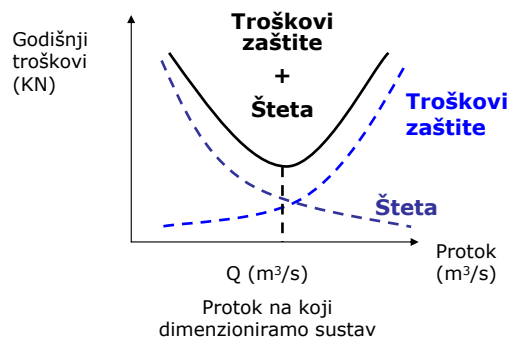


# OBRANA GRADILIŠTA OD VELIKIH VODA

- Brane se grade u riječnom koritu stoga je neophodno poduzeti mjere kojima će se osigurati suha građevinska jama (potrebno je postaviti drenažni sustav za crpjenje vode koja procjeđuje u jamu).
- Način evakuacije voda za vrijeme građenja ovisi o:
  - Topografiji terena
  - Geološkim i hidrogeološkim uvjetima
  - Tipu i veličini brane
  - Tipu stalnih evakuacijskih organa
  - Hidrološkim i hidrometeorološkim karakteristikama sliva
- Postupci:
  - **Privremeno skretanje toka**
  - **Postupno građenje u koritu**
  - **Građenje van korita**

- Izbor mjerodavne velike vode za zaštitu građevne jame
- Temeljne jame **nasutih brana** se osiguravaju orijentaciono na **20-godišnju** veliku vodu što je ujedno i količina vode (protok) koji treba evakuirati obilaznim tunelom. Posljedice plavljenja **betonskih brana** su manje u odnosu na nasute pa se građevinske jame za gradnju betonskih brana osiguravaju orijentaciono na **10-godišnju** veliku vodu.
- Izbor provedbom OPTIMIZACIJE – kriterij izbora minimum ulaganja i spriječenih šteta



- Izbor na osnovi kriterija rizika

- Sigurnost da se u vrijeme građenja neće pojaviti velika voda:

- $S = 1 - p(x)$

- gdje je

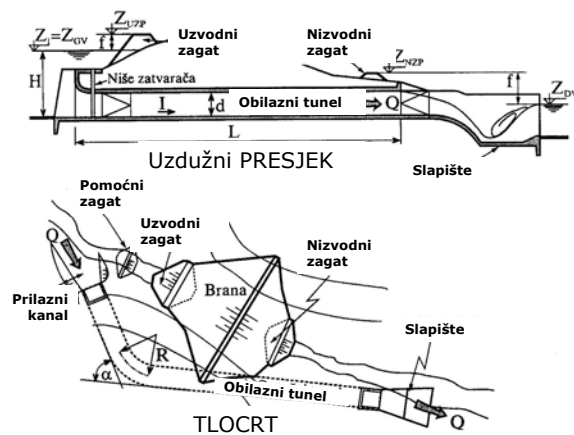
- $p(x) = 1 - (1 - p)^n$

- p je vjerojatnost pojave velike vode

- n je vrijeme građenja

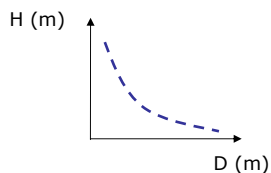
## **PRIVREMENO SKRETANJE TOKA**

- Primjenjuje se često kod uskih dolina sa strmim bokovima gdje se može postaviti kratak tunel (do 500 m dužine).
- Grade se uzvodni i nizvodni zagati (predbrane-pomoćne brane).
- Uzvodni zagat pregrađuje korito i usmjerava vodu u obilazni tunel, dok se nizvodni zagat gradi po potrebi i to u svrhu sprječavanja povrata vode uslijed uspora (ako je teren relativno blag i/ili se radi o velikoj količini vode...).
- Uzvodni i nizvodni zagat mogu se graditi kompletno izvan tijela brane ili mogu biti ugrađeni u tijelo brane. Ako se grade samostalno tada se nakon izgradnje brane mogu srušiti, uzvodni se može potopiti.



- Redoslijed gradnje:
  1. **Obilazni tunel** – gradi se za vrijeme malih voda (uz izgradnju pomoćnog zagata)
  2. **Uzvodni zagat** - prije nailaska velikih voda
  3. **Nizvodni zagat** – po potrebi

- Po završetku brane tunel se može:
  - Zatvoriti
  - Preurediti u:
    - temeljni ispust,
    - dovod za korisnike ili
    - odvod bunarskog preljeva.
- Za definiran protok (veliku vodu) promjer tunela i visina uzvodnog zagata su međusobno zavisni, jer promjer tunela određuje površinu protočnog profila, a visina uzvodnog zagata određuje pad tj. brzinu u tunelu.

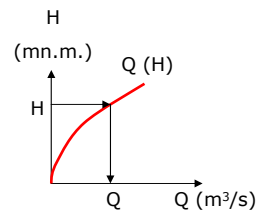


- Poželjno je naći **optimalno rješenje = minimalni ukupni troškovi izgradnje zagata i tunela.**

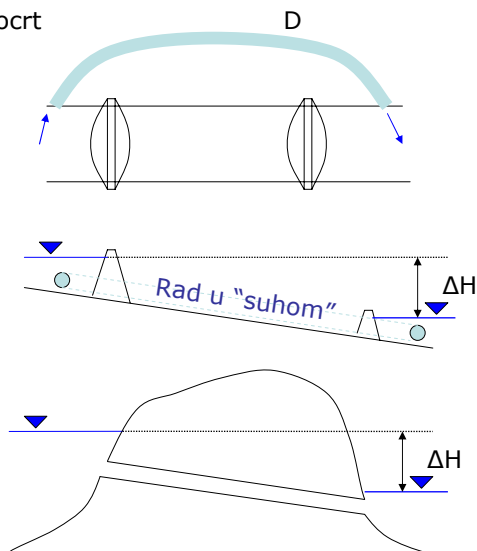
- Promjer tunela je često definiran konačnom namjenom (promjer temeljnog ispusta ili odvoda bunarskog preljeva).
- Ograničenja:
  - Udaljenost nožice zagata od nožice brane (ukoliko zagat nije dio brane) treba bi iznositi cca 20 m za nesmetano kretanje mehanizacije.
  - Minimalni promjer tunela iznosi 2 m, da ga se može kontrolirati (prolaz kroz tunel pješice).
  - Nadvišenje zagata nad projektnom velikom vodom 1-1,5 m.
  - Zagati viši od 1 m u kruni su široki barem 3 m da se nasipanje može provoditi korištenjem mehanizacije.

• **Proračun:**

1. Visina nizvodnog (donjeg) zagata očitava se iz Q-H krivulje.
2. Odabire (pretpostavlja) se promjer tunela - D.
3. Izračunava  $\Delta H$  potreban za evakuaciju projektne količine kroz odabrani promjer tunela (za tečenje pod tlakom).



Tlocrt



Tečenje pod pritiskom  
Proračun:

$$Q = \mu \cdot F \cdot \sqrt{2g\Delta H}$$

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum \xi_{\text{LOK}} + \sum \xi_{\text{LIN}}}}$$

gdje je:

Q – protok

$\mu$  – koef. gubitaka

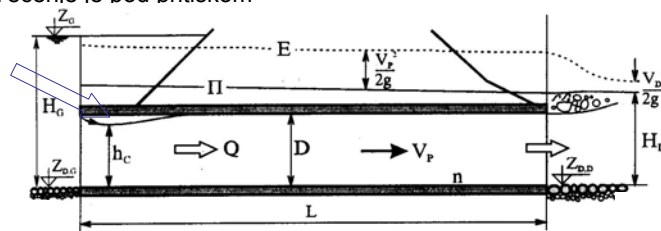
F – površina poprečnog presjeka tunela

$\xi_{\text{LOK}}$  – lokalni gubici

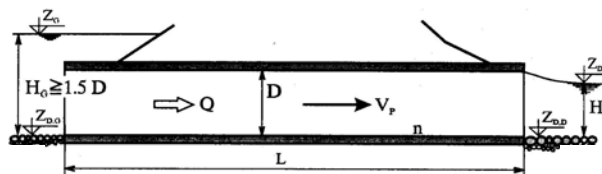
$\xi_{\text{LIN}}$  – linijski gubici

- Tečenje u tunelu (ovo vrijedi i za PROPUSTE) može biti:
  - pod pritiskom
  - sa slobodnim vodnim licem
- Ulaz u cijev u oba slučaja može biti:
  - **Potopljen** (s ime da je potopljen ulaz češće korišteno rješenje jer se potapanjem ulaza postiže veća brzina u cijevi te s ime i veći protok za isti protjecajni profil)
  - **Nepotopljen**
- Ako je gornji i donji dio tunela potopljen i  $H/d > 1,5$ :
  - Tečenje je pod pritiskom

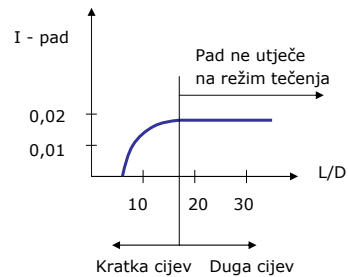
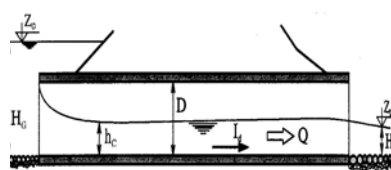
Moguće odvajanje mlaza.



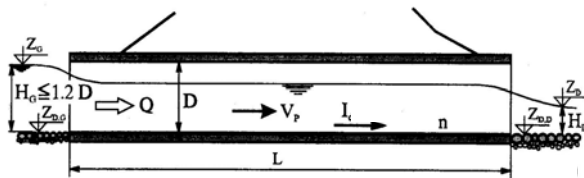
- Ako je gornji dio tunela potopljen, a donji nepotopljen i zadovoljeni su uvjeti  $H/d > 1,5$ , ovisno o obliku ulaza, dužini cijevi i padu dna te hrapavosti površine:
  - Dugi tunel - tečenje je pod pritiskom



- Kratki tunel - tečenje je sa slobodnim vodnim licem



- Ako je gornji dio tunela nepotopljen ili potopljen uz uvjet  $H/d < 1,2$ , a donji dio nepotopljen - Tečenje je sa slobodnim licem



- Ako je gornji dio tunela potopljen pod uvjetom  $1,2 \leq H/d \leq 1,5$ , a donji nepotopljen – Tečenje je u nestalnom prijelaznom režimu.

## HE Lešće – ulaz u obilazni tunel



HE Lešće – ulaz u tunel i dio uzvodnog zagata



HE Lešće – dovršeni uzvodni zagat



HE Lešće – izlaz iz obilaznog tunela



HE Lešće – izlaz iz obilaznog tunela i  
nizvodni zagat (privremena brana)

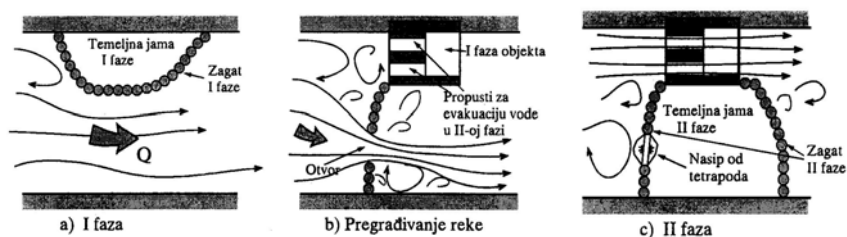




# POSTUPNO GRAĐENJE U KORITU

## – parcijalno pregrađivanje toka

- Primjenjuje se kod izgradnje brana u širokim dolinama velikih rijeka, rješenje s obilaznim tunelom je u ovom slučaju ekonomski i tehnički nepovoljno.
- Temelji se na gradnji barem u dvije faze.
- I FAZA – pregrađivanje dijela korita i izgradnja dijela brane s evakuacijskim organom do visine objekta kojom se osigurava njegova stabilnost.
- II FAZA – uklanjanje zagata iz I faze i pregrađivanje rijeke u cilju formiranja suhe građevinske jame za gradnju drugog dijela brane. U trenutku potpunog pregrađivanja (izvedba zagata) problem predstavlja velika brzina toka i jaka vučna sila pa se koriste veliki kameni ili betonski blokovi.

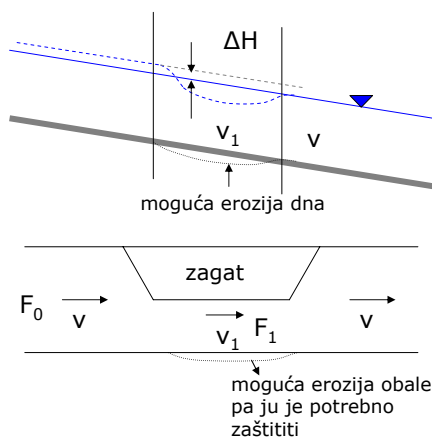


- Jasno da se treba osigurati vododrživost zagata pa se stoga nasipi od blokova “začepljuju” nepropusnim materijalom.
- U građevinskoj jami potrebno je osigurati crpljenje vode koja procjeđuje.
- Voda se odvodi kroz evakuacijski organ (koji može biti: preljev, temeljni ispust, dovod za turbinu itd).

- Zagati se mogu izvoditi od zemljanog i kamenog materijala, korištenjem žmurja ili ćelija, betonskih blokova, kontrafornih betonskih zidova i sl.



- Visina zagata ovisi o razini vode u koritu (koja ovisi o protoku i geometriji protjecajnog profila).



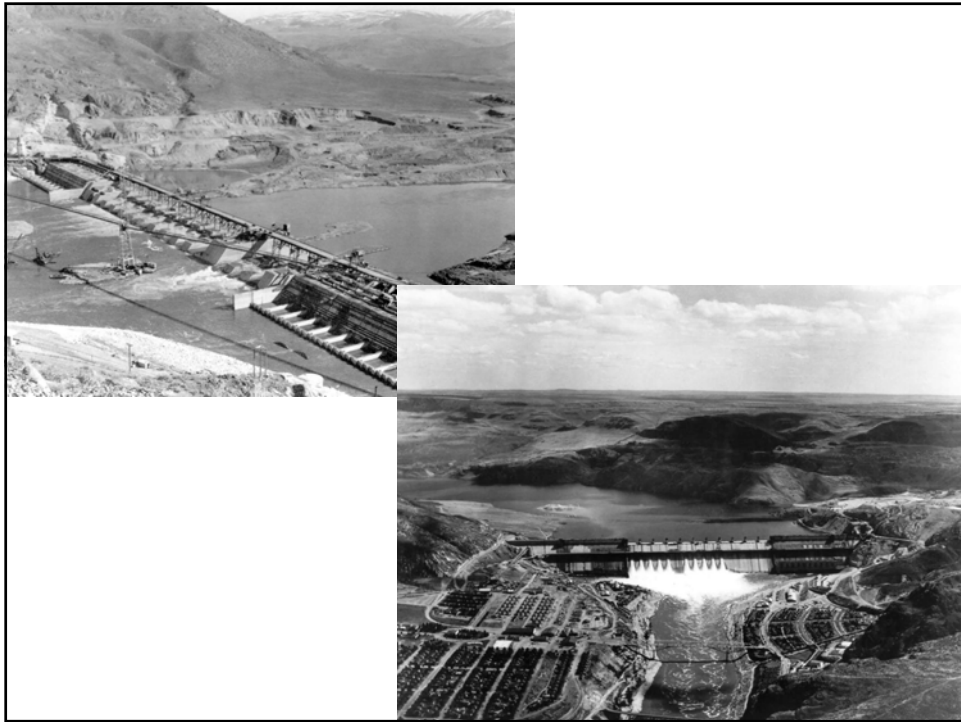
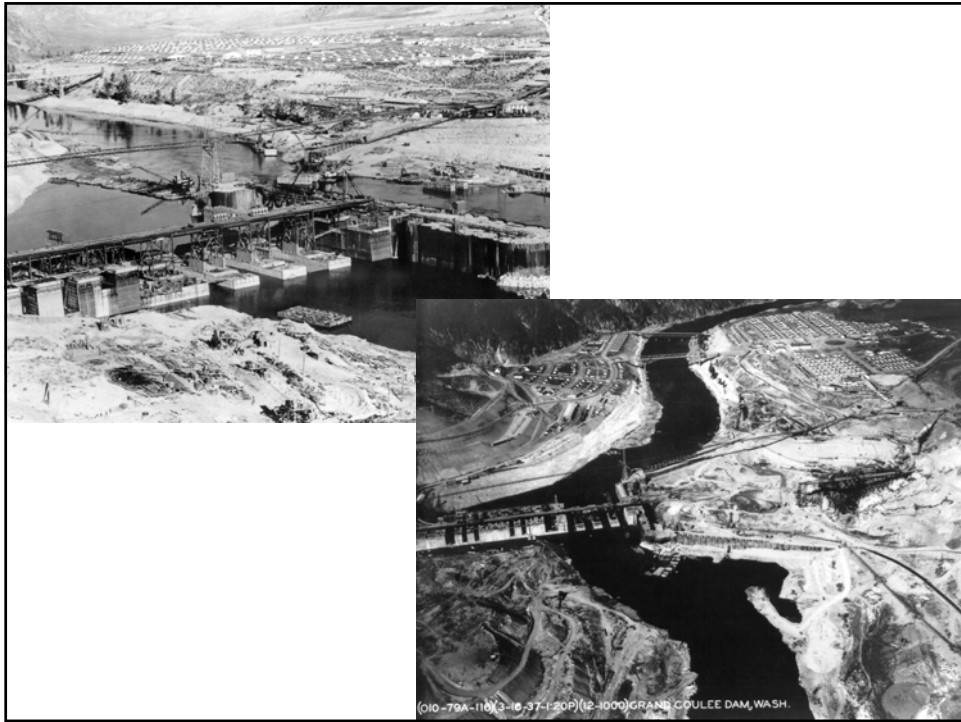
$v < 1,8 - 2 \text{ m/s}$  (za plovidbu)

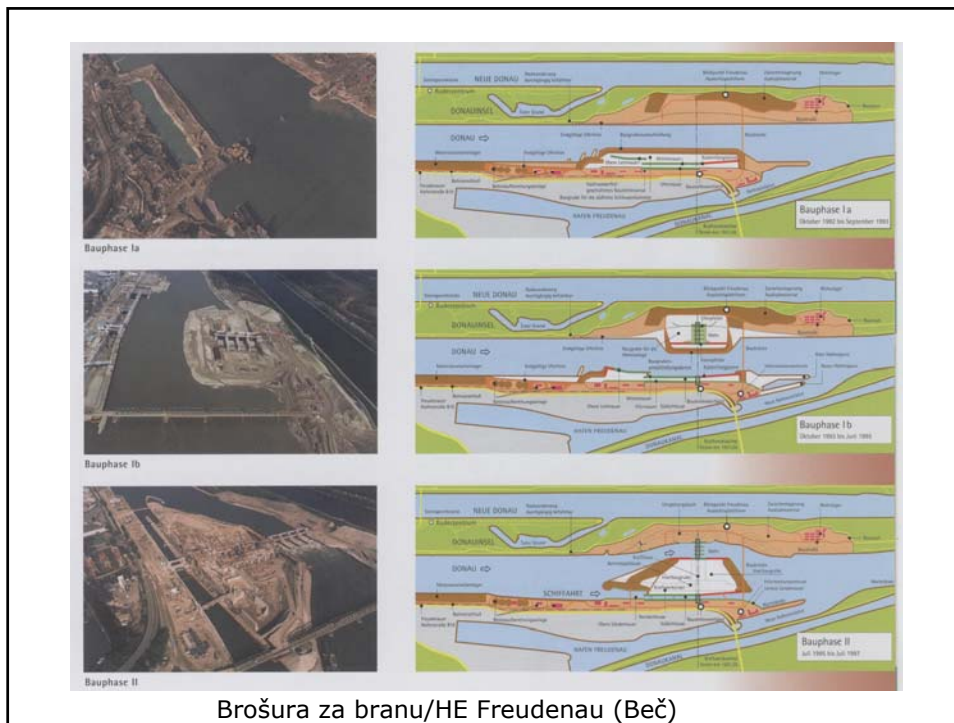
$$\Delta H \approx \frac{1}{\varphi^2} \frac{v_1^2 - v^2}{2g}$$

$\varphi$  - koef. suženja

$$\varphi = \begin{matrix} \text{[trapezoid]} & \text{[trapezoid]} & \text{[parabola]} \\ 0,75-0,8 & 0,8-0,85 & 0,8-0,9 \end{matrix}$$

$$\frac{F_1}{F_0} = 30 - 60\%$$





## GRADENJE VAN KORITA

3. Pregrađivanje vodnog toka

2. Skretanje vodnog toka (trajno)

1. Gradnja objekta

U slučaju v.v.

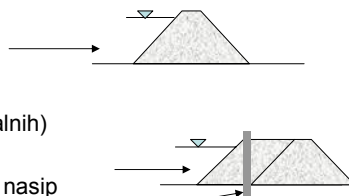
- Gradnja objekta izvan korita pa se nakon izgradnje voda skrene prema njemu.

## ZAGATI

- Vrijednost zagata iznosi oko 10% vrijednosti građevine (brane).
- Zagati imaju istu funkciju kao i brane osim što su privremeni objekti, s obzirom na privremenost mogu djelomično i propuštati.

- Izvode se od:

- nasutog materijala
- betona
- žmurja (drvenih i metalnih)
- kombinirano žmurje + nasip



- Ako branu gradimo tako da uklopimo i zagate, onda moramo eliminirati vododrživost donjeg zagata te omogućiti drenažu.
- Kod zagata dozvoljeno je povremeno poplavljivanje.

- Poplavljivanje betonskih zagata ne predstavlja problem, dok kod poplavljivanja nasutih zagata treba paziti da ne dođe do erozije, pa koristimo slijedeću formulu:

$$q_i = k \cdot d^{3/2} (\rho - 1)$$

gdje je:

$q_i$  – količina koja se može prelići preko postojećeg zagata

$q_i = \text{cca } 0,5-1,0 \text{ (m}^3\text{/s/m')} \quad \text{do } 3 \text{ t}$

$k$  – koeficijent oblika (0,1-0,25)

$d$  – promjer zrna/kamena

$\rho$  – gustoća kamena

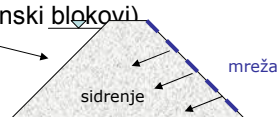
- Za prelivni mlaz visine:

$\Delta H \leq 3 \text{ m}$  masa kamena iznosi cca 3 tone

$\Delta H \leq 6 \text{ m}$  masa kamena iznosi cca 20 tona (betonski blokovi)

$\Delta H \leq 10 \text{ m}$  koristi se armirani kameni nabačaj

- Može se koristiti oblaganje gabionima.

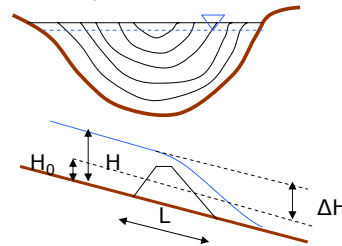


## PREGRAĐIVANJE RIJEKE

- Zatvaranjem toka povećava se brzina vode, kinetička energija i pritisak vode, pa raste i ugrožavanje stabilnosti zagata.
- Načini nasipavanja:
  - Nasipavanje u slojevima
  - Nasipavanje sa čela
  - Specijalni načini (npr. miniranjem stijena u kanjonu)

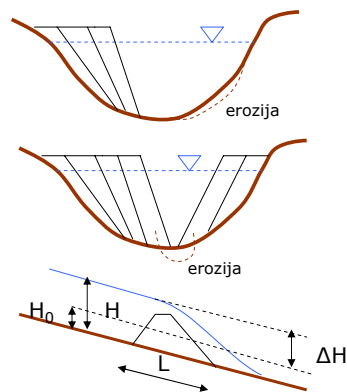
### • NASIPAVANJE U SLOJEVIMA

- Koristilo se 60-tih godina prošlog stoljeća.
- Bila je potrebna kranska staza ili most.



### • NASIPAVANJE SA ČELA

- Korištenjem mehanizacije moguće je donošenje i razastiranje značajnih količina materijala u kratkom vremenskom roku.
- Zbog suženja protjecajnog profila raste brzina vode, pa treba paziti da ne dođe do erozije korita s druge strane i erozije dna.
- Može se vršiti i nasipavanje s obje strane istovremeno.
- Masu kamena/bloka treba izračunati.
- Nasipavanje se provodi u dvije faze:
  - I faza – MIRNO tečenje  
 $\Delta H \sim 1/3 H_0$ ,  $v=0,8-1,0$  m/s  
 – kamena sitnež
  - II (završna) faza – SILOVITO tečenje  
 $\Delta H < 1/3 H_0$  – krupni blokovi



Sitiiji materijal ↑	ΔH (m)	Masa blokova	
		Uz gubitak	Bez gubitka
	0,5	2-10kg	10kg
	1	60kg	120kg
	2	500kg	1-3t
	3	3t	4t
	4	-	8t