

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

VODNOGOSPODARSKE GRAĐEVINE

Pomorske gradnje

01.10.2008.

Sadržaj:

1	GIBANJA MORA	4
2	MORSKI VALOVI	4
2.1	Definicija morskih valova	4
2.2	Opis morskih valova	5
3	IDEALNI VALOVI	7
3.1	Definicija idealnog vala	7
3.2	Vrste idealnih valova	7
3.3	Deterministički opis valova	7
3.4	Teorija valova malih amplituda	8
3.5	Deformacije valova kratkih perioda	11
4	REALNI VALOVI	26
4.1	Statistički opis realnih vjetrovnih valova	26
4.2	Spektralni opis realnih vjetrovnih valova	28
5	PROGNOZE VJETROVNIH VALOVA	30
5.1	Kratkoročne prognoze vjetrovnih valova	30
5.1.1	Podaci potrebni za prognoziranje vjetrovnih valova	30
5.1.2	Lokalne kratkoročne prognoze vjetrovnih valova	31
5.2	Lokalne prognoze vjetrovnih valova koji se pojavljuju u dugim razdobljima	34
6	PROJEKTNII VALOVI	37
7	MORSKI RAZOVI	42
8	LUČKE GRAĐEVINE	46
8.1	Lukobrani	46
8.1-1	Lukobran tipa nasip	48
8.1-1.1	Profil nasipnog lukobrana	48
8.1-1.2	Presjek lukobrana (konstrukcija)	49
8.1-2	Lukobran tipa zid (VERTIKALNI LUKOBRAN)	54
8.1-2.1	Profil lukobrana tipa zid	55
8.1-2.2	Presjek lukobrana	56
8.1-2.3	Dimenzioniranje	57
9	TEHNOLOGIJA POMORSKE GRADNJE	60
9.1	Materijali	60

9.1.1	Djelovanje mora na materijale	60
9.1.2	Beton u moru.....	60
9.1.2-1	Cement i dodaci	61
9.1.2-2	Voda za beton.....	63
9.1.2-3	Djelovanje mora na armaturu.....	63
9.1.2-4	Ugradba betona pod vodom.....	64
9.2	Pomorski radovi.....	68
9.2.1	odmorski iskopi	69
9.2.1-1	Podmorski iakop razravnog tla	69
9.2.1-2	Podmorski iakop nerazravnog (tvrdog) tla.....	69
9.2.2	Nasipi u moru	70
9.2.2-1	Kameni materijal	70
9.2.2-2	Betonski materijal za nasipne radove	72
9.2.2-3	Transport materijala za nasipne radove.....	72
9.2.2-4	Ugradba materijala za nasipne radove	72
9.2.2-5	Planiranje pod morem.....	74
9.2.3	Betonske podmorske konstrukcije.....	74
9.2.3-1	Podmorski kalupni beton.....	74
9.2.3-2	Betonski elementi.....	74
9.2.4	Metalne konstrukcije	76
9.2.5	Ostale konstrukcije.....	76
9.2.5-1	Bitumenske konstrukcije	76
9.2.5-2	Plastični materijali	76
9.2.5-3	Gabioni.....	77
9.3	Tehnologija gradnje nasipnog lukobrana.....	78
9.4	Tehnologija gradnje vertikalnog lukobrana	81

1 GIBANJA MORA

Razlikuju se dvije vrste gibanja mora:

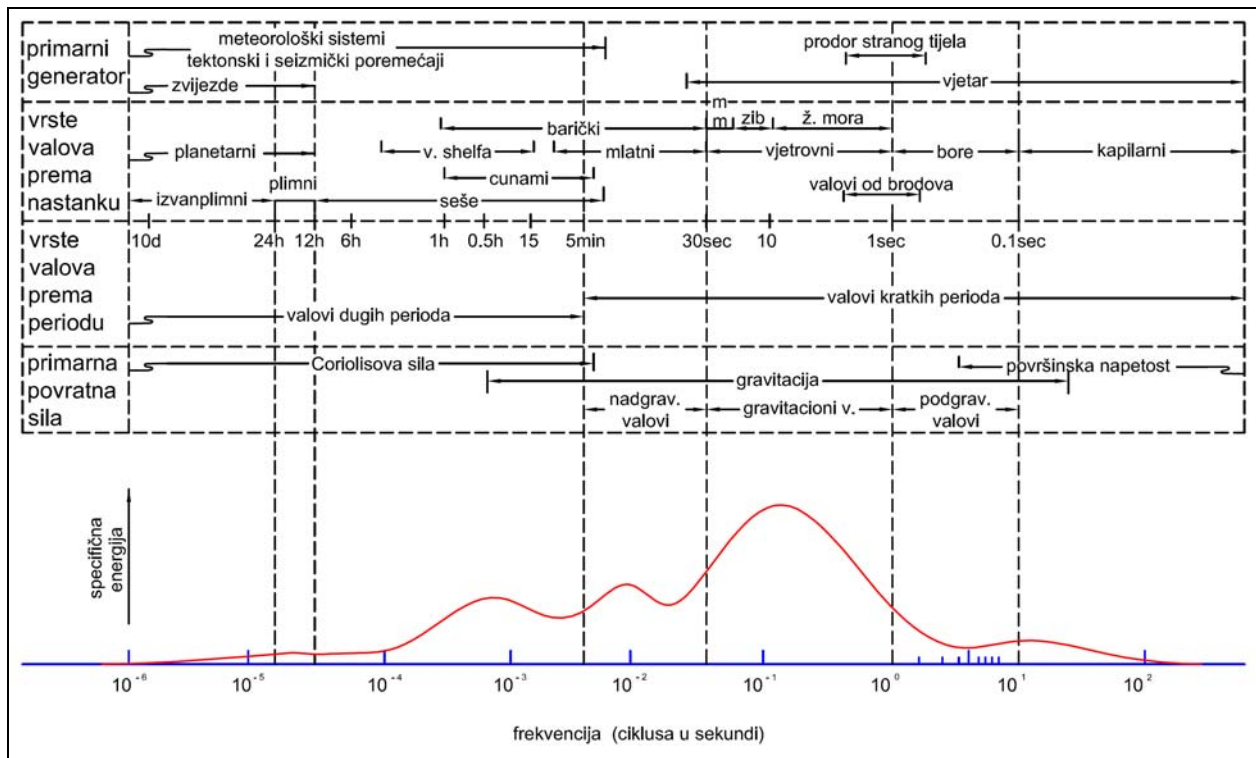
- pokreti cijele morske mase – morske struje
- pokreti dijelova morske mase – morski valovi.

Prvi imaju male brzine, ali prenose velike mase morske vode i interesantni su prvenstveno za ekološke probleme i probleme marinskog nanosa. Ne čine velike sile na građevine, pa se uzimaju u obzir samo kod vrlo vitkih konstrukcija. Drugi zahvaćaju samo površinske dijelove morske mase i ne uzrokuju značajan transport mase. No imaju značajne brzine i uzrokuju značajne sile na sve građevine u moru. Dalje će se razmatrati samo morski valovi.

2 MORSKI VALOVI

2.1 DEFINICIJA MORSKIH VALOVA

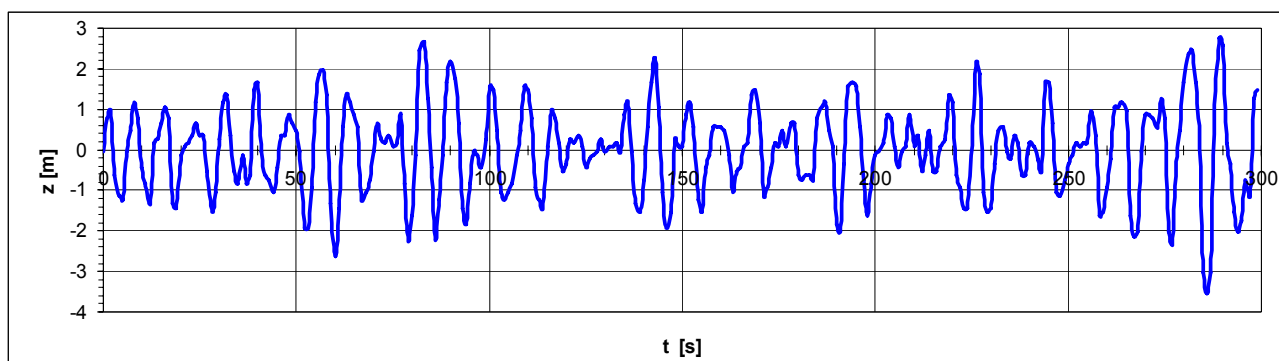
Morski valovi su proces periodičkog kolebanja fizičke površine mora koji je udružen s osciliranjem vodnih čestica pod djelovanjem pobuđujućih i umirujućih sila.



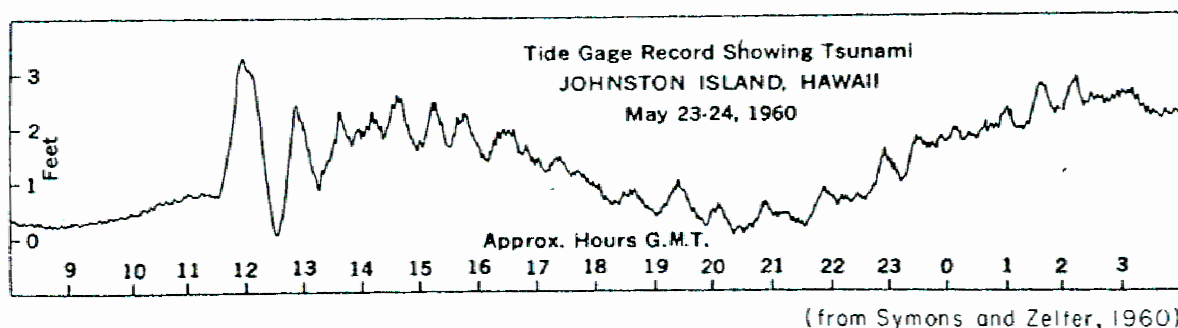
Sl. 2::1 Klasifikacija površinskih morskih valova prema primarnom generatoru

Pobuđujuće sile su pulsirajuće i često slučajne prirode što sve skupa realne valove čini nepravilnima po frekvenciji, smjeru i amplitudi.

U pogledu duljine valova kratki valovi su oni čija valna duljina je mnogo manja od dubine mora (period preko cca. 5 min.). Sl.2 :: 1, 2 i 3



Sl. 2::2: Valni zapis s valografske postaje Panon 22.12.1979. od 01⁰⁰ do 01⁰⁵, period digitalizacije 1[s], reprezentativni valni parametri: $\bar{H}=2,56[m]$, $H_s=3,98[m]$, $H_{1/10}=5,07[m]$, $H_{max}=6[m]$, $T_o=3,79[s]$, $T_s=4,22[s]$, $T_{1/10}=4,16[s]$, $T_{max}=4,6[s]$



Sl. 2::3 Mareogram dugih plimnih valova s registriranim dugim cunami (potresnim) valovima

2.2 OPIS MORSKIH VALOVA

Svaki opis morskih valova sadrži dvije stvari:

- opis valnog profila i
- opis gibanja vodnih čestica

Povijesno gledano, a i po složenosti, razvijena su tri načina opisa morskih valova:

-deterministički, -statistički i -spektralni.

Deteministički opis valova se primjenjuje za pravilne dvodimenzionalne valove s konstantnim parametrima valnog profila. Zbog svoje pravilnosti takovi valovi se nazivaju i **idealni valovi**. U prirodi su izuzetno rijetki, a donekle im se približavaju valovi mrtvog mora.

Statistički opis prikazuje **realne**, nepravilne, trodimenzionalne **valove** na jednoj geografskoj točki za neko kratkoročno stacionarno stanje mora. (10 min. do nekoliko sati), reprezentativnim parametrima valnog profila koji su za to stanje konstantni. Za statistički opis je potreban valni zapis ili vizualno opažanje.

Spektralni opis kao i statistički služi za prikaz kratkoročnog stacionarnog stanja **realnih valova**. No sredstvo spektralnog opisa je matematičko: funkcija spektralne gustoće koja se često skraćeno naziva valni spektar.

3 IDEALNI VALOVI

3.1 DEFINICIJA IDEALNOG VALA

Idealni val je veoma restriktivan fizikalni ili matematički model realnog vala. Fizikalni model je u odnosu na realni val restriktivan u toliko što je :

- dvodimenzionalan
- monokromatski
- jednostavan
- konstantne visine

Mogu opstati samo u laboratoriju. Realni morski valovi nemaju niti jednu od karakteristika idealnih valova, a samo iznimno im se u tom pogledu približuju dugi valovi mrtvog mora.

3.2 VRSTE IDEALNIH VALOVA

Osnovna je podjela idealnih površinskih valova prema veličini njihovog perioda pa se mogu imenovati:

- valovi kratkih perioda (periodi manji od cca. 30 s, na pr. vjetrovni valovi)
- valovi dugih perioda (periodi veći od cca. 5 min., na pr. morske mijene).

Prvi imaju karakteristiku da je u pokretu pretežno površinski sloj mora dok se dubinski slojevi znatno manje ili ništa ne pokreću. Elementarne čestice vcode se kreću u kružnim ili eliptičnim putanjama. Drugi imaju karakteristiku da pokreti zahvaćaju čitavu morsku masu. Pri tom su putanje karikirano izdužene elipse tako da se uočavaju samo horizontalni pokreti vode. Promjena gibanja čestica po dubini im je mala u odnosu na promjenu kod kratkih valova.

3.3 DETERMINISTIČKI OPIS VALOVA

Determinističkim načinom dadu se u potpunosti opisati samo idealni valovi preko zakona valne mehanike. Datira s početka razvoja pomorske hidraulike, 19 st. Realni valovi se ne mogu na taj način zadovoljavajuće opisati radi slučajne varijacije osnovnih parametara.

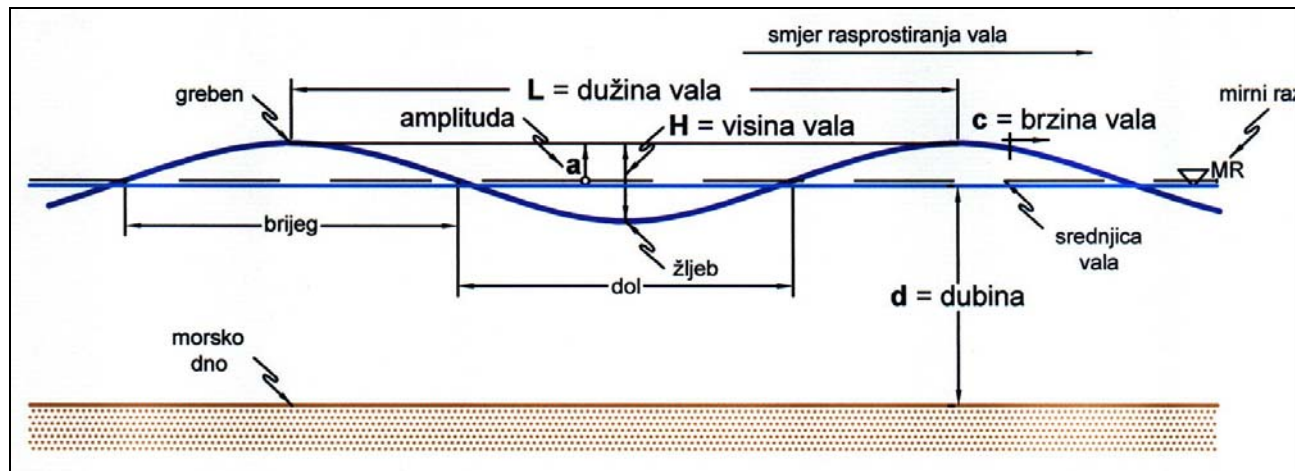
Deterministički opis morskih valova sadrži dvije stvari:

- oblik fizičke površine mora; tj. valni profil i
- gibanje čestica ispod valnog profila.

Najosnovniji parametri za opis profila vala (SI.3.3::2) su *visina* H [m], *dužina* L [m] i *period* T [s]. *Amplituda* a [m]= $H/2$ je maksimalni pomak fizičke površine mora od srednjice vala.

Period vala T je vremenski period između dva uzastopna prolaza grebena kroz istu točku. Visina H i dužina L su parametri vala koji se mijenjaju s dubinom. Period T se ne mijenja s dubinom! *Strmost vala* je odnos visine i dužine vala (H/L).

Brzina rasprostiranja vala je $c=L/T$ [m/s.]



Sl.3.3::2 Osnovni parametri za opis profila vala

3.4 TEORIJA VALOVA MALIH AMPLITUDA

Teorija valova malih amplituda (linearna valna teorija ili Airyjeva teorija) daje slijedeći opis morskih valova:

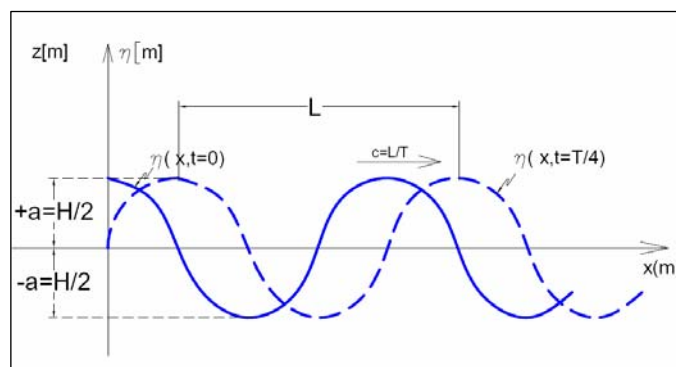
Valni profil (Sl. 3.4::1) je sinusna funkcija:

$$\eta = a \cdot \cos(kx - \omega \cdot t) = \frac{H}{2} \cos\left(\frac{2\pi}{L} x - \frac{2\pi}{T} t\right)$$

$$a = \frac{H}{2} \quad \text{valna amplituda [m]}$$

$$k = \frac{2\pi}{L} \quad \text{valni broj [rad/m]}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{kutna val. frekvencija [rad/s]}$$

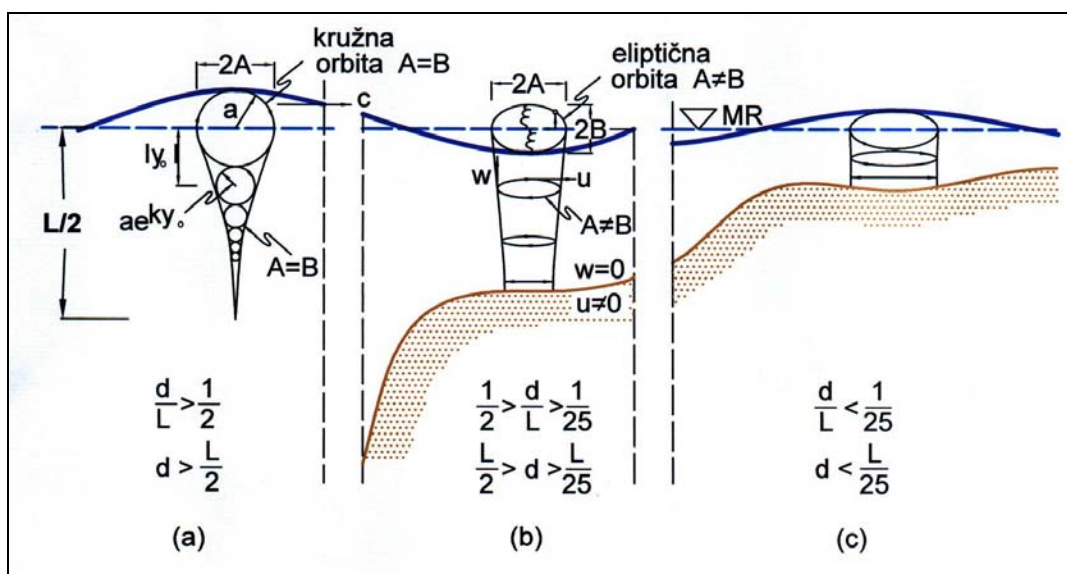


Sl. 3.4::1 Trenutni valni profil

Dubine mora

Duboko	Prijelazno	Plitko
$d \geq \frac{L}{2}$	$\frac{L}{2} \geq d \geq \frac{L}{25}$	$d < \frac{L}{25}$
Val ne osjeti dno	Val osjeti dno	Val osjeti dno

Pomaci vodnih čestica vala (u linearnoj valnoj mehanici) općenito se odvijaju u *eliptičnim* putanjama u plitkoj i prelaznoj zoni mora, a u *kružnim* putanjama u dubokom moru (Sl.3.4.:2).



Sl. 3.4.:2 Utjecaj dubine na putanje čestica vala u (a) dubokoj vodi, (b) prijelaznom području i (c) u plikoj vodi

Brzina rasprostiranja vala dana je s

$$c^2 = \frac{g}{k} \operatorname{th}(kd)$$

$$c = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \operatorname{th} \frac{2\pi d}{L}}, \text{ a supstitucijom } c=L/T \text{ i preuredjenjem dobije se:}$$

$$c = \frac{gT}{2\pi} \operatorname{th} \frac{2\pi d}{L} = \frac{g}{\omega \cdot k} \operatorname{th}(kd)$$

Brzine vodnih čestica ($v \neq c$; $v \ll c$)

$$v_x = u = \frac{agk}{\omega} \left[\frac{\operatorname{ch}[k \cdot (z + d)]}{\operatorname{ch}(kd)} \right] \cos(kx - \omega t)$$

$$v_z = w = \frac{agk}{\omega} \left[\frac{\text{sh}[k \cdot (z + d)]}{\text{ch}(kd)} \right] \sin(kx\omega t).$$

Ubrzanja vodenih čestica proizlaze iz daljnjeg diferenciranja brzina po vremenu.

Dužina vala je s periodom vezana zakonom:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \text{th} \frac{2\pi d}{L}; \quad T = \sqrt{\frac{2\pi L}{g} \text{cth} \frac{2\pi d}{L}}. \text{ Jednadžba je implicitna i rješava se iteracijom!}$$

Visina vala nije nikakvim zakonom vezana za L i T!

Valna energija najčešće se izražava kao specifična energija na 1 m² morske površine:

$$\bar{E} = \frac{\rho g H^2}{8} \left[\frac{\text{Nm}}{\text{m}^2} = \frac{\text{J}}{\text{m}^2} \right]$$

Primjer 3.4::1

Valni profil

ZADAĆA

Zadano: Valni profil definiran je valnom dužinom L = 100 m i valnom visinom H = 3 m. Dubina dna je 50 m.

Traži se: Izračunaj: valnu amplitudu a[m], valni broj k[rad/m], valni period T[s], valnu kutnu frekvenciju ω[rad/s] i brzinu rasprostiranja vala c[m/s]. Napiši izraz i nacrtaj valni profil η=f(x) u trenucima t₁ = 0, t₂ = T/4 i t₃ = T/2!

Rješenje:

$$a = H/2 = 3/2 = 1,5[\text{m}]$$

valna amplituda

$$k = 2\pi/L = 2\pi/100 = 0,0628[\text{rad/m}]$$

valni broj,

$$T = \sqrt{\frac{2\pi L}{g} \text{cth}\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} = 8[\text{s}]$$

valni period

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 0,785[\text{rad/s}]$$

valna kutna frekvencija

$$c = L/T = 100 / 8 = 12,5[\text{m/s}]$$

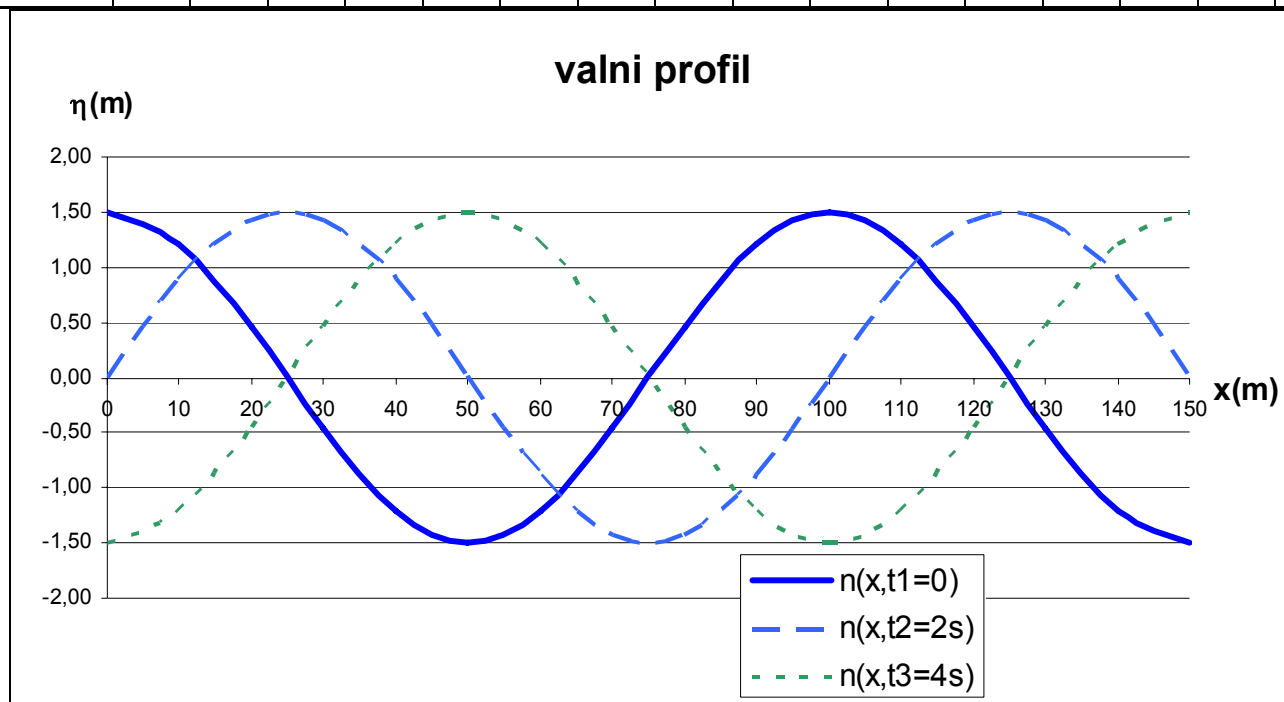
brzina rasprostiranja vala

$$\eta = a \cdot \cos(kx - \omega t) = 1,5 \cos(0,0628x - 0,785t)[\text{m}]$$

valni profil

Graf valnog profila u trenucima $t_1 = 0$, $t_2 = T/4 = 2,0$ i $t_3 = T/2 = 4,0$ [s]:

x [m]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
$\eta(x, t_1=0)$ [m]	1,50	1,21	0,46	-0,46	-1,21	-1,50	-1,21	-0,46	0,46	1,21	1,50	1,21	0,46	-0,46	-1,21	-1,50
$\eta(x, t_2=2s)$ [m]	0,00	0,88	1,43	1,43	0,88	0,00	-0,88	-1,43	-1,43	-0,88	0,00	0,88	1,43	1,43	0,88	0,00
$\eta(x, t_3=4s)$ [m]	-1,50	-1,21	-0,46	0,46	1,21	1,50	1,21	0,46	-0,46	-1,21	-1,50	-1,21	-0,46	0,46	1,21	1,50



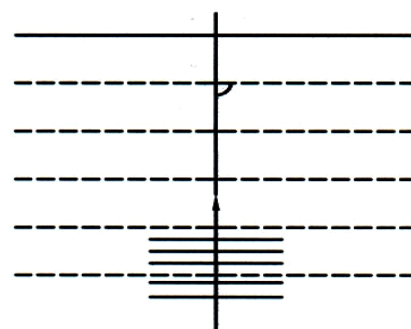
3.5 DEFORMACIJE VALOVA KRATKIH PERIODA

Dvije su osnovne vrste valnih deformacija:

- a) na nagnutom morskom dnu i
- b) na preprekama koje se izdižu s morskog dna prema površini ili obrnuto.

ad a) Valovi se generiraju u dubokom i tamo se mjere ili prognoziraju. Idući prema obali, gdje su pomorske građevine, oni se deformiraju i takvi djeluju na građevine. Zato je potrebno računati valne deformacije prije nego li se građevine dimenzioniraju i oblikuju u funkciji deformiranih morskih valova. Reakcija vala s dnom; t.j deformacija vala na nagnutom dnu, praktično počinje kada dubina dna iznosi $d < L_0/2$. Profil i parametri vala prolaze razne faze postepenog deformiranja kada se val rasprostire iz dubokog mora prema plitkom.

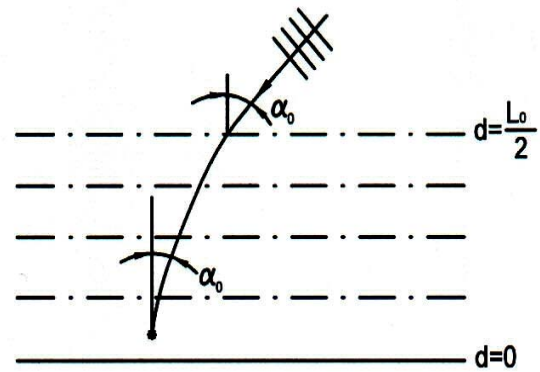
Valni period je jedini valni parametar koji se pri tom ne deformira!



Sl. 3.5::1a rasprostiranje vala normalno na konturu obale i obalnu crtu

Promatrajući rasprostiranje vala prema obali okomito na konturu dna i obalnu crtu (Sl. 3.5::1a) prostorni i vremenski slijed deformacija će biti:

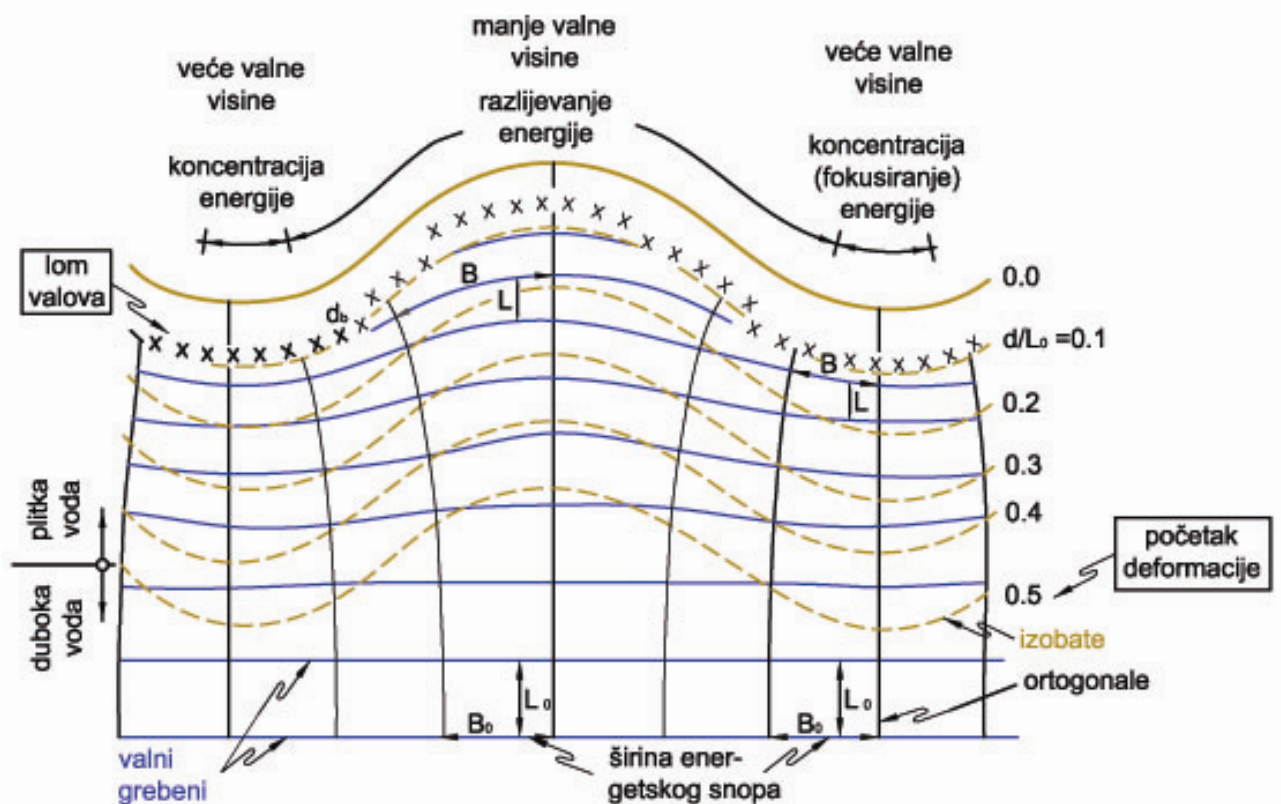
- deformacija valova na nagnutom dnu uslijed smanjenja dubine (tzv. *Shoaling* efekt), sl.3.5::1
- deformacija valova uslijed *trenja* s dnom
- *refleksija* valova na nagnutom dnu
- *lom valova*, sl.3.5::2



Ako se valovi rasprostiru koso na konturu dna i obale javlja se deformacija zvana zalomljavanje ili refrakcija. U procesu refrakcije odvijaju se i četiri predhodno spomenute deformacije., sl.3.5::3 i sl.3.5::4

Sl 3.5::3

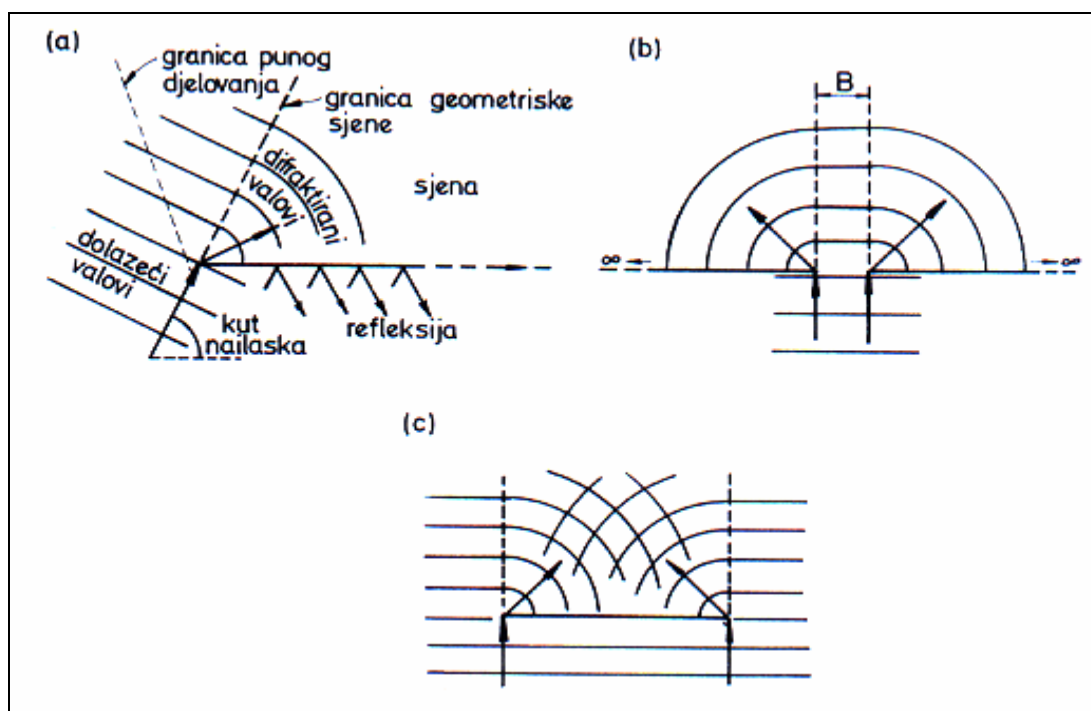
Valovi čine s konturom dna kut $\alpha_0 > 0^\circ$ što je uvjet da bi se dogodila refrakcija



Sl.3.5::4 Refrakcija valova i njeni učinci na uvale i rtove.

ad **b**) Ogib ili *difrakcija* (Sl. 3.5::5) je deformacija valova na ravnom dnu koja nastaje u slučaju kada se ispred dijela polja valova prepreči vertikalna prepreka na pr. lukobran. Rezultat je bočnog rasprstiranja valne energije (uzduž grebena vala) koji se time javlja i iza

prepreke. Očituje se širenjem i zaokretanjem valova u području geometrijske sjene iza prepreke i smanjenjem visine valova. Može biti jednostrana i dvostrana. Jednostrana difrakcija se odvija oko jednog kraja prepreke, a drugi kraj prepreke je u beskonačnosti i nema utjecaja.



Sl. 3.5::5 Difrakcija, (a) jednostrana, (b) dvostrana, (c) iza ograničene prepreke.

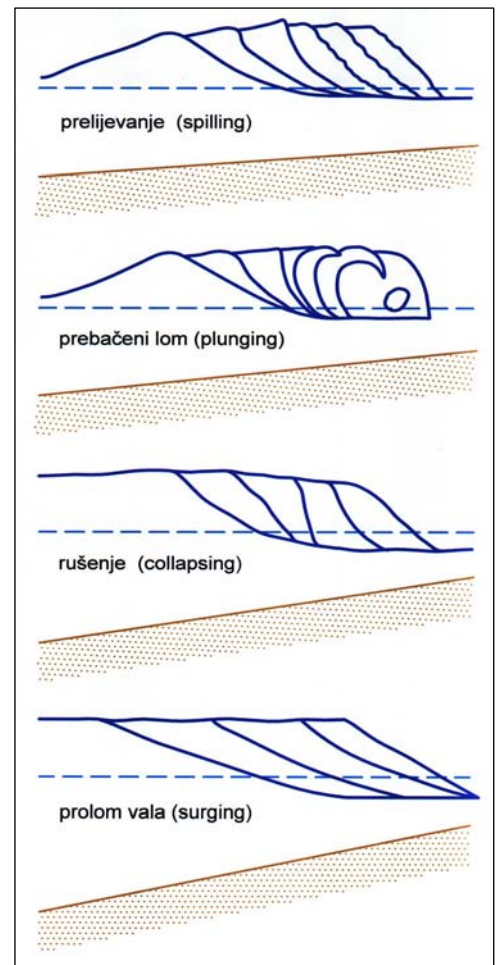
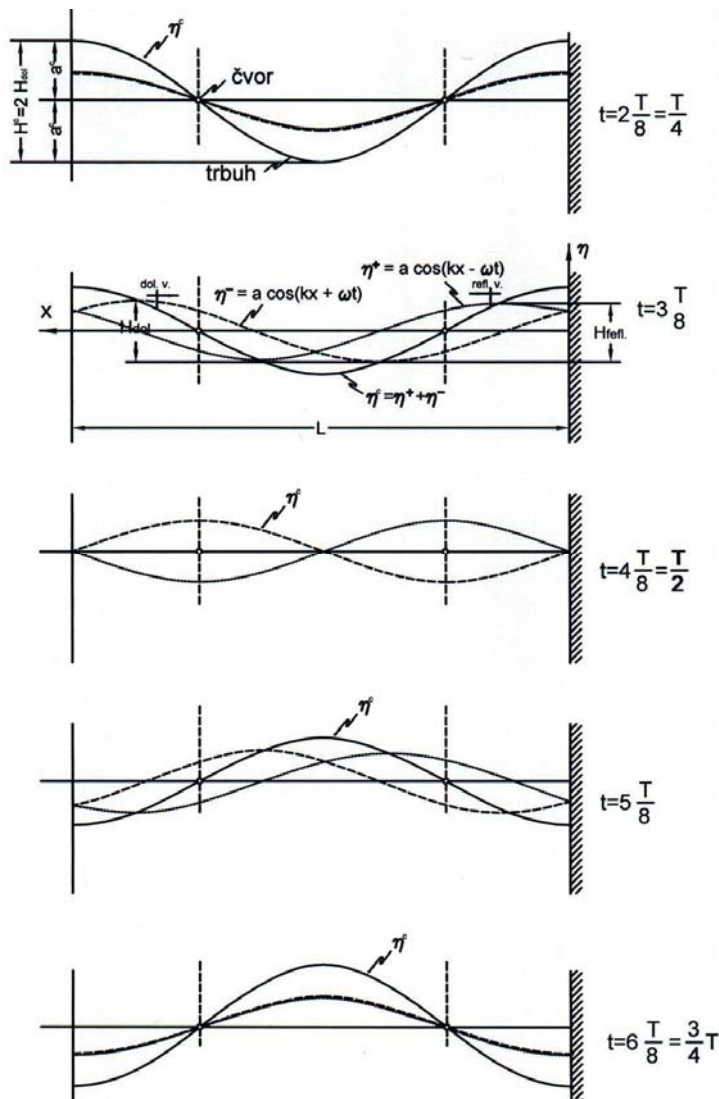
Odbijanje ili refleksija na prepreci je deformacija vala koji u svom rasprostiranju nailazi na vertikalnu ili nagnutu prepreku uslijed čega dolazi do potpunog (totalnog) ili nepotpunog (parcijalnog) reflektiranja tog vala u suprotnom smjeru. Totalna refleksija nastaje na vertikalnoj nepropustnoj i krutoj prepreci (gravitacijski kej, vertikalni lukobran), a parcijalna na nagnutoj prepreci (plaža, obala, kosi kej, nasipni lukobran) ili propustnoj vertikalnoj prepreci. Refleksija na nepropustnom vertikalnom zidu (sl. 3.5::6) prema izloženom znači totalnu refleksiju energije dolazećeg vala. Morska površina ima profil potpunog stojnog vala koji je periodičan po prostoru i vremenu, a ima maksimalnu visinu $2H_{dol}$. Još se naziva i "clapotis" (franc.). Kod totalne refleksije dolazi do totalne superpozicije dolazećeg i reflektiranog vala, pa je visina rezultirajućeg; t.j. superponiranog vala:

$$H_{sup} = H_c = H_{dol} + H_{refl},$$

Kod totalne refleksije je: $H_{refl} = H_{dol}K_{refl} = 1H_{dol}$, ($K_{refl} = 1$) pa vrijedi:

$$H_{SUP} = H_c = 2H_{dol} \quad a \quad a_{SUP} = a_c = H_c/2 = H_{dol}$$

Dakle kod totalne refleksije valna visina se podvostruči!

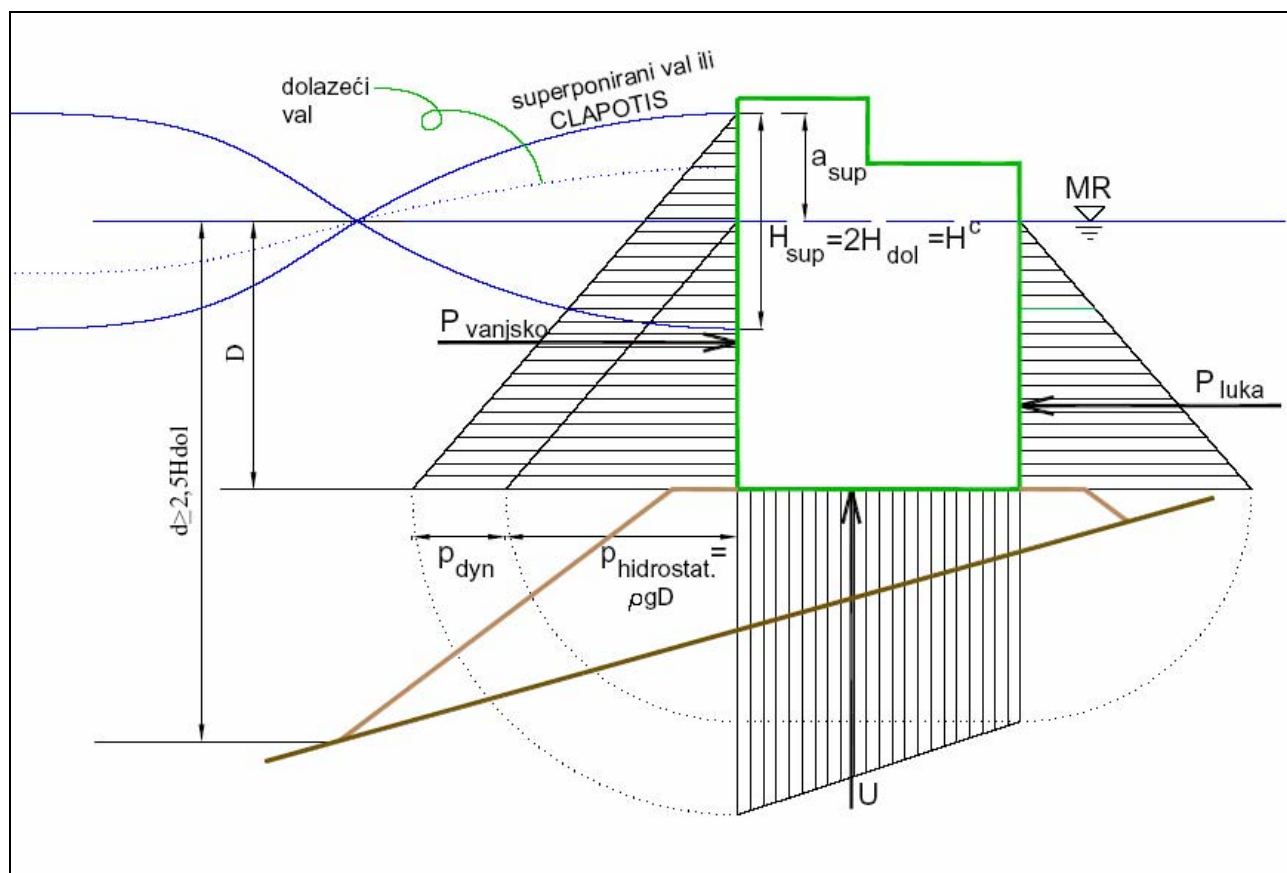


Sl. 3.5::2 Tipovi loma vala

Sl.3.5::6 Film stojnog vala η^c u trajanju od $1/2$ valnog perioda prikazan pomoću zamišljene superpozicije dvaju valova η^+ i η^- koji se rasprostiru u suprotnim smjerovima.

Maximalni tlak nelomljenog vala na vertikalni zid nastaje u trenutku kad je na vertikalnom zidu greben stojnog vala ("clapotisa") čija je visina $H_{SUP} = H_c = 2H_{dol}$, a amplituda $a_{SUP} = a_c = H_{SUP}/2 = H_{dol}$. Proračunava se prema Sainflou kao na slici (Sl. 3.5::7). Ovaj proračun vrijedi samo za nelomljene valove ispred vertikalnog zida. U slučaju loma vala pred zidom tlak je mnogo puta veći i određuje se po drugim metodama. Inženjerski siguran uvjet da sigurno ne bude loma pred zidom je da je dubina dna "d" ispred zida veća od $2,5H_{dol}$.

$$p_{dyn} = \frac{\rho g a_{sup}}{ch \frac{2\pi D}{L}} = \frac{\rho g H_{dol}}{ch \frac{2\pi D}{L}} \quad [N/m^2=Pa] \quad \text{dinamički tlak vala prema Sainflou}$$



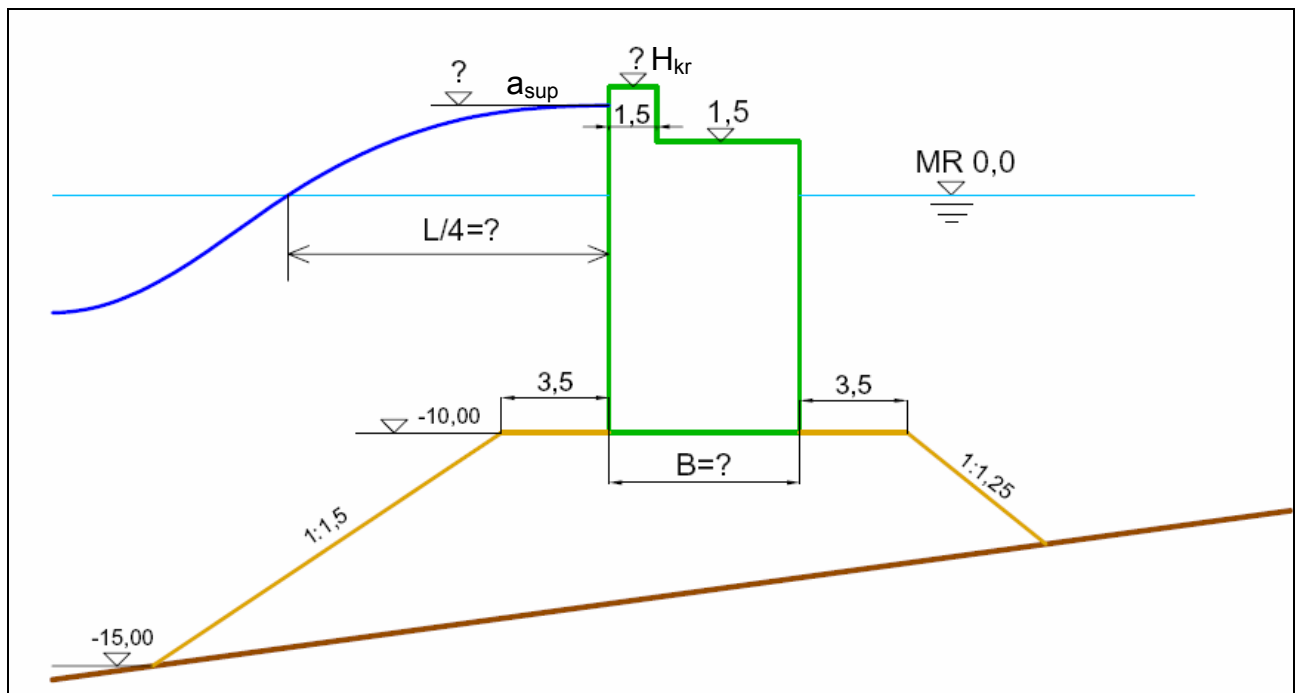
Sl. 3.5::7 Tlak nelomljenog vala na vertikalni zid

Primjer 3.5::1 Tlak vala i stabilnost vertikalnog lukobrana **AUDITORNE VJEŽBE**

Zadatak: Treba oblikovati i dimenzionirati prema EC vertikalni lukobran sa skice. Zadan je dolazeći val $H_{dol}=2,5$ m, $L_{dol}=50$ m, dubina mora ispred lukobrana $d=15$ m i dubina temeljnog nasipa ispod vertikalnog zida $D=10$ m. U ovom primjeru uzeti će se u proračun stalna djelovanja i promjenjivo hidrodinamičko djelovanje valova.

Traži se:

- Provjeriti lom vala ispred lukobrana.
- Odrediti i nacrtati valni profil ispred lukobrana
- Nacrtati dijagrame hidrodinamičkog i hidrostatičkih tlakova.
- Odrediti visinu krune lukobrana H_{kr}
- Odrediti širinu vertikalnog lukobrana B prema kriteriju da nema prevrtanja i klizanja, te da su naponi na temeljnoj fugi tlačni.



Rješenje:

a) Provjera loma vala ispred lukobrana

Praktičan uvjet da pred zidom ne bude loma vala glasi:

$$d \geq 2,5 H_{\text{dol}} \rightarrow 15,0 \geq 2,5 \times H_{\text{dol}} \rightarrow 15,0 \geq 6,25 \text{ m.}$$

Uvjet zadovoljen, pa se proračun tlaka vala može provesti po Sainflou.

b) Valni profil ispred lukobrana:

visina stojnog (reflektiranog) vala, ili clapotis-a: $H_{\text{sup}} \equiv H_c = 2 \times H_{\text{dol}} = 2 \times 2,5 = 5 \text{ m,}$

amplituda stojnog (reflekt.) vala, ili clapotis-a: $a_{\text{sup}} \equiv a_c = H_{\text{dol}} = 2,5 \text{ m,}$

dužina stojnog (reflekt.) vala, ili clapotis-a: $L_{\text{sup}} \equiv a_c = L_{\text{dol}} = 50 \text{ m.}$

Tlakovi na dubini $D=10\text{m}$:

hidrostaticki $p_{st} = \rho \cdot g \cdot D = 1025 \cdot 9,81 \cdot 10 = 100.550 \text{ N/m}^2 = 100,55 \text{ kN/m}^2$

hidrodinamički

$$p_{dyn} = \frac{\rho \cdot g \cdot \eta}{ch \frac{2\pi \cdot D}{L}} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_{dol}}{ch \frac{2\pi \cdot D}{L}} = \frac{1025 \cdot 9,81 \cdot 2,5}{ch \frac{2\pi \cdot 10}{50}} = 13.230 \text{ N/m}^2 = 13,23 \text{ kN/m}^2$$

d) Visina krune vertikalnog lukobrana H_{kr} (zanemarena plima i izdizanje srednjice vala)

$$H_{kr} = H_{dol} + \text{rezerva} = 2,5 + 0,5 = +3,0 \text{ m n.m.}$$

e) Širina vertikalnog lukobrana B (proračun po EC)

e₁) Postupak započinje pretpostavljanjem širine: na primjer $B=5\text{m}$.

e₂) LS1 A – Provjera sigurnosti za stabilnost

- Provjera sigurnosti na klizanje

- Provjera sigurnosti na prevrtanje

$$E_{d,destab} \leq E_{s,stab}$$

Stalna djelovanja:

Vlastita težina lukobrana:

$$G_1 = 6,5 \times 11,5 \times 24,0 = 1794 \text{ kN}$$

$$G_2 = 1,5 \times 1,5 \times 24,0 = 54 \text{ kN}$$

$$G = G_1 + G_2 = 1794 + 54 = 1848 \text{ kN}$$

Hvatišta sila G_1 i G_2 u odnosu na točku „A“

$$x_{g1} = \frac{6,5}{2} = 3,25 \text{ [m]}$$

$$x_{g2} = 6,5 - \frac{1,5}{2} = 5,75 \text{ [m]}$$

Sila hidrostatickog uzgona:

$$U_{st} = 100,55 \cdot 6,5 = 653,58 \text{ [kN]}$$

Hvatište sile hidrostatickog uzgona u odnosu na točku „A“ $x_s = \frac{6,5}{2} = 3,25 \text{ [m]}$

Promjenjiva djelovanja:

Sila hidrodinamičkog uzgona:
$$U_{dyn} = \frac{13,23 \cdot 6,5}{2} = 43[kN]$$

Hvatište sile hidrodinamičkog uzgona u odnosu na točku „A“

$$x_{dyn} = \frac{2}{3} \cdot 6.5 = 4.33[m]$$

Dinamička sila tlaka vala:

$$P_{dyn} = \frac{(100,55 + 13,23) \cdot 12,5}{2} - \frac{100,55 \cdot 10}{2} = 711,125 - 502,75 = 208,38[kN]$$

Hvatište dinamičke sile tlaka vala odnosu na točku „A“

$$z_{dyn} = \frac{711,125 \cdot \frac{1}{3} \cdot 12,5 - 502,75 \cdot \frac{1}{3} \cdot 10}{711,125 - 502,75} = 6,18[m]$$

Granično stanje nosivosti LC1

Stabilnost na prevrtanje oko točke „A“

$$E_{d,stab} = G_1 \cdot x_{g1} + G_2 \cdot x_{g2} = 1794 \cdot 3.25 + 54 \cdot 5.75 = 6141[kNm]$$

$$E_{d,destab} = (\gamma_{G,1} \cdot U_{st} \cdot x_s) + (\gamma_{Q,1} \cdot P_{dyn}) \cdot z_{dyn} + (\gamma_{Q,1} \cdot U_{dyn}) \cdot x_{dyn} = 1,35 \cdot 653,58 \cdot 3,25 + 1,5 \cdot 208,38 \cdot 6,18 + 1,5 \cdot 43 \cdot 4,33 = 5078,5[kNm]$$

$$E_{d,destab} \leq E_{s,stab}$$

$$5078,5[kNm] < 6141,0[kNm] \quad \text{Zadovoljava na prevrtanje!}$$

Stabilnost na klizanje:

$$E_{d,stab} = (G - U_{st} - U_{dyn}) \cdot f = (1848 - 653,58 - 43) \cdot 0,5 = 575,71[kN]$$

$$E_{d,destab} = \gamma_{Q,1} \cdot P_{dyn} = 1,5 \cdot 208,38 = 312,57[kN]$$

$$E_{d,destab} \leq E_{s,stab}$$

$$312,57[kN] < 575,71[kN] \quad \text{Zadovoljava na klizanje!}$$

e₅) Ekscentricitet (nije u sustavu EC a daje se radi studentskog povezivanja ekscentriciteta, jezgre i temeljnih napona) po kriteriju da rezultanta prolazi kroz jezgru presjeka; t.j. ekscentricitet rezultante sila na temeljnoj fugi betonskog presjeka mora biti: $e \leq \frac{B}{6}$, a veličina ekscentricitete dobije se iz jednakosti momenata oko točke "A":

$$\Sigma M_A = [(B/2) - e] \times R_V$$

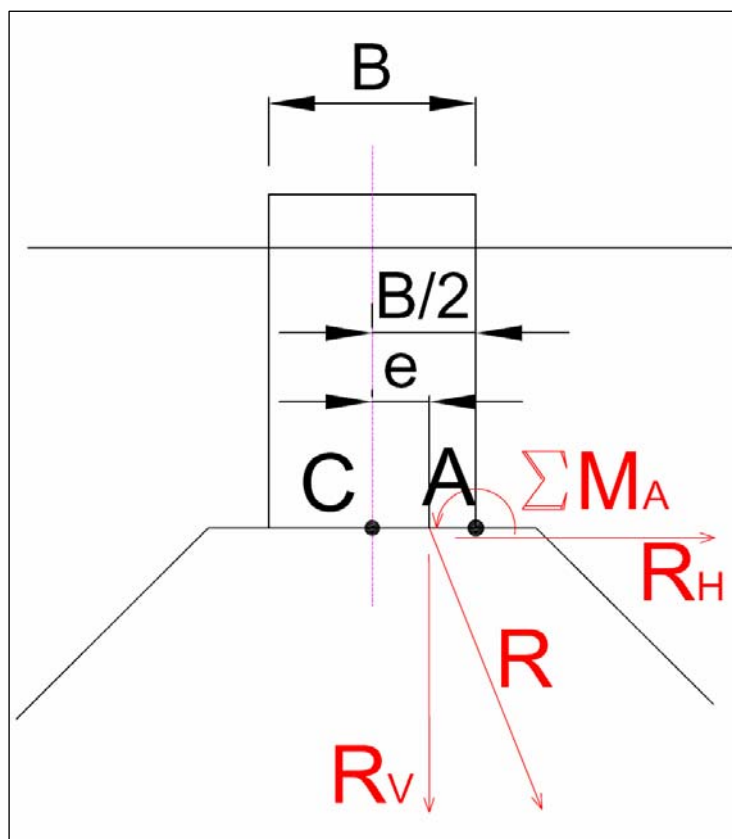
ΣM_A^{OTP} ukupni moment oko točke A od stabilizirajućih sila (bez parc. koef. djelovanja)

ΣM_A^{AKT} ukupni moment oko točke A od destabilizirajućih sila (bez parc. koef. djelovanja)

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\Sigma M_A}{R_V} = \frac{B}{2} - \frac{\Sigma M_A^{OTP} - \Sigma M_A^{AKT}}{\Sigma V} = \frac{6,5}{2} - \frac{6141 - 3598,2}{1151,425} = 3,25 - \frac{2542,8}{1151,425} = 1,04 [m]$$

$$\frac{B}{6} = \frac{6,5}{6} = 1,08m$$

$1,04 < 1,08 \rightarrow$ Rezultanta sila na temeljnoj fugi prolazi kroz jezgru betonskog presjeka što znači da su naponi na temeljnoj fugi tlačni.



e₆) Naponi po temeljnoj fugi

Prema Tablici 9.2 ENV 1991-1:1994 parcijalni koeficijenti djelovanja za slučaj sloma u tlu za stalna djelovanja (povoljna i nepovoljna), te promjenljiva povoljna djelovanja što je u ovom slučaju dinamička komponenta uzgona, imaju vrijednost 1,0. To će se primijeniti kod proračuna R_V i M_C .

$$\sigma_{1/2} = \frac{R_V}{A} \pm \frac{M_C}{W} = \frac{\sum V}{A} \pm \frac{M_C}{W} = \frac{1151,425}{6,5} \pm \frac{1197,48}{7,04} = 177,14 \pm 170,10 \text{ kN/m}^2$$

$$R_V = G - U_s - U_{h,r} = 1151,42 \text{ kN}$$

$$A = 6,5 \cdot 1,0 = 6,5 \text{ m}^2 \quad \text{površina temeljne stope za 1m' zida}$$

$$W = \frac{L \cdot B^2}{6} = \frac{1 \cdot 6,5^2}{6} = 7,04 \text{ m}^3 \quad \text{mom. otp. temeljne stope za 1m' zida}$$

$$M_C = R_V \cdot e = 1151,42 \cdot 1,04 = 1197,48 \text{ [kNm]} \quad \text{suma momenata oko točke "C"}$$

$$\sigma_1 = 347,24 \text{ kN/m}^2 \quad \text{naprezanje nasipa na temeljnoj fugi s lučke strane lukobrana}$$

$$\sigma_2 = 7,04 \text{ kN/m}^2 \quad \text{naprezanje nasipa na temeljnoj fugi s morske strane lukobrana}$$

$$\sigma_{\text{dop}} = 600 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{1/2} < \frac{\sigma_{\text{dop}}}{\gamma_m}$$

$$\sigma_{1/2} < \frac{600}{1,5} = 400 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Zadovoljava!}$$

Napomena: Prema "Pravilnik o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata" Sl. I. 15/1990. uvjet $e \leq \frac{B}{6}$ mora biti zadovoljen kad djeluju stalna i promjenljiva opterećenja, a veći ekscentricitet $e \leq 0,3B$ dozvoljen je kad djeluju osnovna, dodatna i naročita (na pr. potres). No tada se naponi računaju na reduciranu temeljnu površinu i također moraju biti manji od dozvoljenih (vidi sliku)! Kada bi gornje sile i momenti sadržali i naročita opterećenja uvjet bi se provjerio na slijedeći način:

$$\sigma_{\text{centr}} = \frac{R_V}{A_{\text{reduc}}} = \frac{R_V}{B_{\text{reduc}} \cdot x \cdot 1} = \frac{\sum V}{2 \cdot x \cdot 1} = \frac{1151,425}{2 \cdot \left(\frac{B}{2} - e\right) \cdot 1} = \frac{1151,42}{2 \cdot (3,25 - 1,04) \cdot 1} = \frac{1151,42}{4,42} = 260,5 \text{ [kN/m}^2]$$

$$\sigma_{\text{dop}} = 600 \text{ kN/m}^2 \quad \sigma_{\text{centr}} < \sigma_{\text{dop}} \quad \text{Zadovoljava!}$$

- ① Rezultanta mora biti u jezgri ($e \leq B/6$), kod osnovnog + dopunskog opterećenja uz uvjet:

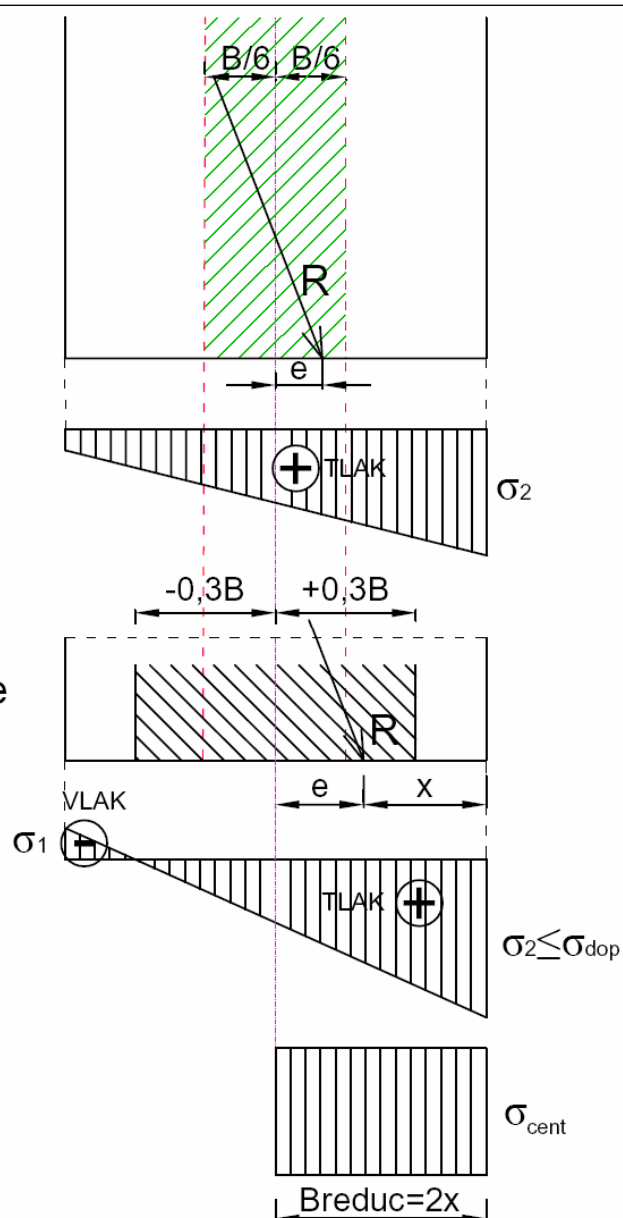
$$\sigma_{1/2} \leq \sigma_{dop}$$

Sl. I. 15/1990.

- ② Rezultanta može biti van jezgre ($e \leq 0,3B$), kod osnovnog + dopunskog + naročitog opterećenja uz uvjet:

$$\sigma_{cent} = \frac{R_v}{B_{reduc.} \times 1} \leq \sigma_{dop}(B_{reduc.})$$

Sl. I. 15/1990.



Kraj primjera!

Propuštanje ili transmisija je valna deformacija koja nastaje kod propuštanja valne energije ispod prepreke djelomično izdignute izna dna (Sl. 3.5::8), ili kroz prepreku koja je u nekom postotku izbušena otvorima. U procesu transmisije javlja se i parcijalna refleksija tako da je ispred prepreke parcijalno superponirani val (visine $H_{\text{dol}} < H_{\text{sup}} < 2H_{\text{dol}}$), a iza prepreke transmitirani val (visine $H_{\text{transm}} < H_{\text{dol}}$). Odnos 3 spomenute valne visine povezan je jednadžbom kontinuiteta valne energije:

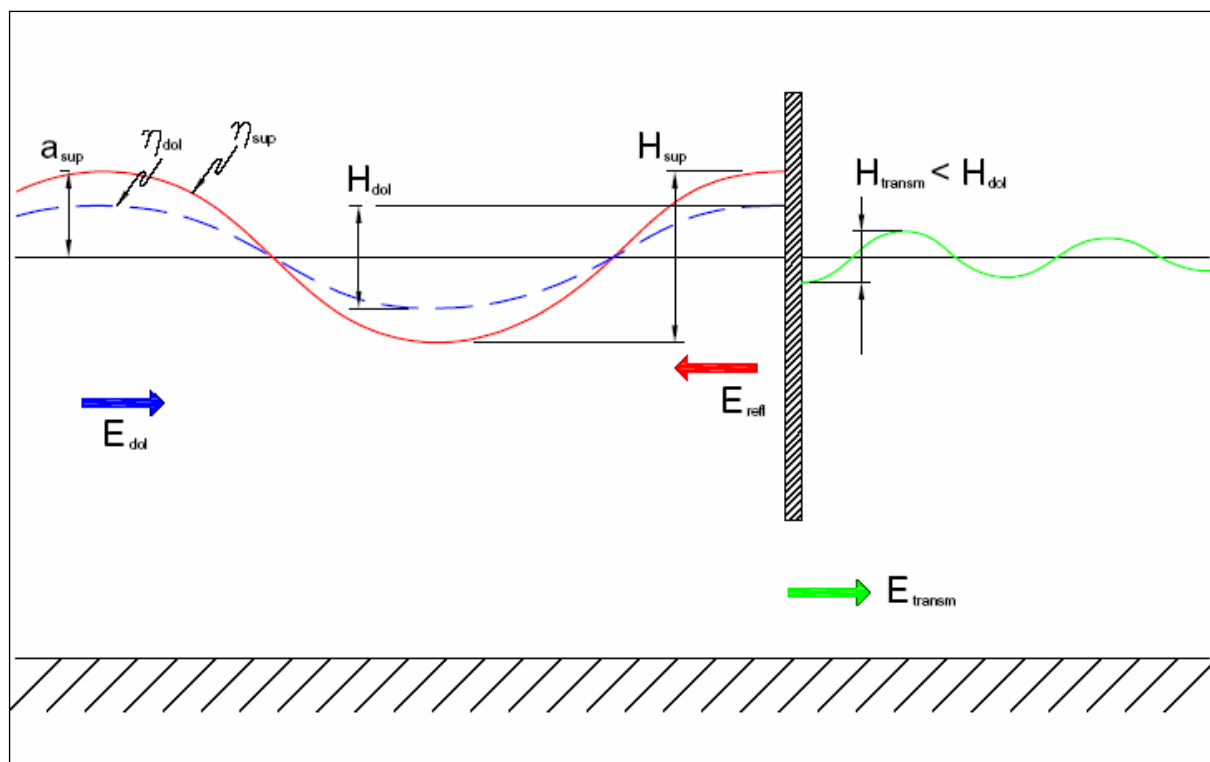
$$E_{\text{dol}} = E_{\text{refl}} + E_{\text{transm}}.$$

Ako je na pr. visina parcijalno reflektiranog vala $H_{\text{refl}} = K_{\text{refl}} H_{\text{dol}} = 0,71H_{\text{dol}}$ onda je visina parcijalno superponiranog vala

$$H_{\text{sup}} = H_{\text{dol}} + H_{\text{refl}} = 1,71 H_{\text{dol}}, \quad a_{\text{sup}} = 0,85 H_{\text{dol}}.$$

Tada iz jednadžbe kontinuiteta valne energije proizlazi deformirana valna visina uslijed transmisije kao:

$$H_{\text{transm}} = \sqrt{(H_{\text{dol}}^2 - H_{\text{refl}}^2)} = 0,71H_{\text{dol}}, \rightarrow H_{\text{transm}} = K_{\text{transm}} H_{\text{dol}} = 0,71H_{\text{dol}} \rightarrow K_{\text{transm}} = 0,71.$$



Sl. 3.5::8 Propuštanje ili transmisija valova

$\bar{H} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} H_i$ [m] prosječna valna visina; prosjek od svih valnih visina u

jednom valnom zapisu opsega N_0 valova

T_{\max} [s] maksimalni valni period koji ima neki val u jednom valnom zapisu

$T_{1/10} = \frac{1}{N_0/10} \sum_{i=1}^{N_0/10} T_0(H_i^{\text{opad.niza}})$ desetinski valni period [s]; prosjek od 1/10 valnih

perioda koji pripadaju 1/10 najviših valova, u jednom valnom zapisu opsega N_0 valova

$T_S \equiv T_{1/3} = \frac{1}{N_0/3} \sum_{i=1}^{N_0/3} T_0(H_i^{\text{opad.niza}})$ značajni valni period [s]; prosjek od 1/3 valnih

perioda, koji pripadaju 1/3 najviših valova, u jednom valnom zapisu opsega N_0 valova

$\bar{T} \equiv \bar{T}_0 = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} T_{oi} = \frac{T_R}{N_0}$ [s] prosječni valni period; prosjek od svih valnih perioda, u

jednom valnom zapisu opsega N_0 valova,

gdje je:

N_0 broj uzlaznih ili silaznih presjecanja nule u jednom valnom zapisu t.j. broj valova

$H_i^{\text{opad.niza}}$ [m] i-ta valna visina iz niza valnih visina pojedinačnih valova u jednom valnom zapisu složenom po opadanju

H_i [m] i-ta valna visina iz sukcesivnog niza valnih visina pojedinačnih valova u jednom valnom zapisu

$T_{0,i}$ [s] i-ti valni period presijecanja nule iz sukcesivnog niza perioda presijecanja nule pojedinačnih valova u jednom valnom zapisu

$T_0(H_i^{\text{opad.niza}})$ [s] period presijecanja nule koji pripada valnoj visini $H_i^{\text{opad.niza}}$

T_R [s] dužina jednog valnog zapisu kojem ima N_0 valova

Reprezentativni valni parametri za dugoročno vremensko razdoblje su:

H_S^{PR} [m]	značajna valna visina povratnog razdoblja od PR=1,5,10,20,50,100 godina; tj. značajna valna visina koja u PR godina može biti 1x dostignuta ili premašena
T_S^{PR}	značajni valni period povratnog razdoblja od PR=1,5,10,20,50,100... godina,

i ostali analogni valni parametri iz kratkoročnog stanja mora s pridruženim povratnim periodima. Na pr. H_{max}^{100g} , $H_{1/10}^{5g}$, \bar{T}_o^{25g}

Svim reprezentativnim kratkoročnim i dugoročnim reprezentativnim valnim parametrima se pridružuje smjer dolaska valova.

Mogu se definirati i odnosi reprezentativnih valnih parametara koji vrijede i za kratkoročne i dugoročne reprezentativne valne parametre:

$$H_{max} = 2H_s = 3,25$$

$$T_{max} \approx T_s \approx 1,1\bar{T}_o$$

$$H_{1/10} = 1,27H_s = 2,17\bar{H}$$

$$T_s \approx 1,1\bar{T}_o$$

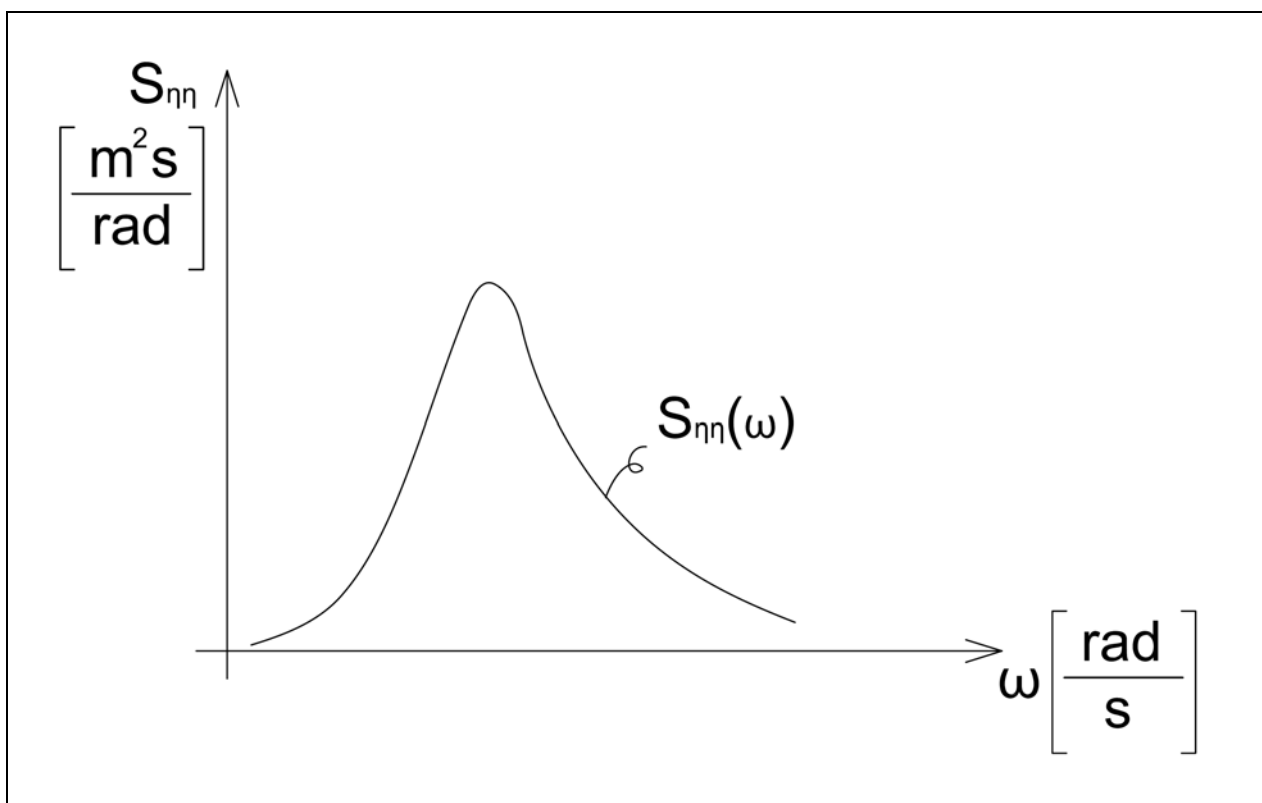
$$H_{1/3} = H_s = 1,63\bar{H}$$

$$\bar{H} = 0,61H_s$$

$$\bar{T}_o = 0,9T_s$$

4.2 SPEKTRALNI OPIS REALNIH VJETROVNIH VALOVA

Kao što su kod statističkog opisa nekog kratkoročnog stacionarnog stanja mora osnovni pokazatelji H_s i \bar{T}_o , tako je kod spektralnog opisa tog istog kratkoročnog stacionarnog stanja mora osnovni pokazatelj spektar (Sl. 4.2.:1). Postoji spektar pomaka fizičke površine mora $S_{\eta\eta}(\omega)$, spektar brzine vodnih čestica $S_{vv}(\omega)$, spektar ubrzanja vodnih čestica $S_{aa}(\omega)$ i sl. Spektar pomaka često se naziva energetske spektrom, jer je proporcionalan specifičnoj energiji nepravilnog valnog polja:



Sl. 4.2::1 Spektar pomaka fizičke površine mora kod vjetrovnih valova

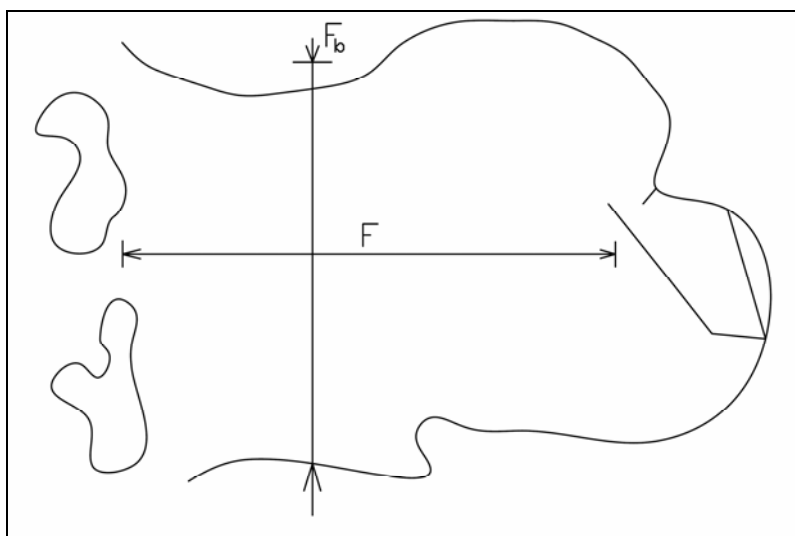
5 PROGNOZE VJETROVNIH VALOVA

Valna prognoza se definira kao postupak određivanja statistički reprezentativnih ili vjerovatnih parametara valnog profila (visine i perioda) ili valnog spektra realnih valova. Prognoziranim veličinama pridružuje se smjer. Valne prognoze prema vremenskom razdoblju na koje se odnose su: *Kratkoročna* se odnosi na neko stacionarno stanje mora trajanja 10-tak minuta do nekoliko sati, unutar jedne oluje, a *dugoročna* na rijetke pojave koje se nastavljaju tek u dužem nizu godina. Dugoročna se bazira na rezultatu velikog broja kratkoročnih prognoza, a praktično se radi za razdoblja 1 godine do 1 stoljeća. Valne prognoze prema geografskoj pripadnosti su globalne, regionalne i lokalne. Prve dvije su kvalitativne i služe za navigaciju. *Lokalne* su isključivo kvantitativne. Načinjene su za neku geografsku točku ili uže područje, a služe u inženjerske svrhe.

5.1 KRARKOROČNE PROGNOZE VJETROVNIH VALOVA

5.1.1 PODACI POTREBNI ZA PROGNOZIRANJE VJETROVNIH VALOVA

Ovakve prognoze se mogu vršiti na bazi podataka o vjetru ili podataka o valovima. Za krarkoročnu prognozu potrebni su podaci samo od jedne oluje, a za dugoročnu višegodišnji niz oluja.



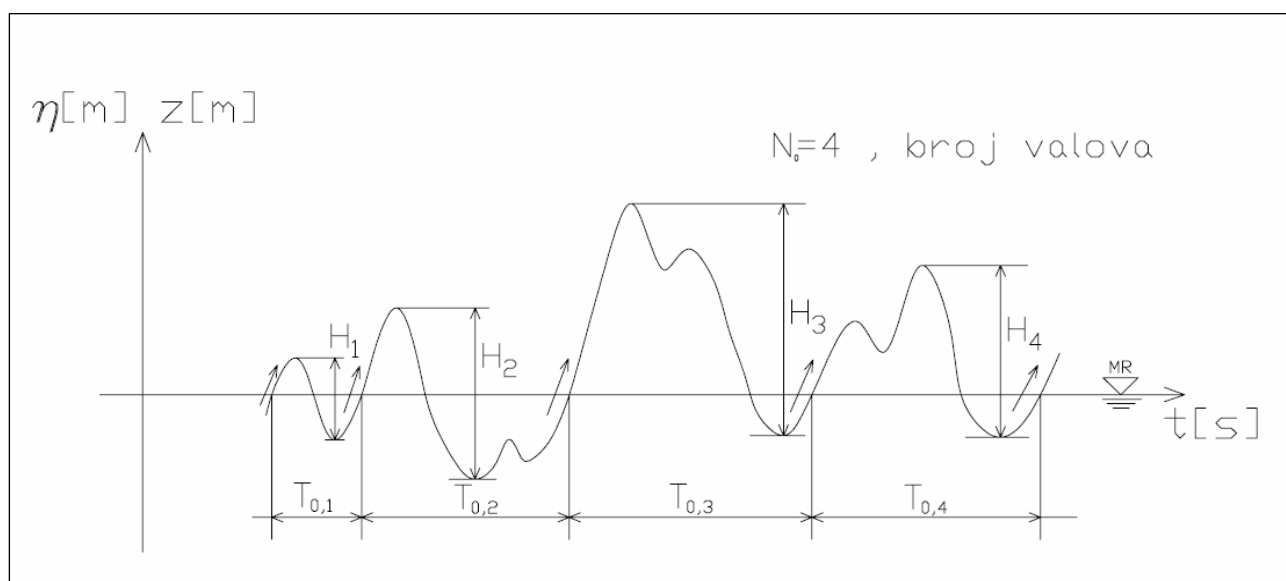
Sl. 5.1.1.1::3 Privjetrište: F [km]-dužina privjetrišta, F_b [km]-širina privjetrišta

Podaci o vjetru

Osnovni podaci za prognoziranje valova iz podataka o vjetru su smjer, brzina i trajanje vjetra, te privjetrište. Privjetrište (engl. Fetch) je morska površina iznad koje puše vjetar generirajući valove. SI.5 1.1::3

Podaci o valovima

Valovi se mogu opažati vizualno ili instrumentalno. Vizualno se procjenjuju valna visina H_v i valni period T_v , te smjer rasprostiranja valova. Njima odgovaraju H_s i \bar{T}_0 . Instrumentalno se valovi mjere na pojedinačnim točkama valografom koji ne može mjeriti smjer valova. Radi toga mu je obično pridružen anemograf. Valograf daje valni zapis pomaka fizičke površine mora u funkciji vremena. Iz njega se metodom uzlaznog ili silaznog presijecanja nule određuje broj valova N_0 , visine H_i i valni periodi T_i individualnih valova (SI.5.1.1::5) koji se kasnije statistički obrađuju u svrhu kratkoročnog ili dugoročnog prognoziranja. Instrument standardno daje 8 valnih zapisa dužine 5-15 min. dnevno što znači da se ključuje svakih 3 sata.



SI.5.1.1.::5 Određivanje parametara valnog profila individualnih valova iz valnog zapisa metodom ulaznog presijecanja nule

5.1.2 LOKALNE KRATKOROČNE PROGNOZE VJETROVNIH VALOVA

svaka 3 sata valne situacije, i to u statističkoj formi preko reprezentativnih parametara valnog profila:

- značajne valne visine $H_s \equiv H_{1/3}$ i
- značajnog valnog perioda $T_s \equiv T_{1/3}$ ili \bar{T}_0 .

a) Lokalne kratkoročne prognoze iz podataka o vjetru

Ovakve prognoze se provode kad nema podataka o valovima. Za provedbu valne prognoze trebaju i podaci o vjetru definirani u poglavlju 5.1.1. Prikazati će se SMB metoda (SI.5.1.2.:1) kao najpoznatija. Sve metode u pravilu koriste tako da se s lijeva na desno prati konstantna brzina vjetra „u“ i zatim traži njeno presjecište s privjetrištem „F“ ili trajanjem vjetra „t“ koje već prvo dođe. Na njestu tog prvog presjecišta očitaju se prognozirana značajna valna visina „H_s“ i značajni valni period „T_s“

Primjer 5.1. Prognoza vala SMB metodom za slučaj kada je mjerodavno privjetrište

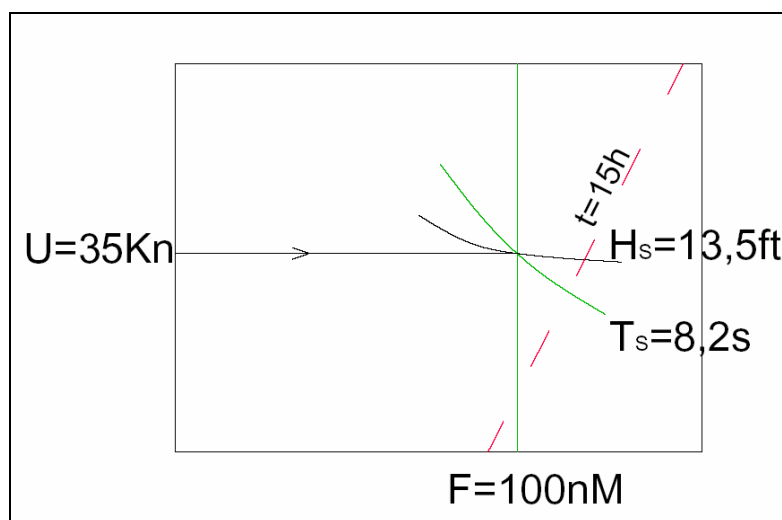
Zadano: $U = 35$ [čv≡Kn] = 18 [m/s] srednja satna brzina vjetra
 $t = 15$ [h]
 $F = 100$ [nM] = 185,3 [km] dužina orivjetrišta

Rezultat:

Na mjestu presjecišta U i F očitava se:

$$H_{1/3} = 13,5[\text{ft}] = 4 [\text{m}]$$

$$T_{1/3} = 8,2 [\text{s}]$$



Primjer 5.2 Prognoza vala SMB metodom za slučaj kada je mjerodavno trajanje vjetra

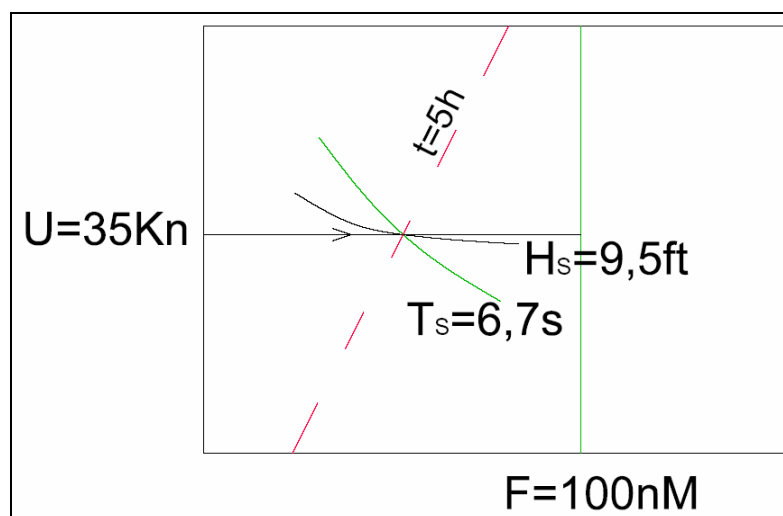
Zadano: $U = 35 \text{ [Kn]} = 18 \text{ [m/s]}$
 $t = 5 \text{ [h]}$
 $F = 100 \text{ [nM]} = 185,3 \text{ [km]}$

Rezultat:

Na mjestu presjecišta U i t očita se:

$H_{1/3} = 9,5 \text{ [ft]} = 2,9 \text{ [m]}$

$T_{1/3} = 6,7 \text{ [s]}$



5.2 LOKALNE PROGNOZE VJETROVNIH VALOVA KOJI SE POJAVLJUJU U DUGIM RAZDOBLJIMA

Takve prognoze rade se za razdoblja od 1 godine do 1 stoljeća, i to tako da se veličinama reprezentativnih valnih parametara pridruži vjerojatnost, ili povratno razdoblje u godinama.

Slučajne varijable \hat{H}_s - značajne valne visine i \hat{T}_s - značajnog valnog perioda imaju svoje raspodjele vjerojatnosti. Raspodjele vjerojatnosti imaju i ostali reprezentativni parametri valnog profila, ali se ne računaju jer se mogu izvesti iz raspodjela vjerojatnosti \hat{H}_s i \hat{T}_s .

Ako se raspolože uzorkom iz 30-godišnjeg opažanja ekstrema ili minimalno 5 godina opažanja vrlo visokih vrijednosti neke od rečenih slučajnih varijabli, tada se može odrediti

„jednodimenzionalna dugoročna raspodjela vjerovatnosti“. Kod toga se parovi brojeva $[H_{s,i}; P(\hat{H}_s \geq H_{s,i})]$ stavljaju se u koordinatni sustav H_s ; $P(\hat{H}_s \geq H_s)$ i njima definirane točke predstavljaju empirijsku raspodjelu značajne valne visine. Na abscisi su vrijednosti značajne valne visine H_s , a na ordinati vjerovatnosti premašenja slučajne varijable značajne valne visine: $P(\hat{H}_s \geq H_s)$: Vidi Sl. 5.2.:1. Pri tome je:

\hat{H}_s	slučajna varijabla značajne valne visine
$\hat{H}_{s,i} [m]$	i-ta vrijednost slučajne varijable značajne valne visine \hat{H}_s u uzorku složenom po opadanju
n	opseg uzoraka; tj. broj podataka vrijednosti $\hat{H}_{s,i}$ u uzorku slučajne varijable značajne valne visine \hat{H}_s za proračun raspodjele
$i = 1 \dots n$	redni broj razmatrane vrijednosti slučajne varijable značajne valne visine \hat{H}_s složenom po opadanju
$P(\hat{H}_s \geq H_s) = P(\hat{H}_{s,i})$	vjerojatnost dostizanja ili premašenja $\hat{H}_{s,i}$ tj. i-te vrijednosti slučajne varijable značajne valne visine \hat{H}_s

Dakle, ovdje se ne barata s pojedinačnim valovima iz nekog valnog zapisa nego s reprezentativnim valnim parametrima za ekstremna stanja mora iz 30-godišnjeg opažanja!

Ako se na skup parova $[H_{s,i}; P(\hat{H}_s \geq H_{s,i})]$ prikazan točkama u koordinatnom sustavu prilagodi pravac dobije se teorijska funkcija raspodjele $P(\hat{H}_s) = P(\hat{H}_s \geq H_s)$ vjerovatnosti slučajne varijable značajne valne visine \hat{H}_s (Sl. 5.2.:1).

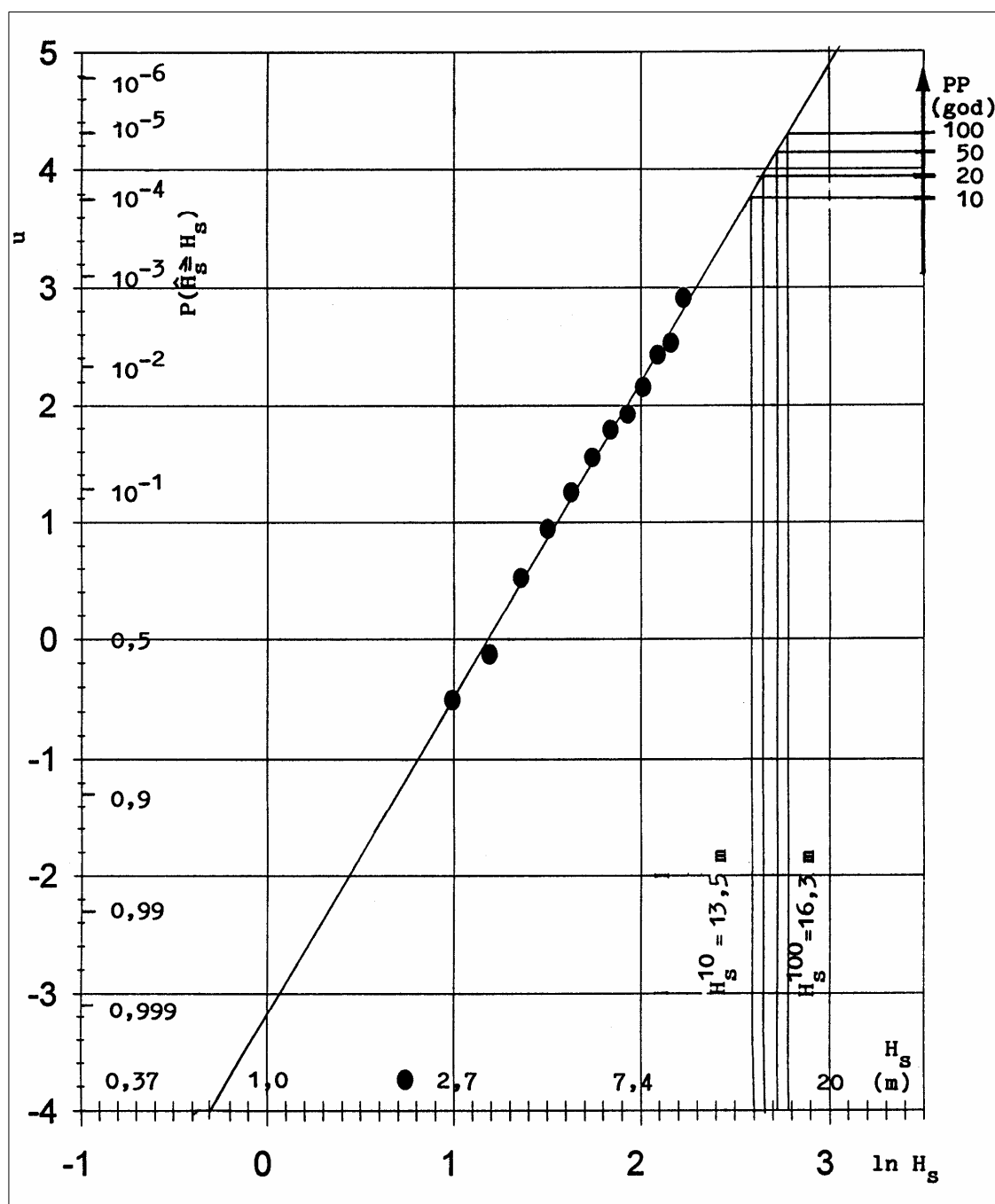
Kad je jednom poznato $P(\hat{H}_s \geq H_s)$ povratno razdoblje bilo koje vrijednosti slučajne varijable značajne valne visine $\hat{H}_{s,i}$ pa i one veoma velike i rijetke koja nikad nije izmjerena, može se sada odrediti prema izrazu:

$$PR[\text{god}] = \frac{T_{\text{REG}}}{n} \cdot \frac{1}{P(\hat{H}_s \geq H_{s,i})}, \quad \text{ili obrnuto za poznati PR preko } P(\hat{H}_s \geq H_s) = \frac{T_{\text{REG}}}{n} \cdot \frac{1}{PR}.$$

Pri tom je:

T_{REG} [god] razdoblje bezprekidnog opažanja (mjerjenja) vrijednosti značajne valne visine iz kojeg je dobiven uzorak

PR [god] povratno razdoblje; tj. broj godina u kome razmatrana vrijednost značajne valne visine $\hat{H}_{s,i}$ može biti 1 puta dostignuta ili premašena



Sl. 5.2::1 Dugoročna Log-normalna raspodjela vjerojatnosti slučajne varijable značajne valne visine \hat{H}_s

6 PROJEKTI VALOVI

Dvije su vrste proračuna pomorskih objekata:

- proračuni funkcionalnosti
- proračuni konstrukcije

Osim poznatih kopnenih utjecaja na proračune pomorskih objekata javljaju se specijalni utjecaji koji proizlaze iz morskog okoliša, a to su morski valovi i morski razovi. Kod nekih pomorskih objekata ili njihovih konstrukcija uvjeti morskog okoliša su čak dominantni.

Proračuni funkcionalnosti i proračuni konstrukcija mogu se vršiti s:

- projektnim valovima
- projektnim spektrom. Ovdje će se dati samo projektni valovi.

Projektna valna visina i njeno povratno razdoblje ovisi o vrsti proračuna i o tipu konstrukcije (Tab. 6::I).

PROJEKTI VAL prognozirani (ili u rijetkim slučajevima izmjerni)			
FUNKCIONALNOST GRAĐEVINE		PRORAČUN KONSTRUKCIJE	
1. AGITACIJA BAZENA (PREKRCAJNI DANI)	$H_{1/3}^{5 \text{ god}}$	1. NASIPNE GRAĐEVINE	$H_{1/10}^{100 \text{ god}}$
2. PRELJEVANJE ¹⁾	$H_{\max}^{5 \text{ god}}$	2. VERTIKALNE STIJENE	$H_{\max}^{100 \text{ god}}$
	$H_{\max}^{100 \text{ god}}$		
	VAL 5- GODIŠNJEG POVRATNOG RAZDOBLJA	3. GRAĐEVINE NA PILOTIMA	VAL 100- GODIŠNJEG POVRATNOG RAZDOBLJA
	VAL 100- GODIŠNJEG POV. RAZD.		

Tab. 6::I Izbor projektne valne visine H_{proj} u ovisnosti o vrsti proračuna i tipu građevine [3,13,14]. 1) Projektna valna visina za prelijevanje ovdje se preporuča s $H_{\text{proj}}=H_{\max}^{5 \text{ god}}$ što principijelno vrijedi za kej; t.j. visinu teritorija u luci i visinu krune lukobrana teretnih luka kod kojih se, u slučaju većih valova, može kontrolirati i zabraniti prolaz ljudi kako nebi stradali [6]. Kod javnih luka gdje se promet pješaka ne može kontrolirati [6] projektna valna visina za prelijevanje je $H_{\text{proj}}=H_{\max}^{100 \text{ god}}$. Ova projektna valna visina u principu uvijek vrijedi za prelijevanje nasipnog lukobrana, jer o prelijevanju ovisi dtabilnost obloge pokosa na lučkoj strani lukobrana.

Vrsta konstrukcije	H_{proj} - visina projektnog vala
1. Nasipni lukobrani	$H_{1/10}^{100 \text{ god}} \quad (1,27 H_s^{100 \text{ god}})$
2. Vertikalni lukobran	$H_{\max}^{100 \text{ god}} \quad (1,8 - 2 H_s^{100 \text{ god}})$

Tab. 6::II Projektne valne visine (BRD)

Projektni valni period se određuje tako da se ispita djelovanje jednog prikladnog raspona perioda, a usvaja se onaj koji za razmatrani proračun daje najnepovoljnije efekte.

Dopuštena agitacija bazena dana je u tablici 6::III

Postupci	Brodovi (dwt)	Značajne valne visine (m)	Prosječna frekvencija (dana/god)
Prilaz ulazu u luku	Svi	3.0	19
Manevriranje unutar luke	Svi	1.5	8
Pristajanje	do 60 000	0.8	24
	od 60 000 do 125 000	1.0	14
	od 125 000 do 250 000	1.5	8
Ukrcaj rasutog tereta	do 60 000	1.5	8
	od 60 000 do 125 000	2.0	4
Iskrcaj rasutog tereta	do 60 000	0.8	24
	od 60 000 do 125 000	1.0	14
	od 125 000 do 250 000	1.5	8
Prekrcaj generalnog tereta	do 20 000	0.5	30
Marine	Svi	0.15	5
Dopuštena stanja valovlja unutar akvatorija marine s plutajućim gatovima	Svi	0.3	1dan/5 god
	Svi	0.5	1dan/50 god

Tab. 6::III Granične valne visine usvojene za razne operacije kod uplovljavanja i
6 Projektni Valovi

prekrcaja brodova u luci i marini

ZADAĆA

Primjer 6.1 Ako je načinjena dugoročna valna prognoza značajne valne visine

PR (god)	1	2	5	10	20	50	100
H _s (m)	2,1	2,2	2,4	2,5	2,9	3,2	3,5

napiši slovnim simbolom (reprezentativnu valnu visinu i PR) i odredi projektiranu valnu visinu za agitaciju lučkog bazena, te za proračun konstrukcije nasipnog lukobrana.

$$\begin{array}{ll} \text{agitacija} & H_{\text{proj}} = H_s^{5\text{god}} = 2,4 \text{ m} \\ \text{konst. nasipnog lukobrana} & H_{\text{proj}} = H_{1/10}^{100\text{g}} = 1,27H_s^{100} = 4,5 \text{ m} \end{array}$$

Primjer 6.2 Ako je načinjena dugoročna valna prognoza značajne valne visine

PR (god)	1	2	5	10	20	50	100
H _s (m)	2,1	2,2	2,4	2,5	2,9	3,2	3,5

napiši slovnim simbolom (reprezentativnu valnu visinu i PR) i odredi projektiranu valnu visinu za prelijevanje i konstrukciju vertikalnog lukobrana.

$$\begin{array}{ll} \text{prelijevanje} & H_{\text{proj}} = H_{\text{max}}^{5\text{god}} = 2 H_s^{6\text{g}} = 4,8 \text{ m} \\ \text{konst. vodenog lica} & H_{\text{proj}} = H_{\text{max}}^{100\text{g}} = 2 H_s^{100\text{g}} = 7,0 \text{ m} \end{array}$$

Predmet: VODNOGOSPODARSKE GRAĐEVINE

Studij: TEHNIČKO VELEUČILIŠTE U ZAGREBU

Stručni studij graditeljstva

Usmjerenje: niskogradnja

Semestar: V

Fond sati: 30+15

Godina: 2007.

Student:

1. TEST ZA KONAČNU OCJENU

5.11.2007.

55% = 2

65% = 3

75% = 4

85% = 5

Krivi odgovor negativni bodovi!

Nečitki odgovori 0 bodova!

	pitanja	odgovori	nosi bod	pos tig nuto
1	Gibanja mora			

Predmet: VODNOGOSPODARSKE GRAĐEVINE

Studij: TEHNIČKO VELEUČILIŠTE U ZAGREBU

Stručni studij graditeljstva

Usmjerenje: niskogradnja

Semestar: V

Fond sati: 30+15

Godina: 2007.

1. TEST ZA KONAČNU OCJENU

Sadržaj:

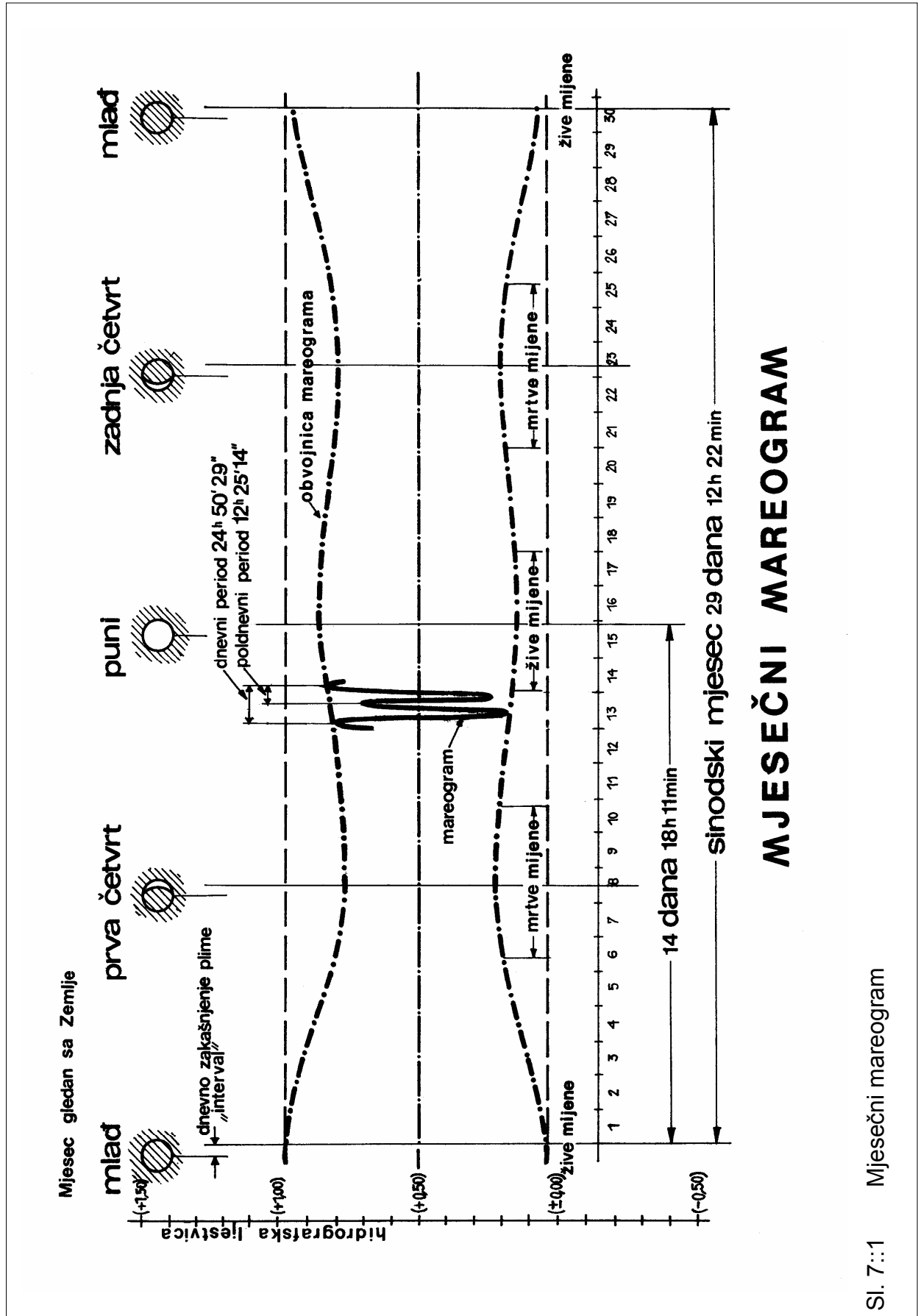
- 1 Gibanja mora
- 2 Morski valovi
- 3 Idealni valovi
- 4 Realni valovi
- 6 Projektni valovi

7 MORSKI RAZOVI

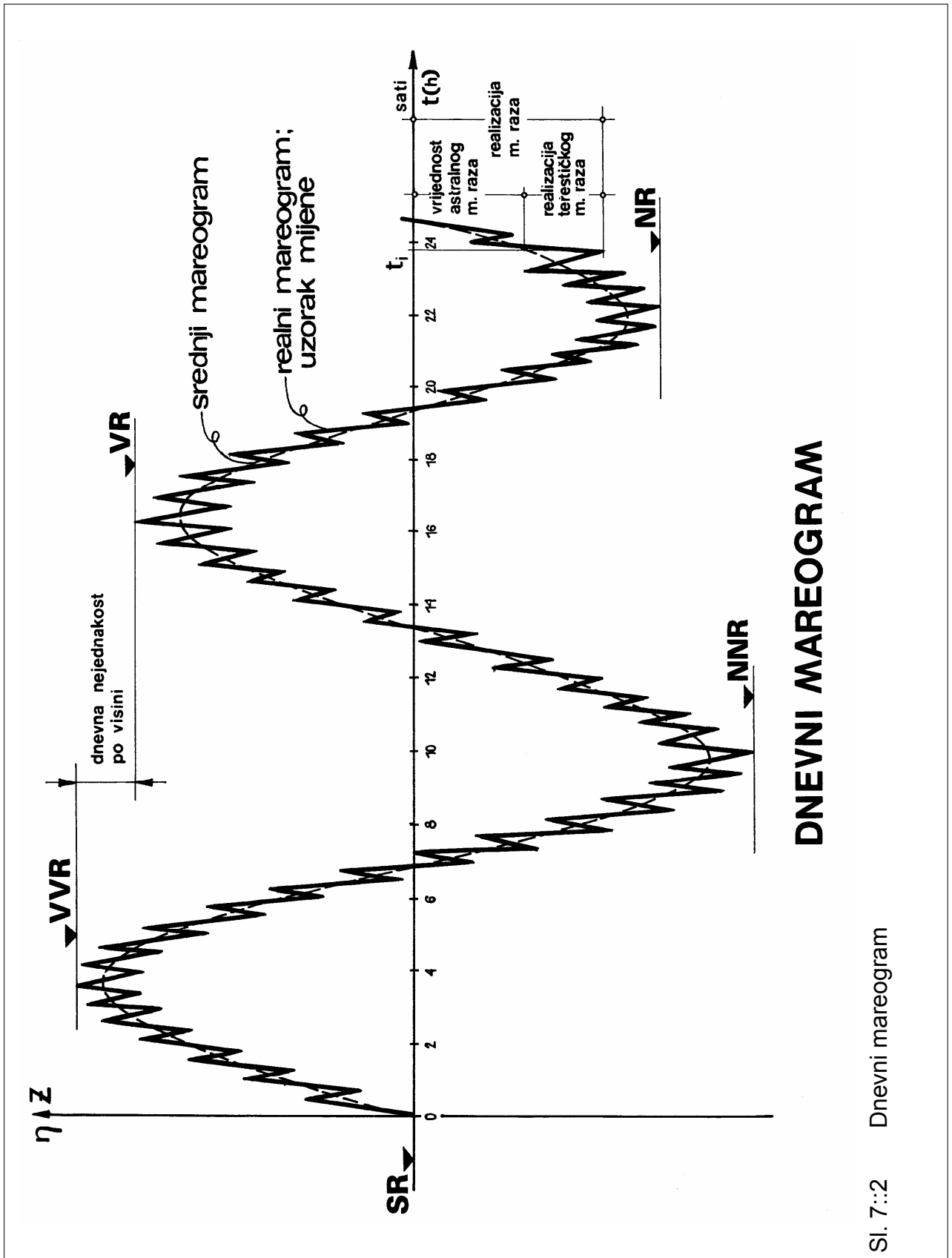
Ekstremni morski razovi su, uz valove, osnovna podloga za sve vrste inženjerskih zahvata u moru.

Pojam morskog raza odnosi se na nivo fizičke površine mora koji je u relaciji s nekom referentnom ravninom. Morski raz se javlja u jednom trajnom dugovalnom procesu nazvanom morska mijena. Dvije su glavne grupe valnih komponenti koje formiraju duge valove morske mijene: 1) astralna, koja se naziva morsko doba (generirana gibanjem nebeskih tijela – pretežno Sunca i Mjeseca - s periodom od oko $\frac{1}{2}$ do 1 dan) i terestička (generirana zemaljskim utjecajima s periodom od 10-tak minuta do nekoliko sati). Astralna komponenta morske mijene se može okarakterizirati kao deterministička, a terestička kao slučajan proces, što cijeloj morskoj mijeni daje karakter slučajnog procesa.

Amplituda mijena varira u toku jednog mjeseca, slici 7::1, Period mjesečne varijacije morske mijene je pola sinodskog mjeseca (0,5 x 29,5 dana). Na slici 7::2 prikazana je dnevna varijacija morske mijene, koja se može javiti s jednim ili dva perioda. Jednodnevna mijena ima period 24 sata i 50 minuta, a poludnevna 12 sati i 25 minuta. Mijene na Jadranu su poludnevnog tipa u vrijeme sizigija (mlađ i pun mjesec), a jednodnevnog tipa u vrijeme kvadrature (prva i zadnja četvrt). U tablici 7::1 dana je nomenklatura morskih razova s oznakama i definicijama karakterističnih morskih razova.



Sl. 7::1 Mjesečni mareogram



Sl. 7.:2 Dnevni mareogram

NOMENKLATURA MORSKIH RAZOVA

ExtrVR ₁₀₀	Visoki Raz 100 g povratnog razdoblja, odnosno maksimalni raz koji 1 puta u 100 godina može biti dostignut ili premašen
ExtrVR ₅₀	Visoki Raz 50 g povratnog razdoblja, odnosno maksimalni raz koji 1 puta u 50 godina može biti dostignut ili premašen
ExtrVR ₁₀	Visoki Raz 10 g povratnog razdoblja, odnosno maksimalni raz koji 1 puta u 10 godina može biti dostignut ili premašen
SVVŽR	Srednji Viši Visoki živi Raz – 20-godišnji prosjek od po jednog maksimalno registriranog višeg visokog raza u vrijeme žive mijene s izgladenog moreograma
SVVR	Srednji Viši Visoki Raz – prosjek od svih registriranih viših visokih razova u nekom periodu s izgladenog moreograma
SVR	Srednji visoki raz – prosjek od svih registriranih visokih razova nekog perioda s izgladenog moreograma
SR ±0,0	≡ geodetska nula, ili nula generalnog nivelmana države Srednji Raz – prosjek registriranih satnih razova s izgladenog moreograma ili integralni prosjek; ako se radi o barem 20-godišnjem prosjeku može poslužiti za nulu generalnog nivelmana ±0,0 GN
SNR	Srednji Visoki Raz – prosjek od svih registriranih niskih razova nekog perioda s izgladenog moreograma
SNNR	Srednji Niži Niski Raz – prosjek od svih registriranih nižih niskih razova u nekom periodu s izgladenog moreograma
SNNŽR [±0,0]	≡ hidrografska nula ≡ nula pomorskih karata ili Srednji Niži Niski živi Raz – 20-godišnji prosjek od pojedinog minimalno registriranog nižeg niskog raza u vrijeme žive mijene s izgladenog moreograma
ExtrNR ₁₀	Niski Raz 10 g povratnog razdoblja, odnosno minimalni raz koji 1 puta u 10 godina može biti dostignut ili podbačen
ExtrNR ₅₀	Niski Raz 50 g povratnog razdoblja, odnosno minimalni raz koji 1 puta u 50 godina može biti dostignut ili podbačen
ExtrNR ₁₀₀	Niski Raz 100 g povratnog razdoblja, odnosno minimalni raz koji 1 puta u 100 godina može biti dostignut ili podbačen

Tab. 7::I Nomenklatura morskih razova

8 LUČKE GRAĐEVINE

U lukama se pojavljuje mnoštvo tipičnih kopnenih građevina i instalacija, ali i neke specijalne pomorske građevine koje nemaju kopneni pandan. To su u prvom redu: - kej i - lukobran, a zatim njihovi derivati. Ovi objekti su raspoređeni u zaštićenom lučkom akvatoriju ili vani pa mogu biti

unutrašnji:

- kej, Sl. 8::1
- molo,
- gat,
- utvrdica, dalba, plutača
- uređena obala, i

vanjski:

- lukobran,
- valolom i
- obaloutvrda.

8.1 LUKOBRANI

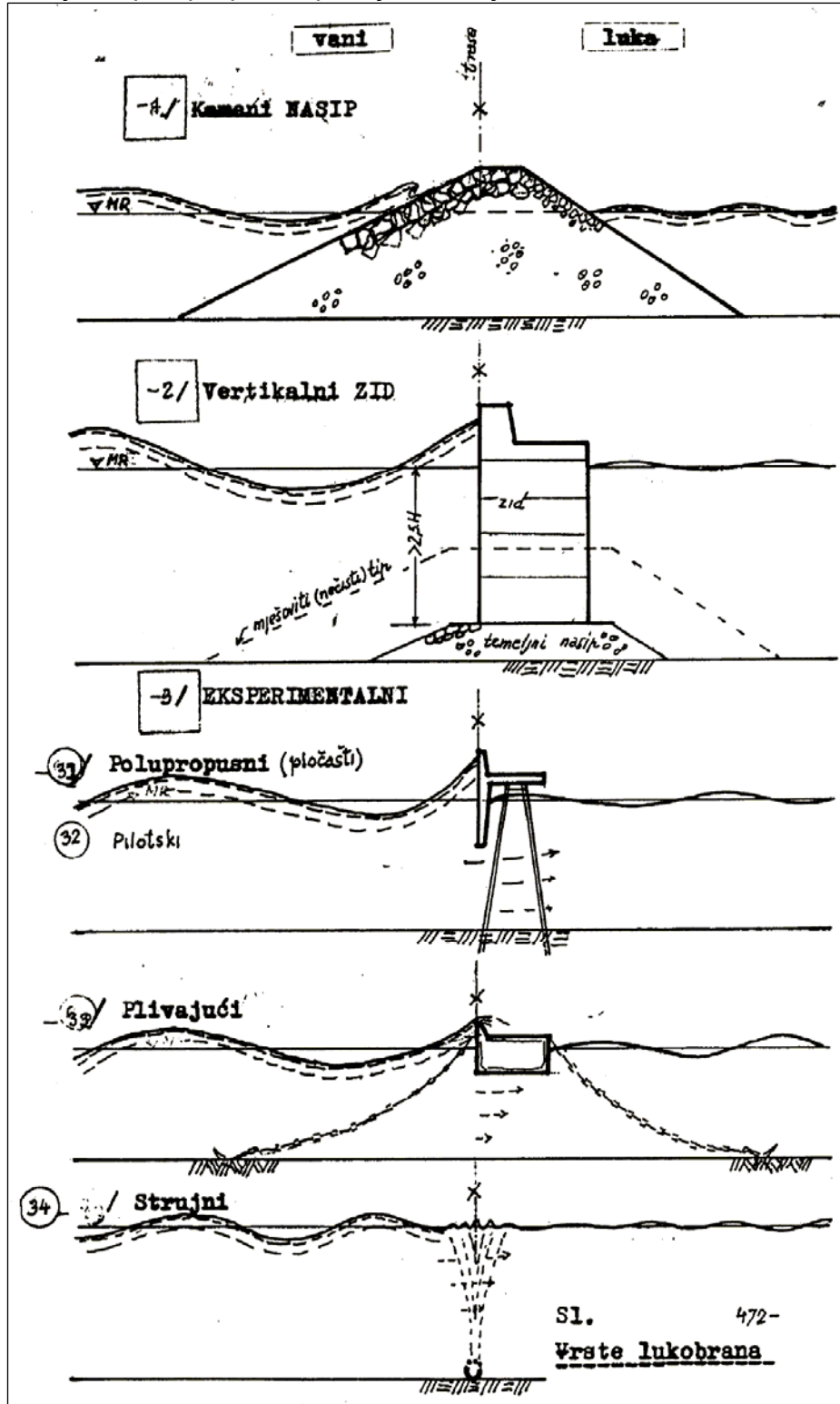
Najčešća smetnja radu u lukama je djelovanje valova na brodove u luci. Zato se lučki akvatoriji zaštićuju *lukobranima* (Sl. 8.1::1). Oni osim protiv valova služe i protiv ostalih štetnih djelovanja npr. struja i nanosa. Ne moraju biti spojeni sa kopnom. Proširenu funkciju ima operativni lukobran. Sastoji se od obrambene krune na morskoj strani, a sa lučke strane je formiran kej tako da se mogu formirati brodski vezovi i eventualno postaviti mehanizacija za prekrcaj brodova. Ukoliko je širina keja mala za vršenje lučkih operacija, takav lukobran služi samo za vezivanje brodova (čekanje, oprema, "mrtvi vez", rasprema).

Ako takva građevina služi protiv djelovanja valova na druge pomorske građevine nazvaju se *valobranom*. Konstrukcija lukobrana i valobrana je identična, a funkcija im je različita.

Valolomi su podmorski ili (niski) nadmorski objekti koji djelomično štite od valova. Takav objekt je podignut na morskom dnu, a dosiže do izvjesne dubine ispod površine mora ili samo malo iznad mora, kako bi se veći valovi na njemu lomili i tako gubili dio energije. Samo manji valovi nesmetano prelaze preko te prepreke. Koriste za zaštitu plaža.

U pogledu presjeka konstrukcije razlikuju se 3 OSNOVNA TIPA LUKOBRANA (Sl. 8.1::1):

- 1 tip nasip (tal. molo), jezgra izrađena od miješanog sitnijeg kamenitog materijala, a obloga (školjera) od krupnih blokova prirodnog kamena ili betona;
- 2 tip zid (tal. diga) od gravitacionog (betonskog) zida koji leži na kamenom temeljnom nasipu. Dubina (D) zida ovisi o visini najvećeg vala i kreće se od $2 - 2,5 H_{\max}^{100g}$;
- 3 tipovi koji se rjeđe primjenjuju, tzv. eksperimentalni. Između mnogo objavljenih najpoznatiji su: polupropusni, plutajući i strujni.



Sl. 8.1::1 Tipovi lukobrana

8.1-1 LUKOBRAN TIP A NASIP

Lukobran tipa nasip se primjenjuje za sve vrste tla na dnu, pa čak i za mulj. Traži dosta održavanja, ali je vrlo otporan na djelovanje valova. Nevrijeme ga može oštetiti, ali ne i potpuno srušiti tako da nikada ne gubi zaštitnu funkciju. S velikim dubinama postaje skup jer mu cijena raste gotovo kao kvadrat visine. Vrlo je otporan na ratna razaranja.

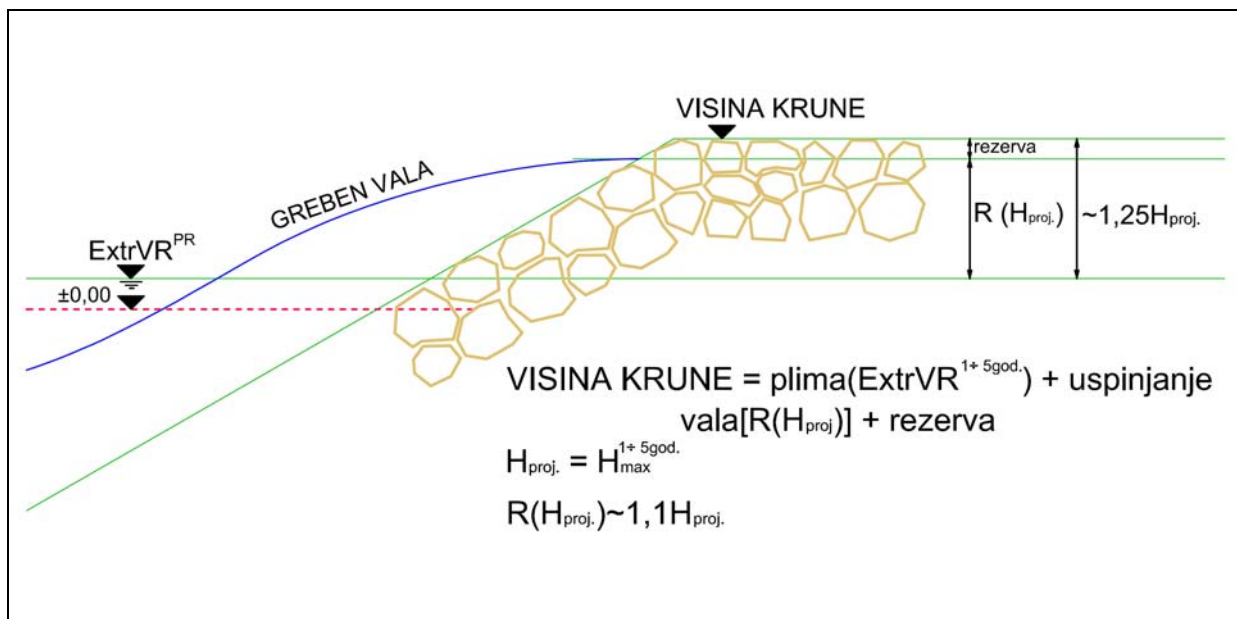
8.1-1.1 Profil nasipnog lukobrana

Nasipni lukobran ima trapezni profil. Širina krune je mala ako je samo zaštitna, ili velika ako je uporabna; t.j. ako se na njoj obavlja promet vozila i prekrcaj.

Minimalna širina zaštitne krune odgovara širini 3-4 elementa primarne obloge po kriteriju stabilnosti. Po kriteriju nepreljevanja veća širina se može primijeniti radi smanjenja visine kad to estetika zahtijeva, a što se precizno utvrđuje proračunima i modelskim ispitivanjem. Širina uporabne krune zavisi o namjeni i prema tome mora omogućiti smještaj prekrcajne mehanizacije, prometnica pa čak neki puta i skladišta. S druge strane širina krune ovisi i o tehnologiji građenja, te mora biti tolika da u fazi građenja s krune omogući mimoilaženje kipara s nasipnim materijalom, rad stroja za razastiranje, rad autodizalice ili postavu tračnica dizalice za polaganje blokova obloga. Kod malih lukobrana koji se grade bez dizalice na tračnicama to iznosi minimalnih 7[m], a kod velikih 10-12[m]. Ta radna ploha od 7[m] treba biti osigurana na visinskoj koti nešto iznad SVVŽR (na Jadranu cca +0,6 do +0,8[m n.m.]).

I u pogledu *visine krune* ima razlika. Za uporabnu krunu treba predvidjeti malu vjerojatnost prelijevanja dok kod zaštitne krune ta vjerojatnost može biti veća. Učestalost i količina dopuštenog prelijevanja ovisi o funkcijama upotrebne krune, no i o sigurnosti obloge kod prelijevanja. Visina krune lukobrana se izračunava zbrajanjem dosega projektnog vala ($H_{proj}=H_{max}^{1-5g^{od}}$) i ekstremno visokog morskog raza usvojenog povratnog razdoblja. To u grubom iznosi 1,25 H_{proj} iznad ekstremnog morskog raza za obloge od kamenih blokova (Sl. 8.1-1.1::1).

Nagib pokosa ovisi o mnogo faktora. Vanjski pokos koji je izložen olujama ima redovito blaži nagib od unutarnjeg okrenutog prema luci. Normalno se nagibi kreću od 1:1,5 do 1:3, najviše do 1:5 (kod specspecijalnih pješćanih obaloutvrda s asfaltnom oblogom). Standardni nagibi lukobrana s oblogom od kamenih blokova su: 1:1,5 vanjski i 1:1,25 unutarnji.



Sl. 8.1-1.1:::1 Određivanje visine krune nasipnog lukobrana

Osim zahtjeva za vlastitom stabilnošću mase lukobrana profil ovisi i o kvalitetu dna na kojem leži masa. Strmi nagib pokosa stvara veća naprezanja na morsko dno. Ako je ono od slabog materijala potrebno je naprezanja smanjiti. To se postiže ublažavanjem nagiba pokosa, čime se proširi baza lukobrana i smanji tlak na dno, a što daje veću sigurnost od sloma temeljnog tla i pokosa nasipa. Slijeganje dna pod lukobranom može iznositi i po nekoliko metara, a tome dodaje slijeganje uslijed konsolidacije trupa. Problem se anulira nadvišenjem u fazi gradnje.

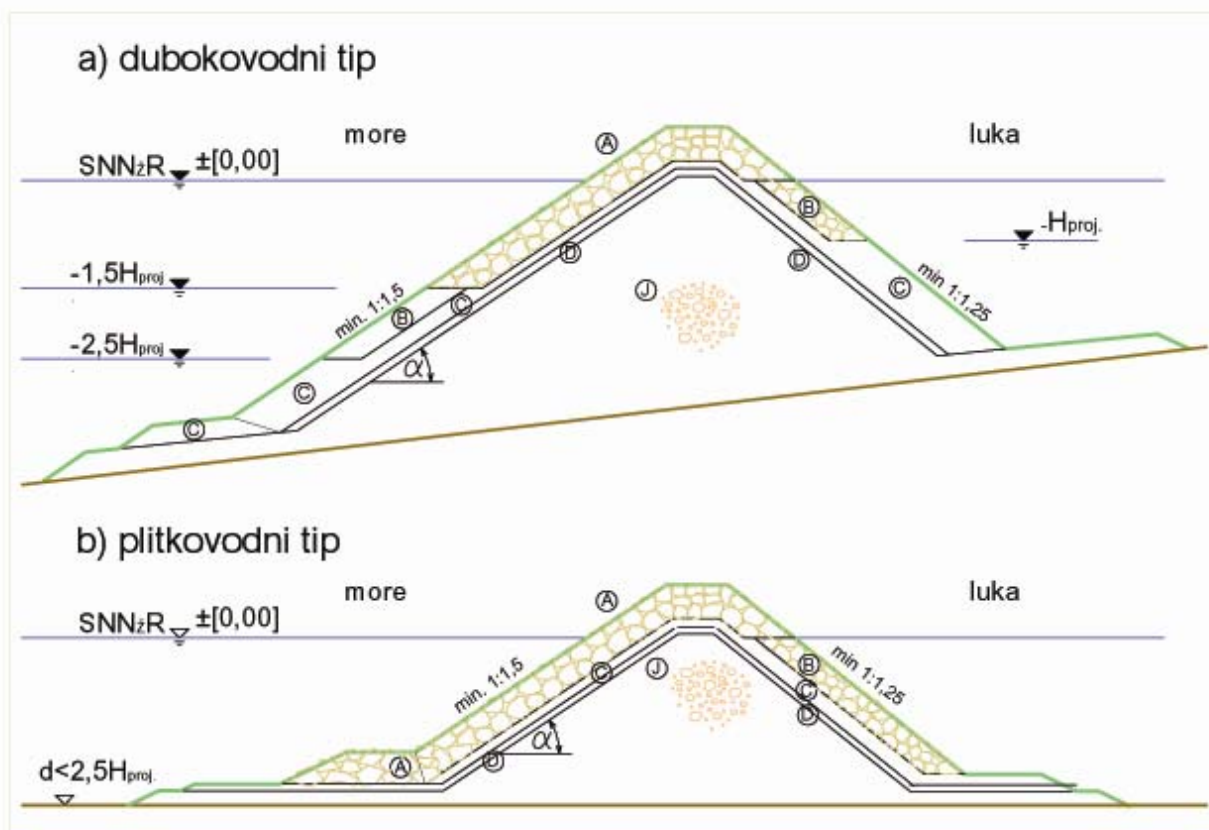
Prilikom nasipanja (krupnijeg) kamenja na vrlo mekano dno, npr. na mulj, kamenje prodire duboko u dubinu pa je to "izgubljeni" materijal. U takvom slučaju potrebno je prvo postaviti geotekstil i geomrežu, te nasuti posteljicu od sitnijeg materijala da se stvori tepih koji nosi trup. Ako je dno i u većoj dubini vrlo slabo nosivo, onda se mora pristupiti klasičnoj metodi zamjene temeljnog tla sa boljim materijalom, ili nekoj od metoda poboljšanja tla (šljunčani piloti, ubrzanje konsolidacije vertikalnim drenovima i sl.).

8.1-1.2 Presjek lukobrana (konstrukcija)

Današnji presjeci nasutih lukobrana izgrađuju se krajnje ekonomično. Glavnina je presjeka (jezgra) od sitnijeg materijala, a samo obloga od krupnih blokova. Čak se i pojedini dijelovi obloge razno dimenzioniraju prema jačini djelovanja mora. Podjela materijala u presjeku je najekonomičnija onda ako je u skladu sa izdašnosti (po frakcijama) kamenoloma koji je na raspoloženju. Izdašnost kamenoloma značajno diktira sastav presjeka. Ovakvi ekonomični presjeci sa sitnijim kamenim materijalom u jezgri stvaraju i ozbiljne izvedbene probleme. Kod jakih mora moraju se radovi tako etapirati da pojedine faze gradnje – a gradi se kroz više zimskih perioda – mogu izdržati nalete valova (obloge odmah slijede gradnju jezgre i filtera, filteri moraju izdržati barem 1-5 godišnje valove i sl.).

Tipičan četveroslojni presjek se sastoji od najkrupnije primarne obloge A na kruni i vanjskom pokosu ispod koje je u većoj dubini nešto manja sekundarna obloga B. Između jezgre i obloga su filterski slojevi C i D (Sl. 8.1-1.2::1). Kod manjih lukobrana česti su i troslojni lukobrani sastavljeni iz primarne obloge, filtera i jezgre.

a) Dubokovodni tip



A – primarna obloga	G	(±25%)
B – sekundarna obloga	G/2	(±25%)
C – filter 1	G/10	(±30%)
D – filter 2	G/200	(±50%)
J – jezgra	min. G/4000	(±70%), ali veći ne smetaju!
J – jezgra troslojnog	min. G/200	(±70%)

$$H_{proj} = H_{1/10}^{100g} = 1,27H_S^{100g} \quad PR = 100 \text{ godina} \quad \text{za proračun obloge}$$

Sl. 8.1-1.2::1 Četveroslojni nasipni lukobran s usko graduiranom oblogom

Primarna obloga "A" može biti izvedena na više načina: grubo hrapava, nazupčana i vrlo rijetko glatka. U pravilu je grubo hrapava koja se izvodi od velikih elemenata, promjera većeg od metara, postavljenih na pokos bez velikog slaganja (engl: pel-mal ili rip-rap). Na taj način se dobije izgled jednoličnog pokosa od nepravilno složenih blokova, metarske hrapavosti i velike šupljikavosti. Ako su blokovi od prirodnog kamena, primarna obloga se naziva školjera. Vrste umjetnih blokova od betona dane su u svim priručnicima. Obzirom na djelovanje valova, od elemenata primarne obloge (školjere) se traži:

- Da im težina bude u skladu s veličinom valova kako bi ostali stabilni na pokosu tj. onemogućili oštećenje lukobrana. Prema Hudsonovoj formuli.
- Elementi školjere moraju međusobno biti dobro ukliješteni, jer se tako težina pojedinog bloka povećava tlakom okolnih blokova. Iz tog razloga ugradnja teče po horizontalnim slojevima.
- Elementi školjere moraju biti čvrsti. Naime školjera je konstrukcija od točkasto oslonjenih elemenata, pa bi lom na točkama oslonca olabavio konstrukciju i doveo do oštećenja cijelog lukobrana uslijed erozije obloge.
- Kompaktnost oblika, da elementi budu teški i takvi da, položeni u školjeru, napadne plohe izložene valovima budu što manje.
- Velika šupljikavost između elemenata, jedan od osnovnih zahtjeva kako bi što više vode kod valnog djelovanja moglo ući u šupljine i tamo izgubiti valnu energiju uslijed disipacije. Disipacija smanjuje uspinjanje vala na pokosu i omogućava nižu krunu. Time se školjera bitno razlikuje od obloge u drugim, mirnim nasipima.

Raspored slojeva, pa tako i školjere, po dubini i širini presjeka dan je na slici 8.1-1.2::1. Polaganje blokova školjere vrši se prema unaprijed utvrđenom projektu organizacije na osnovu tipa blokova odnosno elemenata i raspoloživim sredstvima (plovnim dizalicama, plovnim i kopnenim dizalicama, iznimno samo kopnenim dizalicama).

	Hudsonova formula
$G = \frac{\rho_{obl} \cdot g \cdot H_{proj}^3}{K_D \left(\frac{\rho_{obl}}{\rho_m} - 1 \right) \cdot \text{ctg } \alpha} \quad [\text{N}]$	$\rho_m = 1026 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ $\rho_{obl} = 2650 \text{ [kg/m}^3\text{]} \text{ za kamen i } 2400 \text{ [kg/m}^3\text{]} \text{ za beton}$ $K_D = 2,5 \text{ (kamen)}$ $K_D = 8 \text{ (tetrapodi)}$ $H_{proj} = H_{1/10}^{100g} = 1,27H_S^{100g}$

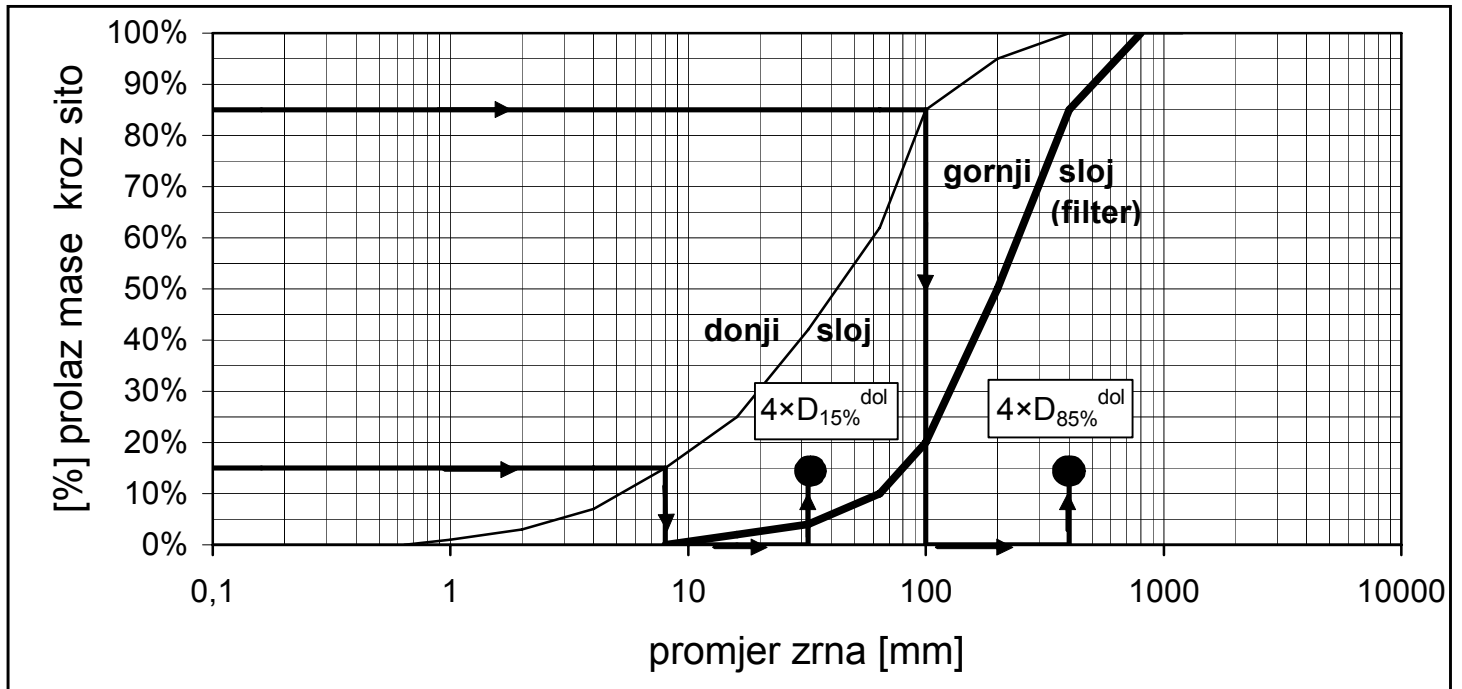
FILTERSKO PRAVILO

Filtersko pravilo definira princip da sitna zrna materijala ispod filtera (donji sloj) ne mogu biti strujanjem vode izvučena kroz šupljine filtera (gornji sloj). Sl.8.1-1.1::3

Granulometrijska krivulja usko građuiranih filtera lukobrana (gornji sloj) prema Terzagiju

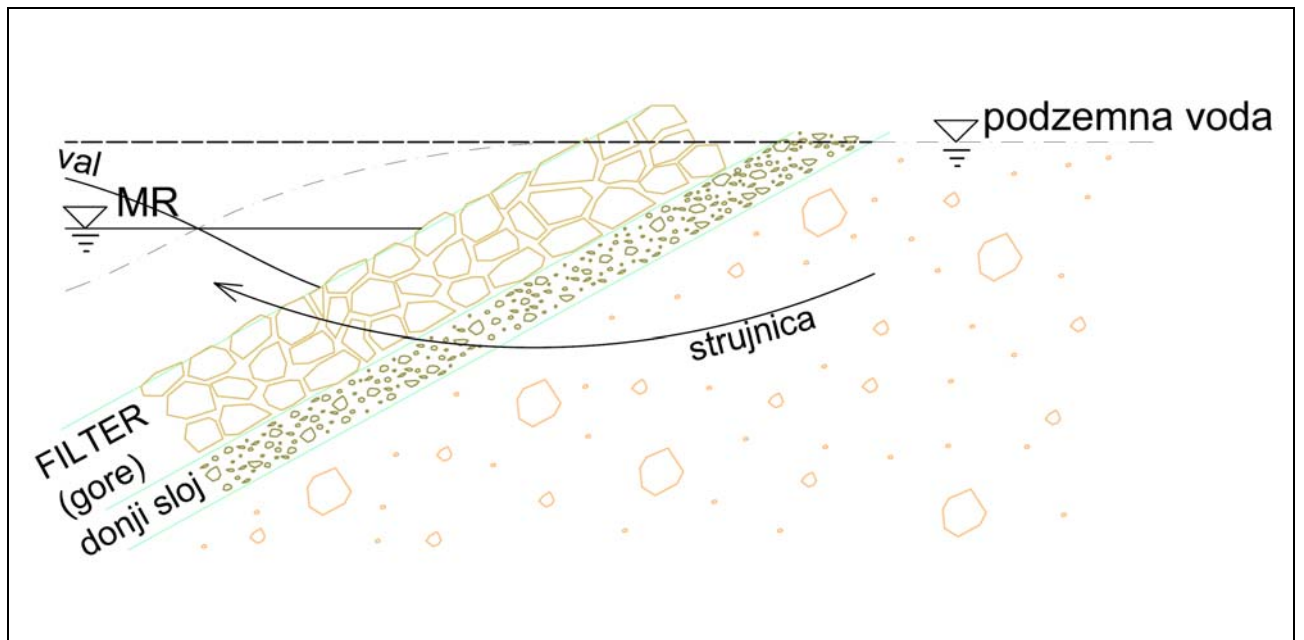
(Sl. 8.1-1.2::2) mora se nalaziti u slijedećem granulometrijskom području:

$$4 \times D_{85\%}^{\text{donje}} \geq D_{15\%}^{\text{gornje}} \geq 4 \times D_{15\%}^{\text{donje}}$$



Sl. 8.1-1.2::2

Određivanje granulometrijske krivulje filtera prema Terzagiju



Sl. 8.1-1.2::3

Principijelni prikaz strujanja mora unutar nasipnog lukobrana čija se intencija ispiranja sitnih čestica jezgre na površinu pokosa sprečava filterom

Predmet: VODNOGOSPODARSKE GRAĐEVINE

Studij: TEHNIČKO VELEUČILIŠTE U ZAGREBU

Stručni studij graditeljstva

Usmjerenje: niskogradnja

Semestar: V

Fond sati: 30+15

Godina: 2007.

Student:

SEMINARSKI RAD IZ POMORSKIH GRADNJI

1. Ako su prognozirani dugoročni valni parametri i morske razine:

PR [god]	1	2	5	10	20	50	100
Hs [m]	1,10	1,30	1,50	1,75	1,90	2,05	2,20
ExtrVR[m.n.m.]	+0,75	+0,80	+0,90	+1,00	+1,10	+1,50	+1,70
ExtrNR [m.n.m.]	-0,35	-0,40	-0,50	-0,60	-0,70	-1,10	-1,30

- izračunati visinu krune nasutog lukobrana, veličine obložnih blokova i filterskih blokova te debljine slojeva,

- nacrtati u AutoCAD-u poprečni presjek 4-slojnog nasipnog lukobrana s obostranim pokosom.

Dno je kameno, dubine -15m.

2. Za poprečni presjek lukobrana iz zadatka 1. nacrtati tehnološku shemu gradnje (presjek lukobrana, tlocrt, numerirati i definirati slojeve).

Predviđena je tehnologija gradnje pretežno s plovila.

Zadano: 12.11.2007.

Kontrola (1.dio): 19.11.2007.

Predaja: 26.11.2007.

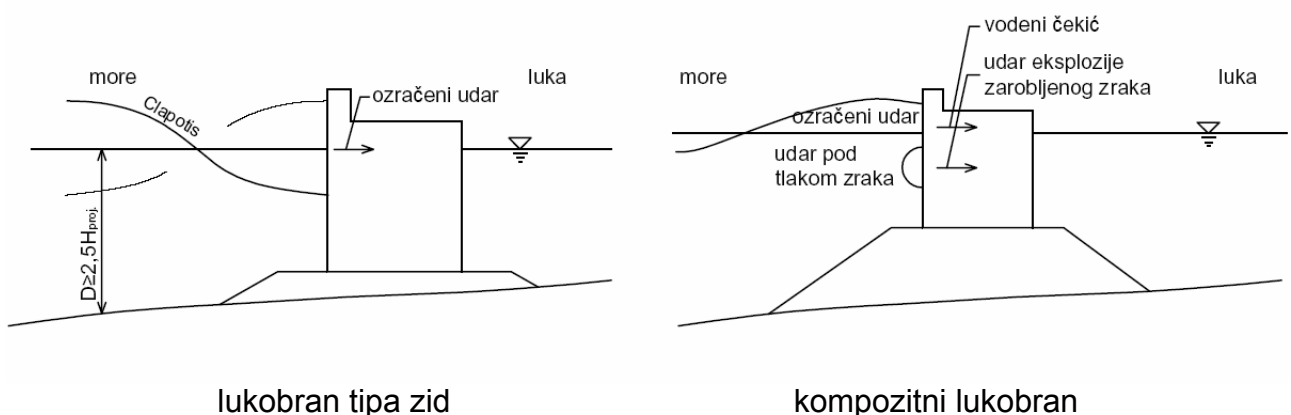
Prof Marko Pršić

8.1-2 LUKOBRAN TIP A ZID (VERTIKALNI LUKOBRAN)

Osnovna konstrukcija se sastoji od velikih elemenata slaganih jedan na drugi ili jedan pored drugog u pravilnom poretku, čime se formira masivni vertikalni zid (8.1-2::1). Prednosti su mu da je ekonomičan s materijalom, prilično brzo se gradi, zauzima malo prostora, s lučke strane se formira kejs, ako je slabo temeljno tlo može se čak fundirati na pilotima. Po kruni mu se u fazi građenja može kretati građevinska, a u fazi eksploatacije prekrcajna mehanizacija. Dokazan je u primjeni.

Mane su mu da reflektira valove tako da brodovi uz njega otežano plove i ulaze u luku, udarne sile od valova mogu lokalno biti žestoke, uz dno je moguća erozija temeljnog nasipa, nije fleksibilan za slučaj slijeganja, treba tešku i skupu građevinsku mehanizaciju, na finom pijesku javljaju se problemi u vezi temeljenja (erozija nožice, potresna likvefakcija) i što je najvažnije žestoko se oštećuju ako projektni uvjeti budu premašeni uz istovremeni gubitak zaštitne funkcije.

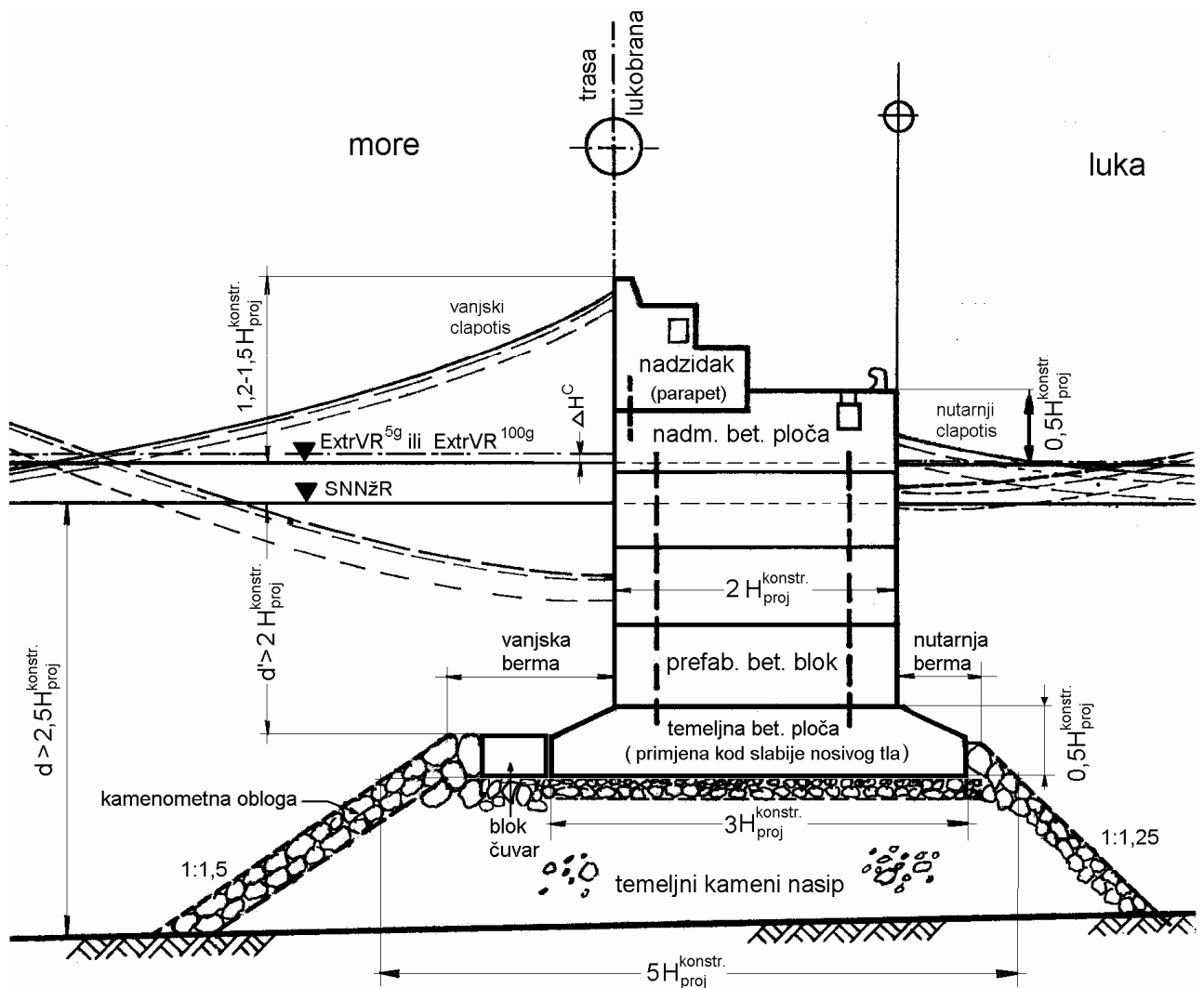
Sličan je ovom tipu lukobrana tzv. "kompozitni lukobran" (8.1-2::1) koji se sastoji od podmorskog nasipa na čijem je vrhu neki zid podvrgnut reflektiranim i lomljenim valovima. Za razliku od toga lukobran tipa zid je obično podvrgnut samo reflektiranim valovima tj. morsko dno i kruna temeljnog nasipa obično su tako duboko da ne mogu inicirati lom.



Slika 8.1-2::1 Različiti slučajevi opterećenja od valova na lukobranu tipa zid (manje sile od clapotisa), i na kompozitnom lukobranu (veće sile od lomljenog vala)

8.1-2.1 Profil lukobrana tipa zid

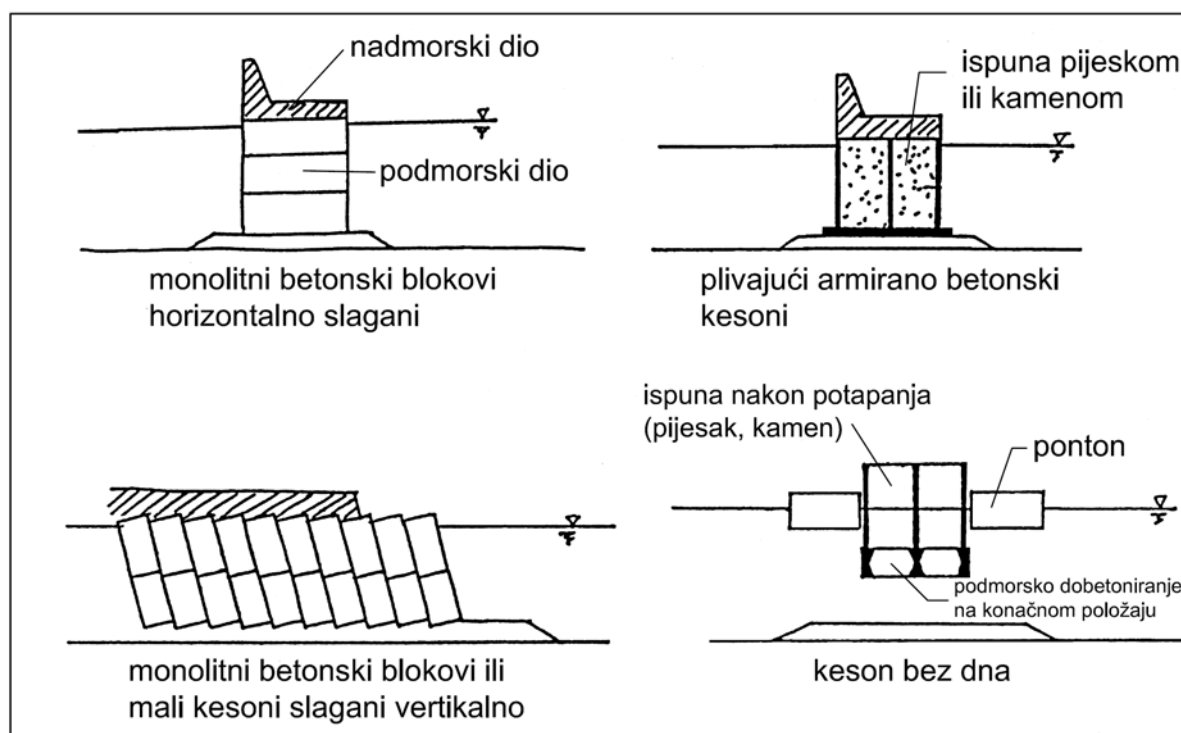
Lukobran tipa zid (za nelomljene valove) treba biti trasiran u dubini većoj od 2,5 do 3 visine projektnog vala ($d \geq 2,5 \div 3 H_{\max}^{50-100 \text{ god}}$), kako sigurno ne bi došlo do loma valova ispred konstrukcije i velikih udarnih opterećenja od lomljenih valova. Nožica zida oslonjena je na krunu temeljnog nasipa koji ne smije biti plići od 2 visine projektnog vala ($d' \geq 2 H_{\max}^{50-100 \text{ god}}$) iz istih razloga. Lučko i morsko lice lukobrana su vertikalni. S morske strane je zid viši radi sprečavanja preljeva valova, a s lučke niži radi pristajanja brodova. Visina parapeta s morske strane određuje se kao suma visokog raza usvojenog povratnog razdoblja i jedne visine projektnog vala (maksimalnog vala usvojenog povratnog razdoblja), kako to pokazuje slika za slučaj reflektiranog vala (clapotisa). Ostale orijentacione dimenzije profila lukobrana prema Laras-u dane su na slici 8.1-2.1::1. Ovaj orijentacioni profil služi kao ishodišni za proračune stabilnosti.



Sl. 8.1.-2.1::1 Približne dimenzije vertikalnog lukobrana prema Laras-u

8.1-2.2 Presjek lukobrana

Lukobran tipa zid se izrađuje u raznim varijacijama presjeka kao na pr.: monolitni betonski blokovi, manji i veći armiranobetonski kesoni, plivajući armiranobetonski kesoni koji se potapaju na mjesto ugradnje (sl. 8.1-2.2::1). Monolitni betonski blokovi se slažu jedan na drugi bez preklopa, pa zid djeluje kao niz priljubljenih stupova. Na taj način se omogućava realizacija diferencijalnih slijeganja uzduž trase. Po završetku slijeganja dobetonira se nadmorski dio koji poravnava i poveže različito slegnute dijelove montažnog zida. Na isti taj način formira se nadmorska ploča s parapetom kod svih varijanti lukobrana tipa zid.

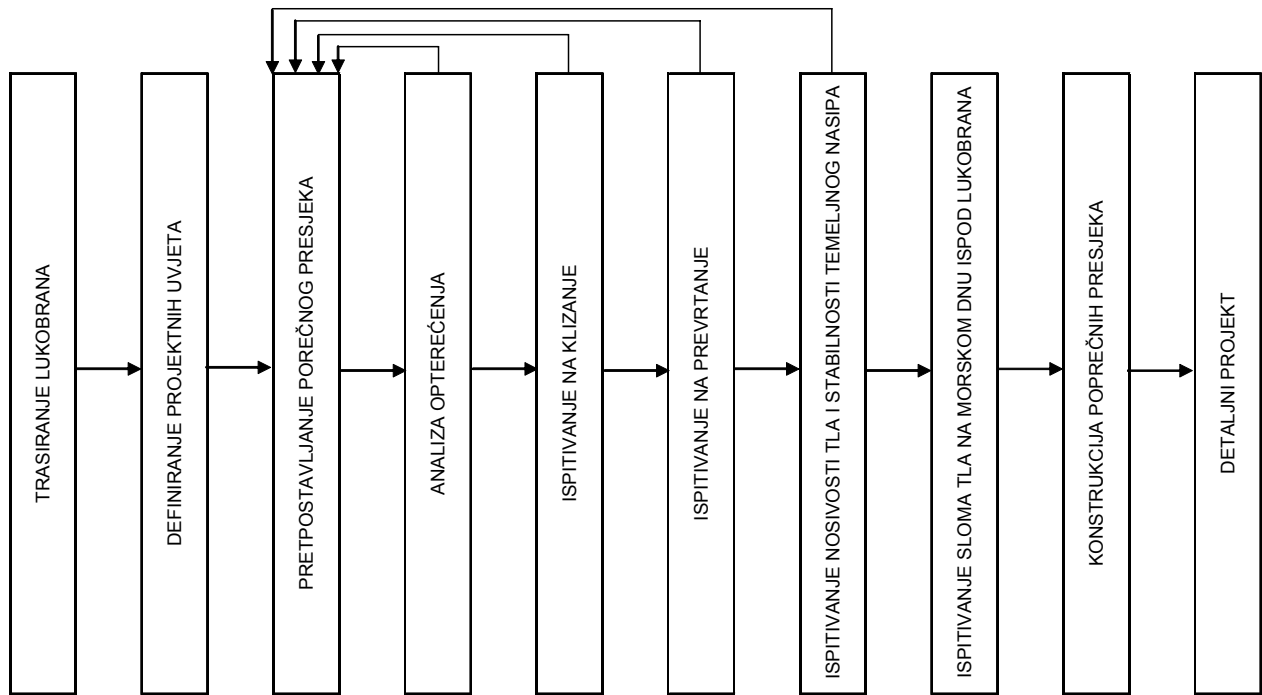


Slika 8.1-2.2::1 Razne varijante lukobrana tipa zid

8.1-2.3 Dimenzioniranje

Svi od tipova moraju biti vrlo pažljivo dimenzionirani, jer propusti dovode do teških oštećenja i gubitka funkcije. U tom cilju potrebno im je ispitati stabilnost i čvrstoću. U pogledu stabilnosti potrebno je ispitati slijedeće:

- klizanje na temeljnoj fugi i među blokovima,
- prevrtanje oko rubne točke na temeljnoj fugi,
- nosivost temeljnog nasipa ispod temeljne fuge (slom nasipa ispod temeljne fuge)
- slom tla na morskom dnu ispod temeljnog nasipa,
- slijegavanje temeljnog tla i temeljnog nasipa,
- stabilitet plutanja i tegljenja za plivajuće kesone.



Slika 8.1-2.3::1 Dijagram toka projektiranja vertikalnog lukobrana

U pogledu čvrstoće, monolitni (nearmirani) betonski blokovi ne smiju dobiti vlačna naprezanja za redovna opterećenja, što se dokazuje položajem rezultante koja tada mora biti u jezgri presjeka. Za izvanredna opterećenja rezultanta u maloj mjeri može izaći iz jezgre. Kod armiranobetonskih kesona svaka stijenska mora biti dovoljno armirana i otporna na pukotine u svim fazama izgradnje i eksploatacije (prenošenje dizalicom, porinuće u more, plutanje, tegljenje, potapanje, razni modusi eksploatacije). Pri tome treba računati sa svim uobičajenim redovnim i izvanrednim opterećenjima (naročito potresom) u građevinarstvu što uključuje opterećenja od djelovanja mora i broda. Djelovanja more su hidrostatski tlakovi za razne morske razove u kombinaciji s hidrodinamičkim tlakovima od valova. Djelovanja broda su vlak na poler ili alternativno tlak na fendere (oboje od vjetra), te udar broda kod pristajanja. Od svih djelujućih sila načini se znatan broj šema redovnih i izvanrednih opterećenja za koje se izvrše proračuni čvrstoće i stabilnosti i nađu najnepovoljnija stanja za pojedine dijelove ili za cijelu konstrukciju.

Projektna valna visina za proračun konstrukcije je maksimalna valna visina povratnog razdoblja 100 godina:

$$H_{\text{proj}} = H_{\text{max}}^{100g},$$

a za prelijevanje

$$H_{\text{proj}} = H_{\text{max}}^{1-5g}.$$

Fig. 4 GENOVA MOLO GALLERIA E DIGA FORANEA *

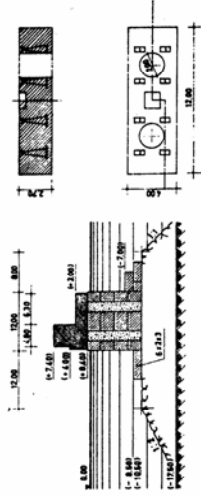


Fig. 3 GENOVA MOLO GALLERIA E DIGA FORANEA *

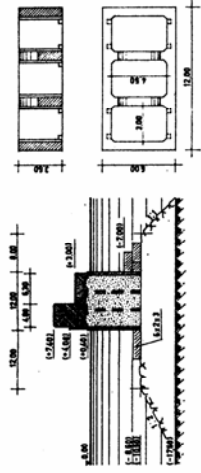


Fig. 2 NAPOLI DIGA DEL CORNELIO

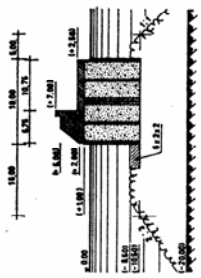


Fig. 1 NAPOLI MOLO ANTENORALE

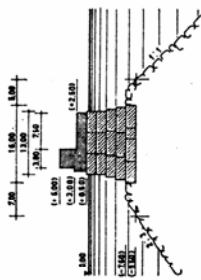


Fig. 6 NAPOLI DIGA DELLA BOCCA DEL PORTO

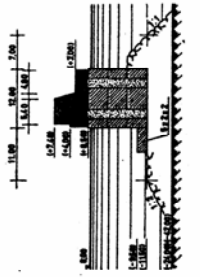


Fig. 5 CATANIA MOLO ORIENTALE (PROFILO 2925) *

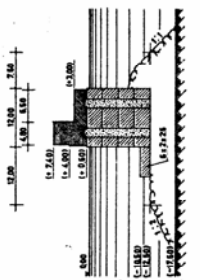


Fig. 7 GENOVA DIGA FORANEA (R.M. 2945-2946) *

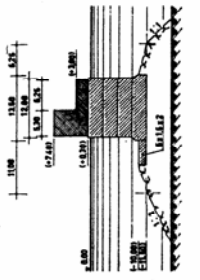


Fig. 8 GENOVA DIGA FORANEA (R.M. 2955 in part) *

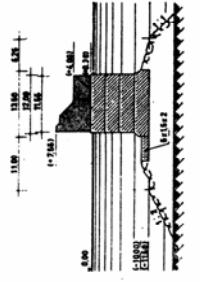


Fig. 9 CATANIA MOLO ORIENTALE (PROFILO 2928) *

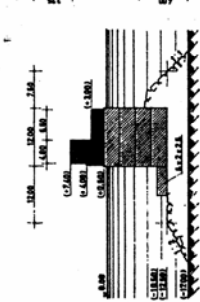


Fig. 20 ALGERI DIGA MUSTAZA (PROFILO 2950)

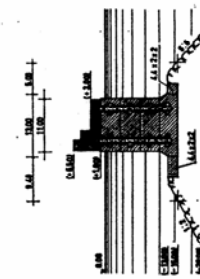


Fig. 25 ALGERI DIGA MUSTAZA (PROFILO ATTUALE)

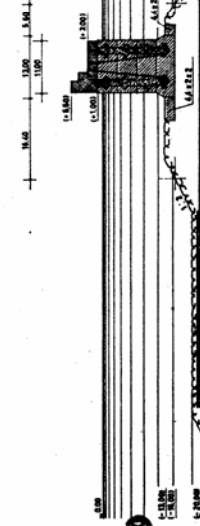


Fig. 20 MARSIGLIA DIGA DEL LARGO (R.M. 5295-5079)

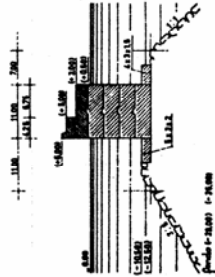


Fig. 25 MARSIGLIA DIGA DEL LARGO (R.M. 5079-5775)

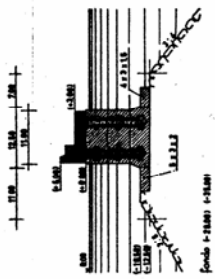


Fig. 24 MARSIGLIA DIGA DEL LARGO (R.M. 5775-4460)

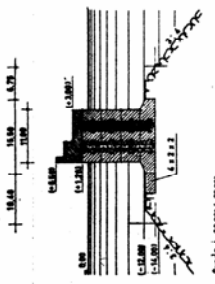
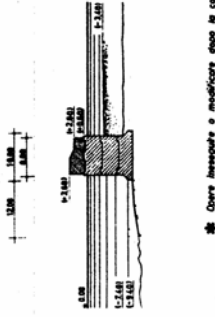


Fig. 25 GENOVA - CORNICIANO DIGA S.I.A.C. *



* Opere irregolate e modificate dopo la costruzione

Slika 8.1-2.2:2

Primjeri izvedenih lukobrana tipa zid

9 TEHNOLOGIJA POMORSKE GRADNJE

9.1 MATERIJALI

9.1.1 DJELOVANJE MORA NA MATERIJALE

Materijali koji se upotrebljavaju za građenje u moru su:

- kamen
- beton
- armirani beton
- željezo
- čelik
- prokrom
- drvo
- bronca
- sintetika
- bitumen
- geotekstil
- gabionske mreže.

Visinske zone utjecaja mora

Morska sredina je takva da stalno izlazi oštećenja materijala konstrukcije. Stoga je pitanje trajnosti od velike važnosti. U pogledu intenziteta napada po vertikali razlikujemo sljedeće četiri zone napada (Sl. 9.1.2-1::1):

- a) polijevanje, prskanje, prašenje (nadmorska zona)
- b) često omočenje (uža povremena zona)
- c_g) i c_d) povremeno omočenje odnosno osušenje (šira povremena zona)
- d) stalno omočenje (podmorska zona).

9.1.2 BETON U MORU

Pomorski beton u pomorskom graditeljstvu može biti prefabriciran (montažni) ili kalupni (izveden u oplati na licu mjesta). **Prefabricirani** beton omogućava uvijek kvalitetnije konstrukcije, jer se zahtjevi na pomorski beton tako mogu potpuno ispuniti.

Druga je stvar sa **kalupnim** betonom. Tu se tehnološki razlikuju dvije vrste betona:

- a) *nadmorski* beton, iznad vode (ugrađen u suhom), koji je doduše pod utjecajem djelovanja mora, ali koji omogućava dosta dobro ispunjenje zahtjeva za kvalitetni pomorski beton;
- b) *podmorski* beton ugrađen pod morem.
Betoniranje pod vodom je teška tehnička zadaća koja i uz pretpostavku iskustva graditelja ne može potpuno ispuniti zahtjeve za kvalitetni pomorski beton. Zato se taj način konstruiranja, kad god je to moguće, zamjenjuje primjenom prefabriciranih konstrukcija proizvedenih na suhom.

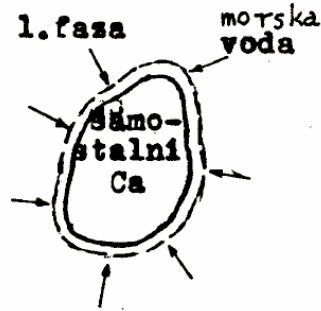
9.1.2-1 Cement i dodaci

Kako je poznato, cement se sastoji od 3-kalcijskog siliko-aluminata + slobodni Ca + slobodni Al. Agresivni sastojci mora napadaju čestice cementa u 3 faze: hidriranje, bubrenje i omekšanje (Sl. 9.1.2-1::1) i razaraju beton. Zato morska voda na beton djeluje kao agresivna sredina.

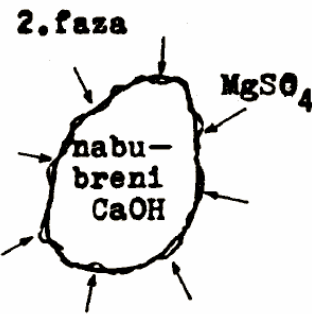
Obrana od razarajućeg korozivnog djelovanja agresivnih morskih soli može biti:

I. Na gradilištu

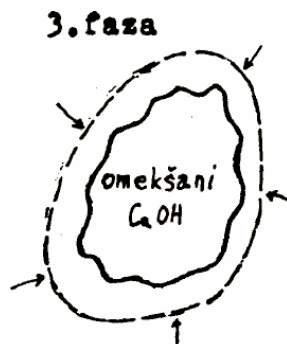
- a) Uzeti specijalni cement za pomorske gradnje sa što **manje slobodnog Al i Ca**. Samo za nearmirane betonske konstrukcije mogu se koristiti sulfatno otporni portland cementi.
- b) Nekad se pokušavalo mortom od vapna i **puzzolona**. On je otporan, ali vrlo sporo veže što je kod valova nepovoljno.
- c) Portland cementu se dodaju **kemijski dodaci** koji slobodni Ca fiksiraju.
- d) Često sui za pomorski beton od koristi i tehnološki dodaci i to:
 - *plastifikanti* za bolju ugradivost, naročito za gusto armiranje, treba paziti da se ne pretjera u usporavanju vezivanja,
 - *akceleranti*, obično samo za uzburkane vode. Do 1% od količine cementa kod armiranog betona jer Cl_2Ca nagriza armaturu,
 - *aeranti* protiv smrzavanja.



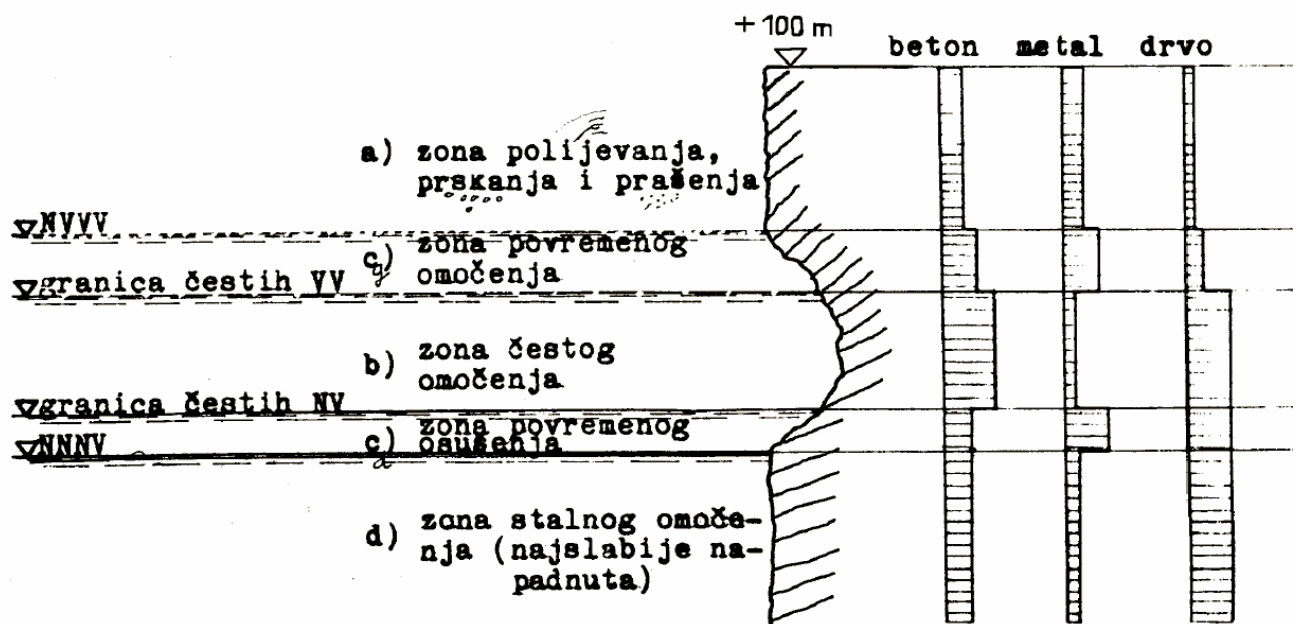
Slobodni Ca se hidrira i nabubri.



Nabubreni CaOH biva napadnut od sulfata iz mora pa čestica omekša.



Omekšana čestica upija vodu (30 molekula vode) i pod tim utjecajem stvara se jedna posebna sol (Candloteova sol = $Al_2O_3 + 3CaO + 3SO_4Ca + 30H_2O$) što sve čini da čestica opet nabubri.



Sl. 9.1.2-1::1 Korozija betona i visinske zone korozivnog utjecaja morai

II. Tvornička obrana, tj. ono u čemu pomaže fabrikacija cementa, a to su cementi rađeni **specijalno** za pomorske radove:

- a) Portland cementi sa reguliranom izradom uz što manje slobodnog Ca i Al ili sulfatno otporni cement za nearmirane konstrukcije;
- b) Portland cementi s dodacima: zgura, klinker i dr.

9.1.2-2 Voda za beton

- Količina vode
Odnos v/c treba biti 0,45-0,60 tako da beton bude *plastičan*.
- Izbor vode
Voda za miješanje uzima se po pravilu *slatka*, samo u nuždi morska za nearmirani beton.

9.1.2-3 Djelovanje mora na armaturu

Morska voda sa visokim postotkom klorida je za armirani beton agresivna sredina i ugrožava armaturu. Armatura se štiti prekomjernom količinom cementa u betonu i zaštitnim slojem betona od 4 cm. Za jako agresivnu sredinu postoje premazi armature ili kao krajnja mjera prokrom armatura.

Glede zaštite armature betonom:

- najvažnija je komponenta *kompaktnost* tj. da bude što manje šupljina,
- *čvrstoća* rijetko kada predstavlja problem obzirom na masivne pomorske konstrukcije, no kod AB konstrukcija bitna je čvrstoća kako ne bi nastale pukotine.

Potrebna minimalna količina cementa za pomorski beton je:

min. cementa = 3,25 do 3,75 kN/m³ gotovog betona.

U našoj praksi primjenjuje se minimum 3,5 kN cementa klase 35 po m³ gotovog betona za AB, i 4 kN cementa klase 45 za PB.

9.1.2-4 Ugradba betona pod vodom

Ugradnja pod vodom temelji se na činjenici da za stvrđavanje nije potreban zrak. Dapače; stvrđavanje je jednako ili bplje pod vodom. No pošto pod vodom nije moguće vibriranje (zbog ispiranja cementa vodom), svježi beton za podmorsko betoniranje mora biti dovoljno tekuć da potpuno ispuni kalup. Stoga naročitu pažnju treba posvetiti glavnoj fazi betoniranja: ugradbi betona. Pritom se beton ne smije razmiješati t.j. vodom razjediniti i isprati. Da se to nebi desilo osnovno je pravilo da beton ne smije slobodno padati kroz vodu: t.j. betonska masa na putu ugradnje ne smije dolaziti direktno u dodir s vodom. Kad bi se beton slobodno sipao direktno kroz vodu brzo tonjenje betona ispiralo bi sitne čestice betonske mase, prvenstveno cementa, t.j. razjedinilo svježi beton na agregat i cement. Potom bi se na dno kalupa najprije nataložila najkrupnija granulacija; t.j. na dnu kalupa ostao bi čisti agregat. Na njemu bi se nakon relativno dugog razdoblja slegao rahli cement.

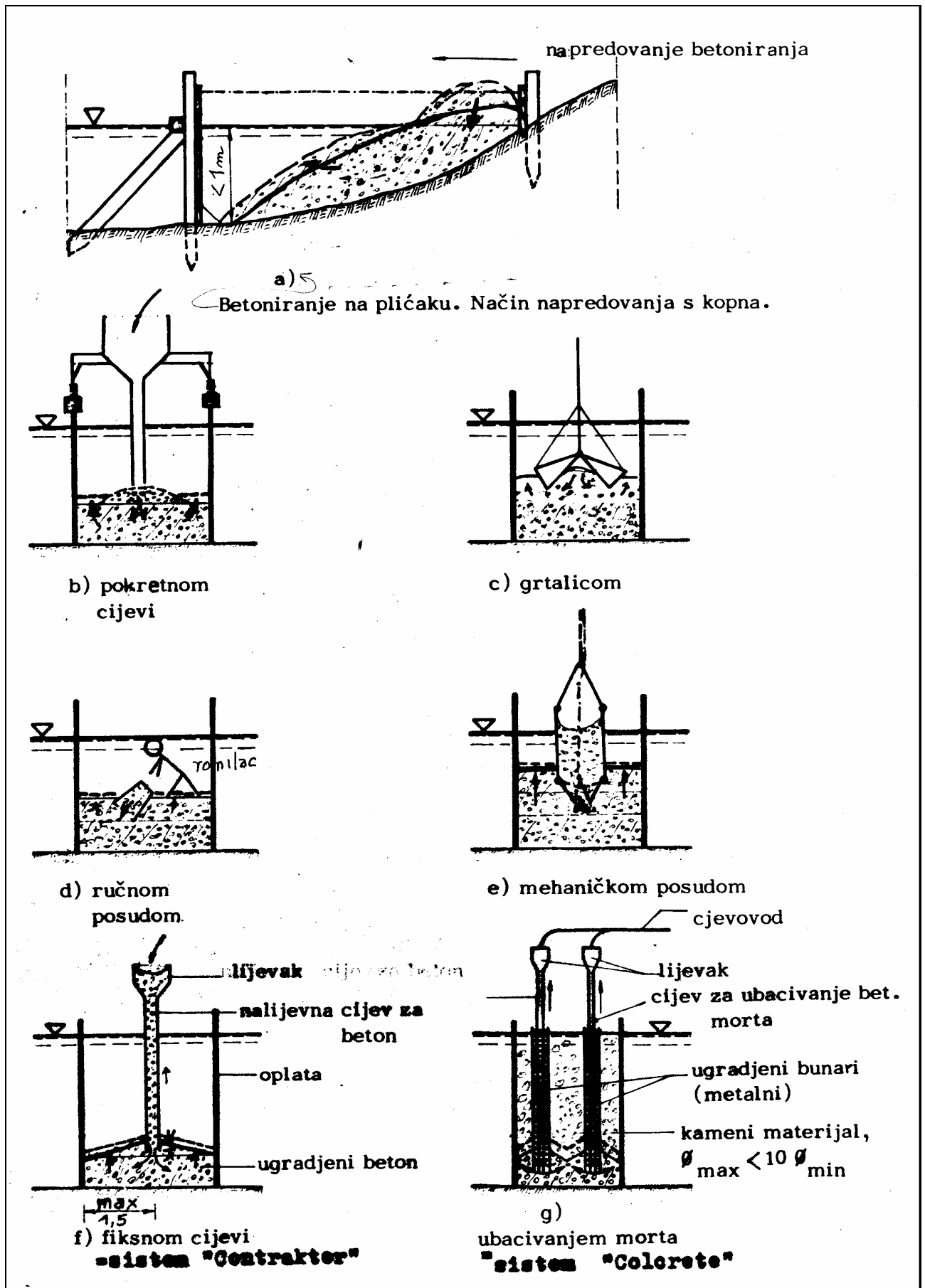
Postoji nekoliko isprobanih načina ugradbe betona pod morem (Sl. 9.1.2-4::1):

- a) Betoniranje na p l i ć a k u (do 1 m dubine) izvodi se istresajući beton na suhom (gomila iznad vode) koji onda svojim tlakom porinjava pokos betona prema naprijed i tako betonska masa postepeno ispunjava cijeli profil. U kontaktu s vodom uvijek je ista površina betona tako da se preostala masa neće isprati.
- b) P o k r e t n a cijev radi po principu kontraktora (vidi f) a služi za podvodno betoniranje ploča u slučajevima kad se ne postavlja veliki zahtjev na kvalitet podvodnog betona.
- c) Dizalična g r t a l i c a može se upotrijebiti u slučajevima betoniranja masivnih presjeka kad se ne postavlja veliki zahtjev na kvalitet podvodnog betona.
- d,e) Ručna p o s u d a ili betonski s i l o s sa svježim betonom treba biti prednjim krajem utisnut u beton. Tek tako uronjena posuda se istresa ili otvara pa istreseni beton ne dolazi u prevelik dodir s morem, a nivo betona u oplati se penje.
- f) "C o n t r a k t o r" sistem je opće priznat po švedskom građ. poduzeća Contractor koje ga je prvo primijenilo. U engleskoj literaturi koristi se termin "tremie" (dolazi od franc. tremie=lijevak [1]). Bazira se na čeličnom lijevku navarenom na vertikalnu cijev, kontraktoru, koji pokriva određenu plohu (promjer djelovanja) za betoniranje. Uobičajeni promjer kontraktorske cijevi je 8 do 12×maksimalni promjer zrna agregata, što obično iznosi 250mm [1]. Betoniranje se vrši sipanjem svježeg betona u lijevak kontraktora nad vodom. Beton iz lijevka u kalup (oplatu) putuje prema dolje kroz cijev kontraktora (koja uvijek mora biti puna betona) tako da

slobodno ne pada kroz vodu. Cijev kontraktora uvijek je svojim vrhom barem 0,5m uronjena u prethodno ugrađenu masu svježeg betona [1]. Kod prvog punjenja cijev ja na donjem kraju zabrtvljena nekon vrstom "lopte" koja se na početku betoniranja izvuče lančićem. Svježi beton iz vrha kontraktora istiskuje se tlakom stupca betona nasutog u kontraktor. Mali presjeci betoniraju se pojedinačnim kontraktorom, a veliki grupom kontraktora koji su na razmaku 4-6m [1]. Razmak pojedinačnog kontraktora od oplata i međusobni razmak grupe kontraktora ovisi o promjeru rasprostiranja svježeg betona koji je 3 – 4m [PM]. Nagib površine svježeg betona je 1:6 za pojedinačni kontraktor, a 1:9 za grupu kontraktora [1]. Promjeri rasprostiranja se moraju preklapati tako da sav tlocrt kalupa bude prekriven krugovima rasprostiranja svježeg betona. Betoniranje po visini napreduje tako da se cijev lagano povlači prema gore (bez horizontalnih pomaka) kako se u oplati diže razina betona. U kontaktu s morem uvijek je samo gornja površina betonske mase. Kad beton izađe iznad vode završava se podmorsko betoniranje, a nakon završenog vevezivanja, gornji slabi (isprani) sloj betona se obije kako bi se nadmorsko betoniranje nastavilo na kvalitetan podmorski beton.

Sličan sistem je holandski "vodni ventil" (engl. Hydrovalve). Služi za betoniranje tankih konstrukcija (b. i a.b ploča do 0,75m debljine) horizontalnim vođenjem amortamo. Vodni ventil ispod čeličnog lijevka umjesto čelične cijevi ima fleksibilnu cijev od tkanog materijala na čijem je kraju opet čelična cijev. Kad betona nema u lijevku cijev je sploštena od vodenog tlaka, a kad beton teče cijev je uvijek dobro priljubljena uz beton i nema ispiranja cementa. Njen donji kraj nije uronjen u beton nego je na željenoj razini buduće gornje površine betona [1].

g) "C o l c r e t e" sistem (inozemna licenca). U engleskoj literaturi koristi se termin "Grouted aggregates"=injektirani agregat, ili "Pre-placed aggregate concret"=beton od prethodno postavljenog agregata. Podrazumijeva ugradnju agregata (bez cementa) u oplatu i potom injektiranje cementnog morta u agregat kako bi se agregat povezao u betonsku masu. Agregat je uniformne granulacije (jednozrnat) Betoniranje započinje sipanjem agregata u oplatu. U ukupnom volumenu betona agregata je 65 - 70%, a morta 35 - 30%. Prije sipanja agregata postavljaju se u oplatu "zdenci" od armature na razmaku $\leq 1,5\text{m}$, a prilikom sipanja agregata zdenci se ne pune agregatom. Potom se kroz zdence injektira pogodan cementni mort u šupljine agregata. Maksimalni \varnothing zrna morta treba biti manji od 1/10 minimalnog \varnothing zrna agregata. Oprema za injektiranje bazira se na vertikalnim injekcijskim cijevima (kontraktori manjeg promjera) koje su uronjene u "zdence" od armature. Zdenci pokrivaju određeni promjer injekcije za betoniranje. Injektiranje se vrši tlakom stupca cementnog morta u injekcijskoj cijevi. Betoniranje po visini napreduje tako da se cijev lagano povlači prema gore kako se u oplati diže razina cementnog morta.



Sl. 9.1.2.-4::1 Ugradba betona pod vodom

Modernija je varijanta injektiranje pumpom. U tom se slučaju umjesto armaturnih zdenaca u agregat postave vertikalne čelične injekcijske cijevi gotovo do dna kalupa, a injekcijska masa se kroz njih tlači u agregat pumpom. Pritom se injekcijske cijevi (za razliku od kontraktorskih injekcijskih cijevi) ne povlače prema gore kako razina injekcijske mase u kalupu raste. Razmak injekcijskih cijevi je oko 2m. Tipična injekcijska masa (injekcijski mort) sastoji se od veziva (portland cement i puzzolan u masenom omjeru 2,5:1 do 3,5:1) i pijeska u masenom omjeru 1:1 do 1,5:1. Vodocementni faktor injekcijske mase je $v/c+0,42$ do 0,5. Uz to ide dodatak za prodiranje injekcijske mase (intrusion aid) koji pospješuje tečenje, i raspršivanje kao i povećava kohezije. Ovaj dodatak malo usporava vezivanje i sadrži i malo aluminijskog praha koji lagano povećava volumen prije okončanja stvrdnjavanja. Ovaj način daje bolje čvrstoće betona nego drugi; redovito preko 40 Mpa.

- h) Rešetkasti lift (engl. Skip=rešetkasti rudarski lift) služi za betoniranje tankih konstrukcija. Može raditi i deblje ako se usta rešetkastog lifta ukopaju u ranije postavljen svježi beton. Lift se sastoji od dvije polovice velike limene tepsije koje se napune i poravnaju na suhom, te prekriju s dvije poplovice PVC folije koje se nalijepe na beton i strše preko ruba tepsije. Folije sprečavaju ispiranje betona jer ostaju nalijepljene na beton prilikom potapanja tepsije, ali i prilikom istresanja betona. Istresanje se vrši tako da se tepsija spusti na dno i potom njeni krajevi podižu dok rascjep na sredini ostaje na dnu. Time se svaka polovica tepsije nagne pa beton počne curiti po dnu. Istovremeno se polovice tepsije razmiču tako da se beton tazastre po dnu u jednoličnoj debljini. Najbolja je varijanta rešetkastog lifta s vertikalnim vodilicama i "suklnjicom" koja minimizira razmješavanje betona [1].
- i) Betonpumpa je idealna za ugradnju betona pod morem jer je sastav i konzistencija podmorskog betona slična pumpanom betonu. Dubina betoniranja je oko 30m. Princip betoniranja je kao s kontraktorom; no operator pumpe nema tako dobar osjećaj kao operator kontraktora. Cijev pumpe pod vodom je pod kutem prema horizontali, pa stoga nije kontrplabilna kao cijev kontraktora. Bitno je sprečavanje njenog horizontalnog pomicanja [1].
- j) Vreće s patent čvorom se koriste kad je potrebno malo betona kao na pr. kod popravaka podmorskog betona. Nepropusna vreća se napuni betonom na suhom i zaveže užetom jednim patent čvorom. Vreća se na konopu spusti na mjesto ugradnja, potezom za konop razriješi čvor i potom beton kao pasta za zube istisne u prethodno priređenu kavernu u starom betonu. Sve to obavlja ronilac pod vodom, uz skupi sat ronjenja [1].

- k) Jutene vreće (10 do 20l) napune se dopola plastičnim betonom, zavežu nerazvezivo i polože na željeno mjesto pomoću ronioca. Polupune plastične vreće mogu se dobro prilagoditi kod međusobnog slaganja ili ispunjavanja nekog oblika. Kristali betona kod očvršćavanja prodiru kroz jutu u drugu vreću i betom se poveže. Ovo je zgodno kod pravljenja podmorskih oslonaca za šuplje betonske blokove, jer se vreće dadu dobro nivelirati na željenu visinu. Ronioci više vole baratati s suhomiješanim betonom i žbukom među vrećama. suhomiješanim beton se nikad potpuno ne namoči probijanjem vode, pa ne očvrstne potpuno, a kontaktne površine među vrećama su minimalne [1].
- l) Podvodne injektirane vreće i madraci koriste se kao elementi zaštite od erozije, ispiranja od broskog vijka i probijanja vode. Sastoje se od dvoslojnog propusnog tkanog materijala povezanog koncem. Sekcije se međusobno spoje, poliže prazne na pokos ispod i iznad vode i potom ispune pumpanim betonom. Radi ojačanja vreće se mogu prošiti čeličnim kabelom ili užetom kako bi se osigurala cjelovitost nakon slijeganja i pokotina od skupljanja betona [1].

Literatura

- [1] Newman John i Ban Seng Choo: Advanced Concrete Technology, Elsevier, Amsterdam, 2003

9.2 POMORSKI RADOVI

Pomorski radovi u užem smislu obuhvaćaju građenje na moru, uz more i pod morem. Osobitosti građenja u moru su.

- Faze gotove konstrukcije treba zaštititi (projekt konstrukcije mora to uzeti u obzir) od moguće valne nepogode.
- Tehnologija građenja pod vodom odbacuje "zidanje" filigranskim elementima već se gradi montiranjem velikih blokova ili elemenata. Ovo zahtijeva mehanizirani rad. Velika mehanizacija isplati se samo kod obimnih gradnji.
- Nasipi se ne grade od "zemlje" već od (stabilnijeg) kamena, ili betonskih elemenata kad se radi o vrlo krupnim granulacijama elemenata (preko metra).
- Kose, valovima izložene obale ne oblažu se glatkim ploham već hrapavom "školjerom", tj. većim kamenjem ili teškim betonskim blokovima,
- Općenito treba težiti da se što više radi s kopna.

9.2.1 ODMORSKI ISKOPI

Ovi iskopi su, zbog okolnosti pod kojima se vrše (voda, iznenadne oluje, nevidljivo dno, iznenađenja u dnu, smetnje od plovidbe i sl.), mnogo skuplji od onih na kopnu. Obuhvaćaju: razrivanje, vađenje razrivenog materijala iz mora, transport i deponiranje.

Obzirom na stupanj razrivanosti tla, iskopi se dijele na kategorije iskopa

- A – srasla stijena,
- B – miješana zemlja i stijena i
- C – zemljani materijal (C, S, G).

9.2.1-1 Podmorski iakop razravnog tla

Razrivna tla pripadaju u C kategoriju. Sredstva za iskop razravnih tala su:

- a) (poznata) kopnena mehanizacija koja može kopati pod vodom sa kopna i sa mora, pomoću kopnenog radnog stroja ukrcanog na plovilo, ili
- b) plovna mehanizacija. Ima mnogo tipova, a mogu se svrstati u dvije grupe: periodični i kontinualni. Sl. 9.2.1-1::1.

Od periodičnih plovnih strojeva za iskop najpoznatiji su:

- grotaličar,
- povlačni jaružar (sa skreperskom žlicom) i
- žličar.

Od kontinuiranih plovnih strojeva za iskop najpoznatiji su

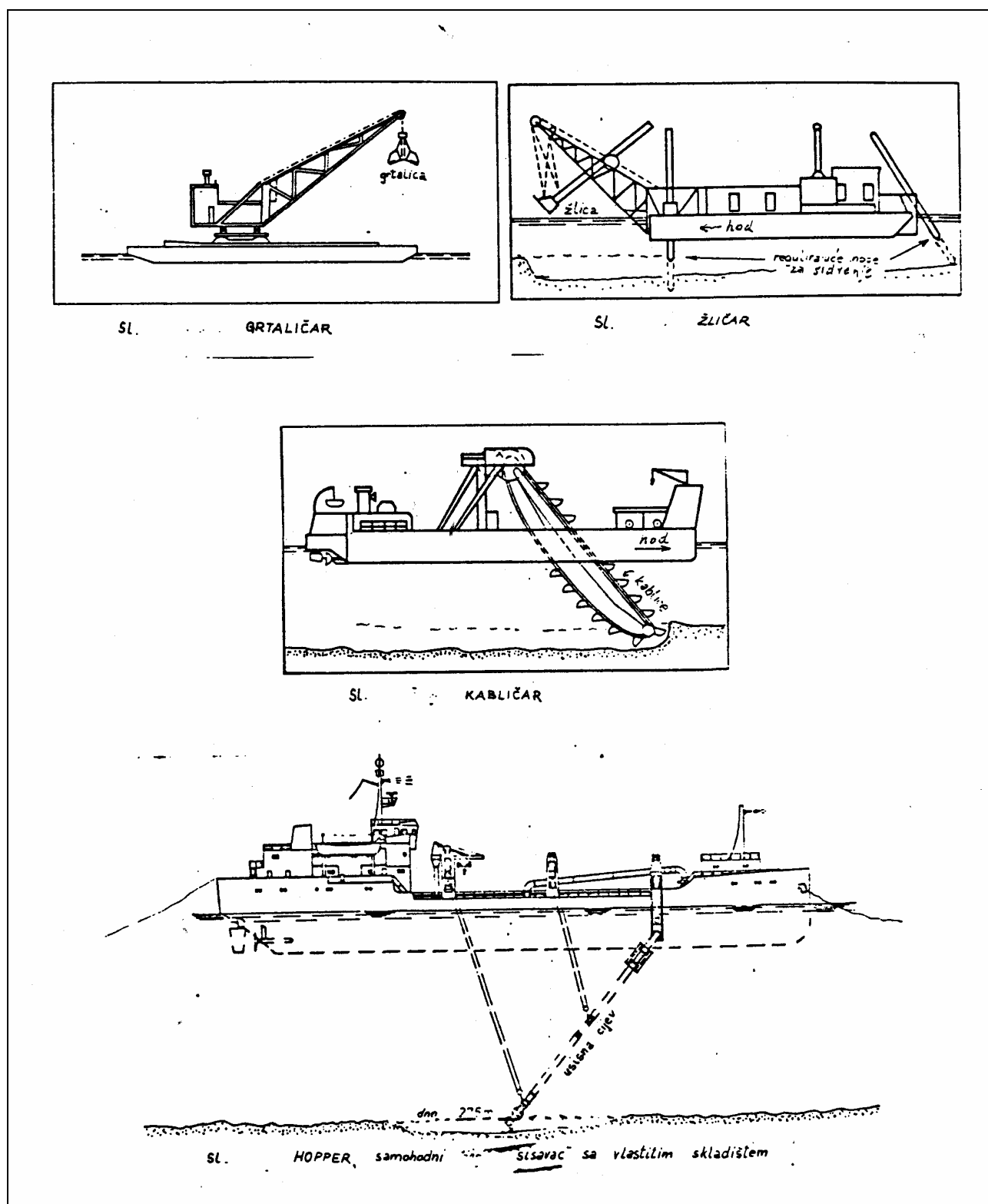
- vedričar
- fiksni sisavac ili refuler
- plovni sisavac ili hopper.

9.2.1-2 Podmorski iskop nerazravnog (tvrdog) tla

Neazrivna tla pripadaju u A i B kategoriju. Razrivanje se može vršiti na tri načina:

- podvodnim (pneumatskim) ručnim bušenjem rupa i miniranjem
- nadvodnim strojnim bušenjem rupa i miniranjem
- razbijanjem tvrdog tla (uslojene hridi) pomoću teškog bata obješenom na grani plovnog bagera.

Iskop srasle stijena na manjoj dubini može se vršiti i bez razrivanja: mehaničkom trezom.



Sl. 9.2.1-1::1 Pomorska plovna mehanizacija za iskop

9.2.2 NASIPI U MORU

9.2.2-1 Kameni materijal

	<p>0,1-500 kg opći nasip (redom kamenje + pijesak + zemlja) ^{~10%} Nasipi koji su izvan djelovanja ispiranja od strane mora.</p>
	<p>0001- 20 kN opće kamenje (redom iz kamenoloma sa sitnežom) Nasipi na koje djeluje slabo strujanje mora.</p>
	<p>0,1 - 2 kN mješovito kamenje (sortirano, bez sitneži) Nasipi na koje djeluje srednje ispiranje mora, izloženi srednjim strujanjima.</p>
	<p>0,5 - 10 kN kamenovi (sortirano, krupniji pojedinci) Nasipi na koje djeluje jako ispiranje mora, izloženi jakim strujanjima ili direktno manjim valovima.</p>
	<p>10- 150 kN blokovi (sortirano, najkrupniji pojedinci) Obloge nasipa (školjere) na koje direktno djeluju jaki valovi.</p>

Sl. a
Kategorije kamenog materijala (pomorski nasipi)

	PARALELOPIPED		STABIT GB
	TETRAPOD F		AKMON JAP.
	TRIBAR USA		

Sl. b
Tipovi betonskih elemenata (obloga pomorskih nasipa)

Sl. 9.2.2.-1::1 Kategorije kamena (Sl. a) i glavni tipovi betonskih blokova za oblaganje podmorskih nasipa (Sl. b)

Za nasipe se redovno upotrebljava samo kameni materijal jer je uslijed uklještenosti i težine otporan na ispranje (eroziju) od strujanja mora uslijed valova i morskih struja.

Kategorije kamena (Sl. 9.2.2-1::1) određuju se prema zastupljenosti mase pojedinih komada; t.j. (granulometrijskoj krivulji). Težina se uzima kao mjerilo za otpor strujanju mora, a otpornije su nasipi usko graduirane granulometrije.

9.2.2-2 Betonski materijal za nasipne radove

Za oblogu ("školjeru") podmorskih kamenih nasipa danas se sve više, uslijed teškog nabavljanja kamenih blokova, upotrebljavaju betonski blokovi. Još više se betonski blokovi paralelopipednog oblika zamjenjuju specijalno oblikovanim elementima (manje težine od paralelepipednih blokova, ali međusobno jako uklještenim) kako bi utrošak osnovnog materijala bio što manji, ugradba što lakša i efekt školjere što veći (manja refleksija i veća amortizacija valova, a time manje prelijevanje). Danas postoje mnogi patentirani tipovi takvih elemenata. (Sl. 9.2.2-1::1).

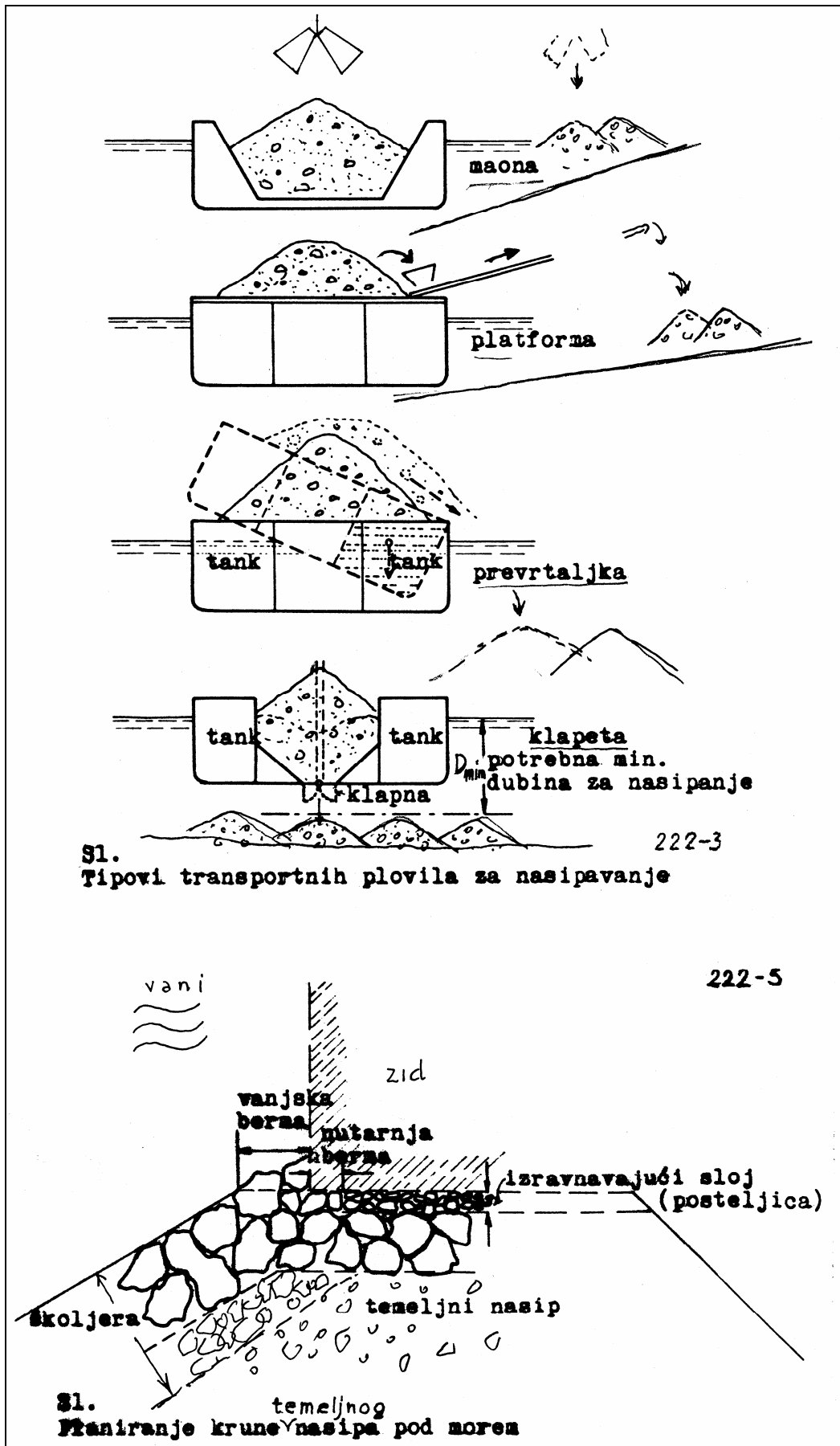
9.2.2-3 Transport materijala za nasipne radove

Prvenstveno treba nastojati da se materijal za nasip prevozi kopnom, jer je to ekonomičnije, brže i neovisno o stanju mora. Ako je dubina mora mala (do 2 m) onda je to i jedini mogući način da se direktno spoji transport + ugradba s kopna. Ugrađuje se iskretanjem vozila s čela ili sa strane. Transport morem je na više načina u kombinaciji s ugradnjom. Indirektno iz maona ili platformi pomoću dizalica (grtalica) utovarivača ili konvejera, a direktno prevrtaljkama ili klapetama. Ove posljednje zahtijevaju nešto veću dubinu kod istresanja (Sl. 9.2.2-3::1).

9.2.2-4 Ugradba materijala za nasipne radove

Može se izvršiti na tri načina, obzirom na veličinu kamena i željenu strukturu nasipa:

- a) nasipavanje, istresanje općeg materijala u profil nasipa bez naročitog reda;
- b) nabačaj, istresanje krupnijeg kamenog materijala po projektnom profilu i sa ciljem da se dobije projektirana figura nasipa;
- c) kamenomet, slaganje (metanje) vanjske obloge nasipa na način da se dobije struktura "školjere".



Sl. 9.2.2-3::1 a) Plovila za transport materijala za nasipne radove i ugradnja nasipa pod morem, b) Uređenje podmorskog temeljnog nasipa prije postavljanja prefabriciranih betonskih blokova pod more

9.2.2-5 Planiranje pod morem

Postava prefabriciranih betonskih blokova pod more pretpostavlja ravnu podmorsku temeljnu posteljicu na vrhu podmorskog temeljnog nasipa (Sl. 9.2.2-3::1). Kod nasipavanja temeljnog nasipa pod morem mora se jasno odijeliti donji dio temeljnog nasipa (koji je grubo nasipan, tolerancija ± 15 do 25 cm) i gornji dio na koji neposredno naliježe (betonska) konstrukcija. Taj gornji dio mora se najprije grubo planira i kad je to dovršeno, vrši se postava i niveliranje dva paralelno postavljena teška čelična profila koji su na razmaku širine batonskog elementa koji se ima temeljiti. Između profila se presipa sloj 30 do 50 cm tucanika; t.zv. podmorska temeljna posteljica. Potom se vrši fino planiranje da bi se dobila ravna horizontalna ploha temeljne posteljice. Samo planiranje vrše bar 2 ronioca pomoću trećeg teškog čeličnog profila koji kliže popreko dva ranije postavljena. Klizanje trećeg profila obavlja se popvlačenjem uz pomoć dizalice. Tolerancija visine tucaničke posteljice (centimetarske veličine) ovisi o važnosti i veličini konstrukcije.

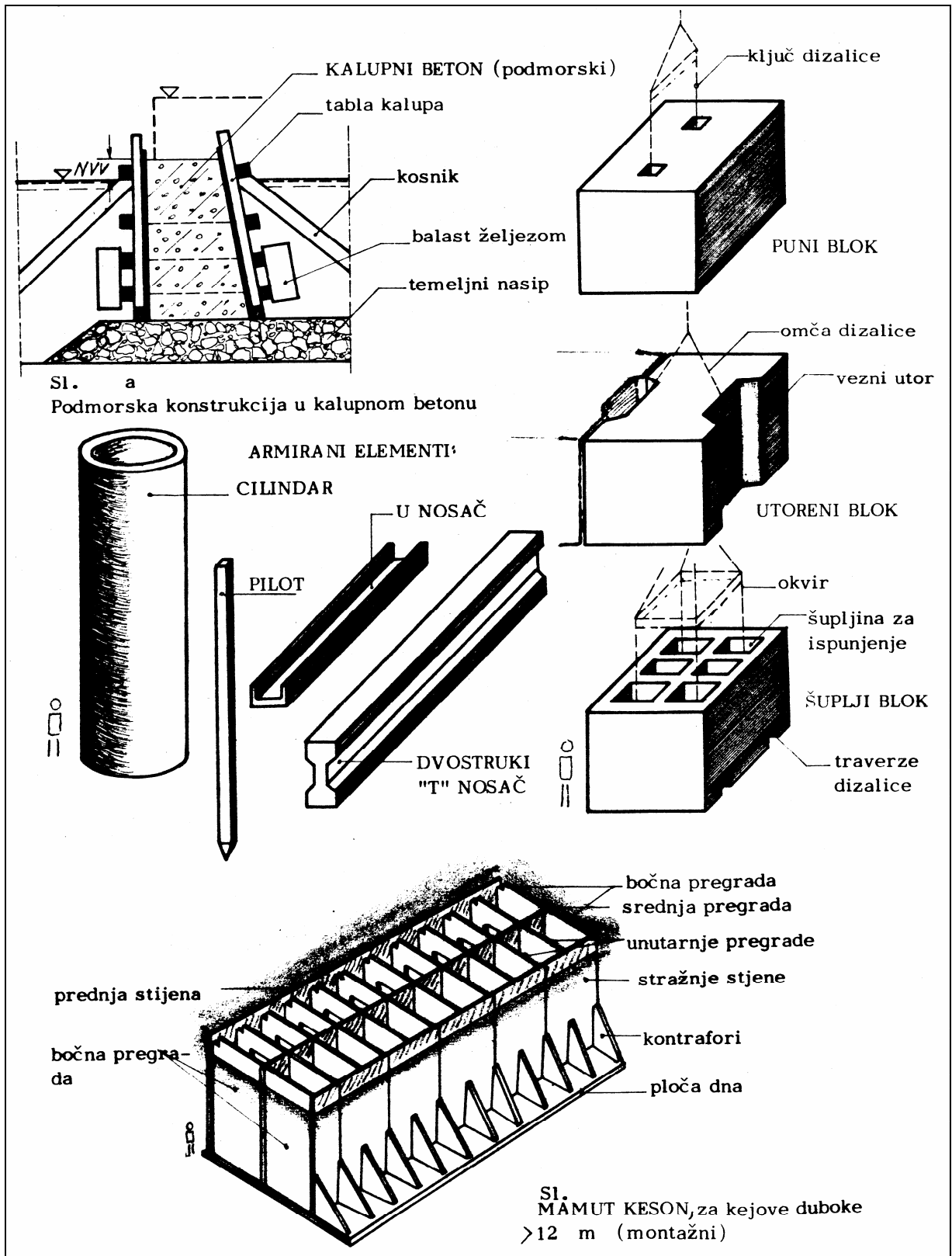
9.2.3 BETONSKE PODMORSKE KONSTRUKCIJE

9.2.3-1 Podmorski kalupni beton

Betonira se u oplati (Sl. 9.2.3::1), na licu mjesta. Oplata zidova se izrađuje na kopnu u formi većih tabli koje se, ako su drvene, opterećuju balastom, potapljaju u položaj i kosnicima pod morem osiguravaju protiv bočnog pomicanja. Gornja kota podmorskog betona obično je iznad SVVŽR kako bi se nadmorski zid mogao nastaviti betonirati na suhom u svako vrijeme morske mijene. Prije nastavka nadmorskog betoniranja treba nekvalitetan beton na gornjoj plohi podmorskog bet. odstraniti. Ovaj način betoniranja moguć je samo u zaštiti lukobrana kako valovi ne bi srušili oplatu.

9.2.3-2 Betonski elementi

Najveći dio pomorskih građevina od betona gradi se pomoću betonskih elemenata. Oni se dobivaju prefabriciranjem na kopnu pa se tako izbjegava betoniranje u moru (Sl. 9.2.3::1). Osim toga ubrzava se građenje, a ako su armirani onda se reducira težina materijala kod transporta i ugradbe.



Sl. Sl. 9.2.3.:1 Betonske podmorske konstrukcije

Nearmirani betonski elementi

- Mali elementi dolaze u primjenu tamo gdje je djelovanje mora slabo pa su takvi elementi slični onima u kopnenim vodogradnjama (osiguranja obale, popločenja pokosa i sl.).

- **Blokovi** su masivni puni ili šuplji elementi (Sl. 9.2.3::1) od 10 do 300 t. Gornja granica ovisi o dizalici za montažu koja je na raspolaganju. Oko 90% podmorskih zidova gradi se od njih!

Armirani betonski elementi su vrlo pogodni kod pomorskih gradnji jer se izbjegava betoniranje u moru. Mogu biti: razni nosači, ploče, stupovi, piloti i drugo (Sl. 9.2.3::1).

Prednapeti betonski elementi se koriste kao prefabrikati kod jako napregnutih elemenata, na pr. kod nosača većih raspona, koji se kao tipski element na nekoj pomorskoj gradnji primjenjuju u velikom broju i čija se prefabrikacija tada isplati.

Složeni armiranobetonski masivi su mamut dimenzija. AB plutajući kesoni se izrađuju na navozima kao u brodogradnji. Na licu mjesta mogu se graditi samo u suhoj građevnoj jami kao klasično građeni ili montažni.

9.2.4 METALNE KONSTRUKCIJE

su u novije vrijeme, tehnološkim napretkom (siderurgija, transport, ugradba) postali sve više upotrebnje u pomorskim gradnjama. Naročito se koriste čelične cijevi kao piloti i cjevovodi, zatim platforme pristana i vanobalnih konstrukcija koje se izrađuju u brodogradilištima i plivajući dovode na mjesto ugradnje. Ipak najčešća je upotreba čeličnog žmurja! Posebno mjesto zauzimaju i duraluminijske konstrukcije za pontone u marinama.

9.2.5 OSTALE KONSTRUKCIJE

9.2.5-1 Bitumenske konstrukcije

Bitumenske konstrukcije (Sl. 9.2.5-1::1) se dijele na:

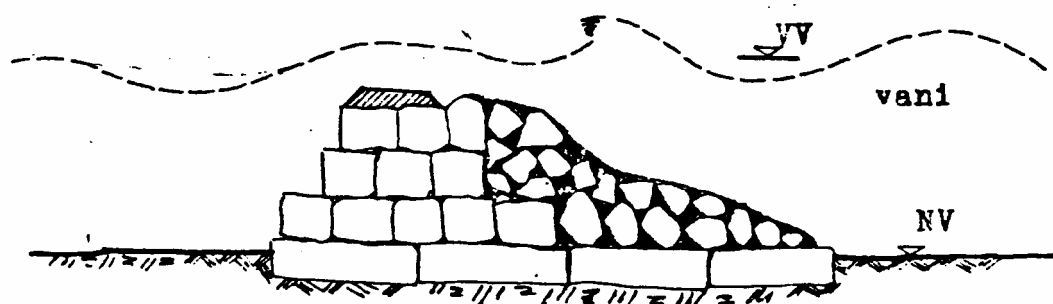
- Kamenomet sa bitumenom, gdje se šupljine podmorskog kamenog nasipa ispunjavaju (injektiraju) vrućim bitumenom i time stabilizira nasip;
- Pijesak sa bitumenom, služi kod obloga pokosa radi zaštite sitnog materijala jezgre.

9.2.5-2 Plastični materijali

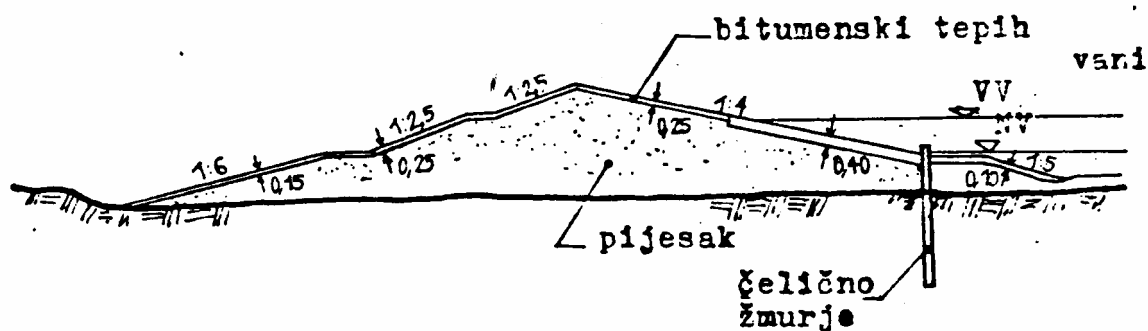
Koriste se masovno u uvidu protuerozijskih poroznih folija (PELD-mekana plastika) ili cijevi i fazonskih komada (PEHD-tvrda plastika), te kao geotekstil i geomreže.

9.2.5-3 Gabioni

Su geotehnički elementi u vidu košara od žičanog pletiva ispunjenih krupnim agregatom koje formiraju deformabilne zidove ili madrace. Slaganjem u vertikali (zidovi) ili horizontali (madraci) mogu se postići konstrukcije koje za izvjesno vrijeme odolijevaju valovima manje visine. Primjenjuju se u potpuno zaštićenom akvatoriju i moraju biti izrađeni od plastificirane pocinčane žica. Ne mogu se primjenjivati za trajne konstrukcije u područjima djelovanja većih valova radi oštećivanja žice od pomicanja kamene ispune pobuđene na titranje morskim valovima.



Sl. 224-11
Valolom sa kamenom predškoljerom zalije-
jenom vrućim bitumenom. Zaštita obale u
Biskajskom zaljevu.



Sl. 224-12
Valolom iz pijeska prekriven bitumenskim
tepihom. Zaštita obale u Holandiji.

Sl. 9.2.5-1::1 Bitumenske pomorske konstrukcije

9.3 TEHNOLOGIJA GRADNJE NASIPNOG LUKOBRANA

U principu postoje 2 načina gradnje nasipnih lukobrana:

- s mora pretežno plovnom mehanizacijom i
- s krune pretežno kopnenom mehanizacijom.

Kod gradnje kamenog nasipnog lukobrana proces počinje u kamenolomu. Nakon miniranja jedne partije izvrši se selekcija A, B, C i D krupnih blokova (vidi 8.1-1.2), nepravilnih kakvi se dobiju nakon miniranja, a ostatak izminirane kamene mase je za jezgru (mješovite granulacije raspona otprilike 0,1 do 500 kg).

Ako se predviđa gradnja s mora (Sl. 9.3::1), kameni materijali se kopnenim transportnim sredstvima transportiraju do obale gdje se na gradilišnom pristanu utovaruju na transportna plovila (maone, platforme, prevrtaljke ili klapete), koje tegljači otegle na mjesto ugradnje. Ugradnja jezgre obavlja se sipanjem s plovila tako da se naspe more od dna do kote cca -2,5 m koliko je ograničenje gazom. Smjer nasipavanja je od korijena lukobrana prema glavi. Ostali podmorski dio i nadmorski dio jezgre ugrađuje se kopnenom mehanizacijom (damperima) s krune jezgre sipanjem s čela. Obloge se na mjesto ugradnje transportiraju isto kao jezgra, a ugrađuju plovnom dizalicom, tako da se prati ugradnja jezgre na 30 do 50 m zaostatka. Jezgra bez obloge ne može dugo stajati zbog mogućnosti oštećenja od valova. Kruna obloge (iznad kote cca +1 do +1,5 m) se se ugrađuje zadnja, od glave prema korijenu lukobrana, radi omogućavanja prolaza kopnene mehanizacije po kruni.

Ako se predviđa gradnja s krune (Sl. 9.3::2) kameni materijali se kopnenim transportnim sredstvima transportiraju do mjesta ugradnje vožnjom po kruni jezgre koja stoga mora biti nad morem. Ugradnja jezgre obavlja se sipanjem sa čela, a smjer nasipavanja je od korijena lukobrana prema glavi. Obloge se na mjesto ugradnje transportiraju damperima, isto kao jezgra, a ugrađuju dizalicom smještenom na kruni, tako da se prati ugradnja jezgre na 30 do 50 m zaostatka. Duboke obloge za koje dizalica na kruni nema dohvata ugrađuju se plovnom dizalicom. Kruna obloge se ugrađuje zadnja, od glave prema korijenu lukobrana.

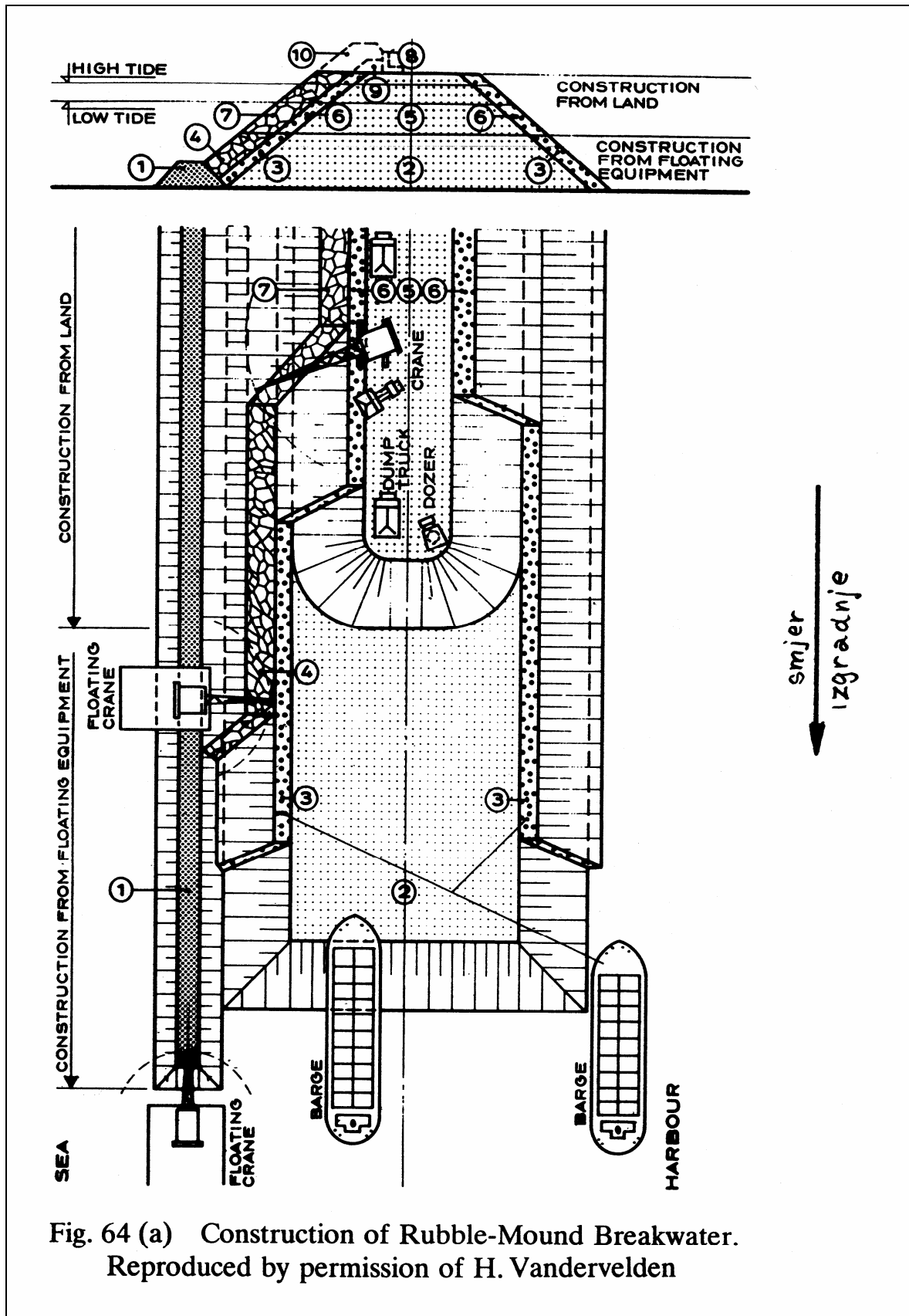
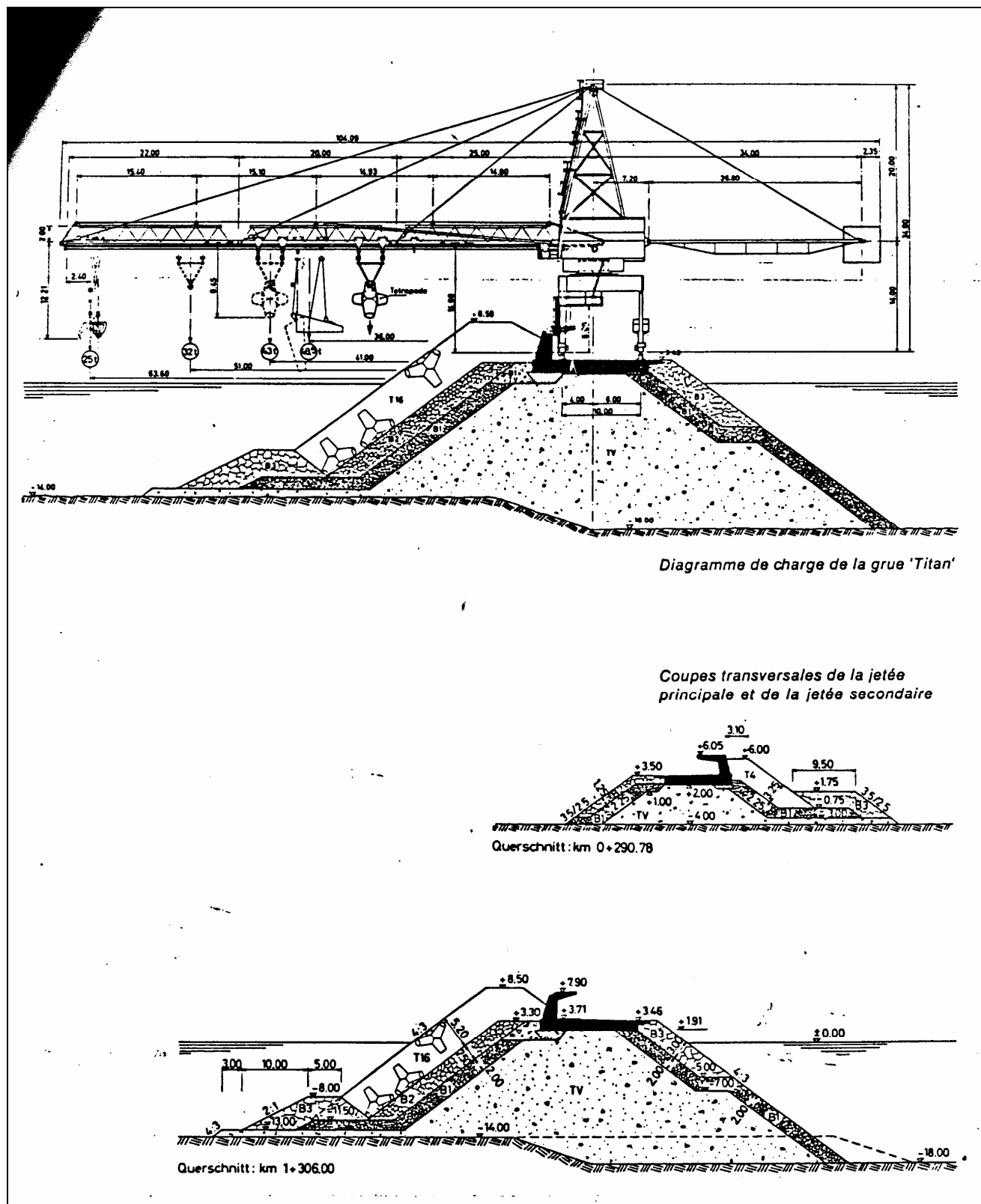


Fig. 64 (a) Construction of Rubble-Mound Breakwater.
 Reproduced by permission of H. Vandervelden

Sl. 9.3::1 Tehnologija gradnje nasipnog lukobrana s mora s pretežno plovnom mehanizacijom



Sl. 9.3:2 Postava kamenometnih obloga dizalicom s krune lukobrana

9.4 TEHNOLOGIJA GRADNJE VERTIKALNOG LUKOBRANA

Materijal za gradnju je isključivo beton i armirani beton.

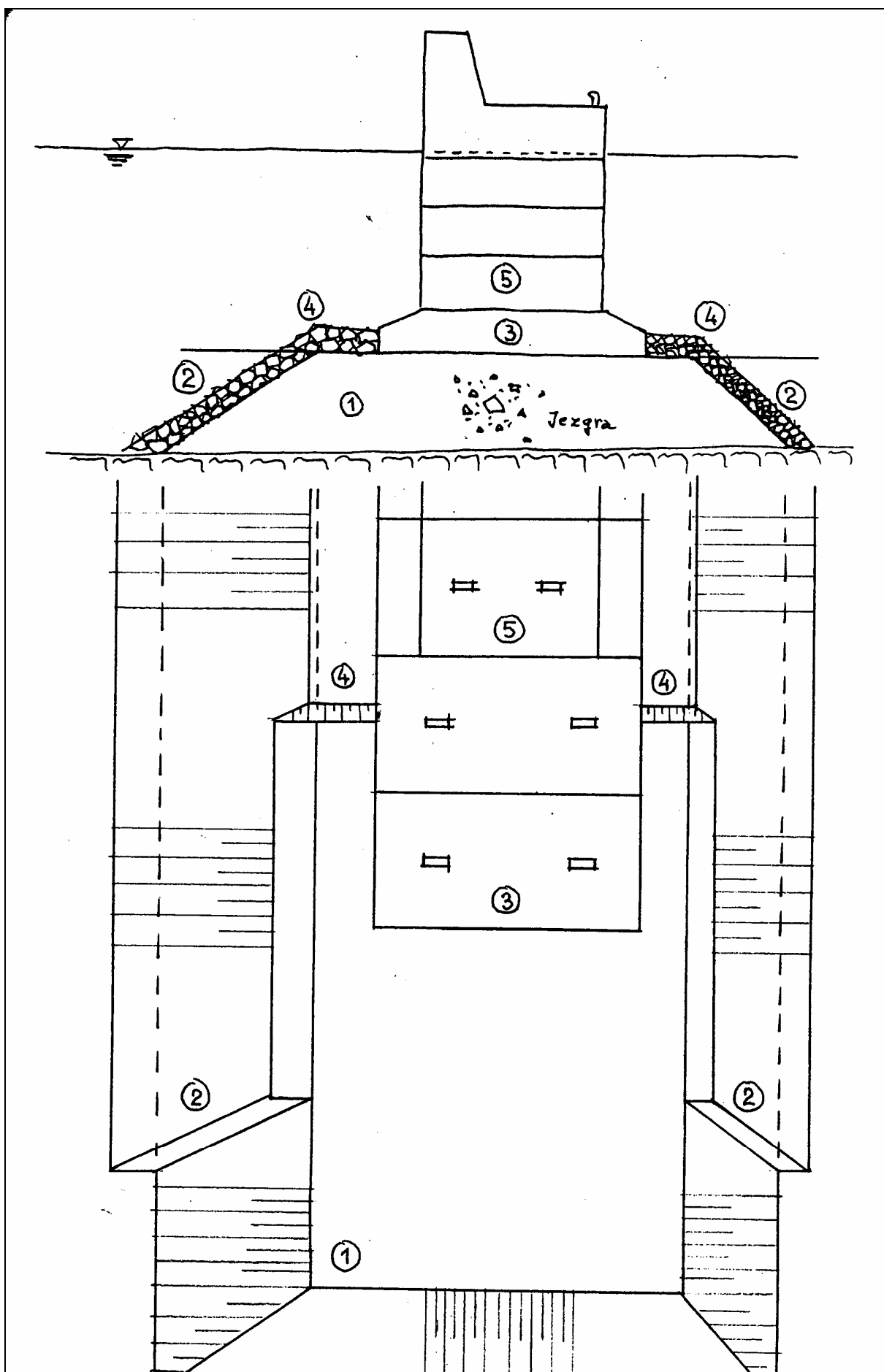
Najprije treba naglasiti da nije moguće izgraditi masivni betonski vertikalni lukobran betoniranjem na licu mjesta, i to iz više razloga: teška izvedba mamut oplata pod morem rušenje oplata valovima, problem transporta i ugradbe ogromnih količina betona i sl.

Obzirom na varijante presjeka lukobrana tipa zid razlikuju se tri tehnologije gradnje:

- plovnom dizalicom
- s krune
- upotrebom plivajućih mamut kesona.

Prikazat će se primjer tipične tehnologije s plovnom dizalicom (Sl. 9.4::1). Proces počinje proizvodnjom betonskih blokova (mase do 300 t) na obali uz koju može pristati plovna dizalica. Paralelno s time priprema se temeljni kameni nasip kojim se eliminiraju nagib i neravnine dna. Kruna tog podmorskog nasipa se iznivelira sitnim kamenim materijalom; t.j. uredi se u vidu podmorske tucaničke posteljice, čime je pripremljena za postavu blokova. Kad betonski blokovi prime punu čvrstoću, plovna dizalica ih natovari na svoj trup i transportira na mjesto ugradnje gdje ih spušta na dno. Taj se postupak vrši uz pomoć specijalnih geodetskih metoda za iskolčenje objekata uz vizualnu kontrolu ronilaca. Blokovi se slažu u vidu priljubljenih "stupova", a ne kao vez opeke. Zadnji blok malo viri iz mora (iznad SVVŽR). Nakon završetka jednog dijela lukobrana dizalica i dalje doprema blokove, ali ih ne polaže na dno nego dodaje još 2-3 reda blokova na završeni dio. Tim predopterećenjem završenog dijela se ubrzava proces slijeganja.

Blokovi se za slučaj temeljenja na nekoherentnom dnu ili stijeni mogu ubrzo i skinuti (dobro je da prođe par oluja ili cijela zima) jer se slijeganje temeljnog nasipa i tla obavi odmah po opterećenju. Kod koherentnog dna postoji vremenski tok slijeganja i opterećenje se može skinuti tek kada se po geomehničkom proračunu realizira pretežni dio slijeganja. Nakon skidanja opterećenja primijetit će se diferencijalna slijeganja među kolonama lukobranskog zida. One se anuliraju betonom nadmorskog dijela lukobrana koji se betonira u oplati na licu mjesta.



Sl. 9.4::1 Tehnologija gradnje vertikalnog lukobrana

Predmet: VODNOGOSPODARSKE GRAĐEVINE

Studij: TEHNIČKO VELEUČILIŠTE U ZAGREBU

Stručni studij graditeljstva

Usmjerenje: niskogradnja

Semestar: V

Fond sati: 30+15

Godina: 2007.

Student:

2. TEST ZA KONAČNU OCJENU 26.11.2007.

55% = 2

65% = 3

75% = 4

85% = 5

Krivi odgovor negativni bodovi!

Nečitki odgovori 0 bodova!

	pitanja	odgovori	nosi bod	pos tig nuto
8	POMORSKE GRAĐEVINE			

Predmet: VODNOGOSPODARSKE GRAĐEVINE

Studij: TEHNIČKO VELEUČILIŠTE U ZAGREBU

Stručni studij graditeljstva

Usmjerenje: niskogradnja

Semestar: V

Fond sati: 30+15

Godina: 2007.

2. TEST ZA KONAČNU OCJENU

Sadržaj:

- 8 Pomorske građevine
- 9 Tehnologija pomorske gradnje