



Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet
www.grf.bg.ac.rs

Studijski program: **GRAĐEVINARSTVO – OSNOVNE AKADEMSKE STUDIJE**
Modul: **HIDROTEHNIKA I VODNO EKOLOŠKO INŽENJERSTVO**
Godina/Semestar: **4 godina / 8 semestar**

Naziv predmeta (šifra): **KORIŠĆENJE VODNIH SNAGA**
Nastavnici: **Tina Dašić i Nikola Rosić**
Demonstrator: **Jovana Vićanović**

Naslov predavanja: **Predavanje - 10**
Datum : **24.04.2023.**

Beograd, 2023.

Sva autorska prava autora prezentacije su zaštićena. Prezentacije se mogu koristiti samo za nastavu studenta Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu u školskoj 2022/2023 i ne mogu se koristiti za druge svrhe bez pismene saglasnosti autora materijala.

NESTACIONARNI FENOMENI U DERIVACIJAMA POD PRITISKOM

Hidraulički udar u derivacijama pod pritiskom

Vodostani

Primena sinhronog regulatora pritiska

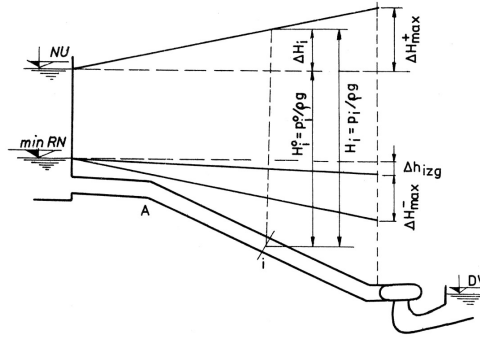
- **Osnov** za izučavanje nestacionarnih fenomena u derivacijama pod pritiskom čini teorija HU.
- HU: \uparrow ili \downarrow pritiska u dovodnoj ili odvodnoj derivaciji pri nagloj promeni brzine tečenja

Prelazni režimi – važni pri usaglašavanju performansi turbine i cevovoda

- a) pokretanje agregata:** “-” oscilacije, možemo kontrolisati
- b) zaustavljanje agregata:** “+” oscilacije
- c) regulisanje snage**
- d) havarijsko skidanje opterećenja** – najnepovoljniji HU

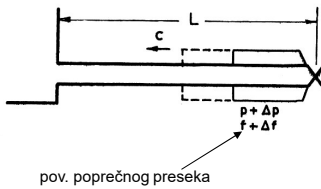
Nepovoljna 2 režima:

- 1) ΔH^+_{max} pri KNU ($Q_{inst} \rightarrow 0$):**
određuje KKV
dimenzije cevovoda i turbine
- 2) ΔH^+_{max} pri minRN (0 ili $Q_{min} \rightarrow Q_{inst}$):**
dimenzije trase cevovoda
ne dozvoliti pojavu vakuma



Analički pristup određivanju HU

Uzročnik HU – inercija vode pri Δv



HU u elastičnoj cevi:

Poremećaj se prenosi kroz cev:
$$c = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{E_v}{K}}}$$

K – koef. deformacije pov. poprečnog preseka

za čelik: $K = E_c \frac{\delta}{D} \Rightarrow c = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{E_v D}{E_c \delta}}}$

Faza udara – vreme potrebno da poremećaj stigne do početka cevi i vrati se kao odbijeni talas

$$\tau_f = \frac{2 \cdot L}{c}$$

Važno uporediti τ_f i vreme T_z :

$\tau_f \geq T_z$ - hidraulički naglo zatvaranje (potpuni HU)

$\tau_f < T_z$ - hidraulički postepeno zatvaranje (nepotpun HU)

➤ $\tau_f \geq T_z$ - **hidraulički naglo zatvaranje (potpuni HU)**

Osnovna jednačina HU: $\Delta p = -\rho c \Delta v$

$$\Delta p(t) = \rho c (v_0 - v), \quad v_0 - \text{početna brzina}$$

za potpuni HU: $\Delta p_{\max} = \rho c v_{0,\max}$

➤ $\tau_f < T_z$ - **hidraulički postepeno zatvaranje (nepotpuni HU)**

Češći tip HU, u HE se ne dozvoljava potpuni HU.

Postepeno zatvaranje po linearnom zakonu: $v = v_0 (1 - t/T_z)$

$$\Delta p = \rho c v_0 t/T_z$$

Max pritisak na kraju prve faze: $t = \tau_f = 2L/c$:

$$\Delta p_{\max} = \frac{2 \rho L v_{0,\max}}{T_z}$$

Mere zaštite (smanjenja HU)

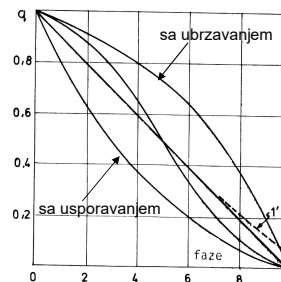
- **Skraćivanje dužine cevovoda L:** - cevovod trasirati najkraćim putem
- vodostan što bliže postrojenju

- **Povećanje T_z :** - manji HU
- veći pobeg pri havarijskom skidanju opterećenja
- teže i skuplje obezbeđivanje zamajnog momenta \Rightarrow ograničeno T_z

- **Izbor najpovoljnijeg režima zatvaranja**
Nije svejedno koji se režim zatvaranja/otvaranja izabere
Najbolji su režimi bliski linearnom, sa usporavanjem

- **Ugrađivanje sinhronog regulatora pritiska**
Ostvaruje se kontinuitet tečenja u cevovodu – sprovodno kolo se zatvori brzo, a kroz cevovod se protok smanjuje polako

- **Ugrađivanje vodostana**



Kriterijum za sagledavanje potrebe ugrađivanja vodostana ili sinhronog regulatora:

Konstanta inercije derivacije pod pritiskom:
$$T_i = \frac{Q_{\max}}{gH_o} \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{A_i}$$

Za derivacije sa $A = \text{const}$:
$$T_i = \frac{L \cdot v_{o,\max}}{gH_o}$$

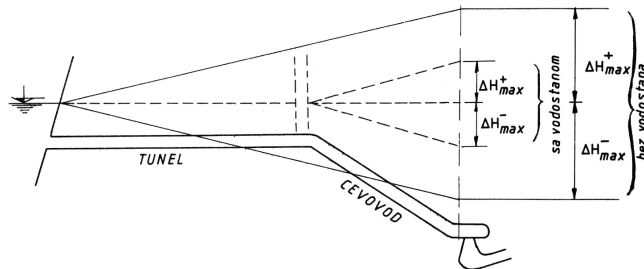
- $T_i < 3 + 4 \text{ s}$ \Rightarrow nisu potrebni sinhroni regulator ni vodostan (mala inercija derivacije)
- $3 + 4 < T_i < 10 + 12 \text{ s}$ \Rightarrow potreban sinhroni regulator, analizirati potrebu uvođenja vodostana
- $T_i > 12 \text{ s}$ \Rightarrow sigurno potreban vodostan

VODOSTANI

SVRHA - povećanje hidrauličke, mehaničke i elektromehaničke stabilnosti HE

- ZADACI:**
- 1) zaštita dovodne i odvodne derivacije od HU
 - 2) smanjenje HU u cevovodu
 - 3) olakšava regulisanje turbine smanjenjem udarnog talasa
 - 4) ekonomičniji dovod, turbina i odvod

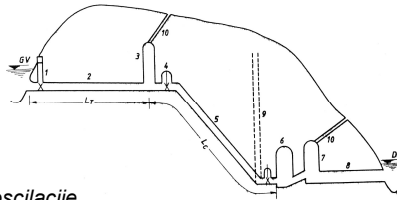
- Vodostan štiti tunel (dovodni ili odvodni) odnosno oblogu od Δp
- Vodenom masom odbija udarni talas i skraćuje put propagacije



- U uslovima stacionarnog rada nema nikakvu ulogu – čak smeta zbog lokalnog gubitaka

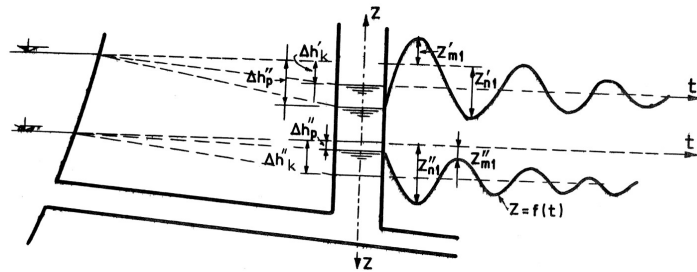
➤ **2 osnovna problema pri projektovanju:**

- što brža stabilizacija oscilacija → F_{vod}
- smanjenje amplituda ΔH_{max} → dimenzije i položaj



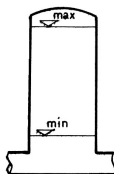
➤ **Režim rada vodostana:**

- 1. etapa - dok traje otvaranje (zatvaranje) T_z**
traje kraće, ali se javljaju najnepovoljnije oscilacije
- 2. etapa – stabilizacija oko nove Π kote**
traje duže (10tine i 100tine sec)



Tipovi vodostana na dovodnoj derivaciji

1) CILINDRIČNI



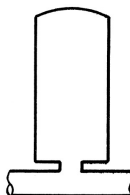
- za male padove
- jednostavan za izvođenje

Primena: veliko F_{KR}

Mane:

- potrebna velika zapremina
- sporo prigušenje oscilacija
- ↑ lokalni gubitak

2) SA PRIGUŠENJEM

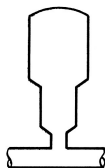


- manji lokalni gubici
- oscilacije prigušene: → manji gabariti
→ deo pritiska prenosi se na tunel

Primena: - za srednje padove
- često u kombinaciji sa drugim tipovima

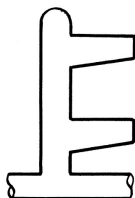
3) CILINDRIČNI SA PROMENLJIVIM PRESEKOM

- u kombinaciji sa prigušenjem
- kada je potrebna velika zapremina
- Z^+_{max} prioritetan problem



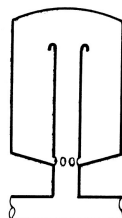
4) SA KOMORAMA

- F_{KR} malo
- velike oscilacije u jezeru
- donja i/ili gornja komora
- gornja može i otvorena

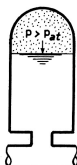


5) DIFERENCIJALNI

- imaju svojstva 1) i 4)
- kada treba vodostan u vidu kule
- rezultat teženje za sažimanjem visine
- često u kombinaciji sa drugim tipovima



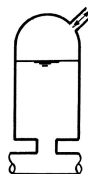
6) PNEUMATSKI



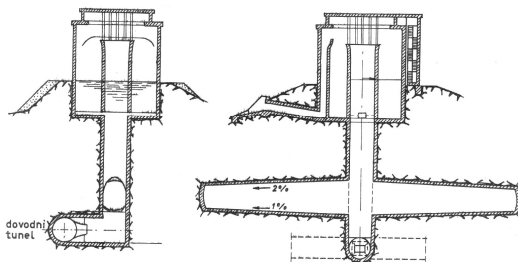
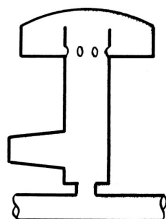
- retko se primenjuje (kod nas nikada)
- kada je problem gornja oscilacija, a vodostan ne može biti visok

7) POLUPNEUMATSKI

- uzak aeracioni otvor
- oscilacije sa promenljivim pritiskom vazduha

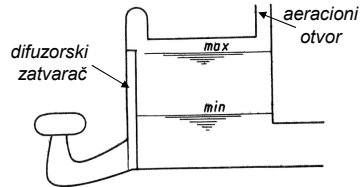


8) KOMBINOVANI



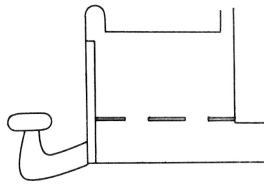
Tipovi vodostana na odvodnoj derivaciji

1) VODOSTAN – JEDINSTVENA KOMORA



- konstruktivno – u vidu proširenja odvodnog tunela
- za male oscilacije

2) KOMORA SA PRIGUŠIVAČIMA



- češći tip
- veći otpori – uspješnije prigušenje
- 1 ili 2 otvora $F_{otvora} \geq F_{odvodnog\ kanala}$

3) VODOSTANI SLOŽENOG PRESEKA

Stabilizacija oscilacija

➤ Stabilan rad postrojenja – što brža stabilizacija oscilacija

➤ Zadatak postavljen:

- HE Nemačkom u Nemačkoj + cilindrični vodostan → oscilacije se nisu umirivale
- problem ispitivao inženjer Toma i zaključio da moraju biti ispunjena dva uslova:

$$1) F_{min} \geq F_{KR} = \frac{L \cdot Q_o^2}{2 \cdot g \cdot f_T \cdot \Delta h_T (H_o - \Delta h_T - 3\Delta h_C)} \quad F = (1,1 + 1,15) F_{KR}$$

$$2) \Delta h_T + \Delta h_C < \frac{1}{3} H_o$$

Maksimalne oscilacije

1) $KNU + Q_{inst} \rightarrow 0$ trenutno, bez trenja - teorijski slučaj → KKV
sa trenjem → Z_{max}

2) $minRN + 0 \rightarrow Q_{inst}$ trenutno, sa trenjem → Z_{min}

Optimizacija vodostana

- *Parametre vodostana odrediti zajedno sa parametrima dovodno-odvodne derivacije i turbine*
- *Od lokacije i radnih karakteristika zavisi koštanje vodostana i koštanje tunela, cevovoda, turbine, opreme*
 - *Pritisci u tunelu zavise od postojanja i veličine prigušenja*
 - *Pritisak u cevovodu zavisi od dužine cevovoda*
- *Zadatak optimizacije u najopštijem slučaju:*

$$(\Delta T_V + \Delta T_T + \Delta T_C + \Delta T_D) \rightarrow \min$$

NESTACIONARNI FENOMENI U KANALSKIM DERIVACIJAMA

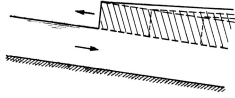
Hidraulički aspekt

Tipovi kanala

Mere za ublažavanje nepovoljnih efekata

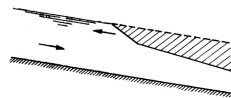
- Kao posledica neustaljenog rada → nestacionarni fenomeni
- Najvažnije izučiti **STRMI TALAS**

1) POZITIVAN INDIREKTNI TALAS



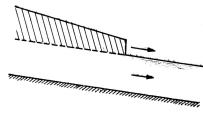
- dovodni kanal
- pri skidanju opterećenje ($Q_{inst} \rightarrow 0$)
- Najopasniji – kanal u nasipu
- ne može se sprečiti
- vodne komore, sinhroni regul., prelivi

2) NEGATIVAN INDIREKTNI TALAS



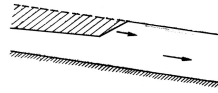
- dovodni kanal
- podizanje opterećenje ($0 \rightarrow Q_{inst}$)
- neophodno sprečiti pojavu proticajnog diskontinuiteta – zbog turbine
- vodne komore, regulacija vremena otvaranja

3) POZITIVAN DIREKTNI TALAS



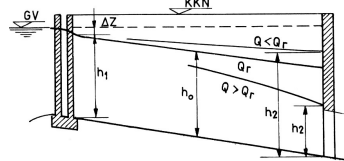
- odvodni kanal
- podizanje opterećenje ($0 \rightarrow Q_{inst}$)
- nije opasan – kanal u useku
- visina obloge kanala + položaj bermi

4) NEGATIVAN DIREKTNI TALAS



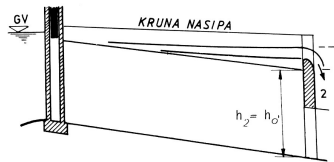
- odvodni kanal
- skidanje opterećenje ($Q_{inst} \rightarrow 0$)
- opasno spuštanje nivoa ispod onog neophodnog za zaštitu turbine
- risberma + prag na početku kanala

KANALI SA SAMOREGULISANJEM PROTOKA



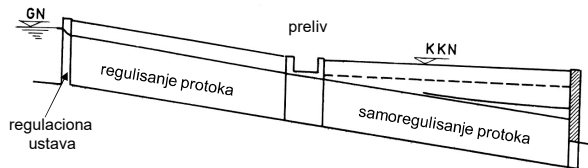
- nije potrebna upravljačka ustava na početku kanala
- samoregulacija se obezbeđuje denivelacijom Δz
- usporna linija zavisi od Q
- + samoreg. u čitavom opsegu Q – manja vodna komora
- ↑ obim radova (nasipi), posebno za ↑ L

KANALI SA REGULISANJEM PROTOKA



- primena za ↑ L_{kanala}
- 2 nova elementa: regulaciona ustava, preliv
- KKN prati IT liniju
- + manji troškovi, lakša evakuacija leda
- složena sinhronizacija upravljanja

KOMBINOVANI KANALI



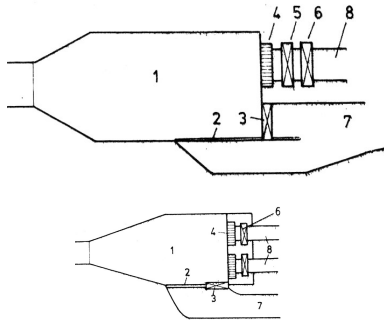
- primena za ↑ L_{kanala}

Mere za ublažavanje nestacionarnih fenomena

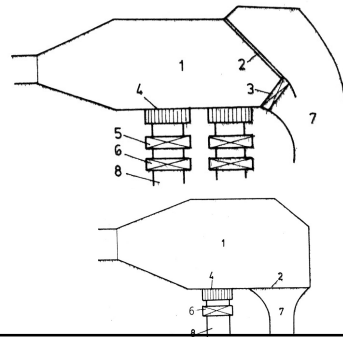
VODNE KOMORE

- Namena: hidraulički i bezbedonosno skladno povezivanje kanala i cevovoda
- Tečenje sa slobodnom površinom prevesti u tečenje pod pritiskom
- Realizuje se kao produbljen i proširen dovodni kanal
- KKPreliva, KKNasipa iz najnepovoljnijeg $Q \rightarrow 0$
- najniži nivo vode u komori iz najnepovoljnijeg $0 \rightarrow Q$

V.K. sa čeonim zahvatom

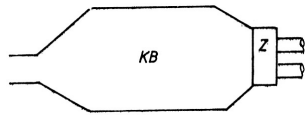


V.K. sa bočnim zahvatom

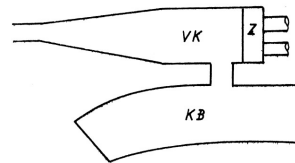


KOMPENZACIONI BAZENI

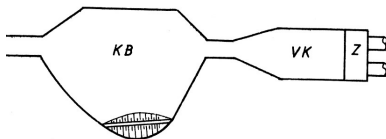
- Rade se u slučaju: - $L_{dovod} \uparrow$
- oštri neravnomerni režimi



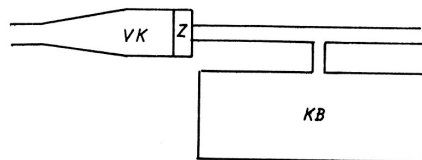
- + hidraulički dobra
- evakuacija leda i nanosa



- + lakše uklopiti u teren
- + evakuacija leda i nanosa dobra
- kapacitet spojnog kanala



- + prirodna depresija + manji nasip
- zasipanje, evakuacija leda

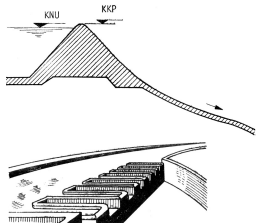


- + osobine vodostana sa gornjom komorom

➤ PRELIVI

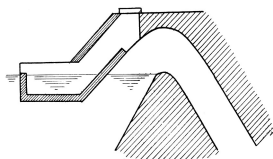
- Rade se u sklopu V.K. (čeono ili bočno)
- Namena: evakuacija vode pri $Q \rightarrow 0$
- Mora da radi automatski

Slobodni preliv



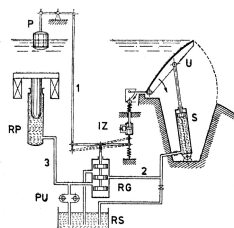
- + jednostavni
- + pouzdani
- mala propusna sposobnost

Sifonski preliv



- + manje oscilacije vode
- + specifični protok 4-5 puta veći nego kod slobodnog
- + baterija sifona na visinskoj denivelaciji 5-10 cm

Preliv sa automatskim zatvaračem



- + male oscilacije vode
- + niže kote nasipa
- skuplji i nepouzdaniji
- složeniji za održavanje

➤ SINHRONI REGULATORI

SPECIJALNI OBJEKTI NA HIDROENERGETSKIM POSTROJENJIMA

Taložnice na dovodnim derivacijama

Objekti za ribe

TALOŽNICE

- Koriste se kod rečnih zahvata. Ulaženje nanosa u derivaciju utiče na:
 - istaložavaju se najkrupnije frakcije u dovodni kanal ⇒ čišćenje i održavanje
 - abrazija cevovoda, spirale, turbine, difuzora (kkd↓) ⇒ remont
 - taloženje nanosa u odvodnom kanalu ⇒ čišćenje

- Taložnice su potrebne kada je:
 - mutnoća u zoni zahvata $> 0,5 \text{ kg/m}^3$
 - sadržaj nepoželjnih frakcija $> 0,2 \text{ kg/m}^3$
 - Nepoželjne frakcije: - čvrsti minerali (kvarc) $D \geq 0,25 \text{ mm}$
 - mekši minerali $D \geq 0,4 \text{ mm}$

- **Zahtevi:**
 - da se u taložnicama istalože sve frakcije krupnije od neke računski definisane
 - da se omogući ispiranje sa min. utroškom vode i pogonskim troškovima
 - da se obezbedi kontinuiran rad postrojenja

- Taložnice se smeštaju obično blizu zahvata (ne zasipa se dovodni kanal, blizu je vodotok zbog ispiranja)

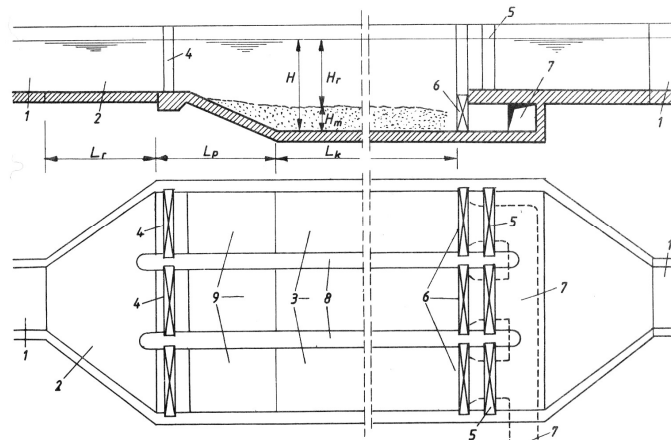
Taložnice sa periodičnim ispiranjem

- 1 komora + obilazni kanal (za $Q_{inst} \leq 10 \text{ m}^3/\text{s}$)

$$Q_{zahv} = Q_{inst} + Q_{isp}$$

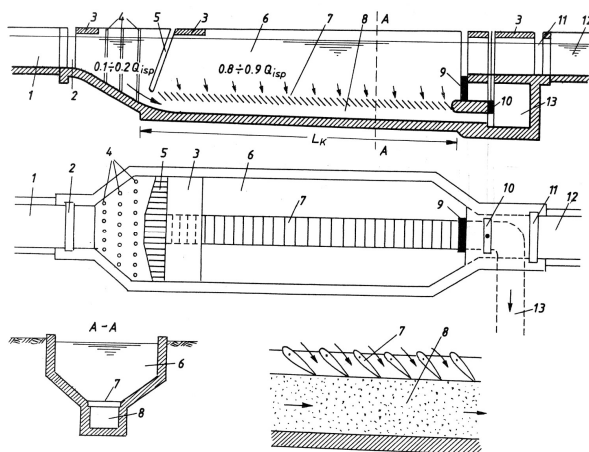
- 2 komore: $Q_{komore} = Q_{inst}$

$$Q_{komore} = \frac{1}{2} Q_{inst}$$

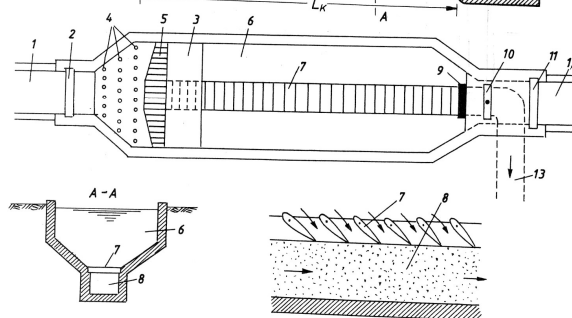


Taložnice sa kontinuiranim ispiranjem

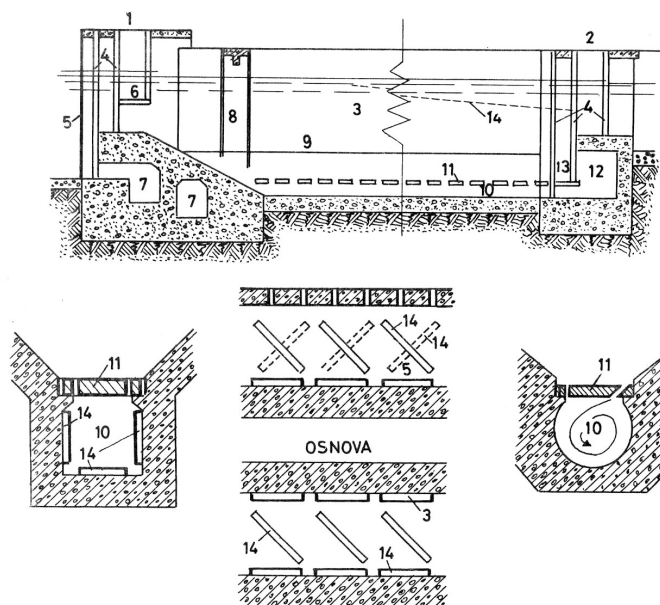
- Koriste se u tokovima sa velikom količinom nanosa
- Razlike u odnosu na taložnice sa periodičnim ispiranjem:
 1. Nema mrtvog prostora
 2. veća brzina taloženja
 3. kanal za nanos na dnu



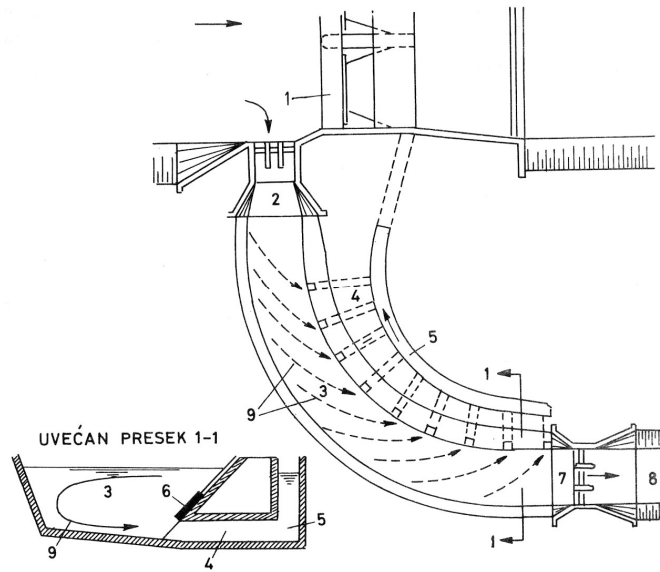
- Difuzorna taložnica



- Zamarinova taložnica



➤ Nikitinova krivolinijska taložnica



OBJEKTI ZA RIBE

➤ Izgradnjom uspornih objekata menjaju se ekološki uslovi za život biocenoza:

- migracija prema mrestilištima
- mrest vrsta koje zahtevaju brzu vodu
- migracija (nizvodna) posle mresta
- najugroženije obično najplemenitije vrste riba

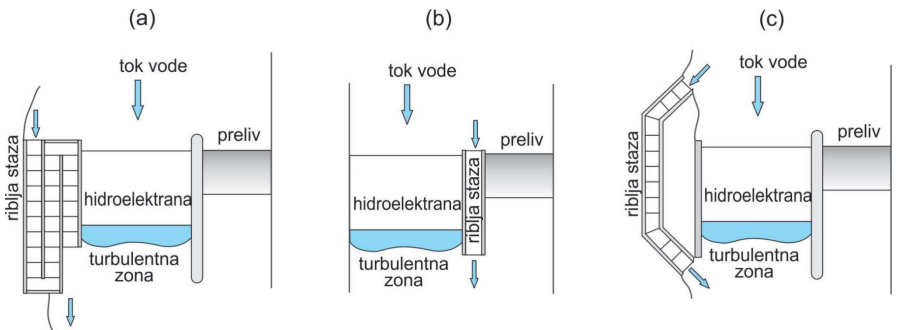
➤ Brojne mere za neutralisanje nepovoljnih uticaja:

- objekti za uzvodnu i nizvodnu migraciju
- uređaji za sprečavanje prilaza riba postrojenjima
- veštačka mrestilišta ili poribljavanje (riblja mlađ u vodotok)
- vodoprivredne mere - $\uparrow Q_{gep}$
- uređenje posebnih prirodnih mrestilišta u zoni ušća reka

Objekti za propuštanje riba

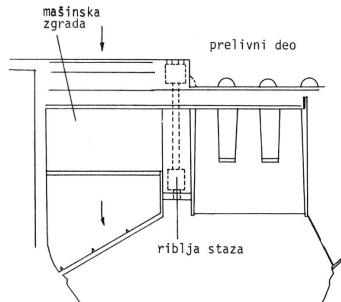
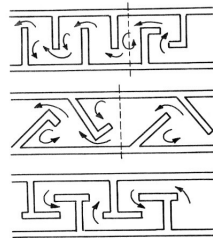
➤ **RIBLJE STAZE**

Posebni kanali kojima ribe same savladavaju denivelaciju
 Brzina vode zavisi od vrste ribe i tipa toka (ravnomeran ili sa otvorima)

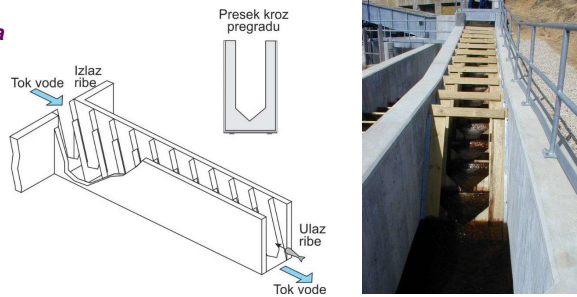


➤ **RIBLJE STAZE**

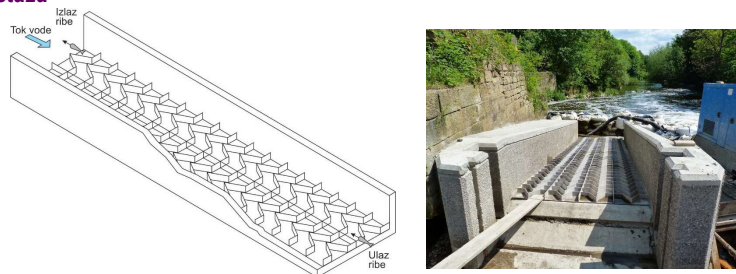
- **Kanalska** – za $H = 3 - 5\text{ m}$ (nagib 1 – 3%)
 Realizuju se kao brzotok – glatka
- **Veštačka rapavost** ($H = 5 - 15\text{ m}$), nagib 7,5 – 13%



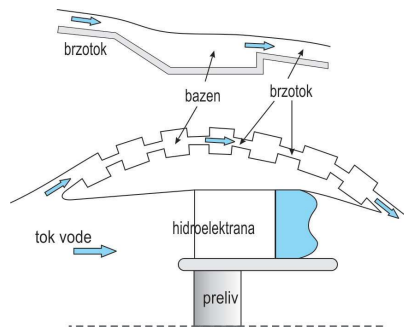
Denil riblja staza



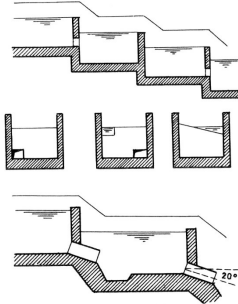
Larinier riblja staza



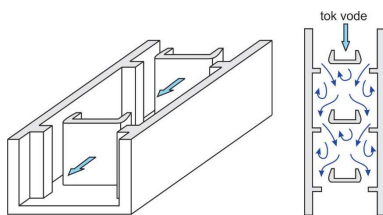
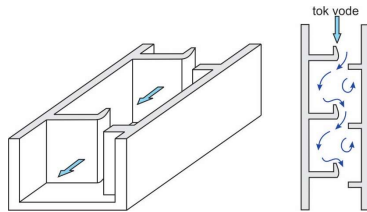
- **Kaskada bazena spojenih kanalima** – za $H \leq 20\text{ m}$
U bazenima manje brzine – ribe se mogu odmortiti



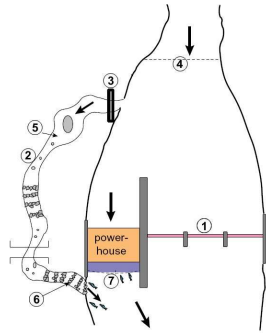
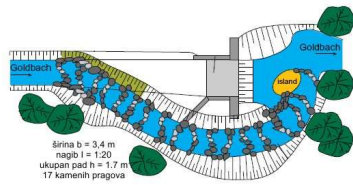
- **Stepeničaste riblje staze** – za $H \leq 30$ m
Najrasprostranjeniji oblik
Na svakih 4 – 5 m visinskih – bazeni za odmor



- **Stepeničaste riblje staze**



- Riblje staze kao prirodno uređeni prolazi

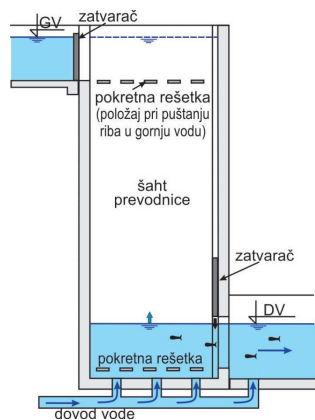


➤ **PREVODNICA ZA RIBE**

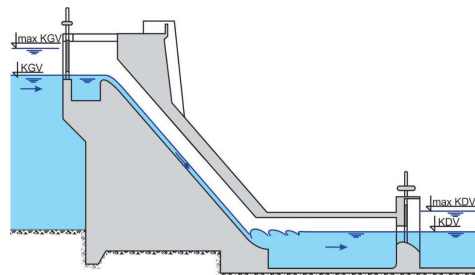
Za padove $H > 30 \text{ m}$ (riblje staze bile bi preduge)

Lokacija: na spoju brana-MZ ili uz obalu

- Šahtna prevodnica

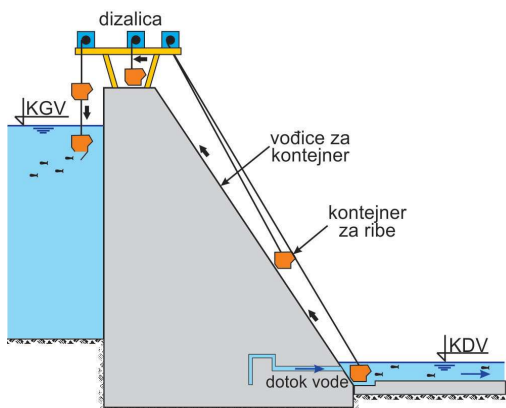


- Prevodnica sa kosim šahtom



➤ RIBLJE PREOSNICE

Ribe se namame u kontejner → zatvori se → mehanički se transportuje do GV → otvara se
Koristi se za velike padove
Mala propusna sposobnost



Objekti za zaštitu i usmeravanje riba

- Da ribe ne bi ušle u zone opasne za njih
- Da bi se usmerile prema ribljoj stazi
- Zasnivaju se na sistemu rešetki i mreža
- Problem: - čišćenje
- gubitak pada
- U novije vreme – električne pregrade (analogno "elektr. pastiru")

