsta elementa pokrovnog sloja	Broj slojeva	Način polaganja elemenata	Bok lukobrana		Glava lukobrana		Nagib	
				Lomljen i valovi	Valovi koji se ne lome	Lomljen i valovi	Valovi koji se ne lome		
1	Glatki	2	slučajno	1,2	2,4	1,1	1,9	1:1,5; 1:3	
2	zaobljeni	>3	slučajno	1,6	3,2	1,4	2,3	1:1,5; 1:3	
3	Oštrobrdni lomljeni	2	slučajno	2,0	4,0	1,9	3,2	1:1,5	
						1,6	2,8	1:2	
							1,3	2,3	1:3
4		3	slučajno	2,2	4,5	2,1	4,2	1:1,5; 1:3	
5	Tetrapodi Quadripodi	2	specijalno	5,3	5,8	6,4	7,0	1:1,5; 1:3	
6		2	slučajno	7,0	8,0	5,0	6,0	1:1,5	
						4,0	5,5	1:2	
	Tribari					3,5	4,0	1:3	
7		2	slučajno	9	10,0	9,3	9,0	1:1,5	
						7,8	8,5	1:2	
	Dolosi					6,0	6,5	1:3	
8		2	slučajno	15,8	31,8	8,0	16,0	1:2	
						7,0	14,0	1:3	

Projektna visina vala računa se prema izrazu [17] :

$$H_{pr} = 1,27 * H_s \quad (26)$$

Gdje je H_s značajna visina vala.

Debljina primarne obloge računa se prema formuli [17] :

$$r = n * k_{\Delta} * \sqrt[3]{\frac{G_A}{\gamma_{obl}}} \quad (27)$$

Gdje je r debljina primarne obloge, n je broj blokova u primarnoj oblozi, a k_{Δ} je koeficijent sloja (tablica 19).

Tablica 19: Koeficijent sloja k_{Δ} , prema [17]

	Vrsta obloge	Način položaja	Redni broj obloge	Koeficijent k_{Δ}
KAMEN	Glatki zaobljeni	Slučajno položen	1	1,02
	Glatki zaobljeni	Slučajno položen	2	1,02
	Oštrobridni lomljeni	Slučajno položen	3	1,00
	Oštrobridni lomljeni	Specijalno položen	4	1,00
	Oštrobridni lomljeni	Slučajno položen	5	1,00
BETON	Tetrapodi/quadripodi	Slučajno položen	6	1,04
	Tribari	Slučajno položen	7	1,02

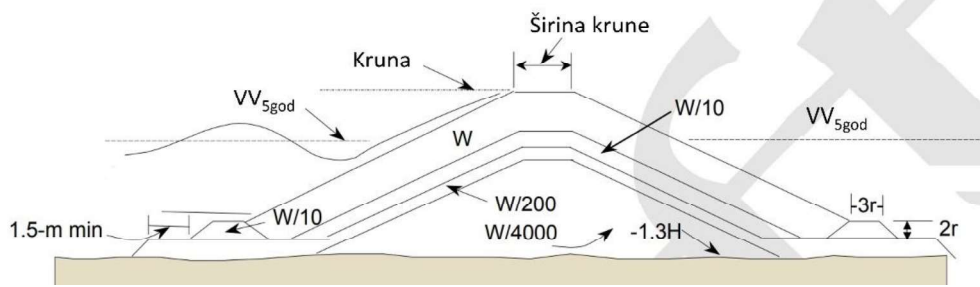
Težina elemenata prvog međusloja sekundarne obloge određuje se tako da se težina elemenata primarne obloge umanjuje 10 puta, dok se u drugom međusloju umanjuje 200 puta [17].

$$\text{Težina prvog međusloja: } G_{10} = \frac{G_A}{10} \quad (28)$$

$$\text{Težina drugog međusloja: } G_{200} = \frac{G_A}{200} \quad (29)$$

$$\text{Težina jezgre: } G_{4000} = \frac{G_A}{4000} \quad (30)$$

Na slici 85 prikazan je poprečni presjek nasutog lukobrana sa pripadajućim slojevima gdje je $W = G$ = težina elemenata obloge.



Slika 85: Poprečni profil nasutog lukobrana, prema [18]

Postoji određena tolerancija ugradnja kamena u pojedinom sloju pošto je teško dobiti jednoliku granulaciju kamenog materijala iz kamenoloma. Za primarnu oblogu dopušta se ugradnja elemenata od 75% do 125% težine. Za prvi međusloj dopušta se težina od 70% do 130%. Za drugi međusloj dopušta se težina od 70% do 130%. Za jezgru dopušteni raspon težine ugradnje elemenata je od 30% do 170% težine.

Proračun debljine filtarskih slojeva računa se prema formuli za debljinu primarne obloge ali se umjesto G_A uvrsti G_{10} te G_{200} [17] :

$$\text{Debljina prvog međusloja: } r_{10} = n * k_{\Delta} * \sqrt[3]{\frac{G_{10}}{\gamma_{obl}}} \quad (32)$$

$$\text{Debljina drugog međusloja: } r_{200} = n * k_{\Delta} * \sqrt[3]{\frac{G_{200}}{\gamma_{obl}}} \quad (33)$$

Kota krune lukobrana proračunava se prema formuli:

$$k_{krune} = VV_{5god} + 1,25 * H_{pr} \quad (34)$$

Gdje je VV_{5god} petogodišnja visoka voda.

Širina krune lukobrana proračunava se prema formuli:

$$B = n_{krune} * k_{\Delta} * \sqrt[3]{\frac{G_A}{\gamma_{obl}}} \quad (35)$$

Gdje je n_{krune} broj blokova u kruni, koji iznosi minimalno 3.

8.1.1. Proračun nasutog lukobrana

Ulazni parametri:

Značajna visina vala:	$H_s = 1,5 \text{ m}$
Razina visoke vode:	$VV_{5god} = 0,7 \text{ m}$
Dubina školjere:	$d = 0,4 \text{ m}$
Gustoća mora:	$\rho_m = 1025 \text{ kg/m}^3$
Specifična težina mora:	$\gamma_m = \rho_m * g = 10\,055,25 \text{ N/m}^3$
Projektna visina vala:	$H_{pr} = 1,27 * H_s = 1,9 \text{ m}$

Provjera loma vala:

$d \geq 2,5 H_s \rightarrow$ Nema loma vala

$$1,2 \text{ m} \geq 2,5 * 1,5 \text{ m}$$

$$1,2 \text{ m} \leq 3,75 \text{ m}$$

Dolazi do loma vala!

Obloga:

Vrsta obloge:	obloga 3 (n = 2, oštrobriđni lomljeni slučajno položeni kamen)
Gustoća kamena:	$\rho_{obl} = 2600 \text{ kg/m}^3$
Specifična težina kamena:	$\gamma_{obl} = \rho_{obl} * g = 25\,506 \text{ N/m}^3$
Broj slojeva:	n = 2
Nagib pokosa lukobrana:	$\text{ctg}\alpha = 1,5$

Koeficijent sloja: $k_{\Delta} = 1,00$

Koeficijent stabilnosti: $K_D = 2,0$

Dimenzioniranje primarne obloge nasutog lukobrana:

Masa primarne obloge:

$$M_A = \frac{\rho_{obl} * H_{pr}^3}{K_D * \left(\frac{\rho_{obl}}{\rho_m} - 1\right)^3 * ctg\alpha} = \frac{2600 * 1,9^3}{2 * \left(\frac{2600}{1025} - 1\right)^3 * 1,5} = 1651,5 \text{ kg}$$

Težina primarne obloge:

$$G_A = M_A * g = 1651,5 * 9,81 = 16200,8 \text{ N}$$

Debljina primarne obloge:

$$r = n * k_{\Delta} * \sqrt[3]{\frac{G_A}{\gamma_{obl}}} = 2 * 1 * \sqrt[3]{\frac{16200,8}{25506}} = 1,72 \text{ m}$$

Pošto je teško dobiti jednoliku granulaciju kamenog materijala iz kamenoloma, dopušta se ugradnja kamena različite mase od proračunatog te raspon masa elemenata iznosi:

$$M_{A,125\%} = 1,25 * M_A = 2064,3 \text{ kg} = 2070 \text{ kg}$$

$$M_{A,75\%} = 0,75 * M_A = 1238,6 \text{ kg} = 1240 \text{ kg}$$

Dimenzioniranje sekundarnog međusloja nasutog lukobrana:

Masa obloge prvog međusloja:

$$M_{10} = \frac{M_A}{10} = \frac{1651,5}{10} = 165,1 \text{ kg}$$

Težina obloge prvog međusloja:

$$G_{10} = M_{10} * g = 165,1 * 9,81 = 1620,1 \text{ N}$$

Debljina prvog međusloja:

$$r_{10} = n * k_{\Delta} * \sqrt[3]{\frac{G_{10}}{\gamma_{obl}}} = 2 * 1 * \sqrt[3]{\frac{1620,1}{25506}} = 0,8 \text{ m}$$

Raspon masa obloge prvog međusloja:

$$M_{10,130\%} = 1,3 * M_{10} = 214,7 \text{ kg} = 220 \text{ kg}$$

$$M_{10,70\%} = 0,7 * M_{10} = 115,6 \text{ kg} = 120 \text{ kg}$$

Dimenzioniranje jezgre nasutog lukobrana:

Masa elemenata jezgre umanjena je u odnosu na masu elemenata primarne obloge 4000 puta.

Masa elemenata jezgre:

$$M_{4000} = \frac{M_A}{4000} = \frac{1651,5}{4000} = 0,4 \text{ kg}$$

Težina elemenata jezgre:

$$G_{4000} = M_{4000} * g = 0,4 * 9,81 = 4,1 \text{ N}$$

Raspon masa elemenata jezgre:

$$M_{4000,170\%} = 1,7 * M_{4000} = 0,7 \text{ kg}$$

$$M_{4000,30\%} = 0,3 * M_{4000} = 0,2 \text{ kg}$$

Dimenzioniranje krune nasutog lukobrana:

$$k_{krune} = VV_{5god} + 1,25 * H_{pr} = 0,7 + 1,25 * 1,5 = 2,6 \text{ m}$$

Visina nasutog lukobrana:

$$V_{luk} = k_{krune} + d = 2,6 + 0,4 = 3,0 \text{ m}$$

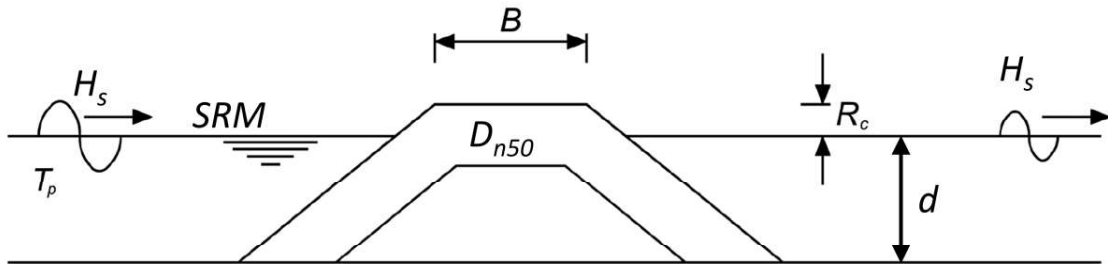
Širina nasutog lukobrana:

$$n_{krune} = 3$$

$$B = n_{krune} * k_{\Delta} * \sqrt[3]{\frac{G_A}{\gamma_{obl}}} = 3 * 1,00 * \sqrt[3]{\frac{16200,8}{2600}} = 2,6 \text{ m}$$

8.2. Dimenzioniranje potopljenog valoloma

Na slici 86. prikazan je shematski prikaz potopljenog valoloma sa glavnim obilježjima i parametrima koji su potrebni za dimenzioniranje.



Slika 86: Shematski prikaz uronjenog valoloma sa njegovim parametrima, prema [16]

Postupak dimenzioniranja potopljenog valoloma temelji se na formuli stabilnosti uronjenog lukobrana Van der Meera [19]:

$$\frac{R_c}{d} = 1 + (2,1 + 0,1S) \exp(-0,14N_s^*) \quad (36)$$

Gdje je $\frac{R_c}{d}$ – relativna visina praga, R_c je visina uronjene krune praga, D je visina praga od krune do dna, S je stupanj oštećenja a N_s^* je spektralna stabilnost.

Vrijednosti stupnja oštećenja S prikazane su u tablici 20.

Tablica 20: Projektirane vrijednosti stupnja oštećenja za zaštitnu oblogu, prema [19]

Nagib	Početno oštećenje	Umjereno oštećenje	Kritično oštećenje
1:1,5	2	3-5	8
1:2	2	4-6	8
1:3	2	6-9	12
1:4	3	8-12	17
1:6	3	8-12	17

Spektralna stabilnost dana je sljedećom formulom:

$$N_s^* = N_s S_0^{-\frac{1}{3}} = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} S_0^{-\frac{1}{3}} \quad (37)$$

Gdje je N_s broj stabilnosti, Δ je relativna gustoća uzgona, D_{n50} je nazivni promjer materijala zaštitne obloge.

Strmost vala računa se prema izrazu:

$$S_0 = \frac{H}{L_0} = \frac{2\pi H_s}{gT^2} \quad (38)$$

Gdje je L_0 dubokovodna duljina vala a T_p je vršni period.

Relativna gustoća uzgona opisana je izrazom:

$$\Delta = \left(\frac{\rho_k}{\rho_m} \right) - 1 \quad (39)$$

Gdje je ρ_k gustoća kamena a ρ_m je gustoća mora.

Nazivni promjer materijala zaštitne obloge (kamenog bloka) izračuna se iz jednadžbe (37):

$$D_{n50} = \frac{H_s}{\Delta N_s^*} S_0^{-\frac{1}{3}} \quad (40)$$

Za fiksnu visinu praga, razinu vode, stupanj oštećenja te visinu vala i period, potreban izraz ΔD_{n50} može se izračunati, dajući konačno traženu težinu kamena.

Ako se iz jednadžbe (36) izrazi spektralna stabilnost, dobije se sljedeća jednadžba:

$$N_s^* = -7 \ln \left[\frac{1 + \frac{R_c}{d}}{2,1 + 0,15} \right] \quad (41)$$

Uvrštavanjem jednadžbe (37) u jednadžbu (41) moguće je izračunati nazivni promjer kamenog bloka ako je poznata visina uronjene krune praga, razina vode, stupanj oštećenja te strmost vala (visina vala i period):

$$D_{n50} = \frac{H_s}{-7 \ln \left[\frac{1 + \frac{R_c}{d}}{2,1 + 0,15} \right] \Delta} S_0^{-\frac{1}{3}} = \frac{H_s}{N_s^* \Delta} S_0^{-\frac{1}{3}} \quad (42)$$

Prosječna masa kamenih blokova određuje se sljedećom formulom:

$$M_{50} = D_{n50}^3 \rho_k \quad (43)$$

Kod mase kamenih blokova postoji tolerancija. U zaštitni sloj mogu se ugraditi elementi vrijednosti minimalno 70% i maksimalno 130% mase kamenih blokova.

8.2.1. Proračun potopljenog valoloma

Prema predloženoj varijanti rješenja u 6. poglavlju, potopljeni valolom se izvodi ispred Obale Frana Supila u Voloskom na udaljenosti od 30 m. Potopljeni valolom dimenzionira se za srednju razinu mora. Kota krune valoloma nalazi se na -1,0 m na potezu ispred obale sa širinom krune od 10,0 m. Valolom se nalazi na dubini mora od -2,8 m. Valolom se izvodi u dva dijela: jezgre i zaštitne obloge. Jezgru čini opći kameni nasip u rasponu zrna od 0,1 – 100 kg, a zaštitu oblogu kameni blokovi u rasponu od 160 kg do 300 kg debljine sloja 50 cm. Vanjski pokos valoloma izvodi se u nagibu 1:1,5.

Ulazni parametri

Značajna visina vala: $H_s = 2,5 \text{ m}$

Vršni period vala: $T_p = 4,8 \text{ s}$

Gustoća mora: $\rho_m = 1025 \text{ kg/m}^3$

Gustoća kamena: $\rho_k = 2600 \text{ kg/m}^3$

Valni parametri

Dubokovodna duljina vala: $L_p = \frac{gT_p^2}{2\pi} = \frac{9,81 \cdot 4,8^2}{2\pi} = 36,0 \text{ m}$

Strmost vala: $s_0 = \frac{H_s}{L_p} = \frac{2,5}{36,0} = 0,07$

Dimenzije potopljenog valoloma

Uronjenost krune praga: $R_c = -1,0$ m

Dubina mora: $d = 2,8$ m

Relativna visina: $\frac{R_c}{d} = -0,36$ m

Karakteristike školjere

Dozvoljeni stupanj oštećenja: $S = 2$ (nagib 1:1,5, početno oštećenje)

Relativna gustoća: $\Delta = \left(\frac{\rho_k}{\rho_m}\right) - 1 = \left(\frac{2600}{1025}\right) - 1 = 1,54$

Dimenzioniranje zaštitnog sloja (školjere)

Spektralna stabilnost: $N_s^* = -7 \ln \left[\frac{1 + \frac{R_c}{d}}{2,1 + 0,1S} \right] = -7 \ln \left[\frac{1 + (-0,36)}{2,1 + 0,1 \cdot 2} \right] = 8,92$

Normirani promjer kamenja: $D_{n50} = \frac{H_s}{N_s^* \Delta} S_0^{-\frac{1}{3}} = \frac{2,5}{8,92 \cdot 1,54} 0,07^{-\frac{1}{3}} = 0,44$ m

Srednja masa kamenja: $M_{50} = D_{n50}^3 \rho_k = 0,508^3 \cdot 2600 = 226,78$ kg

Raspon masa kamenja: $M_{50,70\%} = 0,7 \cdot M_{50} = 0,7 \cdot 341,17 = 158,74$ kg

$M_{50,130\%} = 1,3 \cdot M_{50} = 1,3 \cdot 341,17 = 294,81$ kg

9. ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu predloženo je nekoliko rješenja zaštite priobalnog dijela naselja Volosko od olujnih uspora, odnosno kombiniranog djelovanja visokih razina mora i valova. Učinkovitost svakog rješenja procijenjena je na osnovu prelijevanja valova. Zaštitne obalne građevine koje se predlažu kao mjere zaštite jesu niska zaštitna školjera, visoka zaštitna školjera, podmorski prag i potopljeni valolom.

Prema EurOtop priručniku napravljen je proračun prelijevanja preko obalnog zida na Obali Frane Supila u naselju Volosko korištenjem analitičkih izraza. Kako bi se mogao provesti proračun prelijevanja, iz recentnih studija preuzeti su podaci o visokim razinama mora i valovima. Proračun je rađen a srednju razinu mora 0,0 m n. m. te visoke razine mora od 1,3 m n. m bez klimatskih promjena i od 1,9 m n. m. sa klimatskim promjenama za povratni period od 100 godina. Najnepovoljni vjetar je jugo iz smjera SSE te kod njega valna visina za povratni period od 50 godina iznosi 1,5 m n. m., a vršni period 4,8 s. Obalne građevine za koje se vršio proračun prelijevanja jesu: postojeće stanje, niska zaštitna školjera, visoka zaštitna školjera, kraći podmorski prag, duži podmorski prag te potopljeni valolom.

Poredak učinkovitosti predloženih obalnih građevina prema analitičkim izrazima za prelijevanje, od najučinkovitije do najmanje učinkovitije, je sljedeći: niska zaštitna školjera, kraći podmorski prag, duži podmorski prag, visoka zaštitna školjera, potopljeni valolom te obalni zid (postojeće stanje). No upitno je li uistinu visoka školjera manje učinkovitija od niske školjere. Preljevni protoci su jednaki za srednju razinu mora i visoku razinu mora od +1,3 m n. m. Protoci su isto jer su izračunati prema postupku prelijevanja preko nasutog lukobrana koji ovisi o visini obalnog zida R_c . Pošto je visina obalnog zida jednaka u svim slučajevima, preljevni će protok biti jednak za sve varijante. Kod visoke vode od +1,9 m n. m. protok prelijevanja niske školjere proračunat je prema postupku prelijevanja preko kompozitnog vertikalnog zida dok je protok visoke školjere izračunat prema postupku prelijevanja nasutog lukobrana. Pošto ovise o različitim parametrima, dolazi do različitih rezultata te niska zaštitna školjera daje manje prelijevanje. S obzirom

na prave dimenzije, u stvarnosti postoji mogućnost da niska zaštitna školjera neće biti učinkovitija iako analitičkim izrazima ispada da je.

Slične nelogičnosti pojavljuju se kod dužeg i kraćeg podmorskog praga. Za srednju razinu mora, prelijevanje je gotovo indentično. Kod visoke razine mora od +1,3 m n. m. kraći podmorski prag ima manje prelijevanje od dužeg dok kod visoke razine mora od +1,9 vrijedi obrnuto. Protok prelijevanja izračunat je prema postupku prelijevanja preko vertikalnog kompozitnog zida. Formula ovisi o dubinu krune praga d , dubinu mora ispred nožice praga h te o nadmorskoj visini zida R_c . pošto se ne uzima u obzir dužina praga, izraz pretpostavlja da su pragovi jednake udaljenosti. Formula pretpostavlja da je duži podmorski prag na većoj dubini mora jer se gleda dubina mora ispred nožice praga koja je pozicionirana dublje u odnosu na nožicu kraćeg praga. U stvarnosti bi duži podmorski prag trebao umanjiti visinu vala jer formula transmisije vala preko praga navodi da kako se širina praga B povećava, tako se koeficijent transmisije K_t smanjuje te se umanjuje val. Zbog toga dobiveni protoci nisu realni

Sve formule prelijevanja u EurOtop priručniku napravljene su na osnovu fizikalnih eksperimenata. Ti eksperimenti postavljaju točno određene granice validnosti za koje se rezultati mogu smatrati pouzdanima. Izvan zadanih granica parametara, rezultati nisu pouzdani i mogu rezultirati određenim nelogičnim vrijednostima.

Zbog nedovoljno pouzdanih rezultata dodatno je provedeno i eksperimentalno istraživanje u hidrotehničkom laboratoriju kako si se dobio realniji prikaz prelijevanja. Fizikalni je model bio izložen djelovanju valova za 7 različitih scenarija: postojeće stanje, niska zaštitna školjera, niži potopljeni valolom, kraći podmorski prag, viši potopljeni valolom, visoka zaštitna školjera te duži podmorski prag. Ustanovilo se da je potopljeni valolom najučinkovitiji a niska zaštitna školjera najmanje učinkovita. Valolom je vrlo učinkovit samo za pri srednjoj razini mora, no kako se povećava razina vode ovaj tip građevine primjetno gubi na svojoj efikasnosti. Nakon valoloma, velika se školjera pokazala visoko učinkovita u obrani od prelijevanja te uspješno smanjuje prelijevanje.

Pri srednjoj razini mora najoptimalnije je izgraditi potopljeni valolom. Njime se umanjuju valovi i postiže se dovoljna zaštita obale od prelijevanja. Iako ostale obalne građevine bolje

umanjuju prelijevanje za srednju razinu mora, valolomom se ne uništava vizura obalnog pojasa kamenim materijalom.

Za visoke razine mora od +1,3 m n. m. i +1,9 m n. m. niska zaštitna školjera i podmorski prag umanjuju prelijevanje, no zbog obalnog zida koji se nalazi iznad njih dolazi do povećanja refleksije valova te posljedično i opterećenja konstrukcije. Pri ovim razinama mora potopljeni valolom ima zanemariv utjecaj. Visoka zaštitna školjera smanjuje prelijevanje, valna se energija prilikom nailaska na kameni materijal disipira te se smanjuje refleksija.

Visoka zaštitna školjera predstavlja povoljno rješenje za zaštitu obale, zauzimaju se male površine. Ekološki je povoljnije nego da se ide izvoditi proširenje postojećeg stanja. Visoka zaštitna školjera disipira energiju vala te smanjuje refleksiju vala i te smanjuje opterećenje na konstrukciju i štiti obalni zid.

Za poznate dubine mora, visokih razina voda, visina dolaznih valova te poprečnog profila napravljeno je dimenzioniranje visoke zaštitne školjere. Kruna školjere nalazi se na koti +2,6 m neposredno iza obalnog zida. Poprečni profil sastoji se od primarne obloge koju čini kameni materijal mase raspona od 1240 – 2070 kg, filtarskog sloja mase raspona od 120 do 220 kg te jezgra školjere što je ujedno opći kameni nasip do 400 kg dopuštene mase. Primarna obloga izvodi se debljine 1,7 m a filtarski sloj debljine od 80 cm. Slojevi se izvode u nagibu od 1:1,5.

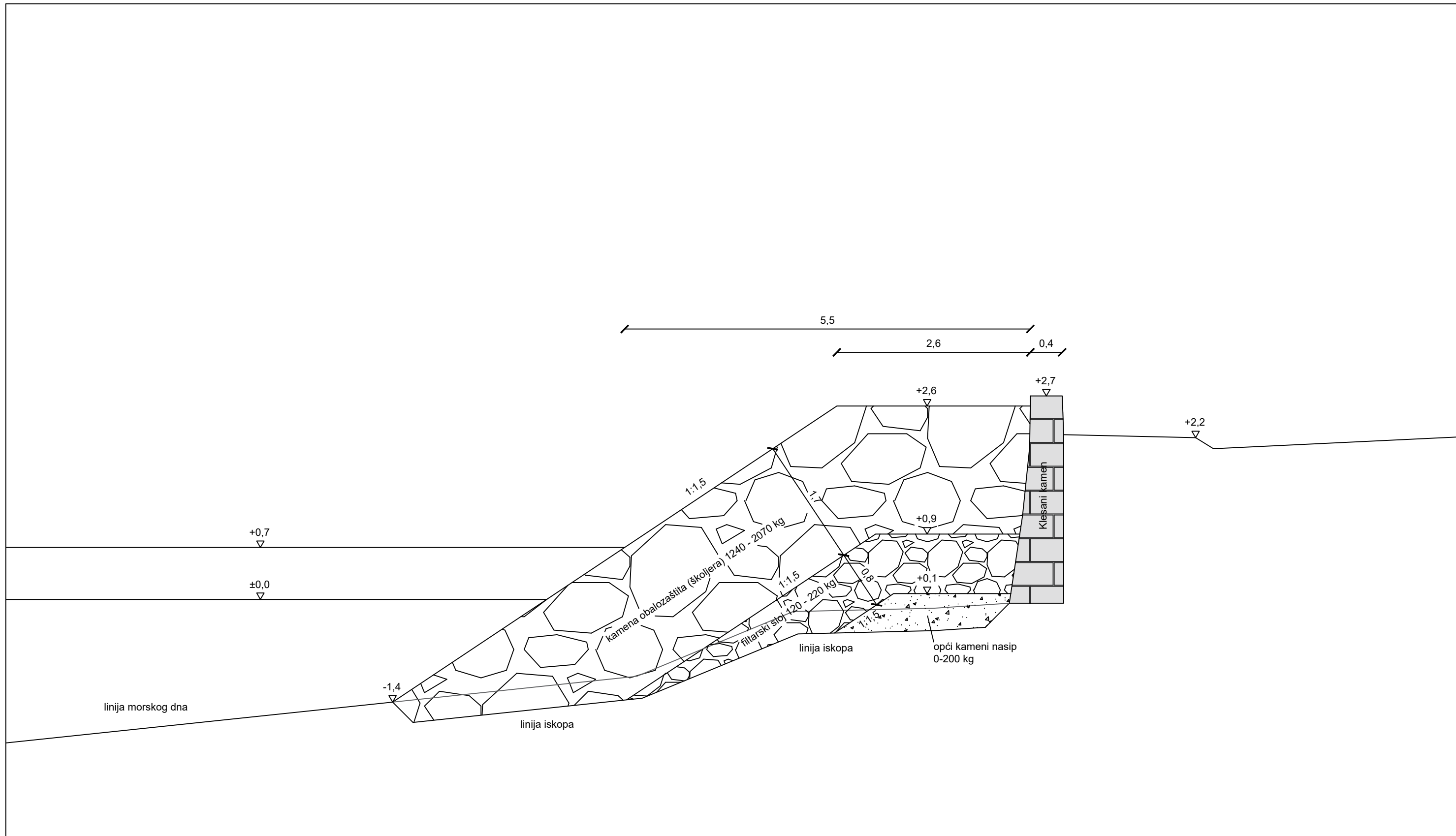
Za konačan odabir najpovoljnijeg tipa i oblika zaštitne obalne građevine treba provesti detaljnija eksperimentalna istraživanja na fizikalnom modelu većeg mjerila varirajući različite razine mora i različite dimenzije svakog tipa građevine te pažljivo provesti višekriterijalnu analizu uzimajući u obzir sve prednosti i mane, kao i financijske zahtjeve.


10. LITERATURA

- [1] Nacrt Plana upravljanja vodnim područjima 2022, - 2027., Hrvatske vode, 2021.
- [2] Karte opasnosti od poplava i karte rizika od poplava, <http://kopr.voda.hr>, pristup 29.06.2022.
- [3] Studija upravljanja rizicima od poplava mora (VEPAR) – Završno izvješće, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatske vode, 2021.
- [4] Monserrat S., Vilibić I., Rabinovich A. B.: *Meteotsunamis: atmospherically induced destructive ocean waves in the tsunami frequency band*, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 6, 1035–1051, 2006.
- [5] Uspori u Jadranu, http://skola.gfz.hr/d1_8.htm, pristup 01.09.2022.
- [6] Ružić I., Tadić A., Krvavica N.: *Analiza ugroženosti od obalnog plavljenja ranjivih naselja Primorsko-goranske županije*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Primorsko-goranska županija, JU Zavod za prostorno uređenje, Rijeka, 2021.
- [7] Volosko, Istrapedia.hr, <https://www.istrapedia.hr/hr/natuknice/2668/volosko>, pristup 25.06.2022.
- [8] Kako je Volosko dobilo ime, Rivijeraneews.hr, <https://www.rivijeraneews.hr/kako-je-volosko-dobilo-ime/>, pristup 25.09.2022.
- [9] Turk. H., Geografski položaj i prirodni resursi Opatijske rivijere, br. 2, Rijeka, 379-391, 1996.
- [10] Prostorni plan uređenja Grada Opatije – Odluka o donošenju izmjena i dopuna, "Službene novine Primorsko-goranske županije", broj 08/01, 14/03, 12/04, 01/07.
- [11] Elaborat zaštite okoliša uz zahtjev za ocjenu o potrebi procjene utjecaja na okoliš za zahvat uređenja postojeće plaže Črnikovica, DLS d.o.o., Rijeka, 2019.
- [12] Vjetrovi Jadrana, Marjan.hr, <http://marjan.hr/2015/01/07/vjetrovi-jadrana/>, pristup 09.08.2022.

- [13] Krvavica N., *Projekt raščlanjenog betonskog gata plivališta u luci Volosko*, diplomski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2007.
- [14] Carević D., *Hidraulička interakcija valoloma i perforiranog valobrana*, doktorska disertacija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2009.
- [15] EurOtop, 2018. *Manual on wave overtopping of sea defences and related structures*. An overtopping manual largely based on European research, but of worldwide application. Van der Meer, J.W. i dr., www.overtopping-manual.com
- [16] CIRIA, CUR, CETMEF, *Rock manual*, 5. poglavlje, 2007. (reprint 2012.)
- [17] Ružić I., predavanja iz kolegija Osnove obalnog inženjerstva, Građevinski fakultet sveučilišta u rijeci, 2022.
- [18] Bucharth, F.H i Hughes, A. S., *Fundamentals of design*, 2003.
- [19] Van der Meer, Jentsje., *Conceptual desing of rubble mound breakwaters*, 1995.
- [20] Adriatic Sea, Portal operativne oceanografije, www.adriaticsea.hhi.hr

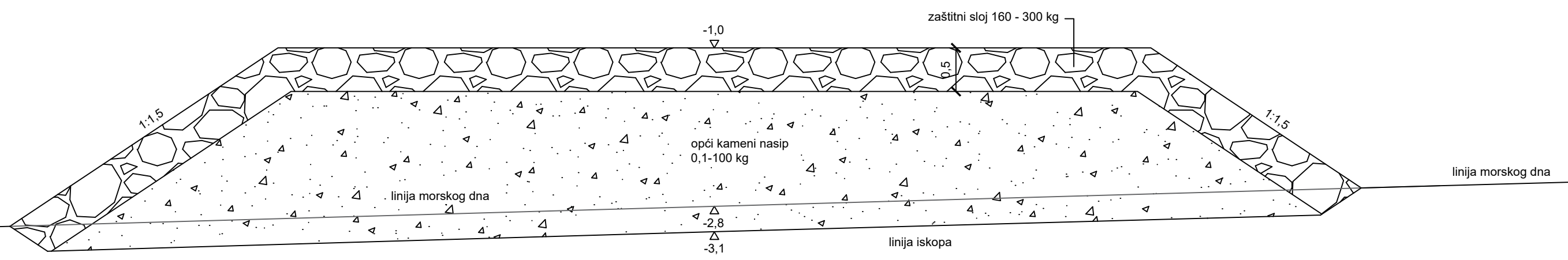
11. NACRTI



 GRAĐEVINSKI FAKULTET RIJEKA ZAVOD ZA HIDROTEHNIKU I GEOTEHNIKU				
Diplomski rad: Idejno rješenje zaštite priobalnog dijela naselja Volosko od olujnih uspora	Sadržaj nacрта: Karakteristični presjek visoke zaštitne školjere			
Student: Matija Pilat	Kolegij: Inženjerstvo obalnih građevina			
Mentor: doc.dr.sc. Nino Krvavica	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 33%;">Datum: 09.2022.</td> <td style="width: 33%;">Mjerilo: 1:50</td> <td style="width: 33%;">List: 1</td> </tr> </table>	Datum: 09.2022.	Mjerilo: 1:50	List: 1
Datum: 09.2022.	Mjerilo: 1:50	List: 1		

10,0

±0,0



GRAĐEVINSKI FAKULTET RIJEKA
 ZAVOD ZA HIDROTEHNIKU I GEOTEHNIKU

Diplomski rad:
 Idejno rješenje zaštite priobalnog
 dijela naselja Volosko od olujnih
 uspora

Sadržaj nacрта:
 Karakteristični presjek potopljenog
 valoloma

Student:
 Matija Pilat

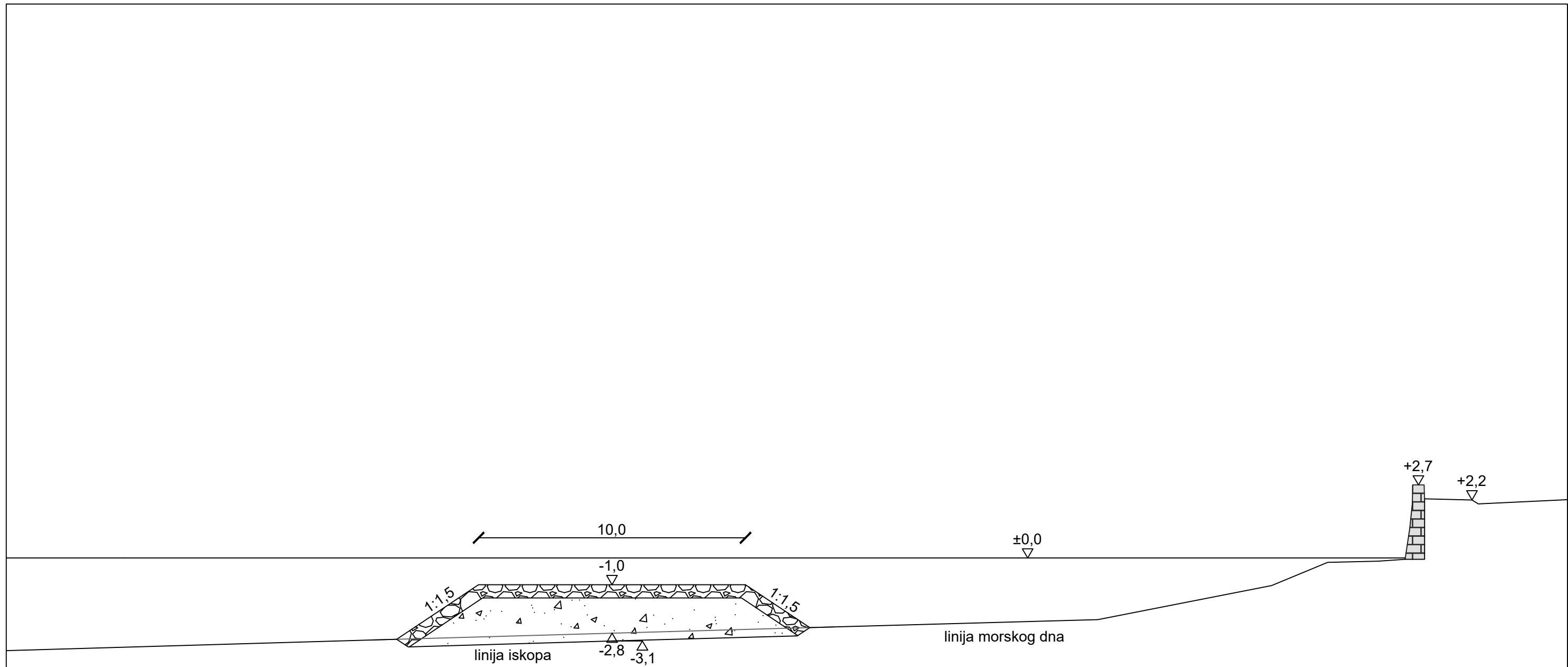
Kolegij:
 Inženjerstvo obalnih građevina

Mentor:
 doc.dr.sc. Nino Kravica

Datum:
 09.2022.

Mjerilo:
 1:50

List:
 2



GRAĐEVINSKI FAKULTET RIJEKA
 ZAVOD ZA HIDROTEHNIKU I GEOTEHNIKU

Diplomski rad: Idejno rješenje zaštite priobalnog dijela naselja Volosko od olujnih uspora	Sadržaj nacрта: Presjek situacije potopljenog valoloma			
Student: Matija Pilat	Kolegij: Inženjerstvo obalnih građevina			
Mentor: doc.dr.sc. Nino Krvavica	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="2507 1984 2656 2068">Datum: 09.2022.</td> <td data-bbox="2656 1984 2804 2068">Mjerilo: 1:150</td> <td data-bbox="2804 1984 2932 2068">List: 3</td> </tr> </table>	Datum: 09.2022.	Mjerilo: 1:150	List: 3
Datum: 09.2022.	Mjerilo: 1:150	List: 3		