



SBORNÍK

TECHNICKÝCH ŘEŠENÍ  
MALÝCH VODNÍCH  
ELEKTRÁREN

SVAZ PODNIKATELŮ  
PRO VYUŽITÍ  
ENERGETICKÝCH ZDROJŮ



# Sborník technických řešení malých vodních elektráren

## 1. Úvod

### 1.1 Historie malých vodních elektráren (MVE)

Vodní energie patří k nejdéle využívaným obnovitelným zdrojům primární energie.

První zmínky o využití vodní síly vedou až do starověku (r. 1000 př.n.l.), kdy se používalo vodních kol k přečerpávání vody do zavlažovacích kanálů (Indie, Čína, Egypt). Na našem území byl v roce 718, jako první ve střední Evropě, vybudován na řece Ohři u Žatce mlýn poháněný vodní energií. Ve středověku umožnilo vodní kolo zřizování manufaktur vznikajících z řemeslné výroby.

Nejčastěji využití vodní síly sloužilo ve mlýnech k drcení zrna, na pilách atd. Technický rozvoj se do první poloviny 19. století omezil pouze na zdokonalování různých typů vodních kol.

Rozhodující pro rozvoj MVE byl vznik a vývoj vodních turbin jako základní součásti. Vývoj vodních turbin byl zpomalen vynálezem parního stroje (1765), takže až prakticky v polovině 19. století byly vyvinuty ekonomicky použitelné vodní turbíny. V letech 1848-1849 vyvinul první turbínu vhodnou pro velké výrobní série Američan Francis. Tato turbína se začala uplatňovat v Evropě po roce 1870. Na principu vstřiku tlakové vody do miskových lopatek vyvinul v roce 1877 Američan Pelton svoji turbínu.



Spirálová Francisova turbina byla dořešena v roce 1886. V roce 1912 vyvinul prof. Viktor Kaplan v Brně první vrtulovou turbínu (propeler) a v roce 1913 turbínu s natáčivými oběžnými lopatkami. V letech 1912 až 1919 prof. D. Bánki (Maďarsko) prováděl intenzivní experimentální práce a vypracoval teorii řešení specifického typu rovnotlakých turbin s dvojnásobným průtokem.

Uvedené typy vodních turbin jsou základní i v současné době, i když jsou samozřejmě různě modifikovány a řešeny na soudobé technické úrovni.

Vodní motory se v českých zemích začaly vyrábět od založení blanenských železáren v roce 1698. Nejdříve se vyráběla pouze vodní kola. Od roku 1870 se zde již vyráběly Francisovy turbíny. V roce 1870 byla založena továrna na výrobu vodních turbin Josef Prokop a synové v Pardubicích, která se stala před druhou světovou válkou dominantní ve výrobě Francisových turbin u nás a vyvážela je do všech států Evropy a i do některých asijských zemí.

Rozhodujícími výrobci vodních turbin v minulosti u nás byly firmy:

- Josef Prokop a synové, Pardubice (Francis)
- Ignác Storek v Brně (Kaplan)
- Českomoravská – Kolben, Praha (Francis, Pelton)
- ČKD Blansko (Francis, Kaplan, Pelton)

O rozvoji malých vodních elektráren svědčí inventarizace provedená v roce 1930, podle které v českých zemích (bez Slovenska) bylo provozováno 11 785 hydroenergetických děl s instalovaným výkonem 194,4 MW. Tento stav s menšími výkyvy (krize ve třicátých letech, pak druhá světová válka) lze považovat i za odpovídající úrovni roku 1948.



Po roce 1948 pak došlo ke znárodnění elektráren a k rušení MVE, neboť velké energetické státní podniky o MVE neměly zájem. Do tehdejšího ústředního ředitelství ČEZ bylo v roce 1949 převzato 152 větších malých vodních elektráren s instalovaným výkonem cca 84 MW. Další malé MVE zůstaly v držení JZD, místních národních výborů a znárodněných průmyslových podniků. Většina z nich postupně dosloužila nebo byla zrušena. Přesná evidence o těchto MVE neexistuje.

Teprve až počátkem osmdesátých let došlo k určitému uvolnění se zvýhodněním výstavby MVE (usnesení předsednictva vlády ČSSR č.304/1979). Navazujícími výnosy ministerstva financí byly osvobozeny příjmy z provozu MVE od daně z příjmů obyvatelstva v roce, v němž se jich začne používat a v následujících 10 letech. Pro tyto účely se považovaly za malé vodní elektrárny hydroenergetické zdroje, jejichž výroba nepřesáhla 200 000 kWh/rok. Samozřejmě takováto výše roční výroby elektřiny prakticky odpovídala pouze nejmenším MVE do výkonu cca 35 kW. Přesto zásadní změnou bylo, že i občané znovu mohli budovat a provozovat MVE.

## **1.2 Současný stav v ČR**

Po roce 1990 došlo k úplnému uvolnění soukromého podnikání i v oblasti malých vodních elektráren. Byla zrušena omezení výroby elektřiny hranicí 200 000 kWh/rok a soukromí podnikatelé mohli obnovovat a budovat MVE bez administrativních omezení, týkajících se instalovaného výkonu nebo o výše roční výroby elektřiny.

Došlo k postupné privatizaci části MVE dosud spravovaných státními organizacemi (ČEZ, rozvodné distribuční podniky) a k postupné obnově zrušených MVE. Dále se začaly soukromými podnikateli budovat i nové MVE ve vhodných lokalitách.



Zákon o daních z příjmů č.586/1992 Sb., osvobodil MVE do výkonu 1 MW od daně z příjmu, a to v kalendářním roce, v němž byly poprvé uvedeny do provozu a v bezprostředně následujících pěti letech.

Zákonem č. 222/1994 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o Státní energetické inspekci byla pro podnikání v energetických odvětvích zavedena státní autorizace, která nahrazuje v této oblasti živnostenská oprávnění. Tento zákon v § 18 stanovil povinný výkup elektrické energie rozvodnými energetickými a.s. (REAS), vyráběné z obnovitelných a druhotných zdrojů energie, pokud je to technicky možné.

Otázka výkupních cen takto vyrobené elektrické energie však zůstala nedořešena. Tato problematika se řešila pouze jednáními mezi REASy a Svazem podnikatelů pro využití energetických zdrojů, vždy za účasti Ministerstva průmyslu a obchodu ČR (MPO).

Těmito jednáními se podařilo postupně zvýšit výkupní ceny na dnešní úroveň, která činí 1,20 Kč/kWh do nízkého napětí a 1,13 Kč/kWh do vysokého napětí.

Při nedostatku vlastního kapitálu malých a středních podnikatelů a jejich obtížnému přístupu k cizím zdrojům sehrál v této oblasti významnou roli od r. 1991 Státní program na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie koordinovaný Českou energetickou agenturou při MPO.

Podle statistického zpracování výkazů o výrobě elektřiny v malých a středních zdrojích držitelů státní autorizace za celou ČR v součtu za rok 1999 byly výsledky MVE (výkaz VD2-12) následující:



Instalovaný výkon MVE (MW) z toho :	267,497
soukromé	203,129
ČEZ	21,200
REAS	43,150
Výroba elektřiny na svorkách (MWh) z toho :	659 692,883
soukromé	489 834,883
ČEZ	51 072,000
REAS	118 786,000
Počet objektů MVE	1 193
Počet TG	1 789

Instalovaný výkon MVE v roce 1999 tedy dosáhl 267,5 MW a bylo vyrobeno na těchto obnovitelných zdrojích téměř 660 GWh/r a počet MVE se těsně přiblížil číslu 1 200. Vztaheno k netto spotřebě elektřiny v ČR v tomto roce (50 855 GWh/r) činil podíl výroby elektrické energie v MVE 1,3%.

### 1.3 Hydroenergetický potenciál v ČR a možnosti dalšího rozvoje MVE

Vodní energie není sice u nás rozhodující, ale přesto je velmi cenným zdrojem výroby elektrické energie. Malé vodní elektrárny mají trvalý a nevyčerpatelný zdroj energie a i z ekologického hlediska patří výroba z těchto zdrojů k nejšetrnějším způsobům získávání elektrické energie. Za každou vyrobenou kWh z vodních elektráren je třeba vidět úsporu cca 1 kg energetického uhlí. Mají dlouhou životnost (50 let a více), nízkou poruchovost, moderní MVE jsou již bezobslužné (pouze s občasným dohledem), zlepšují napěťové poměry na koncích sítí, nezatěžují přenosovou soustavu atd.



Poslední údaje o výši teoretického hydroenergetického potenciálu za ČR jsou uvedeny v tabulce (v GWh/rok):

Teoretický potenciál celkem	13 100
Technicky využitelný potenciál celkem	3 385
z toho:	
využitelný potenciál ve VE >10 MW	1 814
využitelný potenciál v MVE < 10 MW	1 571
Využitý potenciál celkem (výroba za r 1999) *	1 674
z toho:	
VE >10 MW *	1 014
MVE < 10 MW	660
Nevyužitý potenciál celkem	1 711
z toho:	
VE >10 MW *	800
MVE < 10 MW	911

\* bez přečerpacích vodních elektráren

Vztaženo k netto spotřebě elektřiny v ČR v roce 1999 (50 855 GWh/r) činil podíl výroby elektrické energie ze všech vodních elektráren nad i pod 10 MW (bez přečerpacích vodních elektráren) 3,3%.

Nevyužitý potenciál MVE ve výši 911 GWh/rok při využití instalovaného výkonu 4 000 hod/r odpovídá možnostem výstavby nových MVE o celkovém výkonu cca 230 MW. Tento odhad je možno považovat za minimální hranici. Při vytvoření příznivějších podmínek, zejména ekonomických a legislativních je možno předpokládat využití i méně vhodných lokalit a tím i zvýšení celkového instalovaného výkonu MVE.



To znamená, že malé vodní elektrárny do výkonu 10 MW by mohly dosáhnout v součtu (současný výkon MVE + nevyužitý potenciál) výkonu okolo 500 MW a ročního objemu výroby elektrické energie až 1 500 GWh za rok.

#### **1.4 Situace v zemích Evropské unie**

Země Evropské unie kladou, zejména v posledních letech, značný důraz na využívání obnovitelných zdrojů energie.

Evropská komise přijala v květnu 2000 Směrnici o podpoře elektřiny z obnovitelných zdrojů energie na vnitřním trhu s elektřinou, jejímž cílem je přispět ke splnění závazků z Kjóta a splnění cíle zdvojnásobit podíl obnovitelné energie na celkové spotřebě energie ze současných 6% na 12% v roce 2010. Strategickým cílem směrnice je vytvořit rámec pro střednědobé významné zvýšení podílu „zelené“ elektřiny v EU a usnadnit její přístup na vnitřní trh s elektřinou. Evropská komise žádá vlády států EU a evropský energetický průmysl, aby se zavázaly zvýšit využívání obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny.

Směrnice navazuje členské státy k zavedení individuálních cílů vzhledem k budoucí spotřebě elektřiny z obnovitelných zdrojů. Dále požaduje aby kvantitativní cíle byly jednotlivými členskými státy zvoleny tak, aby bylo maximalizováno pronikání elektřiny z obnovitelných zdrojů na trh. Členské státy jsou povinny usnadnit a urychlit postupy schvalování výstavby a provozu elektráren vyrábějících „zelenou“ elektřinu.

V souvislosti s tím, byl např. ve Spolkové republice Německo přijat zákon o obnovitelných energiích, který zavádí povinnost výkupu „zelené“ elektrické energie provozovateli elektrorozvodné sítě za zákonem stanovené ceny. Podobná ustanovení platí již i v dalších zemích EU, jako je Francie, Rakousko, atd.





Vzhledem k celkovému vztahu v Evropě vůči obnovitelným zdrojům lze očekávat obdobné změny v přístupu i v České republice. Proto je očekáván i zvýšený zájem veřejnosti o efektivní technická řešení v oblasti malé vodní energetiky.

### **1.5 Základní pojmy a názvosloví**

Pro navrhování, výstavbu, rekonstrukce a provoz malých vodních elektráren (MVE) existuje norma ČSN 73 68 81 - malé vodní elektrárny. Z této normy vychází základní názvosloví a pojmy:

- Malými vodními elektrárnami jsou zdroje využívající vodní energii pro výrobu elektřiny o instalovaném výkonu do 10 MW.
- Základními parametry MVE je spád, průtok turbínami, instalovaný výkon MVE a průměrná roční výroba elektrické energie.
- Instalovaný výkon je součet jmenovitých činných výkonů všech soustrojí elektrárny.
- Dosažitelný výkon MVE je nejvyšší činný výkon, kterého MVE může dosáhnout při daném stavu všech zařízení a při provozních podmínkách.
- Využitelný průtok je maximální průtok, který je MVE schopna při příslušném spádu energeticky zpracovat
- Celkový spád MVE je výškový rozdíl hladin před vtokem a před vyústěním odpadu za předpokladu nulového průtoku elektrárnou.
- Čistý (provozní) spád MVE je výškový rozdíl hladin před vtokovým objektem (vtokem turbíny) a před vyústěním odpadu (za savkou) zmenšený o ztráty v hydraulickém obvodu MVE.
- Hydraulický obvod MVE jsou všechny prostory protékané energeticky využívanou vodou od prvního příčného průřezu na vtokovém objektu do posledního příčného průřezu na výtoku MVE.

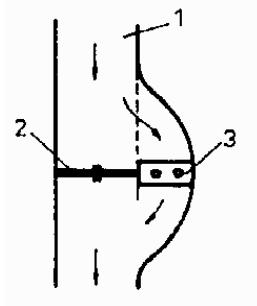
## 1.6 Dispoziční uspořádání

MVE jsou navrhovány jako:

- průtočné (neovlivňující v daném profilu přirozený průtok vodního toku)
- nebo
- akumulční (využívající akumulace průtoků ve vodní nádrži a potřebných odběrů vody z jejích prostorů).

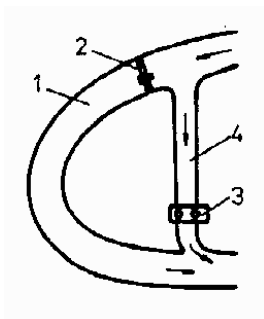
MVE mohou mít následné 3 varianty dispozičního řešení:

- jezová (příjezová) v řadě variant uspořádání, např.:



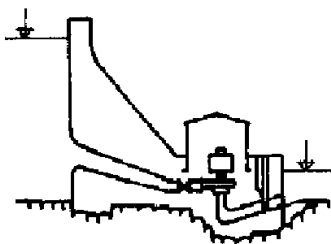
- 1 – vodní tok
- 2 – vzdouvací zařízení
- 3 – malá vodní elektrárna

- derivační (před vzdouvacím zařízením je část vody přivedena do derivačního přiváděče k MVE, kde je využit spád mezi horní hladinou a výtokem do původního toku)



- 1 – vodní tok
- 2 – vzdouvací zařízení
- 3 – malá vodní elektrárna
- 4 – derivační přiváděč (náhon)

- přehradní (MVE je zcela nebo z podstatné části v tělese hráze, nebo jako podpřehradová, popř. věžová)



Obvykle jsou MVE dispozičně řešeny jako jezové nebo derivační.

Vzhledem k tomu, že malé vodní elektrárny jsou navrhovány převážně jako průtočné, nejsou akumulární vodní elektrárny dále předmětem zájmu.

Základní kategorizace MVE vychází z normy ČSN 73 6881. Podle celkového dosažitelného výkonu se MVE třídí na čtyři kategorie:

Kategorie MVE	Výkon MVE (kW)
I.a	nad 1 000
I.b	500 – 1 000
II.	100 – 500
III.	35 – 100
IV.	do 35

Často je používáno dělení MVE podle velikosti spádu:

Typ MVE	Spád (m)
Nízkotlaká	do 20
Středotlaká	do 100
Vysokotlaká	nad 100



## 2. Turbíny pro MVE

Základní dělení turbin podle způsobů přenosu energie vody na oběžné kolo je následující:

- **rovnotlaké**, u nichž se celá polohová energie vody mění už v rozváděcích kanálech, dýzách v kinetickou energii, která je potom využívána v oběžném kole umístěném nad hladinou spodní vody. Označují se také jako akční. Patří sem např. Peltonova turbina a Bánkiho turbina (bez savky).
- **přetlakové**, u nichž se v kanálech rozváděcího kola mění jen část polohové energie vody v kinetickou energii, přičemž zbývající část polohové energie vody se mění v energii kinetickou až při průchodu vody oběžným kolem. Hydrostatický tlak se od vtoku do kanálů oběžného kola směrem k výtoku zmenšuje, čili je v nich přetlak. Využití energie rychlosti vody výtoku oběžného kola umožňuje savka turbíny. V ní se rychlost vodního proudu plynule zmenšuje. Tyto turbíny se označují také jako reakční. Patří sem např. vrtulová, Kaplanova, Francisova turbina aj.

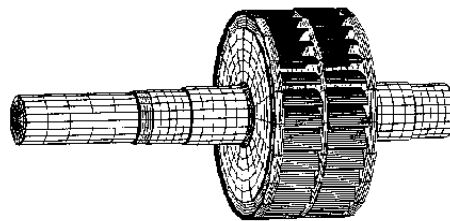
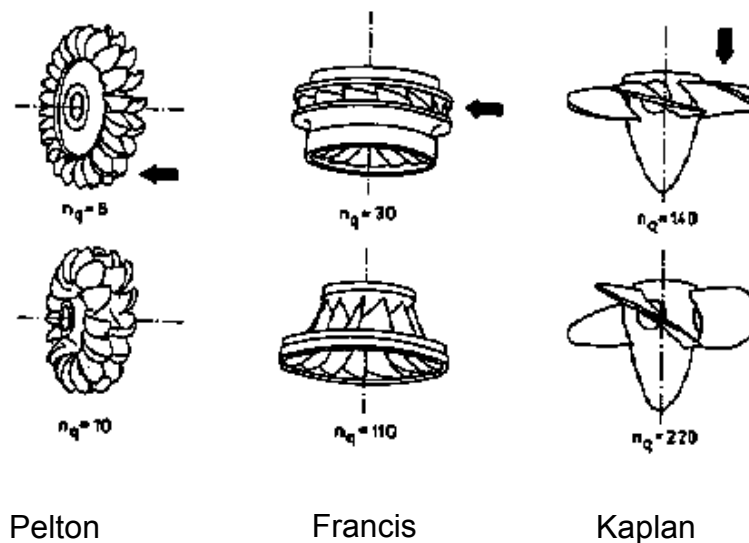
Pro vysoké spády a menší průtoky se používá turbina Pelton (rozsah spádů od 30 do 1000 m a více).

Pro střední spády a průtoky je vhodná turbina Francis (cca 15 až 100 m).

Turbina Kaplan je vhodná obdobně na spády od 1,5 do cca 10 – 15 m.

Turbina Bánki pak na nižší průtoky a spády od 2 m do cca 60 m.

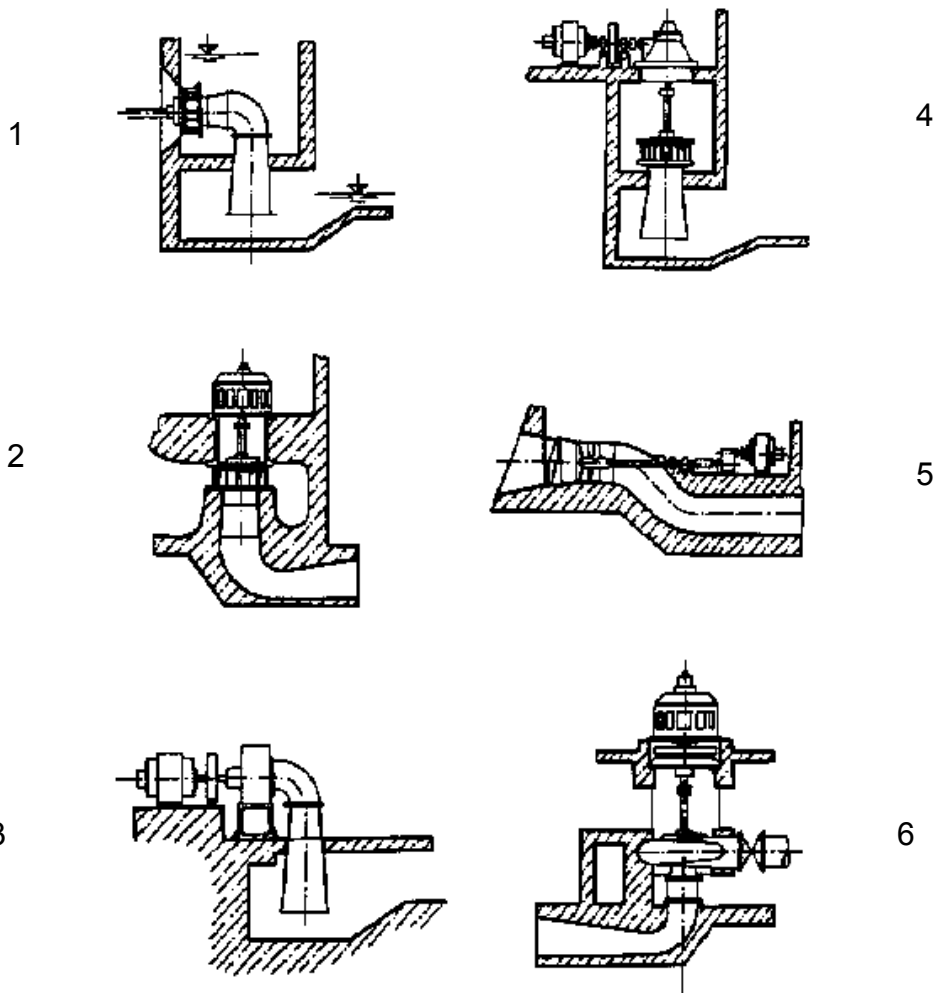
Vzhled oběžných kol (pro různou hodnotu měrných otáček  $n_q$ ) uvedených turbin je na následujících obrázcích:



Bánki

Dříve velmi rozšířené turbíny Francis jsou dnes nahrazovány turbínami jiného typu. U malých spádů a větších průtoků turbínami Kaplan nebo SemiKaplan, u větších spádů a malých průtoků turbínami Bánki a Pelton. Tyto uvedené typy turbín vyhovují pro velkou většinu lokalit pro výstavbu nebo rekonstrukci MVE v ČR.

Ostatní dělení je spíše konstrukční. Některé příklady možného uspořádání jsou uvedeny na následujícím obrázku.



- 1 – horizontální Kaplanova turbína
- 2 – Kaplanova turbína se spirálou
- 3 – horizontální Francisova turbína se spirálou
- 4 – vertikální Kaplanova turbína kašnová
- 5 – Kaplanova S turbína
- 6 – vertikální Francisova turbína se spirálou

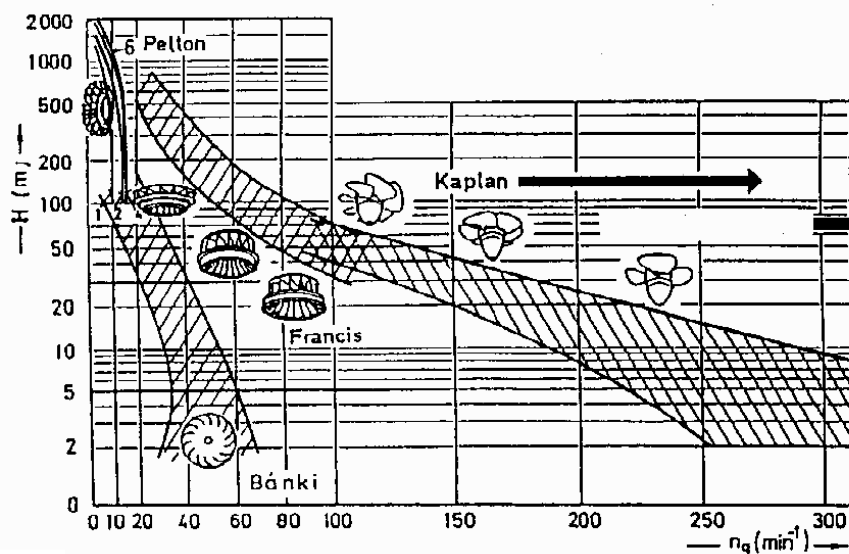
Při porovnávání nebo charakteristice vlastností různých typů turbín se hovoří o rychloběžnosti, měrných otáčkách, jednotkovém průtoku atd. Všechny tyto pojmy spolu souvisí a pořadí turbín podle uvedených vlastností je vždy stejné. Při seřazení turbín podle průtočnosti a velikosti otáček se stejnými parametry spádu a průměru oběžného kola (OK) dostaneme následující pořadí:

Při spádu 1,0 m a průměru OK 1,0 m bude u turbín typu:

	<b>Pelton</b>	<b>Bánki</b>	<b>Francis</b>	<b>Kaplan (SemiKaplan)</b>
Maximální průtok ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	0,1 – 0,3	0,85	1,2 – 1,4	2,5 (2,8 – 3,1)
Otáčky (ot/min)	35	42	85	175 - 185
Regulační rozsah průtoku (%)	10 - 100	10 - 100	50 - 100	20 - 100

Pojem „rychloběžnější“ turbína neznámá tedy jenom turbínu s vyššími otáčkami, ale především znamená větší hltnost turbíny.

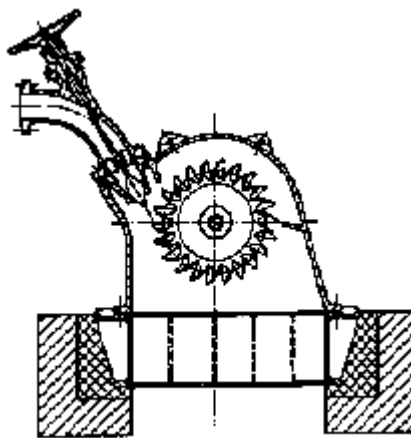
Jednotliví výrobci turbín většinou ve svých prospektových materiálech uvádějí základní charakteristiky vhodnosti typů turbín v závislosti na průtoku a spádu, např.:



Pro úplnost je uvedeno schematické znázornění nejrozšířenějších turbin v ČR:

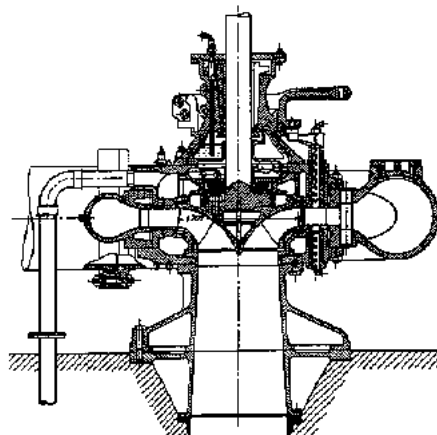
## 2.1 Turbina Pelton

Peltonova turbina je nejčastěji používaným typem rovnotlaké turbíny. Její předností je jednoduché hydraulické a konstrukční řešení.



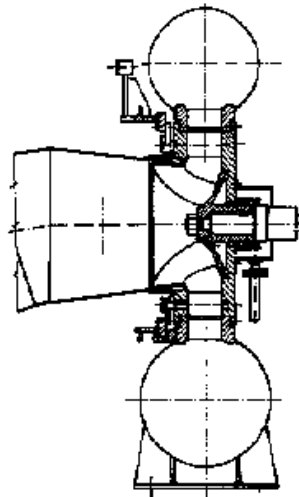
## 2.2 Turbina Francis

Turbíny Francisovy jsou přetlakové turbíny s natáčivými rozváděcími lopatkami a pevnými lopatkami oběžného kola. Příklad Francisovy turbíny ve vertikálním i horizontálním provedení je na následujících obrázcích.



vertikální

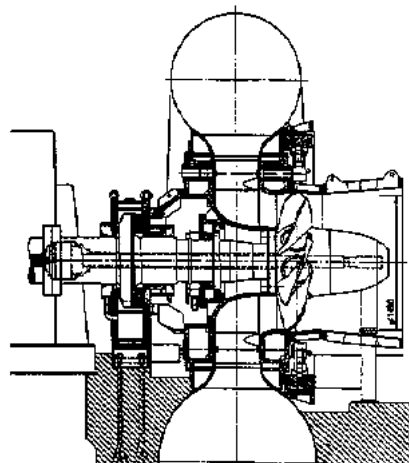




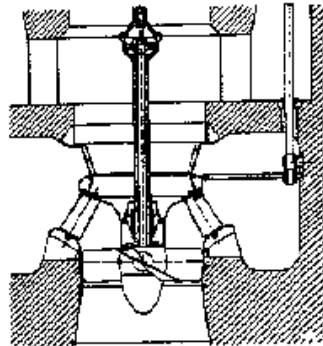
horizontální

### 2.3 Turbina Kaplan

Kaplanova turbina s natáčivými rozváděcími i oběžnými lopatkami má vynikající provozní vlastnosti i při velkém kolísání spádu a průtoku, aniž by docházelo k podstatným změnám hydraulické účinnosti. Na obrázcích jsou znázorněny příklady horizontální Kaplanovy turbíny se spirálou a vertikální Kaplanovy turbíny s diagonálním rozváděčem:



horizontální



vertikální

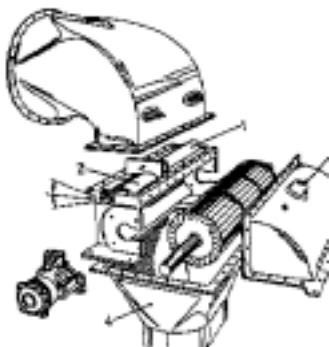
Modifikací klasické Kaplanovy turbíny je turbína typu SemiKaplan pouze s natáčivými lopatkami oběžného kola. Typ SemiKaplan má i výhodu řídké mříže rozváděcích lopatek, tím je tato turbína odolnější proti znečištění a výhodnější z hlediska ochrany malých organismů.

#### 2.4 Turbina Dériazova

Jedná se o diagonální turbínu srovnatelnou s turbínou Kaplanovou. Náročnější technologické řešení se složitějším ovládním natáčení lopatek oběžného kola dosahuje velmi dobrých provozně ekonomických vlastností za cenu zvýšených investičních nákladů. Proto u MVE se dává přednost turbínám Kaplanovým.

#### 2.5 Turbina Bánki

Bánkiho turbína je rovnotlaká turbína s dvěma sekcemi na vtoku. Její předností je nenáročná jednoduchá konstrukce.

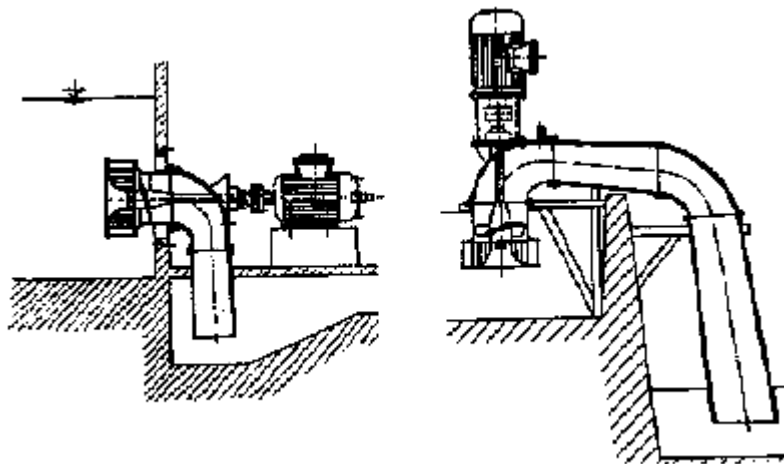


- 1,2 – regulační klapky
- 3 – zavzdušňovací ventil
- 4 – sací trouba

## 2.6 Vrtulová turbína

Jsou vhodné do lokalit, kde nahrazují původní vodní kolo na svrchní vodu. Jde o velmi jednoduché vrtulové násoskové (sifonové) turbíny. Rozváděcí i oběžné lopatky jsou pevné neregulovatelné. Je dodáván však i typ s přestavitelnými lopatkami oběžného kola. Při uvádění do chodu, při zapnutí do sítě, pracuje turbína jako čerpadlo a po zaplnění násosky vodou soustrojí samovolně přechází do turbinového chodu. Soustrojí se odstavuje zavzdušněním násosky. Omezující podmínkou nasazení těchto turbin je možnost zpracování konstantního průtoku a minimální odolnost proti velkému kolísání horní hladiny.

Nejrozšířenější jsou turbíny „METAZ“, kterých pracuje ještě dnes značné množství (několik set).





## 2.7 Výrobci vodních turbin pro MVE v ČR

<b>Typ turbíny</b>	<b>Výrobce Adresa, telefon, fax</b>
Kaplan Vrtulová	MAVEL, a.s., Benešov Jana Nohy 1 237, 256 01 Benešov tel. 0301/728484, fax 0301/728482
Kaplan Francis Pelton Bánki	ČKD TURBO TECHNICS, s.r.o., Rájec – Jestřebí Oldřicha Blažka 131, 679 02 Rájec – Jestřebí tel. 0506/432261, fax 0506/432016
Kaplan SemiKaplan Pelton	HYDROHROM, s.r.o., Strženeč 1 257 51 Bystřice tel. 0301/793773, fax 0301/793612
Kaplan	EXMONT – Energo, a.s., Brno Závist 3, 624 00 Brno tel. 05/41321315, fax 05/41213980
Kaplan	SANBORN, a.s., Velké Meziříčí Třebíčská 87, 594 01 Velké Meziříčí tel. 0619/2061, fax 0619/4052
Dériaz Francis Kaplan Pelton	ČKD Blansko Engineering, a.s., Blansko Gelhornova 1, 678 18 Blansko 0506/8212898, fax 0506/417815
Čerpadlové	MSA, a.s., Dolní Benešov Hlučinská 41, 747 22 Dolní Benešov tel. 0653/541175, fax 0653/541347
Bánki-Cink Francis Pelton	CINK – vodní elektrárny, a.s., Karlovy Vary Chebská 48, 360 06 Karlovy Vary tel 017/3449595, fax 017/3449595
Kaplan	CHLOUBA, s.r.o., Lišov Zahradní 586, 373 72 Lišov 038/7994272, fax 038/7994272
Kaplan SemiKaplan Francis Pelton	STROJÍRNY Brno, a.s., Brno Cejl 10a, 602 00 Brno tel. 05/45321277, fax 05/45212199



### 3. Předpoklady efektivního řešení MVE

Základními předpoklady efektivního technického řešení MVE, kromě vhodné dispozice lokality pro stavbu MVE, jsou:

- požadavky a podmínky státní správy vodního hospodářství,
- hydrologické údaje,
- geodetické podklady,
- údaje o geologických poměrech lokality,
- další údaje, např. o jakosti vody, o rizicích výskytu havarijních stavů, o místních poměrech, majetkoprávní stav atd.

**Vodohospodářský orgán** ve spolupráci se správcem toku stanoví v rámci projednávání povolení k vodohospodářskému dílu závazné podmínky, které je nutno respektovat.

**Hydrologické údaje** o lokalitě (podle ČSN 75 1400) poskytuje za úplaty Český hydrometeorologický ústav obvykle v této sestavě:

- Tok
- Hydrologické číslo povodí
- Profil (říční km)
- Plocha povodí ( $A$ ) v  $\text{km}^2$
- Průměrná dlouhodobá roční výška srážek ( $P_a$ ) v mm
- Průměrný dlouhodobý roční průtok ( $Q_a$ ) v  $\text{m}^3/\text{s}$
- M-denní průtoky ( $Q_{md}$ ) v  $\text{m}^3/\text{s}$
- N-leté průtoky ( $Q_N$ ) v  $\text{m}^3/\text{s}$



Pro návrh MVE jsou důležité hodnoty  $Q_a$ ,  $Q_{md}$  a  $Q_N$ . Tyto hodnoty jsou vykazovány jako průměrné hodnoty za sledované období 30 nebo 50 let. Tyto hodnoty tedy zahrnují i tzv. mokré i suché roky.

Za výchozí hydrologické podklady se považují rovněž odběry, předepsané průtoky nebo vodní stavy, které je nutno zachovat nebo neovlivňovat provozem a odběrem MVE, případně i jiné podmínky stanovené příslušným vodohospodářským orgánem.

Údaje o N-letých průtocích v profilu MVE na toku jsou podkladem pro stanovení způsobu ochrany před účinky velkých vod.

**Geodetické podklady** jsou zejména mapové podklady pro majetkoprávní a územní řízení a pro zpracování podrobných nebo přehledných situací MVE.

Údaje o spádových poměrech lze orientačně zjistit z mapových podkladů (především u vysokotlakých MVE), jinak je vhodné tuto informaci získat z údajů správce (majitele) již vybudovaného díla, popř. zaměřením v terénu nivelizací.

**Geologické podklady** zjišťují vlastnosti podloží, zejména z hlediska jeho únosnosti, propustnosti a stability při budoucím provozu MVE (vč. přivaděče a odpadu).

## 4. Zásady technického řešení MVE

### 4.1 Hydroenergetické řešení

Hydroenergetické řešení stanoví optimální návrh instalovaného výkonu, počet soustrojí MVE a průměrnou roční výrobu.



Pro předběžné úvahy lze instalovaný výkon  $P_i$  (kW) a průměrnou roční výrobu  $E_a$  (MWh/r) vypočítat ze vzorce:

$$P_i = g \cdot (Q_a - \text{MZP}) \cdot H \cdot \eta_T \cdot \eta_{Př} \cdot \eta_G,$$

kde:

$P_i$  = orientační instalovaný výkon v kW

$g$  = gravitační zrychlení, tj.  $9,81 \text{ m/s}^2$

$Q_a$  = průměrný roční průtok v  $\text{m}^3/\text{s}$

MZP = minimální zůstatkový průtok (často  $Q_{\text{san}}$ ) v  $\text{m}^3/\text{s}$

*(Tuto hodnotu stanovuje vodohospodářský orgán v Povolení k nakládání s vodami ve smyslu Metodického pokynu odboru ochrany vod MŽP uveřejněného ve Věstníku MŽP, částka 5 dne 15.10.1998)*

$H$  = čistý spád MVE v m

$\eta_T$  = účinnost turbíny (při průtoku  $Q_a$ )

$\eta_{Př}$  = účinnost převodu

$\eta_G$  = účinnost generátoru

Pozn.:

*Účinnost turbíny, podle Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro r. 2000, musí u nově instalovaných turbín dosáhnout v provozním optimu minimálně 85%, u renovací starších typů minimálně 80% při nezbytnosti jejich koncepce automatického provozu.*

Takto vypočtený výkon MVE představuje orientační hodnotu, která může být modifikována podle situace na konkrétním toku.

Návrh průtoku MVE je zpravidla blízký hodnotě  $Q_a$ . To však není závazné, každý návrh velikosti průtoku je především otázkou efektivnosti investice.

Např. u „podhorských“ MVE je obvykle navrhován vyšší průtok (přibližně na průtok  $Q_{60}$ ), tak aby byly schopny využít zvýšené průtoky vody v jarním období. Tím je instalovaný výkon takovéto elektrárny vyšší než vypočtený výše uvedeným postupem.



Naopak u MVE s velmi malým spádem lze dosáhnout přijatelné efektivity využitím nižšího průtoku po delší dobu v roce. To znamená, že instalovaný výkon takové MVE je nižší než vypočtený z  $Q_a$ .

Z hodnoty orientačně vypočteného výkonu je možno stanovit i orientační hodnotu roční výroby elektrické energie podle vzorce:

$$E_a = P_i \cdot 24 \cdot (365 - 15),$$

kde počet dnů v roce je snížen o 15 (vliv nedostatečných spádů způsobených povodňovými stavy, poruch a pod.)

Takto vypočtený objem roční výroby elektřiny představuje v podstatě technicky dosažitelný hydroenergetický potenciál lokality.

Na základě výše uvedených orientačních výpočtů a úvah je možno navrhnout konkrétní typy turbín, parametry (maximální průtok turbínami) a počet turbín, resp. turbosoustrojí (instalovaný výkon).

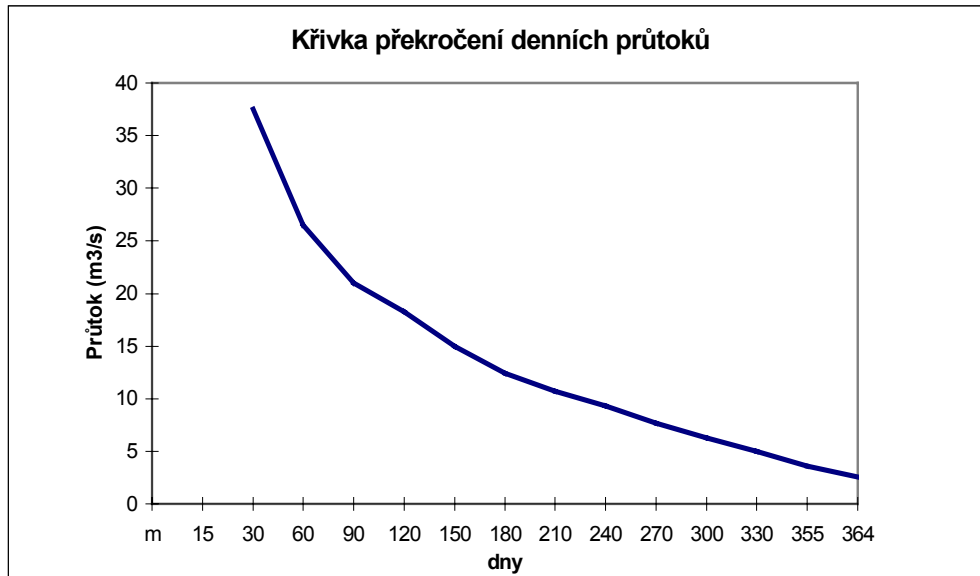
Po stanovení typu MVE, instalovaného výkonu a typu a počtu soustrojí se provedou zpřesněné výpočty průměrné roční výroby elektřiny pro průměrně vodný rok. Tento výpočet roční výroby elektrické energie v průměrně vodném roce je potom základní informací vedoucí ke stanovení ekonomické efektivity navrhované MVE.

Výpočet výkonu MVE, resp. roční výroby elektřiny vychází z hodnot M-denních průtoků  $Q_{md}$ , které se obvykle vyjadřují graficky jako čára překročení denních průtoků. Pro ilustraci je uveden výpočet roční výroby elektřiny v průměrně vodném roce na konkrétním příkladu:





m	15	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q <sub>md</sub>		37,5	26,5	21	18,3	15	12,4	10,7	9,3	7,69	6,3	5	3,57	2,54



Tyto hodnoty, spolu s dalšími parametry (spád, účinnosti jednotlivých komponentů MVE) slouží k výpočtu příslušného výkonu MVE (při daném průtoku turbínami) a ročního objemu výroby elektrické energie.

Výpočet vychází z již uvedeného vzorce

$$P_G = g \cdot Q_T \cdot H_u \cdot \eta_T \cdot \eta_{Př} \cdot \eta_G ,$$

kde:

$P_G$  = výkon generátoru v kW při daném průtoku

$g$  = gravitační zrychlení, tj.  $9,81 \text{ m/s}^2$

$Q_T$  = průtok turbínou v  $\text{m}^3/\text{s} = (Q_{md} - \text{MZP})$ , přičemž je omezen maximálním průtokem turbínou (hltností) a minimálním průtokem turbínou

$H_u$  = čistý spád MVE v m (při daném průtoku)

$\eta_T$  = účinnost konkrétní turbíny

$\eta_{Př}$  = účinnost převodu

$\eta_G$  = účinnost generátoru



Objem roční výroby elektřiny  $E_G$  v kWh v průměrném daném roce se pak vypočte:

$$E_G = \Sigma (P_G \cdot 24 \cdot \text{počet dní})$$

Např.

<b>m</b>	15	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
<b>Q<sub>md</sub></b>	-	37,5	26,5	21,0	18,25	15,0	12,4	10,7	9,30	7,69	6,30	5,0	3,57	2,54

Stanovený minimální zůstatkový průtok MZP = 5 m<sup>3</sup>/s. Potom průtok turbínou bude:

<b>m</b>	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
<b>Q<sub>m-MZP</sub></b>	32,5	21,5	16,0	13,25	10,0	7,40	5,70	4,30	2,69	1,30	0

Dny	Počet dní	Q <sub>T</sub> (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>u</sub> (m)	η <sub>T</sub>	P <sub>T</sub> (kW)	η <sub>př</sub>	η <sub>G</sub>	P <sub>G</sub> (kW)	E <sub>G</sub> (kWh)
10-45	35	13,5	3,1	0,84	344,86	0,86	0,93	275,82	231 688,5
45-75	30	13,5	3,1	0,84	344,86	0,86	0,93	275,82	198 590,1
75-105	30	13,5	3,1	0,84	344,86	0,86	0,93	275,82	198 590,1
105-135	30	13,25	3,1	0,85	342,50	0,86	0,93	273,93	197 232,9
135-165	30	10	3,2	0,85	266,83	0,86	0,93	213,41	153 656,8
165-195	30	7,4	3,4	0,86	212,26	0,86	0,93	169,77	122 234,0
195-225	30	5,7	3,7	0,85	175,86	0,86	0,93	140,65	101 269,4
225-255	30	4,3	3,7	0,85	132,67	0,86	0,93	106,11	76 396,2
255-285	30	2,69	3,7	0,85	82,99	0,86	0,93	66,38	47 792,1
285-315	30	1,3	3,7	0,83	39,16	0,86	0,93	31,32	22 553,1
<b>Celkem</b>	<b>305</b>								<b>Σ Výroba 1 350 003,3</b>

(Hltnost turbíny: 13,5 m<sup>3</sup>/s)

Z uvedených úvah pak vychází vlastní technické řešení MVE.

Po stanovení vhodného typu MVE se zpracuje vlastní technické řešení. Součástí technického řešení musí být i zhodnocení:

- ovlivnění stávajících hladin a průtoků provozem navrhované MVE a dotčení vodohospodářských zájmů
- vliv splavenin na provoz MVE
- vliv zimního režimu na bezpečnou funkci MVE
- zajištění bezpečnosti MVE při průchodu povodňových průtoků
- zabezpečení způsobu údržby a oprav vodního díla, vč. přístupu k MVE



## 4.2 Dispoziční uspořádání

Dispoziční uspořádání MVE je ovlivňováno typem vzdouvacího zařízení, velikostí vodního toku, morfologickými, geologickými a hydrologickými podmínkami.

Výsledná varianta dispozičního uspořádání MVE má dosáhnout optimálního ekonomického využití hydroenergetického potenciálu.

Vedení vody od vtoku po výtok MVE má být pokud možno nejkratší a přímé, bez náhlých změn směrů a velikosti průtočných průřezů, zabezpečující minimální hydraulické ztráty a nejlepší využití vodní energie.

Průtočné průřezy hydraulického obvodu MVE musí být takové, aby průřezové rychlosti na přívodu vody vykazovaly stálý růst s maximem v oběžném kole a na odpadu vykazovaly stálý pokles.

Dispoziční uspořádání musí zabezpečovat ekonomicky přiměřenou ochranu před účinky povodňových průtoků hlavních zařízení MVE tj. strojovny, rozvodny a transformátorů.

Není-li stanoveno jinak, platí, dle ČSN 73 68 81, pro ochranu jmenovaných zařízení MVE následující hodnoty:

Kategorie MVE	Ochrana před povodňovým průtokem
I	$Q_{50}$
II	$Q_{10}$
III	$Q_5$
IV	navrhuje se individuálně



Tímto se rozumí ochrana hlavních zařízení umístěných ve strojovně MVE. V praxi to znamená umístit prahy vstupů do strojovny nad úroveň hladiny uvedeného povodňového průtoku.

Elektropohony, převody čistících česlí a stavidel nejsou považovány za hlavní zařízení MVE. Stupeň ochrany těchto zařízení je nutno zvážit především z hlediska ekonomického při respektování příslušných ČSN (34 3085).

### **4.3 Technické řešení vlastních objektů MVE**

Hlavní objekty MVE jsou: vtokový objekt, přivaděč, strojovna a odpad.

#### **4.3.1 Vtokový objekt**

Je objekt, kterým se voda odebíraná z nádrže (zdrže nebo vodního toku) přivádí buď přímo k turbínám (objekt je umístěn bezprostředně u strojovny) nebo do přivaděče (objekt je umístěn na začátku přivaděče).

Části vtokového objektu jsou:

- norná stěna,
- práh vtoku,
- hrubé česle, hrazení vtoku (zpravidla stavidla),
- proplachovací propust, šachta nebo místo pro čidlo hladinové regulace.

Vtokový práh s případným proplachováním má být převyššen nade dnem horní zdrže a má navazovat na dělicí pilíře mezi jezem a vtokovým objektem.



Norná stěna nad vtokovým prahem s hrubými česlemi slouží k zachycení plovoucích předmětů. Má spodní hranu asi 0,5 m pod minimální vzdutou hladinou.

Hrubé česle slouží k zabránění vniku rozměrných splavenin do hydraulického systému vodní elektrárny. Navrhují se jako svislá mřížovina s mezerami mezi jednotlivými česlicemi. Česlice hrubých česlí mají být mírně šikmé a vyjímatelné. Nejvýhodnější jsou česlice s kruhovým průřezem a roztečí cca 150 až 350 mm.

Hrazení vtokového objektu může být stavidlovým uzávěrem nebo provizorním hrazením.

U vtokového objektu, v místě klidné vody, se umístí čidlo hladinové regulace turbín, přičemž stálému odběru vody přísluší úroveň hladiny, označovaná jako řídicí hladina pro hladinovou regulaci. Hladinová regulace turbín reguluje velikost průtoku vody turbínami podle velikosti průtoku ve vodním toku

Dostatečně dimenzovanou proplachovací propustí lze vyčistit vtok po povodních velmi rychle a tím ihned využít velké průtoky vody v toku.

Z hlediska tlakových poměrů lze dělit vtoky na beztlakové a tlakové. Požadavky na vtokové objekty je možno obecně shrnout do následujících bodů:

- minimalizace hydraulických ztrát ve vtokovém objektu
- zajištění potřebného přítoku vody na turbíny po celou dobu životnosti díla
- zajištění separace vody od pevných částic v přitékající vodě
- zabránění vnikání vzduchu do hydraulického systému turbín a tvorbě vírů na vtoku
- zamezení ucpání jemných česlí na vtoku
- nezamrzání konstrukčních prvků



### **4.3.2 Přivaděče a odpady**

Přivaděče a odpady mají za úkol dovést vodu k turbinám a odvést vodu po okamžiku, kdy předala svoji energii turbině. U MVE je obvykle snaha omezit délku přivaděče a odpadu, protože dlouhé přivaděče a odpady odebírají velkou část průtoku z původního přirozeného toku a navíc prodražují stavbu vodní elektrárny.

Přivaděče a odpady se mohou dělit podle tlakových poměrů na beztlakové s volnou hladinou a na tlakové. Z hlediska konstrukčního se dělí přivaděče a odpady na kanály, náhony, žlaby, štoly, potrubí a šachty.

Rozměry přivaděče se mají volit tak, aby všechny hydraulické ztráty v přivaděči nepřesahovaly 5 – 15 cm spádu MVE. Větší ztráty lze připustit u větších spádů.

Dno přivaděče musí mít podélný sklon. Vypouštění vody z přivaděče musí umožnit vypouštěcí zařízení. Odkalovací zařízení se navrhuje zejména u přivaděčů uzavřených.

Tlakový přivaděč se navrhuje zpravidla z trubních materiálů a musí být dimenzován na největší provozní tlak vody zvětšený o účinek rázu vody při uzavření průtoku vody turbinou.

Otevřený přivaděč MVE má zpravidla tvar lichoběžníkový. Maximální rychlost vody v otevřených přivaděčích se volí do rychlosti 1 m/s.

### **4.3.3 Vtoky, provozní a revizní uzávěry**

Vtoky na turbíny mají mít hydraulicky vhodný tvar přizpůsobený zařízením, které s vtokem souvisí, tj. provizorní hrazení (stavidla) a jemné česle s čistícím strojem česlí.



Vtoky, boční zdi vtoků mají být tak tvarovány, aby kontrakce, úplavy a jiné deformace proudění, byly v místě nátoku na česlice již usměrněny do přímého směru česlic. Rychlost před česlemi se doporučuje volit cca 0,5 – 0,7 m/s. Prah česlí má být odsazený od dna před česlemi, zadržuje sunuté nečistoty po dně – písek, štěrk, které je možno propláchnout bočním proplachem vtoku.

Druh a počet provozních a revizních uzávěrů na přítoku k turbině a na odtoku z ní musí zabezpečit její bezpečné zastavení za provozu MVE. Tyto uzávěry musí též spolehlivě zabezpečit uzavření celého hydraulického obvodu MVE po vypuštění nebo vyčerpání vody z těchto prostorů. Na vtoku do přivaděče nebo na vtoku před turbinou a na odpadu musí být řešeno osazení provizorního zahrazení nebo osazení provizorního uzávěru, nelze-li montáž a opravy v těchto prostorách provést jinak.

#### **4.3.4 Provozní objekty MVE**

Jedná se o budovu MVE se strojovnou a dalšími provozními objekty a doprovodnými zařízeními (rozvodna, montážní prostor atd.). Budova vodní elektrárny má dvě hlavní části: spodní stavbu a horní stavbu.

Spodní stavba se nachází pod úrovní podlahy strojovny. Jde o hydrotechnickou stavbu, která je obvykle řešena jako monolitická betonová nebo železobetonová konstrukce. Ze železobetonu se provádějí ty části spodní stavby, které jsou vystaveny velkému zatížení, jako jsou stropy všech prostorů, překrytí betonových spirálních skříní a difuzorů savek, dělící pilíře atd.

Horní stavba budovy MVE je část nad úrovní podlahy, kde se nachází elektročást - generátory (případně s budiči) a regulátory, transformátory, mostové nebo jiné jeřáby a montážní plošina s napojením na příjezdovou komunikaci. Horní stavba může být řešena jako zakrytá, polozakrytá nebo odkrytá.



Při rekonstrukci stávajících objektů se vyžaduje odborné posouzení jejich stavu a únosnosti z hlediska nového zatížení. Rozměry strojovny se navrhují tak, aby byla zaručena bezpečnost provozu, montážních prací a oprav zařízení tak, jak to vyžadují předpisy pro ochranu bezpečnosti práce a technických zařízení.

Podlahy prostorů strojovny, které mohou být zaplaveny, musí mít minimální sklon k svedení vody do žlábků a kanálků zaústěných do sběrných jímek. Prostory pod úrovní hladiny toku, nádrže nebo zdrže musí mít svodné kanálky též pro případné průsaky vody zdívem.

V návrhu strojovny se musí vyřešit zabránění úniku olejů a tuků do vodního toku.

#### **4.3.5 Hlavní technologická zařízení**

Hlavními technologickými zařízeními jsou jemné česle a soustrojí (turbína, převod, generátor).

Jemné česle se zpravidla osazují ve sklonu z důvodu snadnějšího čištění. Velikost sklonu česlí se volí podle dispozice toku, délky česlí a pod. Obvyklý sklon česlí je  $60^{\circ}$  až  $70^{\circ}$ .

Velikost profilů česlic (zpravidla ocelové tyče obdélníkového profilu) se volí podle požadované velikosti mezery mezi česlicemi a daným zatížením. Je nutné, aby česlice byly vzájemně rovnoběžné a rovnoběžné se směrem proudění.

Čistící stroje česlí mají být tuhé a bez příčných prvků mezi boky u řetězových strojů. Musí být vybaveny základní automatikou s volbou provozu: časová volba vztahu prodleva – hrabání, od rozdílu hladin na česlích, ručně s možností reverzace.





Soustrojí MVE se skládá z vodní turbíny, zpravidla převodu, generátoru a zařízení ovládání soustrojí, které je tvořeno mechanickou strojní částí a elektročásti (elektorozvaděč ovládání s prvky pro řízení automatického provozu a prvky elektrických ochran).

Při více než dvou soustrojích se mají všechna soustrojí navrhovat stejné velikosti, jinak se musí návrh nestejných velikostí zdůvodnit. Před návrhem instalace starších turbin demontovaných ze zrušených MVE do nové nebo rekonstruované MVE je nutno předem ověřit jejich vhodnost (typ, velikost) a prověřit jejich fyzický stav pro spolehlivý a dlouhodobý provoz.

Spojení turbíny s generátorem se řeší buď přímo pevnou nebo pružnou spojkou, případně řemenovými převody (klínové nebo ploché) nebo převodovými skříněmi.

Použití převodovky v jakémkoliv provedení ozubených kol (čelní, kuželová atd.) musí řešit i další vlastnosti převodovky (zabezpečení proti úniku oleje, chlazení oleje nebo převodovky, hluk převodovky).

Generátory se používají převážně asynchronní, méně synchronní. Výkon generátorů se stanoví z maximálního výkonu turbin s přihlédnutím k typovým řadám výrobců.

Asynchronní generátory se připojují na rozvodné síť přímo pod napětím (pod napětím je i vlastní spotřeba) po dosažení otáček úměrných okamžité hodnotě frekvence sítě. Při jejich použití do sítí nn je nutno prošetřit vliv účinků na síť v místě připojení. Jalový magnetizační příkon asynchronních generátorů se odebírá buď z rozvodné sítě nebo se kompenzuje statickými kondenzátory (obvykle na hodnotu účinníku 0,95).



Synchronní generátory se zpravidla vybavují budící soustavou, která umožní najíždění generátoru bez napětí vlastní spotřeby, případně i bez napětí v rozvodné síti (možnost provozu nezávisle na veřejné elektrorozvodné síti).

Účinnosti turbin, převodů a generátorů dosahují následujících hodnot:

$\eta$ turbíny	$\eta$ převodů	$\eta$ generátoru
0,85 – 0,92	0,95 – 1,0	0,88 – 0,94

*Pozn.:*

*$\eta$  turbíny je stanovena v optimálních podmínkách.*

*Hodnoty účinnosti je třeba vyžadovat od výrobce, u turbin je musí doložit křivkou účinnosti v závislosti na různých provozních stavech.*

Pro současné budované MVE platí, že celková účinnost je maximálně 86%, obvykle dosahovaná účinnost cca 76%.

#### **4.3.6 Způsob zapojení**

MVE se zapojují do veřejných elektrorozvodných sítí vysokého napětí (vn), nízkého napětí (nn), případně do rozvodných systémů průmyslových závodů.

Podmínky připojení na elektrorozvodnou síť musí být projednány s příslušnou Rozvodnou energetickou a.s. (REAS).

Nově budované MVE se navrhují s bezobslužným provozem s minimálními nároky na údržbu.



Znamená to plně automatický provoz, zahrnující spuštění a odstavení soustrojí, automatické řízení průtoku a výkonu během provozu a kontrolu stroje a jeho automatické odstavení při poruše.

Soustrojí v průtočných MVE (převážná většina řešení) pracují v automatickém provozu paralelně se sítí v součinnosti s hladinovou regulací a zabezpečovací automatikou. V našich podmínkách je možný jenom provoz s hladinovou regulací.

#### **4.3.7 Komplexní vyzkoušení a provoz MVE**

Komplexním vyzkoušením se rozumí všechny zkoušky, potřebné pro prokázání kvality a funkce zařízení, zejména při zatížení. Tím se prokazuje zejména dodržení smluvních parametrů.

Po úspěšném komplexním vyzkoušení zařízení je uvedeno do zkušebního provozu, tento termín je začátkem záruční doby.

Zkušební provoz provádí investor (provozovatel) na převzatém zařízení, zkušebním provozem pro potřebu manipulačního řádu může být např. roční záruční doba.

Manipulace s hladinami a průtoky při provozu MVE se řídí „Manipulačním řádem“. Zpracování manipulačního řádu vyplývá ze zákona o vodách (č.138/1973 Sb.). Podle tohoto zákona může příslušný vodohospodářský orgán uložit zpracování a předložení manipulačního řádu MVE. Nestanoví-li vodohospodářský orgán tuto povinnost, pak povolení s manipulacemi průtoků a hladinami je obsaženo ve vodohospodářském rozhodnutí a kolaoudačním řízení. Přesto se doporučuje zpracovat manipulační řád a projednat jej s ostatními uživateli a správcí vodních děl na toku, u kterých může dojít provozem MVE k dotčení jejich zájmů.



Manipulační řád MVE musí být přehledným a jednoznačně projednaným souborem předpisů, zásad a směrnic pro manipulaci s vodou na MVE. Musí obsahovat ustanovení, která za všech průtokových situací na toku předepisuje manipulace s hladinami a průtoky pro provoz MVE.

Prozatímní manipulační řád musí být zpracován a vodohospodářsky projednán před uvedením MVE do zkušebního provozu.

Definitivní manipulační řád se zpracuje po zhodnocení zkušebního provozu MVE s ohledem na manipulaci s vodou.

Každý vodohospodářský objekt podléhá z hlediska technicko bezpečnostního dohledu kategorizaci (kat. I. až IV.) podle hospodářského významu díla a odhadu potenciálních škod, popř. i ztrát na životech při porušení díla. Pro kategorie I. a II. platí náročná ustanovení o technickobezpečnostním dohledu, včetně účasti pověřené odborné organizace. U nižších kategorií (III. a IV.) je odpovědnost plně na majiteli (správci) díla, přičemž kontrola péče o bezpečnost přísluší vodohospodářskému orgánu (příslušnému odboru okresního úřadu). MVE jsou zařazeny v kat. IV.

## 5. Ekonomika MVE

### 5.1 Orientační ukazatele

První základní informací o projektu MVE jsou **měrné investiční náklady (MIN)**:

$$\text{MIN} = \frac{\text{Investiční náklady}}{\text{Instalovaný výkon}} \quad (\text{Kč/ kW}_{\text{inst.}})$$



Tento ukazatel obvykle umožňuje porovnat jeden určitý typ zařízení od různých výrobců, při splnění podmínky shodnosti rozhodujících parametrů (výkon, účinnost, regulační, resp. automatizační systém, životnost, nároky na obsluhu atd.).

Při porovnání různých projektů je třeba vzít v úvahu, že měrné investiční náklady rostou se zvyšujícím se podílem zejména stavebních prací (oprava a nebo výstavba nového jezu, výstavba nového objektu MVE a pod.)

**Doba fyzické životnosti** malých vodních elektráren se obvykle uvažuje až 50 let.

## 5.2 Ukazatele ekonomické efektivity

Základními ukazateli ekonomické efektivity jsou:

**Prostá doba návratnosti investice (DN):**

$$DN = \frac{\text{Investiční náklady}}{\text{Cash-Flow za rok}} \quad (\text{roky}),$$

kde  $\text{Cash-Flow za rok} = (\text{Tržby} - \text{Provozní náklady}) / \text{rok}$ .

Pozn.:

Současná výkupní cena elektřiny z MVE do veřejných sítí činí:

Napěťová úroveň	Kč/MWh
vn	1 130
nn	1 200

Provozní náklady jsou uvažovány bez odpisů, tj. jedná se o prakticky o provozní výdaje.



Ukazatel prosté doby návratnosti neobsahuje v sobě ani časovou cenu peněz a ani dobu životnosti zařízení. Informuje pouze o tom, za jak dlouho překročí kumulované výnosy projektu vložené investiční prostředky.

Proto jsou užívány komplexnější ukazatele:

### Čistá současná hodnota (NPV)

Tento ukazatel respektuje časovou cenu peněz (diskont) a je založen na přepočtu budoucích toků hotovosti (Cash - Flow) projektu v jednotlivých letech na současnou hodnotu, přičemž jejich součet za dobu hodnocení je snížen o hodnotu vstupní investice:

$$NPV = \left[ \frac{CF_1}{(1+d)^1} + \frac{CF_2}{(1+d)^2} + \dots + \frac{CF_t}{(1+d)^t} \right] - IN \quad (\text{tis. Kč}),$$

kde

$CF_{1,2,\dots,t}$	Cash Flow projektu v jednotlivých letech
$d$	diskont
$IN$	investiční náklady projektu
$t$	doba hodnocení

Ze vzorce je zřejmé, že projekt je ekonomicky efektivní za dané časové období, je-li

$$NPV > 0$$

### Vnitřní výnosové procento (IRR)

Vyjádřuje míru zhodnocení investovaných finančních prostředků, vyjádřenou v %.

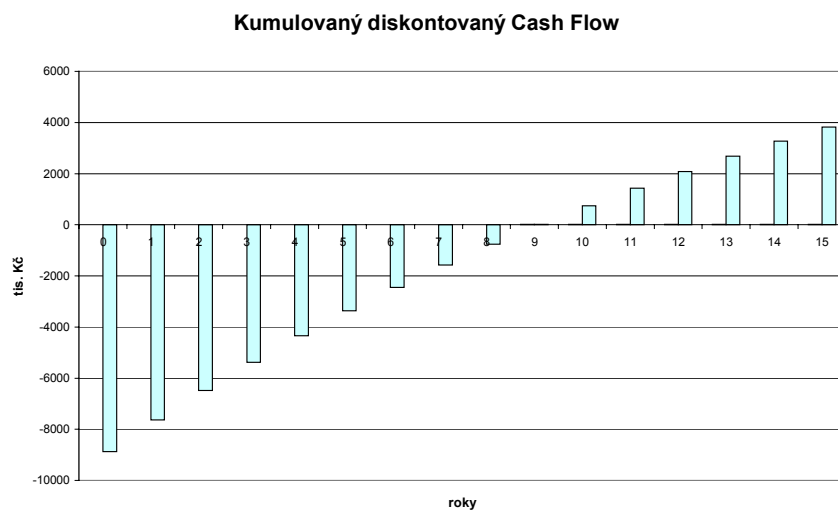
Matematické vyjádření IRR:

$$IRR = d \quad \text{pro } NPV = 0$$

Při porovnání vypočtené hodnoty IRR s cenou peněz na finančním trhu (např. úrokové míry) vyloučí se, zda je vůbec výhodné investici realizovat. Čím je hodnota IRR vyšší, tím je vyšší efektivnost investice.

### Reálná doba návratnosti

Se vypočte pomocí kumulovaného diskontovaného Cash-Flow v jednotlivých letech. Graficky vyjádřeno:



V uvedeném případě reálná doba návratnosti činí cca 9 let.

### 5.3 Ekonomická analýza

Obsahem ekonomické analýzy projektu je hodnocení ekonomické efektivnosti projektu bez ohledu na způsob financování. Znamená to, jako by byl projekt financován z vlastních zdrojů. Výsledkem jsou vypočtené hodnoty výše uvedených ukazatelů ekonomické efektivnosti.

Ekonomickou efektivnost projektu mohou významně ovlivnit případně poskytnuté dotace. Vzhledem k tomu, že snižují pořizovací (investiční) náklady projektu, dojde ke zlepšení parametrů ekonomické efektivnosti.



## 6. Vybraná technická řešení MVE

V ČR je naprostá většina malých vodních elektráren realizována na malých až velmi malých spádech, a to na přirozených tocích s nízkými jezy. Rekonstruované a nové MVE využívají stávajících jezů – zpravidla pevných, které jsou v různém stupni zachovalosti. Podle technického stavu stavby jezu a obecných podmínek převádění povodňových průtoků je při obnově energetického využití díla voleno nižší vzdutí s pevným jezem nebo vyšší vzdutí s pohyblivým jezem.

Málo početná skupina MVE je realizována na vyšších spádech – převážně s turbinami typu Pelton a nejméně početná skupina MVE (řádově jednotky) je realizována na středních spádech (cca 15 až 50 m) s turbinami Francis.

Vybraná řešení jsou charakterizována tím, že splňují podmínky optimalizace provozu MVE z hlediska ekonomického využití hydroenergetického potenciálu a dodržení vnějších vztahů MVE k životnímu prostředí.

Optimálního využití hydroenergetického potenciálu toku je docíleno:

- Volbou vhodného typu turbíny (s plynulou regulací průtoku) - u MVE nízkospádových je to typ Kaplan nebo SemiKaplan, které se vyznačují širokou regulací průtoku a při vhodné automatice oplachu lopatek i odolností proti poklesu výkonu od znečištění lopatek.
- Úplnou automatizací provozu MVE s přesnou hladinovou regulací, která zaručuje maximální využití povolených průtoků při využití maximálního spádu.
- Dostatečně kapacitním proplachem prostoru před vtokem nebo česlemi. Proplach umožňuje co nejrychlejší najetí MVE po kulminaci průtoku, kdy





nečistoty uložené povodní před vtokem se jednoduše propláchnou hydraulickou cestou do podjezí a MVE může ihned najet do provozního režimu.

- Instalací automatického čistícího stroje česlí, který zvyšuje celkovou výrobu energie v MVE, oproti stavu bez čistícího stroje, o cca 10 % .
- Nahrazením původní ( staré ) turbíny novou nebo doplněním o další turbínu, s vyššími užitnými vlastnostmi, tj. vyšším průtokem (a tím vyšším výkonem), s plnou automatizací.
- Případně zvýšením spádu pohyblivou jezovou konstrukcí, která umožňuje zvýšení provozního spádu v rozsahu normálních ( $Q_m$ ) průtoků a při průtoku povodní svým vyhrazením (sklopením) nezhoršuje průtokové poměry nebo je i případně zlepšuje. Zlepšení převádění povodní je dosaženo částečným snížením pevné přelivné hrany jezu a jejím nahrazením pohyblivou jezovou konstrukcí.

Podle základní dispozice hydraulického obvodu jsou dále uvedená technická řešení členěna na:

- Derivační MVE
- Příjezové MVE

Převážně se jedná o nízkotlaké MVE a pouze 2 středotlaké MVE.



## 6.1 Derivační MVE

### 6.1.1 Oprava a modernizace MVE

<b>Dispozice MVE</b>	derivační	<b>Kategorie</b>	II.	<b>Typ</b>	nížkotlaká									
<b>Charakteristika řešení</b>	<p>Oprava a modernizace MVE po havárii původní vertikální turbíny Francis z r. 1932. Byla provedena kompletní oprava stávajícího turbogenerátoru a výměna dožitých částí MVE (česle, stavidla a jejich mechanismy). Instalací ASŘ a elektrických ochranných osazením čistícího stroje česlí byla MVE modernizována.</p>													
<b>Hydrologie:</b>														
Vodní tok	Morava			ř. km	284,226									
Ø roční průtok $Q_a$ (m <sup>3</sup> /s)	17,145			MZP (m <sup>3</sup> /s)	5,0									
m	15	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
$Q_{md}$	-	37,3	26,5	21,0	18,2	15,0	12,4	10,7	9,3	7,69	6,30	5,0	3,57	2,54
<b>Technické parametry:</b>														
Typ turbíny	Francis, kašnová, vertikální			Počet turbin	1									
Hltnost turbíny (m <sup>3</sup> /s)	13,25			Spád (m)	3,7									
Instalovaný výkon MVE (kW)	300			Výroba v Ø vodném roce (MWh/r)	1 402									
Dosažitelný výkon MVE (kW)	300			Roční využití instal. výkonu (h/r)	4 673									
Převod	přímý			Využití hydroenerg. potenciálu (%)	56									
Generátor	synchronní			Vyvedení výkonu do sítě	vn									
<b>Ekonomické parametry:</b>														
Investiční náklady (tis. Kč)	5 535			Prostá návratnost (r)	4,1									
Měrné investiční náklady (tis. Kč/kW <sub>inst.</sub> )	18,5			Reálná návratnost (r)	4,7									
Tržby za elektřinu (tis. Kč/r) (v c.ú. 2000)	1 584			NPV (tis. Kč)	7 713									
Cash – Flow projektu (tis. Kč/r)	1 364			IRR (%)	23,6									
<b>Poznámka</b>														
<p>Vzhledem k tomu, že se jedná o pouze o opravu havarovaného soustrojí a modernizaci je projekt mimořádně ekonomicky efektivní. Náhrada havarovaného soustrojí novým soustrojím by i při zvýšení výroby elektrické energie (vlivem vyšší účinnosti) znamenala výrazné zhoršení ekonomické efektivnosti.</p>														



### **Popis řešení:**

MVE byla provozována od r. 1932 do roku 1999, kdy došlo k havárii turbosoustrojí s poškozením všech hlavních částí původní turbíny Francis i elektrického generátoru. Turbosoustrojí nebylo schopno dalšího provozu.

MVE sestává z objektu strojovny, z pevného jezu se štěrkovou propustí, z přívodního kanálu (o délce 345 m) hrazeného stavidlovým uzávěrem vtoku, z odpadního kanálu (o délce 385 m) zaústěného do vodního toku 2,3 km pod jezem.

Jez je pevný betonový (šířka v koruně 30 m) s železným pevným nástavkem o výšce 1,4 m. Štěrková propust je na levé straně. Vtokový stavidlový objekt sestává ze 6 stavidel.

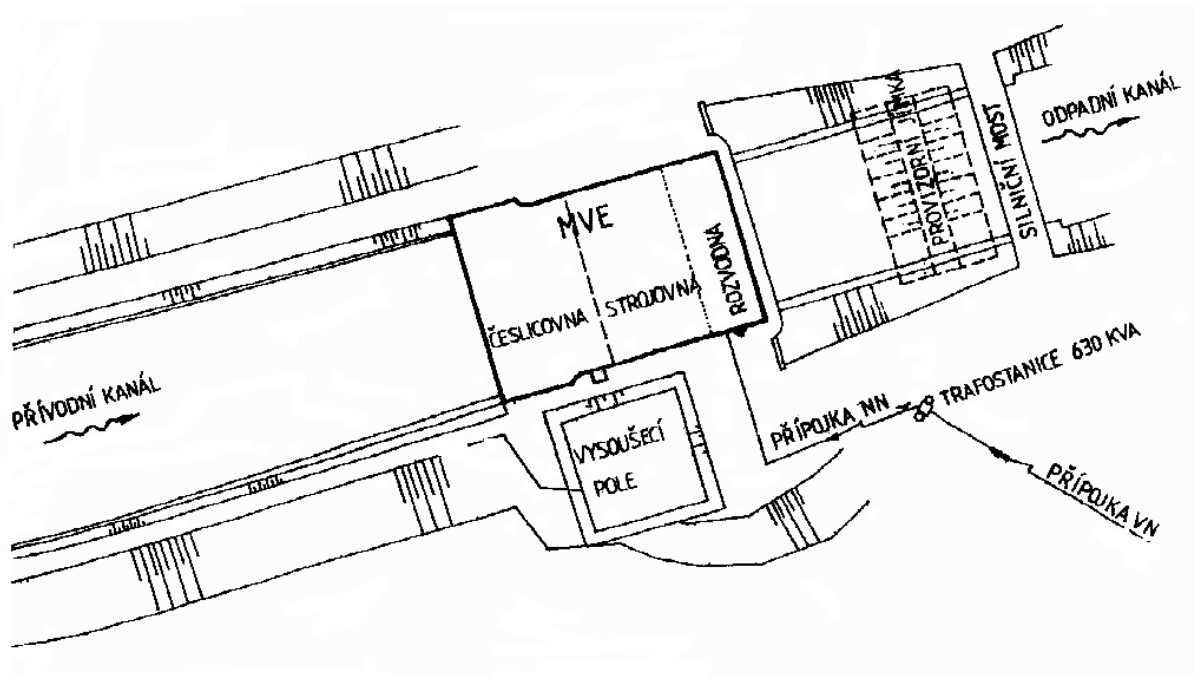
Objekt vlastní MVE je tvořen spodní betonovou stavbou (s beztlakými kašnami) a horní zděnou stavbou. Součástí objektu jsou i jemné česle. Rozvodna 0,4 kV s transformátorem 22/0,4 kV je umístěna v přízemí budovy. Rozvodna 22 kV je umístěna v 1. patře.

V rámci oprav, rekonstrukce a modernizace MVE byla provedena zejména kompletní oprava turbíny (turbínová hřídel, vodící ložiska, oběžné kolo, rozváděcí lopatky, regulační mechanické prvky, závěsné ložisko, atd.) a synchronního generátoru s budičem.

Dále bylo osazeno nové česlové pole, instalován nový čistící stroj česlí, opravena stavidla a stavidlové mechanismy, atd. Byl instalován ASŘ, vč. hladinové regulace a elektrických ochran generátoru umožňující automatický bezobslužný provoz pouze s občasným dohledem.



Dispozice:





### 6.1.2 Rekonstrukce MVE

<b>Dispozice MVE</b>	derivační	<b>Kategorie</b>	II.	<b>Typ</b>	nízkotlaká									
<b>Charakteristika řešení</b>	<p>Náhrada dvou turbín MT5 jedním soustrojím s přímoproudou S turbínou Kaplan o instalovaném výkonu 132 kW.          Další původní soustrojí s turbínou Kaplan (Storek) o výkonu 200 kW zůstalo zachováno.          Nově instalovaný ASŘ optimalizuje provoz obou soustrojí.</p>													
<b>Hydrologie:</b>														
Vodní tok		Otava		ř. km		106,558								
Ø roční průtok $Q_a$ (m <sup>3</sup> /s)		9,04		MZP (m <sup>3</sup> /s)		2,25								
m	15	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
$Q_{md}$	-	18,4	13,5	10,9	9,21	7,97	6,93	6,07	5,30	4,60	3,91	3,16	2,31	1,60
<b>Technické parametry:</b>														
Typ turbíny		přímoproudá S Kaplan, vertikální kašnová Kaplan (původní)			Počet turbin	2								
Hltnost turbín (m <sup>3</sup> /s)		7		Spád (m)		5,2								
Instalovaný výkon MVE (kW)		332		Výroba v Ø vodném roce (MWh/r)		1 400*								
Dosažitelný výkon MVE (kW)		250		Roční využití instal. výkonu (h/r)		4 217								
Převod	řemenový/kuželový **			Využití hydroenerg. potenciálu (%)		66								
Generátor	asynchronní/synchronní**			Vyvedení výkonu do sítí		vn								
<b>Ekonomické parametry: ***</b>														
Investiční náklady (tis. Kč)		4 800		Prostá návratnost (r)		5,5								
Měrné investiční náklady (tis. Kč/kW <sub>inst.</sub> ) **		36,4		Reálná návratnost (r)		6,9								
Tržby za elektřinu (tis. Kč/r) (v c.ú. 2000)		909		NPV (tis. Kč)		3 640								
Cash – Flow projektu (tis. Kč/r)		869		IRR (%)		16,2								
<b>Poznámka</b>														
* výroba celkem (z toho nové soustrojí: 804 MWh/r)														
** 1. údaj – nové soustrojí, 2. údaj – původní soustrojí (Storek)														
*** pouze nové soustrojí														



### Popis řešení:

Pevný jez má dvě pole s vorovou propustí mezi nimi. Vtok náhonu je hrazen dřevěnými stavidly. Před vtokem je ledová ochrana. Náhon elektrárny je dlouhý 383 m. Před elektrárnou jsou na pravé straně náhonu umístěny dva bezpečnostní přepady svedené do kanálu jalové výpusti.

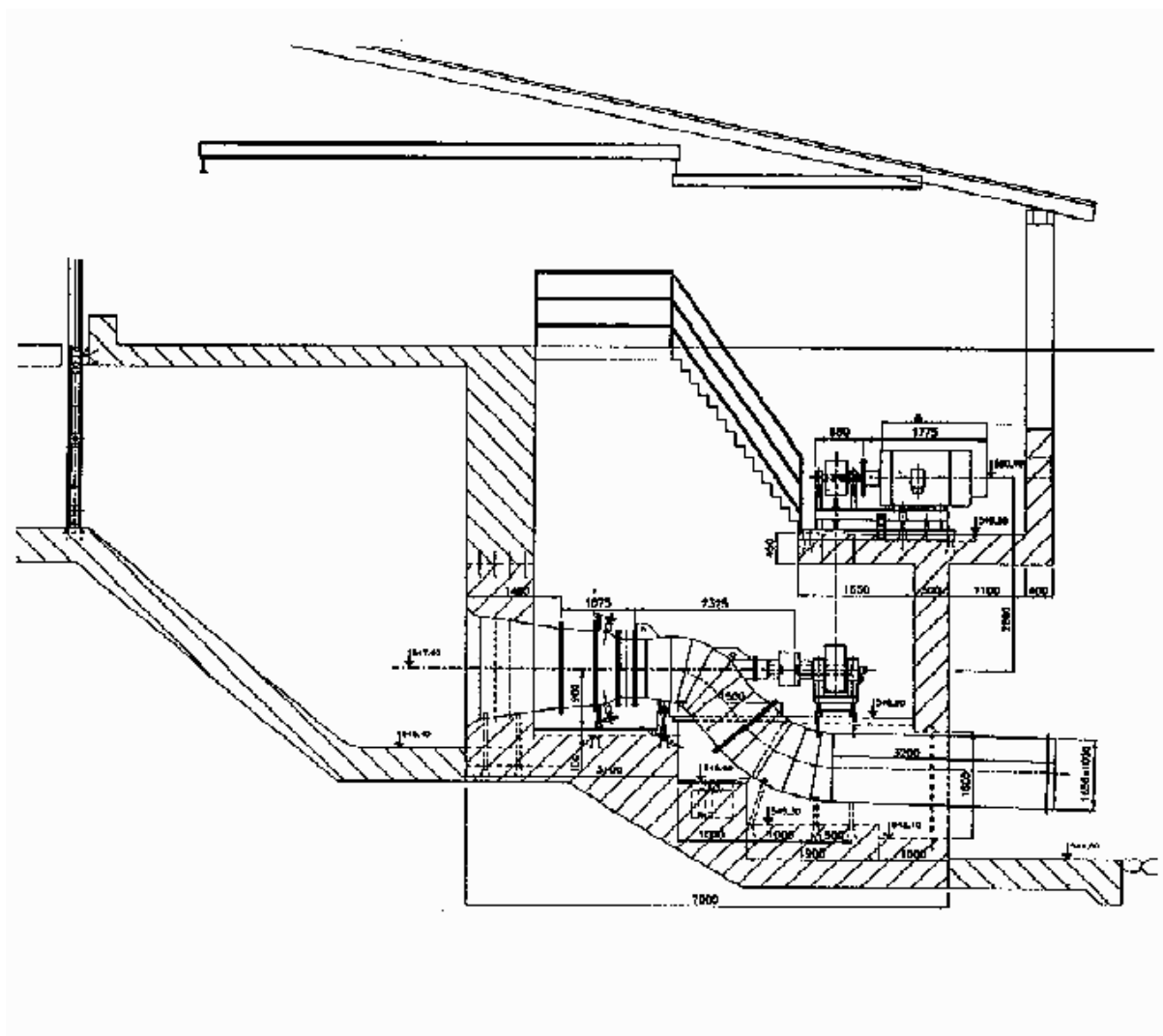
Strojovna MVE sestává ze tří částí, které tvoří - vstupní společný prostor česlí, stavidel vtoků a jalové propusti, strojovna S turbíny Kaplan a strojovna turbíny Kaplan (Storek).

Jemné česle jsou umístěny v chráněné česlovně, kde je instalováno elektrické odporové vyhřívání česlí, které zlepšuje poměry na česlích.

V MVE jsou nyní instalovány dvě Kaplanovy turbíny. V levé kašně je přímoproudá horizontální S turbína Kaplan s max. průtokem 3,0 m<sup>3</sup>/s (nahradila dvě původní nevyhovující soustrojí MT5) a v pravé kašně je původní vertikální kašnová turbína Kaplan (fa. Storek z r. 1930) s max. průtokem 4,0 m<sup>3</sup>/s. Vtok nové turbíny je proveden z původní levé kašny. Nová turbína je pravotočivá s automaticky servopohony přestavitelnými lopatkami oběžného a rozváděcího kola podle hladinové regulace. Provozním uzávěrem turbíny je uzavíratelné rozváděcí kolo turbíny uzavírané gravitační silou závaží na páce rozváděcího kola.

Obě soustrojí pracují paralelně se sítí v automatickém provozu v součinnosti se zabezpečovací automatikou a hladinovou regulací s rozdílnými typy generátorů. Původní soustrojí je osazeno synchronním generátorem, zatímco nové je osazeno asynchronním. Soustrojí spolupracují podle nadřazeného řídicího systému, který optimalizuje jejich provoz.

**Dispozice:**





### 6.1.3 Rekonstrukce MVE

<b>Dispozice MVE</b>	derivační	<b>Kategorie</b>	II.	<b>Typ</b>	středotlaká									
<b>Charakteristika řešení</b>	Rekonstrukce derivační MVE osazením dvou nových turbosoustrojí s vertikálními turbínami typu Pelton o celkovém instalovaném výkonu 2 x 160 kW (využití plného spádu lokality)													
<b>Hydrologie:</b>														
Vodní tok	Lužická Nisa			ř. km	44,490									
Ø roční průtok $Q_a$ (m <sup>3</sup> /s)	1,08			MZP (m <sup>3</sup> /s)	0,20									
m	15	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
$Q_{md}$	-	2,33	1,67	1,30	1,05	0,90	0,75	0,66	0,57	0,49	0,42	0,33	0,25	0,13
<b>Technické parametry:</b>														
Typ turbíny	vertikální, Pelton			Počet turbin	2									
Hltnost turbín (m <sup>3</sup> /s)	0,9			Spád (m)	49,3									
Instalovaný výkon MVE (kW)	320			Výroba v Ø vodném roce (MWh/r)	1 987,4									
Dosažitelný výkon MVE (kW)	320			Roční využití instal. výkonu (h/r)	6 211									
Převod	přímý			Využití hydroenerg. potenciálu (%)	73									
Generátor	asynchronní			Vyvedení výkonu do sítě	vn									
<b>Ekonomické parametry:</b>														
Investiční náklady (tis. Kč)	7 610			Prostá návratnost (r)	3,8									
Měrné investiční náklady (tis. Kč/kW <sub>inst.</sub> )	23,8			Reálná návratnost (r)	4,5									
Tržby za elektřinu (tis. Kč/r) (v c.ú. 2000)	2 246			NPV (tis. Kč)	11 814									
Cash – Flow projektu (tis. Kč/r)	2 000			IRR (%)	25,4									
<b>Poznámka</b>														
Veškeré údaje v pasportu se týkají výhradně nově instalovaných turbosoustrojí Pelton. Dosavadní turbíny Francis byly ponechány na místě pouze jako záložní.														





### Popis řešení:

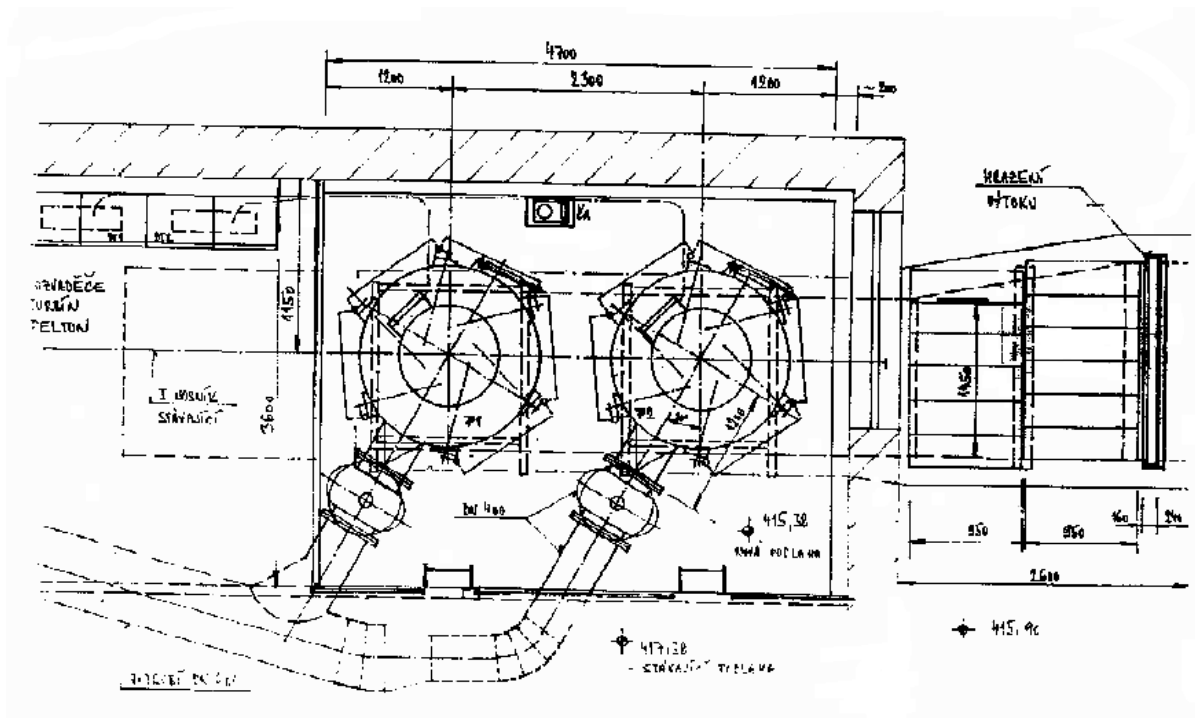
Původní MVE sestávala z jezu, odběrného objektu s proplachovacím stavidlem a jemnými česlemi, tlakového přivaděče (s přerušovací nádrží) z ocelového potrubí DN 1000 o celkové délce 623 m, odpadního potrubí v délce 78 m, strojovny s dvěma turbínami Francis, kanálu délky 48 m a rozvodny v budově MVE. V MVE byly instalovány dvě turbíny Francis z roku 1911 s max. průtokem  $2 \times 0,9 \text{ m}^3/\text{s}$  při spádu  $H = 36,6 \text{ m}$ . Turbíny byly umístěny vysoko - cca 6 m nad spodní vodou, na hranici možné sací výšky turbín. Vzhledem ke kavitačním a pevnostním vlastnostem turbín nebylo možno využít celkového spádu lokality.

Obsahem rekonstrukce bylo sloučení dílčích spádů do celkového spádu cca 50 m propojením potrubí u přerušovací nádrže a doplnění dvou vertikálních turbín Pelton pro využití povoleného odběru vody (turbíny Francis jsou v záloze a mohou být využity pouze krátkodobě při omezeném průtoku. Instalace nových turbín a propojení potrubí bylo provedeno s minimálním zásahem do stávající stavby MVE. Nové turbíny jsou napojeny na stávající přívod vody pro turbíny Francis. Výtok z turbín Pelton je veden novým výtokem krátké délky (cca 2,6 m) do toku L. Nisy.

Nové turbíny Pelton mají každá max. průtok  $0,45 \text{ m}^3/\text{s}$  (výkon  $2 \times 160 \text{ kW}$ ), tzn. že max. průtok všech turbín (stávající a nové) je  $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$ . Nové turbíny jsou umístěny do stávajícího prostoru strojovny turbín Francis.

Soustrojí pracují v automatickém provozu paralelně se sítí v součinnosti s hladinovou regulací. Automatická regulace turbín je řízena komplexně programovatelným řídicím systémem PCL, spolupráce soustrojí je řízena nadřazeným řídicím systémem.

Dispozice:





### 6.1.4 Rekonstrukce MVE

<b>Dispozice MVE</b>		derivační	<b>Kategorie</b>	II.	<b>Typ</b>	nížkotlaká								
<b>Charakteristika řešení</b>		Výměna původního soustrojí s vertikální kašnovou turbínou Francis (1925) za nové soustrojí s vertikální turbínou Kaplan o instalovaném výkonu 160 kW. MVE osazena novými česlemi s čistícím strojem a ASŘ.												
<b>Hydrologie:</b>														
Vodní tok		Jizera			ř. km	126,704								
Ø roční průtok $Q_a$ (m <sup>3</sup> /s)		6,486			MZP (m <sup>3</sup> /s)	1,24								
m	15	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
$Q_{md}$	-	14,9	10,7	7,58	6,08	5,1	4,19	3,54	2,96	2,51	2,1	1,64	1,24	0,98
<b>Technické parametry:</b>														
Typ turbíny		vertikální Kaplan				Počet turbín	1							
Hltnost turbín (m <sup>3</sup> /s)		4,7		Spád (m)		3,90								
Instalovaný výkon MVE (kW)		160		Výroba v Ø vodném roce (MWh/r)		785								
Dosažitelný výkon MVE (kW)		141		Roční využití instal. výkonu (h/r)		4 906								
Převod		řemenový		Využití hydroenerg. potenciálu (%)		64								
Generátor		asynchronní		Vyvedení výkonu do sítě		nn								
<b>Ekonomické parametry:</b>														
Investiční náklady (tis. Kč)			10 740		Prostá návratnost (r)		12,3							
Měrné investiční náklady (tis. Kč/kW <sub>inst.</sub> )			67,1		Reálná návratnost (r)		> 15							
Tržby za elektřinu (tis. Kč/r) (v c.ú. 2000)			942		NPV (tis. Kč)		- 2 290							
Cash – Flow projektu (tis. Kč/r)			870		IRR (%)		2,5							
<b>Poznámka</b>														



### Popis řešení:

Hydroenergetický potenciál byl na lokalitě využíván. Ve strojovně byla v provozu Francisova turbína z roku 1925. Je zachován původní hydraulický obvod MVE, tj. šířka a hloubka náhonu, velikost a hloubka česlí, hloubka vtoku kašny a výtoku u savek.

Pro zlepšení hydraulických poměrů jezu pro převádění velkých průtoků a zlepšení provozních vlastností vtoku do náhonu byla do levé části jezu, náhradou za část pevného jezu, instalována pohyblivá klapka.

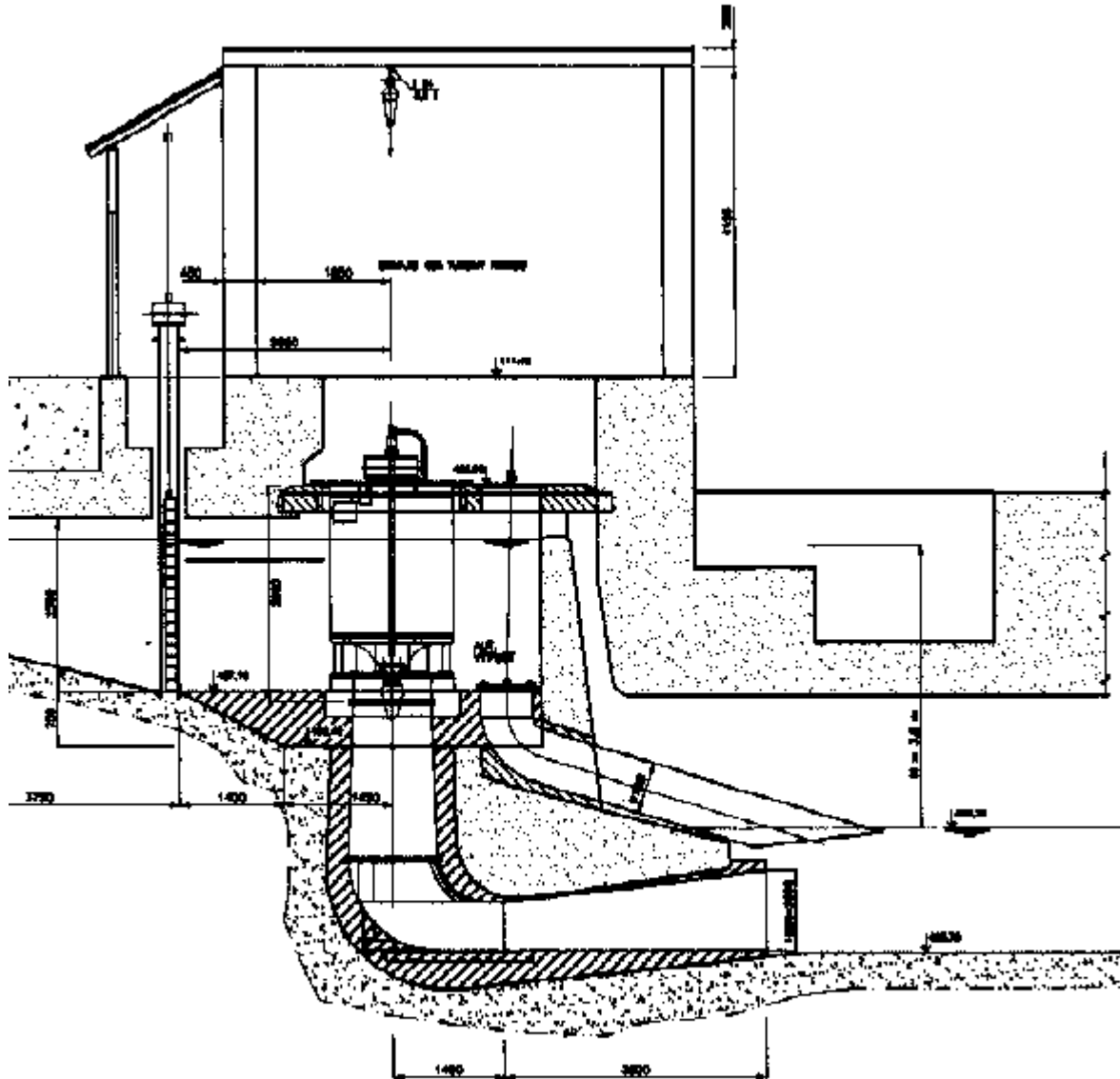
Vtok náhonu je vybaven hrubými česlemi a stavidlem proplachu. Odpad MVE je zkrácen proti původnímu o cca 17 m. Nové vyústění je hydraulicky vhodnější než původní - dosažení vyššího čistého spádu a zjednodušení stavebních úprav břehů.

Projekt řešil rekonstrukci strojovny související s výměnou technologického zařízení ve strojovně a osazením nových česlí vč. čistícího stroje česlí. Staré soustrojí bylo demontováno a bylo instalováno nové soustrojí s vertikální turbínou Kaplan ( $\varnothing$  oběžného kola 1 000 mm) o maximálním výkonu MVE na svorkách generátoru 141 kW. Instalace nové turbíny respektovala záměr minimálního zásahu do stávající stavby, bez zásahů do základů budovy MVE.

MVE využívá hydroenergetický potenciál průtoků řeky až do průtoku cca 120ti denní vody průtočně se zabezpečením požadovaného přelivu přes jez v hodnotě  $Q = 1,24 \text{ m}^3/\text{s}$ , ostatní vyšší  $Q_m$  denní průtoky pak s vyšším přepadem vody přes jez.

Soustrojí pracuje v automatickém bezobslužném provozu paralelně se sítí s přesnou hladinovou regulací.

Dispozice:





### 6.1.5 Rekonstrukce MVE

<b>Dispozice MVE</b>	derivační	<b>Kategorie</b>	III.	<b>Typ</b>	nížkotlaká									
<b>Charakteristika řešení</b>	<p>Rekonstrukce stávající MVE ve mlýně (s dlouhým přivaděčem – převážně štola ve skále), osazené v 80tých letech 2 turbínami MT 3 (Metaz) o celkovém instalovaném výkonu 30 kW. Tyto turbíny nevyhovovaly (nízká <math>\eta</math> a výkon, neregulovatelnost) a byly nahrazeny soustrojím s 1 novou turbínou Kaplan a o instalovaném výkonu 65,8 kW. Současně byl instalován ASŘ celé MVE.</p>													
<b>Hydrologie:</b>														
Vodní tok		Doubrava		ř. km		32,265								
Ø roční průtok $Q_a$ (m <sup>3</sup> /s)		1,98		MZP (m <sup>3</sup> /s)		0,22								
m	15	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
$Q_{md}$	-	4,82	3,00	1,85	1,49	1,25	1,04	0,89	0,72	0,62	0,50	0,35	0,22	0,12
<b>Technické parametry:</b>														
Typ turbíny		Kaplan, kašnová, horizontální			Počet turbin		1							
Hltnost turbíny (m <sup>3</sup> /s)		1,5		Spád (m)			5,54							
Instalovaný výkon MVE (kW)		65,8		Výroba v Ø vodném roce (MWh/r)			276							
Dosažitelný výkon MVE (kW)		62,0		Roční využití instal. výkonu (h/r)			4 182							
Převod		přímý			Využití hydroenerg. potenciálu (%)		45							
Generátor		asynchronní			Vyvedení výkonu do sítě		nn							
<b>Ekonomické parametry:</b>														
Investiční náklady (tis. Kč)			1 698	Prostá návratnost (r)		5,6								
Měrné investiční náklady (tis. Kč/kW <sub>inst.</sub> )			25,8	Reálná návratnost (r)		7,1								
Tržby za elektřinu (tis. Kč/r) (v c.ú. 2000)			331	NPV (tis. Kč)		1 225								
Cash – Flow projektu (tis. Kč/r)			301	IRR (%)		15,8								
<b>Poznámka</b>														
<p>Relativně nižší využití hydroenergetického potenciálu lokality je dáno prakticky nezměněnou stavební dispozicí MVE (původní kašna, atd.), a to z důvodu minimalizace investičních nákladů.</p>														



### **Popis řešení:**

MVE se nachází ve mlýně na pravém břehu řeky. Původní dílo pochází z 18. století. Z této doby je hlavně dlouhý přívodní kanál, který prochází asi v polovině své délky štolou vytesanou ve skále. V tomto místě je výrazně zúžen průměrný profil. Vzdouvacím zařízením je kamenný opláštěný jez. Vlastní strojovna MVE byla na začátku 20. století po demontáži vodního kola osazena dvěma Francisovými turbinami. Těmto turbinám byly přizpůsobeny všechny stavební objekty MVE. Tyto turbíny byly demontovány v 80. letech a nahrazeny turbinami typu METAZ.

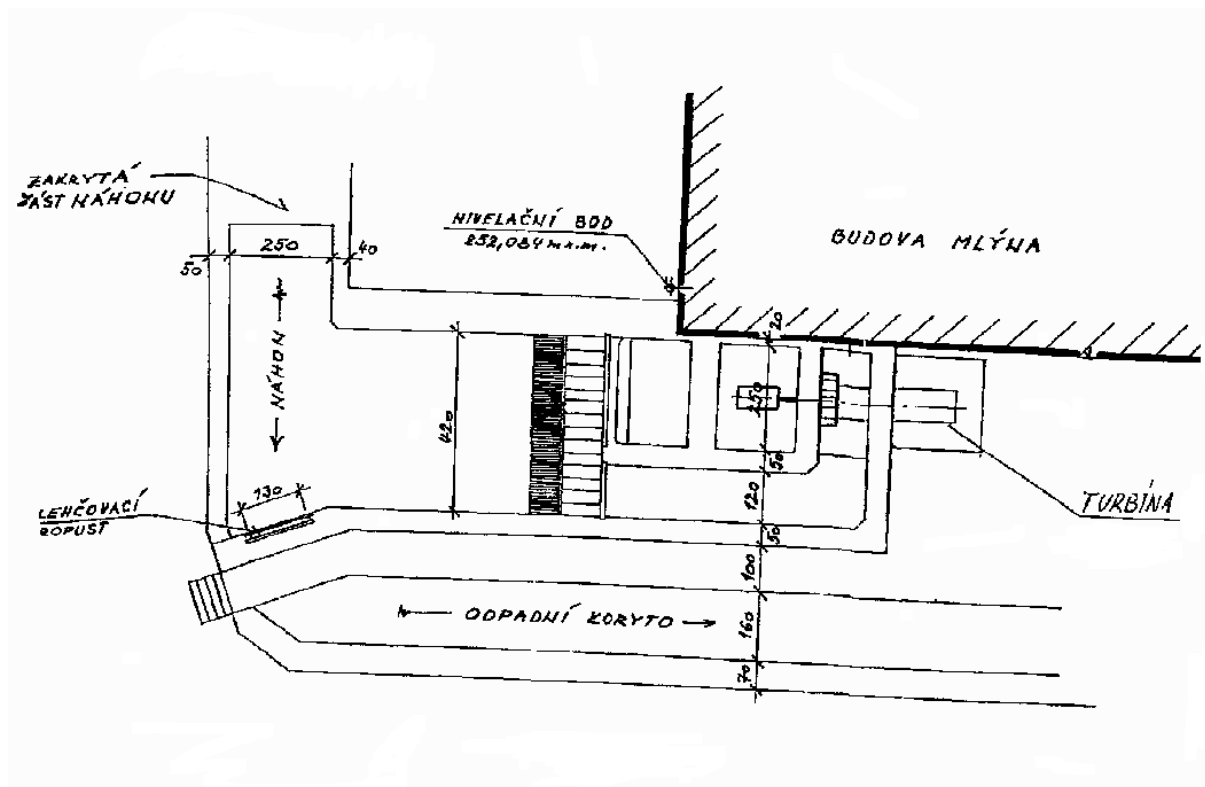
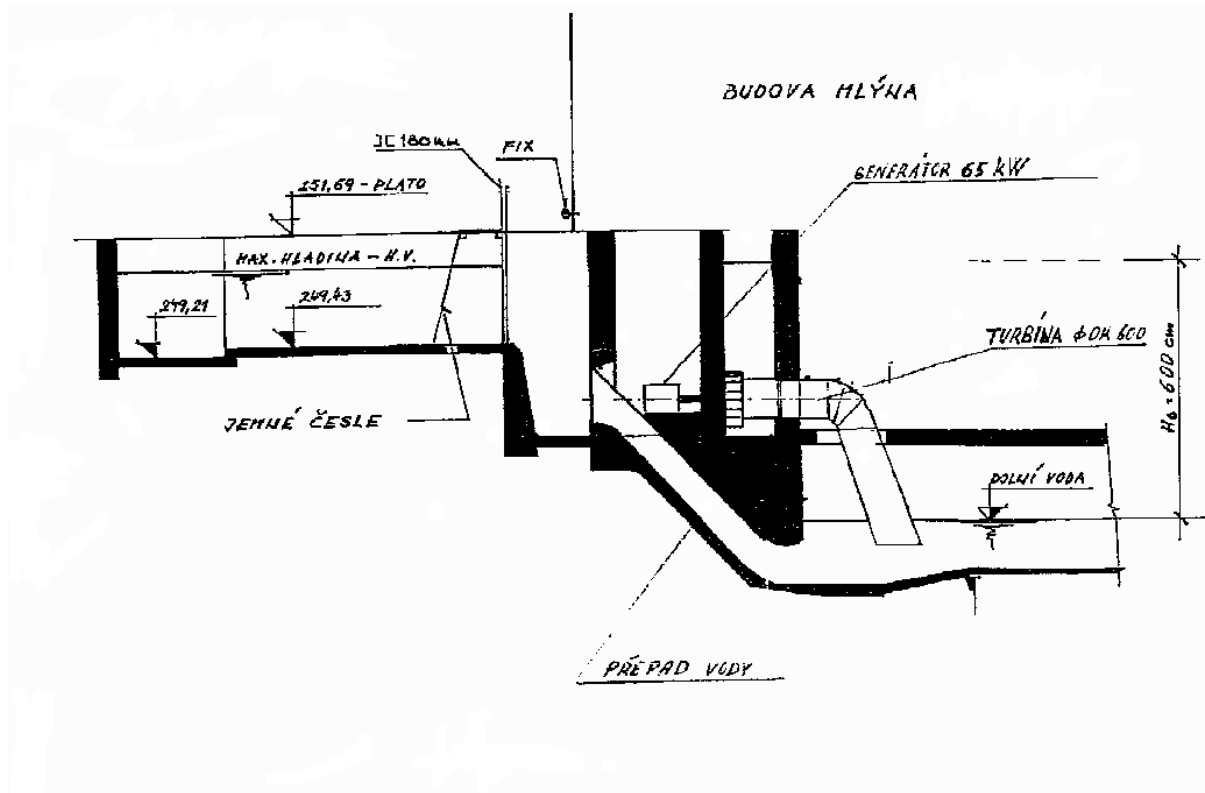
V roce 1997 byla zahájena rekonstrukce, při které byly turbíny METAZ nahrazeny jednou novou turbinou typu Kaplan s možností regulace oběžného i rozváděcího kola s účinností v optimu 86%, kompletně vyměněna elektrovýzbroj a instalován speciální řídicí systém, který dokáže modelovat chování kanálu a turbin ve všech provozních situacích. Oběžné lopatky turbíny byly speciálně uzpůsobeny podmínkám lokality tak, aby byly minimalizovány stavební práce a aby bylo možno turbínu osadit do původní kašny. To znamenalo instalaci turbíny cca 1,5 m nad spodní hladinu. Aby se eliminoval vliv namáhání turbíny kavitací, byly vyvinuty speciální tvar lopatek oběžného kola.

Vtokový objekt byl osazen novými česlemi. Stávající stavidla byla zrekonstruována. Česle byly opatřeny automatickým čistícím strojem na hydraulickém principu s ekologickou olejovou náplní.

Instalovaný řídicí systém řídí všechny provozní stavy turbíny, měří teploty ložisek a generátoru, ovládá regulaci turbíny, udržuje hladinu na jezu v rozsahu 5 mm a řídí kanál s ohledem na zamrzání. Provoz soustrojí je automatický paralelně se sítí pouze s občasným dohledem.



Dispozice:







### 6.1.6 Nová MVE

<b>Dispozice MVE</b>	derivační	<b>Kategorie</b>	II.	<b>Typ</b>	středotlaká									
<b>Charakteristika řešení</b>	Energetické využití spádu (92 m) stávajícího přítoku vody do vodojemu instalací 1 turbosoustrojí s vertikální turbínou typu Pelton o instalovaném výkonu 160 kW. Konstrukce turbíny splňuje požadavky na bezpečný provoz v systému zásobování pitnou vodou.													
<b>Hydrologie:</b>														
Vodní tok, ř. km	Vodojem				ř. km	-								
Ø roční průtok $Q_a$ (m <sup>3</sup> /s)	0,22 *				MZP (m <sup>3</sup> /s)	-								
m	15	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
$Q_{md}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Technické parametry:</b>														
Typ turbíny	vertikální, Pelton				Počet turbin	1								
Hltnost turbíny (m <sup>3</sup> /s)	0,22		Spád (m)		92									
Instalovaný výkon MVE (kW)	160		Výroba v Ø vodném roce (MWh/r)		948									
Dosažitelný výkon MVE (kW)	159		Roční využití instal. výkonu (h/r)		5 925									
Převod	přímý		Využití hydroenerg. potenciálu (%)		73									
Generátor	asynchronní		Vyvedení výkonu do sítě		vn									
<b>Ekonomické parametry:</b>														
Investiční náklady (tis. Kč)	9 197		Prostá návratnost (r)		10									
Měrné investiční náklady (tis. Kč/kW <sub>inst.</sub> )	57,5		Reálná návratnost (r)		>15									
Tržby za elektřinu (tis. Kč/r) (v c.ú. 2000)	1 071		NPV (tis. Kč)		252									
Cash – Flow projektu (tis. Kč/r)	921		IRR (%)		5,6									
<b>Poznámka</b>														
* Průtoky nejsou přirozené, ale jsou řízeny dispečersky v návaznosti na skutečné odběry z vodovodní sítě.														



### **Popis řešení:**

Projekt řešil úpravu armaturní komory vodojemu, kde byla instalována nová turbína Pelton.

Nová turbína je napojena na stávající přívod vody do vodojemu. Přívod vody na turbínu je napojen odbočkou na stávající potrubí přívodu v místě za vstupem do armaturní komory. Na odbočce k turbíně je uzávěr pro možnost uzavření hydraulického obvodu potrubí a turbíny. Původní přívod s regulačním kuželovým uzávěrem je zachován jako obtok pro případ odstavení soustrojí z provozu.

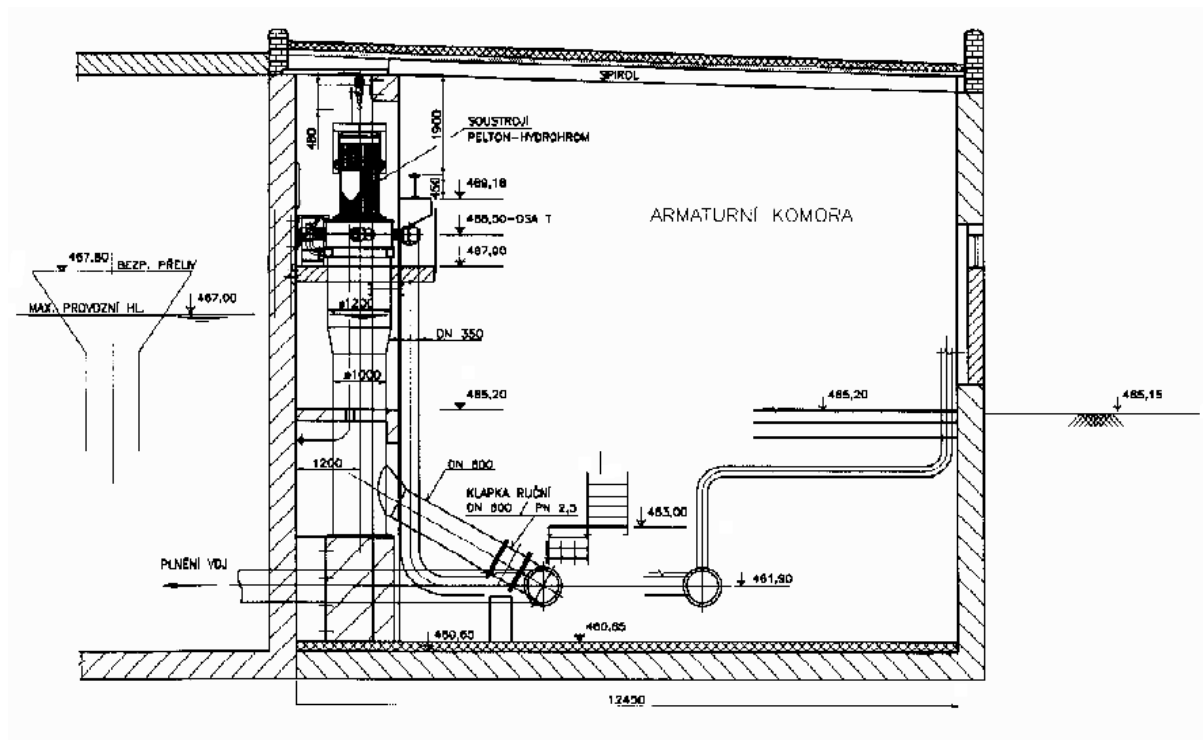
Výtok z turbíny Pelton je proveden do stávajícího potrubního systému.

V MVE je instalováno soustrojí s vertikální turbínou Pelton (max. stálý průtok turbíny je  $Q = 220$  l/s) s jmenovitým výkonem asynchronního generátoru 160 kW.

Vertikální Peltonova turbína je pětídýzová, dýzy jsou ovládány elektroserpopohony. Průtok turbínou je řízen dálkově z dispečinku a místně z rozvaděče. Turbína je v monobloku s generátorem. Oběžné kolo turbíny je nasazeno přímo na hřídeli generátoru. Vysoká životnost a odolnost turbíny je dosažena použitím vysoce kvalitních nerez ocelí na lopatky oběžného kola, ústí trysek a regulační jehly. Konstrukce turbíny splňuje požadavky na bezpečný provoz z hlediska použití na systémech rozvodů pitné vody.

Soustrojí pracuje v automatickém provozu paralelně se sítí s regulací výkonu - průtoku, podle povelů obsluhy vodojemu. V případě odstavení MVE z provozu je přívod vody do VDJ zabezpečován stejným způsobem jako doposud.

Dispozice:





## 6.2 Jezové MVE

### 6.2.1 Oprava a modernizace MVE

<b>Dispozice MVE</b>	jezová	<b>Kategorie</b>	II.	<b>Typ</b>	nízkotlaká									
<b>Charakteristika řešení</b>	Rekonstrukce a modernizace MVE (osazené 2 turbosoustrojími Francis z r. 1915 a 1921) po havárii palečného kola, resp. pastorku náhradou stávajících převodů planetovými úhlovými převodovkami, výměnou a úpravami ložisek a instalací ASŘ													
<b>Hydrologie:</b>														
Vodní tok		Berounka		ř. km		81,736								
Ø roční průtok $Q_a$ (m <sup>3</sup> /s)		30,3		MZP (m <sup>3</sup> /s)		4,94								
m	15	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
$Q_{md}$	-	68		35,8			20,2			20,1		7,46	4,94	3,03
<b>Technické parametry:</b>														
Typ turbíny		Francis, kašnová, vertikální			Počet turbín		2							
Hltnost turbín (m <sup>3</sup> /s)		10		Spád (m)		1,8								
Instalovaný výkon MVE (kW)		130		Výroba v Ø vodném roce (MWh/r)		765								
Dosažitelný výkon MVE (kW)		121		Roční využití instal. výkonu (h/r)		5 886								
Převod		planetová převodovka, řemen			Využití hydroenerg. potenciálu (%)		28							
Generátor		asynchronní			Vyvedení výkonu do sítě		nn							
<b>Ekonomické parametry:</b>														
Investiční náklady (tis. Kč)		944		Prostá návratnost (r)		1,2								
Měrné investiční náklady (tis. Kč/kW <sub>inst.</sub> )		7,3		Reálná návratnost (r)		1,3								
Tržby za elektřinu (tis. Kč/r) (v c.ú. 2000)		918		NPV (tis. Kč)		7 020								
Cash – Flow projektu (tis. Kč/r)		820		IRR (%)		86,9								
<b>Poznámka</b>														
Vzhledem k tomu, že se jedná o pouze o opravu havarovaného soustrojí a modernizaci je projekt mimořádně ekonomicky efektivní. Náhrada havarovaného soustrojí novým soustrojím by znamenala výrazné zhoršení ekonomické efektivnosti. Dimenze vtokového kanálu MVE umožňuje v budoucnu zvýšení využití hydroenergetického potenciálu instalací 3. soustrojí.														



### Popis řešení:

Lokalita byla energeticky využívána již od 16. století (mlýn). Stávající MVE byla vybudována v r. 1915 a osazena turbínou Francis (fa. Martínek). Rozšířena byla v r. 1924 o další turbínu Francis (fa. Prokop a synové). MVE prošla generální opravou v letech 1982 – 84 a v provozu byla až do havárie obou soustrojí v polovině r. 1999. Při uvedené havárii na jedné turbíně zhavarovalo palečné kolo (ulomená hřídel) a na druhé došlo k posunutí pastorku.

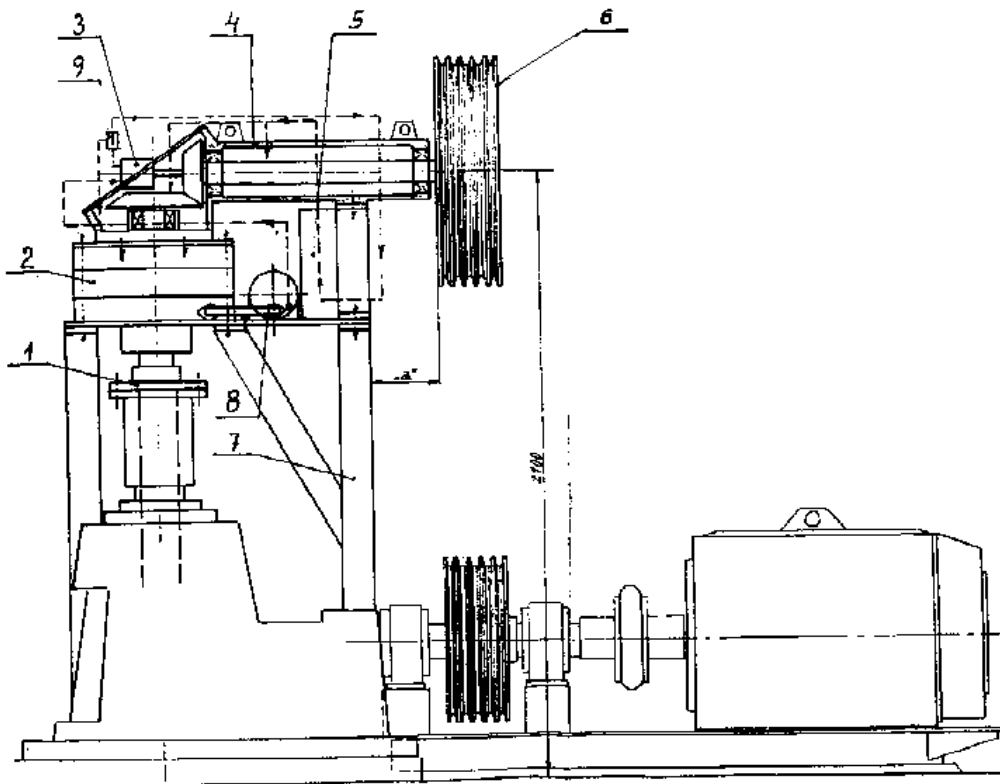
MVE je lokalizována v blízkosti jezu, uloženého v toku pod úhlem 45°. Délka jezu je 122 m a je opatřen 3 stavidlovými propustmi a 3 štěrkovými hradidlovými propustmi. Vtokový kanál je dimenzován na průtok vody až 20 m<sup>3</sup>/s (což vytváří rezervu pro instalaci další turbíny) a je opatřen hrubými česlemi.

Jemné česle jsou osazeny na jeho konci před vtoky na turbíny. Vtok na případnou třetí turbínu je zatím přehrazen a zasypán. Odpadní kanál je tvořen otevřenou (upravenou) strouhou bývalého mlýna.

Rekonstrukce byla zahájena okamžitě po havárii a jejím obsahem byla náhrada stávajících palečných kol úhlovými planetovými převodovkami. Převod z převodovky ke generátoru je proveden klínovými řemeny.

Současně byla vyměněna kluzná radiální ložiska za válečková a byly provedeny opravy a úpravy labyrintů axiálních ložisek tak, aby bylo zamezeno únikům mazacího oleje do vodního toku.

Předmětem modernizace bylo i vybavení MVE systémem ASŘ s hladinovou regulací umožňující bezobslužný provoz elektrárny pouze s občasným dohledem.

**Schema převodu:**

- 1 – spojka
- 2 – jednostupňový planetový převod
- 3 – mazací a chladičí čerpadlo
- 4 – kuželový převod
- 5 – chladič oleje
- 6 – řemenice
- 7 – stojan
- 8 – nádrž
- 9 – redukční ventil



### 6.2.2 Obnova MVE

<b>Dispozice MVE</b>	jezová	<b>Kategorie</b>	III.	<b>Typ</b>	nízkotlaká									
<b>Charakteristika řešení</b>	<p>Obnova původního energetického vodního díla (mlýn) na slepém rameni řeky, kde do původní kašny na turbínu s malým průtokem byla instalována nová přímoproudá S turbína SemiKaplan s vyššími parametry, zpracovávající stálý průtok slepým ramenem do původního odpadního kanálu mlýna. MVE pracuje s instalovaným výkonem 93 kW v automatickém provozu s hladinovou regulací.</p>													
<b>Hydrologie:</b>														
Vodní tok		Ohře		ř. km		10,251								
Ø roční průtok $Q_a$ (m <sup>3</sup> /s)		37,9		MZP (m <sup>3</sup> /s)		3,5*								
m	15	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
$Q_{md}$	-	86,2	60,5	47,2	38,4	31,8	26,7	22,4	18,7	15,3	12,1	8,8	5,3	2,8
<b>Technické parametry:</b>														
Typ turbíny		SemiKaplan, S, přímoproudá			Počet turbin		1							
Hltnost turbíny (m <sup>3</sup> /s)		3,5		Spád (m)			3,5							
Instalovaný výkon MVE (kW)		93		Výroba v Ø vodném roce (MWh/r)			625							
Dosažitelný výkon MVE (kW)		93		Roční využití instal. výkonu (h/r)			5 683							
Převod		řemenový		Využití hydroenerg. potenciálu (%)			80**							
Generátor		asynchronní		Vyvedení výkonu do sítě			nn							
<b>Ekonomické parametry:</b>														
Investiční náklady (tis. Kč)			4 960	Prostá návratnost (r)		7,2								
Měrné investiční náklady (tis. Kč/kW <sub>inst.</sub> )			53,3	Reálná návratnost (r)		9,7								
Tržby za elektřinu (tis. Kč/r) (v c.ú. 2000)			750	NPV (tis. Kč)		1 741								
Cash – Flow projektu (tis. Kč/r)			690	IRR (%)		11,0								
<b>Poznámka</b>														
* Stálý odběr pro MVE daný propustností slepého koryta řeky (sanační průtok)														
** Využití hydroenergetického potenciálu je vztaženo pouze k hodnotě stálého průtoku slepým ramenem řeky.														



### **Popis řešení:**

V původním mlýně byla instalována od r. 1927 jedna turbína Francis o výkonu 44 kW. Vodu pro mlýn vzdouval starý pevný jez, který byl v roce 1938 nahrazen pohyblivým válcovým jezem v upraveném korytě Ohře. V r. 1962 byla turbína odstavena z provozu.

Hydraulický obvod MVE je dlouhý 640 m. Délka slepého ramene Ohře je cca 750 m. Po odstavení turbíny ve mlýně z provozu ( v roce 1962 ) bylo uzavřením průtoku turbíny slepé rameno zanášeno splaveninami. Také výtokový kanál mlýnu byl zanášen splaveninami z dolní vody při povodních.

Jedná se o typickou obnovu staré MVE na novou s vyššími užitnými parametry. Nová přímoproudá turbína je instalována do staré kašny s minimem stavebních prací, jak v objemu bourání tak nových stavebních konstrukcí.

Stavební konstrukce spodní stavby - kašny a vtoku turbíny byly zachovány ve vyhovujícím stavu. Z původní kašny je vytvořena nová strojovna, v původním podlaží strojovny je generátor a elektrorozvaděč ovládání soustrojí.

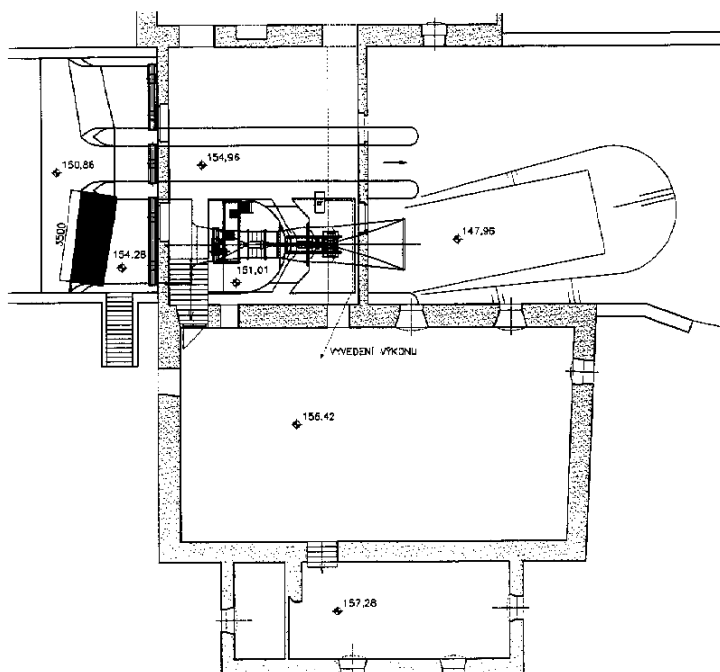
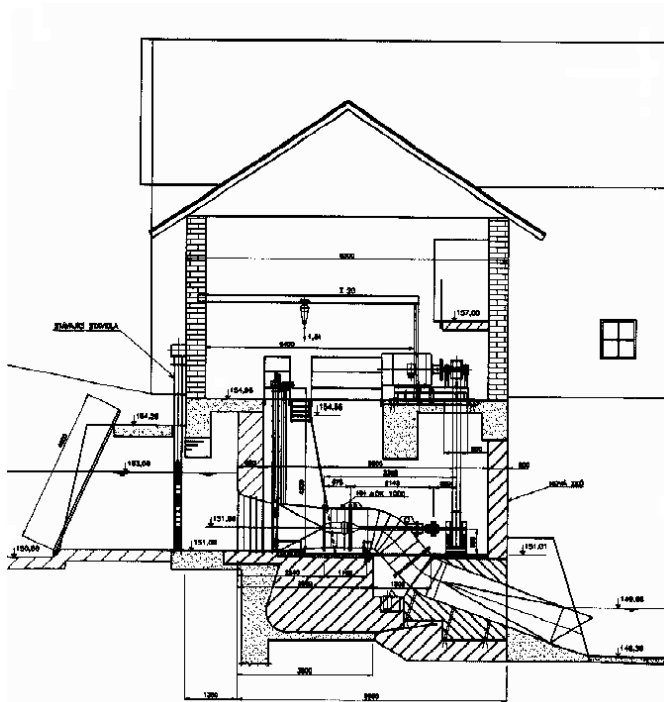
Před vstupem na turbínu jsou instalovány jemné česle se světlostí mezer mezi česlicemi 30 mm.

Bylo instalováno nové soustrojí s přímoproudou S turbínou SemiKaplan o průměru oběžného kola 1000 mm. Obnovená MVE využívá hydroenergetický potenciál stálého průtoku  $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$  ramenem Ohře a původním odpadním kanálem mlýna. Na tento stálý průtok je turbína dimenzována.

Soustrojí v MVE s asynchronním generátorem pracuje v automatickém bezobslužném provozu, paralelně se sítí v součinnosti s jednoduchou zabezpečovací - hladinovou regulací a zabezpečovací automatikou soustrojí.



Dispozice:




**6.2.3 Nová MVE –na stávajícím jezu**

<b>Dispozice MVE</b>	jezová	<b>Kategorie</b>	II.	<b>Typ</b>	nízkotlaká									
<b>Charakteristika řešení</b>	Výstavba nové průtočné MVE v těsné blízkosti stávajícího jezu (stabilizační spádový stupeň ze 70-tých let) se vtokem na místě vtoku do stávajícího rybího přechodu, který byl upraven. Nový objekt byl osazen jedním soustrojím s přímoproudou S turbínou SemiKaplan a o instalovaném výkonu 160 kW. MVE je vybavena ASŘ s přesnou hladinovou regulací													
<b>Hydrologie:</b>														
Vodní tok		Bečva		ř. km		24,200								
Ø roční průtok $Q_a$ (m <sup>3</sup> /s)		15,30		MZP (m <sup>3</sup> /s)		0,15								
m	15	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
$Q_{md}$	-	42,1	26,8	15,6	11,1	8,9	7,16	5,72	4,78	3,7	2,98	2,11	1,44	0,94
<b>Technické parametry:</b>														
Typ turbíny		SemiKaplan, S, přímoproudá			Počet turbin		1							
Hltnost turbíny (m <sup>3</sup> /s)		6,0		Spád (m)		3,10								
Instalovaný výkon MVE (kW)		160		Výroba v Ø vodném roce (MWh/r)		891								
Dosažitelný výkon MVE (kW)		128		Roční využití instal. výkonu (h/r)		5 569								
Převod		řemenový		Využití hydroenerg. potenciálu (%)		32								
Generátor		asynchronní		Vyvedení výkonu do sítí		nn								
<b>Ekonomické parametry:</b>														
Investiční náklady (tis. Kč)		7 540		Prostá návratnost (r)		7,4								
Měrné investiční náklady (tis. Kč/kW <sub>inst.</sub> )		47,1		Reálná návratnost (r)		10,2								
Tržby za elektřinu (tis. Kč/r) (v c.ú. 2000)		1 069		NPV (tis. Kč)		2 308								
Cash – Flow projektu (tis. Kč/r)		1 014		IRR (%)		10,4								
<b>Poznámka</b>														
Relativně nižší využití hydroenergetického potenciálu lokality je dáno vlastnostmi lokality s krátkodobými vysokými průtoky. Hltnost použité turbíny odpovídá přirozenému průtoku na úrovni cca $Q_{200}$ denního průtoky, a to z důvodu vysokého využití instalovaného výkonu a tím minimalizace investičních nákladů.														



### Popis řešení:

Lokalita nebyla v minulosti nikdy energeticky využívána. Nová průtočná MVE na pravém břehu řeky je umístěna v blízkosti jezu, postaveného v 70-tých letech jako stabilizační stupeň. Jez má šířku v koruně 36 m a je v dobrém stavu. MVE energeticky zpracovává průtok cca  $Q_{200}$  denní vody a její dispozice odpovídá stavebnímu řešení jezu, rybího přechodu a břehového opevnění.

Byly vybudovány nové stavební objekty MVE – vtok (rozšíření stávajícího rybího přechodu), strojovna, výtok, nový rybí přechod a kabelová přípojka.

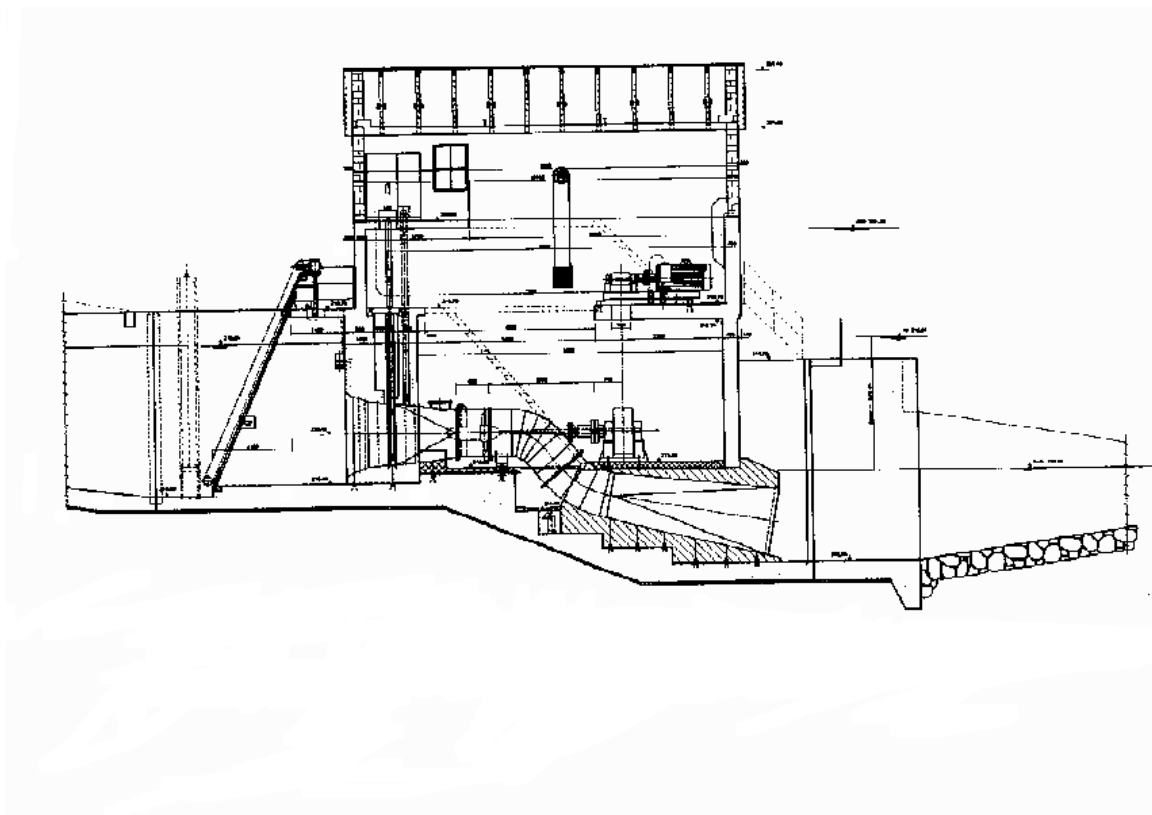
Objekty strojovny, vtoku a výtoku jsou z monolitického železobetonu, vrchní stavba strojovny je zděná.

Vtok je vybaven stavidly a hrubými česlemi, vtok na turbínu je chráněn jemnými česlemi s předpokladem instalace čistícího stroje česlí.

Je instalováno jedno turbosoustrojí s přímoproudou horizontální S turbínou typu SemiKaplan o průměru oběžného kola 1 200 mm s účinností v optimu více než 90% s možností regulace lopatek oběžného kola. Turbína je vhodná k použití na toku, který unáší mnoho nečistot, má velmi řídké rozváděcí kolo a automatický oplach lopatek rozváděcího i oběžného kola je schopen zajistit stálý výkon turbosoustrojí. Hltnost turbíny je přiměřená parametrům lokality a prostorové dispozici území pro stavbu.

MVE je vybavena přesnou hladinovou regulací a ASŘ umožňujícím automatický bezobslužný provoz paralelně se sítí pouze s občasným dohledem.

**Dispozice:**





### 6.2.4 Nová MVE – zvýšení spádu úpravou jezu

<b>Dispozice MVE</b>	jezová	<b>Kategorie</b>	II.	<b>Typ</b>	nížkotlaká									
<b>Charakteristika řešení</b>	<p>Z původního nízkého (1,4 m) a silně poškozeného jezu bylo vytvořeno nové vodní dílo se spádem 2,1 m s pohyblivým vakovým jezem a velkou proplachovací propustí. Technologická zařízení MVE jsou nová a tvoří je tři soustrojí s přímoproudými Semi-Kaplanovými turbínami o celkovém instalovaném výkonu 290 kW a další příslušenství vč. automatického čištění česlí a ASŘ s hladinovou regulací a skupinovým regulátorem všech soustrojí.</p>													
<b>Hydrologie:</b>														
Vodní tok	Morava				ř. km	226,33								
Ø roční průtok $Q_a$ ( $m^3/s$ )	27,2				MZP ( $m^3/s$ )	0,5								
m	15	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
$Q_{md}$	-	60	45	33,6	27,5	23,5	20	17	14,5	12	9,5	7,4	5	3,37
<b>Technické parametry:</b>														
Typ turbíny	SemiKaplan, přímoproudá				Počet turbin	3								
Hltnost turbíny ( $m^3/s$ )	17,1		Spád (m)		2,1									
Instalovaný výkon MVE (kW)	290		Výroba v Ø vodném roce (MWh/r)		2 120									
Dosažitelný výkon MVE (kW)	285		Roční využití instal. výkonu (h/r)		7 295									
Převod	řemenový		Využití hydroenerg. potenciálu (%)		63									
Generátor	asynchronní		Vyvedení výkonu do sítě		nn									
<b>Ekonomické parametry:</b>														
Investiční náklady (tis. Kč)	24 722		Prostá návratnost (r)		10,5									
Měrné investiční náklady (tis. Kč/kW <sub>inst.</sub> )	85,2		Reálná návratnost (r)		> 15									
Tržby za elektřinu (tis. Kč/r) (v c.ú. 2000)	2 544		NPV (tis. Kč)		- 1 956									
Cash – Flow projektu (tis. Kč/r)	2 344		IRR (%)		4,8									
<b>Poznámka</b>														



### Popis řešení:

Původní vodní dílo sestávalo z jezu - pevného stupně výšky cca 1.4 m a objektu vtoku do Morávky. Těleso jezu bylo ve velmi špatném stavu, především v proudnici toku, kde byla stržena koruna jezu na délce asi 50 m.

Vzhledem k původnímu velmi malému spádu cca 1.4 m bylo v projektu navrženo zvýšení spádu při relativně malém max. průtoku MVE  $Q_{\max} = 17 \text{ m}^3/\text{s}$  (cca  $Q_{205}$  denní voda). Pohyblivá hradicí konstrukce jezu je tvořena vakovým jezem o dvou polích šířky 22 m a výšky 1,2 m. Při nižších průtocích než  $Q_{\max}$  turbín je vak vztyčen. Při větším přítoku než je maximální hltnost turbín se vak automaticky sklápí tak, aby byla dodržena úroveň horní provozní hladiny. Manipulace s vakem, sklápění a vztyčování, se provádí automaticky.

Vtok MVE je vybaven stavidly. Před stavidly vtoku jsou hrubé česle. Proplach prostoru před stavidly vtoku je zajištěn dostatečně kapacitními stavidly proplachu.

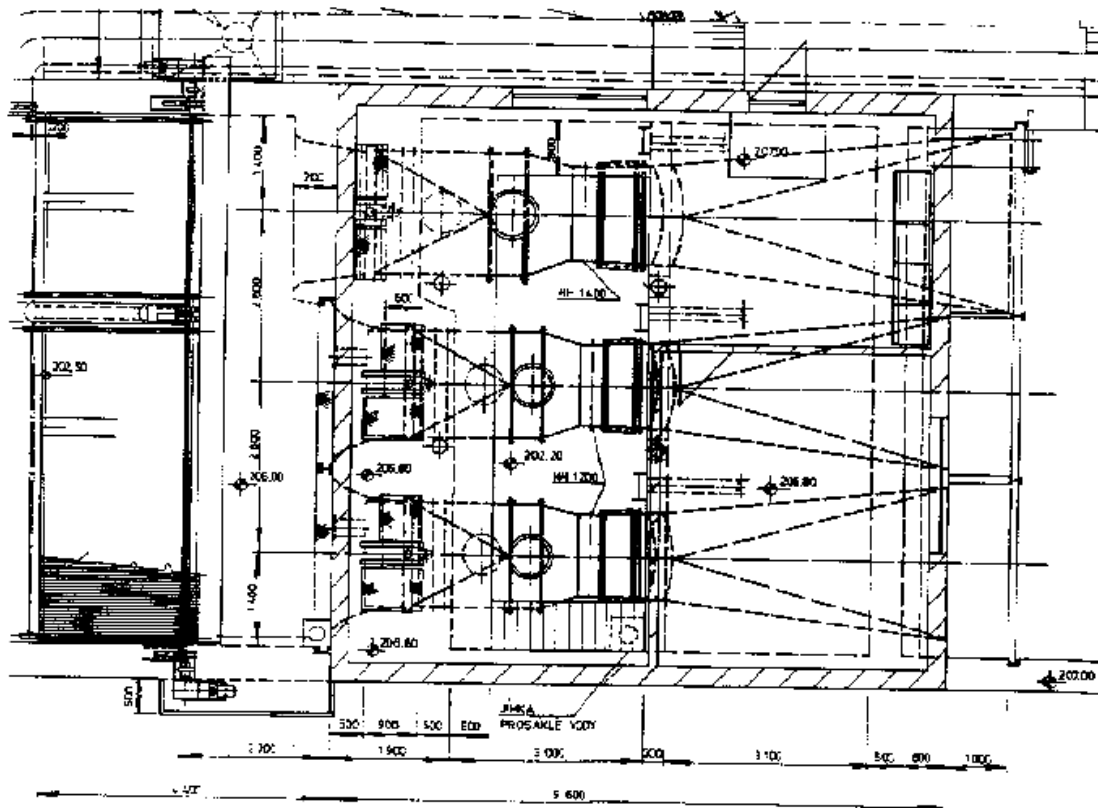
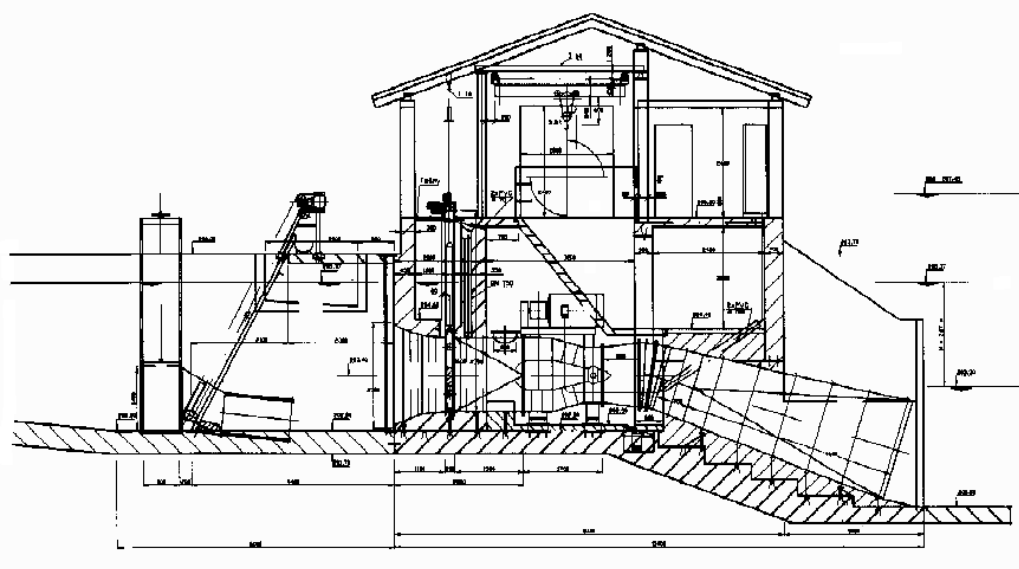
V novém objektu MVE jsou tři soustrojí s přímoproudými turbínami SemiKaplan o  $\varnothing$  oběžného kola 1200 mm o maximálním výkonu na svorkách generátorů 3x 90 kW, zařízení ovládání soustrojí a elektrorozvaděče ovládání. Automatické oplachy lopatek oběžného kola v součinnosti s automatickými hydraulickými shrabovadly jemných česlí zaručují stálost velikosti výkonu za všech stavů nečistot v řece.

Ovládání vaku má společnou hladinovou regulaci s turbínami. Hladinové regulace turbín a vaku jsou nastaveny tak, aby chování regulací bylo stabilní.

Soustrojí pracují v automatickém bezobslužném provozu paralelně se sítí.



Dispozice:





## 7. Závěr

Do Sborníku bylo vybráno deset příkladů realizovaných technických řešení průtočných malých vodních elektráren, z toho šest derivačních a čtyři jezové.

Příklady technického řešení derivačních MVE:

- oprava havarovaného soustrojí Francis spojená se zásadní modernizací (1 případ)
- rekonstrukce různého stupně spojená s instalací nového soustrojí (4 případy)
- výstavba nové MVE na vodovodním přivaděči (1 případ)

Příklady technického řešení jezových MVE:

- oprava havarovaného soustrojí spojená s modernizací (1 případ)
- obnova bývalé MVE – instalace nové technologie (1 případ)
- výstavba nové MVE (2 případy), a to jak bez úpravy stávajícího jezu tak i se zvýšením vzdutí jezu

S výjimkou dvou středotlakých MVE (se spády 49,3 m, resp. 92 m) se jedná o nízkotlaké MVE pracující na spádech od 1,8 do 5,5 m.

Tomu odpovídají i použité typy turbín Kaplan, příp. SemiKaplan (s výjimkou oprav původních turbín Francis). U středotlakých MVE byly použity turbíny Pelton.





Vybrané příklady MVE představují v součtu instalovaný výkon 2 011 kW a roční výrobu elektřiny v průměrně vodném roce cca 11 199 MWh/r.

Měrné investiční náklady jsou jasně závislé na rozsahu stavebních prací, resp. na charakteru rekonstrukce či opravy. Tomu odpovídá i ekonomická efektivnost jednotlivých příkladů, kde v případech oprav a modernizací technologie je velmi dobrá, zatímco v případech výstavby nových (až na výjimky) vychází méně příznivě.

Měrná investiční náročnost se u vybraných příkladů pohybuje v průměru na úrovni 42,23 tis.Kč/kW<sub>inst.</sub>. Prostá doba návratnosti za vybrané příklady je v průměru cca 7 let, při čemž se pohybuje až do nejvyšší hodnoty na úrovni 12,3 let.

Ve skutečnosti však parametry ekonomické efektivnosti vybraných typových řešení byly vylepšeny státní podporou poskytnutou Českou energetickou agenturou ve formě dotace. Poskytnutá dotace de facto snížila investiční náklady projektu a tím i ekonomicky nepříliš efektivní projekty se posunuly do přijatelných hodnot ekonomické efektivnosti.

Z toho plyne, že zejména v případech výstavby nových MVE a při rozsáhlejších rekonstrukcích, hraje v podmínkách ČR (zejména nízké výkupní ceny elektřiny) státní podpora významnou roli při rozvoji malých vodních elektráren.

Důležitost státní podpory poroste s postupem výstavby nebo rekonstrukcí v náročnějších lokalitách (často i méně hydrologicky výhodných).



## 8. Seznam použité literatury

1. Bednář, J.: Malé vodní elektrárny 2, SNTL, Praha 1989
2. Pažout, F.: Malé vodní elektrárny 1, SNTL, Praha 1990
3. Kolektiv: Obnovitelné zdroje energie, Ministerstvo zemědělství ČR, Praha 1993
4. Kašpar, J.: Energetická legislativa malých vodních elektráren, ČEA, Praha 1997
5. VŠB Technická univerzita Ostrava: Obnovitelné a alternativní zdroje energie, ČEA, Praha 1997
6. Melichar, J., Vojtek, J., Bláha, J.: Malé vodní turbíny – Konstrukce a provoz, Vydavatelství ČVUT, Praha 1998
7. Gabriel, P., Čihák, F., Kalandra, P.: Malé vodní elektrárny, Vydavatelství ČVUT, Praha 1998
8. Bouška, J., Knížek, P.: Metodika energetického auditu „Obnovitelné zdroje energie“, ČEA, Praha 1999
9. ČSN 73 6881 – Malé vodní elektrárny
10. Firemní literatura
11. Energetické audity vybraných realizovaných příkladů MVE

V Praze dne 31. října 2000

Zpracovali:

Ing. Jan Bouška

Ing. Petr Knížek, CSc.

Josef Kašpar

# Obsah

<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1 HISTORIE MALÝCH VODNÍCH ELEKTRÁREN (MVE).....	1
1.2 SOUČASNÝ STAV V ČR .....	3
1.3 HYDROENERGETICKÝ POTENCIÁL V ČR A MOŽNOSTI DALŠÍHO ROZVOJE MVE .....	5
1.4 SITUACE V ZEMÍCH EVROPSKÉ UNIE .....	7
1.5 ZÁKLADNÍ POJMY A NÁZVOSLOVÍ .....	8
1.6 DISPOZIČNÍ USPOŘÁDÁNÍ .....	9
<b>2. TURBÍNY PRO MVE.....</b>	<b>11</b>
2.1 TURBINA PELTON .....	15
2.2 TURBINA FRANCIS.....	15
2.3 TURBINA KAPLAN .....	16
2.4 TURBINA DÉRIAZOVA.....	17
2.5 TURBINA BÁNKI .....	17
2.6 VRTULOVÁ TURBINA .....	18
2.7 VÝROBCI VODNÍCH TURBIN PRO MVE V ČR .....	19
<b>3. PŘEDPOKLADY EFEKTIVNÍHO ŘEŠENÍ MVE.....</b>	<b>20</b>
<b>4. ZÁSADY TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ MVE .....</b>	<b>21</b>
4.1 HYDROENERGETICKÉ ŘEŠENÍ.....	21
4.2 DISPOZIČNÍ USPOŘÁDÁNÍ .....	26
4.3 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ VLASTNÍCH OBJEKTŮ MVE .....	27
4.3.1 Vtokový objekt.....	27
4.3.2 Přivaděče a odpady.....	29
4.3.3 Vtoky, provozní a revizní uzávěry .....	29
4.3.4 Provozní objekty MVE.....	30
4.3.5 Hlavní technologická zařízení.....	31
4.3.6 Způsob zapojení .....	33
4.3.7 Komplexní vyzkoušení a provoz MVE .....	34
<b>5. EKONOMIKA MVE .....</b>	<b>35</b>
5.1 ORIENTAČNÍ UKAZATELE .....	35
5.2 UKAZATELE EKONOMICKÉ EFEKTIVNOSTI.....	36
5.3 EKONOMICKÁ ANALÝZA .....	38
<b>6. VYBRANÁ TECHNICKÁ ŘEŠENÍ MVE.....</b>	<b>39</b>
6.1 DERIVAČNÍ MVE.....	41
6.1.1 Oprava a modernizace MVE.....	41
6.1.2 Rekonstrukce MVE.....	44
6.1.3 Rekonstrukce MVE.....	47
6.1.4 Rekonstrukce MVE.....	50
6.1.5 Rekonstrukce MVE.....	53
6.1.6 Nová MVE.....	56
6.2 JEZOVÉ MVE .....	59
6.2.1 Oprava a modernizace MVE.....	59
6.2.2 Obnova MVE.....	62
6.2.3 Nová MVE –na stávajícím jezu .....	65
6.2.4 Nová MVE – zvýšení spádu úpravou jezu .....	68
<b>7. ZÁVĚR.....</b>	<b>71</b>
<b>8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>73</b>