

ESF II projekt Západočeské univerzity v Plzni

reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

VODNÍ A VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Dispoziční řešení vodní elektrárny 1

Milan Bělík

Legislativa

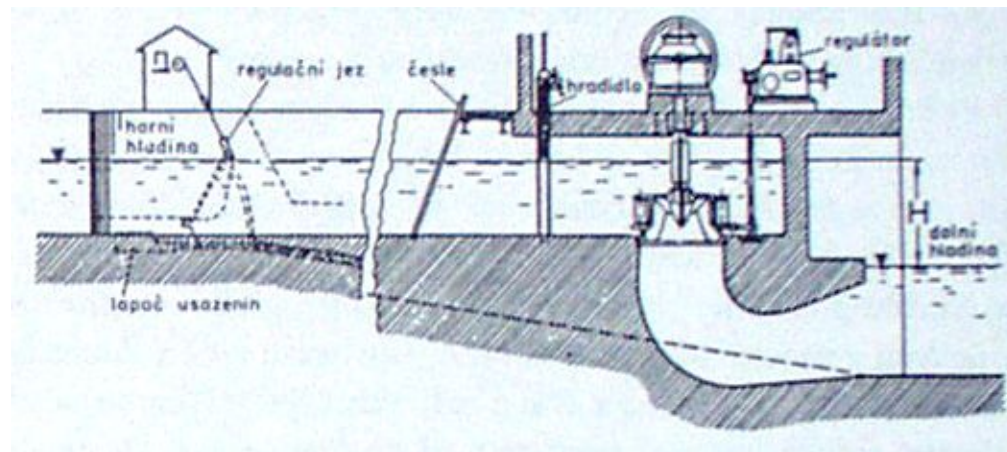
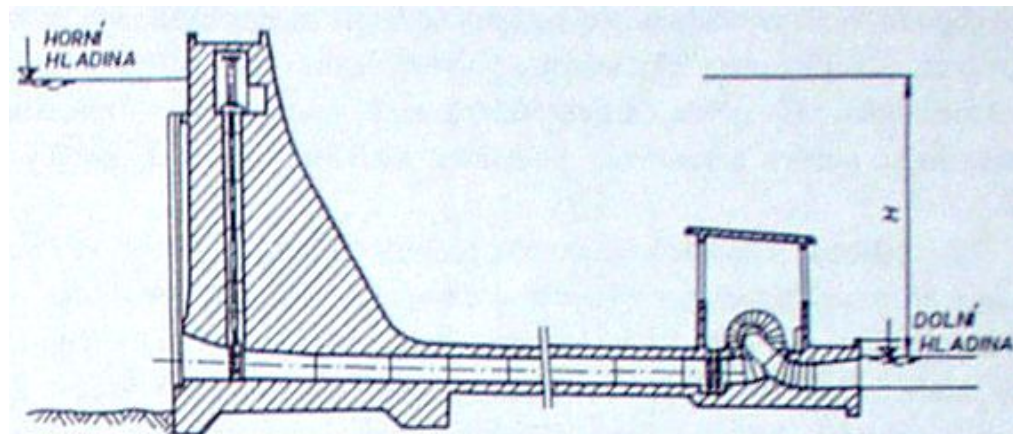
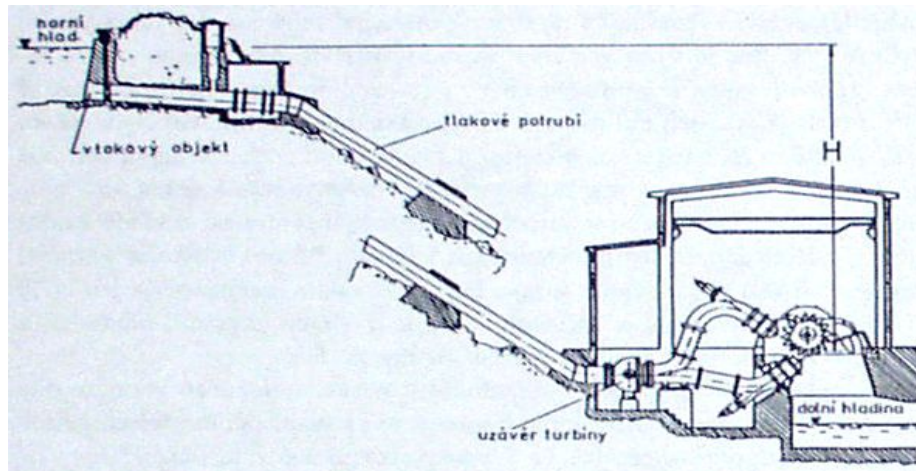
- **254/2001 Sb. Vodní zákon
(25.07.2001)**
- **183/2006 Sb. Stavební zákon
(1.1.2007)**
- **ČSN 73 6881 – Malé vodní elektrárny, základní požadavky
(1.1.1986 – 30.11.2010)**
- **ČSN 75 0128 - Vodní hospodářství. Názvosloví využití vodní energie
(1.6.1989 – 30.6.2009)**
- **ČSN 83 0917 - Ochrana vody před ropnými látkami
(1.9.1978 – 31.1.1995)**
- **ČSN 08 5000 - Názvosloví vodních turbín
(1.12.1986)**
- **ČSN 75 2601 - Malé vodní elektrárny - Základní požadavky
(1.12.2010)**
- **ČSN 75 0101 - Vodní hospodářství - Základní terminologie (1.10.2003)**
- **ČSN třídy 75 – Vodní hospodářství**
- **ČSN třídy 33 – Elektrotechnika - elektrotechnické předpisy**
- **ČSN třídy 34 – Elektrotechnika - bezpečnost**
- **ČSN třídy 35 – Elektrotechnika – stroje a výkonová elektronika**
- **ČSN třídy 36 – Elektrotechnika - osvětlování**
- **ČSN třídy 37 – Elektrotechnika - energetika**
- **ČSN třídy 38 – Elektrotechnika – požární bezpečnost**

Rozdělení vodních elektráren

- **malé vodní elektrárny (MVE): <10 MW**
 - **střední vodní elektrárny: 10-200MW**
 - **velké vodní elektrárny: >200 MW**
-
- **nízkotlaké hydroelektrárny: spád <20 m**
 - **středotlaké hydroelektrárny: spád 20-100 m**
 - **vysokotlaké hydroelektrárny: spád >100 m**

Rozdělení MVE

- **obvyklé dělení – ne podle normy**
- **vysokotlaké hydroelektrárny: spád > 50 m**
 - ◆ **horní tok, malý průtok**
 - ◆ **dlouhý tlakový přivaděč s vyrovnávací komorou**
 - ◆ **peltonova turbína (francisova, Bánkiho)**
- **středotlaké hydroelektrárny: spád 10 - 50 m**
 - ◆ **střední toky**
 - ◆ **krátký tlakový přivaděč bez komory (pod hrází)**
 - ◆ **beztakový náhon, derivační kanál**
 - ◆ **francisova turbína (kaplanova, propelerová, tomanova)**
- **nízkotlaké hydroelektrárny: spád 1,5 - 10 m**
 - ◆ **spodní tok**
 - ◆ **náhony s volnou hladinou, součást zdymadel, vedle jezu**
 - ◆ **kaplanova turbína (Bánkiho, francisova)**



Charakteristika MVE

- průmyslové - MW
- domácí (mini) – 10 – 100 kW
- mikro – 1 – 10 kW

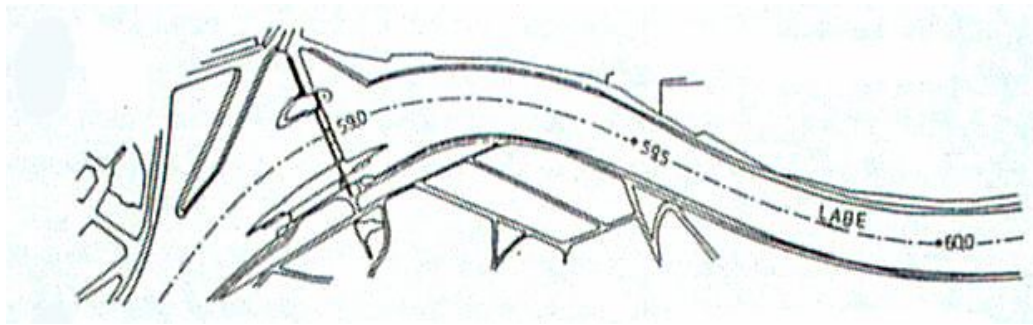
Lokality pro MVE

- rekonstrukce
 - ❖ stávající MV, mlýny
 - ❖ modernizace technologie
- výstavba u stávajících jezů
 - ❖ variabilní dispoziční řešení
- dostavba do neenergetických VH děl
 - ❖ využití nádrží (rekreační, závlahové...)
 - ❖ variabilní dispoziční řešení
- nové lokality
 - ❖ vysoké investiční náklady
 - ❖ spíše derivační kanály

Víceúčelové využívání vodního díla

- omezené vodní zdroje a zásoby
- regulace toku (sezónní, záplavy)
- lodní doprava
- energetika

- dispoziční řešení
 - ◆ zdymadlo - složité prostorové proudění
 - ◆ morfologické změny koryta
 - ◆ ledové jevy



přelom 19. a 20. stol.

jez za vrcholem oblouku

MVE v zářezu na vnějším oblouku

– malá účinnost turbín

plavební komory uvnitř oblouku

- špatná navigace - snášení

20. – 30. léta 20. stol.

rovnoběžné osy všech objektů (přímý úsek)

MVE u jednoho břehu

plavební komora u druhého břehu

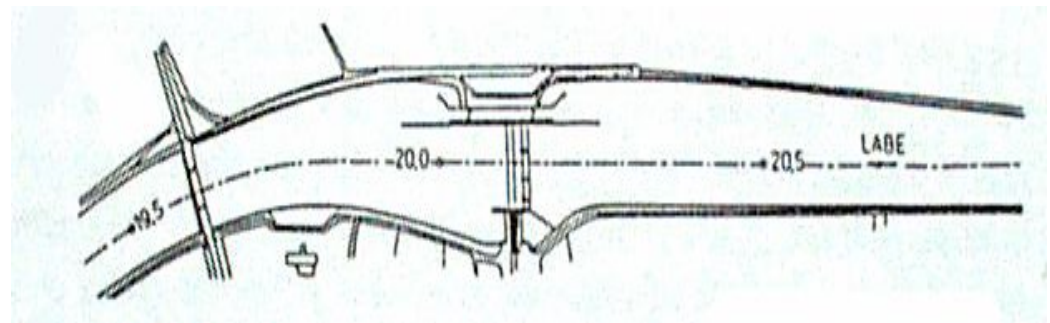
-víry a příčné proudění u vstupu do rejdy

-různý průtok jezových polí

-nesymetrické zatížení podjezí i nadjezí

-splaveniny, náplavy pod komorou

-snížená účinnost turbín



nejmodernější řešení

jez za vrcholem oblouku

přirozená nebo umělá vlnovka toku

MVE na vnějším oblouku

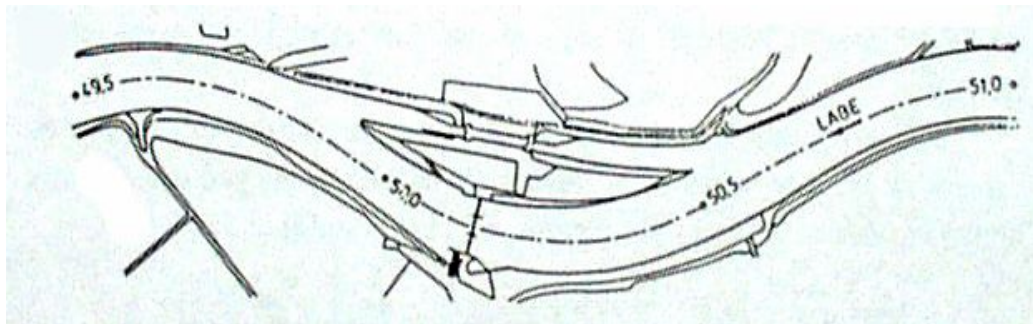
- natočený vtok a výtok

plavební komora na průplavu uvnitř oblouku

-ustí proti vnitřním protihlehlým obloukům

-velká vzdálenost komory a jezu – dálkové řízení

-zamrzání a zanášení dlouhých rejdy





Provozování hydroelektrárny

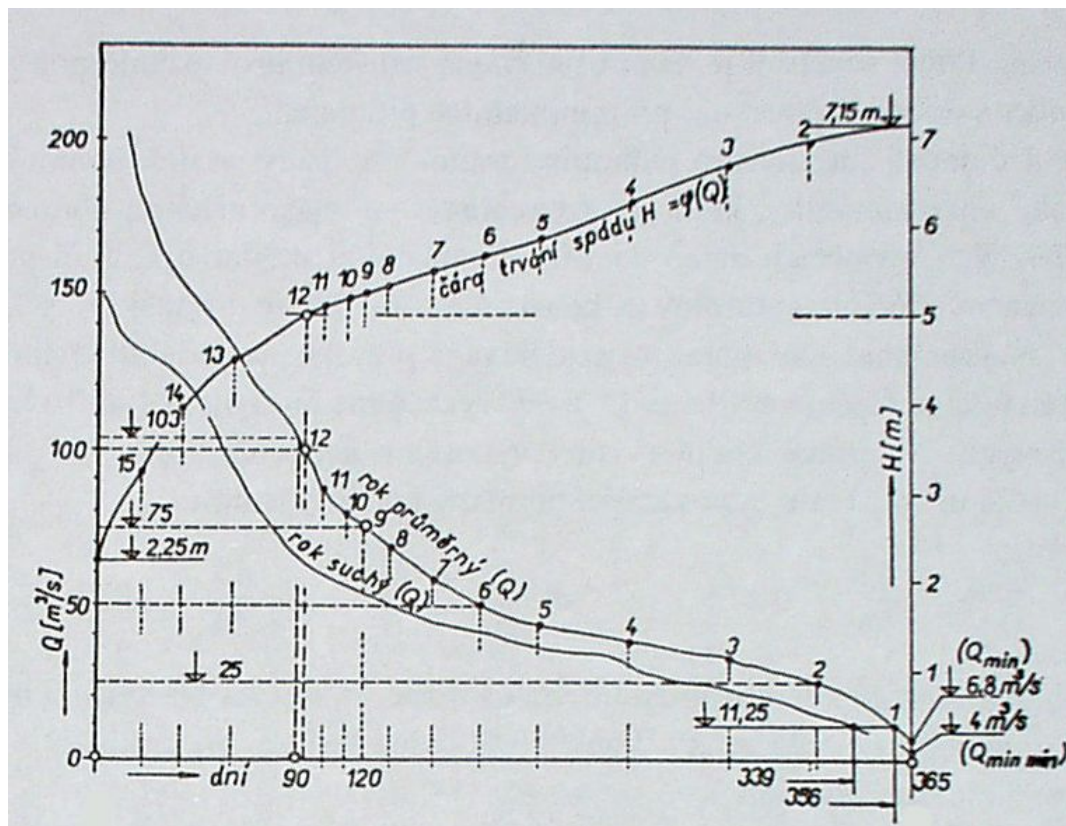
- **environmentální aspekty**
 - ◆ **změna mikroklimatu**
 - ◆ **ovlivnění vodního toku**
 - ◆ **vliv na krajinu**
- **víceúčelové využívání vodního díla**
 - ◆ **omezené vodní zdroje**
 - ◆ **omezené vodní zásoby**
- **Konvenční průtočná hydroelektrárna**
- **Přehradní hydroelektrárna**
- **Akumulační hydroelektrárna**
- **Přečerpávací hydroelektrárna**

Parametry hydroelektrárny

- **hrubý spád (brutto) H_b**
 - ❖ rozdíl hladin mezi 2 uvažovanými profily toku
 - ❖ nulový průtok elektrárnou
 - ❖ stanovení nivelací
- **užitný spád (netto) H**
 - ❖ rozdíl mezi potenciály těsně před a za motorem
 - ❖ hrubý spád mínus ztráty v přiváděči a odpadu
- **návrhový spád H_n**
 - ❖ nejčastěji se vyskytující užitný spád
- **maximální spád H_{max}**
 - ❖ největší užitný konstrukční spád turbíny
- **jmenovitý spád H_j**
 - ❖ užitný spád s nejlepšími hydraulickými vlastnostmi turbíny

Čára trvání spádu

- průtokové poměry
- manipulační řád jezu



Užitný spád rovnotlaké (akční) turbíny

$$H = H_b + \frac{\alpha_0 \cdot v_0^2}{2 \cdot g} - \sum h_{z_1} - h'$$

$$\frac{\alpha_0 \cdot v_0^2}{2 \cdot g}$$
 je rychlostní výška na začátku využívaného úseku [m],

Σh_{z_1} - součet všech hydraulických ztrát v přívodu vody [m],

h' - výška dotykového bodu výtokového paprsku z dýzy s dělící kružnicí oběžného kola nad hladinou dolní vody [m].

Energetická výška

(energie proudění)

$$E = y + \frac{\alpha v^2}{2g} = y + \frac{\alpha Q^2}{2gS^2}$$

y [m] hloubka vody, resp. výška hladiny nad nejnižším bodem dna,

 α Coriolisovo číslo, v [ms⁻¹] střední průřezová rychlost,

S [m²] průtočná plocha.

Coriolisovo číslo

(skutečná energetická výška / energetická výška ze střední průřezové rychlosti)

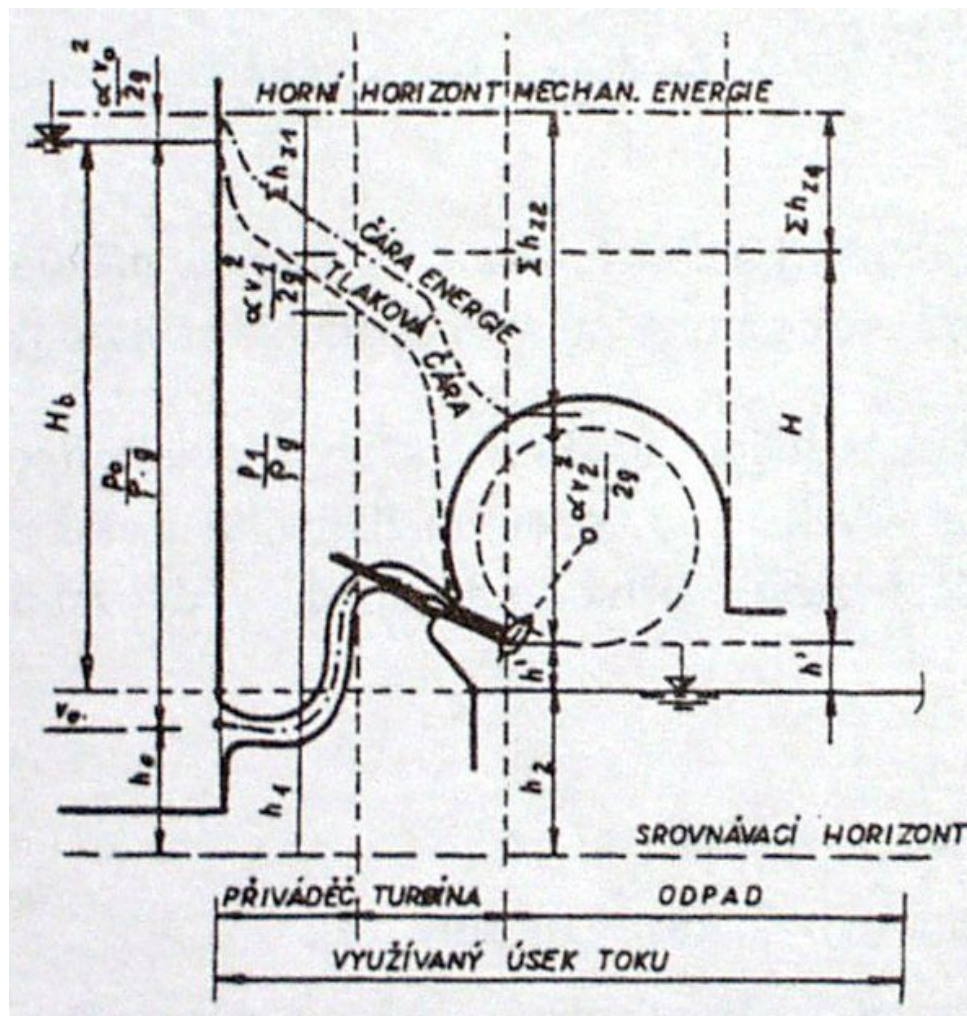
$$\alpha = \frac{\int_S u^3 dS}{v^3 S} \doteq \frac{\sum u_i^3 \Delta S_i}{v^3 S}$$

 $\alpha > 1$

u [ms⁻¹] místní (bodová) rychlost,

v [ms⁻¹] střední průřezová rychlost,

S [m²] průtočná plocha,



Užitný spád přetlakové (reakční) turbíny

$$H = H_b + \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2 - \alpha_2 \cdot v_2^2}{2 \cdot g} - \sum h_{z_{1-n}}$$

kde H je užitný spád [m] a α - Coriolisovo číslo.

$\frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2 \cdot g}, \frac{\alpha_2 \cdot v_2^2}{2 \cdot g}$ - rychlostní výšky na začátku a konci využívaného úseku [m],

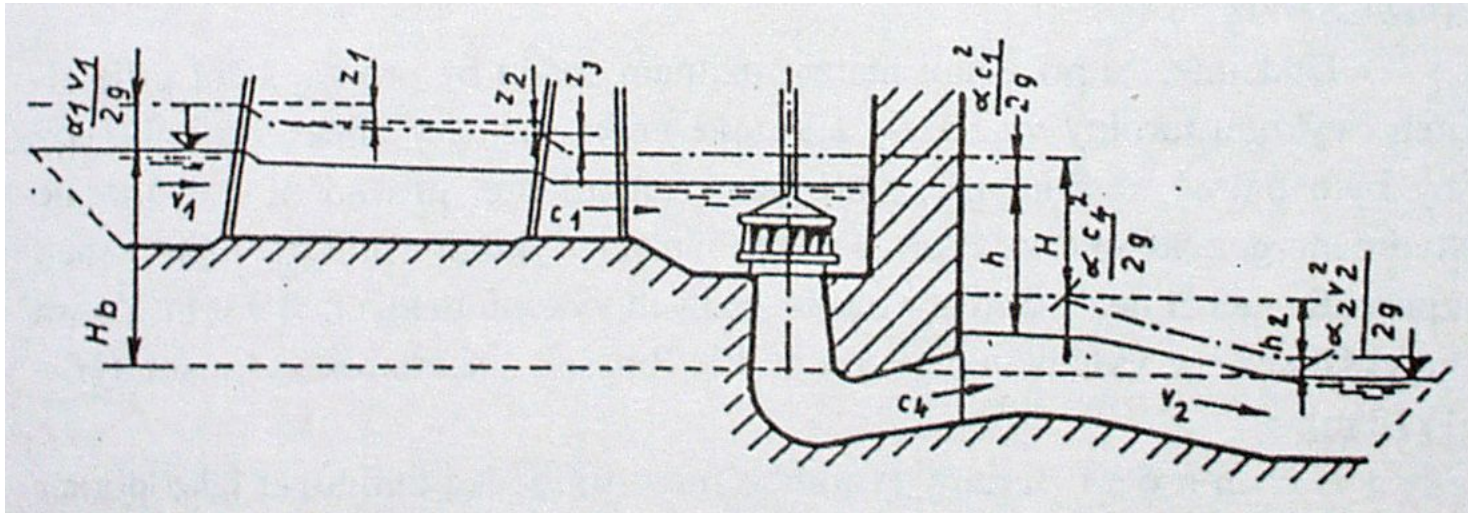
$\sum h_{z_{1-n}}$ - součet všech hydraulických ztrát na spádu v přívodu vody až po vtok na turbínu a v odpadu za sávkou [m].

h_{z_1} - vtoková ztráta [m],

h_{z_2} - ztráta třením po délce přivaděče [m],

h_{z_3} - ztráta v česlích a na vtoku do kašny turbíny [m],

h_{z_4} - ztráty v odpadu (třením, změnou směru, změnou průtočného profilu apod.) [m].



Hydroelektrárna

- **Vzdouvací zařízení**
- **Vtokový a výtokový objekt, obtok**
- **Přivaděč**
- **Strojovna**
- **Hydraulický motor**
- **Regulační zařízení**
- **Obtok, rybí přechod, lodní výtah**

Vzdouvací zařízení

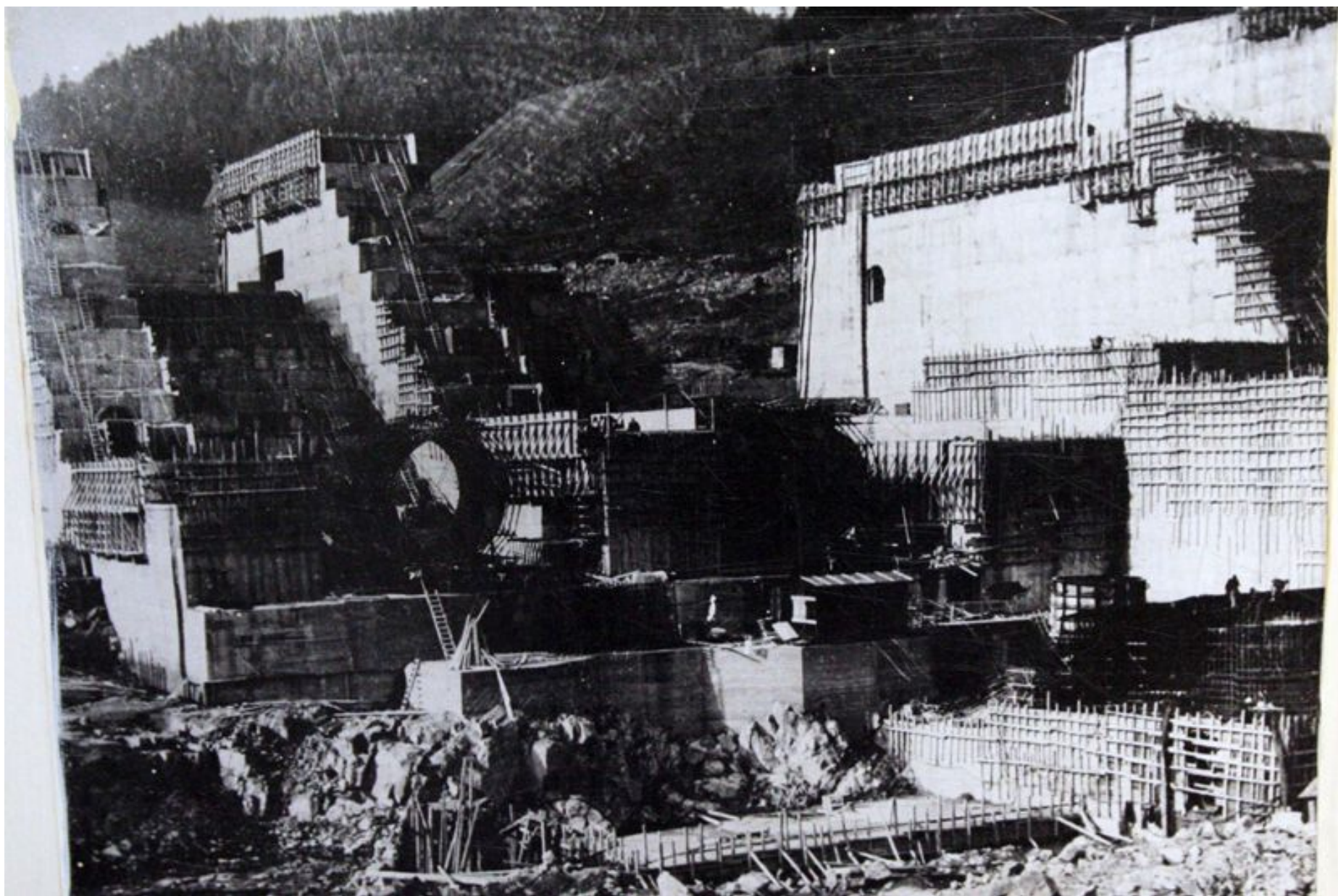
- **energetické účely x regulace toku**
- **hráz – vzduť jezera**
 - ❖ sypaná (gravitační)
 - ❖ betonová (klenutá)
- **jez – zvýšení spádu**
- **derivační kanál**

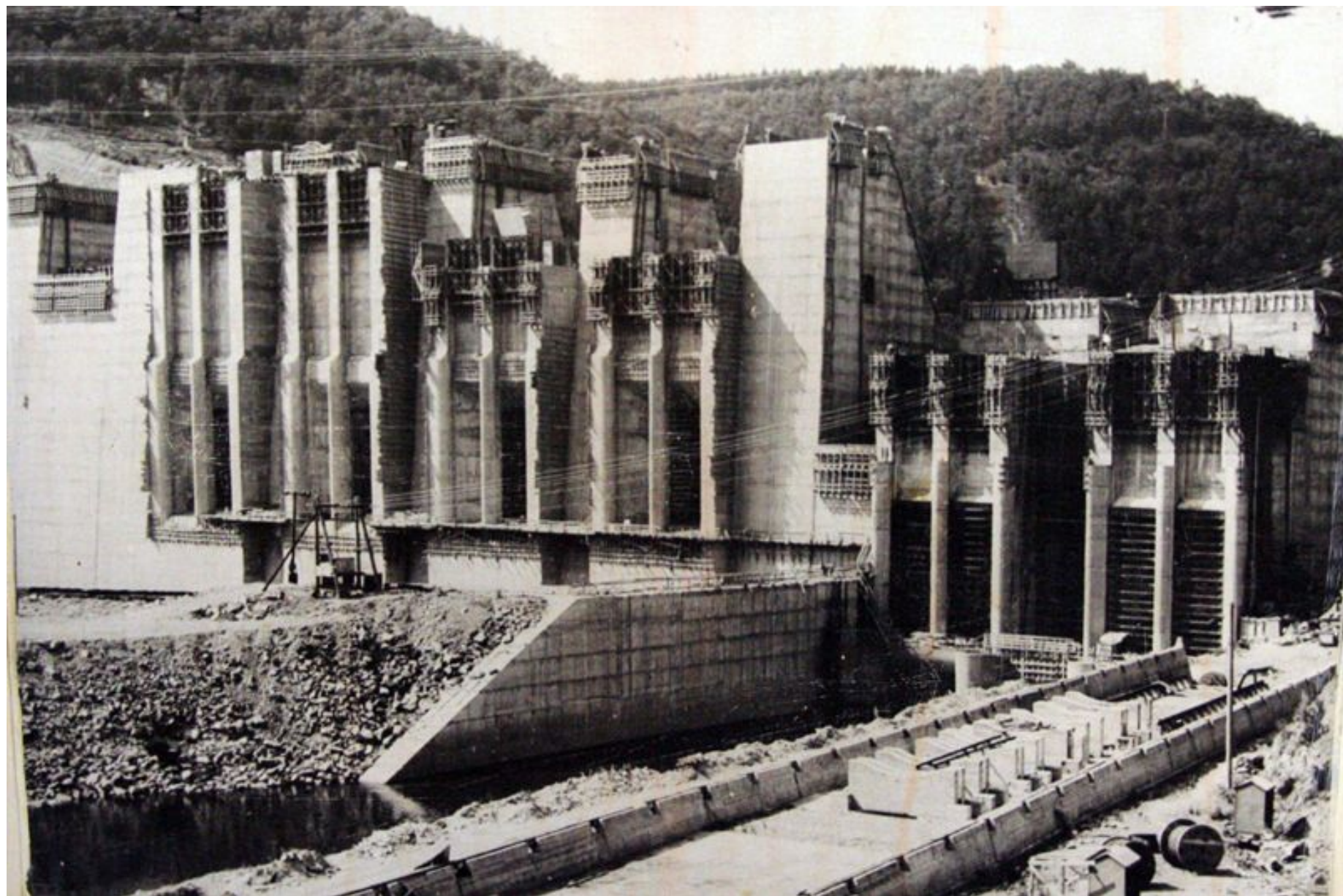


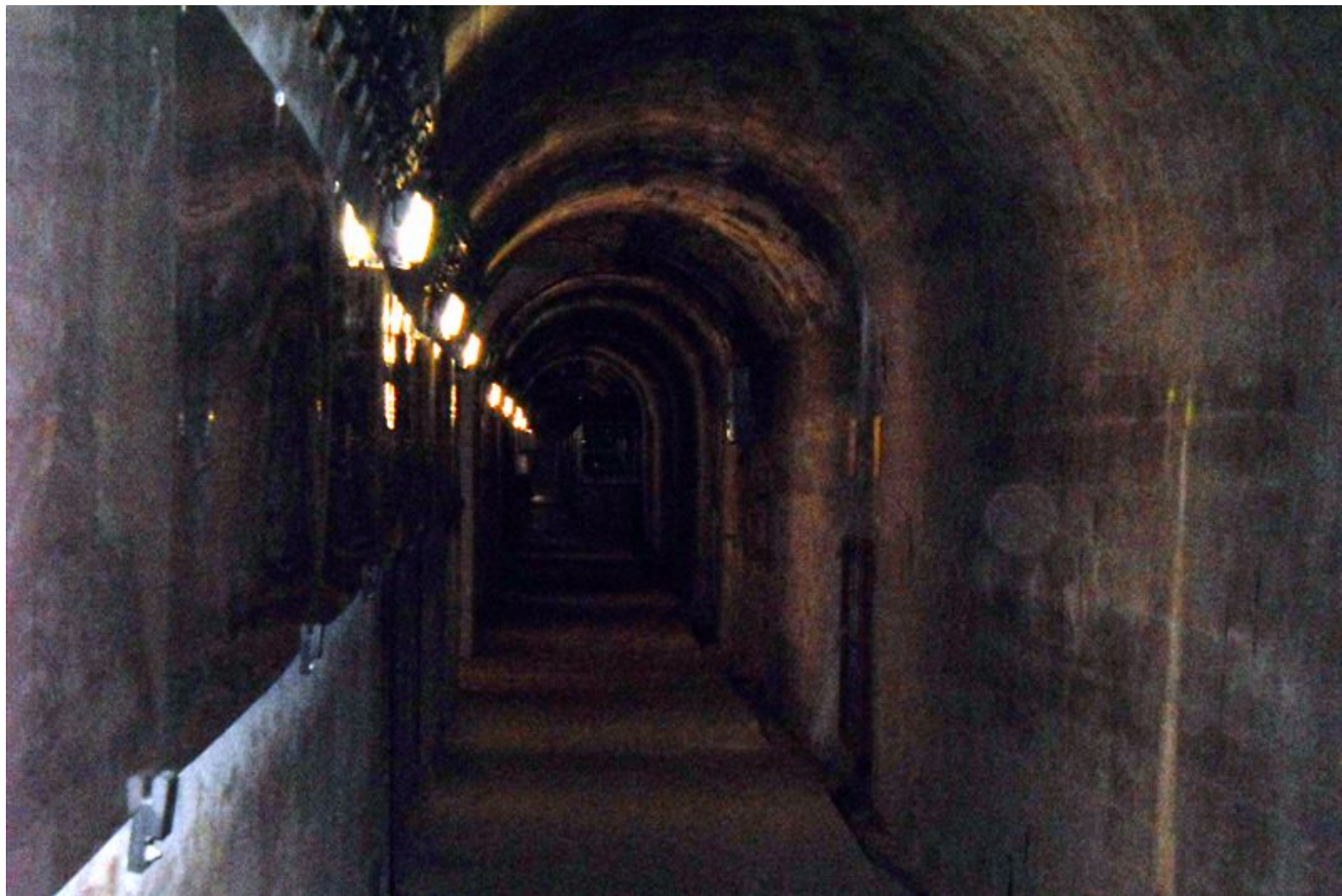


















Vtokový objekt

- **vstup vody**
 - ◆ **zajištění potřebného přítoku**
 - ◆ **provozní (regulační) uzávěry**
 - ◆ **nouzové uzávěry**
 - ◆ **zamezení přístupu**
 - ◆ **ochrana vodních živočichů**
- **čištění vody**
 - ◆ **hrubé a jemné česle, práhy, norné stěny**
 - ◆ **separace plavenin (větve, led, tráva...)**
 - ◆ **separace splavenin (písek, bláto...)**
- **zamezení vnikání vzduchu do turbíny**
 - ◆ **možnost zavzdušnění přivaděče**
- **omezení namrzání součástí**
- **minimální energetické nároky**
- **minimální hydraulické ztráty**

- **beztlakové x tlakové**





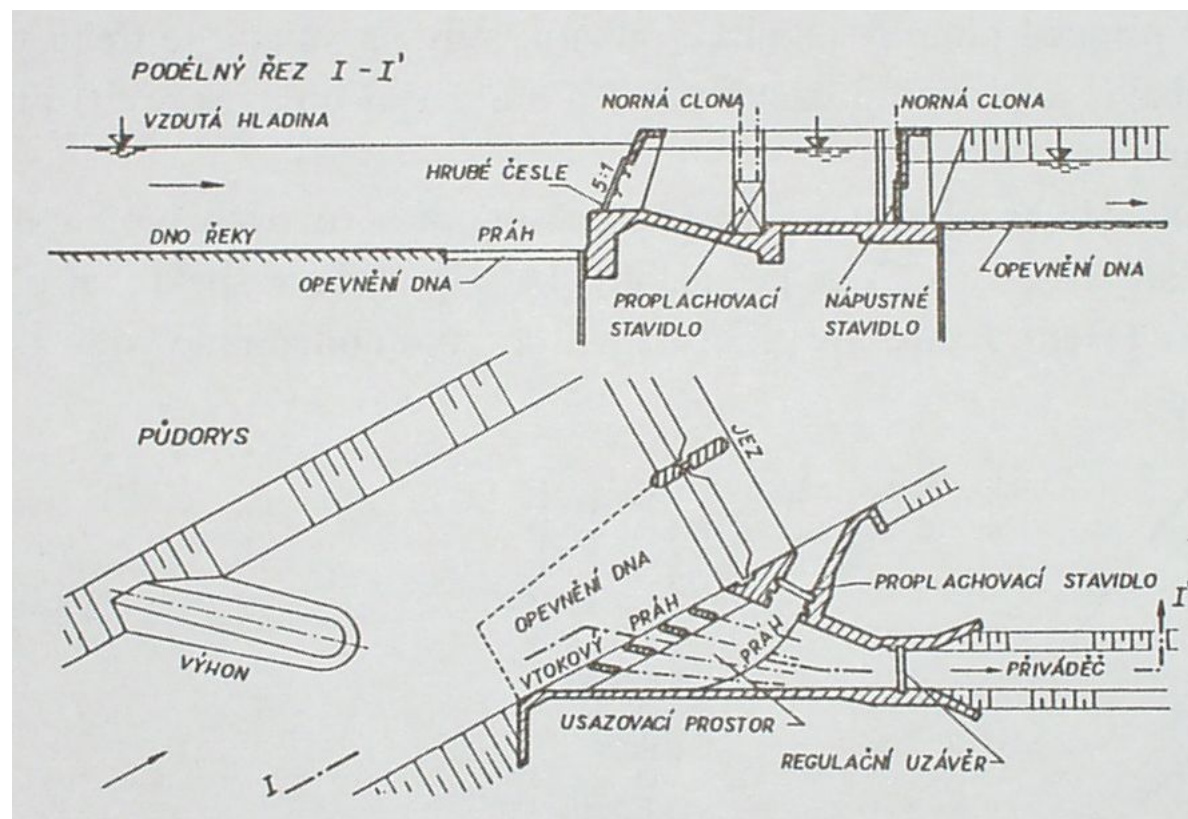
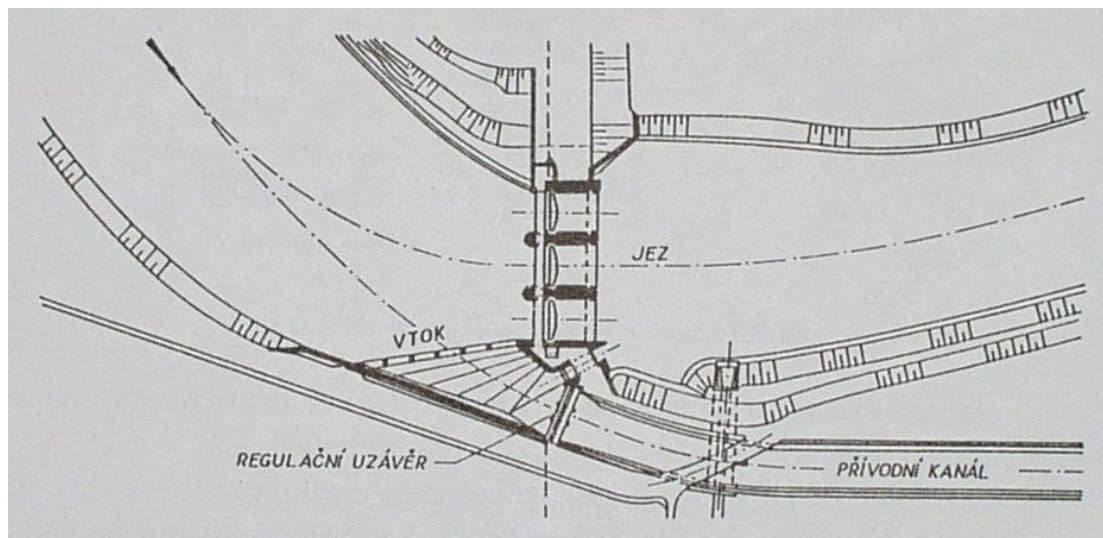






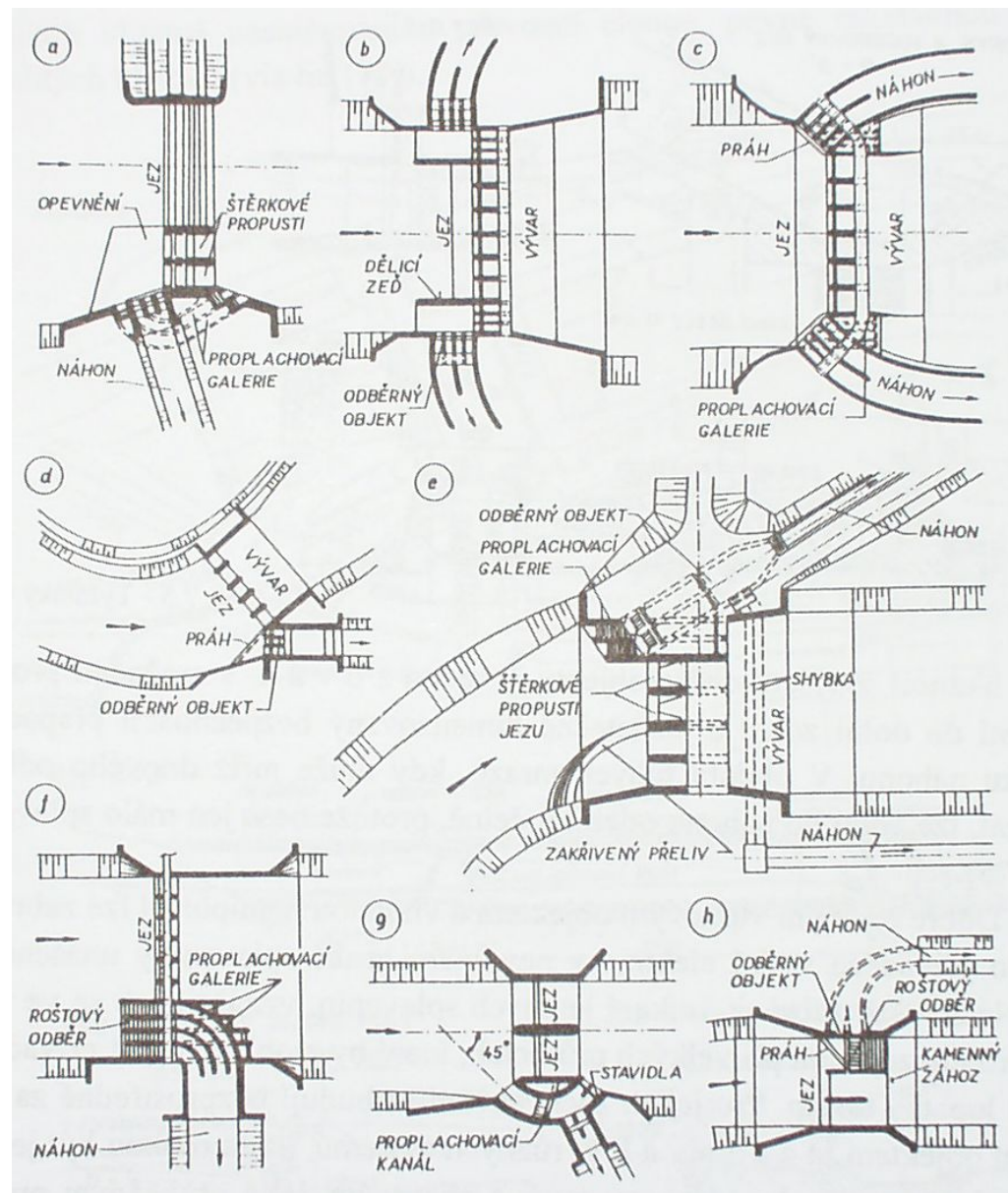
Beztlakové vtokové objekty

- ve vnějším oblouku toku
- umělé konkávy na přímých tocích (usměrňovací stavby)
- vtokový práh (0,5 – 1 m) – splaveniny
 - ◆ proplachovací kanál a stavidlo x manipulace jezu
- norná clona (0,5 m) – led, dřevo, větve
- hrubé česle (15 – 30 cm)
- usazovací prostor - splaveniny
 - ◆ proplachovací kanál a stavidlo x bagrování
- regulační uzávěr
- rychlozávěr
- provizorní hrazení (drážky)



Odběrné objekty

- **boční**
 - ◆ jednostranné
 - ◆ oboustranné
- **využívající příčné proudění**
- **čelní**
 - ◆ jednostranné
 - ◆ oboustranné
- **ze zakřiveného koryta**
- **dnové**



Ztráty vtokových objektů

$$\eta_{vt} = \frac{h_{v1}}{h_{z_{vt}} + h_{v1}} = \frac{h_{v1}}{\xi h_{v1} + h_{v1}} = \frac{1}{(\xi + 1)}$$

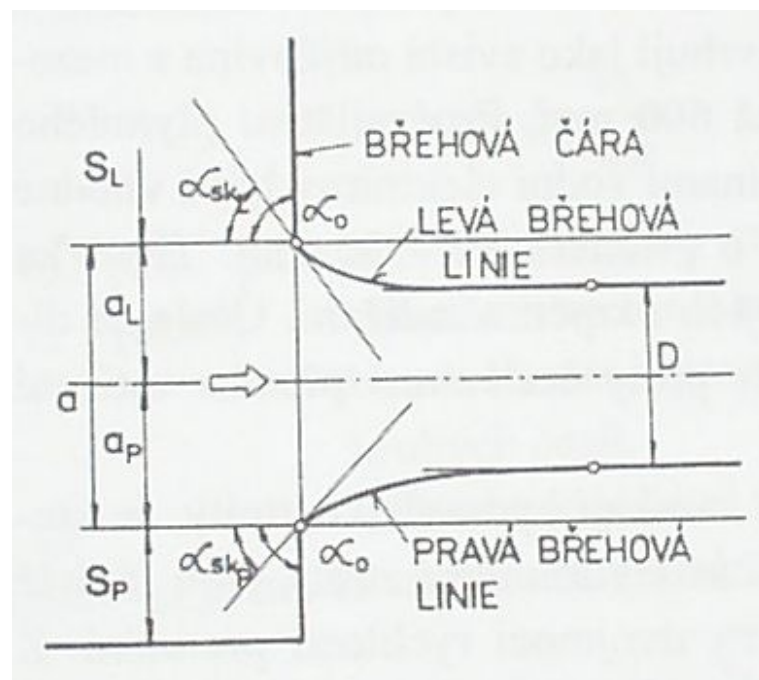
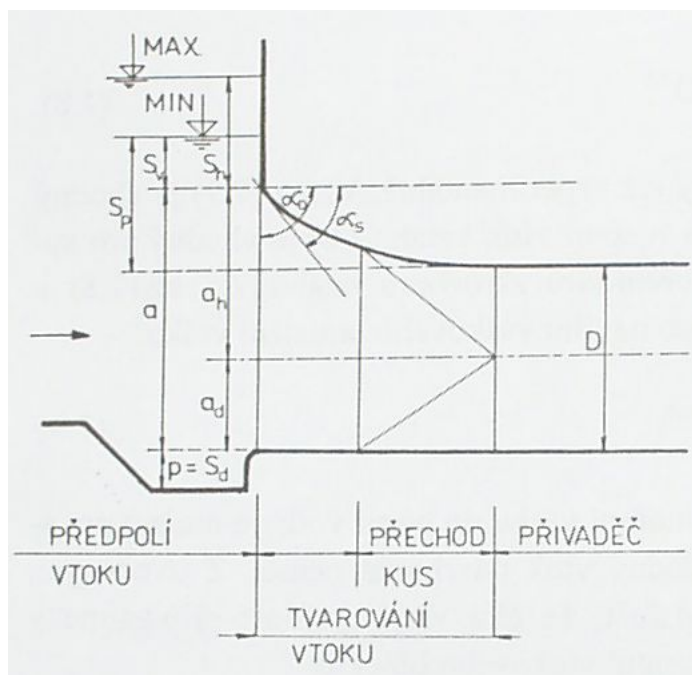
h_{v1} - kinetická energie vody v koncovém profilu vtokového objektu,
 $h_{z_{vt}}$ - celkové ztráty ve vtokovém objektu,
 ξ - ztrátový součinitel vtokového objektu.

tvarování objektů - jednozávitová logaritmická spirála

$$\rho = A \left(\log \frac{\alpha_0}{\varphi} \right)^B = A \left(\log \frac{\alpha_{sk}}{\varphi} \right)^B$$

ρ [m] je délka polárního průvodiče,
 φ [°] - úhel polárního průvodiče,
 α_0 [°] - teoretický úhlový faktor - úhel tečny v počátku náhradní
výtokové křivky při potenciálním proudění,
 α_{sk} [°] - skutečný úhlový faktor - úhel tečny v počátku náhradní
výtokové křivky při skutečném proudění,
 A, B - koeficienty závislé na hloubce ponoření vtoku a na
úhlovém faktoru α_0 , resp. α_{sk} .

Nahrazovaná obtékaná křivka	Rovnice
Výtok vody pod stavidlem, platí pro hluboko ponořené vtoky	$\rho = 2,175 \left(\log \frac{90}{\varphi} \right)^{1,809}$
Výtok vody kruhovým otvorem ve dně (podle Lískovce)	$\rho = 1,700 \left(\log \frac{55}{\varphi} \right)^{1,672}$
Eliptický tvar vtoku podle USA pro hluboko ponořené vtoky	$\rho = 1,928 \left(\log \frac{90}{\varphi} \right)^{1,760}$
Bezpodtlaková plocha podle Smetany	$\rho = 10,8 \left(\log \frac{93}{\varphi} \right)^{1,811}$
Bezpodtlaková přelivná plocha podle De Marchi	$\rho = 10,3 \left(\log \frac{113}{\varphi} \right)^{2,257}$
Obtékaný jezový pilíř	$\rho = 2,539 \left(\log \frac{90}{\varphi} \right)^{1,309}$



Ztráty na česlích

$$h_{zv} = \xi_0 \cdot \frac{v_0^2}{2g}$$

- v_0 [m.s⁻¹] - průměrná rychlost proudění v profilu hrubých česlí, bez uvažování zmenšení tohoto profilu konstrukcí hrubých česlí,
 ξ_0 - ztrátový součinitel vtoku do profilu hrubých česlí.

$$h_{zc} = \beta \cdot \left(\frac{S}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \cdot \frac{v_0^2}{2 \cdot g}$$

- β - tvarový součinitel obtékání česlic (ztrátový součinitel), pro hrubé česlice $\beta = 1,79$,
 S [m] - vnější průměr česlic (průměr trubky),
 b [m] - světlá vzdálenost mezi česlicemi,
 v_0 [m.s⁻¹] - střední rychlost proudění v profilu hrubých česlí, bez uvažování zmenšení plochy vlastními česlicemi.

$$h_{zc} = \beta \cdot \left(\frac{S}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \cdot \frac{v_0^2}{2 \cdot g} \cdot \sin(\alpha) \cdot k_\delta \cdot k_p$$

- β - tvarový součinitel při obtékání česlic,
 v_0 [m.s⁻¹] - průměrná rychlost proudění v profilu jemných česlí bez uvažování zmenšení profilu konstrukcí česlí,
 S [m], b [m] - šířka česlic a jejich světlá vzdálenost (obr.7.16),
 α (°) - úhel roviny česlí od vodorovné roviny,



Ztráty na drážkách hrazení a uzávěrů

- **narušují hladkou stěnu objektu**
- **časté podcenění (malé rozměry – zanedbání v modelech)**
- **reálný vliv:**
 - ◆ **neoptimalizovaný tvar: až 30% vtokových ztrát**
 - ◆ **optimalizovaný tvar: cca 15% vtokových ztrát**
- **kavitace na stěnách za drážkami**
 - ◆ **typicky při přivření stavidel (velké rychlosti proudění)**

