

4. HIDRAULIČKI PRORAČUNI VODOTOKA



Vrste hidrauličkih proračuna vodotoka

- proračuni tečenja
- proračuni stabilnosti korita
- proračuni pronosa nanosa
- proračuni promjene oblika korita

4.1 PRORAČUNI TEČENJA

- tečenje u kanalima
- tečenje u koritu za srednju vodu
- tečenje u koritu za veliku vodu (složena hrapavost po poprečnom profilu)

3

Tečenje u prirodnim vodotocima je:

- neustaljeno (nestacionarno)
- nejednoliko (ubrzano; usporeno)
- nekonzervativno
- turbulentno
- sa stalnim promjenama režima tečenja (mirno u silovito i obratno)
- trodimenzionalno
- u neprizmatičnim koritima
- geometrija korita je vremenski promijenjiva
- hrapavost korita je prostorno i vremenski promijenjiva
- dvofazno (voda + nanos)

4

Pojednostavljeni slučajevi proračuna tečenja

- Tečenje u kanalima
- Tečenje u glavnom koritu prirodnog vodotoka
- Tečenje u koritu za veliku vodu

5

4.1.1 Tečenje u kanalima

Pretpostavke:

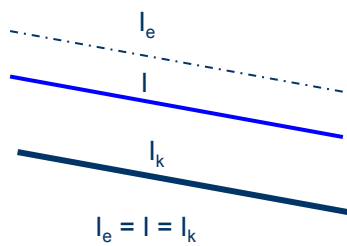
- ustaljeno (stacionarno)
- jednoliko
- konzervativno
- turbulentno
- jednodimenzionalno
- u prizmatičnim koritima
- hrapavost korita je konstantna
- jednofazno (voda)

6

Problem se svodi na određivanje
konsumpcijskih odnosa za:

- odabran poprečni profil korita (b, 1:m)
- odabran uzdužni pad dna kanala (I)
- odabranu hrapavost (n / c / k)

7



Chezy

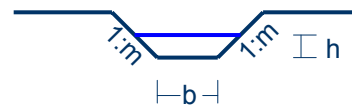
$$v = c \sqrt{R I}$$

Strickler

$$v = k R^{2/3} I^{1/2}$$

Manning

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

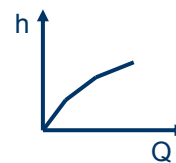


$$Q = v F$$

$$F = h (b + m h)$$

$$O = b + 2h \sqrt{1 + m^2}$$

$$R = \frac{F}{O}$$



4.1.2 Tečenje u glavnom koritu

Pretpostavke:

- ustaljeno (stacionarno)
- nejednoliko
- konzervativno
- turbulentno
- jednodimenzionalno
- u neprizmatičnim koritima
- hrapavost korita je konstantna
- jednofazno (voda)

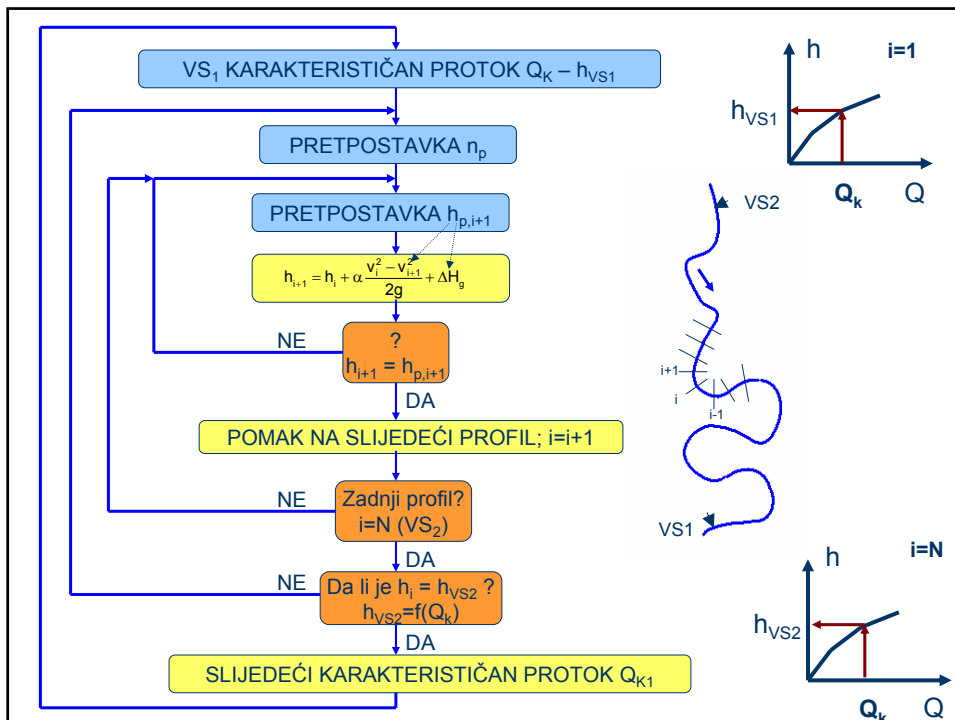
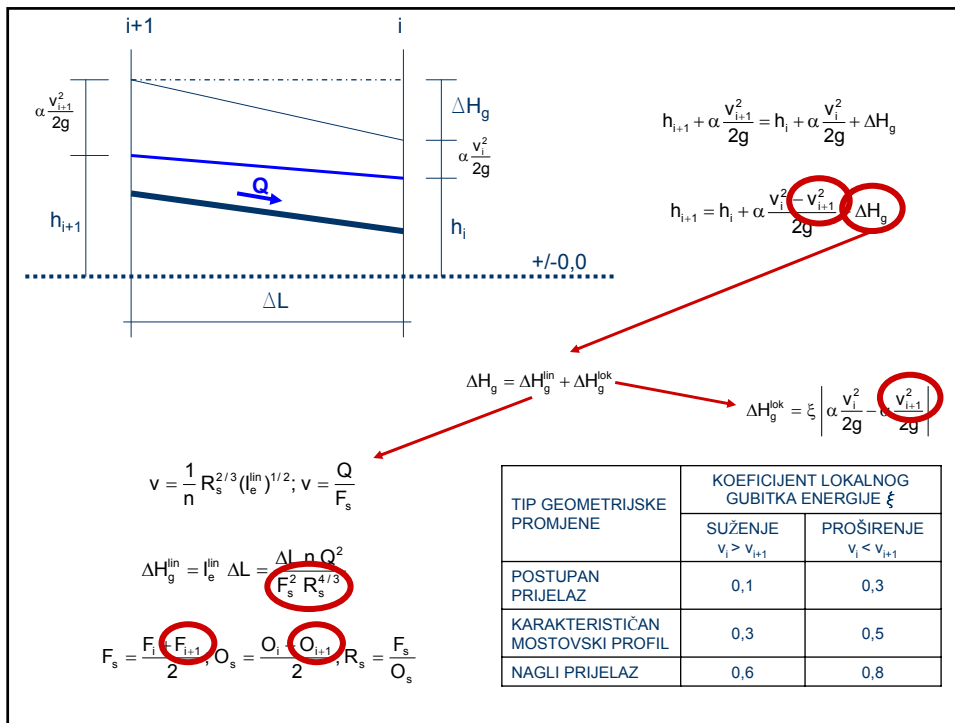
9

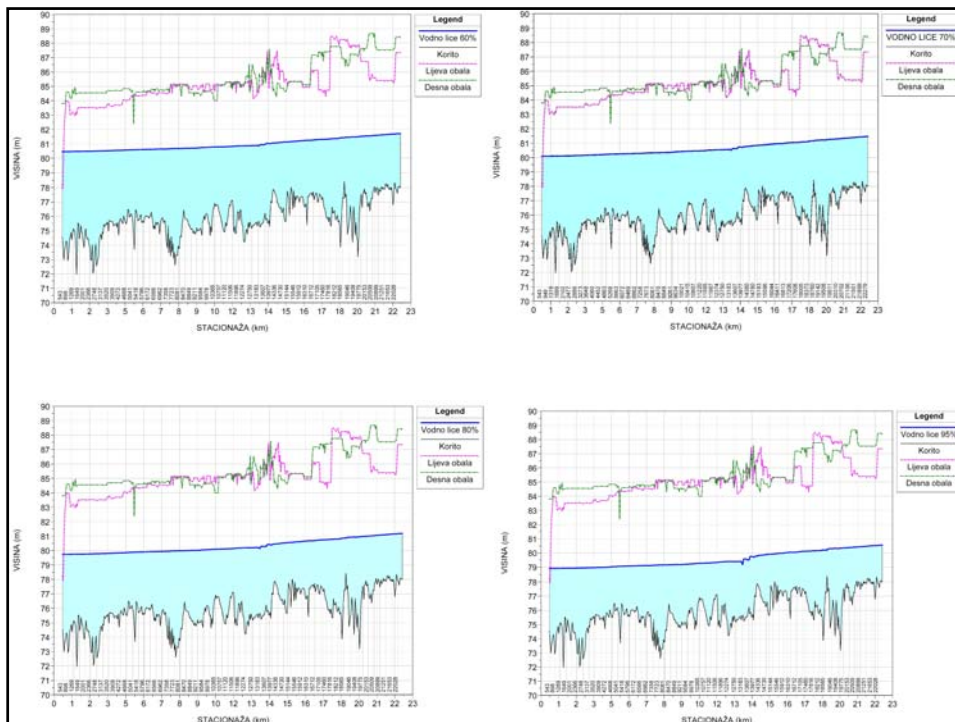
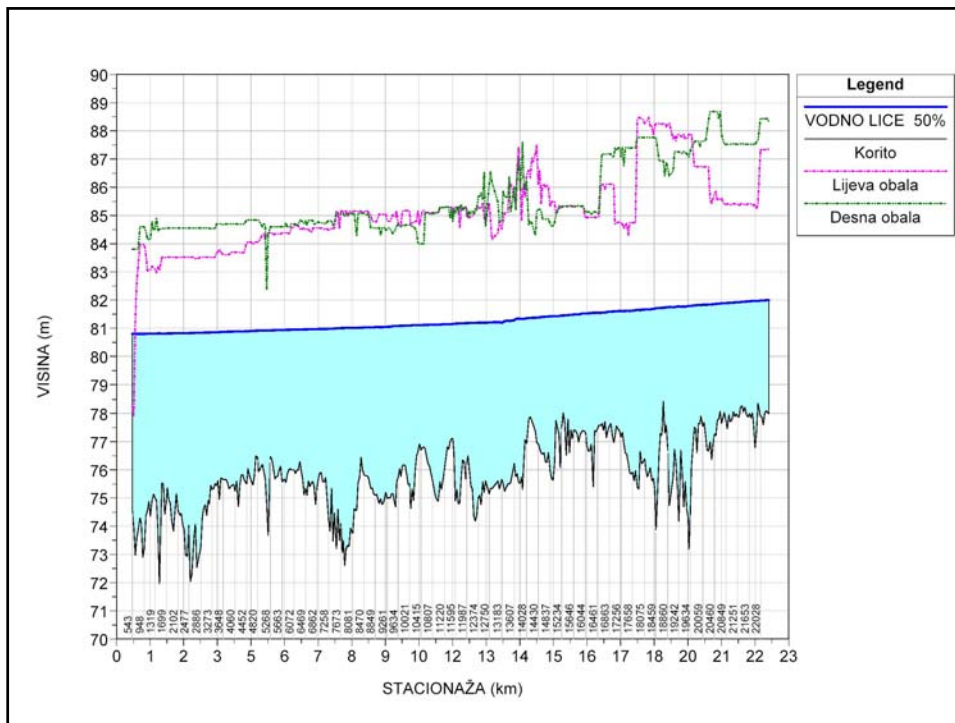
Problem se svodi na

određivanje oblika vodnih lica, pri različitim protocima, na dionici vodotoka između dva vodomjerna profila za:

- poznatu geometriju korita (poprečni profili i njihov međusoban razmak)
- poznate konsumpcijske odnose na vodomjernim stanicama

10





4.2 PRORAČUNI STABILNOSTI KORITA

- Globalna stabilnost korita
- Lokalna stabilnost korita

15

4.2.1 Pristupi proračunu globalne stabilnosti korita

- Dopuštena posmična napreznja (“vučna sila vode”)
- Granična brzina toka

16

4.2.1.1 Dopuštena posmična napreznja ("vučna sila vode")

$$\bar{\tau} \approx \rho g R I = S$$

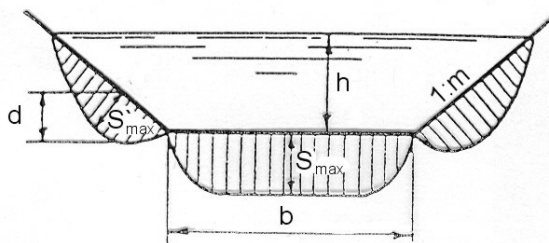
17

ZA ŠIROKA KORITA



$$R = \frac{F}{O} \approx \frac{Bh}{B+2h} \approx \frac{Bh}{B} = h$$

RASPORED POSMIČNIH NAPREZANJA PO OMOČENOM OBODU



$$S_{\max} = k_m \rho g h l$$

$$S'_{\max} = k'_m \rho g h l$$

$$d = k_d h$$

$$k_m, k'_m, k_d = f(m, b/h)$$

18

Dopušteno posmično naprežanje τ_{OD}

- Iz literature
- Za nevezane materijale iz karakteristika materijala tvorbe dna

19

Tvorba dna	$\tau_{OD} (N/m^2)$	Tvorba dna	$\tau_{OD} (N/m^2)$
Kvarcni pijesak, d = 0,3 - 0,4 mm	1,8 - 2,0	Glineni šljunak (nekoloidni)	15,0 - 20,0
Kvarcni pijesak, d = 0,4 - 1,0 mm	2,5 - 3,0	Šljunak, d = 15 mm	15,0 - 20,0
Pješčana glina (nekoloidna)	2,0	Travnati pokrov (kratko dje.)	20,0 - 30,0
Postojani glineni talog (nekol.)	2,5	Travnati pokrov (duže vrijeme)	15,0 - 18,0
Aluvijalni mulj (nekol.)	2,5	Čvrsto srašteni busen	25,0 - 30,0
Kvarcni pijesak, d = 1..2 mm	3,5 - 4,0	Obluče d < 50 mm	30,0 - 40,0
Krupni pijesak	6,0 - 10,0	Obluče d = 50...100 mm	30,0 - 40,0
Čvrsto taloženi pijesak i sitan šljunak	8,0 - 10,0	Zagrađivanje pleterom (usporedne ili kose na smjer tečenja)	50,0
Zaobljeni kvarcni šljunak d = 5...15 mm	12,5	Pokrov od plijeve (kod pokrova dna)	60,0
Krupni pijesak između površinskih izboč	10,0	Tarac - prema debljini	70,0 - 200,0
Šljunak između površinskih izbočina	15,0	Svežnjevi - otaracani	170,0
Aluvijalni mulj (koloidan)	10,0 - 12,5	Kameni nabačaj iz velikih komada	240,0
Glineno tlo (vrlo koloidno)	10,0 - 12,5		

20

Dopušteno posmično naprežanje
nevezanih čestica (Meyer-Peter Müller)

$$\tau_o = 0,047 (\rho_n - \rho_v) g d_s \text{ [N/m}^2\text{]}$$

21

STABILNO DNO

$$\tau_o > S$$

$$\tau_o = k_s S \quad k_s = 1,2 \div 1,5$$

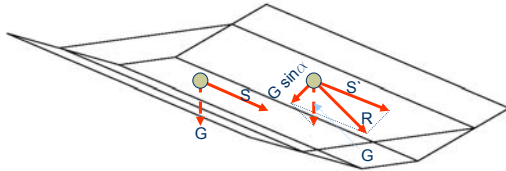
$$0,047 (\rho_n - \rho_v) g d_s = k_s k_m \rho_v g h l$$

$$d_s = \frac{k_s k_m \rho_v h l}{0,047 (\rho_n - \rho_v)}$$

22

Dopušteno posmično naprežanje na pokosu

$$\tau'_0 = n \tau_0$$



$$n = \frac{\tau'_0}{\tau_0} = \frac{S'}{S}$$

$$G \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi = R = \sqrt{G^2 \sin^2 \alpha + S'^2}$$

$$G \operatorname{tg} \varphi = S$$

$$n = \cos \alpha \sqrt{1 - \frac{\operatorname{tg}^2 \alpha}{\operatorname{tg}^2 \varphi}}$$

23

4.2.1.2 Granična brzina toka

GARBRECHT

$$v_g = 0,57 d_s^{1/3} h^{1/2}$$

SCHAMOV

$$v_g = 0,46 d_s^{1/3} h^{1/6}$$

DEBSKY

$$v_g = 0,693 d_s^{0,267} h^{0,2}$$

d_s, h [m]

24

PILARCZYK

$$\frac{d_{n50}}{h} = \left(\frac{v_g}{B_1 \sqrt{k' \Psi_{cr} g \Delta m h}} \right)^{2,5}$$

	B_1
JAKA TURBULENCIJA	5 – 6
NORMALNA TURBULENCIJA	7 – 8
MALA TURBULENCIJA	8 – 10

	Ψ_{cr}
NEPOKRETNO DNO	0,03
POČETAK NESTABILNOSTI	0,04
POMICANJE	0,06

$$\Delta m = \frac{\rho_n - \rho_v}{\rho_v}$$

25

4.2.2 Problemi lokalne stabilnosti korita

- Stupovi mostova
- Nasipi upornjaka mostova
- Regulacijske građevine
- Oštri zavoji
- Vjetrovni valovi
- Valovi generirani prolaskom brodova
- Poriv vijka brodova

26

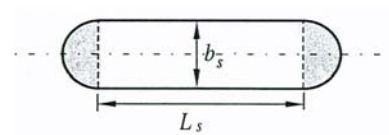
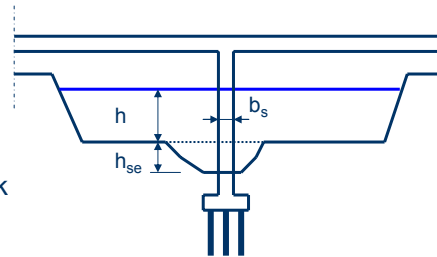
Dubina podlokavanja oko stupa

$$\frac{h_{se}}{h} = C_1 Fr^{0,43} \left(\frac{b_s}{h} \right)^{0,65}$$

$C_1=2,0$ – kružni poprečni presjek

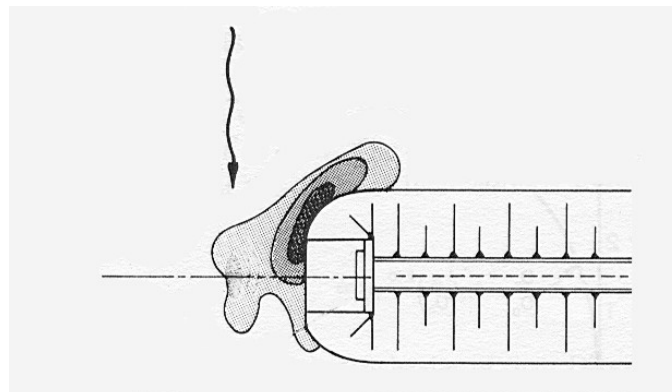
$C_1=2,2$ – kvadratni i izduženi poprečni presjek

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}}$$



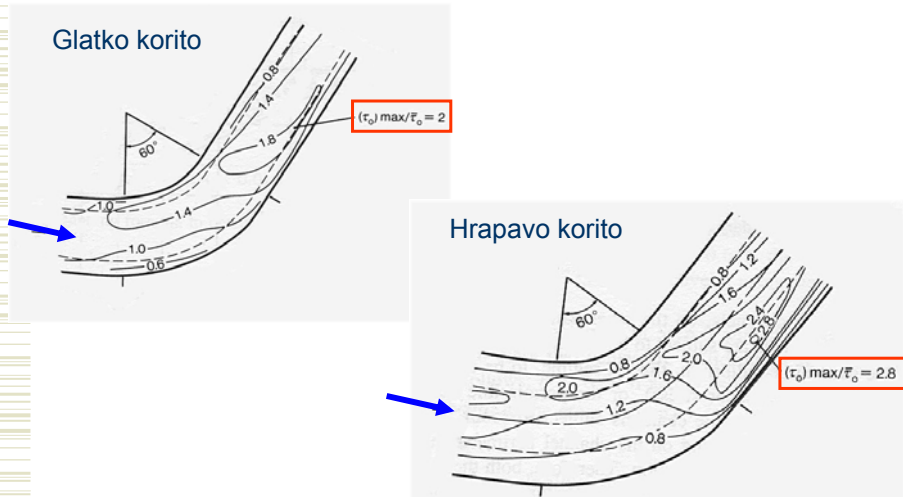
27

Podlokavanje u zoni poprečnih građevina



28

Utjecaj oštrog zavoja na promjenu veličine posmičnih napreznja



29

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

30

Veličina zrna obloge za vjetrovne valove

$$d_{n50} \geq \frac{H^{\text{proj}} \sqrt{\xi}}{2,25 \cdot \Delta_m}$$

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

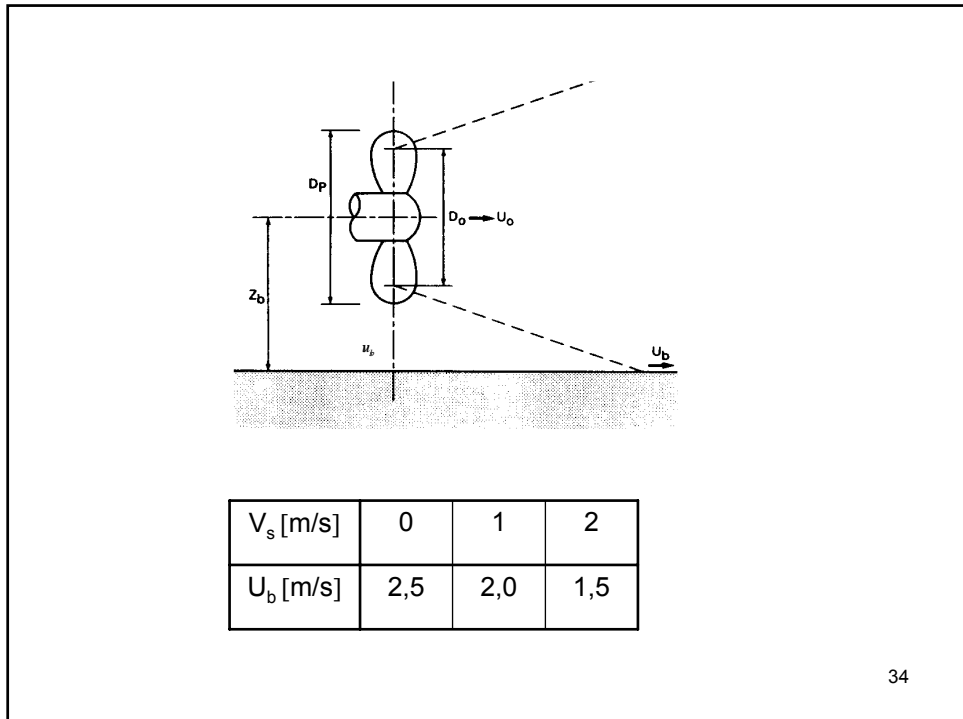
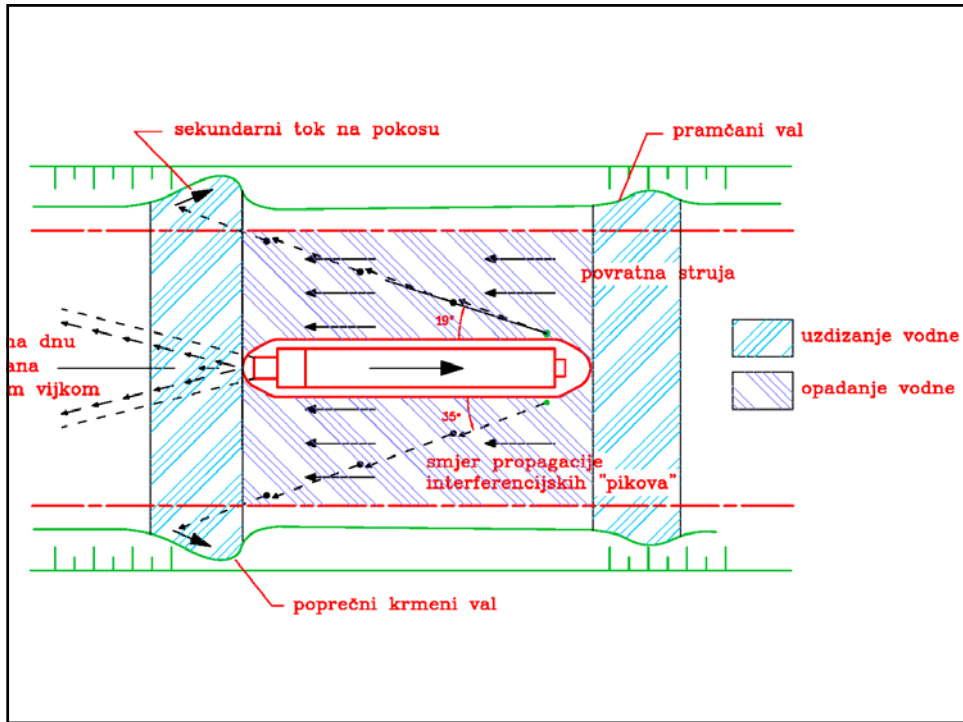
$$\Delta_m = \frac{\rho_s - \rho_v}{\rho_v}$$

31

Opterećenje pokosa strujama uzrokovanim plovilima

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

32



4.3 PRORAČUNI PRONOSA NANOSA

- pronos vučenog nanosa
- proračun suspendiranog nanosa

35

4.3.1 Proračun pronosa vučenog nanosa (Meyer-Peter Müller)

$$q_v = \frac{8}{g\sqrt{\rho_v}} \left[\frac{\rho_n}{\rho_n - \rho_v} \right] (\tau - \tau_o)^{3/2} \text{ [kg/m/s]}$$

$$\tau = \rho_v g R I \frac{Q_n}{Q} \left[\frac{n_r}{n} \right]^{3/2} \quad \tau_o = 0,047 (\rho_n - \rho_v) g d_s \text{ [N/m}^2\text{]}$$

Q_n – protok dijelom korita kojim se pronosi nanos

Q – ukupan protok vode

n – Manningov koeficijent hrapavosti

n_r – Manningov koeficijent hrapavosti površine dna
(bez utjecaja hrapavosti forme dna)

$$S_v = q_v b_v$$

b_v – širina pojasa korita kojim se pronosi nanos

36

4.3.2 Proračun pronosa suspendiranog nanosa

$$S_i = C_i Q$$

C_i – masena koncentracija nanosa [kg/m^3]

$$C_i = \eta \left[\frac{v^3}{R \bar{w}} \right]$$

η – parametar koji ovisi o turbulentnim značajkama toka (cca $0,024 \text{ kg s}^2/\text{m}^4$)

v – brzina toka vode [m/s]

R – hidraulički radijus [m]

\bar{w} – srednja hidraulička krupnoća [m/s]