

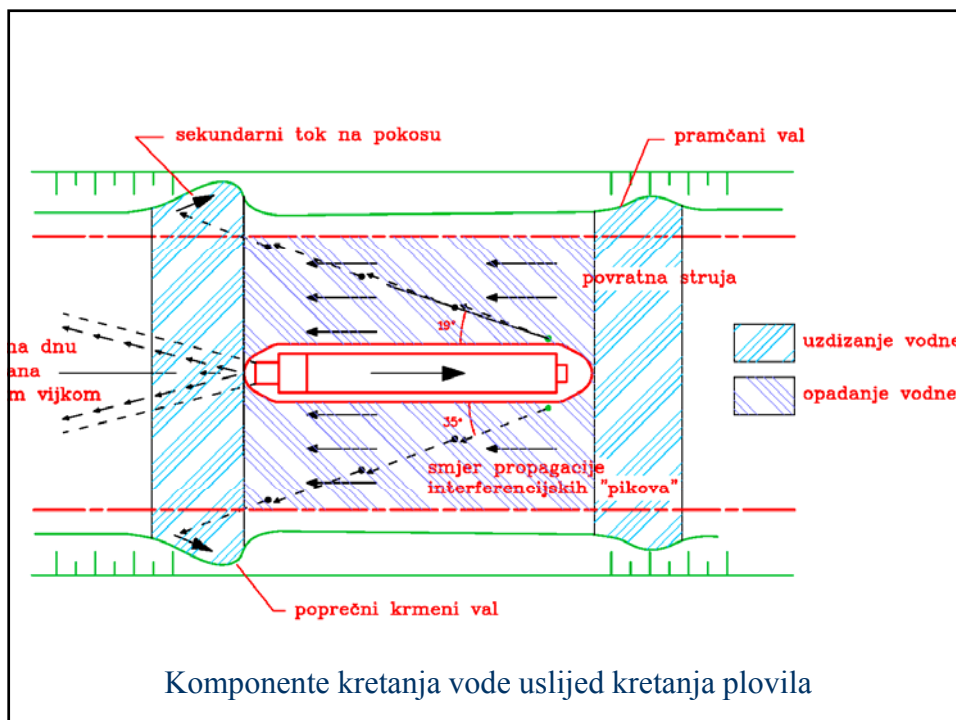
## 5.2 LOKALNA NESTABILNOST UZROKOVANA VALOVIMA I STRUJAMA

1

- Valovi generirani kretanjem broda
- Struje inducirane porivom brodskog vijka
- Sekundarni tok vode uzrokovan prolaskom broda
- Valovi generirani vjetrom

## 5.2.1 Opterećenje pokosa strujama uzrokovanim plovilima

- Pramčani val
- Poprečni krmeni val
- Sekundarni tok vode
- Struja inducirana brodskim vijkom (poriv)



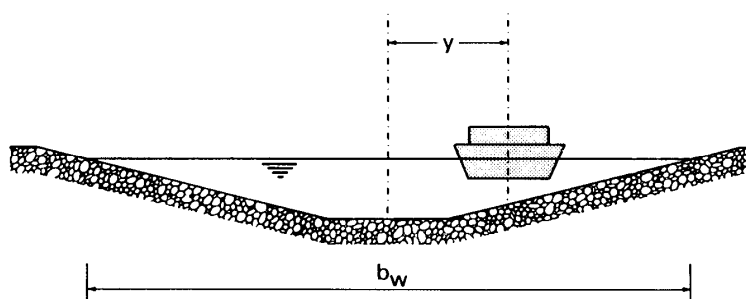
Za određivanje hidrauličkog opterećenja obaloutvrde uzrokovano plovilima, potrebno je definirati sljedeće veličine:

- Maksimalni ekscentricitet plovidbe
- Proračunsku maksimalnu brzinu plovidbe
- Mjerodavnu brzinu plovila
- Srednju brzinu povratne struje i srednje sniženje razine vode
- Maksimalnu brzinu povratne struje i maksimalno sniženje razine vode
- Parametre poprečnog krmenog vala
- Parametre pramčanog vala
- Parametre sekundarnog vala
- Brzinu struje na dnu inducirane brodskim vijkom

### Maksimalni ekscentricitet plovidbe $y$

$$0 < y < \frac{b_w}{3}$$

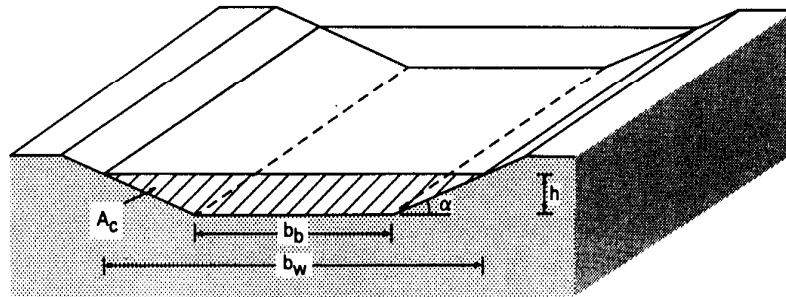
$b_w$  - širina vodnog lica korita




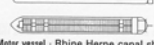
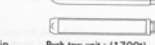
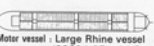
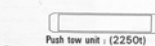
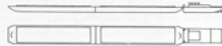
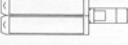
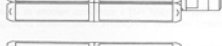
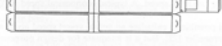


U slučaju ekscentrične plovidbe, površina protočnog presjeka  $A_c$  se mora pri proračunima zamijeniti s vrijednošću  $A_{c_i}$  (imaginarna površina protočnog presjeka ) korištenjem sljedećeg izraza:

$$\frac{A_{c_i}}{A_c} = 1 - c_2 \frac{y}{b_w - hcot\alpha}$$

potisni sastav	$c_2 = 0,4 \div 0,64$
motorna barža	$c_2 = 1,04 \div 1,28$



ECMT Class	Typical vessel
I	Motor vessel: Spits (300t) 39 x 5.1 x 2.4m 
II	Motor vessel: Kempenaar (600t) 55 x 6.6 x 2.5m 
III	Motor vessel: Dortmund - Eems Canal ship (1000t) 67.8 x 8.2 x 2.6m 
IV	Motor vessel : Rhine Herne canal ship (1350t) 85 x 9.5 x 2.8m Push tow unit : (1700t) 70.5 x 9.5 x 3.2m  
V	Motor vessel : Large Rhine vessel (2000t) 95 x 11.5 x 2.7m Push tow unit : (2250t) 76.5 x 11.4 x 3.2m  
VI	Push tow unit : (2 x 2250t) 163 x 11.4 x 3.2m  (Also navigable in IV and V)
	Push tow unit : (2 x 2250t) 76.5 x 22.8 x 3.2m 
	Push tow unit : (4 x 2250t) 
	Push tow unit : (6 x 2250t) 

### Proračunska maksimalna brzina plovidbe $v_L$

Može se odrediti za poznati presjek kanala iz Schijfove jednadžbe:

$$\frac{v_L}{\sqrt{gh'}} = \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{3}{2}} \left(1 - \frac{A_m}{A_{c_i}} + \frac{v_L^2}{2gh'}\right)^{\frac{3}{2}}$$

gdje su:

$$h' = \frac{A_{c_i}}{b_w} \quad \text{- imaginarna dubina vode}$$

$$A_{c_i} \quad \text{- imaginarna površina protočnog presjeka}$$

$$A_m \quad \text{- površina poprečnog omočenog presjeka plovila}$$

### Mjerodavna brzina plovidbe $v_s$

Općenito, brzina plovila uzima se kao

$$v_s = 0,9v_L$$

**Proračun srednje brzine povratne struje  $\bar{u}_r$   
i srednjeg sniženja razine vode  $\Delta\bar{h}$**

Dva su temeljna pristupa teoriji:

- energetski pristup (Schijf)
- pristup momenta (Bouwmeester, Sharp i Fenton)

Oba pristupa su upotrebljiva za plovila koja se kreću uzduž osi korita.  
U skladu s istraživanjima oba pristupa su primjenjiva za područje:

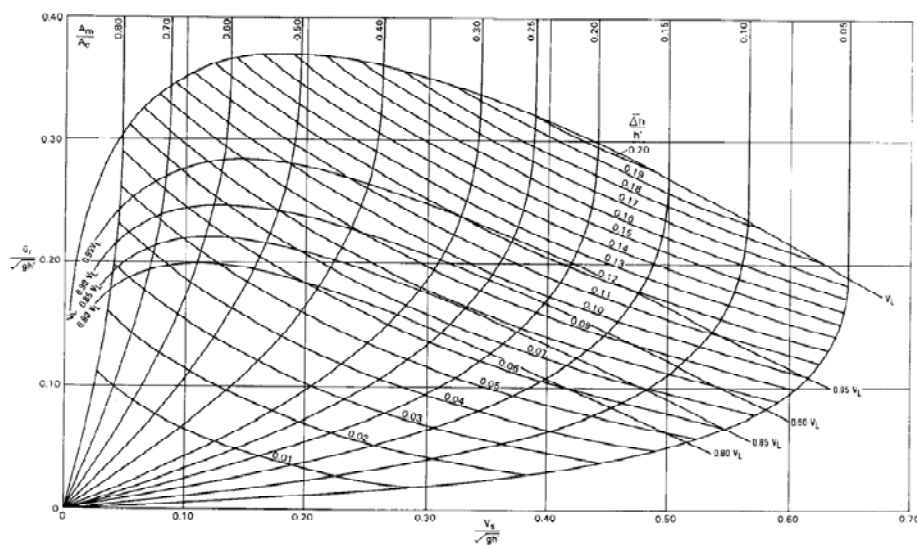
$$2 < \frac{b_w}{B_s} < 12$$

gdje je:

$B_s$  - širina plovila

Postupci Schijf-a te Sharp-a i Fenton-a daju usporedive rezultate.  
Oba postupka su preporučena posebno za opterećene potisne sastave.  
Za ostale tipove plovila preporuča se postupak Bouwmeestera.

Rješenje Schijfove jednadžbe moguće je pronaći pomoću dijagrama



Schijfov dijagram

Dijagram na prethodnoj slici se može koristiti za rješavanje sljedećih jednačbi Schijfova energetskog postupka:

$$\Delta\bar{h} = \frac{v_s^2}{2g} \left[ \alpha_1 \left( \frac{A_c}{A_w} \right)^2 - 1 \right]$$

$$A_c v_s = A_w (v_s + \bar{u}_r)$$

$$A_w = b_b (h - \Delta\bar{h}) + m (h - \Delta\bar{h})^2 - A_m$$

gdje je:

$$\alpha_1 = (1,4 \div 0,4) \frac{v_s}{v_L}$$

### Proračun maksimalne brzine povratne struje $\hat{u}_r$ i maksimalnog sniženja razine vode $\Delta\hat{h}$

Maksimalne vrijednosti brzine povratne struje i sniženja razine vode potrebno je odrediti za svaki tip plovila.

#### i. Potisna jedinica

$$\Delta\hat{h} = c_3 \Delta\bar{h}$$

$$\hat{u}_r = c_3 \bar{u}_r$$

gdje je:

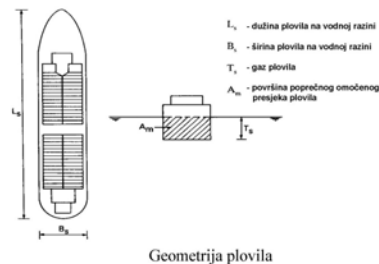
$$c_3 = 1,2 + 5 \cdot 10^{-4} F_h^2 \frac{b_w}{y_i} \frac{L_s^2}{h \sqrt{A_m}}$$

gdje su:

$$F_h = \frac{v_s}{\sqrt{gh}} - \text{Froudeov broj}$$

$$y_i = 0,5b_w - y - 0,5h \cot \alpha - \text{horizontalni razmak između osi plovila i obale}$$

$$L_s - \text{duljina plovila (sl. 2.-4.)}$$



### ii. Motorne barže

$$\text{za } \frac{b_w}{L_s} > 1,5; \quad \begin{cases} \Delta \hat{h} = \Delta \bar{h} \left( 3 - 4 \frac{A'_c}{A_c} \right) \\ \hat{u}_r = \bar{u}_r \left( 2,5 - 3 \frac{A'_c}{A_c} \right) \end{cases}$$
$$\text{za } \frac{b_w}{L_s} < 1,5; \quad \begin{cases} \Delta \hat{h} = \Delta \bar{h} \left( 2 - 2 \frac{A'_c}{A_c} \right) \\ \hat{u}_r = \bar{u}_r \left( 1,5 - \frac{A'_c}{A_c} \right) \end{cases}$$

gdje je:

$A'_c$  - površina poprečnog presjeka kanala između osi plovila i obale  
 $\Delta \bar{h}$  i  $\bar{u}_r$  su vrijednosti za plovidbu po sredini plovnog puta

### iii. Remorker

$$\hat{u}_r = -1,33 + 7,86 F_h^{2,33} \left( \frac{A_m b_w}{A_c y_i} \frac{L_s^2}{h \sqrt{A_c}} \right)^{0,17} \geq 0,4 \text{ [m/s]}$$
$$\Delta \hat{h} = -0,875 + 6,25 F_h^{2,67} \left( \frac{A_m b_w}{A_c y_i} \frac{L_s^2}{h \sqrt{A_c}} \right)^{0,33} \geq 0,2 \text{ [m]}$$

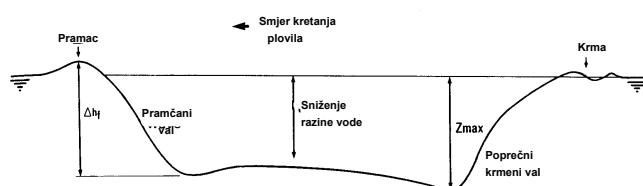


### Proračun parametara poprečnog krmenog vala

Visina poprečnog krmenog vala  $z_{max}$  može se uzeti:

$$z_{max} = \Delta \hat{h}$$

Strmost ovog vala ovisi o njegovoj visini, ali je ograničena vrijednošću između 0,1 i 0,15.



Profil granične vodne površine uslijed kretanja plovila

### Proračun parametara pramčanog vala

Visina pramčanog vala  $\Delta h_f$  može se uzeti:

$$\Delta h_f = 0,1\Delta \bar{h} + \Delta \hat{h}$$

Strmost pramčanog vala ovisi o njegovoj visini i ekscentricitetu plovidbe, a može se uzeti  $0,03\Delta h_f$

## Proračun parametara sekundarnog vala

Sekundarni val nastaje interferencijom valova, a visina pikova na obaloutvrđi se određuje kao

$$H_i = h \left( \frac{s}{h} \right)^{-0,33} F_h^4$$

gdje je  $s$  - udaljenost od boka plovila do obale.

Duljina sekundarnog vala određuje se iz:

$$L_{w_i} = 0,67 \cdot 2\pi \frac{v_s^2}{g}$$

$$\text{za } 6,5 < h < 8,5 \Rightarrow F_h < 0,7$$

## Brzina struje na dnu inducirane brodskim vijkom $u_b$

$$u_b = \alpha_2 u_0 \frac{D_0}{z_b}$$

gdje su:

$u_b$  - brzina struje na dnu

$u_0 = 1,15 \left( \frac{P_D}{D_0^2} \right)^{0,33}$  - osna brzina

$\alpha_2$  - koeficijent koji varira između 0,25 i 0,75

ovisno o tipu broda i obliku kormila

$z_b$  - vertikalni razmak osi vijka i dna

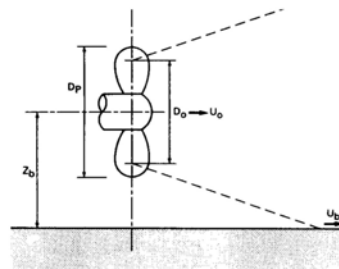
$D_0$  - inicijalni promjer struje vijka

$D_0 = D_p$  - za brodove s vijkom u mlaznici

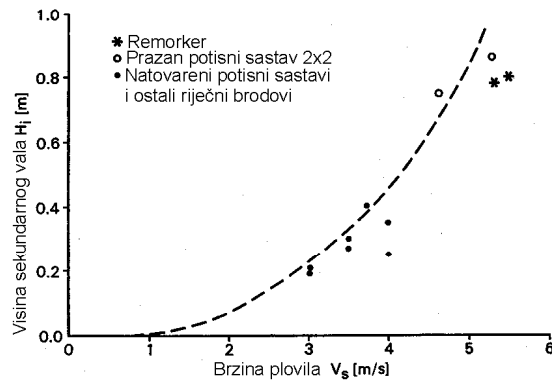
$D_0 = 0,7D_p$  - za brodove bez mlaznice

$D_p$  - promjer vijka

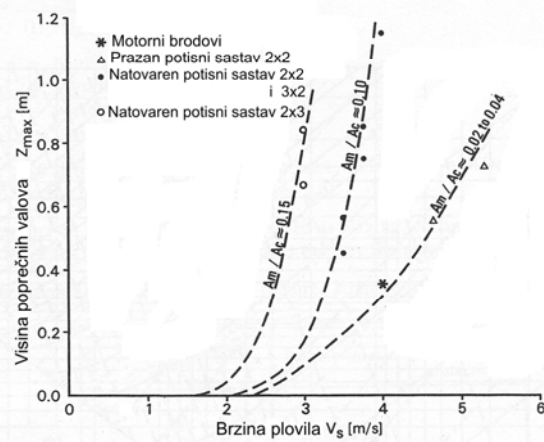
$P_D$  - instalirana snaga motora u [kW]



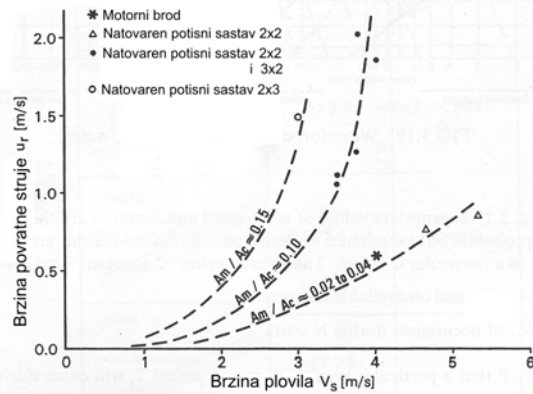
### Mjerenja stvarnih veličina gibanja vode uzrokovanih prolaskom plovila na kanalu Hartel (Nizozemska)



### Mjerenja stvarnih veličina gibanja vode uzrokovanih prolaskom plovila na kanalu Hartel (Nizozemska)



## Mjerenja stvarnih veličina gibanja vode uzrokovanih prolaskom plovila na kanalu Hartel (Nizozemska)



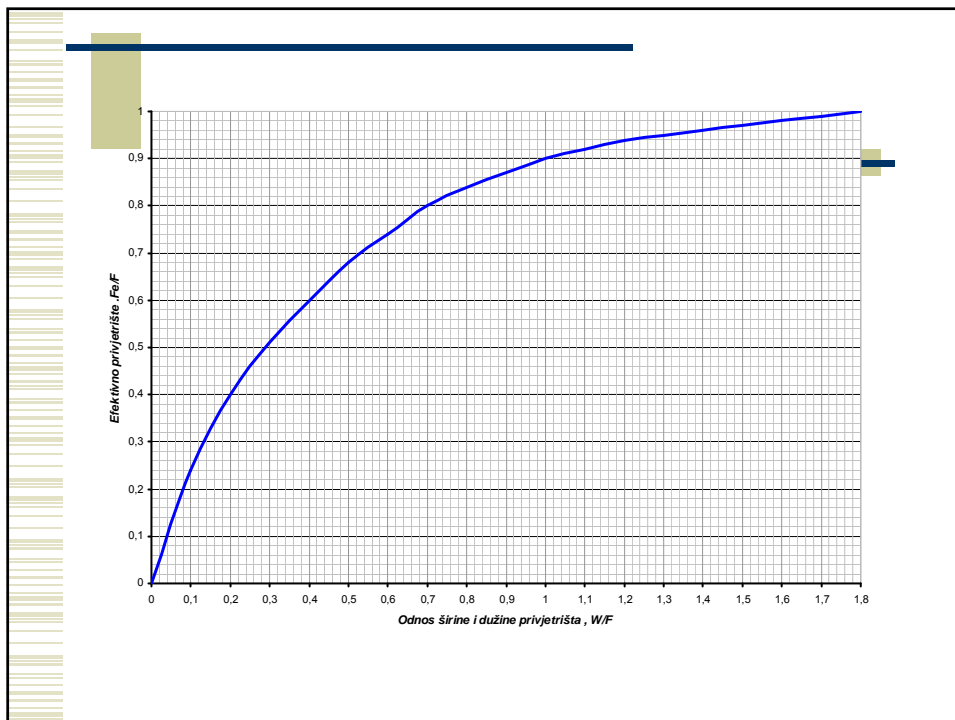
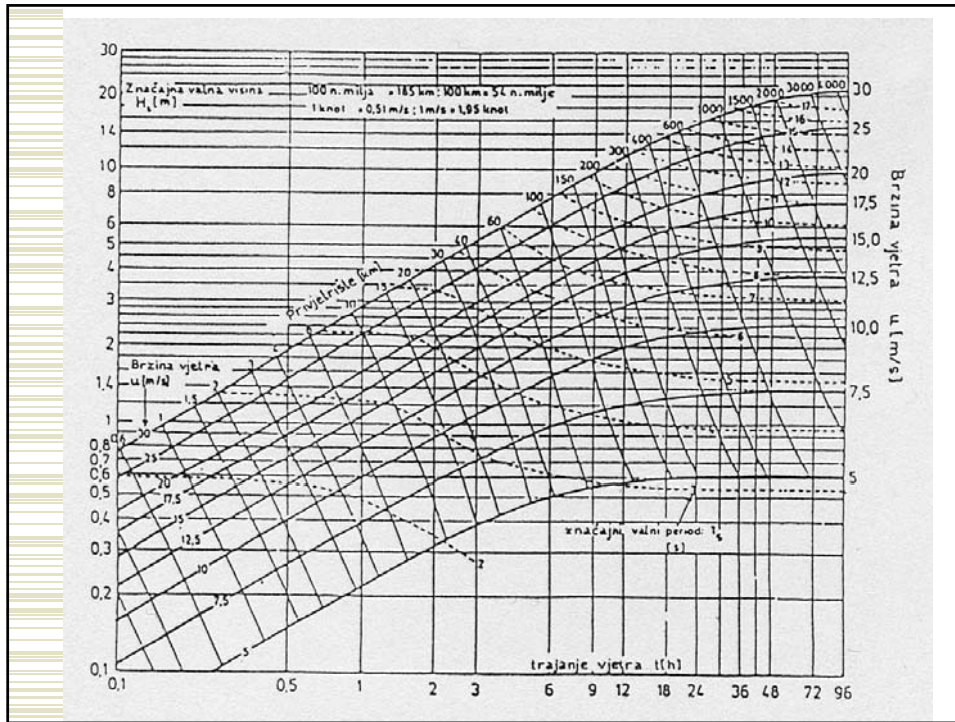
### 5.2.2 Opterećenje pokosa vjetrovnim valovima

Osnovni valni parametri:

- valna visina  $H$
- valni period  $T$
- valna duljina  $L$

Utjecajni faktori vjetrovnih valova:

- brzina vjetra (jačina)
- duljina i oblik privjetrišta
- trajanje vjetra
- dubina vode



Nakon određivanja hidrauličkog opterećenja obaloutvrde uzrokovanog plovilima, potrebno ju je dimenzionirati

- Na djelovanje poprečnog krmenog vala
- Na djelovanje sekundarnog vala
- Na djelovanje povratne struje
- Na djelovanje struje na dnu inducirane brodskim vijkom

### 5.2.3 Dimenzioniranje kamene obloge

Dimenzioniranje obloge ovisi o njenom tipu. Ukoliko se radi o oblozi od kamenog nabačaja, tzv. Rip-rap, tada je moguće koristiti obrasce za proračun dane u nastavku.

Za druge tipove obloga postupci su drugačiji i njihov razvoj je uglavnom vezan uz istraživanja proizvođača patentiranih sustava. Tako postoje obrasci za proračune veličine ispune gabionskih madraca, veličine betonskih blokova (uklještenih i povezanih) itd.

Pod dimenzioniranjem kamene obloge podrazumijeva se:

- odabir mjerodavnog promjera zrna
- granice granulometrije unutar kojih se treba naći sastav materijala za oblogu
- debljina obloge

### 5.2.3.1 Odabir mjerodavnog promjera zrna kamene obloge

31

Poprečni krmni val (Laboyrie):

$$D_{n50} \geq \frac{z_{\max}}{1.5(\cot \alpha)^{1/3} \cdot \Delta_m}$$

$$\Delta_m = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$$



Sekundarni brodski valovi (Verhey i Pilarczyk):

$$D_{n50} \geq \frac{H_i (\cos \beta)^{0.5}}{1.8 \cdot \Delta_m}$$

gdje je

$\beta = 55^\circ$  - kut propagacije vala u odnosu na obalu

Djelovanje povratne struje

$$D_{n50} \geq \frac{0.7 \cdot \hat{u}_r^2}{g \cdot \Delta_m \cdot k}$$

$$k = \cos \alpha \left( 1 - \frac{\tan^2 \alpha}{\tan^2 \varepsilon_s} \right)^{0.5}$$

$\hat{u}_r$  - maksimalna povratna struja ili maksimalna prirodna struja  
(ovisno koja je veća), [m/s]

$\varepsilon_s$  - prirodni kut unutrašnjeg trenja kamene obloge

### Djelovanje struje brodskog vijka

$$D_{n50} \geq \frac{1.3 \cdot u_b^2}{g \cdot \Delta_m \cdot k}$$

$$\Delta_m = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$$

$$k = \cos \alpha \left( 1 - \frac{\tan^2 \alpha}{\tan^2 \varepsilon_s} \right)^{0.5}$$

### Veličina zrna obloge za vjetrovne valove

$$d_{n50} \geq \frac{H^{\text{proj}} \sqrt{\xi}}{2.25 \cdot \Delta_m}$$

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\left( \frac{H^{\text{proj}}}{L_o} \right)^{1/2}}$$

$$\Delta_m = \frac{\rho_s - \rho_v}{\rho_v}$$

### 5.2.3.2 Granulacija kamene obloge

Raspodjela mase kamena određena s tri karakteristične veličine mase  $W_{100}$ ,  $W_{50}$  i  $W_{15}$ . Masa nazivnog zrna  $W_{50}$  određuje se iz izraza

$$W_{50 \text{ min}} = \rho_s \cdot D_{n50}^3$$

gdje su:

$\rho_s$  [kg/m<sup>3</sup>] - gustoća mase kamena,

$W_{50 \text{ min}}$  [kg] - minimalna vrijednost mase nazivnog zrna

Ostale karakteristične veličine mase su određene odnosima:

$$W_{50 \text{ max}} = 1.5 \cdot W_{50 \text{ min}}$$

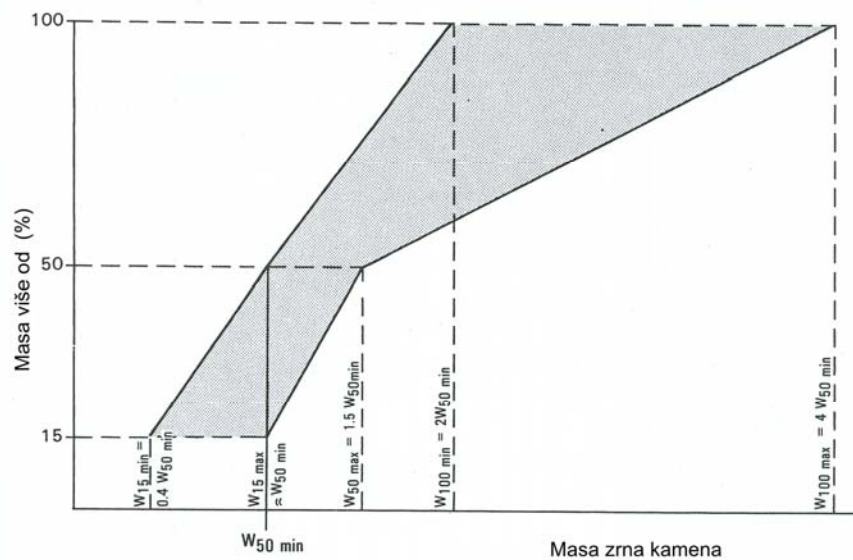
$$W_{100 \text{ min}} = 2 \cdot W_{50 \text{ min}}$$

$$W_{100 \text{ max}} = 4 \cdot W_{50 \text{ min}}$$

$$W_{15 \text{ min}} = 0.4 \cdot W_{50 \text{ min}}$$

$$W_{15 \text{ max}} = W_{50 \text{ min}}$$

37



38

### 5.2.3.3 Odabir debljine kamene obloge

Kamena obloga se uglavnom projektira u dva sloja. Tako da će debljina sloja  $d$  biti vezana uz promjer mjerodavnog zrna  $D_{n_{50}}$ .

$$d = (1,5 \text{ do } 1,8) D_{n_{50}}$$

Pri tome treba voditi računa da debljina obloge mora biti veća od promjera najvećeg zrna u granulaciji!