

Prof. dr. sc. Marko Pršić, dipl. ing. građ.

# POMORSKE GRAĐEVINE

## Pogl 1: Detaljno projektiranje lukobrana

28.2.2013.

---

Predmet: HIDROTEHNIČKE GRAĐEVINE

Studij: Diplomski

Smjer: Hidrotehnički

Semestar: IV.

Fond sati: 30+30

Na uređenju sudjelovali demonstratori: Tomislav Šalamun, Damir Mujkanović

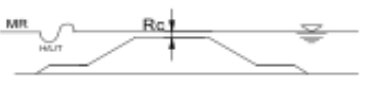
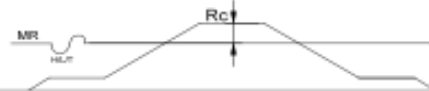
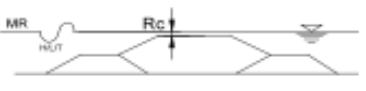


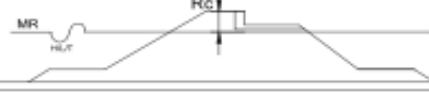
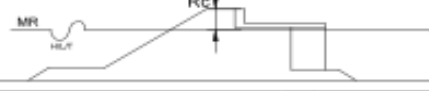


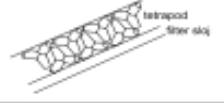
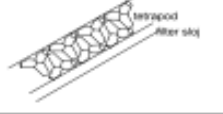

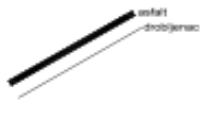
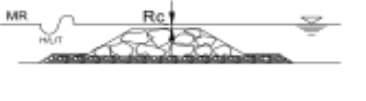
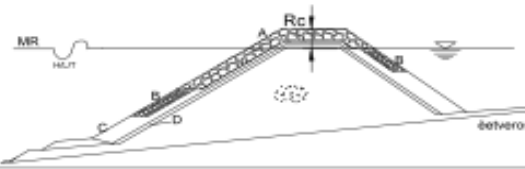
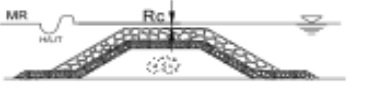
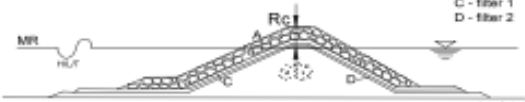
Sadržaj:

1	DETALJNO PROJEKTIRANJE LUKOBRANA .....	1
1.1	NASIPNI LUKOBRAN .....	1
1.1.1	Stabilitet primarne obloge "A" .....	2
1.1.2	Optimalno projektiranje lukobrana .....	8
1.1.3	Problemi primjene nasipnih lukobrana .....	15
1.1.5	Zaštita nožice nasipnog lukobrana.....	17
1.1.5	Glava i koljeno nasipnog lukobrana .....	19
1.1.6	Slijegavanje i nadvišenje nasipnog lukobrana .....	20
1.1.7	Analiza umjetnih obloga .....	21
1.1.8	Primjeri izvedenih nasipnih lukobrana prema vrsti obloge .....	25
1.2	VERTIKALNI LUKOBRAN.....	32
2	PODMORSKI CJEVOVODI.....	34
3	HIDRAULIČKI PRORAČUN BRODSKE PREVODNICE .....	35

# 1 DETALJNO PROJEKTIRANJE LUKOBRANA

## 1.1 NASIPNI LUKOBRAN

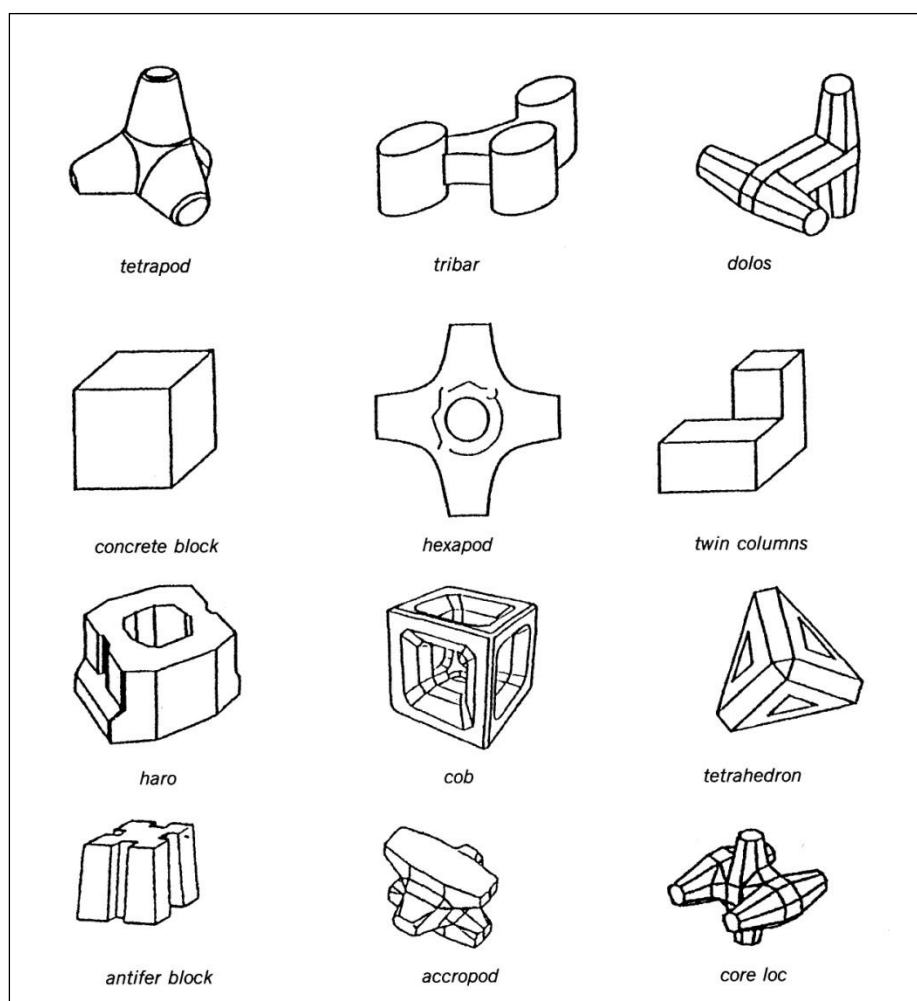
### TIPOVI NASIPNIH LUKOBRANA

	PRELJEVNI ( valolom ) ; za $R_c/H_{proj} < 1,1-1,5$		NEPRELJEVNI( lukobran ) ; za $R_c/H_{proj} > 1,1-1,5$	
PREMA OBLIKU POKOSA		bez bermi		sa jednoličnim nagibom
		sa bemaama		kompozitni nagib(S oblik)
PREMA UREĐENJU KRUNE	neuporabna kruna			neuporabna kruna
				uporabna kruna
				uporabna kruna s mogućnošću privrca s lučke strane
PREMA VRSTI OBLOGE		od kamenog materijala		od kamenog materijala
		od betonskih blokova		od betonskih blokova
		glatka obloga		glatka obloga
PREMA BROJU SLOJEVA		propusni (od uniformnog materijala)		četverostruki
		nepropusni (višestojni)		trostruki

1.1.1 Stabilitet primarne obloge "A"

Težina stabilnih blokova primarne obloge "A" proračunava se prema donjoj Hudsonovoj formuli koja se kod uniformne obloge od umjetnih betonskih blokova označava s  $G_A$ . Kod kamene (kamenometne, jer se kamen ne nabacuje nego se "meće" s pažnjom) obloge koja ne može biti uniformna; t.j. može varirati u težini  $\pm 25\%$ , izračunava se težina 50%-tnog bloka  $G_A^{50\%}$ . To predstavlja težinu bloka 50%-tne zastupljenosti na granulometrijskoj krivulji ugrađenih blokova. Raspon mase ugrađenih kamenih blokova u odnosu na proračunatu veličinu  $G_A^{50\%}$  je:  $G_{A,min} = 0,75 G_A^{50\%}$  i  $G_{A,max} = 1,25 G_A^{50\%}$ . CERC7-205, CIRIA97,98  
 Za usporedbu  $G_B = G_B^{50\%} \pm 25\% G_B^{50\%}$ ,  $G_C = G_C^{50\%} \pm 30\% G_C^{50\%}$  i  $G_D = G_D^{50\%} \pm 50\% G_D^{50\%}$ .

$$G_A^{50\%} = \frac{\rho g H_{proj}^3}{K_D \left( \frac{\rho_{obl}}{\rho_m} - 1 \right)^3} \text{ctg} \alpha \quad (1.1.1::1)$$



Gdje je:

$G_A^{50\%}$  [N] težina bloka primarne obloge 50%-tne zastupljenosti na granulometrijskoj krivulji materijala za oblogu pokosa uz raspon granulacije je od  $0,75 G_A^{50\%}$  do  $1,25 G_A^{50\%}$

$\rho_m = 1026$  [kg/m<sup>3</sup>] gustoća mase mora

$\rho_{obl}$  [kg/m<sup>3</sup>] gustoća mase materijala obloge: kamen vapnenac 2600 [kg/m<sup>3</sup>], beton 2400 [kg/m<sup>3</sup>]

$K_D \equiv K_{D=0}$  eksperimentalni koeficijent obloge za 0 do 5%-tno oštećenje ovisan o tipu obložnih bokova (Tab. 1.1.1::1)

$H_{proj}$  [m] =  $H_{1/10}^{100g} = 1,27 H_S^{100g}$

Slika 1.1.1::1 Tipovi umjetnih blokova "A" primarne obloge za lukobrane tipa nasip. Oblici su patentirani i korištenje patenta je na komercijalnoj osnovi.

Hudsonova formula može se pisati i kao:

$$D_A^{50\%} = \frac{H_{proj}}{N_S \left( \frac{\rho_{obl}}{\rho_m} - 1 \right)} [m] \quad (1.1.1::2)$$

gdje je:  $N_S$ -broj stabilnosti

$$N_S = (K_D \cdot ctg \alpha)^{1/3} = \frac{\rho_{obl}^{1/3} \cdot g^{1/3} \cdot H_{proj}}{[G_A^{50\%}]^{1/3} \cdot \left( \frac{\rho_{obl}}{\rho_m} - 1 \right)} \quad (1.1.1::3)$$

Tipovi umjetnih betonskih blokova "A" dvoslojne primarne obloge dani su na Slici 1.1.1::1. Najčešći tipovi blokova dvoslojne primarne obloge su kameni blokovi i tetrapodi. Tu pripada i nešto moderniji "Antifer" blok.

U novu generaciju umjetnih betonskih blokova "A" jednoslojne primarne obloge pripadaju ACCROPODE (Francuski laboratorij Sogreah), CORE-LOC (US Arm. Corps of Engineers, Coastal Hydraulics Laboratory) i tribar.

Type of outer covering elements	Number of layers	Type of placing	Breakwater side $K_D^{1)}$		Breakwater end $K_D$		Slope
			Breaking waves <sup>5)</sup>	Non-breaking waves <sup>5)</sup>	Breaking waves	Non-breaking waves	
Smooth, rounded racks	2	random	1.2	2.4	1.1	1.9	1 : 1.5 bis 1 : 3
	3	random	1.6	3.2	1.4	2.3	1 : 1.5 bis 1 : 3
Angular rubble	2	random	2.0	4.0	1.9	3.2	1 : 1.5
	3	random	2.2	4.5	1.6	2.8	1 : 2
	2	carefully placed <sup>2)</sup>	5.8	7.0	1.3	2.3	1 : 3
					2.1	4.2	1 : 1.5 bis 1 : 3
Tetrapode	2	random	7.0	8.0	5.3	6.4	1 : 1.5 bis 1 : 3
					5.0	6.0	1 : 1.5
					4.5	5.5	1 : 2
Antifer Block	2	random	8.0	-	3.5	4.0	1 : 3
					-	-	1 : 2
Accropode	1		12.0	15.0	9.5	11.5	bis 1 : 1.33
Coreloc	1		16.0	16.0	13.0	13.0	bis 1 : 1.33
Tribar	2	random	9.0	10.0	8.3	9.0	1 : 1.5
					7.8	8.5	1 : 2
					6.0	6.5	1 : 3
Tribar	1	uniformly placed	12.0	15.0	7.5	9.5	1 : 1.5 bis 1 : 3
Dolos	2	random	15.8 <sup>3)</sup>	31.8 <sup>3)</sup>	8.0	16.0	1 : 2 <sup>4)</sup>
					7.0	14.0	1 : 3

1) For slope of 1 : 1.5 to 1 : 5.  
2) Longitudinal axis of rocks perpendicular to the surface.  
3)  $K_D$  values confirmed experimentally only for slope 1 : 2.  
If requirements are higher (destruction < 2%), the  $K_D$  values must be halved.  
4) Slopes steeper than 1 : 2 are not recommended.  
5) Breaking waves occur more often when still water depth in front of the breakwater decreases the wave height.

Tablica 1.1.1::1 Eksperimentalni koeficijent obloge  $K_D \equiv K_{D=0}$  za proračun težine bloka  $G_A$  stabilne uniformne ili uskograduirane primarne obloge prema Hudsonovoj formuli nepreljevni nasipnih lukobrana po kriteriju da nema oštećenja. To praktično znači da 0-5% blokova kod projektnog stanja mora može pasti s pokosa (CERC 1984 II 7-206)

Eksperimentalni koeficijenti obloge  $K_D \equiv K_{D=0}$ , iz gornje Hudsonove formule za proračun težine bloka  $G_A^{50\%}$  stabilne uskograduirane prirodne kamenometne primarne obloge na vanjskom pokosu nasipnog nepreljevnog lukobrana, uz 0 do 5%-tno oštećenje dani su u Tablici 1.1.1.:I. Gradacija je tada od  $0,75 G_A^{50\%}$  do  $1,25 G_A^{50\%}$ , a vrijedi kako za trup, tako i za glavu lukobrana. U tablici su dani i koeficijenti obloge  $K_D$  za tipove umjetnih betonskih blokova koja služi za proračun težine bloka  $G_A$  primarne uniformne umjetne betonske obloge.

Prema pravilu struke ugrađena primarna kamenometna obloga na lukobranu mora biti usko graduirana. CERC-7-II-205 Širina granulacije kamenometne obloge – školjere (ili širina njene granulometrijske krivulje) definira se "parametrom granulometrijske širine - PGŠ":

$$PG\check{S} = \frac{D_{85\%}}{D_{15\%}}. \quad (1.1.1.:4)$$

gdje je:

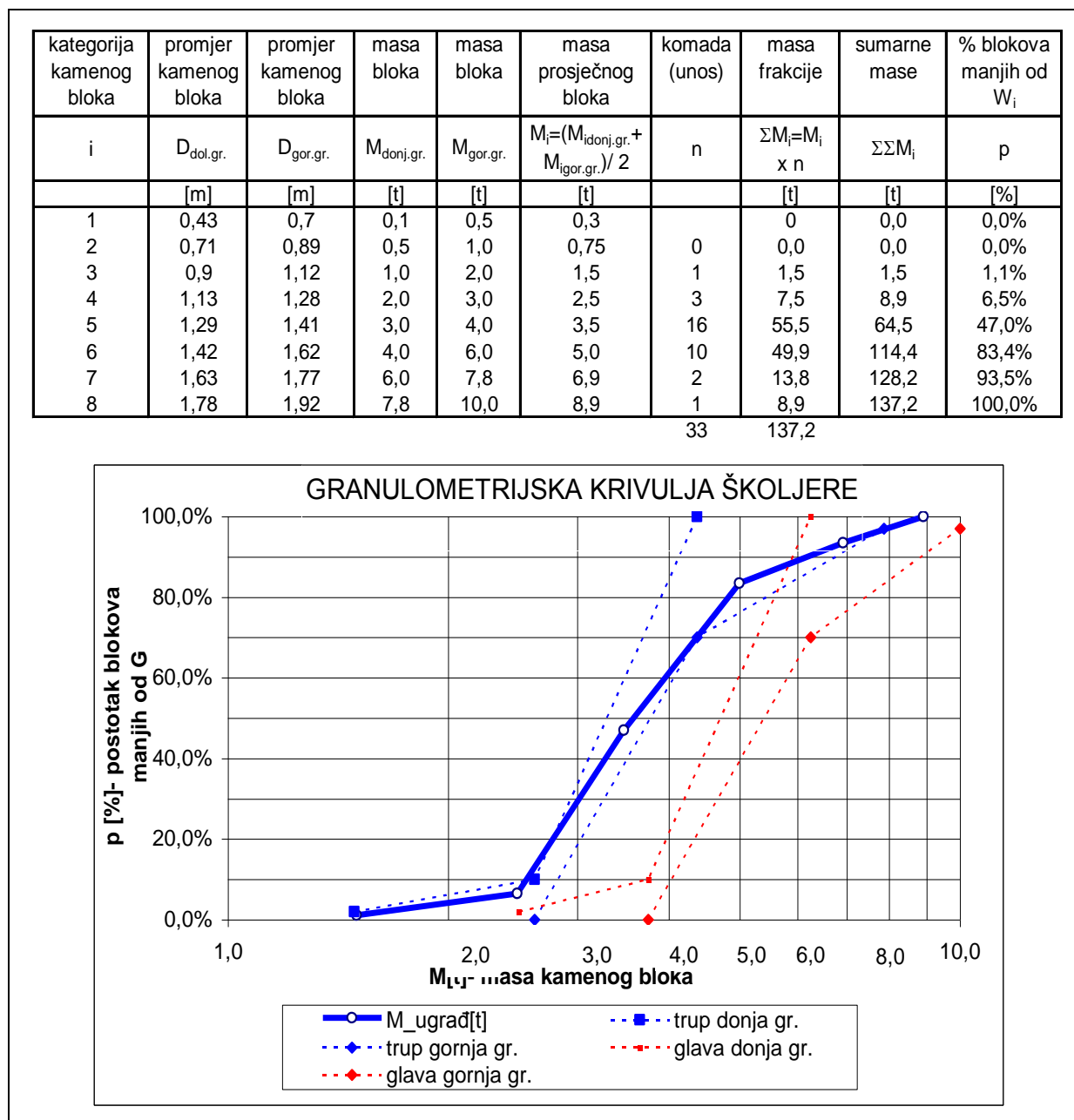
- PGŠ parametrom granulometrijske širine  
 $D_{85\%}$  promjer otvora „sita“ (rešetke) kroz koji prođe 85% ukupne mase uzorka; t.j. promjer 85%-nog "zrna". Pritom je  $D_{x\%} = [(6 \times G_{x\%}) / (\rho_{kam} \times \pi)]^{1/3}$ ,  
 $D_{15\%}$  promjer otvora „sita“ (rešetke) kroz koji prođe 15% ukupne mase uzorka; t.j. promjer 15%-nog "zrna"  
 a  $G_{x\%}[N]$  se očitava s granulometrijske krivulje.

Uska granulometrija definirana je s  $PG\check{S} < 1,35$ , široka s  $1,35 < PG\check{S} < 2$ , a vrlo široka s  $PG\check{S} > 2$  CIRIA-244.

lokacija blokova školjere		$G_{dop}^{min}$	$G^{min}$	$G^{50\%}$	$G^{max}$	$G_{dop}^{max}$
glava	težina blokova	$0,5 G^{50\%}$	$0,75 G^{50\%}$	$1 G^{50\%}$	$1,25 G^{50\%}$	$2 G^{50\%}$
	donja granica (#G)	2%	10%		100%	
	gornja granica (#G)		0%		70%	97%
trup	težina blokova	$0,425 G^{50\%}$	$0,75 G^{50\%}$	$1 G^{50\%}$	$1,25 G^{50\%}$	$2,25 G^{50\%}$
	donja granica (#G)	2%	10%		100%	0%
	gornja granica (#G)		0%		70%	97%

Tab. 1.1.1.:II Granulometrijski raspon školjere po sekcijama CERC7- 205,CIRIA97,98

Ako se školjera ugrađena u primarnu oblogu želi potpuno definirati onda se njena uska granulometrijska krivulja mora uklapati u područje granulacije omeđeno donjom i gornjom granicom kao na Sl.1.1.1.:2. Na slici su dana granulometrijska područja za trup (plavo) i glavu (crveno) definirana Tablicom 1.1.1.:II.



Slika 1.1.1::2 Primjer ugrađene uskograduirane primarne kamenometne obloge - školjere na trupu lukobrana s proračunatom težinom bloka  $G_A=3,5[t]$  – puna crta. Crtkano su dane granice granulacije primarne obloge  $G_A=3,5[t]$  za trup (plavo) i za glavu  $G_A=5[t]$  (crveno).

Projektni porozitet školjere treba biti 35% - 42% CERC7-234&237, CIRIA105, a izgradnjom postignuti porozitet određuje se izrazom CERC7-234:

$$p[\%] = 100 - \frac{Nr}{A \cdot n \cdot k_{\Delta} \cdot \left( \frac{P_{kam}}{M_A^{50\%}} \right)^{2/3}} \times 100 \quad (1.1.1::5)$$

gdje je:  $p$  [%] porozitet školjere  
 $A$  [ $m^2$ ] površina pokosa primarne obloge koji se ispituje  
 $n=1$  broj blokova u ispitanom sloju školjere. Sloj školjere u pravilu ima 2 bloka, ali ispituje se samo jedan blok (površinski) koji se vidi kad je školjera već ugrađena na lukobran  
 $k_{\Delta}$  koeficijent sloja Tab. 1.1.1::IV CERC II 7- 234  
 $\rho_{kam}=2.600$  [ $kg/m^3$ ] gustoća mase kamena  
 $M^{50\%}_A$  [kg] masa 50 %-tnog zrna primarne obloge iz granulometrijske krivulje snimljene na izgrađenom lukobranu  
 $Nr$  broj kamenih blokova izbrojen na površini pokosa primarne obloge.

Poroziteti 2-slojnih obloga od umjetnih betonskih blokova kreću se od 47 do 54%, a jednoslojnih: accropode 51,5% i coreloc 60%.

Projektna zapreminska težina ugrađene školjere treba biti  $\gamma_{kam}^{zapr}=17-15$  [ $kN/m^3$ ] CIRIA540 (prosječno  $16\pm 1$  [ $kN/m^3$ ]),  $\gamma_{kam}^{zapr uronj}=10,5-9,5$  [ $kN/m^3$ ] (prosječno  $10\pm 0,5$  [ $kN/m^3$ ]), a izgradnjom postignuta odredit će se prema izrazu:

$$\gamma_{škollj}^{zapr} = \left(1 - \frac{p}{100}\right) \cdot \rho_{kam} \cdot g = \left(1 - \frac{p}{100}\right) \cdot \gamma_{kam} \quad \gamma_{škollj}^{zapr uronj} = \left(1 - \frac{p}{100}\right) \cdot (\gamma_{kam} - \gamma_{mora}) \quad (1.1.1::6)$$

gdje je:  $\gamma_{škollj}^{zapr}$  [ $N/m^3$ ] zapreminska težina školjere  
 $p$  [%] porozitet školjere snimljen na izgrađenom lukobranu prema izrazu (1.1.1::5)  
 $\rho_{kam}$  [ $kg/m^3$ ] gustoća mase kamena  
 $\gamma_{kam}$  [ $N/m^3$ ] zapreminska težina školjere ( $\gamma_{kam}=\rho_{kam} \times g$ )  
 $\gamma_{mora}$  [ $N/m^3$ ] zapreminska težina mora, ( $\gamma_m=\rho_m \times g=1025 \times 9,81=10.055$  [ $N/m^3$ ])

Na isti način bi se dala proračunati i zapreminska težina ugrađene obloge od umjetnih betonakih blokova. Zapreminska težina ugrađenih 2-slojnih obloga od umjetnih betonskih blokova je  $\gamma_{bet.blok}^{zapr}=12,7-11$  [ $kN/m^3$ ], jednoslojnih accropode blokova  $11,6$  [ $kN/m^3$ ] i jednoslojnih coreloc blokova  $9,5$  [ $kN/m^3$ ].

Kako se kod analize ugrađene zapreminske težine školjere mase pojedinih kamenih blokova vizualno procjenjuju (u stvari se procjenjuje promjer zrna), i ne zna se ništa o podpovršinskom sloju zaštitne školjere, porozitet i zapreminska težina školjere neće biti precizno određena.

Za usporedbu daje se porozitet i zapreminska težina općeg kamenog nasipa:



$\gamma_{\text{opći kam. nas}}^{\text{zapr}} [\text{kN/m}^3]$	17 do 19
$\gamma_{\text{opći kam. nas}}^{\text{zapr. uronj}} [\text{kN/m}^3]$	10,5 do 11,5
$\rho$ [%]	35 do 27

Tab. 1.1.1.:III Zapreminske težine i porozitrt općeg kamenog nasipa za  $\rho=2600[\text{kg/m}^3]$ . EAU tab. param. tla

Debljina sloja primarne obloge izračunava se kao:

$$t = n \cdot k_{\Delta} \sqrt[3]{\frac{G_A}{\rho_{\text{obl}} \cdot g}} = n \cdot k_{\Delta} \sqrt[3]{\frac{G_A}{\gamma_{\text{obl}}}} \quad (1.1.1.:5)$$

- gdje je:  $t$ [m] debljina sloja primarne obloge  
 $n$  broj blokova u sloju primarne obloge (uglavnom  $n=2$ )  
 $k_{\Delta}$  koeficijent sloja prema Tab. 1.1.1.:V  
 $G_A$ [N] težina bloka primarne obloge  
 $\rho_{\text{obl}} [\text{kg/m}^3]$  gustoća mase materijala obloge:  
kamen vapnenec 2600 [kg/m<sup>3</sup>], beton 2400 [kg/m<sup>3</sup>]  
 $\gamma_{\text{obl}} [\text{N/m}^3]$  zapreminska težina materijala obloge:  
kamen vapnenec 26.000 [N/m<sup>3</sup>], beton 24.000 [N/m<sup>3</sup>]

Armor Unit	n	Placement	Layer Coefficient $k_{\Delta}$	Porosity (P) %
Quarrystone (smooth) <sup>1</sup>	2	Random	1.02	38
Quarrystone (rough) <sup>2</sup>	2	Random	1.00	37
Quarrystone (rough) <sup>2</sup>	>3	Random	1.00	40
Quarrystone (parallelepiped) <sup>6</sup>	2	Special	--	27
Cube (modified) <sup>1</sup>	2	Random	1.10	47
Tetrapod <sup>1</sup>	2	Random	1.04	50
Quadripod <sup>1</sup>	2	Random	0.95	49
Hexipod <sup>1</sup>	2	Random	1.15	47
Tribar <sup>1</sup>	2	Random	1.02	54
Dolos <sup>4</sup>	2	Random	0.94	56
Toskane <sup>5</sup>	2	Random	1.03	52
Tribar <sup>1</sup>	1	Uniform	1.13	47
Quarrystone <sup>7</sup>	Graded	Random	--	37

<sup>1</sup> Hudson (1974).

<sup>2</sup> Carver (1983).

<sup>3</sup> Hudson, (1961a).

<sup>4</sup> Carver and Davidson (1977).

<sup>5</sup> Carver (1978).

<sup>6</sup> Layer thickness is twice the average long dimension of the parallelepiped stones. Porosity is estimated from tests on one layer of uniformly placed modified cubes (Hudson, 1974).

<sup>7</sup> The minimum layer thickness should be twice the cubic dimension of the  $W_{50}$  riprap. Check to determine that the graded layer thickness is  $\geq 1.25$  the cubic dimension of the  $W_{max}$  riprap (see eqs. 7-123 and 7-124 below).

Tab. 1.1.1.:IV Koeficijenti sloja  $k_{\Delta}$  i poroziteti  $p$ [%] raznih primarnih obloga CERC II, 7-234

Ovdje se ostali slojevi nasipnog lukobrana neće razmatrati, no kad je jednom poznata težina bloka stabilne primarne obloge  $G_A$  onda se sekundarna obloga B, filtri C i D te jezgra J određuju u odnosu na težinu 50 %-tnog bloka iz granulometrijske krivulje primarne obloge.

Za proračun težine blokova primarne širokograduirane kamene obloge (primjenjuje se na branama akumulacijskih jezera) koristi se također Hudsonova formula (1.1.1::1) gdje se umjesto koeficijenta  $K_D$  koristi se eksperimentalni koeficijent  $K_{RR}$  (Tab. 1.1.1::V).

TIP OBLOGE	SLAGANJE	$K_{RR}$ ZATRUP	
		lomljeni valovi	nelomljeni valovi
kamenometna, širokograduirana, uglata	slučajno	2,2	2,5

Tab. 1.1.1::V Eksperimentalni koeficijent obloge  $K_{RR}$  za Hudsonovu formulu proračuna težine bloka  $G_A^{50\%}$  stabilne širokograduirane kamenometne primarne obloge po kriteriju da nema oštećenja (upotrebljava se umjesto  $K_D$ ) EAU1996

$$G_A^{50\%} = \frac{\rho g H_{proj}^3}{K_{RR} \left( \frac{\rho_{obl}}{\rho_m} - 1 \right)^3 \text{ctg} \alpha} [m] \quad (1.1.1::6)$$

gdje je:

$W_{50}[N]$  težina blokova 50%-tne zastupljenosti na granulometrijskoj krivulji materijala za oblogu pokosa uz raspon granulacije je od  $0,125 W_{50}$  do  $4 W_{50}$ ,

$K_{RR}$  koeficijent stabiliteta za graduiranu oblogu od prirodnog kamena (Tab. 1.1.1::V). U ovom slučaju broj stabilnosti je  $N_S = (K_{RR} \cos \alpha)^{1/3}$ ,

$H_{proj}$   $H_{proj} = H_{1/10}$  Vidjeti CEM.

Izraz (1.1.1::6) primjenjuje se za hrapavu uglatu kamenu oblogu, kao i  $K_D$  kod izraza (1.1.1::1), i dopušta oštećenje 0-5%. Ekonomično se primjenjuje do visina valova  $H \leq 1,5$  m te je stoga često na branama raznih akumulacija. Za veće valne visine ekonomičnija je jednolična obloga. Ostali uvjeti primjene i ograničenja su kao za osnovnu Hudsonovu formulu.

### 1.1.2 Optimalno projektiranje lukobrana

Za optimalno projektiranje potrebno je poznavati postotak oštećenja primarne obloge  $D[\%]$  kod premašenja projektne valne visine  $H_{proj}$  (gdje je simbol  $H_{proj} \equiv H_{D=0}$ ) većim valom  $H_{D>0}$  (gdje je  $H_{D>0} > H_{D=0}$ ; t.j.  $H_{D>0} > H_{proj}$ ). Razmatraju se 2 jednako teška bloka primarne obloge različitih oznaka  $G_{D=0}$  i  $G_{D>0}$  t.j.  $G_{D=0} = G_{D>0}$ ). Od njih je  $G_{D=0}$  podvrgnut projektnoj valnoj visini  $H_{D=0}$  koja ne oštećuje oblogu (to se označava s  $D=0$  što podrazumijeva malo

oštećenje od  $D=0\%$  do  $5\%$ ), i u biti nema blokova koji u projektnoj valnoj klimi padnu s pokosa. Obložni blok  $G_{D>0}$  podvrgnut je valnoj visini  $H_{D>0}$  koja premašuje projektnu valnu visinu  $H_{D=0}$  pa neki blokovi padnu s pokosa (to se označava s  $D>0$ , a u stvari moguće je oštećenje  $D>5\%$ ).

Za projektni val  $H_{D=0}$  blok bez oštećenja ( $D=0\%$ ) bit će:

$$G_{D=0} \sim \frac{H_{D=0}^3}{K_{D=0}} \quad (1.1.1::6)$$

$K_{D=0}$  eksperimentalni koeficijent obloge bez oštećenja

Isti blokovi za veći val  $H_{D>0} > H_{D=0}$  bit će oštećivani tj. srušeni s pokosa ( $D>0\%$ ) i imati težinu u skladu s  $K_{D>0}$ :

$$G_{D>0} \sim \frac{H_{D>0}^3}{K_{D>0}} \quad (1.1.1::7)$$

$K_{D>0}$  eksperimentalni koeficijent obloge s oštećenjem

Ako su blokovi iste težine vrijedi:

$$\frac{H_{D=0}^3}{K_{D=0}} = \frac{H_{D>0}^3}{K_{D>0}} \quad \text{ili} \quad \frac{H_{D>0}^3}{H_{D=0}^3} = \frac{K_{D>0}}{K_{D=0}} \quad \text{ili} \quad (1.1.1::8)$$

$$K_{D>0} = K_{D=0} \left( \frac{H_{D>0}}{H_{D=0}} \right)^3 \quad (1.1.1::9)$$

Kako je  $H_{D>0} > H_{D=0}$  onda vrijedi:

$$K_{D>0} > K_{D=0} \quad (1.1.1::10)$$

Temeljem gornjeg razmatranja (jedn. 1.1.1::8) dani su u Tablici 1.1.2::I razni postotci oštećenja primarne obloge  $D=0-5\%$  do  $D=40-50\%$ , po tipovima obloga, za razne omjere  $H_{D>0} / H_{D=0}$ . Iz toga se daje izračunati  $K_{D>0}$  za razne postotke oštećenja pomoću izraza:  $K_{D>0} = K_{D=0} \cdot (H_{D>0}/H_{D=0})^3$ . Pritom se  $K_{D=0}$  uzme iz Tablice 1.1.1::I (na pr. za  $D=10-15\%$ -tno oštećenje primarne hrapave (uglate) kamenometne obloge na trupu lukobrana nelomljenim valovima eksperimentalni koeficijent obloge je:  $K_{D>0} = 4 \cdot (1,19)^3 = 6,74$ ).

Unit		Damage (D) in Percent						
		0 to 5	5 to 10	10 to 15	15 to 20	20 to 30	30 to 40	40 to 50
Quarrrystone (smooth)	$H/H_{D=0}$	1.00	1.08	1.14	1.20	1.29	1.41	1.54
Quarrrystone (rough)	$H/H_{D=0}$	1.00	1.08	1.19	1.27	1.37	1.47	<i>1.56</i> <sup>2</sup>
Tetrapods & Quadripods	$H/H_{D=0}$	1.00	1.09	1.17 <sup>3</sup>	1.24 <sup>3</sup>	1.32 <sup>3</sup>	1.41 <sup>3</sup>	1.50 <sup>3</sup>
Tribar	$H/H_{D=0}$	1.00	1.11	1.25 <sup>3</sup>	1.36 <sup>3</sup>	1.50 <sup>3</sup>	1.59 <sup>3</sup>	1.64 <sup>3</sup>
Dolos	$H/H_{D=0}$	1.00	1.10	1.14 <sup>3</sup>	1.17 <sup>3</sup>	1.20 <sup>3</sup>	1.24 <sup>3</sup>	1.27 <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Breakwater trunk,  $n = 2$ , random placed armor units, nonbreaking waves, and minor overtopping conditions.

<sup>2</sup> Values in *italics* are interpolated or extrapolated.

<sup>3</sup> **CAUTION:** Tests did not include possible effects of unit breakage. Waves exceeding the design wave height conditions by more than 10 percent may result in considerably more damage than the values tabulated.

Tablica 1.1.2.: Postotci oštećenja primarne obloge  $D[\%]$  za razne omjere  $H/H_{D=0}$  (što je identično oznaci  $H_{D>0} / H_{D=0}$ ) CERC II, 7-211

Na temelju poznavanja veličine oštećenja može se odrediti optimalan poprečni presjek trupa lukobrana po kriteriju da trošak gradnje s troškom održavanja bude minimalan.

1. korak: Počinje se dugoročnom valnom prognozom kojom se (na temelju opažanja žestokih valnih situacija tokom  $T_{reg}[\text{god}]$  i formiranja uzorka slučajne varijable  $\hat{H}_{1/10}$  opsega "n") odredi niz od "k" ekstremnih desetinskih valnih visina :

$$H_{1/10,i}^{extr} \quad i=1\dots k \quad (1.1.1::11),$$

gdje je:

$H_{1/10,i}^{extr}[\text{m}]$  i-ta ekstremna desetinska valna visina  
 $i=1\dots k$  indeks ekstremnih desetinskih valnih visina  $H_{1/10,i}$  u nizu ekstremnih desetinskih valnih visina dobivenih dugoročnom prognozom  
 $k$  broj valnih visina  $H_{1/10,i}^{extr}$  u nizu ekstremnih desetinskih valnih visina dobivenih dugoročnom prognozom (na. pr.  $k=7$ )  
 $T_{reg}[\text{god}]$  broj godina opažanja žestokih valnih situacija na temelju kojih je izvršena dugoročna prognoza

n	broj žestokih valnih situacija (tokom $T_{reg}$ [god]) na temelju kojih je izvršena dugoročna prognoza; t.j. opseg uzorka slučajne varijable desetinske valne visine $\hat{H}_{1/10}$ za dugoročnu prognozu
$\hat{H}_{1/10}$	slučajna varijabla desetinska valna visina
$H_{1/10,1}^{extr} = H_{1/10}^{1g}$ [m]	ekstremna desetinska valna visina povratnog razdoblja PR=1[god]
$H_{1/10,2}^{extr} = H_{1/10}^{2g}$ [m]	ekstremna desetinska valna visina povratnog razdoblja PR=2[god]
$H_{1/10,3}^{extr} = H_{1/10}^{5g}$ [m]	ekstremna desetinska valna visina povratnog razdoblja PR=5[god]
$H_{1/10,4}^{extr} = H_{1/10}^{10g}$ [m]	ekstremna desetinska valna visina povratnog razdoblja PR=10[god]
$H_{1/10,5}^{extr} = H_{1/10}^{20g}$ [m]	ekstremna desetinska valna visina povratnog razdoblja PR=20[god]
$H_{1/10,6}^{extr} = H_{1/10}^{50g}$ [m]	ekstremna desetinska valna visina povratnog razdoblja PR=50[god]
$H_{1/10,7}^{extr} = H_{1/10}^{100g}$ [m]	ekstremna desetinska valna visina povratnog razdoblja PR=100[god].

Nizu valnih visina odgovara niz vjerojatnosti njihovog premašenja:

$$P(H_{1/10,i}^{extr}) = P(\hat{H}_{1/10} \geq H_{1/10,i}^{extr}) \quad i=1 \dots k \quad (1.1.1::12),$$

gdje je:

$$P(H_{1/10,1}^{extr}) = P(\hat{H}_{1/10} \geq H_{1/10}^{1g}) \quad \text{vjerojatnost dostizanja ili premašenja ekstremne desetinske valne visine povratnog razdoblja PR=1[god]}$$

$$P(H_{1/10,2}^{extr}) = P(\hat{H}_{1/10} \geq H_{1/10}^{2g}) \quad \text{vjerojatnost dostizanja ili premašenja ekstremne desetinske valne visine povratnog razdoblja PR=2[god]}$$

$$P(H_{1/10,3}^{extr}) = P(\hat{H}_{1/10} \geq H_{1/10}^{5g}) \quad \text{vjerojatnost dostizanja ili premašenja ekstremne desetinske valne visine povratnog razdoblja PR=5[god]}$$

$$P(H_{1/10,4}^{extr}) = P(\hat{H}_{1/10} \geq H_{1/10}^{10g}) \quad \text{vjerojatnost dostizanja ili premašenja ekstremne desetinske valne visine povratnog razdoblja PR=10[god]}$$

$$P(H_{1/10,5}^{extr}) = P(\hat{H}_{1/10} \geq H_{1/10}^{20g}) \quad \text{vjerojatnost dostizanja ili premašenja ekstremne desetinske valne visine povratnog razdoblja PR=20[god]}$$

$$P(H_{1/10,6}^{extr}) = P(\hat{H}_{1/10} \geq H_{1/10}^{50g}) \quad \text{vjerojatnost dostizanja ili premašenja ekstremne desetinske valne visine povratnog razdoblja PR=50[god]}$$

$P(H_{1/10,7}^{\text{extr}}) = P(\hat{H}_{1/10} \geq H_{1/10}^{100g})$ . vjerojatnost dostizanja ili premašenja ekstremne desetinske valne visine povratnog razdoblja  $PR=100[\text{god}]$

Ti se nizovi podijele u "m" razreda tako da je svakom razredu pripada srednja ekstremna desetinska valna visina j-tog razreda:

$$H_{1/10, j}^{\text{extr}} = (H_{1/10, i=j}^{\text{extr}} + H_{1/10, i=j+1}^{\text{extr}}) / 2; \quad j=1 \dots m; \quad i=1 \dots k \quad (1.1.1::13)$$

gdje je:  $H_{1/10, j}^{\text{extr}}$  srednja ekstremna desetinska valna visina j-tog razreda dobivena podjelom ekstremnih desetinskih valnih visina  $H_{1/10, i}^{\text{extr}}$  na "j" razreda

$j=1 \dots m$  indeks razreda srednjih ekstremnih desetinskih valnih visina  $H_{1/10, j}^{\text{extr}}$

$m=k-1$  broj razreda na koje je razdijeljen niz ekstremnih valnih visina  $H_{1/10, i}^{\text{extr}}$ , (na pr.  $m=k-1=6$ ).

Svakoj srednjoj ekstremnoj desetinskoj valnoj visini j-tog razreda  $H_{1/10, j}^{\text{extr}}$  pridružena je vjerojatnost njenog nastupa:

$$\Delta P_j = P(H_{1/10, i=j}^{\text{extr}}) - P(H_{1/10, i=j+1}^{\text{extr}}); \quad j=1 \dots m; \quad i=1 \dots k \quad (1.1.1::14).$$

2. korak je projektiranje tipičnog poprečnog presjeka trupa lukobrana za najmanju srednju ekstremnu desetinsku valnu visinu ( $j=1$ )  $H_{1/10, j=1}^{\text{extr}}$  koja je definirana u 1. koraku. To je otprilike desetinska valna visina povratnog razdoblja  $PR \approx 1,5[\text{god}]$  koja će dati primarnu težinu bloka primarne obloge:

$$G_{j=1}^A = G_{A, j=1}^{50\%} = \frac{\rho_{\text{obl}} \cdot g \cdot (H_{1/10, j=1}^{\text{extr}})^3}{K_D \left( \frac{\rho_{\text{obl}}}{\rho_m} - 1 \right) \cdot \text{ctg } \alpha} \equiv G_{j=1, D=0}^A \quad (1.1.1::15)$$

Na temelju težine bloka primarne obloge  $G_{j=1}^A [N]$  može se izračunati debljina sloja primarne obloge  $t_{j=1}^A [m]$  pomoću formule (1.1.1::5) i Tab. 1.1.1::V. Potom se izračunaju i pripadne težine sekundarne  $G_{j=1}^B$  (ako se predviđa) i filterskih obloga  $G_{j=1}^C$  i  $G_{j=1}^D [N]$  (koje se od njih već predviđaju) s pripadajućim debljinama slojeva  $t_{j=1}^B$ ,  $t_{j=1}^C$  i  $t_{j=1}^D [m]$  i nacrt se poprečni presjek trupa lukobrana. Na temelju takvog nacrt izračunaju se troškovi gradnje negovih dijelova; primarne obloge  $T_{j=1}^{A\text{-obloge}}$ , sekundarne obloge  $T_{j=1}^{B\text{-obloge}}$ , svih filtera  $T_{j=1}^{C\text{-filt}}$   $T_{j=1}^{D\text{-filt}}$  i jezgre.

3. korak je određivanje postotka oštećenja primarne obloge  $D_j [\%]$ : Poprečni presjek trupa lukobrana; t.j. njegova primarna obloga, projektirana malom valnom visinom 1. razreda ( $j=1$ )  $H_{1/10, j=1}^{\text{extr}}$  bit će oštećena tom istom valnom visinom sa standardnih  $D_{j=1}=0$  do  $5 [\%]$ . Zbog toga se ova projektna valna visina može označiti kao  $H_{1/10, j=1}^{\text{extr}} = H_{D=0}$ . No primarna

obloga lukobrana će većim valnim visinama svih ostalih razreda  $H_{1/10, j=2, 3...m}^{extr} > H_{1/10, j=1}^{extr}$  biti jače oštećena. Drugim riječima bit će jače oštećena valovima većeg povratnog razdoblja od  $PR \approx 1,5[\text{god}]$ , pa se ti valovi indeksiraju s  $D > 0$ ; kao na pr.  $H_{1/10, j=2, 3...m}^{extr} = H_{D>0}$ . Konkretno veličine oštećenje primarne obloge  $D_{j=1,2, 3...m}[\%]$  valnim visinama svih razreda  $H_{1/10, j}^{extr} = H_{D>0}$ ;  $j=1,2,3...m$  općenito se određuju se uz pomoć Tab. 1.1.2.:I u postotku  $D_j[\%] = D_j(H_{1/10, j}^{extr} / H_{1/10, j=1}^{extr})$ ;  $j=1,2,3...m$ :

$$D_j[\%] = f\left(\frac{H_{D>0} = H_{1/10, j}^{extr}}{H_{D=0} = H_{1/10, j=1}^{extr}}\right) \quad j = 1,2,3...m; \text{ notacija u Tab. 1.1.2.::I} \quad \frac{H_{D>0}}{H_{D=0}} \equiv \frac{H}{H_{D=0}} \quad (1.1.1::16)$$

gdje je:  $D_j[\%]$  postotak oštećenje primarne obloge od srednje ekstremne desetinske valne visine  $j$ -tog razreda  $H_{1/10, j}^{extr}$ ,  $j=1,2,3...m$

Pritom je  $D_1$  uvijek veličine od 0 do 5[%] jer je  $D_1 = D_1(H_{1/10, j=1}^{extr} / H_{1/10, j=1}^{extr}) = D_1(1)$ , a  $D_{j=2, 3...m}$  uvijek > od 5[%] jer je  $D_j = D_j(H_{1/10, j}^{extr} / H_{1/10, j=1}^{extr}) = D_j(>1)$ ,  $j=2, 3...m$  kako pokazuje Tab. 1.1.2.:I.

4. korak je određivanje godišnjeg troška održavanja za 1m' lukobrana. Radi se u stvari o trošku vjerojatnog oštećenja lukobrana u jednoj godini koji je projektiran valom  $H_{1/10, j=1} = H_{D=0}$ , a podvrgnut je oštećenjima većih valova  $H_{1/10, j=1,2, 3...m}^{extr} = H_{D>0}$ .

Za to najprije treba izračunati koštanje oštećenja za 1m' lukobrana  $KO_j$  od veće oluje koja karakterizira svaki razred; t.j. od srednje ekstremne desetinske valne visine  $H_{1/10, j}^{extr} = H_{D>0}$  svakog razreda  $j=1,2,3...m$ :

$$KO_j[\text{kn/m}'] = D_j \times T_{j=1}^{obloge} \quad j=1,2...m \quad (1.1.1::17),$$

gdje je:  $T_{j=1}^{obloge}[\text{kn/m}']$  koštanje izgradnje primarne (eventualno i ostalih) obloge projektirane za malu srednju ekstremnu desetinsku valnu visinu prvog razreda ( $j=1$ )  $H_{1/10, j=1}^{extr}$ . U gornjem izrazu oretpostavlja se malo oštećenje  $D_j < 20[\%]$ ; t.j. da oštećenje neće ići dublje od primarne obloge. No kod srednjih oštećenja primarne obloge  $20[\%] < D_j < 40[\%]$  oštećuju se primarna i sekundarna obloga, pa je TI trošak izgradnje primarne i sekundarne obloge lukobrana po m' lukobrana. Kod velikih oštećenja  $D_j > 40[\%]$  oštećuje se cijeli lukobran, pa je TI trošak izgradnje cijelog lukobrana po m'.

Potom se može izračunati godišnji trošak održavanja za 1m' lukobrana:

$$GO_i[\text{kn/m}'] = \sum_{j=1}^m KO_j \times p_j \quad \text{samo za predavanje} \quad GO_i[\text{kn/m}'] = \sum_{i=2}^k KO_i \times p_i \quad (1.1.1::18)$$

samo za predavanje  $H_{1/10, i}^{extr}$

gdje je  $p_j$  vjerojatnost oštećenja u jednoj godini od veće valne visine  $H_{1/10,j}^{extr}$ ,  $j=1,2,3\dots m$ . Vjerojatnost  $p_j$  izračunava se sukladno režimu održavanja lukobrana koji može biti: popravak poslije svake oluje, popravak  $1 \times$  godišnje i da se ne popravljaju nikad.

$$p_j = M \times \Delta P_j, \quad j=1,2,3\dots m \quad (\text{popravak poslije svake oluje}) \quad (1.1.1::19)$$

$$p_j = 1 - (1 - \Delta P_j)^M, \quad j=1,2,3\dots m \quad (\text{popravak } 1 \times \text{ godišnje}) \quad (1.1.1::20)$$

$$p_j = 1 - (1 - \Delta P_j)^{M \times LT}, \quad j=1,2,3\dots m \quad (\text{ne popravljaju se nikad}) \quad (1.1.1::21)$$

gdje je:

$p_j$  vjerojatnost oštećenja u jednoj godini od srednje ekstremne desetinske valne visine  $j$ -tog razreda  $H_{1/10,j}^{extr}$ ,

$M = n/T_{reg}$  prosječan broj oluja u jednoj godini na temelju kojih je izvršena dugoročna prognoza

$P_{(H_{1/10,i}^{extr})} - P_{(H_{1/10,i+1}^{extr})} = \Delta P_j$  vjerojatnost da se desi srednja ekstremna desetinska valna visina  $j$ -tog razreda  $H_{1/10,j}^{extr}$  prema jednadžbi (1.1.1::14)

$LT$   $LT[\text{god}]$  životni vijek lukobrana (obično  $LT=50[\text{god}]$ )

$GO[\text{kn}]$  trošak godišnjeg održavanja primarne obloge po  $m'$  lukobrana

Kad se sva godišnja održavanja u uporabnom vijeku konstrukcije (obično 50 god) diskontiraju na početnu godinu eksploatacije objekta i zbroje dobije se sadašnja vrijednost održavanja  $[SVO(H_{1/10}^{1,5g})]$  u cijelom uporabnom vijeku. Ta se procedura ponavlja za ostale valne visine  $H_{D=0} \equiv H_{1/10}^5, H_{1/10}^{10}, H_{1/10}^{100g}$ , te se dobije funkcija  $SVO(H_{1/10}^{PR})$  koja je to manja što je povratno razdoblje  $PR$  veće (Sl. 1.1.2::1). Jasno je da je održavanje to manje što je projektno razdoblje na koje je lukobran dimenzioniran (Sl. 1.1.2::1) veće.

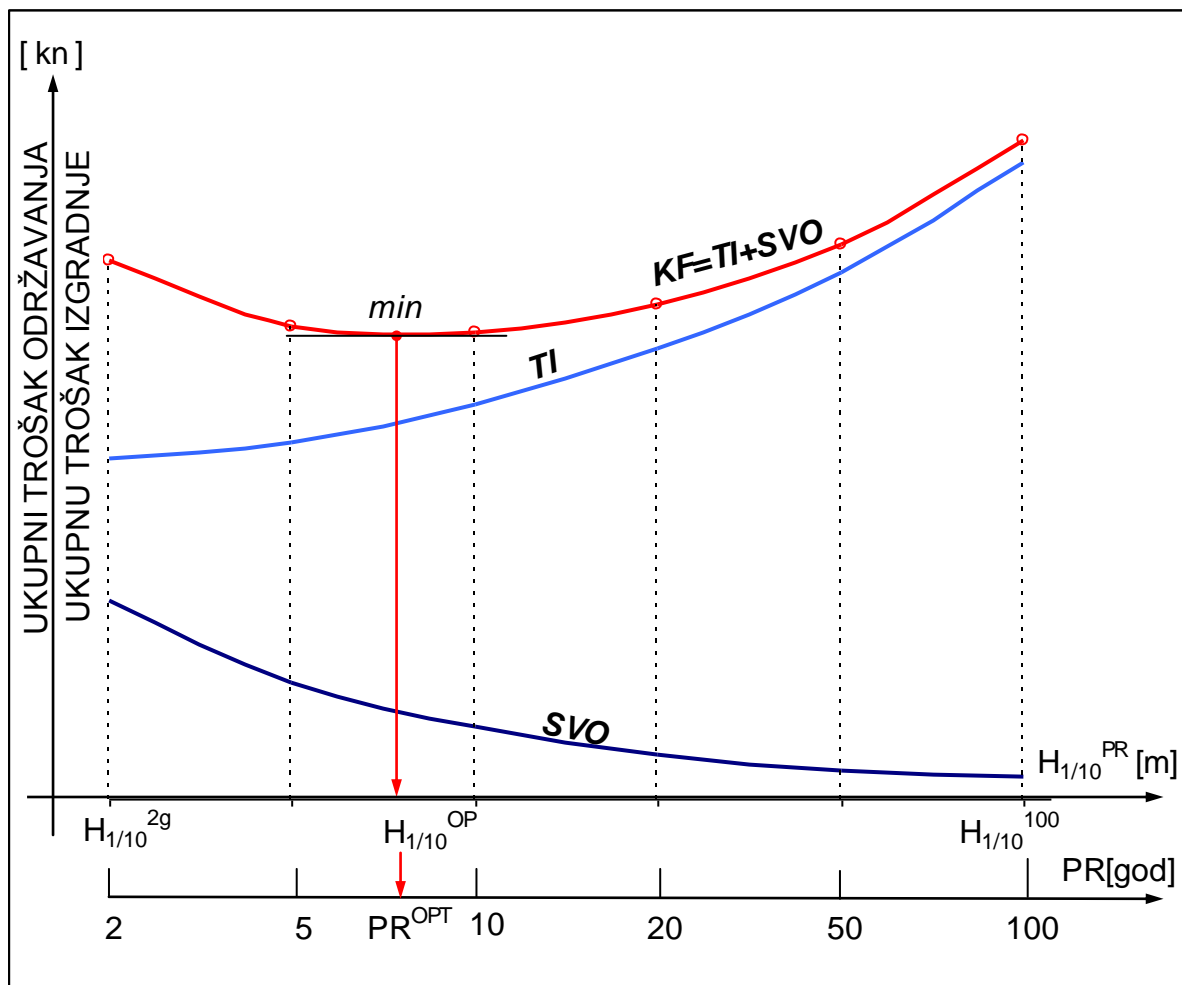
S druge strane za svaki  $H_{1/10,i} = H_{1/10}^{PR}$  ( $PR=2\dots 100g$ ) izračuna se ukupan trošak gradnje za 1 m' poprečnog presjeka lukobrana (obloga, filteri, jezgra) označen kao trošak izgradnje  $TI(H_{1/10}^{PR})$ . Dakle i ovdje se radi o sadašnjoj vrijednosti, tj. o vrijednosti u trenutku završetka gradnje odnosno početka eksploatacije. Ona raste s povratnim razdobljem.

Sada se može definirati kriterijska funkcija» kao trošak izgradnje i održavanja (Sl. 1.1.2::1):

$$KF(H_{1/10}^{PR}) = TI(H_{1/10}^{PR}) + SVD(H_{1/10}^{PR})$$

Poprečni presjek lukobrana je optimalan kad je trošak izgradnje i održavanja minimalan, tj. u minimumu kriterijske funkcije (Sl. 1.1.2::1).





Sl. 1.1.2::1 Princip optimizacije poprečnog presjeka lukobrana

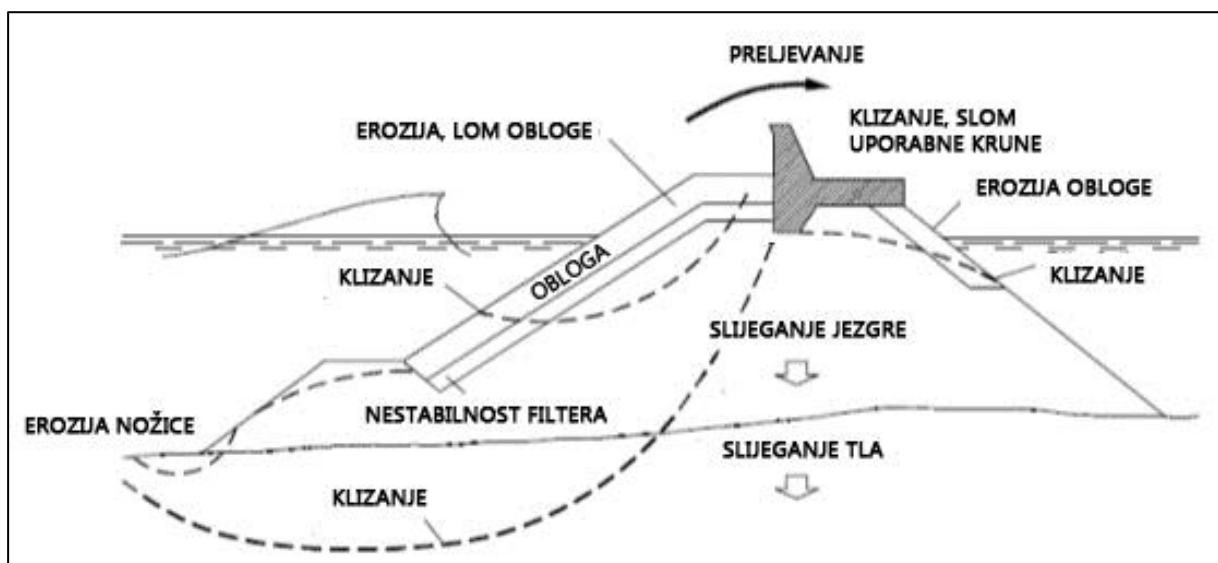
### 1.1.3 Problemi primjene nasipnih lukobrana

#### Opći uvod o slomu nasipnih lukobrana

- Geomehanički slom trupa lukobrana
  - globalni
  - lokalni
- Hidrodinamički slom
  - podbačaj mase vanjskog bloka (erozija obloge pokosa obloge nožice valovima)
  - podbačaj mase unutarnjeg bloka (erozija od preljevanja valova)
  - erozija jezgre i filtra (djelovanjem porasta podzemne vode uzrokovanog valovima)
  - erozija temeljnog tla ispod nožice
- Slom konstrukcije bloka obloge
  - Slom konstrukcijskog elementa uslijed premašenja njegove čvrstoće
  - Slom uslijed zamora
- Gubitak stabilnosti uporabne krune (klizanje)

- Slom uporabne krune

Blokovi s vitkim elementima (slender) su osjetljivi na pucanje i lomljenje (sl. 17) zato što područja ograničenog presjeka mogu dovesti do relativno velikih vlačnih naprezanja. Mnogi neuspješno projektirani lukobrani sa Tetrapodom i Dolosom uzrokovani su lomom blokova zbog pojedinačnog prednaprezanja ili masovnog zamora. Većina povijesnih šteta (sl. 16) mogla je biti izbjegnuta da je otpornost na slom projektirana na dugi vijek uporabe, slom konstrukcije i zamor, te da su primijenjene adekvatne tehnološke i antikorozivne mjere.



Slika 1 Pregled mogućih grešaka (CEM)

Ove greške uzrokovale su pad uporabe vitkih i povratak uporabi masivnih blokova, osobito Antifer blokova. To je također dovelo do razvoja glomaznih blokova kao što su Haro, Acropode i Core Loc. Masivni blokovi imaju najmanje vlačne sile zbog velikog poprečnog presjeka. Sklonost prema masivnim blokovima neće se promijeniti dok se ne pojavi proračun otpornosti na slom za vitke blokove.



Slika 2 Devastacija lukobrana

#### 1.1.5 Zaštita nožice nasipnog lukobrana

Nožica je kontakt konstrukcije i temeljnog tla na morskom dnu. Glede ponašanja nožice pod valnim djelovanjem razlikuju se 2 slučaja:

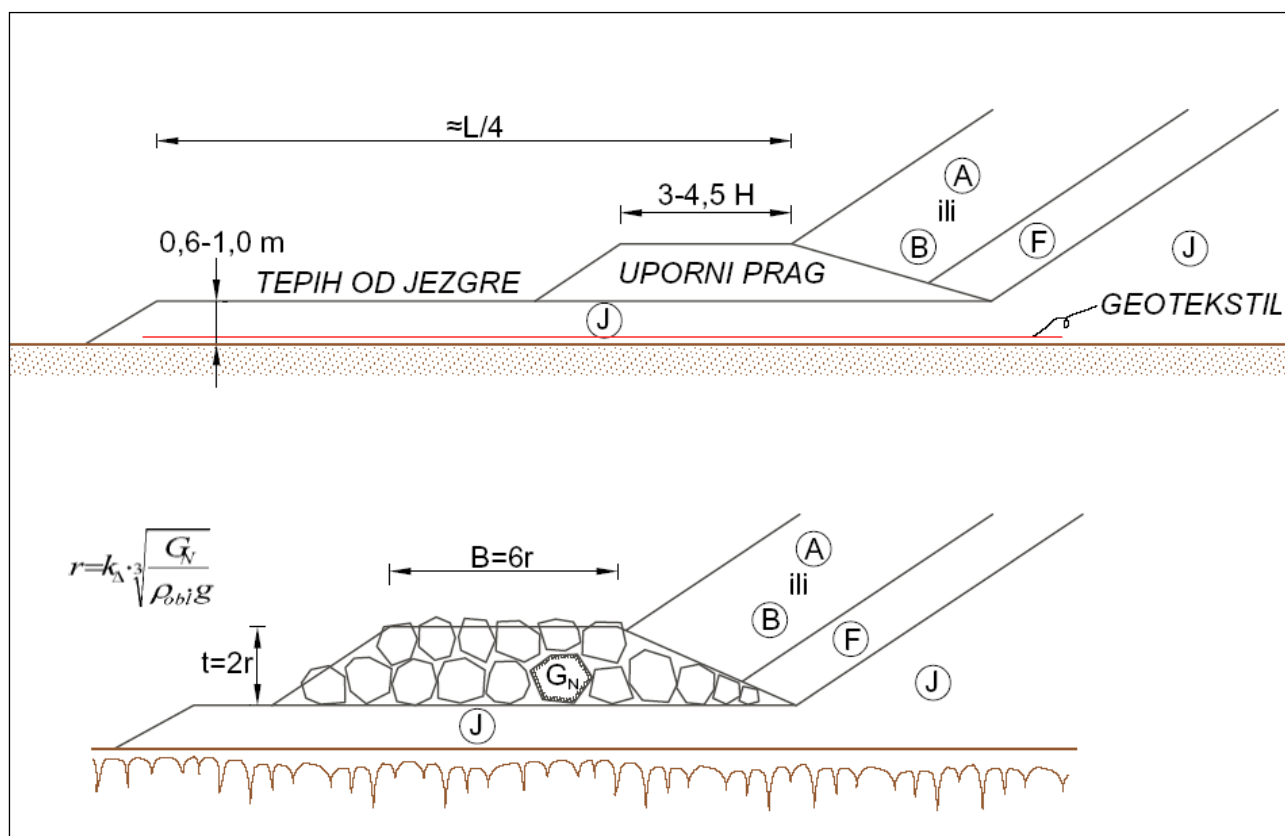
- a) temeljno tlo na morskom dnu je erodibilno (pijesak, prah, šljunak, pa i glina);
- b) temeljno tlo je srasla kamena stijena.

Ad a) Promjene u tlaku vala i time izazvano strujanje u tlu mogu u zoni nožice uzrokovati kratkotrajno podizanje čestica tla na morskom dnu i stvaranje «oblaka» suspendiranog tla u pridnenom sloju morske vode. U pravilu je uzduž lukobrana prisutna morska struja (plimna i od valova) pa će ona suspendirani oblak polako premještati prema glavi, ili korijenu lukobrana. Dakle na nožici trupa lukobrana dešavat će se erozija, a na glavi ili korijenu taloženje.

Ako je erozija plitka (mala) to može izazvati izmicanje oslonca zaštitnoj oblozi na dnu i slom lica pokosa pri dnu, a ako je duboka (velika) desit će se znatno povećanje strmine pokosa i kao posljedica toga slom temeljnog tla te na koncu klizanje cijelog pokosa. Na ovako oštećenjem «načet» lukobran još dalje «nasrnu» valovi i lukobran se značajno oštetiti. No nikad se potpuno ne sruši, jer dođe do ublažavanja njegovih pokosa i sniženja

kruna na što su valne akcije puno slabije, odnosno kod nekih nagiba i nekog sniženja kruna oni se uravnoteže s valnom akcijom pa proces rušenja ne ide dalje. Radi navedenog potrebno je tlo na morskom dnu osigurati od erozije.

Za najgore uvjete (pješčano dno, mala dubina i lomljeni valovi) kao kod obaloutvrda, CERC II 2-247 i 248, ali i kod plitkih lukobrana eroziju treba spriječiti geotekstilom i materijalom jezgre iznad njega (Sl. 1.1.3::1). Još je bolje za ovako teške uvjete nožicu ukopati ili načiniti tepih od gabiona ili fašinskog madraca. Kod dubljih nožica gdje se valovi ne lome može se odustati od geotekstila.



Slika 1.1.3::1 Zaštita nožice nasipnog lukobrana od erozije

Ad b) Nožicu na neerodibilnom dnu ne treba štiti od erozije tla pa otpada geotekstil i dugački tepisi od materijala jezgre no potreban je uporni prag. Tepih je tada tek nešto duži od uspornog praga (Sl. 1.1.3::1).

I u slučaju (a) i u (b) treba izgraditi uporni prag koji podupire primarnu oblogu. Njegovi blokovi moraju biti stabilni na valnu akciju.

Ako je prag u dubini većoj od dubine loma težina blokova  $G_N$  mu se izračunava kao kod propusne nožice ispod vertikalnog lukobrana (vidi 1.2.1), i to za nelomljeni val s  $H_{proj} = H_{max}^{100g} = 2 H_S^{100}$  i  $d_s = H_{proj}$ . Širina praga je 6 zrna, a debljina 2 zrna (Sl. 1.1.3::1).

U slučaju lomljenih valova max blokovi za prag su:

$$G_N^{\max} \leq G_B = \frac{G_A}{2} \quad (\text{prema CERC II 7- 246})$$

$G_N^{\max}$  primjenjuje se za plitke pragove, ali koji su kod valnog djelovanja još uvijek pod vodom. Ako je prag izložen žljebu vala, tj. ako se ozračuje u procesu loma vala iznad njega, težina njegovih blokova mora biti kao kod prim. obloge:

$$G_N = G_A$$

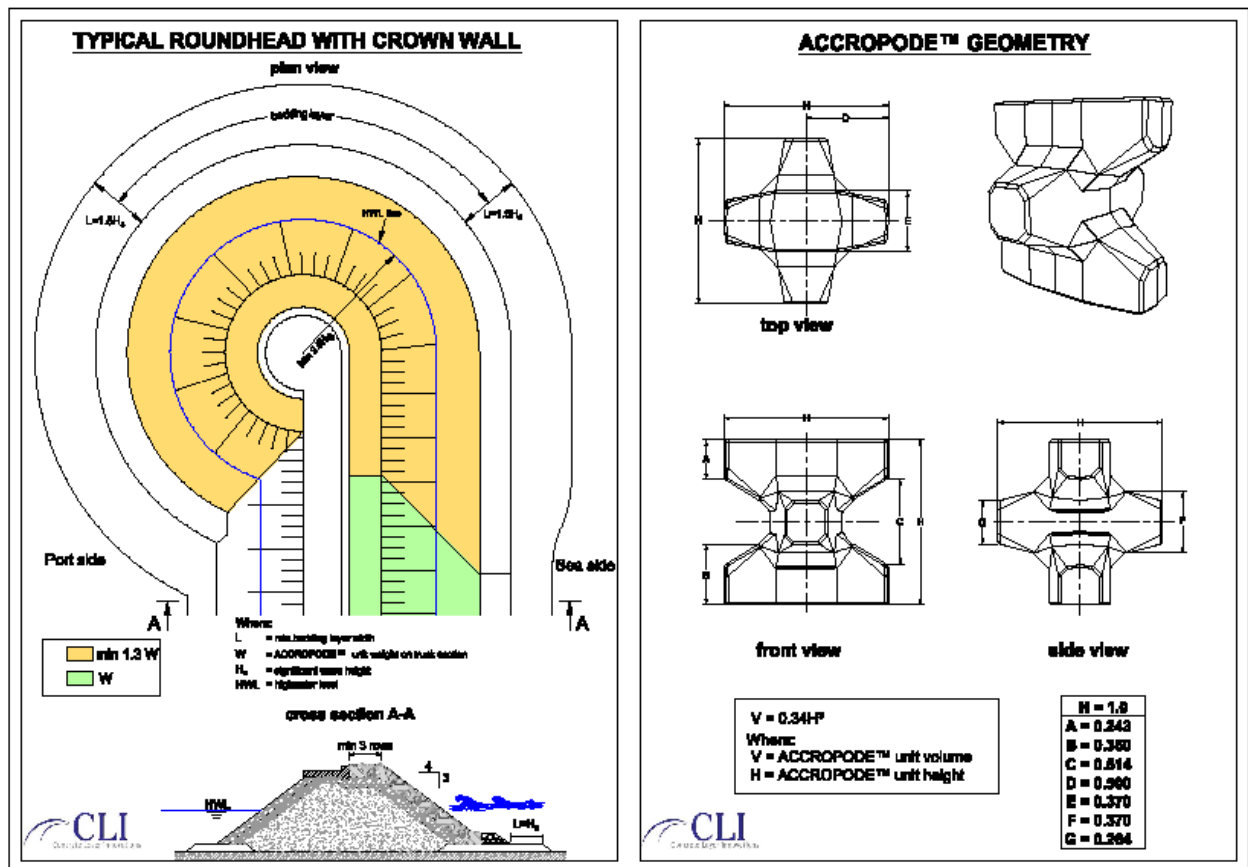
No tada debljina praga može biti ekvivalentna jednom «zrnu». (prema CERC II 7- 246)

Ako istovremeno djeluju valovi i struje, težinu blokova praga treba povećati 1,5 puta.  
(prema CERC II 7- 24)

### 1.1.5 Glava i koljeno nasipnog lukobrana




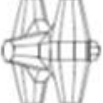







Glava se u tlocrtu izvodi u vidu polukružnog nasipa (Sl. 1.1.1::2), a koljeno u vidu pokosa u zavoju. Zbog kružnog pokosa blokovi primarne obloge su slabije ukliješteni i stoga moraju biti teži nego li na trupu. To se postiže primjenom manjeg  $K_D$ , tj.  $K_D$ -a za glavu.

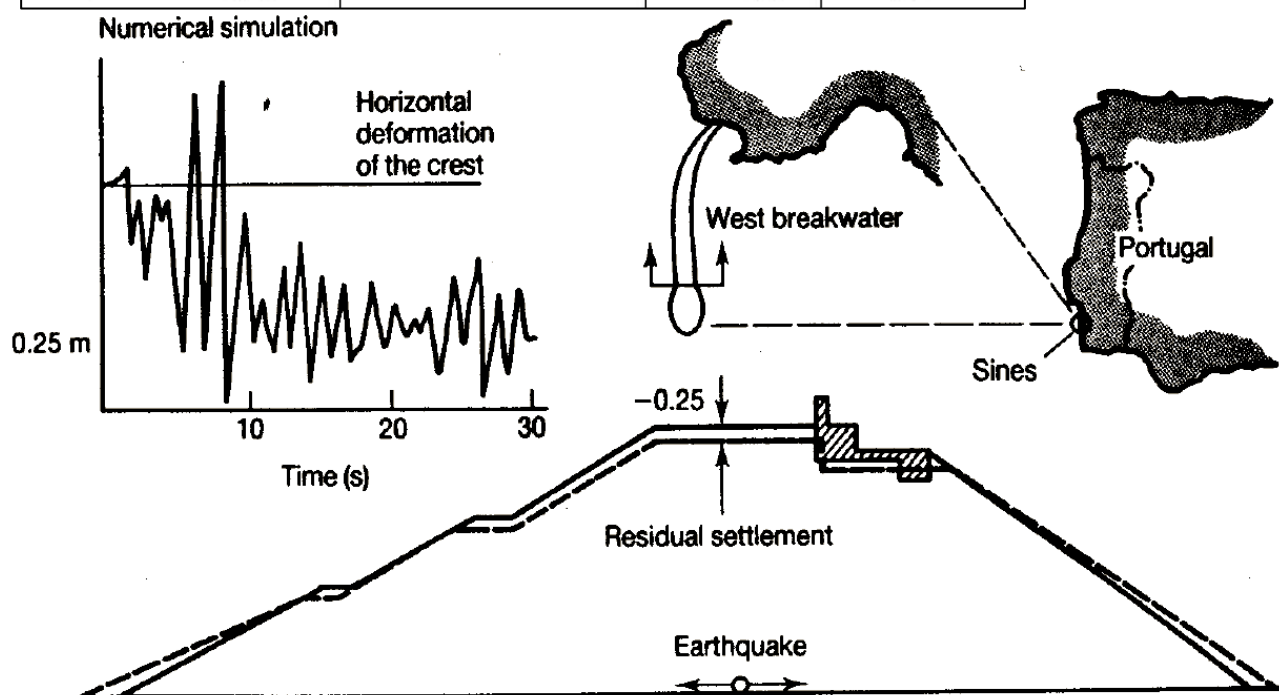
Ako se žele zadržati isti blokovi na glavi i koljenu kao na trupu, onda na glavi i koljenu treba ublažiti pokos.



### 1.1.6 Slijegavanje i nadvišenje nasipnog lukobrana

Prirodno slijegavanja kamenog nasipa, uzrokovano gravitacijom, vibracijama od valova i potresima. Kod kamenih brana zbog toga se obično dodaje nadvišenje cca 0,2% do 0,5%. Za usporedbu rahli šljunak na suhom može se mehanizacijom zbiti 10 do 15%, a kameni nasip veličine 10/60kg do 15%. Podmorski nasip može se uspješno zbijati miniranjem s malim punjenjima eksploziva u bušotinama izvedenim u nasipu. Ako se uzme da su ubrzanja mehanizacije 5× veća od ubrzanja potresa (10g : 2g) onda se može očekivati zbijanje nasipnog lukobrana uslijed potresa od 2 do 4%. Valno zbijanje može biti reda veličine 1%. CIRIA<sup>338</sup> Dakle prosječno prirodno zbijanje je oko 3% volumena što daje cca 4%-tno smanjenje visine, ili potrebu istog tolikog nadvišenja.

MASIVNI		GLOMAZNI		TANKI	KOCKE S VIŠE RUPA
PARALLELEPIPED BLOCK	GROOVED CUBE WITH HOLE	ACROPOD®	CORE LOC®	TETRAPOD	SHED
					
CUBE	ANTIFER	HARO®	SEABEE	DOLOS	COB
					



Sl. 1.1.5::1 Skica slijeganja lukobrana uslijed djelovanja potresa (numerička simulacija)  
GIRIA338

### 1.1.7 Analiza umjetnih obloga

Primarne umjetne obloge se mogu podijeliti na:

- **Masivne** (massive or blocky) – (parallelepiped block, cube, grooved cube)
- **Glomazne** (bulky) – (Acropode, Core Loc, Haro, Seabee)
- **Tanke, vitke** (slender) - (Tetrapod, Dolos)
- **Kocke s više rupa** (multi-hole cubes) – (Shed, Cob)

Tablica 1 Vrste umjetne betonske obloge

















Najčešći tipovi umjetnih blokova (tab.1) koji se danas koriste su Tetrapod, Accropode (Francuski laboratorij Sogreah), Antifer, Core-loc blokovi(US Arm. Corps of Engineers, Coastal Hydraulics Laboratory).

Obzirom na broj primarnih obloga:

- Dvoslojna primarna obloga postavljena slučajno
- Jednoslojna primarna obloga postavljena slučajno
- Jednoslojna primarna obloga postavljena određenim redom

Betonski blokovi su skoro uvijek smješteni slučajno na pokose u dvoslojnoj primarnoj oblozi. Najčešći tipovi blokova dvoslojne primarne obloge su kameni blokovi, Tetrapodi i nešto moderniji Antifer blok. Glomazni blokovi se mogu koristiti i u dvoslojnoj i jednoslojnoj primarnoj oblozi (tab.2). Kocke s više rupa (multi-hole cubes) se postavljaju uredno u redovitim uzorcima gdje se svaki blok naslanja na susjedni.

Tablica 2 Podjela betonskih blokova prema obliku, položaju i faktoru stabilnosti

Položaj	Broj blokova u sloju	Oblik	Faktor stabilnosti								
			Po težini			Uklještenošću		Trenjem			
ačeno Slučajno (uniform or random or pall-mall)	Dvoslojan	Jednostavan	Cube	Antifer	Haro						
											
		Kompleksan	Tetrapod	Akmon		Tribar	Tripod				
											
						Stabit	Dolos				
											
	Jednoslojan	Jednostavan	Cube			A-jack					
											
		Kompleksan				Accropode	Core-loc	Xbloc			
											
Jedno slojan	Jednostavan						Seabea	Diahitis			



					
		Kompleksan		Cob	Shed
					

Masivni betonski blokovi su izrađeni od nearmiranog betona osim nekih multi-hole kocaka gdje se koriste vlakna. Za tanke (vitke) blokove, kao što su Dolos s malim radijusom obujma, koriste se različite vrste ojačanog betona (armirani, prednapregnuti, vlakna, staro željezo, čelični profili).

Prednosti danas najkorištenijih betonskih blokova su te što ih je jednostavno skladištiti. Većinom se mogu slagati jedan na drugi kao npr, Core-loc u tkz. riblju kost (sl. 13). Svi ti oblici imaju jednostavnu oplatu (sl.14) s čime je osigurano jednostavno lijevanje betona pa i samo postavljanje (sl. 15).



Slika 3 Skladištenje blokova (Core-loc)



Slika 4 Oplata betonskog bloka (Core-loc)



Slika 5 Postavljanje betonskih blokova (Core-loc)

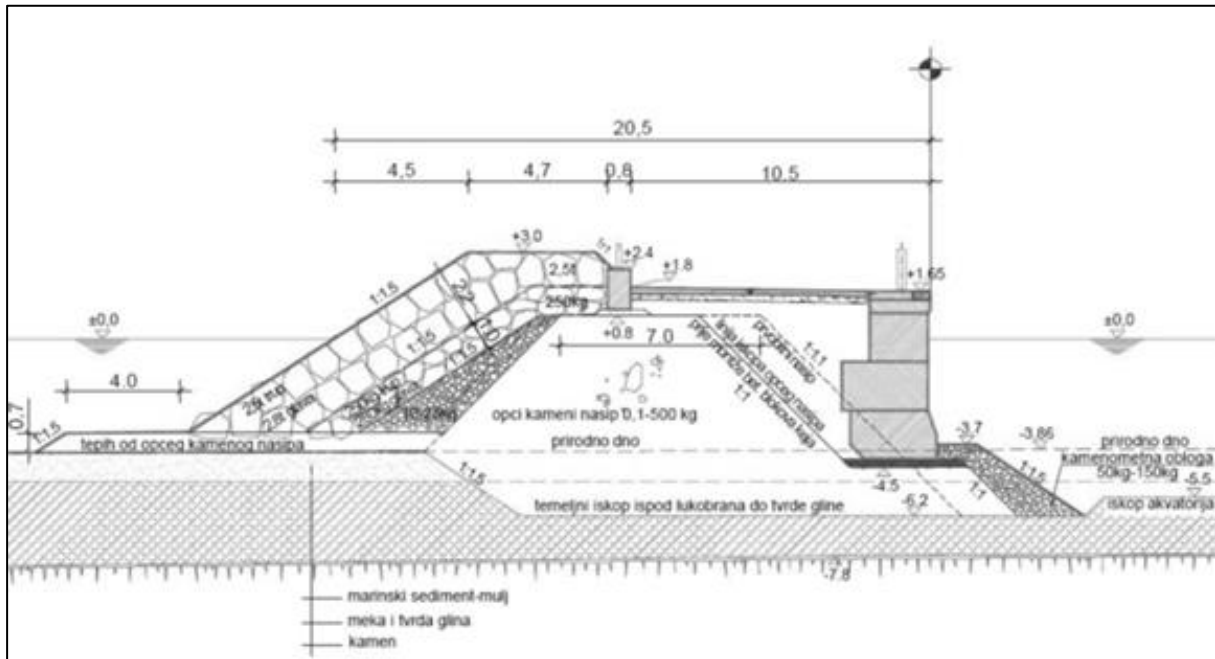
Betonski blokovi su se razvijali kroz povijest, mnogi prvotni oblici se danas vrlo rijetko koriste. Zamijenili su ih složeniji tipovi. USACE (1984) je dao popis nekih od brojnih vrsta. Njihov povijesni razvoj dan je u tablici 3.

Tablica 3 Povijesni razvoj

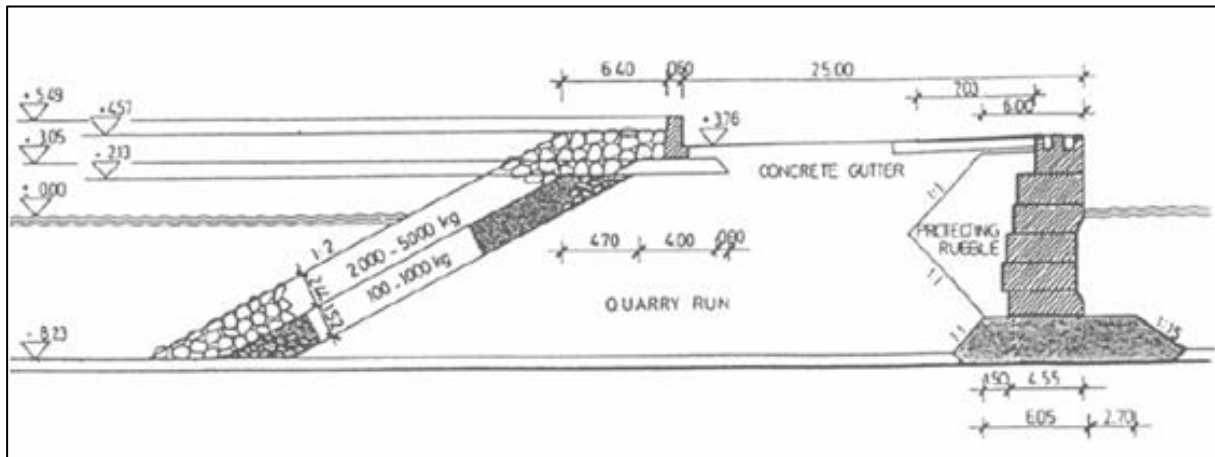
Prikaz	Naziv elementa	Godina	Zemlja
	Cube	-	-
	Tetrapode	1950	Francuska
	Tribar	1958	SAD
	Modified cube	1959	SAD
	Stabit	1961	Ujedinjeno Kraljevstvo
	Akmon	1962	Nizozemska
	Tripod	1962	Nizozemska
	Dolos	1963	Južna Afrika
	Cob	1969	Ujedinjeno Kraljevstvo
	Antifer cube	1973	Francuska
	Seabee	1978	Australia
	Accropode	1980	Francuska
	Shed	1982	Ujedinjeno Kraljevstvo
	Haro	1984	Belgija
	Core-loc	1995	SAD
	A-jack	1996	SAD
	Diahitis	1998	Irska
	Ecopode	2000	Francuska
	Xbloc	2003	Nizozemska
	Accropode II	2004	Francuska
	Core-loc II	2006	SAD

1.1.8 Primjeri izvedenih nasipnih lukobrana prema vrsti obloge

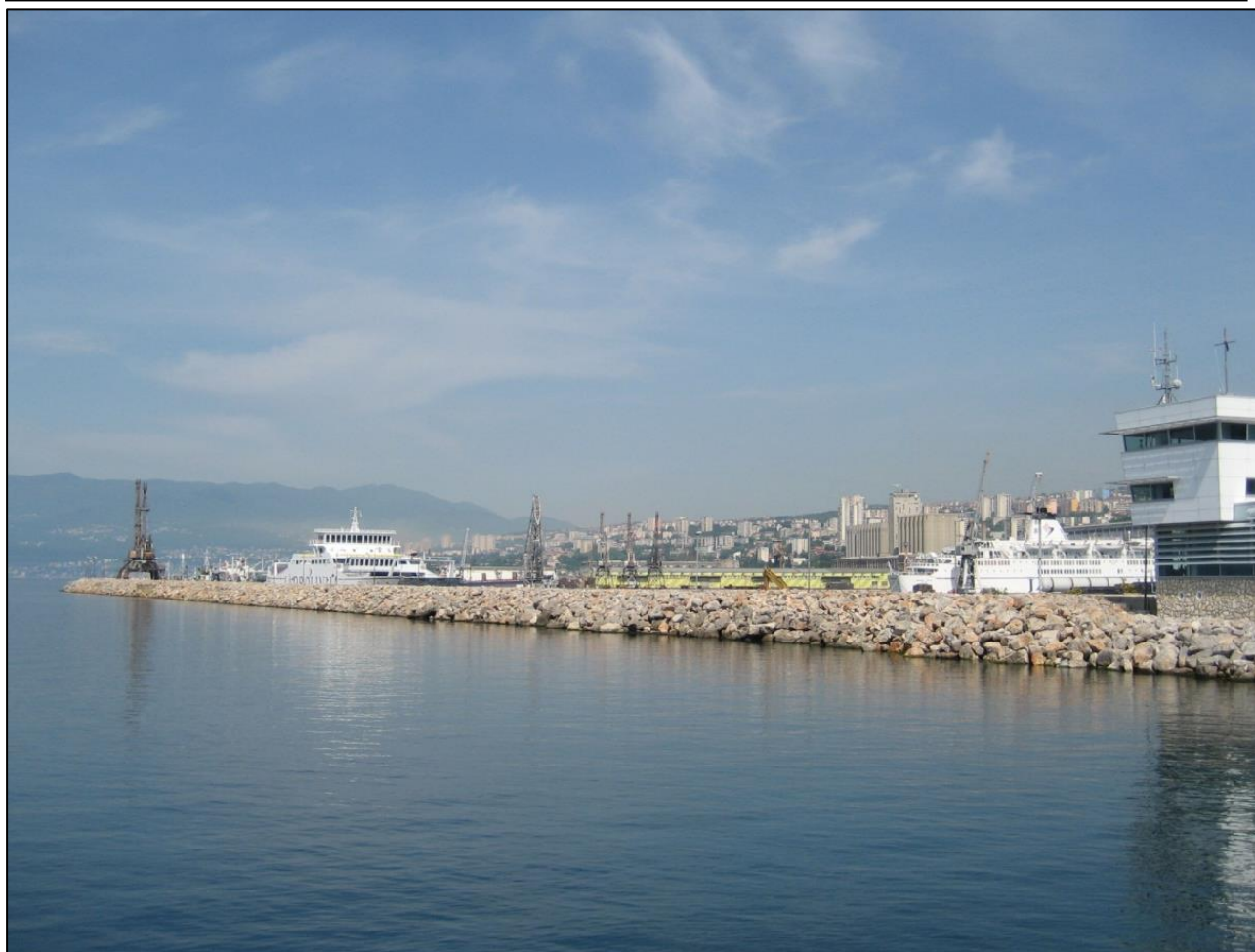
Obloga od kamenog materijala:



slika 6 Novigrad, Hrvatska



Slika 7 Sekandi, Gana, Pomgrad



Slika 8 Rijeka, Hrvatska

Obloge od umjetnih betonskih blokova:





Slika 9 Taragone (Cube)

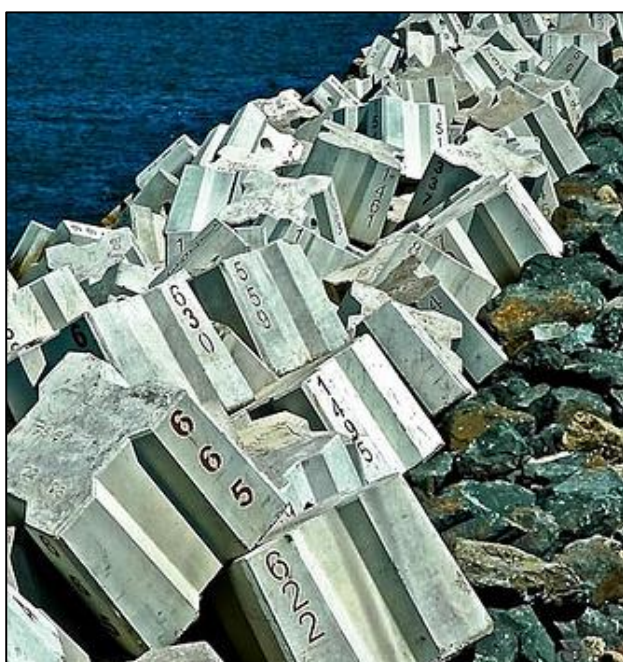


Slika 10 Poti, Georgia (Xblock)





Slika 11 Jeondongjin, Južna Koreja (Tetrapod)



Slika 12 Antifer

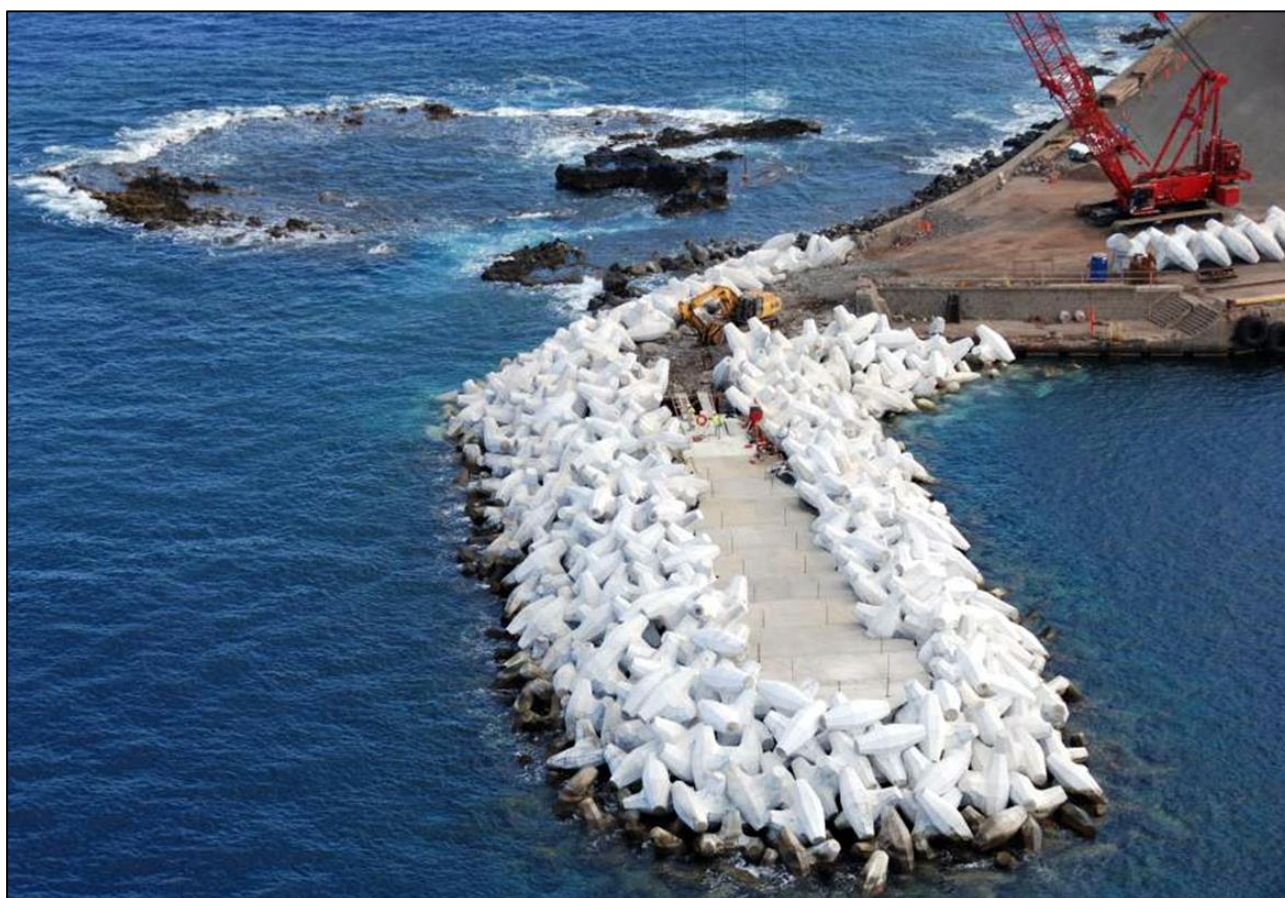


Slika 13 Primjer veličine antifer bloka





Slika 14 Accropode



Slika 15 Luka Kaunapau, Hawaii(Core-loc)



Slika 16 San Reno Liguria, Italija (Ecopode)



Slika 17 Haro





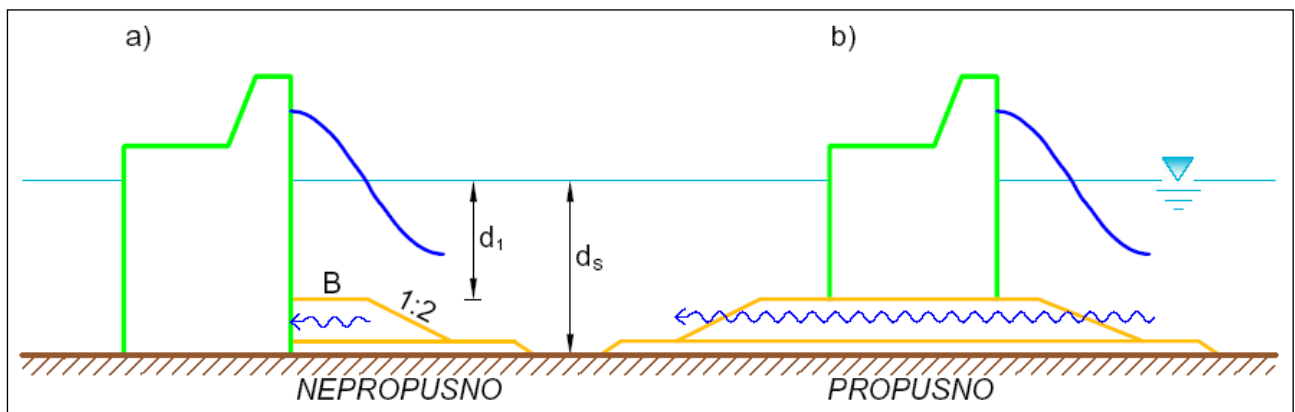
Slika 18 St. Helier, Jersey (Shed)

## 1.2 VERTIKALNI LUKOBRAN

Stabilnost nožice (prema CERC II 7- 242)

Moguća su dva slučaja (Sl. 1.2.1::1):

- a) zaštita tla na morskom dnu kod nožice (nepropustan nasip nožice) i
- b) zaštita temeljnog kamenog nasipa (propustan temeljni nasip).



Slika 1.2.1::1 Definićijska skica za stabilnost nožice

Projektna valna visina za stabilnost nožice kod lukobrana izloženih otvorenom moru je:

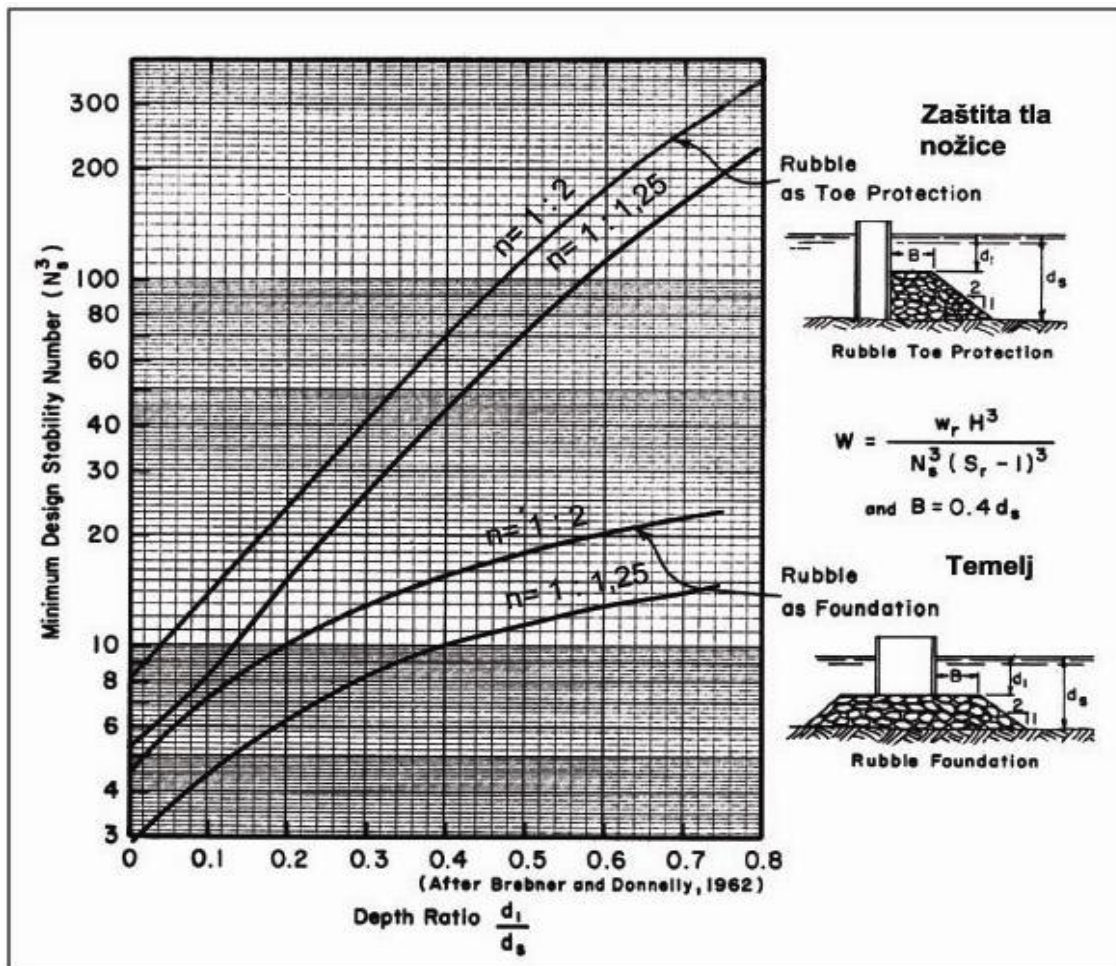
$$H_{\text{proj}} = H_{1\%}^{100\text{god}} = 1,67H_S^{100\text{god}},$$

a za manje rizične konstrukcije može biti i  $H_{1/10}^{100\text{god}}$ . Težina obložnog bloka je:

$$G_N = \frac{\rho_{\text{obl}} \times g \times H_{\text{proj}}^3}{N_S^3 \left( \frac{\rho_{\text{obl}}}{\rho_m} - 1 \right)^3}$$

gdje je:

$N_S = f(d_1/d_s)$  broj stabilnosti prema Sl. 1.2.1::2  
ostalo kao u Hudsonovom izrazu iz poglavlja 1.1.1



Slika 1.2.1::2 Broj stabilnosti  $N_s$  za proračun stabilnosti nožice vertikalnog lukobrana (prema CERC II 7- 244)

## 2    PODMORSKI CJEVOVODI

### 3 HIDRAULIČKI PRORAČUN BRODSKE PREVODNICE