

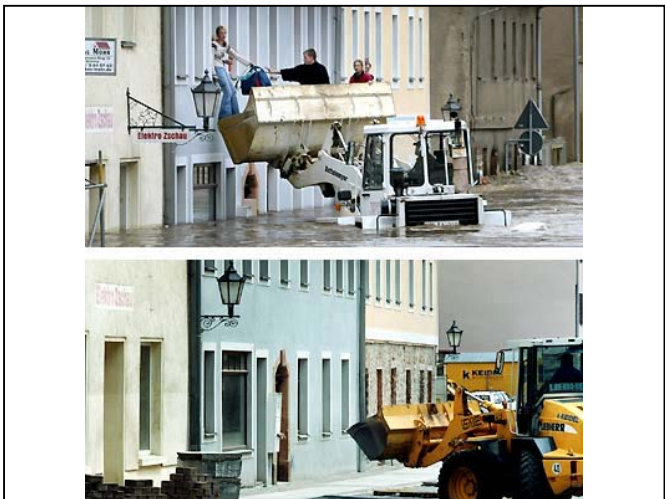
2.1 GRAĐEVINE ZA OBRANU OD POPLAVA



Poplava u Pojatnom, Zaprešić, 1989.



Poplave u Europi 2002



U vodnogospodarskom smislu obrana od poplava spada u područje zaštite od štetnog djelovanja voda. To područje, osim obrane od poplava, obuhvaća i uređenje vodotoka i drugih voda (građenje, održavanje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i vodnih građevina za melioracijsku odvodnju, održavanje vodotoka i sl.), obranu od leda, zaštitu od erozije i bujica, uklanjanje posljedica i melioracijsku odvodnju.

Postoje različiti pristupi sprječavanja šteta koje nastaju od poplava. Prvi pristup „apsolutne“ zaštite prema kojem se izgrađenim sustavima osigurava područje od poplava za hidrološke događaje velikih povratnih perioda 100 do 1000 pa i više godina. Za funkcioniranje sustava tada odgovaraju državne ustanove i moraju namiriti svaku štetu nastalu zbog njegovog otkazivanja. Drugi je pristup podijeljene odgovornosti, prema kojem se poplavi pridružuje vjerojatnost njene pojave. Korisnik zemljišta dužan se osigurati protiv šteta nastalih zbog pojave poplava kod osiguravajućeg društva. Premija osiguranja tada ovisi o veličini rizika da će do poplave doći, a na korisniku zemljišta je da procjeni da li mu se isplati takav aranžman. Taj drugi pristup uglavnom se koristi u slučajevima kada se radi o zaštiti poljoprivrednog zemljišta i/ili kada sustav za zaštitu od poplava i njegovo održavanje premašuju vrijednost spriječenih šteta. Odgovor na pitanje da li se „isplati“ graditi sustav dobiva se izradom tehničko ekonomske analize koristi i troškova gdje su koristi spriječene štete.

Bez obzira kakav hidrotehnički sustav za obranu od poplava imamo, uvijek postoji vjerojatnost njenog pojavljivanja. Ta vjerojatnost ima dvojako porijeklo. Jedno se odnosi na vjerojatnost pojavljivanja hidrološkog događaja koji premašuje projektne uvjete temeljem kojih je projektiran i izgrađen sustav. Drugo porijeklo odnosi se na vjerojatnost otkazivanja pojedinih elemenata sustava. Otkazivanje elemenata sustava može se desiti zbog kvarova elektro strojarske i hidromehaničke opreme, ljudskog faktora ili pak radi rušenja ili nedopustivih deformacija građevina.

Hidrotehnički sustavi, sa svojim elementima - hidrotehničkom građevinama, grade se u pristupima pasivne i aktivne zaštite od poplava. Sustav za pasivnu zaštitu predstavlja zaštitu od poplavlivanja područja tako se utječe na sprečavanje posljedica. U tom pristupu, kada hidrološki događaj uzrokuje pojavu velikog vodnog vala, moramo ga propustiti koritom vodotoka na način da ne poplavi okolno područje. Sustavom aktivne zaštite od poplava utječe se na uzrok pojave poplava, a to je veliki vodni val. Raznim se zahvatima utječe na promjenu oblika vodnog vala, odnosno na njegovo „spljoštavanje“. Njegov se oblik mijenja vremenskom i/ili prostornom preraspodjelom vodnih količina.

Aktivnosti obrane od poplava obuhvaćaju:
izgradnju sustava
održavanje sustava
upravljanje sustavom
praćenje hidroloških pokazatelja
provođenje plana obrane od poplava

2.1.1. Građevine sustava pasivne zaštite od poplava (nasipi)

Nasipi su regulacijske građevine izvan glavnog korita kojima je svrha zaštita područja od plavljenja velikim vodama.

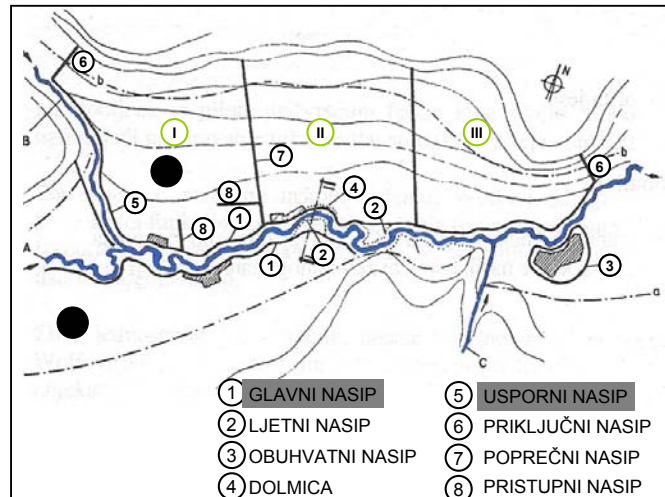
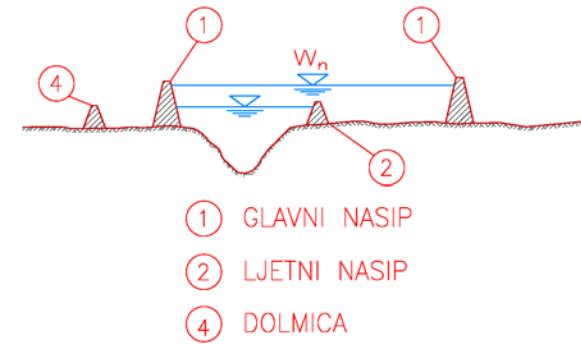
Prama funkcionalnim kriterijima za nasipe je potrebno definirati:

- trasu
- profil (visina krune, širina krune, nagibi pokosa, položaj i širinu berme)
- presjek (konstrukcija unutar profila -materijali, slojevi, debljine)

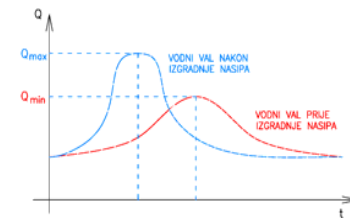
Trasa nasipa

- Određivanje trase nasipa je zahtjevna zadaća i u okviru ovog predmeta nećemo ulaziti u detaljnije analize. Složenost se ogleda u činjenici da odabir trase nasipa ovisi o nizu činbenika koje možemo svrstati u: tehničku kategoriju (hidrološko hidraulički, geodetski, geološki, namjena nasipa,...), prostorno plansku kategoriju (zauzeće prostora za razne namjene,...), u ekonomsku kategoriju (vrijednost zemljišta koje se brani, vrijednost zemljišta koje se žrtvuje, cijena izgradnje i održavanja, spriječenje štete, ...), kategoriju zaštita okoliša,...

- Regulacijski nasipi (formirano je korito za veliku vodu, pravilno protjecanje vode i pravilan pronos nanosa)
- Obrambeni melioracijski (voda teče nesmetano, ne obazire se utjecaj na pronos nanosa)
- Trasa (položaj) nasipa ovisi o njegovoj namjeni - vrsti



IZGRADNJOJ NASIPA SMANJUJU SE PRIRODNE INUNDACIJE

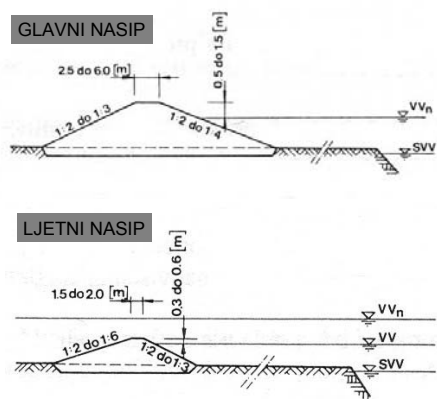


Profil nasipa

- Namjena nasipa
- Hidraulički proračun za VV
- Vrsta materijala za izradu nasipa
- Presjek nasipa (konstitutivni tip)
- Hidraulički proračun procjeđivanja
- Geomahanički proračun
- Trajanje visokih vodostaja

Presjek nasipa

- Konstrukcijom treba odolijevati hidrostatičkim i hidrodinamičkim djelovanjima vode

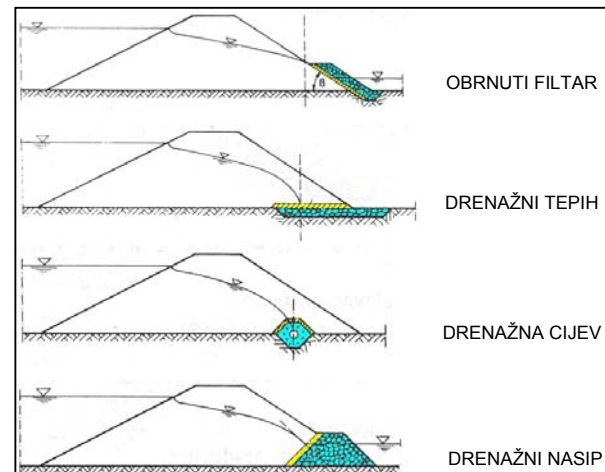
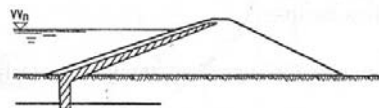
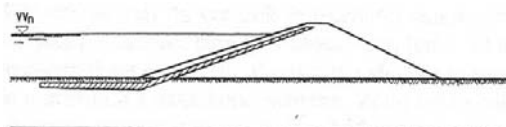
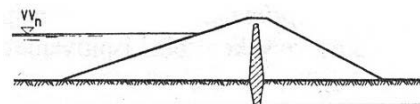
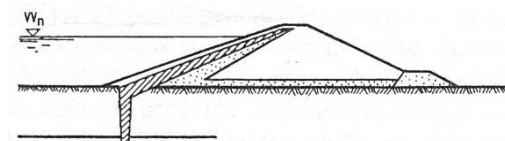
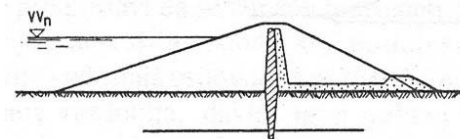
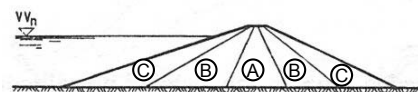
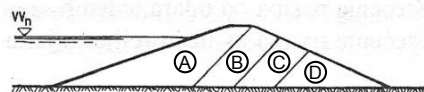
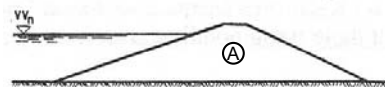


Djelovanje vode na nasip

Hidrostatičko djelovanje

Hidrodinamičko djelovanje

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Nastajanje kliznih ploha • Slijegavanje nasipa • Procjeđivanje vode kroz tijelo nasipa i temeljno tlo (ispiranje sitnih čestica) • Uzdizanje i pucanje nasipa ako je temeljen na tlu koje mijenja volumen s promjenom vlažnosti | <ul style="list-style-type: none"> • Oštećenje fluvijalnom erozijom uslijed nepovoljnog trasiranja • Oštećenje uslijed valova • Oštećenje uslijed udara santi leda • Oštećenje uslijed prelijevanja |
|--|---|



Vodni režim

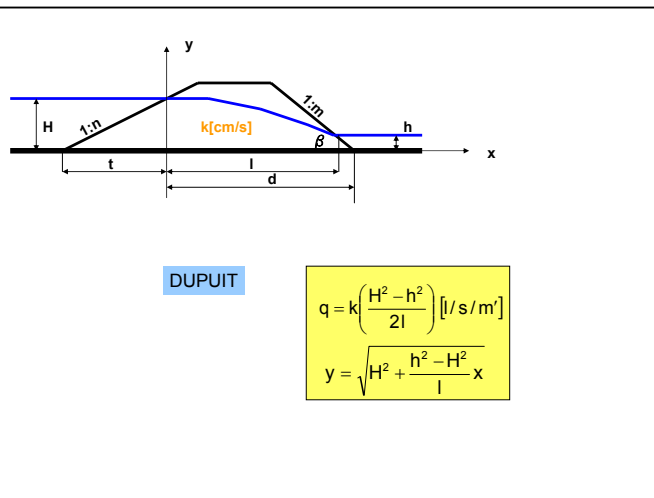
Vodni režim prikazuje slijed stanja vode. Uključuje cjelokupnu dinamiku stalnih promjena:

- kvantitativnih osobina voda
- kvalitativnih osobina voda
- dinamiku odnosa voda s okolinom

Svrha reguliranja v.r.

Svrha reguliranja vodnoga režima je ostvarivanje mogućnosti svrsihodnijeg gospodarenja prirodnim vodnim resursima, zaštiti od štetnog djelovanja voda kao i zaštiti voda od onečišćenja. Ona se postiže:

- usaglašavanjem prosječnog protoka u vodotoku s dinamikom potreba korisnika,
- ublažavanjem velike vode i
- povećanjem (oplemenjivanjem) malih voda



2.1.2. Građevine sustava aktivne zaštite od poplava

razine reguliranja vodnoga režima

sa svrhom (ovisno o stupnju izgrađenosti sustava):

- zaštite od velikih voda
- osiguranja biološkog minimuma
- osiguranja vodnogospodarskog minimuma
- optimalizacije vodnog sustava

dijelovanje na promjenu vodnoga režima

(u sklopu vodnogospodarskih zahvata)

- uređenje sliva
- uređenje korita vodotoka
- izgradnja retencija
- izgradnja akumulacija
- izgradnja oteretnih kanala

Uređenje sliva

- bazna aktivnost kojom se utječe na dulje zadržavanje vode izvan vodotoka, pa time i na ujednačenost vodnoga režima (ne rješava probleme vezane uz dinamiku današnjih potreba za vodom).

Uređenje korita vodotoka

Građevine na regulaciji korita imaju uglavnom negativan utjecaj na promjenu vodnoga režima

povećavanje propusne moći – smanjenje retencijskih sposobnosti korita

(povećanje maksimalnih protoka, smanjenje trajanja vodnih valova, smanjenje minimalnih protoka nizvodno od zahvata)

neujednačavanje vodnoga režima

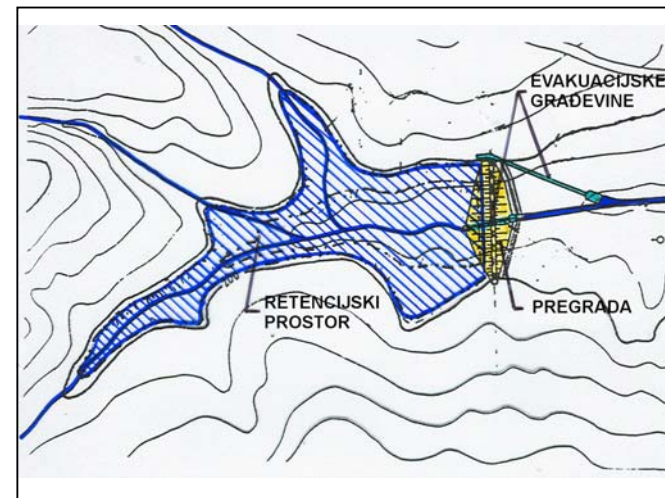
Promjena vodnog režima je samo posljedica regulacije korita i može negativno utjecati na poplave nizvodno od zahvata.

Retencije

Uređeno područje u slivu vodotoka predviđeno za vremenski kraće zadržavanje vode u svrhu zaštite od poplava.

Retencijama se regulira vodni režim vodotoka.

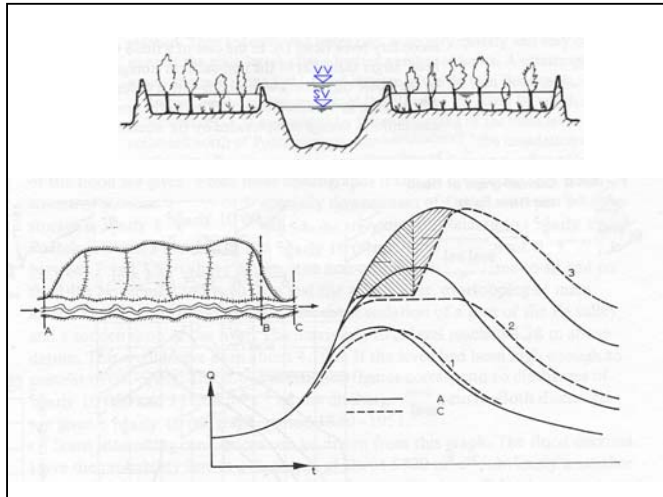
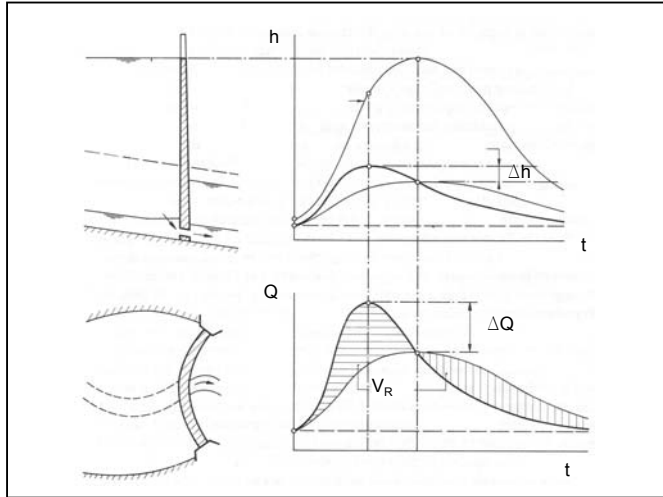
Učinak retencije se očituje smanjivanjem maksimalnog protoka koji prolazi vodotokom na nizvodnom području i produljivanjem trajanja velikih voda (isti volumen vode se kroz vodotok propušta dulje vrijeme).



Tipovi retencija

- Čelne retencije
- Bočne retencije





Punjenje i pražnjenje bočnih retencija

- Preljevi
- Otvori u nasipima
- Rušenje privremenih nasipa
- Ustave

Veličina retencije ovisi o:

- Hidrološkim značajkama
- Raspoloživom prostoru za retenciju
- Kapacitetu korita nizvodno

Akumulacije

- U hidrotehničkom smislu to su građevine koje služe duljem zadržavanju vode u za to predviđenom prostoru. Svrha im je vremenska preraspodjela vode sliva koji joj gravitira.
- Najdjelotvornije reguliranje vodnoga režima.

Razine reguliranja vodnoga režima akumulacijama

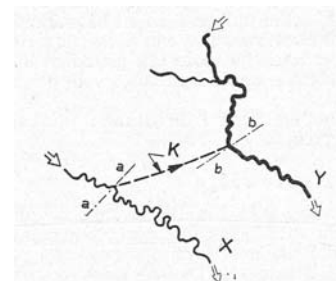
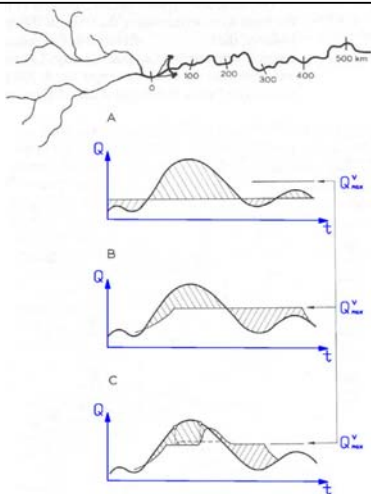
- zaštita od velikih voda
- obogaćivanje malih voda
- osiguravanje biološkog minimuma
- osiguravanje vodnogospodarskog minimuma

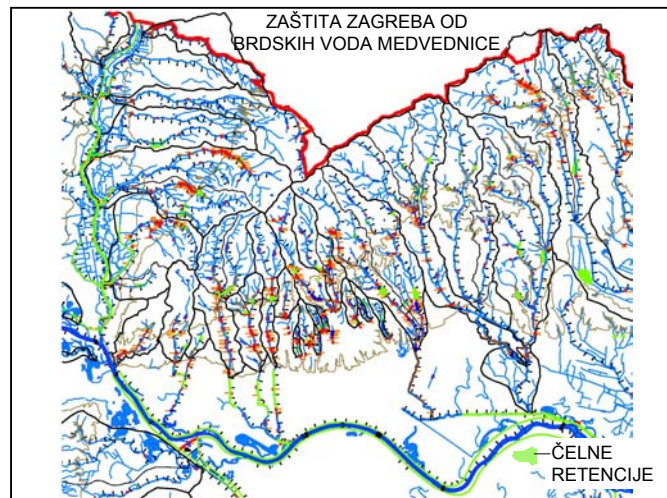
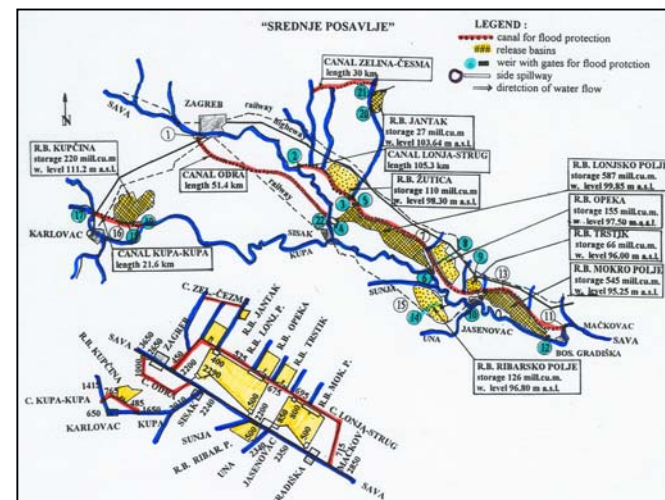
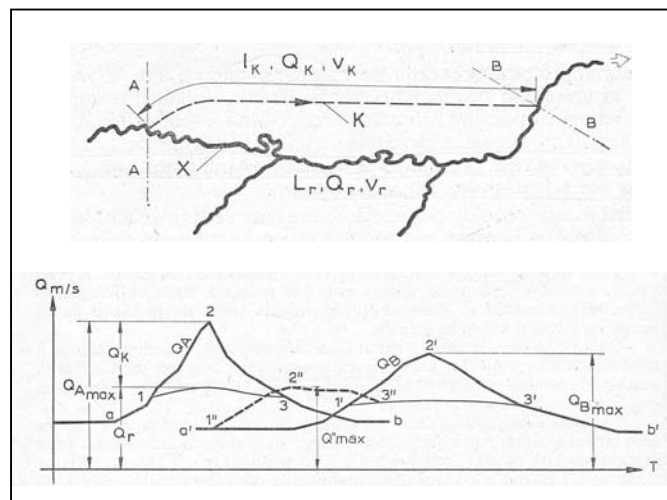
Veličina akumulacije ovisi o:

- Hidrološkim značajkama
- Raspoloživom prostoru za akumulaciju
- Kapacitetu korita nizvodno
- Potrebama korisnika

Oteretni kanali

- Služe zaštiti područja od velikih voda (spojni kanali - obogaćivanje malih voda vodama drugoga sliva).
- Učinak oteretnih kanala na šticheno područje ogleda se u smanjivanju veličine maksimalnog protoka od prirodnog uz isto trajanje.





2.2 GRAĐEVINE ZA UREĐENJE VODNOG TOKA

Definicije regulacija vodotoka

Regulacije prirodnih vodotoka su skup gradnji i mjera kojima se mijenjaju prirodne osobine na vodotoku i njegovom slivnom području radi:

- što racionalnijeg korištenja voda,
- što efikasnije zaštite od štetnog djelovanja voda iz vodotoka i
- što efikasnije zaštite vodotoka od zagađenja.

Rješavanje zadataka regulacija vodotoka

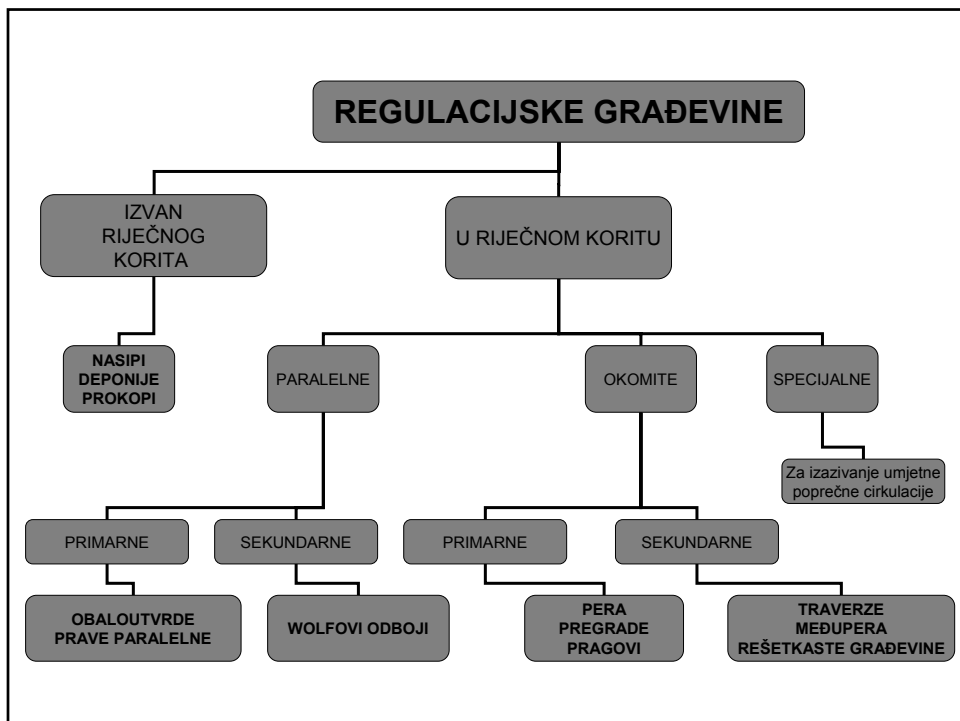
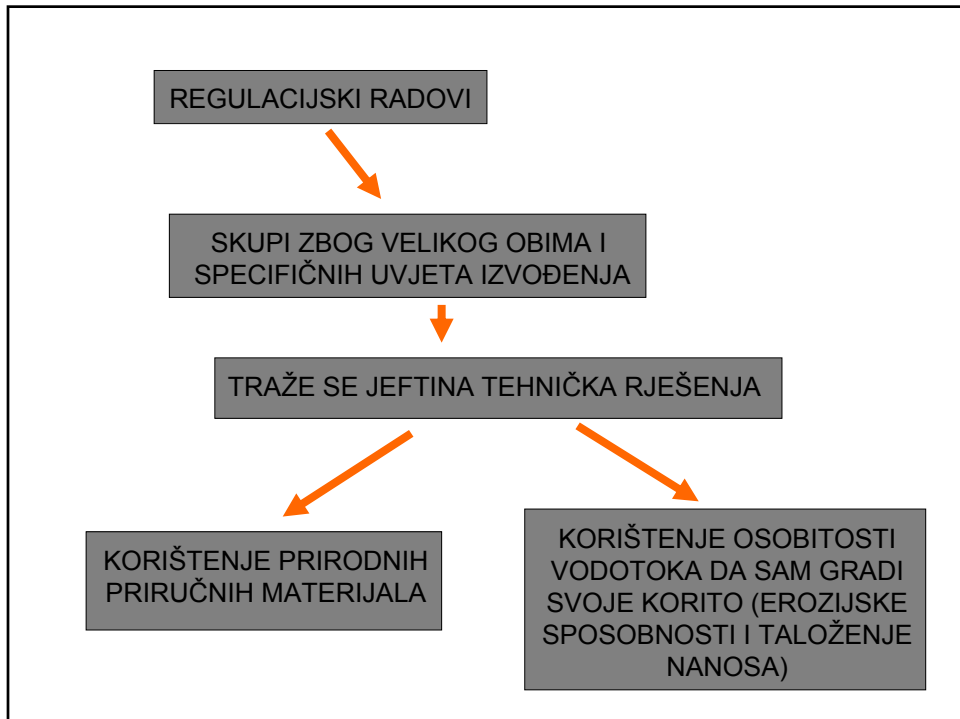
- Prirodni vodotoci su dio prirode sa svojim **zakonitostima**.
- Uspješnost rješavanja inženjerskih zadataka vezana je uz **stupanj razumijevanja** prirode vodotoka.
- Nasilno rješavanje uvjetuje **žestok odgovor**, rezultira neracionalnim i skupim rješenjima.







- Vodotocima se kreće voda i nanos - treba izučiti zakonitosti tečenja vode (i nanosa) u otvorenim vodotocima.
- Vodotok sam formira i erodira vlastito korito - treba izučiti zakonitosti procesa formiranja korita, erozijskih procesa i zakonitosti pronosa nanosa.
- Vodotoci nastaju u sklopu fenomena hidrološkog ciklusa - na njih se prenose hidrološke zakonitosti koje treba izučiti.



Odabir tipa regulacijskih građevina

Osnovne namjene regulacija:

- Povećanje erozije korita i njegovo produbljavanje
- Omogućavanje pronosa nanosa bez smetnji (pravilan pronos nanosa)
- Smanjenje erozije i izazivanje taloženja na određenim mjestima
- Povećanje protočnosti korita
- Kombinacija prethodnih namjena

Povećanje ispiranja

- Suženje protočnog presjeka
- Povećanje uzdužnog pada

Pravilan pronos nanosa

- Ispravno trasiranje regulacijskih linija
- Održavanje traženih brzina toka

Smanjenje erozije

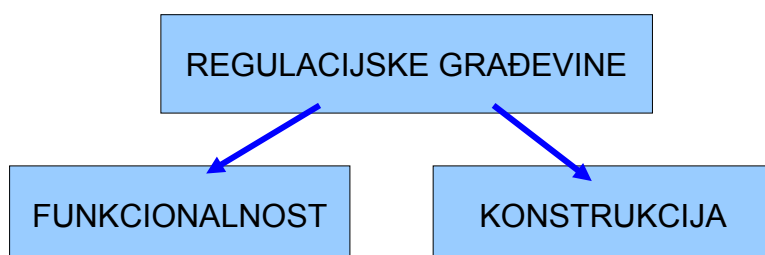
- Proširenje protočnog presjeka
- Smanjenje uzdužnog pada
- Povećanje otpora tečenju
- Lokalna erozija – odmicanje matice vodotoka

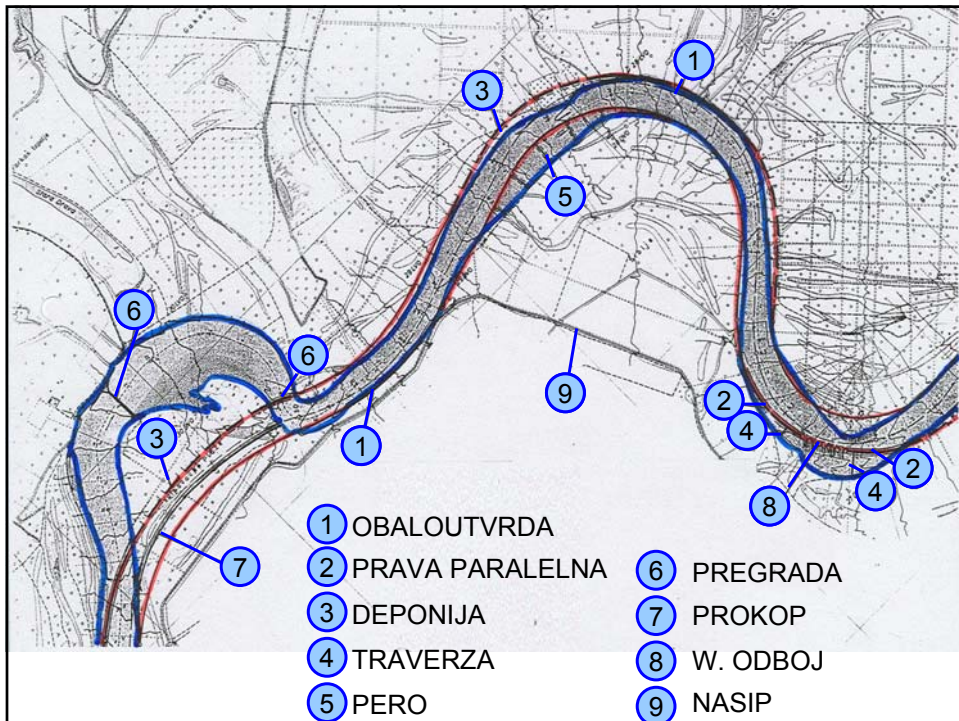
Povećanje protočnosti

- Uklanjanje naglih promjena presjeka korita
- Povećanje proticajnog profila
- Povećanje uzdužnog pada

REGULACIJSKIM GRAĐEVINAMA PRVENSTVENO TREBA UKLONITI UZROKE NEPOŽELJNIH PROMJENA U KORITU, A NE SANIRATI POSLJEDICE.

PREDUVJET ZA TO JE PRAVILNO VOĐENJE REGULACIJSKIH LINIJA.

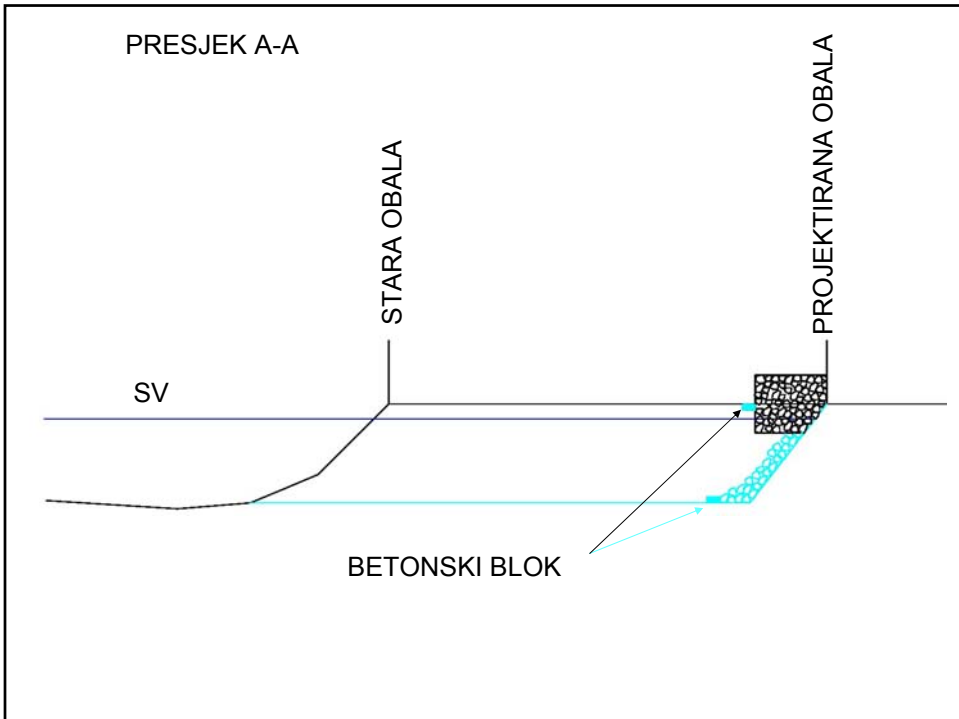
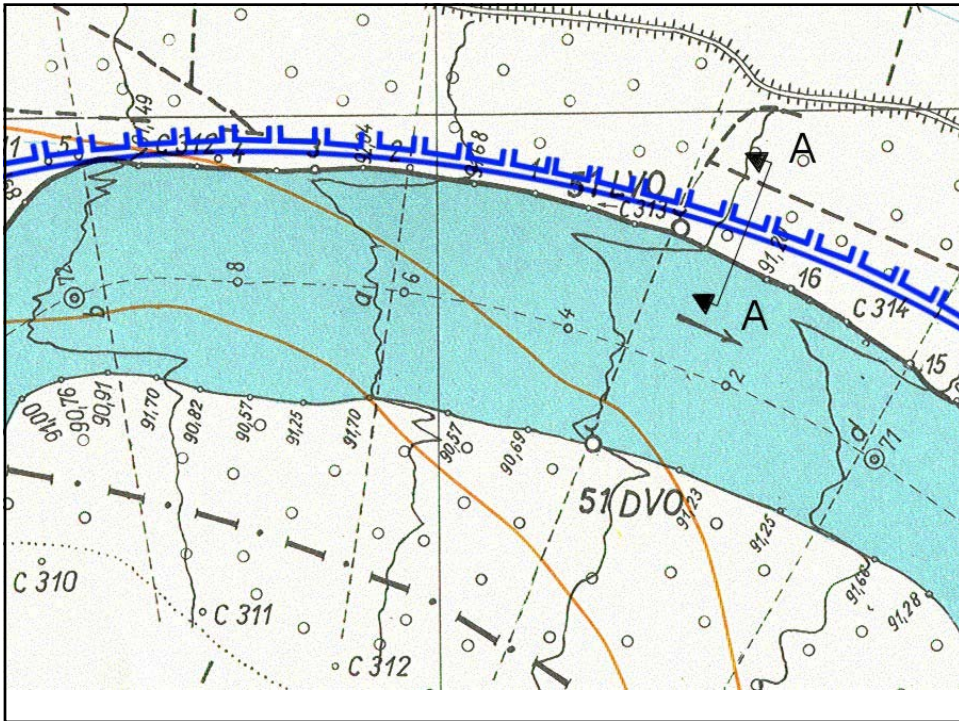




DEPONIJE (kamene naslage)

Regulacijske građevine izvan glavnog korita čija je namjena sprečavanje daljnje erozije obale.

(stabilizacija obale na projektiranom položaju)

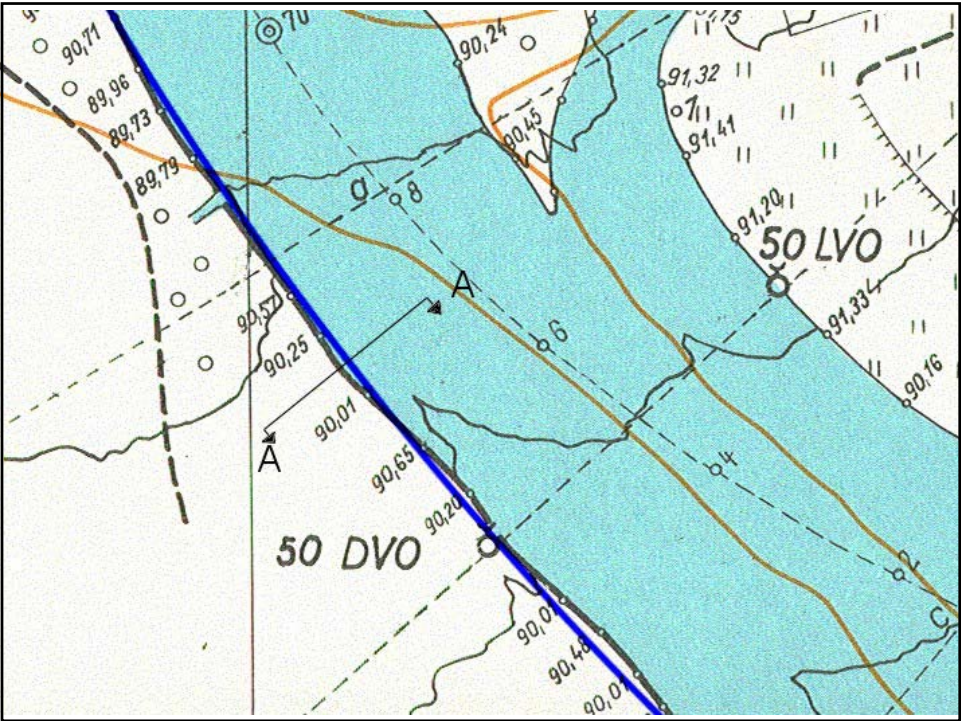


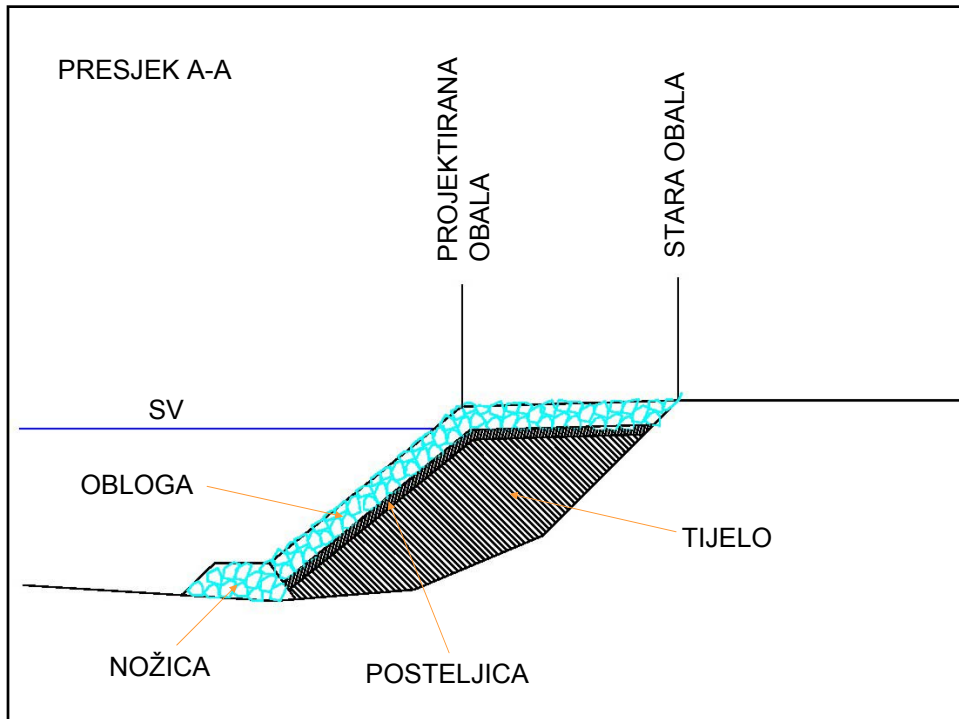
OBALOUTVRDE

Regulacijske građevine u koritu vodotoka kojima se obale štite od erozije, te se njima usmjerava vodni tok uz obalu.

OBALOUTVRDE

Regulacijske građevine u koritu vodotoka kojima se obale štite od erozije, te se njima usmjerava vodni tok uz obalu.





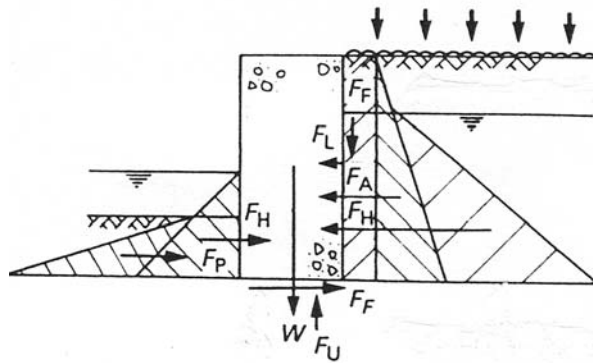
Tipovi obaloutvrda

VERTIKALNE KONSTRUKCIJE

- gravitacijske konstrukcije (beton i armirani beton, gabioni, armirana zemlja)
- AB L-zidovi, žmurje i dijafragme (čelično žmurje, armiranobetonsko žmurje, armiranobetonske dijafragme)

KOSE KONSTRUKCIJE

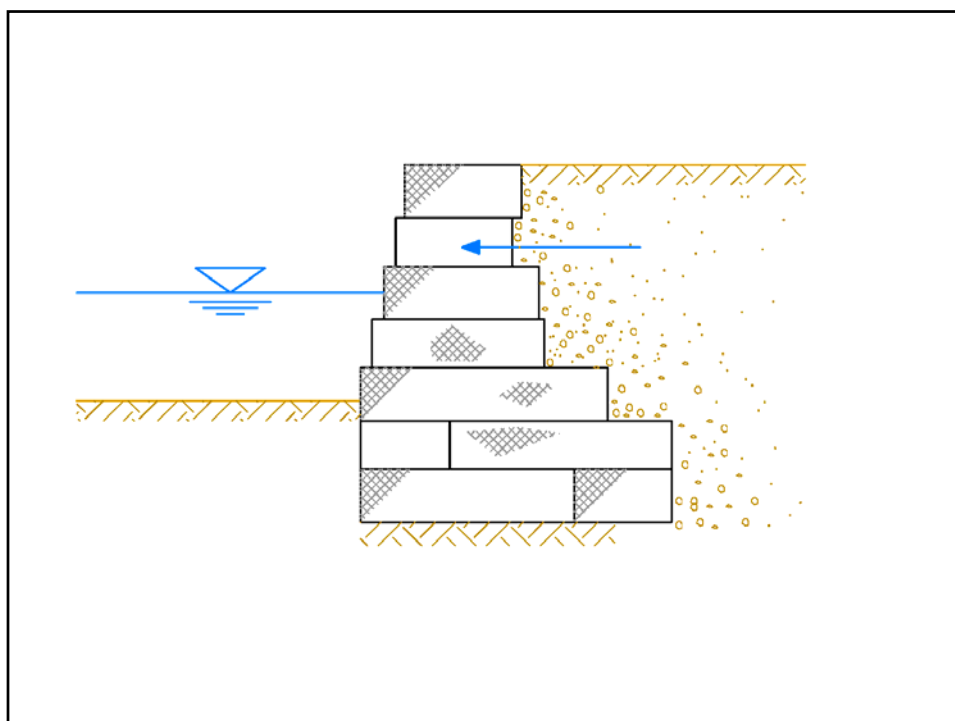
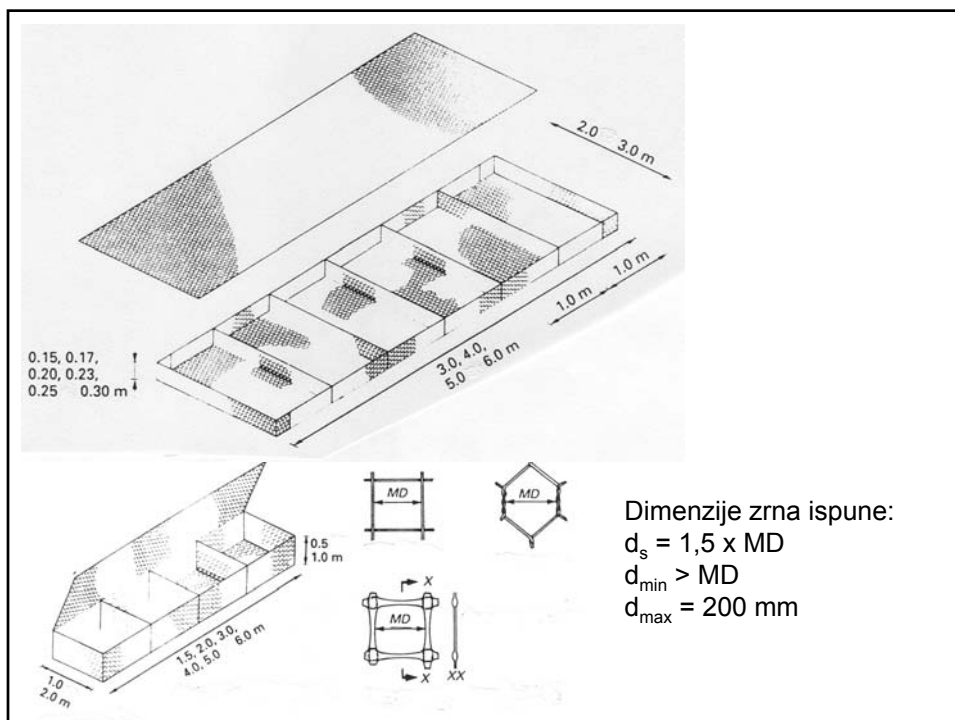
- zaštita obala prirodnim materijalima (biološke vodogradnje)
- konstrukcije od kamena i gabiona
- betonske konstrukcije
- geotekstil i geomembrane
- asfaltne konstrukcije



- Vlastita težina zida W
- Trenje F_F
- Sila pasivnog tlaka F_P
- Povećanje sile aktivnog tlaka zbog korisnog opterećenja F_L
- Sila aktivnog tlaka F_A
- Hidrostatska sila F_H
- Uzgon F_U

Gravitacijske konstrukcije od gabiona

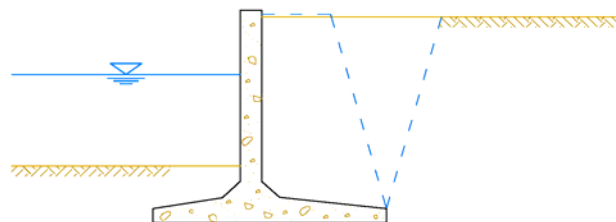
- prilagodljive i propusne
- košare i madraci (čelične pletene ili zavarene žice zaštićene od korozije cinčanjem ili slojem PVC-a, polimerne mreže)
- ispunjena od kamenog materijala (trajni, otporan na trošenje, te utjecaje vode smrzavice i atmosferilija)

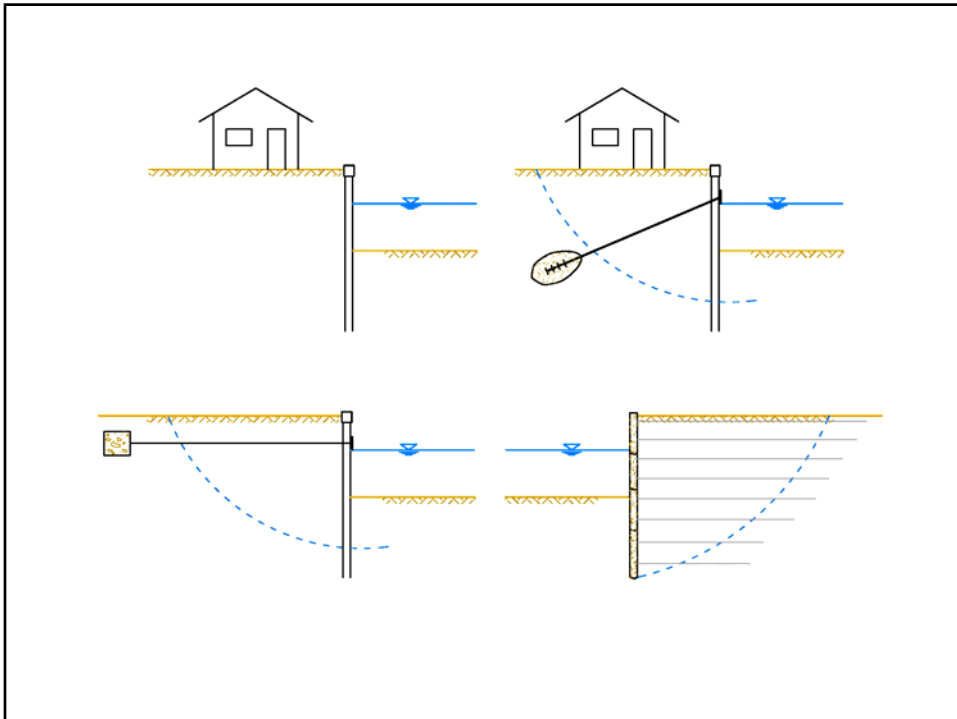






AB L-zidovi, žmurje i dijafragme





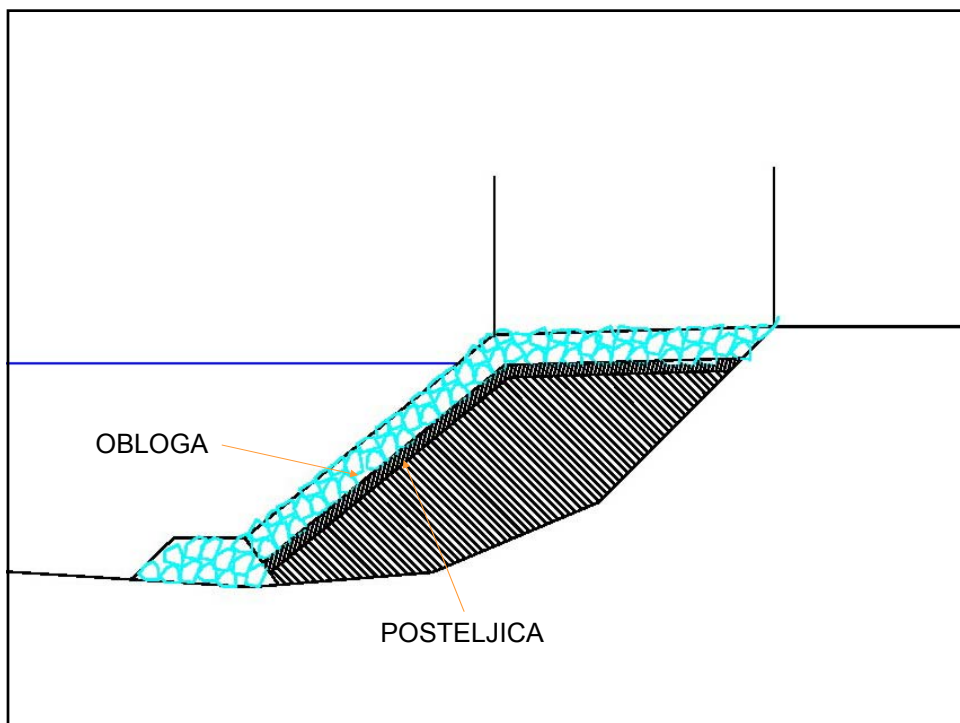
Kose konstrukcije

OBLOGA

- Štiti konstrukciju od izravnih erozijskih sila vode (strujanje, valovi)
- Vodopropusnost
- Fleksibilnost (podatnost – prilagodivost deformacijama)

POSTELJICA

- Filtacija
- Dreniranje
- Zaštita od ispiranja tokom paralelno s pokosom
- Izravnavanje temeljnog tla - temelj za ugradnju obloge
- Odvajanje konstrukcije od temeljnog tla
- Sekundarna zaštita u slučaju gubitka dijela obloge
- Disipacija energije unutrašnjeg toka vode

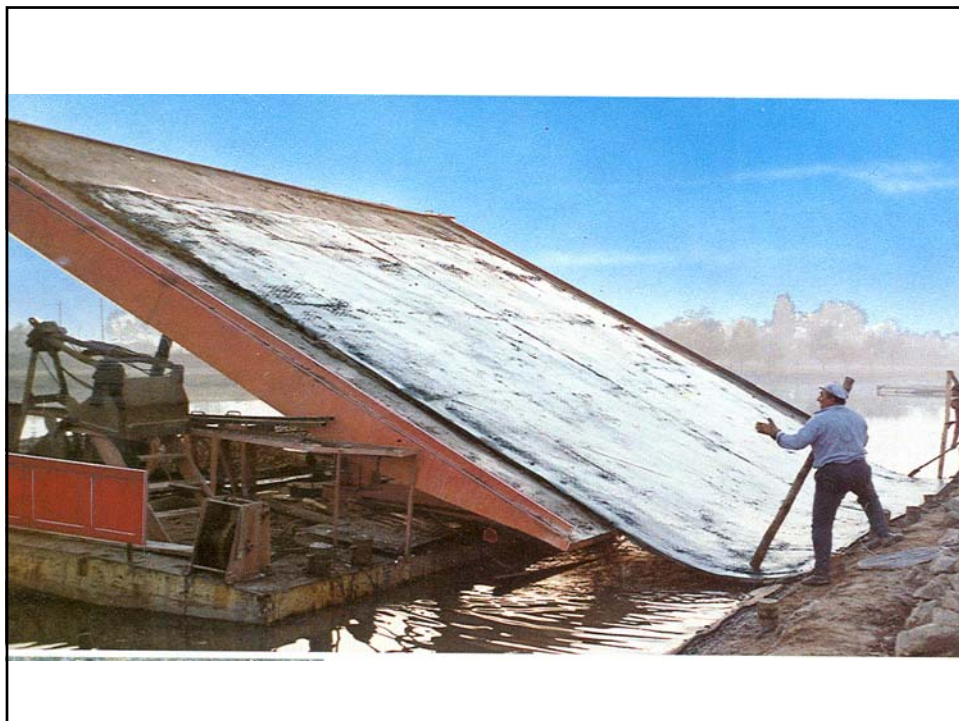
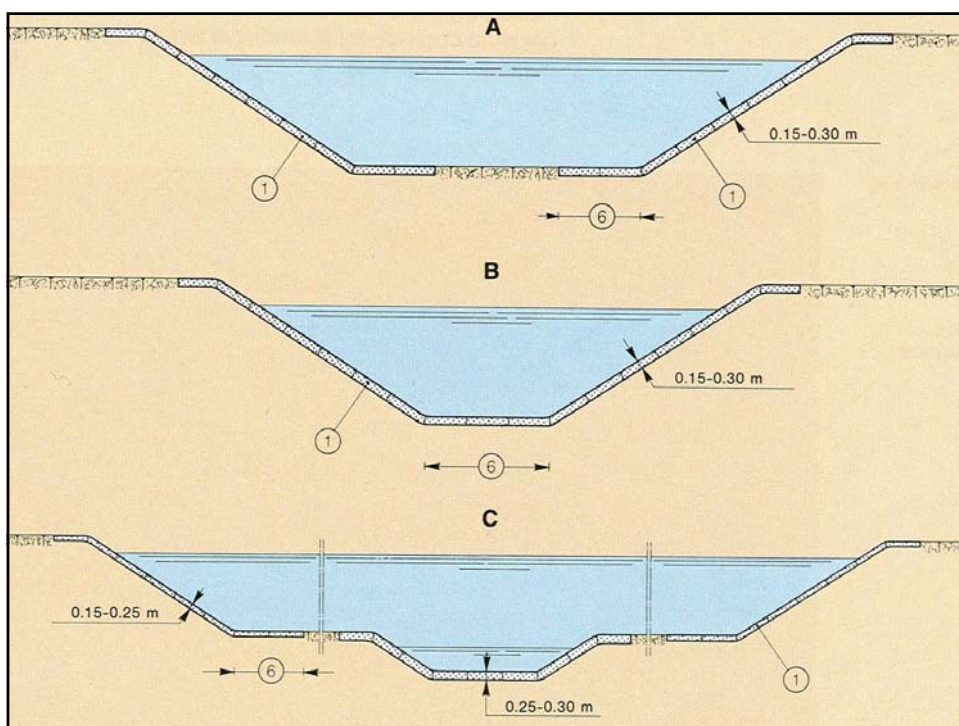


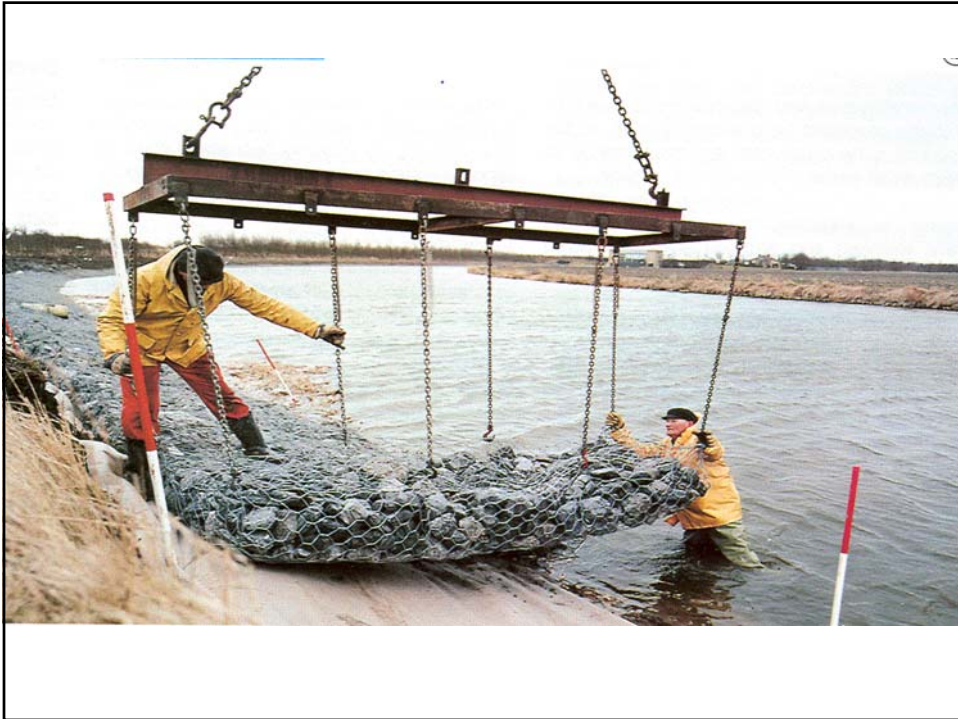
Tipovi obloge

- Kamena
- Betonska
- Geotekstil
- Asfalt

Kamena obloga

- Kamenomet (rip-rap)
- Rukom slagana obloga (roliranje)
- Zidana obloga u mortu
- Kameni blokovi povezani asfaltnim mastiksom
- Gabionski madraci





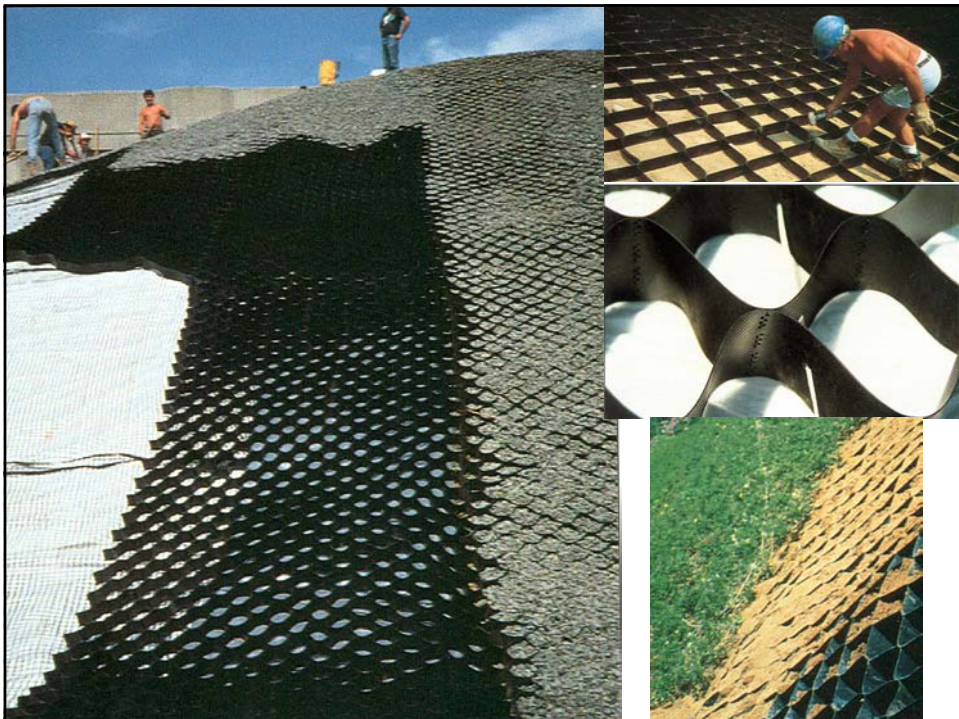
Betonska obloga

- Montažni betonski blokovi (slobodno položeni)
- Uklješteni betonski blokovi
- Povezani betonski blokovi (užadima)



Geotekstil

- Zatravljeni kompozitni madraci
- Trodimenzionalni madraci i mreže
- Dvodimenzionalne mreže

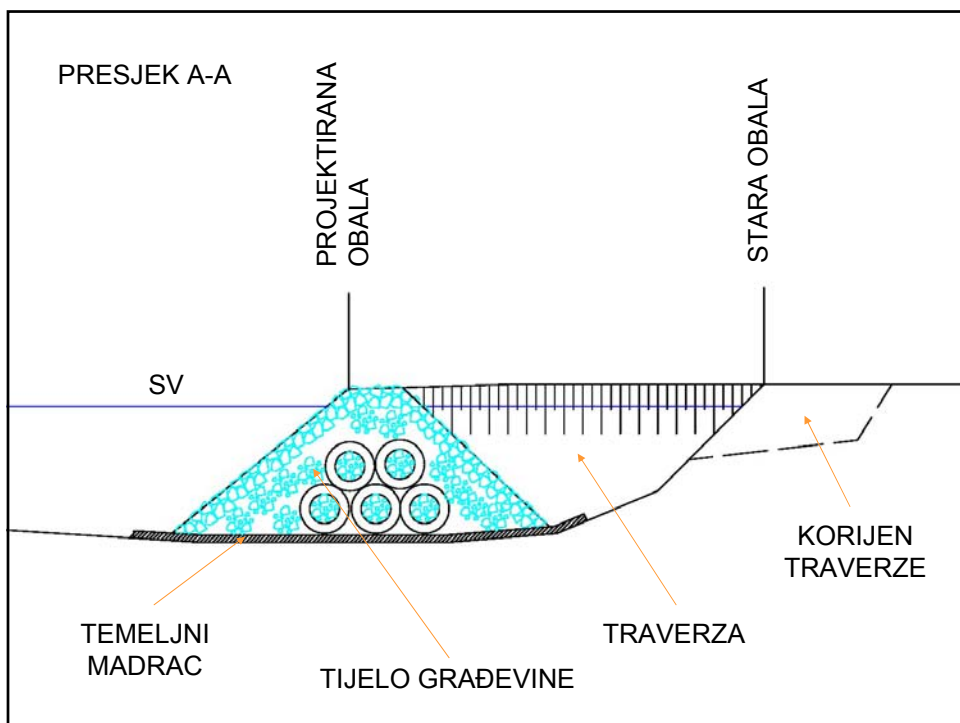
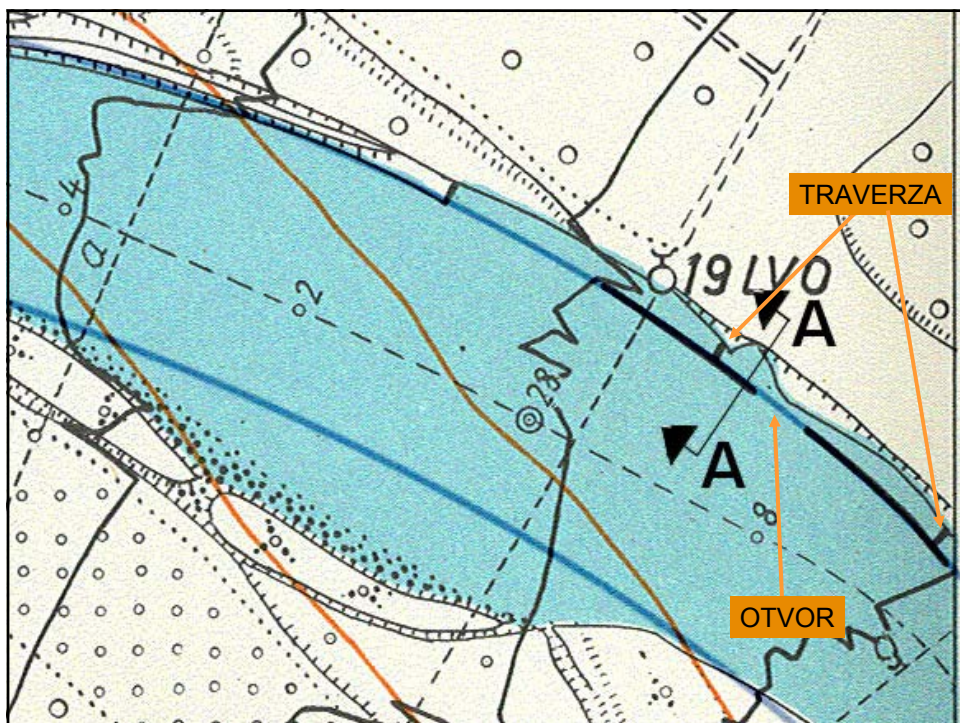


Asfalt

- Asfaltbeton (zahtjev nepropusnosti)

PRAVE PARALELNE GRAĐEVINE (uzdužne)

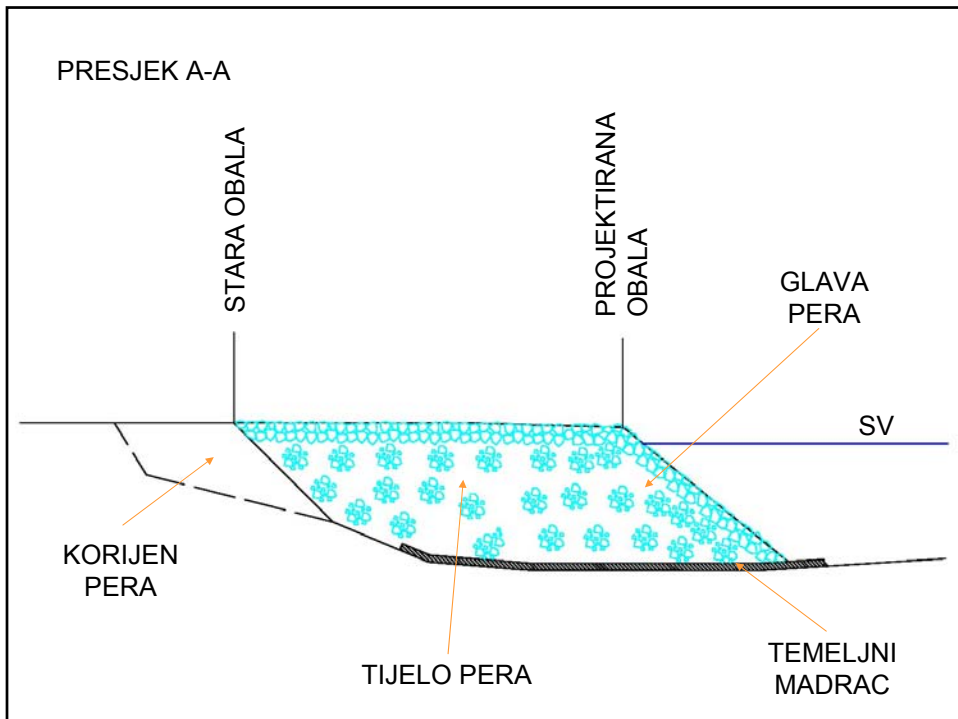
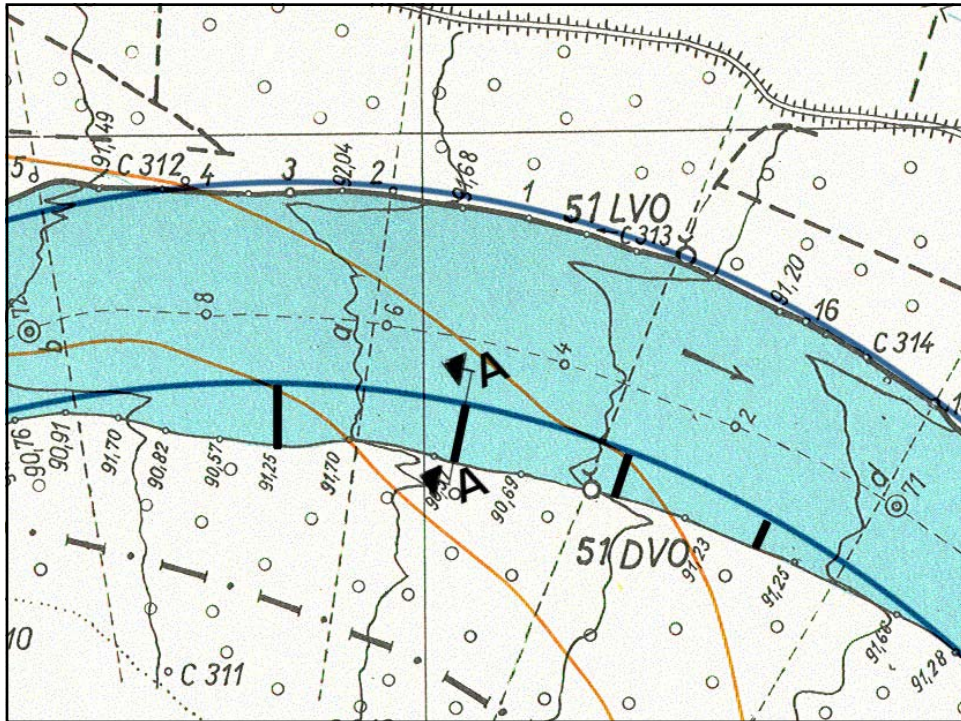
Regulacijske građevine u riječnom koritu kojima se (uglavnom na konkavnim stranama) obala premiješta u korito rijeke.

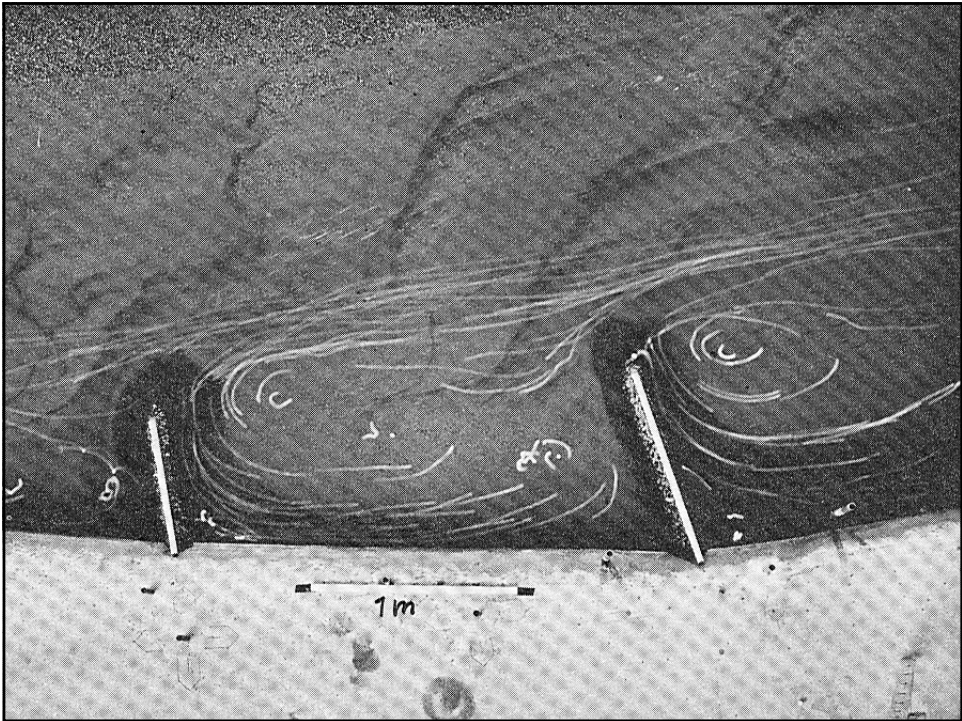




REGULACIJSKA PERA

Regulacijske građevine u riječnom koritu
kojima se obala premiješta u korito rijeke.









Usporedba paralelnih građevina i pera

PARALELNE GRAĐEVINE

PREDNOSTI

- Ujednačeno tečenje
- Kontinuirano definiranje regulacijske linije
- Nema generiranja lokalnih erozija u koritu
- Ujednačen pronos nanosa

MANE

- Veliki troškovi građenja
- Teško i skupo ispravljanje grešaka
- Poteškoće u izvođenju (temeljenje)
- Nasipavanje staroga korita je usporeno
- Potrebna jaka osiguranja nožice građevine

Usporedba paralelnih građevina i pera

PERA

PREDNOSTI

- Laka prilagodba i ispravljanje pogrešaka
- Efikasno nasipavanje staroga korita
- Manji troškovi izgradnje

MANE

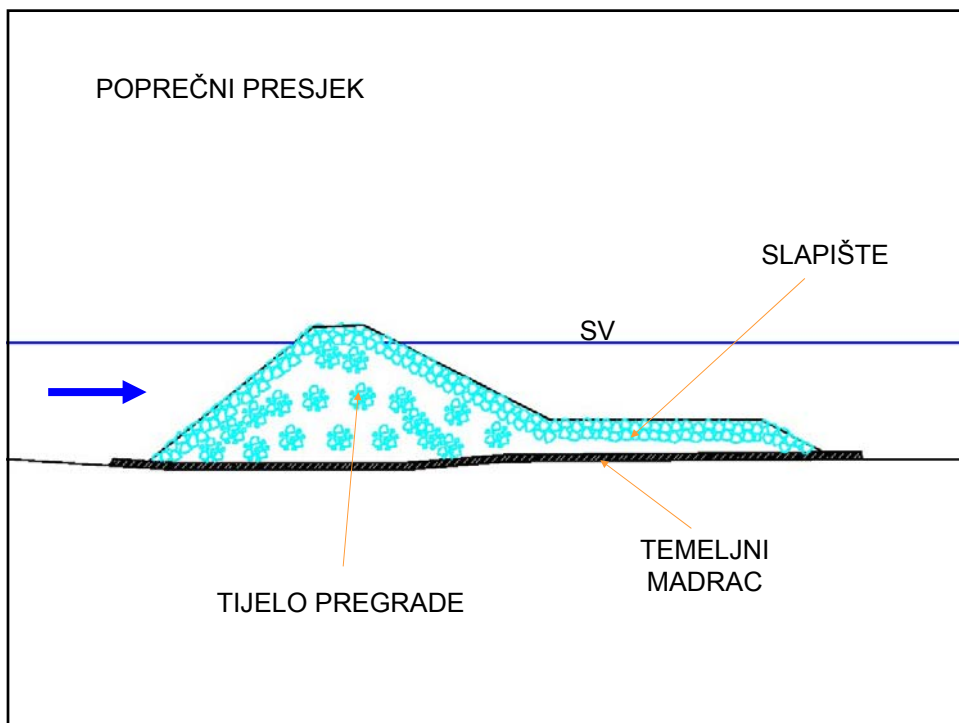
- Izazivanje poprečnih strujanja u koritu vodotoka
- Česte havarije kod velikih voda (prelijevanje preko pera)
- Definiranje regulacijske obale je točkasto (a ne kontinuirano)



PREGRADE

Pomoćne regulacijske građevine kojima se pregrađuju suvišni rukavci ili napušteno korito.

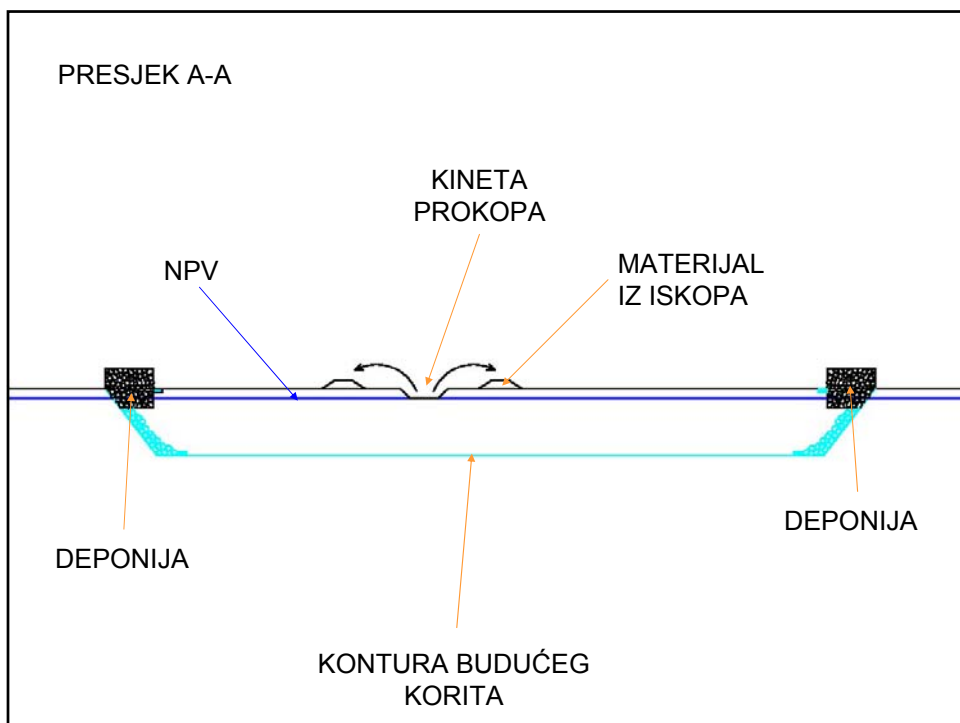
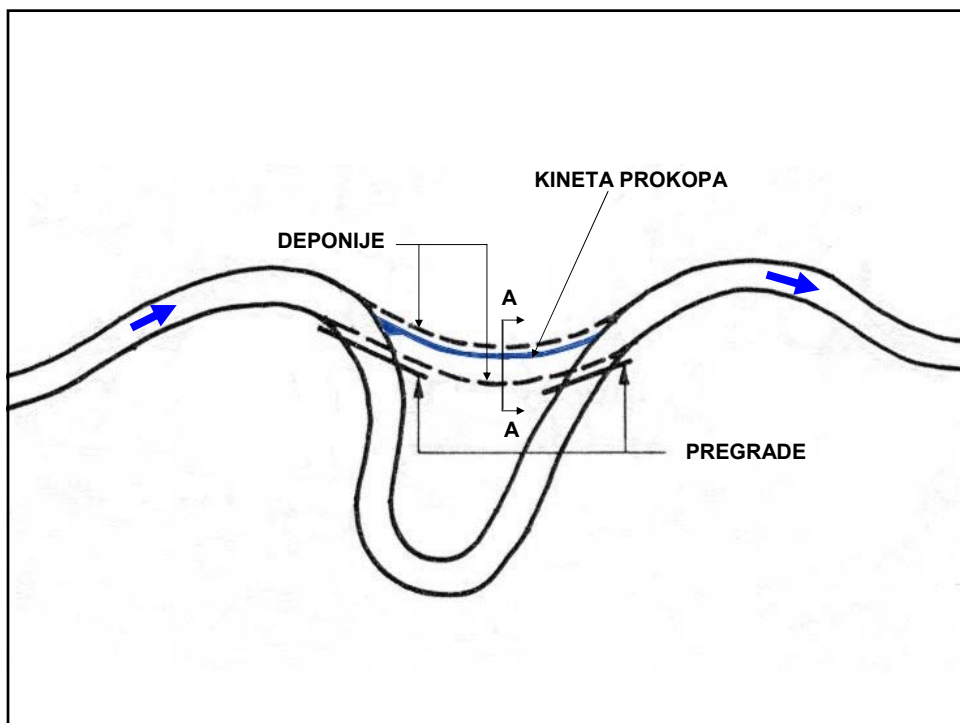




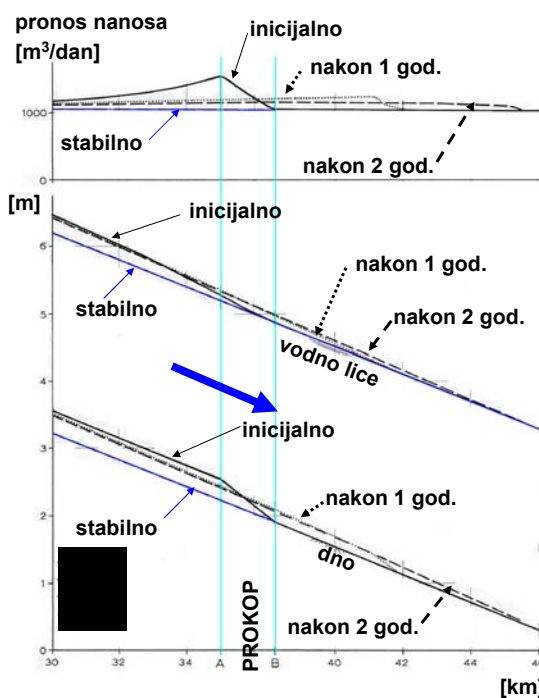
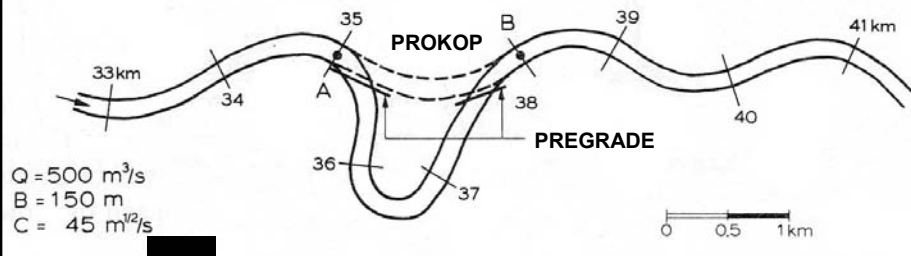


PROKOPI

Regulacijske građevine (zahvati) presjecanja meandra kojima se skraćuje tok rijeke.



SKRAĆENJE DIONICE ZA 1600 m



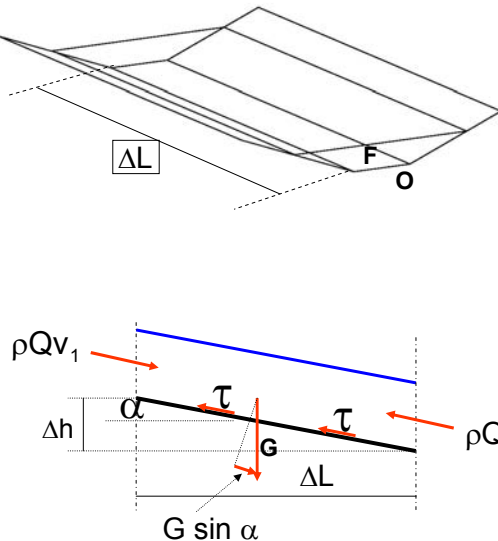
PRORAČUNI STABILNOSTI KORITA

- Globalna stabilnost korita
- Lokalna stabilnost korita

Pristupi proračunu globalne stabilnosti korita

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

Dopuštena posmična napreznja ("vučna sila vode")



$$\rho Q v_1 - \int_A \tau \, dA + G \sin \alpha - \rho Q v_2 = 0$$

za $Q = \text{const}$; $v_1 \approx v_2$;

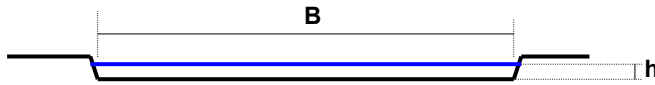
$$\bar{\tau} \cdot \Delta L = G \sin \alpha$$

$\bar{\tau}$ srednje posmično napreznje po konturi

$$\sin \alpha \approx \tan \alpha = \frac{\Delta h}{\Delta L} = I$$

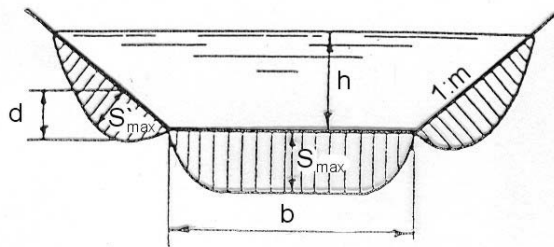
$$\bar{\tau} \approx \rho g R I = S$$

ZA ŠIROKA KORITA



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

RASPORED POSMIČNIH NAPREZANJA PO OMOČENOM OBODU



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

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

$$d = k_d h$$

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

Dopušteno posmično
naprezanje nevezanih čestica
(Meyer-Peter Müller)

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

STABILNO DNO

$$\tau_o > S$$

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

$$0,047(\rho_n - \rho_v)gd_s = k_s k_m \rho_v ghl$$

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

Granična brzina toka

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

PILARCZYK

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

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

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

Problemi lokalne stabilnosti korita

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

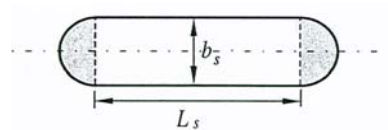
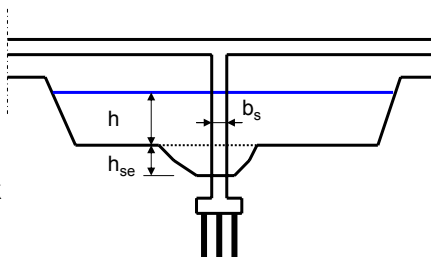
Dubina podlokavanja oko stupa

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

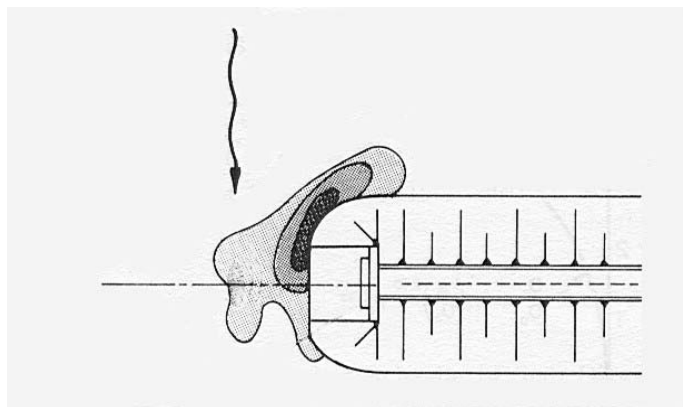
$C_1=2,0$ – kružni poprečni presjek

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

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



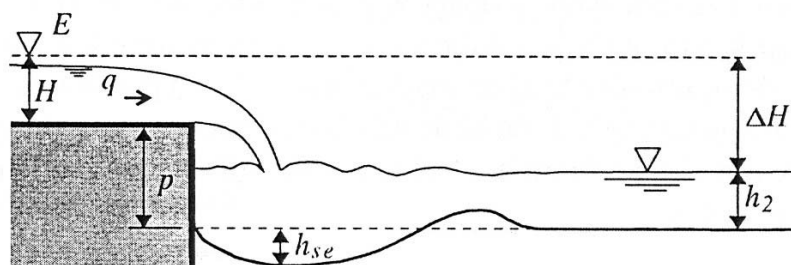
Podlokavanje u zoni poprečnih građevina



Utjecaj oštrog zavoja na promjenu veličine posmičnih naprežanja



Podlokavanje iza stepenice

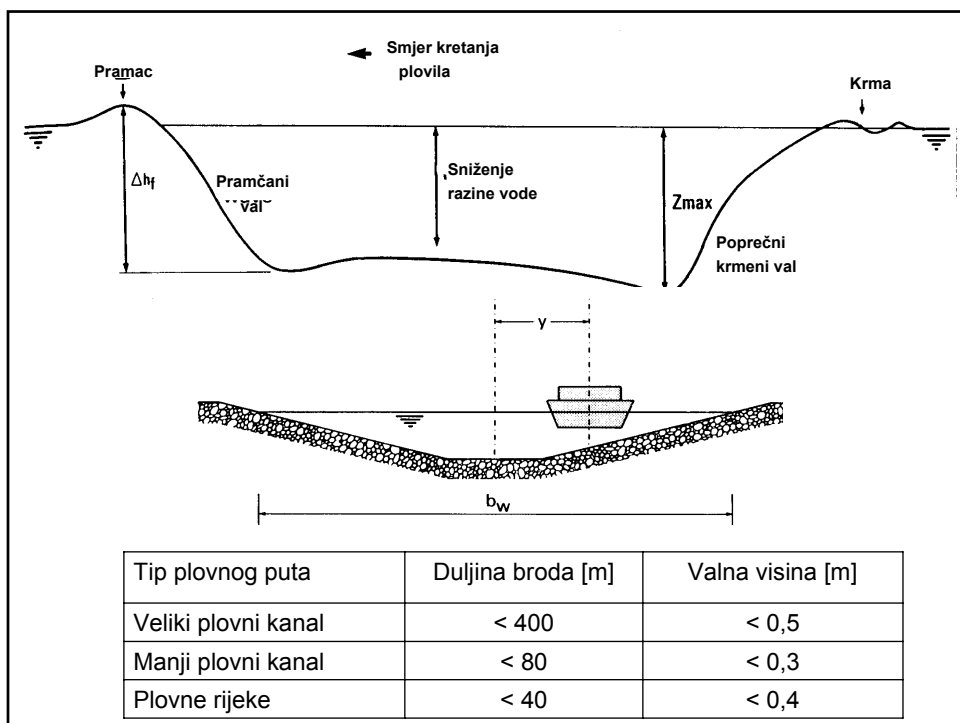
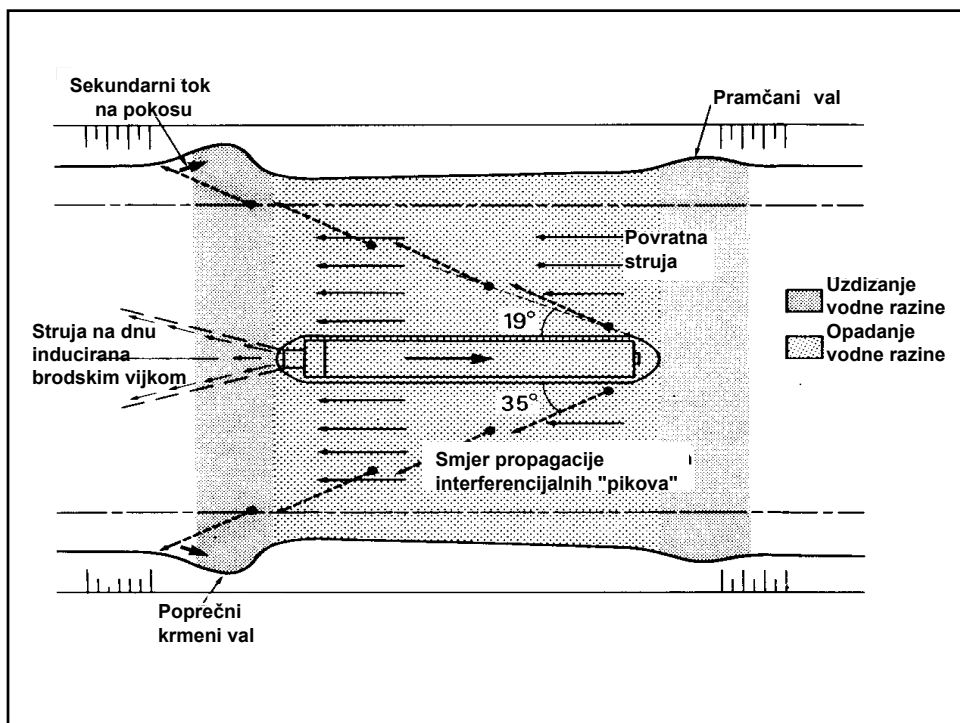


$$h_{se} + h_2 = 4,75 \Delta H^{0,20} q^{0,75} d_{90}^{-0,32} ; h, H [\text{m}] ; d [\text{mm}] ; q [\text{m}^2 / \text{s}]$$

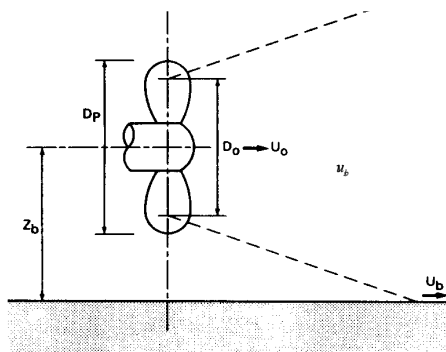
(Schoklitsch)

Opterećenje pokosa strujama uzrokovanim plovilima

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



Poriv vijka brodova



V_s [m/s]	0	1	2
U_b [m/s]	2,5	2,0	1,5

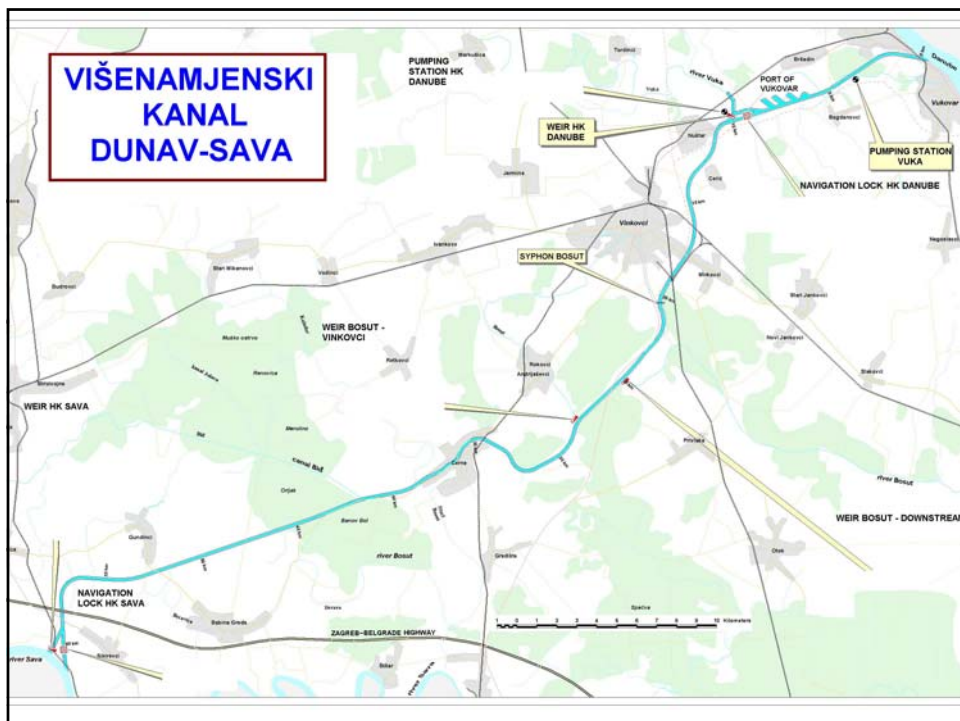
2.3 KANALI I GRAĐEVINE NA KANALIMA

Kanali su umjetni vodni tokovi. Njima se voda kreće ili stoji, ovisno o namjeni. Vrste kanala dijelimo prema namjeni.

- oteretni kanali – za obranu od poplava,
- kanali za navodnjavanje – za navodnjavanje (natapanje) poljoprivrednog zemljišta,¹
- odvodni kanali – za odvodnju s poljoprivrednog zemljišta,
- plovni kanali – za plovidbu,
- derivacijski kanali – za energetiku.
- Uz navedeno, kanali mogu služiti za vodoopskrbu, odvodnju otpadnih voda, tranzit riba, transport trupaca, itd



Jedan kanal može istodobno imati više namjena, što je naročito značajno s aspekta njegove ekonomske opravdanosti, budući da se troškovi izvedbe i održavanje kanala raspodjeljuju na više korisnika. Tada je riječ o višenamjenskim kanalima.



Projektiranje kanala je projektiranje novog umjetnog vodotoka određene namjene za projektni protoka, sa sljedećim elementima:

- trasom kanala,
- (poprečnim) profilom kanala,
- uzdužnim padom, odnosno graničnim vrijednostima (minimalno i maksimalno) dopuštenih brzina,
- obloženošću / neobloženošću pokosa i dna (korita) kanala,
- građevinama na kanalu.

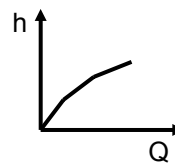
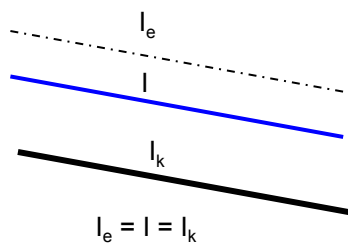
Tečenje u kanalima

Pretpostavke:

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

Hidraulički proračun se svodi na određivanje
konsumpcijskih odnosa za:

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



Chezy

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

Strickler

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

Manning

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

2.3.1. NAMJENA KANALA

- **Oteretni kanali** koriste se za zaštitu potencijalno ugroženog područja od poplava u slučajevima kada prirodni vodotok nema dostatan kapacitet preuzimanja velikog vodnog vala. Ovi su kanali često povezani s prostorima za privremeno zadržavanje velikih voda (retencija, akumulacija) odakle se uskladištene vode, nakon određenog vremena, kontrolirano ispuštaju u prirodni vodotok.

- **Kanali za navodnjavanje** jesu dovodni (glavni ili primarni) kanali koji dovode vodu namijenjenu navodnjavanju poljoprivrednih površina do mreže natapnih (sekundarnih) kanala kojima se voda distribuira po poljoprivrednoj površini.

- **Odvodni kanali** jesu kanali odvodnje poljoprivrednih površina, gdje se višak vode prihvaća mrežom kanala (nižeg) IV. reda i odvodi mrežom kanala (višeg) III. i II. reda, te upušta u recipijent – kanal I. reda. U tu grupu spadaju i tzv. obodni ili lateralni kanali koji sakupljaju vodu sa sliva izvan poljoprivrednih površina i na taj način ih štite od utjecaja vanjskih voda.

- **Plovni kanali** jesu umjetni unutrašnji plovni putevi koji nadopunjuju mrežu prirodnih unutrašnjih plovni puteva (rijeka, jezera). Stoga su čest pratilac ovih kanala visinske razlike koje treba savladati brodskim prevodnicama ili dizalima.

- **Derivacijski kanali** služe za dovod vode do hidroelektrana, odnosno oni se koriste da vodu namijenjenu proizvodnji električne energije dovedu do hidroelektrana.

2.3.2. TRASA KANALA

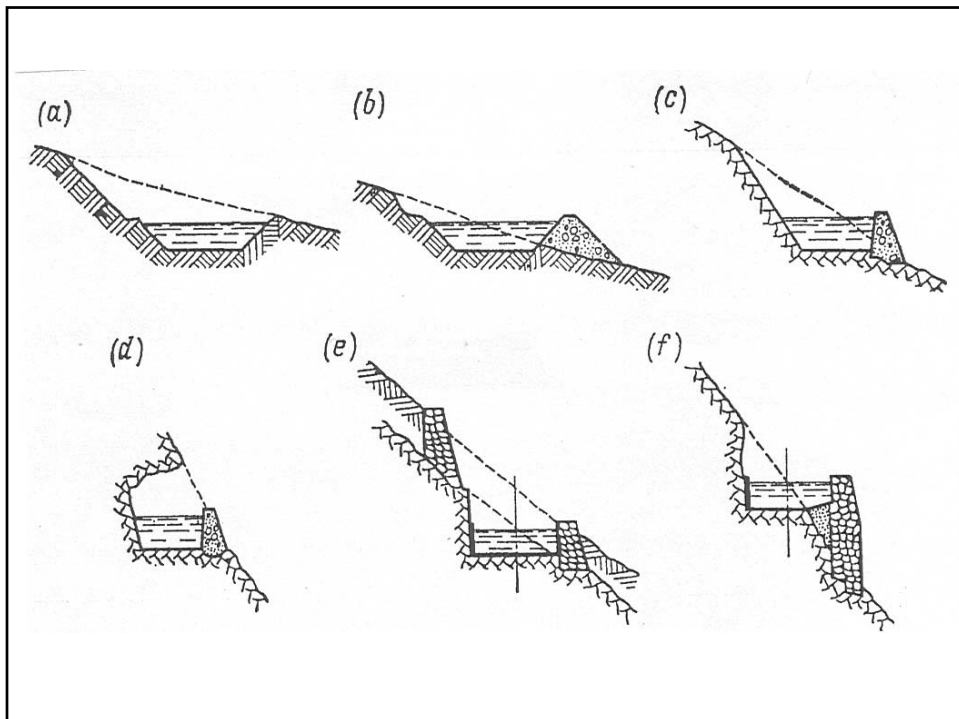
- optimalna trasa kanala po kriteriju minimuma troškova građenja i eksploatacije je pravac
- terenski uvjeti često mijenjaju uzduž željene trase kanala i nailazi se na prepreke (prometnice, naselja, prirodne vodotoke)
- uvjeti funkcionalnosti zahtijevaju odstupanje trase kanala od pravca

minimalni radijus krivine, $r_{\min}$ [m],

$$r_{\min} = 11 v^2 \sqrt{A} + 12$$

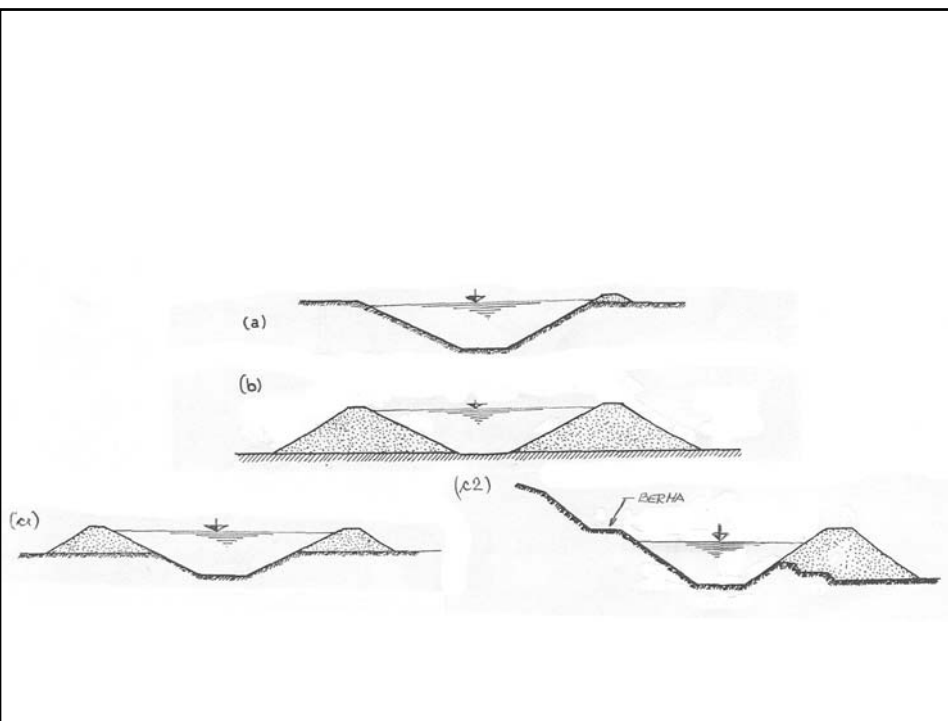
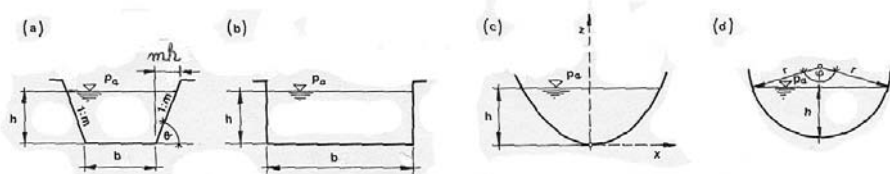
$$r_{\min} > 5b$$

v [m s⁻¹] – srednja brzina vode u kanalu,
 A [m²] – protjecajna površina,
 b [m] – širina dna kanala.



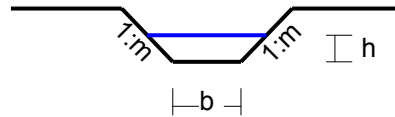
2.3.3. PROFIL KANALA

- trapezni
- pravokutni,
- parabolični
- polukružni



Za kanale trapeznog oblika osnovni geometrijski elementi jesu:

- protjecajna površina, $A = h (b + mh)$
- omočeni obod (perimetar),
- hidraulički radijus, $R = A / O$
- nagib pokosa (kosine), $m = \operatorname{ctg} \theta$
- h [m] – dubina vode,
- θ [o] – kut nagiba kosine prema horizontali



minimalni hidraulički gubici pada u kanalu

- $A = \text{const}$
- $0 \rightarrow \min$

$$\frac{b}{h} = 2 \left(\sqrt{1 + m^2} - m \right)$$

Kanali s bermom

BERMA
0.5-1 [m]

KANAL

ODVODNI

POPREČNI KANAL $\varnothing 0.25$; $i = 0.03$

3.0

0.3

SABIRNI JARAK

0.1

SITAN ŠLJUNAK

0.1

KRUPAN ŠLJUNAK

0.8

0.7

OKNO

Zatvoreni kanali

- najveću primjenu nalaze kod odvodnje otpadnih voda, a ponekad i kod derivacijskih kanala, u pravilu lokalno na kritičnim dionicama, dakle, manje dužine. Grade se kao betonske i armiranobetonske cijevi kružnog, izduženog (jajolikog, polukružnog i pravokutnog) i stlačenog (potkovičastog i kapastog) profila.

- najveću primjenu nalaze kod odvodnje otpadnih voda, a ponekad i kod derivacijskih kanala, u pravilu lokalno na kritičnim dionicama, dakle, manje dužine. Grade se kao betonske i armiranobetonske cijevi kružnog, izduženog (jajolikog, polukružnog i pravokutnog) i stlačenog (potkovičastog i kapastog) profila.

2.3.4. UZDUŽNI PAD KANALA

• MAKSIMALNE I MINIMALNE BRZINE

- Prevelike brzine, odnosno veliki padovi kanala, prouzrokovat će veliku energiju i zarušavanje neobloženih kanala.
- Male brzine (ispod neke granice), odnosno mali padovi kanala, prouzrokovat će taloženje u kanalu čestica koje lebde u vodi, pa se zbog toga kanal zamuljuje.

Vrsta tla	Hidraulički radijus R (m), od – do	$v_{\max}$ (m) od – do
Prašinasti pijesak	1 - 3	0,7 – 0,8
Zbijeni pijesak	1 - 3	1,0
Laka ilovača s lesom	1 - 3	0,7 – 0,8
Srednja ilovača	1 – 3	1,0
Gusta ilovača	1 – 3	1,1 – 1,2
Mekana glina	1 – 3	0,7
Normalna glina	1 – 3	1,2 – 1,4
Gusta glina	1 – 3	1,5 – 1,8
Muljevito tlo	1 – 3	0,5 – 0,6

Tlo ili obloga	Dijametar zrna (mm)	Dubina 0,4 m	Dubina 1,0 m	Dubina 2,0 m	Dubina 3,0 m
Pijesak sitni	0,05-0,25	0,20-0,35	0,30-0,45	0,40-0,55	0,45-0,60
Pijesak srednji	0,25-1,00	0,35-0,50	0,45-0,60	0,55-0,70	0,60-0,75
Pijesak krupni	1,00-2,50	0,50-0,65	0,60-0,75	0,70-0,80	0,75-0,90
Šljunak sitni	2,50-5,00	0,65-0,80	0,75-0,85	0,80-1,00	0,90-1,00
Šljunak srednji	5,00-10,00	0,80-0,90	0,85-1,05	1,00-1,15	1,00-1,30
Šljunak krupni	10,00-15,00	0,90-1,10	0,05-1,20	1,15-1,35	1,30-1,50
Oblutak sitni	15,00-25,00	1,10-1,25	1,20-1,45	1,35-1,65	1,50-1,85
Oblutak srednji	25,00-40,00	1,25-1,50	1,45-1,85	1,65-2,10	1,85-2,30
Oblutak krupni	40,00-75,00	1,50-2,00	1,85-2,40	2,10-2,75	2,30-3,10
Kamen - drobljenac	75-150	2,00-3,00	2,40-3,35	2,75-3,75	3,10-4,10
Kamen - drobljenac	150-250	3,00-3,50	3,35-3,80	3,75-4,30	4,10-4,65
Glina		0,70-2,00	0,85-2,50	0,95-3,00	1,10-3,50
Jednoslojna kamena obloga	150-250	2,50-3,50	3,00-4,00	3,50-4,50	4,00-5,00
Dvoslojna kamena obloga	150-200	3,50	4,50	5,00	5,50
Beton raznih marki		5,0-6,5	6,0-8,0	7,0-8,0	7,5-10,0
Asfalt		3,0	4,0	4,5	5,0

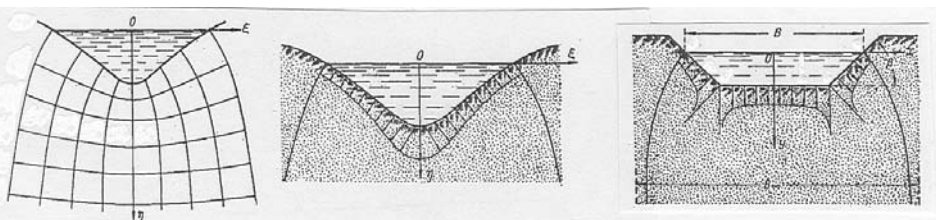
Preporučljive srednje brzine u kanalima u ovisnosti o dubini vode [m/s]

2.3.5. OBLOGA KANALA

Razlozi za oblaganje kanala

- sprječavanje gubitaka vode iz kanala uslijed procjeđivanja,
- smanjenje hrapavosti, a time i hidrauličkih gubitaka,
- povećanje dopuštene brzine, (veći padovi, kraća trasa, manja protjecajna površina),
- smanjenje troškova održavanja kanala,
- zaštita okoliša od voda koje se procjeđuju u podzemlje i u depresijama uzduž kanala stvaraju bare.

Mnogi kanali u nekoherentnim materijalima postaju otporni na eroziju zahvaljujući kolmataciji i «cementiranju» s vrlo sitnim koloidnim česticama



Strujna mreža i vektori brzina filtracije po perimetru paraboličnog i trapeznog kanala.

obloge kanala

- glinena
- kamena
- od opeke
- gabionska
- asfaltbetonska
- betonska
- od plastičnih sintetičkih folija

Glinena obloga

- debljine 0,2 do 0,3 [m], se primarno koristi u cilju postizanja vodonepropusnosti. Iskustva su pokazala da glinene obloge zbog vodne erozije imaju privremen karakter ako nisu zaštićene (kod ukopanih kanala) zemljanim slojem debljine 0,2-0,5 [m] ili uzgrađene u tijelo nasipa (kod kanala u nasipu), kao kosa ili vertikalna zaptivna glinena jezgra.

Kamene obloge

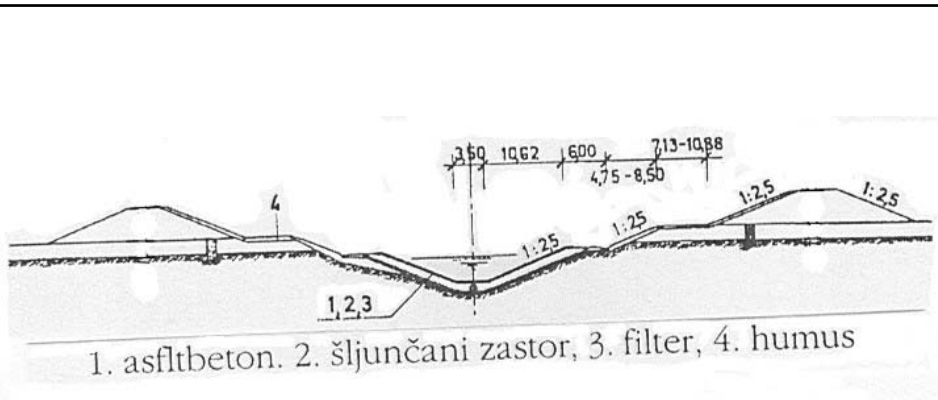
- se prvenstveno koriste kod potpune ili djelomične zaštite od razaranja kosina djelovanjem valova uslijed vjetra ili kod plovnih kanala i uslijed prolaska plovila te vodne erozije. Izvode se kao jednoslojne, prosječne debljine 0,15-0,3 [m], ili dvoslojne, prosječne debljine 0,4-0,5 [m], na šljunčanoj podlozi prosječne debljine 0,2-0,3 [m].

Gabionska obloga

- je tip tzv. «fleksibilne obloge», kod čije se primjene postavlja pitanje trajnosti čeličnog ili plastičnog žičanog pletiva. Čeličnog zbog korozije, a plastičnog zbog utjecaja insolacije na njegovu trajnost. Za postizanje djelomične vodonepropusnosti na gabione se površinski nanosi sloj asfalt mastiksa, dok je za potpunu vodonepropusnost potrebno zapunjenje asfaltnim mastiksom cijelog gabionskog zastora. Debljina gabionske obloge kreće se od 0,15 [m] za brzinu vode do 1,8 [m s⁻¹], te 0,3-0,5 [m] za brzinu vode do 5,5 [m s⁻¹].

Asfaltbetonska obloga

- (mješavina bitumena i mineralnih tvari) se kao elastoplastična obloga obično primjenjuje kod kanala u zemljanim materijalima, a posebno u nasipu, kod kojih prijeti opasnost od slijeganja. Ovaj tip obloge, prosječne debljine 5-10 [cm], karakteriziran je visokim stupnjem vodonepropusnosti i niskim koeficijentom hrapavosti ($n = 0,014$ [m^{-1/3} s]). Brzine vode u kanalima s oblogama na bazi bitumena ne prelazi 2 [m s⁻¹].



Betonske obloge

- od prefabriciranih betonskih elemenata,
- klasične betonske obloge izvedene na licu mjesta,
- armiranobetonske,
- prednapregnute betonske obloge,
- od mlaznog betona,
- od vakuum betona,
- od uvaljanog betona

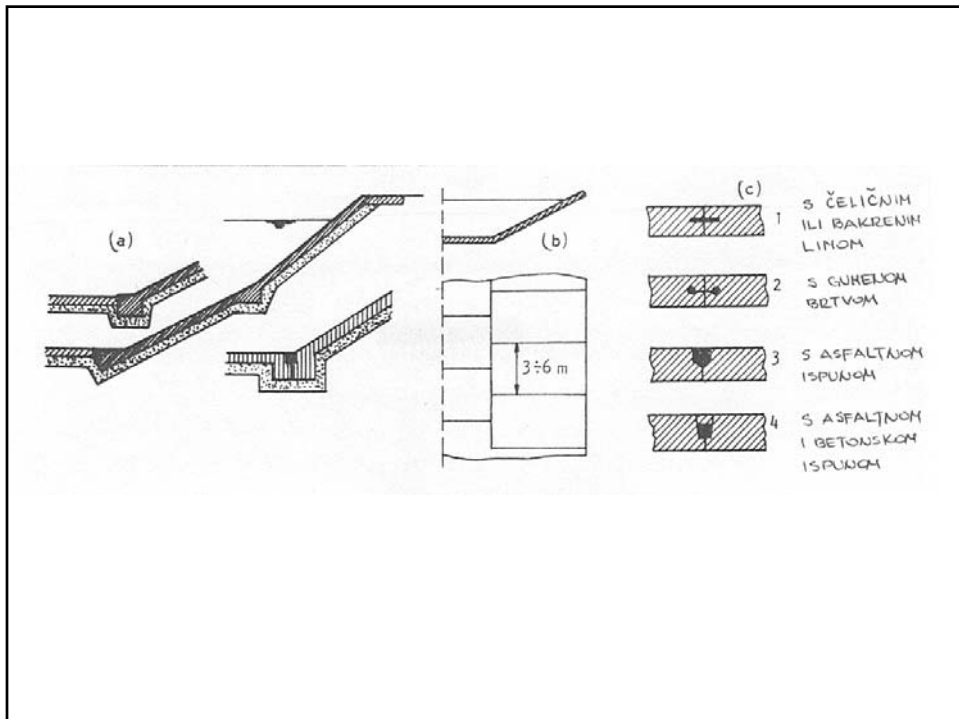
Prefabricirani betonski elementi

- uglavnom se izvode kao ploče debljine 5-10 [cm], karakterizirane visokim fizičko-mehaničkim karakteristikama i vodonepropusnošću, razne dužine i širine. Mogu imati ravne rubove, na utor i pero, te rubove predviđene za ugradnju plastičnih brtvi, koji omogućuju dilataciju betonskog zastora.

Klasična betonska obloga izvedena na licu mjesta

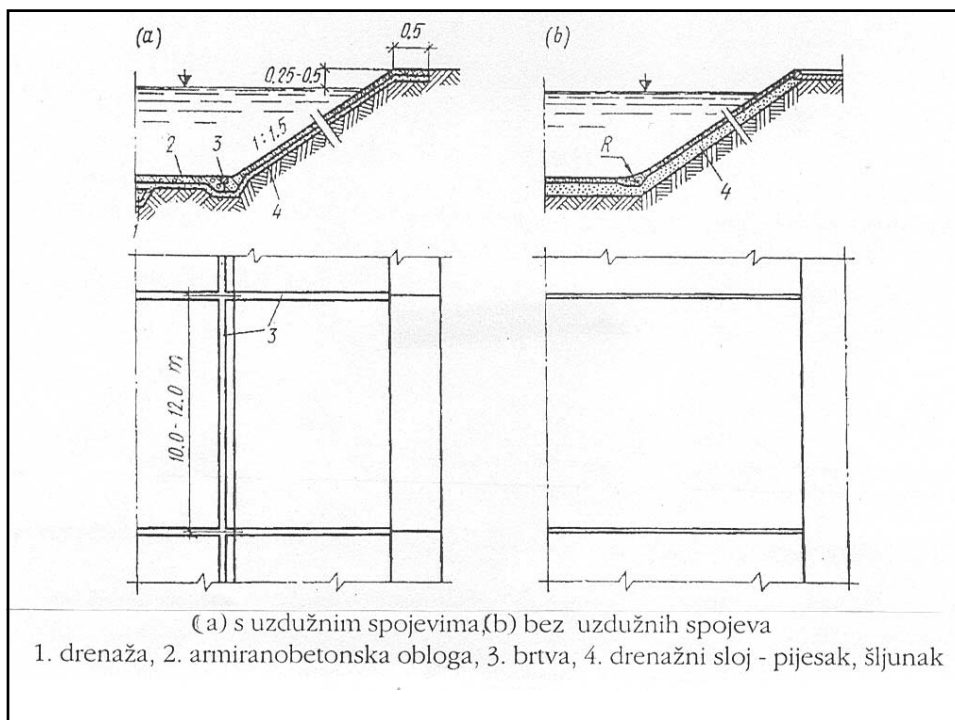
- izvodi se u vidu betonskih ploča debljine 10-20 [cm] položenih na sloju šljunka ili pijeska. Kod ove obloge svakako treba predvidjeti radne i dilatacijske spojnice kako bi se spriječilo stvaranje pukotina uslijed skupljanja i hidratacije. Dilatacijske spojnice mogu biti podužne i poprečne, a ponekad i u smaknutom rasporedu. Njihova vodonepropusnost osigurava se bakrenim, gumenim, plastičnim, asfaltnim ili asfalt-betonskim brtvama





Armiranobetonske obloge

- križno armirane betonske ploče, debljine do 15 [cm], s prosječno 2 [%] armature. Ovaj se tip obloge primjenjuje u težim geološko-geomehaničkim uvjetima, te kada se želi povećati razmak radnih i dilatacijskih spojnica na 10-12 [m], spriječiti pojavu pukotina ili izjednačiti lokalne razine u slijeganju.



Prednapregnute betonske obloge

- se izvode kao tanke (svega nekoliko centimetara) i uske (nešto preko 1 [m] ploče ili trake kod kanala paraboličnog ili polukružnog profila. Armiranje je sa specijalnim čeličnim žicama promjera 3-5 [mm]

Obloge od mlaznog betona

- izvode se kao nearmirane ili armirane, debljine 5-10 [cm]

Obloge od vakuum betona

- izvode se od prefabriciranih betonskih ploča izrađenih vakuum postupkom. Ovaj se beton priprema tako da se na slobodnu površinu betona postavlja vakuum oplata s filtrom od prirodnih ili umjetnih vlakana (geotekstil), koji sprječava da se iz betona uklanjaju fine čestice cementa i sitni materijal ispune.

Obloge od uvaljanog betona

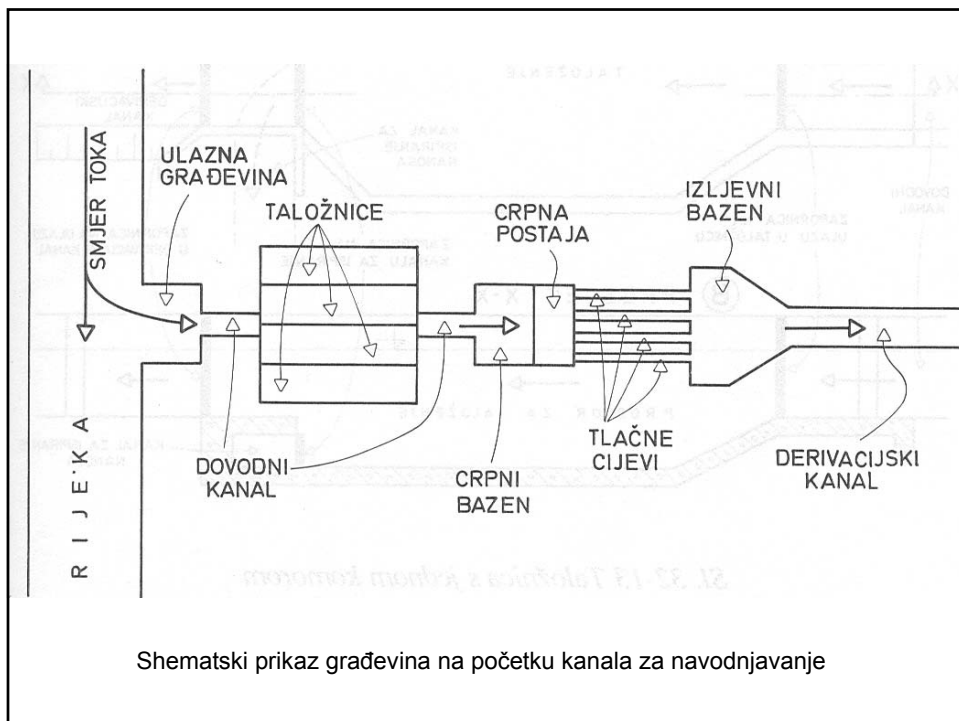
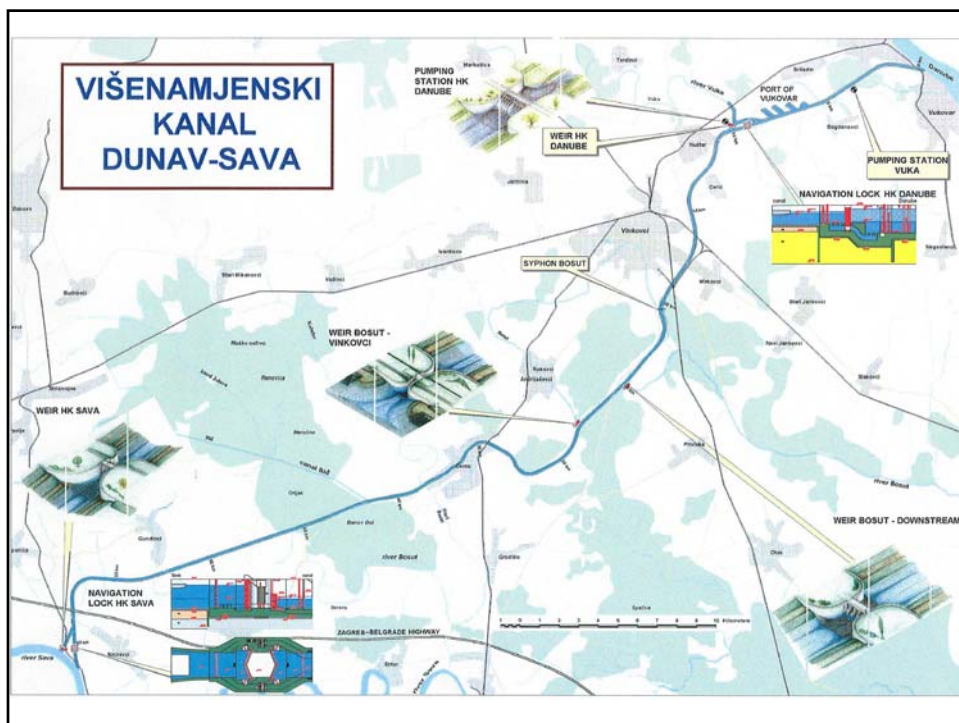
- izvode se tehnologijom kao betonske gravitacijske brane

Obloge od plastičnih sintetičkih folija

- (geomembrane) se prvenstveno koriste za postizanje vodonepropusnosti. Izvode se sa ili bez površinske zaštite. Kod izbora profila kanala treba voditi računa da primjena geomembrana uvjetuje blaže nagibe pokosa ($1 : 2,0$ do $1 : 3,5$) zbog njihove male otpornosti na klizanje. U pravilu, geomembrana mora biti usidrena u podlogu, što se relativno lako postiže, budući da na tržištu postoje membrane s rebrima za usidrenje. Suvremene folije nastavak omogućuju varenjem spojeva, koje sve više zamjenjuje preklapanje (5-10 [cm]) i ljepljenje spojeva.

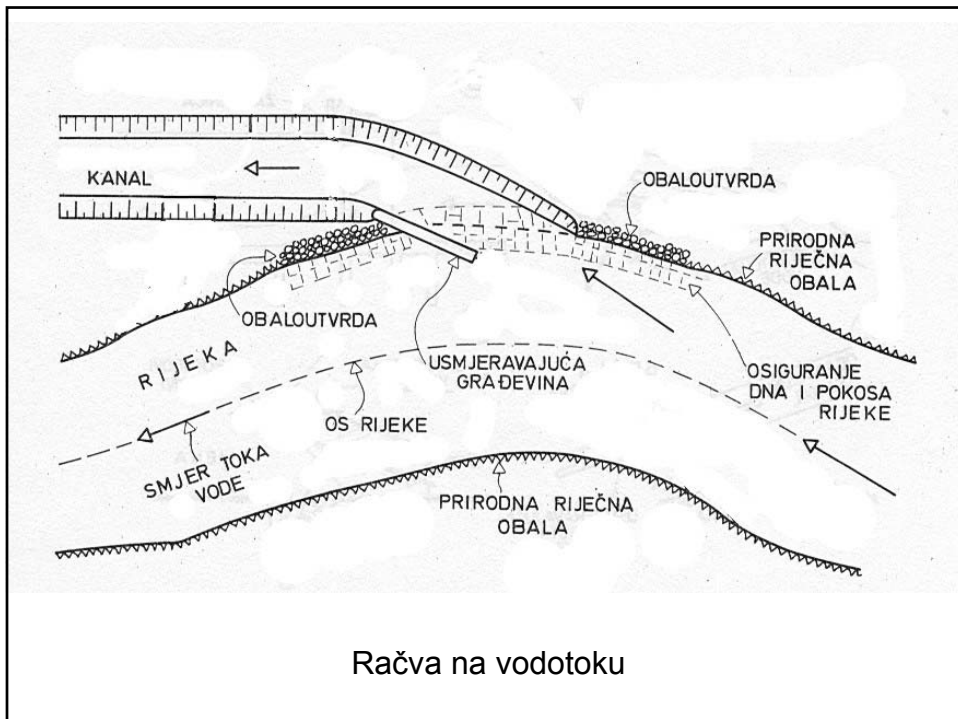
Kod svih tipova obloga, a kod vodonepropusnih poglavito, obavezna je drenaža!

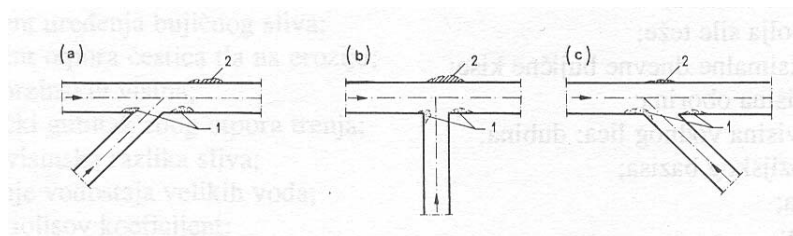
- Kanal za sebe ne predstavlja cjelinu bez građevina koje se nalaze na njemu. Ovdje ćemo spominjati samo hidrotehničke građevine, iako se uvijek pojavljuju i drugi tipovi građevina (mostovi, prelazi instalacija, i sl.)



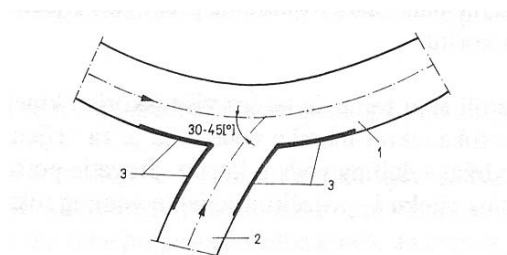
Shematski prikaz građevina na početku kanala za navodnjavanje

- Građevine na kanalima koje služe za upravljanje vodom (protoka i vodostaja) koja se kreće kanalima
- Građevine na kanalima koje služe održavanju uvjeta tečenja u kanalima





Položaji ušća kanala (1- taloženje, 2 - erozija)

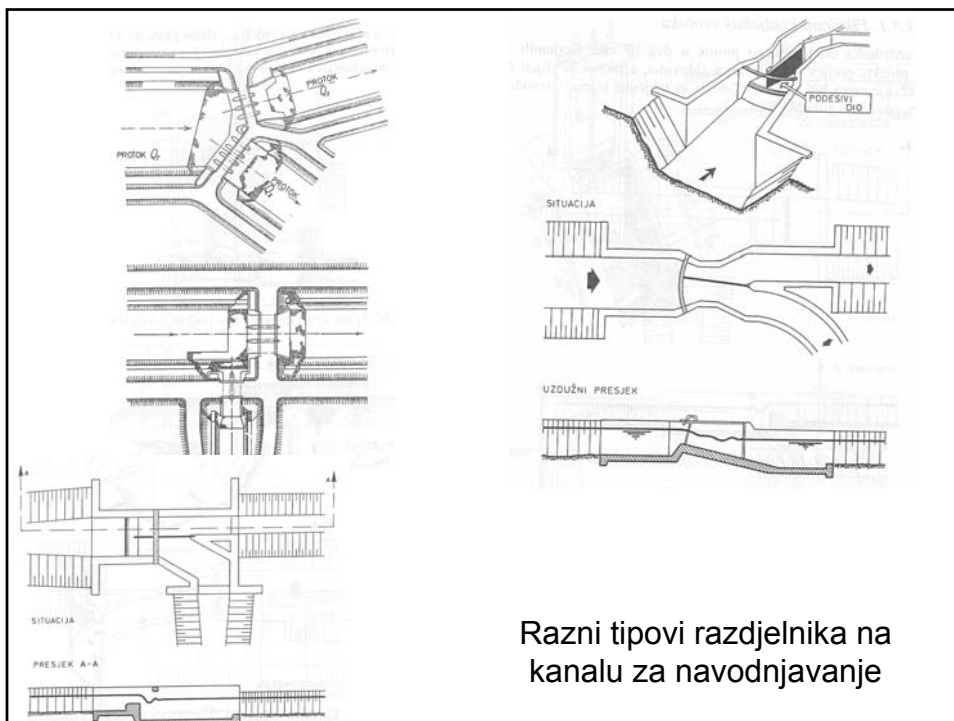


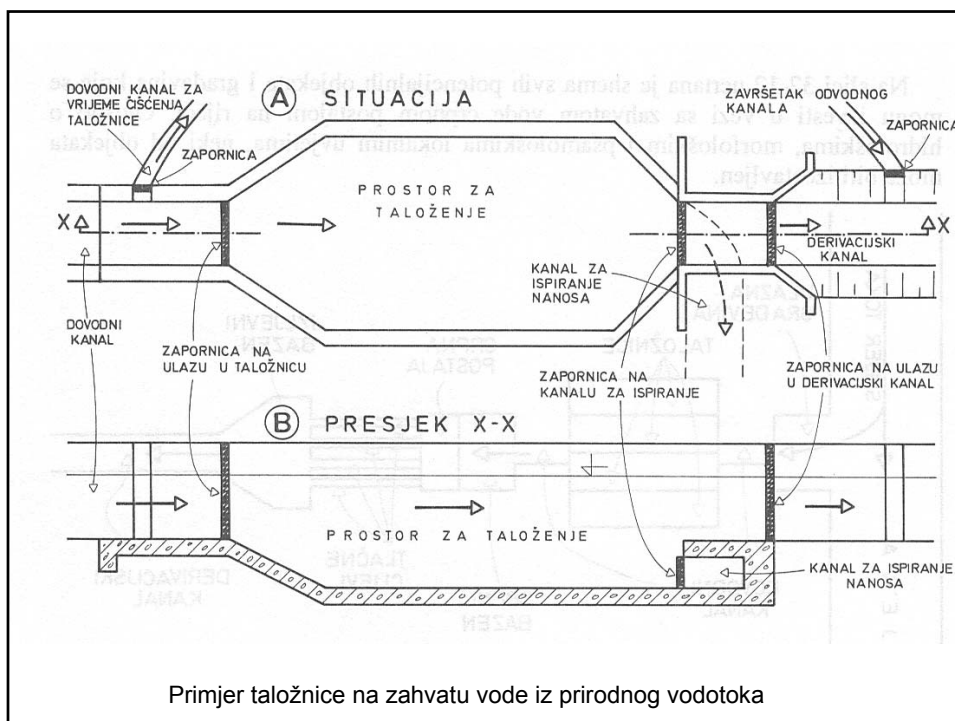
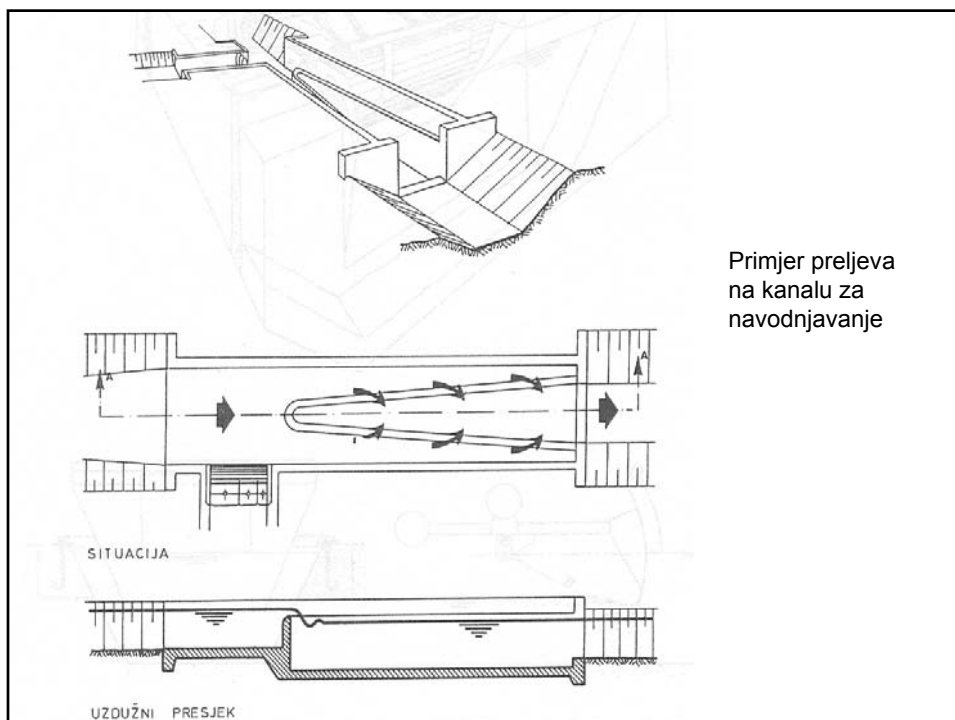
Primjer pravilno oblikovanog ušća kanala
(1- vodotok, 2 – kanal, 3 - obaloutvrde)



Na račvi i ušću treba riješiti

- **problem geometrije** – spajanje dvaju korita različitih dimenzija i različitih kota dna,
- **hidrološki problem** pojave različitih protoka u vremenu i njihove koincidencije te
- **hidraulički problem** oblikovanja kako bi se dobila ispravna raspodjela protoka uz što manje remećenja strujne slike te izazivanja erozije i taloženja nanosa.





Hidrotehničke stepenice

- Mjesta gdje kontrolirano izazivamo disipaciju energije toka. Zovemo ih i mjestima koncentracije hidrauličkog pada.

