

---

# ANALÝZA EFEKTIVNÍHO VYUŽITÍ MVE Z HLEDISKA PŘÍRODNÍHO POTENCIÁLU VODNÍCH TOKŮ JAKO ENERGETICKÉHO ZDROJE

Programový projekt č.:  
TB010MZP066

Datum:  
únor 2015

---



**Zásady navrhování MVE na malých, středních a velkých tocích s ohledem na zachování ekologické rovnováhy toku a minimálních zůstatkových průtoků, včetně zhodnocení ekonomické efektivity**

**CERTIFIKOVANÁ METODIKA**



Technická agentura  
České republiky

---

Úvod	5
<b>1.</b>	<b>Obecný popis - rozdělení vodních elektráren ..... 6</b>
1.1	Podle instalovaného výkonu (shoda s ČSN 75 0120)..... 6
1.2	Podle získaného spádu: ..... 7
1.3	Podle hospodaření s vodou: ..... 9
1.4	Podle umístění strojovny: ..... 9
1.5	Podle uspořádání strojovny: ..... 10
1.6	Podle velikosti spádu..... 10
1.7	Podle řízení provozu: ..... 11
1.8	Podle provozovatele: ..... 11
1.9	Podle způsobu práce v elektrizační soustavě: ..... 12
1.10	Podle použitých strojů: ..... 12
1.11	Podle typu použité turbíny: ..... 12
<b>2</b>	<b>Souhrnné schéma fází realizace MVE ..... 13</b>
2.1	Předprojektová příprava ..... 13
2.1.1	Vhodnost lokality ..... 13
2.1.2	Zhodnocení hydrologických a hydraulických vlastností lokality, investiční rozvaha ..... 13
2.1.3	Zajištění migrační průchodnosti příčné překážky ..... 13
2.2	Projektová fáze ..... 14
	územní řízení, vydání územního rozhodnutí a další povolení ..... 14
2.2.1	Stavební povolení ..... 14
2.3	Realizace stavby ..... 14
<b>3</b>	<b>Některé aspekty návrhu jednotlivých prvků hydraulického obvodu MVE ..... 15</b>
3.1	Identifikace potenciálních lokalit MVE ..... 15
3.1.1	Studie mapových podkladů ..... 15
3.1.2	Analýza příčných překážek s nevyužitým potenciálem ..... 15
3.1.3	Výběr lokalit na základě pochůzky v terénu ..... 15
3.2	Výběr lokalit MVE pro další posouzení ..... 16
3.3	Hydrologické podklady ..... 16
3.4	Návrh situativního uspořádání MVE, návrh vzdouvacího objektu ..... 17
3.5	Stanovení návrhové hltnosti a určení minimálního zajištěného průtoku MVE ..... 17
3.5.1	Určení návrhové hltnosti MVE ..... 17

3.5.2	Součinitel využití instalovaného výkonu a součinitel využití výroby v MVE ..	18
3.6	Návrh hydraulického obvodu MVE .....	20
3.6.1	Základní objekty hydraulického obvodu MVE .....	20
3.6.2	Tlakový přivaděč .....	23
3.6.3	Otevřený kanál o volné hladině .....	24
3.6.4	Obecné poznámky ke smíšeným přivaděčům .....	27
3.6.5	Budova MVE .....	28
3.7	Výpočet čistého spádu .....	28
3.7.1	Ztráty třením .....	29
3.7.2	Místní ztráty .....	29
3.8	Výpočet průměrné roční výroby .....	30
<b>4</b>	<b>Obecné zásady návrhu turbín .....</b>	<b>31</b>
4.1	Typy turbín .....	31
4.2	Vhodné turbíny pro potenciální využití lokalit identifikovaných v řešeném úkolu .....	38
4.3	Turbíny šetrné k vodním živočichům .....	38
4.4	Účinnost turbín .....	38
<b>5</b>	<b>Hydraulické přechodové jevy a dynamické účinky .....</b>	<b>39</b>
<b>6</b>	<b>Stanovení minimálního zůstatkového průtoku v řece s ohledem na zachování ekologické rovnováhy toku .....</b>	<b>42</b>
6.1	Funkce minimálního zůstatkového průtoku .....	42
6.1.1	Stanovení minimálního zůstatkového průtoku podle navrhované metodiky pro připravované nařízení vlády .....	43
6.2	Dělení minimálního zůstatkového průtoku pod vodním dílem z hlediska zachování hlavních ekologických funkcí toku a zajištění životnosti a správného provozu a údržby vodního díla .....	44
6.2.1	Zajištění životnosti a správného provozu a údržby vodního díla .....	44
6.2.2	Zajištění ekologické stability habitatů lokalizovaných přímo pod příčnou překážkou .....	45
6.2.3	Zajištění migrační průchodnosti pro vodní organismy .....	45
6.3	Navrhování rybích přechodů .....	46
6.3.1	Minimální průtok pro zajištění funkce RP .....	47
6.3.2	Zajištění funkce zařízení umožňujících sjíždění jezů .....	48
6.3.3	Zajištění ekologické funkce toku v případě derivačního řešení MVE .....	49
<b>7</b>	<b>Zhodnocení ekonomické efektivity .....</b>	<b>49</b>
7.1	Úvod. Náklady a užítky .....	49
7.2	Náklady .....	49

7.3	Užitky.....	52
7.4	Příjmy z výroby energie a budoucí režim průtoků.....	54
7.5	Ekonomická analýza – základní pojmy .....	54
7.6	Analýza citlivosti .....	57
8	Závěr .....	58
9	Použitá literatura.....	59
10	Přílohy .....	61
	Příloha 1 – Příklad výpočtu průměrné roční výroby.....	62
	Příloha 2 – příklad výstupů ze simulačního modelu .....	63
	Příloha 3 - Příklad analýzy cash flow ve fázi studie proveditelnosti .....	66
	Příloha 4 - Příklad podrobného bussines planu s analýzou citlivosti ....	71

## ÚVOD

V rámci úkolu „Analýza efektivního využití MVE z hlediska přírodního potenciálu vodních toků jako energetického zdroje“ požadoval objednatel – Technologická agentura České republiky i zpracování certifikované metodiky – Zásady navrhování MVE na malých, středních a velkých tocích s ohledem na zachování ekologické rovnováhy toku a minimálních zůstatkových průtoků, včetně ekonomické efektivnosti.

Metodika je, v návaznosti na mapu znázorňující současný stav využití hydroenergetického potenciálu MVE a disponibilní potenciál toků, určena především začínajícím investorům a zájemcům o výstavbu MVE, kapitoly, pojednávající o ekologické rovnováze toků a minimálních zůstatkových průtocích pak pracovníkům vodoprávních úřadů a ochrany přírody.

Metodika je zaměřena na prostředí České republiky, i když některé části mají univerzální platnost. V některých kapitolách bylo nutné použít zahraniční prameny s ohledem na chybějící, nebo systematicky nezpracované údaje a technicko-ekonomické parametry MVE v České republice. Týká se to zejména předběžného odhadu investičních nákladů MVE v úvodních fázích rozhodovacího procesu.

Vypracování Certifikované metodiky – „Zásady navrhování MVE na malých, středních a velkých tocích s ohledem na zachování ekologické rovnováhy toku a minimálních zůstatkových průtoků, včetně zhodnocení ekonomické efektivnosti“ bylo rozděleno do těchto hlavních částí:

1. Obecný popis - rozdělení vodních elektráren
2. Postup při návrhu MVE
3. Některé aspekty návrhu jednotlivých prvků hydraulického obvodu MVE
4. Obecné zásady návrhu turbín
5. Hydraulické přechodové jevy a dynamické účinky
6. Vliv výstavby a provozu MVE na vodní a okolní prostředí s důrazem na vyhodnocení dopadů na změnu přirozených průtoků a migrační průchodnosti
7. Stanovení minimálního zůstatkového průtoku v řece pod místem odběru s ohledem na zachování ekologické rovnováhy toku
8. Zhodnocení ekonomické efektivnosti
9. Závěr
10. Použitá literatura
11. Přílohy

Předkládaná metodika stručně popisuje postup přípravy malých vodních elektráren, zásady návrhu, popisuje metody odhadu nákladů v počátečních fázích přípravy a popisuje metody a postupy ekonomického hodnocení v jednotlivých fázích přípravy a zpracování projektu.

Zvláštní pozornost je v metodice věnována zásadám navrhování MVE s ohledem na zachování ekologické rovnováhy toku a minimálních zůstatkových průtoků v podmínkách České republiky.

**Metodika je určena zejména začínajícím investorům, pracovníkům vodoprávních úřadů a orgánům ochrany přírody s cílem získat základní přehled a orientaci v problematice přípravy a navrhování malých vodních elektráren.**

V žádném případě nemůže tato metodika sloužit jako podrobný manuál pro návrh jednotlivých objektů MVE a jejich technologického vybavení. Jedná se o velmi širokou problematiku, jednotlivým aspektům se věnuje řada odborných publikací, knih a vysokoškolských skript, které nelze shrnout do jednoho manuálu.



# 1. OBECNÝ POPIS - ROZDĚLENÍ VODNÍCH ELEKTRÁREN

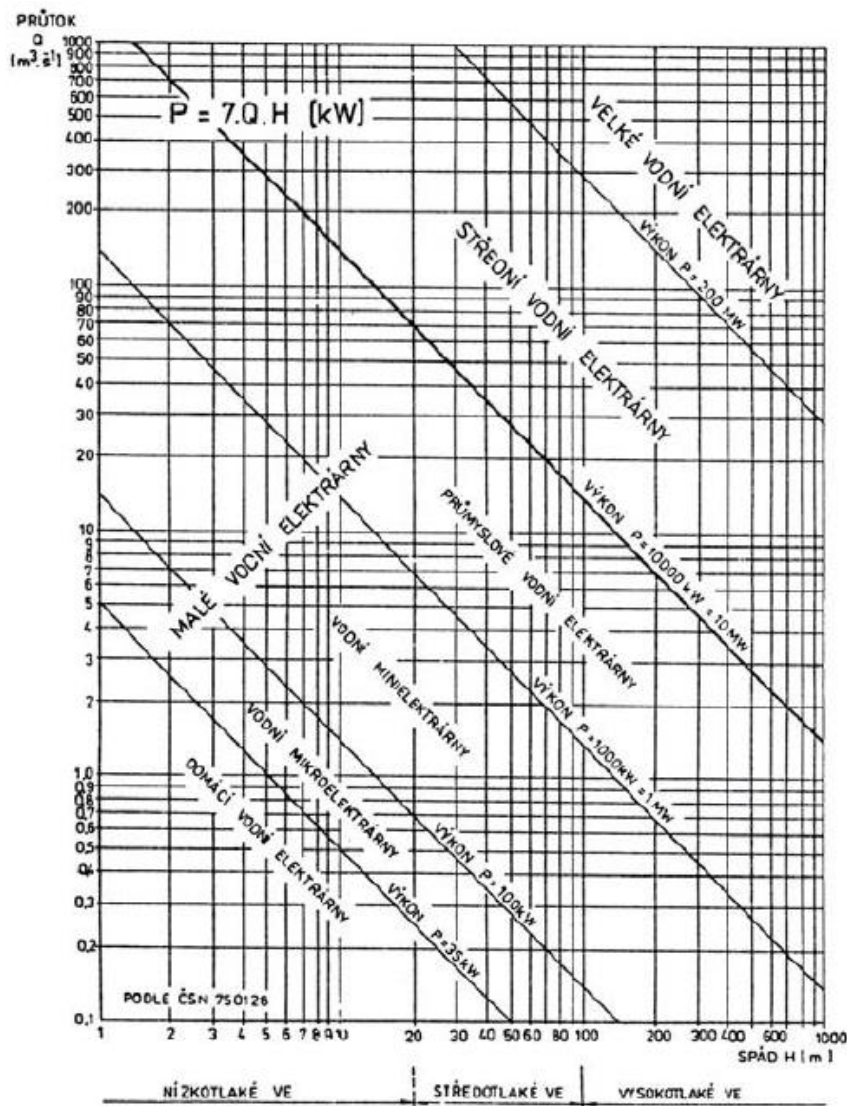
Vodní elektrárny lze rozlišovat a dělit podle mnoha různých hledisek a některá z nich jsou zde uvedena.

## 1.1 PODLE INSTALOVANÉHO VÝKONU (SHODA S ČSN 75 0120)

- MVE s instalovaným výkonem do 10 MW
- Střední vodní elektrárny s instalovaným výkonem od 10 MW do 200 MW
- Velké vodní elektrárny s instalovaným výkonem nad 200 MW

**MVE se dále dělí na:**

- Domácí vodní elektrárny s instalovaným výkonem do 35 kW
- Vodní mikroelektrárny s instalovaným výkonem od 35 kW do 100 kW
- Vodní elektrárny s instalovaným výkonem od 100 kW do 1 000 kW
- Průmyslové vodní elektrárny s instalovaným výkonem od 1 MW do 10 MW



Obr. 1.1. Dělení vodních elektráren podle instalovaného výkonu

Podle ČSN 75 2601 se MVE dělí podle celkového dosažitelného výkonu do čtyř kategorií (viz [tab. 1.1](#)).

Kategorie MVE	Výkon MVE [kW]
I a	nad 1 000
I b	nad 500 do 1 000
II	nad 100 do 500
III	nad 35 do 100
IV	do 35

Tabulka 1.1

V rámci úkolu je v souladu se zadáním provedeno vyhodnocení energetického potenciálu pouze na stávajících lokalitách se soustředěným spádem, kde je instalovaný výkon odpovídající definici malé vodní elektrárny (MVE) podle ČSN 75 2601, to znamená 100 až 10 000 kW.

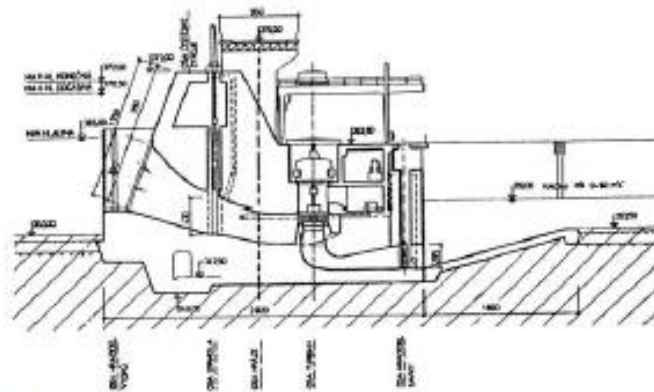
Ve většině lokalit se jedná o nízkospádové lokality s instalovaným výkonem řádově v desítkách až stovkách kW.

## 1.2 PODLE ZÍSKANÉHO SPÁDU:

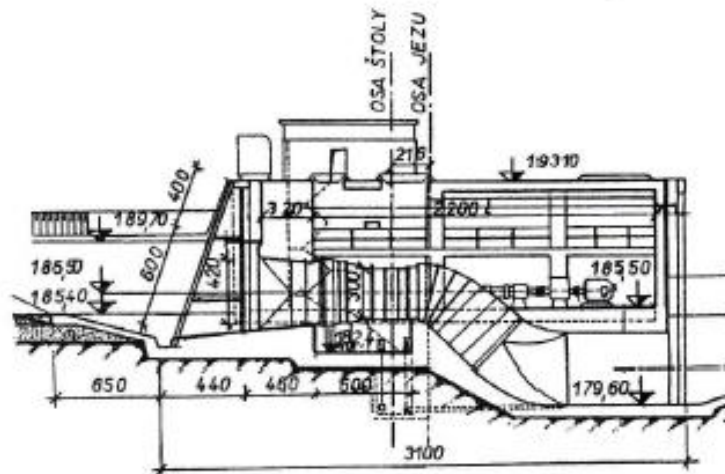
Kritérium dělení MVE podle získaného spádu určuje, jakým způsobem bylo dosaženo soustředění vodní energie určitého úseku řeky, tj. koncentrace měrné energie (spádu) popř. průtoku nebo obou veličin.

- **Jezové vodní elektrárny ([obr. 1.3](#)):** Ke vzedmutí hladiny a soustředění spádu dochází prostřednictvím jezu. Jedná se o průtočné vodní elektrárny pracující do základu denního diagramu zatížení elektrizační soustavy. Nejčastěji se jedná o nízkotlaké vodní elektrárny.
- **Přehradové vodní elektrárny ([obr. 1.2](#)):** Spád je tady vytvořen přehrazením řeky přehradou, která soustřeďuje kromě spádu také veškerý průtok. V přehradě dochází k akumulaci vody (vodní energie), která je nejčastěji využívána v době špiček.
- **Derivační vodní elektrárna:** Využívá soustředění spádu pomocí derivace tj. derivačního kanálu (u menších vodních elektráren hovoříme o náhonu). Ten odvádí vodu z řečiště k vodní elektrárně, popřípadě soustavě vodních elektráren ([obr. 1.5](#)) prostřednictvím derivačního přivaděče (kanálu, štoly, potrubí). Voda se poté vrací zpět do koryta řeky odpadním kanálem. Derivace jsou tlakové ([obr. 1.4](#)) nebo beztlakové ([obr. 1.5](#)). Derivační díla zpravidla využívají přirozených průtoků, přičemž vodu není možno akumulovat, proto jsou do značné míry závislé na stavu vody v řece.
- **Přehradně derivační vodní elektrárny:** V podstatě se jedná o kombinaci dvou předchozích způsobů získání spádu. Spád je vytvořen prostřednictvím tlakové derivace a vzedmutím hladiny v přehradní nádrži. Vodu je možno v přehradě akumulovat a odebírat podle potřeb elektrizační soustavy. Pracují obvykle jako špičkové regulační elektrárny.
- **Vodní elektrárna bez vzdouvací stavby:** Tato elektrárna využívá přirozenou koncentraci měrné energie při dostatečných průtocích (např. velký místní podélný sklon - toku, kanálu či potrubí, výškový rozdíl mezi blízkými břehy meandru atd.). U těchto elektráren není nutnost existence vzdouvací stavby.

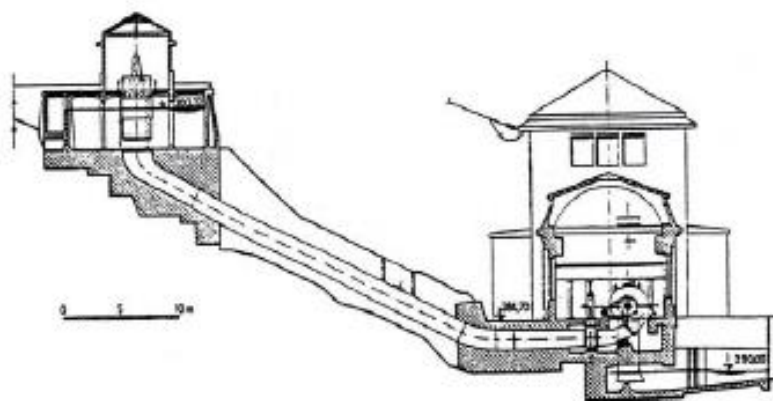
V návaznosti na vyhodnocení se ve většině případů jedná o nízkospádové lokality s možnou výstavbou jezových nebo derivačních vodních elektráren.



Obr. 1.2 Přehradová MVE Hněvkovice (Kaplanovy turbíny 2 x 4,8 MW) [1]

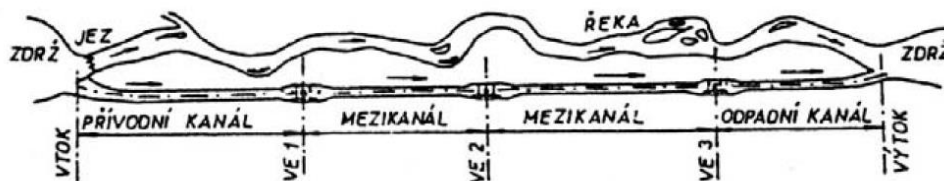


Obr. 1.3 Jezová MVE Modřany (kolenové Kaplanovy turbíny 3 x 0,54 MW) [1]



Obr. 1.4 Derivační MVE Spálov (Francisovy turbíny 2 x 2 MW) [1]





Obr. 1.5 Skupina kanálových MVE na společné derivaci [1]

### 1.3 PODLE HOSPODAŘENÍ S VODOU:

#### ➤ Průtočné vodní elektrárny:

Elektrárny takového typu jsou závislé na množství vody v řece (nemají akumulční nádrže) a využívají soustředěný spád. Pracují s přirozenými průtoky v rozsahu, na který jsou dimenzovány (tj. až do hltnosti turbíny). Přebytkové množství vody přepadá přes vzdouvací zařízení (nejčastěji jez). Tyto průtoky nelze nijak ovlivňovat. Průběžné elektrárny bývají obvykle nízkotlaké (např. jezové), mohou být i středotlaké (např. některé kanálové elektrárny) a ve výjimečných případech i vysokotlaké. Výkon elektráren pokrývá základní část denního diagramu zatížení elektrizační soustavy.

#### ➤ Akumulační vodní elektrárny:

Takové elektrárny jsou umístěny těsně pod přehradou (přehradní), nebo jsou s přehradou spojeny delším tlakovým přivaděčem (přehradně-derivační). Pracují obvykle jako regulační špičkové vodní elektrárny, tj. pracují s řízeným odběrem vody z akumulční nádrže podle potřeb elektrizační soustavy. U MVE bývá toto řízení obvykle denní, maximálně týdenní. U velkých vodních elektráren se může mj. vyskytovat řízení roční (sezónní) anebo také víceleté řízení odtoku.

#### ➤ Přečerpávací vodní elektrárny:

Jedná se o zvláštní skupinu akumulčních elektráren, které pracují se sekundárním zdrojem vodní energie (případně z části i s primární energií). Vodní energii si akumulují v době přebytku elektrické energie v síti. K naakumulování dojde přečerpáním z dolní nádrže do horní. Tato energie je opět využita v době špičky (tj. v době nedostatku elektrické energie v síti). Přečerpávací elektrárny mohou mít čistě umělou akumulaci nebo také akumulaci smíšenou (umělou a přirozenou). Jsou velice dobrým způsobem, jak se může regulovat elektrizační soustava. Jedná se především o elektrárny s velkým instalovaným výkonem, které pracují s denním nebo týdenním přečerpávacím režimem.

MVE se většinou navrhují jako průtočné nízkotlaké elektrárny bez akumulace.

**V rámci úkolu se jedná vesměs o průtočné vodní elektrárny.**

### 1.4 PODLE UMÍSTĚNÍ STROJOVNY:

➤ Nadzemní: Může být u všech typů VE.

➤ Podzemní: Může se nacházet u přehradně-derivačních, přehradních nebo přečerpávacích elektráren.

➤ Hrázová vodní elektrárna:

- Strojovna může být umístěna: a) pod přehradou pod vzdušnou patou hráze  
b) v tělese hráze (částečně či úplně)

c) v přelivových blocích

- Jezová vodní elektrárna:  
Strojovna může být umístěna: a) v těsné blízkosti jezu  
b) přímo v tělese jezu
- Věžová vodní elektrárna: Strojovna je umístěna v objektu tvaru věže nebo šachty, která se nachází přímo v nádrži.
- Břehová vodní elektrárna: Strojovna se nachází u jezu v jeho břehové části.
- Členěná vodní elektrárna: Strojovna je rozdělena na více částí (nejčastěji na 2 – u každého břehu toku jedna).
- Pilířová vodní elektrárna: Strojovna je umístěna v pilířích přelévané hráze nebo jezu.
- Plovoucí vodní elektrárna: Soustrojí je umístěno na plovoucím zařízení.
- Individuální vodní elektrárna: Strojovna se nachází v bývalém objektu mlýna, pily apod.

## 1.5 PODLE USPOŘÁDÁNÍ STROJOVNY:

- Krytá vodní elektrárna: Prostor strojovny je zakrytý. Uvnitř je umístěn hlavní montážní jeřáb.
- Nekrytá vodní elektrárna: Generátory popř. soustrojí jsou chráněny odnímatelnými kryty.
- Polokrytá vodní elektrárna: Výška strojovny je minimální, nenachází se v ní montážní prostor a má venkovní montážní zařízení (hlavní montážní jeřáb).
- Přelévaná vodní elektrárna: Strojovna je umístěna pod přelivy jezu nebo hráze.
- Sdružená vodní elektrárna: Ve spodní stavbě této elektrárny jsou umístěny kromě hlavního soustrojí a zařízení VE také spodní výpusti.

## 1.6 PODLE VELIKOSTI SPÁDU

(viz [tab. 1.2](#), [obr. 1.6](#)):

Tabulka 1.2

	VE	Spád H [m]	Měrná energie Y [ $J \cdot kg^{-1}$ ] <sup>3)</sup>
a	nízkotlaká	do 20	do 200
b	středotlaká	nad 20 do 100	nad 200 do 1 000
c	vysokotlaká	nad 100	nad 1 000

<sup>3)</sup> Měrná energie je energie kapaliny vztažená na 1 kg její hmotnosti. Nahrazuje v technické soustavě jednotek používanou veličinu „spád“, označovaný symbolem H. Jako převodní vztah platí:

$$Y = g \times H = 9,806 \times H$$

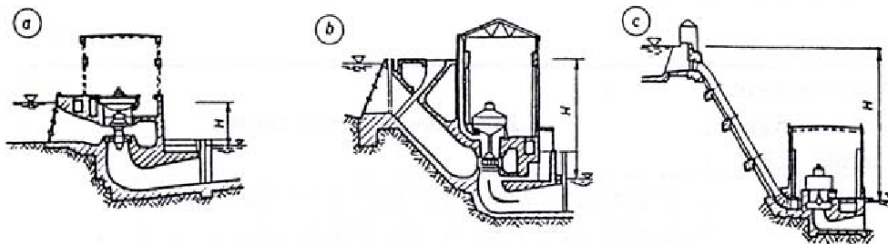
Velikost spádu je jedním z nejdůležitějších kritérií pro volbu typu elektrárny při její projekci.

Ad a) Mezi nízkotlaké vodní elektrárny se nejčastěji řadí elektrárny jezové a kanálové. Voda je přiváděna k turbínám buď z jezové zdrže, nebo kanálem. K turbíně je přivedena betonovou spirálou, nebo kašnou.

Ad b) Voda je přiváděna z nádrže k elektrárně prostřednictvím tlakového přivaděče. Přivaděčem bývá ocelové potrubí. Voda je na turbíny přiváděna ocelovými spirálami. Přivaděč a spirála mohou být i betonové (u vyšších jezových děl a u některých přehradních děl).

Ad c) Pokud je elektrárna umístěna v těsné blízkosti hráze, bývá přivaděč ocelový. Pokud je vzdálenost od přehrady větší, je voda přiváděna prostřednictvím derivace. Přívod vody na turbíny bývá prostřednictvím ocelové spirály. Na Peltonovu

turbínu je voda přiváděna tryskami.



Obr. 1.6 Dělení MVE podle spádu [1]:  
*a) nízkotlaké*  
*b) středotlaké*  
*c) vysokotlaké*

**V rámci úkolu se jedná vesměs o nízkotlaké MVE.**

## 1.7 PODLE ŘÍZENÍ PROVOZU:

- **Elektrárna s ručním ovládním:** Provoz je řízen obsluhou. Automaticky pracuje pouze regulátor turbíny, mazání a některá zabezpečovací zařízení.
- **Zčásti automatizované vodní elektrárny:** Provoz této elektrárny je řízen částečně automatikou a částečně obsluhou. Na rozdíl od předchozího případu je zde dále automatizováno fázování, přizpůsobení výkonu agregátu podle zatížení, zastavení stroje při nadměrném zvýšení otáček, teploty ložisek nebo vinutí generátoru. Obsluha vykonává dozor a některé úkony provádí ručně.
- **Automatizovaná vodní elektrárna:** Provoz je řízen výhradně automatikou. U MVE je strojovna prakticky bez obsluhy. U velkých VE je vykonáván pouze dozor, který v případě poruchy zasáhne.

## 1.8 PODLE PROVOZOVATELE:

- **Vodní elektrárny elektrizační soustavy:** Jedná se především o elektrárny, které slouží k pokrývání potřeb elektrizační soustavy (tj. k pokrývání špiček – špičkové VE).
- **Závodní elektrárny:** Taková elektrárna je zapojena do místní elektrizační soustavy, slouží pro pokrytí potřeb provozovatele (organizace mimo odvětví energetiky).
- **Soukromé vodní elektrárny:** Provozovatelem je soukromá osoba. Elektrárna může být zapojena do vyčleněné sítě, nebo do elektrizační soustavy.

## 1.9 PODLE ZPŮSOBU PRÁCE V ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVĚ:

- Základní: Elektrárny pokrývají základní část denního diagramu zatížení. Zpravidla se jedná o průtočné vodní elektrárny.
- Špičkové: Vyrábí elektřinu především v době špiček denního diagramu zatížení elektrizační soustavy. Jedná se zejména o elektrárny akumulací a přečerpávací.

**V rámci úkolu se jedná vesměs o průtočné MVE.**

## 1.10 PODLE POUŽITÝCH STROJŮ:

- - Synchronní generátor
- - Asynchronní generátor
- - Přímé mechanické využití (pila, mlýn)

## 1.11 PODLE TYPU POUŽITÉ TURBÍNY:

- a) Přímoproudá kolenová turbína pro malé spády a menší průtoky
- b) Přímoproudá turbína s obtékaným generátorem pro malé spády a velké průtoky
- c) Kašnová s vertikální nebo horizontální turbínou (Kaplanova, Francisova) pro malé a střední spády a střední průtoky
- d) S horizontální zjednodušenou Francisovou turbínou (Reifenstein) pro malé a střední spády i průtoky
- e) S horizontální nebo vertikální Francisovou turbínou pro střední a velké spády a průtoky
- f) S horizontální Bánkiho turbínou pro malé a střední spády a průtoky
- g) S horizontální Peltonovou turbínou pro střední a velké spády a malé průtoky
- h) Zvláštní jsou kotlové a monoblokové turbíny používané pro malé spády a průtoky, jsou vyráběny pouze v zahraničí
- i) Přenosné malé zdroje využívající kinetické energie toku (příp. i na pontonech)
- j) Vírová turbína – pro malé spády (1 až 3 m) a velké průtoky
- k) Šneková turbína na principu tzv. Archimedova šroubu v reverzním chodu

**Vzhledem k výsledkům analýzy současného stavu využití hydroenergetického potenciálu a nevyužitého hydroenergetického potenciálu, které jsou přílohou této metodiky, lze návrh nových MVE očekávat převážně v lokalitách s malým spádem, pro které jsou vhodné přímoproudé kolenové turbíny, přímoproudé Kaplanovy turbíny, Kaplanovy turbíny, Francisovy turbíny, turbíny Ossberger (Bánki), reverzní čerpadla, šnekové turbíny a vírové turbíny.**

## 2 SOUHRNNÉ SCHÉMA FÁZÍ REALIZACE MVE

V následující kapitole je stručně uvedeno jak postupovat při přípravě a realizaci projektu MVE. Je – li to vhodné, odkazují jednotlivé body na kapitoly metodiky, které se dané problematice podrobněji věnují.

### 2.1 PŘEDPROJEKTOVÁ PŘÍPRAVA

V této fázi je potřeba jednak posoudit vhodnost lokality. Na základě hydrologických a hydraulických podmínek provést výpočet předpokládané výroby a investiční rozvahu.

#### 2.1.1 VHODNOST LOKALITY

- Většina lokalit vhodných k instalaci MVE je v ČR zmapována správci povodí. Komu a za jakých podmínek je správce povodí sdělil je věcí obchodních dohod v konkrétních případech.
- Mimo to je k prvotnímu výběru lokality možné použít výstupy z přílohy č. 1 tohoto projektu a mapy efektivního využití MVE.
- Podrobněji o výběru lokalit v kapitole 3.1 metodiky.

#### 2.1.2 ZHODNOCENÍ HYDROLOGICKÝCH A HYDRAULICKÝCH VLASTNOSTÍ LOKALITY, INVESTIČNÍ ROZVAHA

- Zajištění hydrologických dat, objednaním řady m – denních průtoků u ČHMU
- Zajištění projektové dokumentace případně manipulačního řádu k příčné překážce k určení návrhového spádu – Zjednodušeně jde o rozdíl mezi hladinou na vtoku do turbíny a hladinou u odpadu z turbíny. Podrobněji se čistým spádem zabývá kapitola 3.7 metodiky.
- Zjištění minimálního zůstatkového průtoku – MZP stanoví vodoprávní úřad v pozdější fázi projektu, nicméně už pro posouzení návrhové hltnosti je potřeba alespoň orientačně MZP stanovit. Podrobněji se problematikou MZP zabývá kapitola 6.1 metodiky
- Stanovení návrhové hltnosti – podrobněji v kapitole 3.5 metodiky
- Výpočet průměrné roční výroby energie – podrobněji v příloze č. 1 metodiky
- Odhad investičních nákladů – orientačně lze vycházet z vyhlášky 475/2005 Sb. ve znění pozdějších předpisů, vyhláška je pravidelně aktualizována. Aktuálně platný předpis 347/2012 Sb. udává měrné investiční náklady < 150 000 Kč/ kWe instalovaného výkonu. Přesnější odhad bude proveden ve fázi technicko – ekonomické studie.
- Zhodnocení ekonomické efektivnosti – podrobně v kapitole 7 metodiky.
- K odhadu výkupních cen je vždy nutné vycházet z aktuálně platného cenového rozhodnutí ERÚ

#### 2.1.3 ZAJIŠTĚNÍ MIGRAČNÍ PRŮCHODNOSTI PŘÍČNÉ PŘEKÁŽKY

- Vedle investičních nákladů na stavební a technologickou část MVE je nutné uvažovat také s realizací rybího přechodu. Pokud již na příčné překážce není funkční rybí přechod, vodoprávní úřad uloží zbudování rybího přechodu investorovi MVE.
- Financování výstavby rybích přechodů je možné například z OPŽP, kde míra podpory je určena kritérii, jako je například umístění lokality v prioritním úseku.
- Prioritu úseků řeší Koncepce zprůchodnění říční sítě ČR



## 2.2 PROJEKTOVÁ FÁZE

V této části realizace projektu musí investor zajistit všechna potřebná povolení a rozpracovat projekt do větší podrobnosti.

### ÚZEMNÍ ŘÍZENÍ, VYDÁNÍ ÚZEMNÍHO ROZHODNUTÍ A DALŠÍ POVOLENÍ

- Ještě před zahájením územního řízení je vhodné informovat se u správce povodí na možnost vydání povolení k nakládání s vodami a možnost získání souhlasu k využití vzdouvacího zařízení.
- Cílem ÚR je posoudit zda lokalita je možné využít k provozu MVE z hlediska zájmů s vyšší prioritou, zjistit zda lokalita je takzvaně volná. Již v této fázi je vhodné kontaktovat stavební úřad a ověřit že lokalita není pro provoz MVE vyloučena například z důvodu ochrany přírody, nebo jiných vyšších zájmů.
- Pokud výše uvedená 2 body nepředstavují zásadní překážku, je potřeba se zaevidovat jako zájemce o stavbu MVE u příslušného odboru životního prostředí.
- Získat technicko – ekonomickou studii energetického využití lokality. Studie slouží k návrhu vhodného technologického zařízení, přesných nákladů, roční výroby energie a celkové návratnosti investice. Zpracuje projektant, energetický auditor, poradenské středisko EKIS.
- Získat povolení k nakládání s vodami a souhlas s výstavbou MVE u vodoprávního úřadu.
- k řešenému pozemku je v této fázi potřeba mít vypořádané majetkové vztahy, pozemek pro provoz MVE je potřeba vlastnit anebo mít v dlouhodobém pronájmu.
- S provozovatelem energetické distribuční soustavy dohodnout technické podmínky připojení MVE do sítě.
- Získat licenci pro podnikání v energetických odvětvích podle energetického zákona 458/2000 Sb.
- Podat žádost o vydání územního rozhodnutí
- K tomuto je nutné mít zpracovanou projektovou dokumentaci pro územní řízení.
- Náležitosti územního řízení upravuje stavební zákon v § 79 až 92 stavebního zákona 183/2006 Sb. doklady, které je nutné připojit k žádosti o územní rozhodnutí, předepisuje vyhláška 499/2006 Sb. O dokumentaci staveb.

#### 2.2.1 STAVEBNÍ POVOLENÍ

- Zpracovat projektovou dokumentaci pro stavební povolení.
- Získat stavební povolení

## 2.3 REALIZACE STAVBY

Po získání všech nezbytných povolení a licence je možné přistoupit k realizaci stavby.

- Získat projektovou dokumentaci pro realizaci stavby
- Vybrat dodavatele technologických zařízení a stavebních částí
- Zahájit realizaci stavby

## **3 NĚKTERÉ ASPEKTY NÁVRHU JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ HYDRAULICKÉHO OBVODU MVE**

### **3.1 IDENTIFIKACE POTENCIÁLNÍCH LOKALIT MVE**

#### **3.1.1 STUDIE MAPOVÝCH PODKLADŮ**

Potenciální lokality MVE je možné identifikovat v topografických mapách v měřítku 1 : 10 000 s vyhledáním míst s větším spádem, profilů starých jezů a náhonů, apod., případně ve vodohospodářských mapách 1 : 50 000.

Při studiu map je třeba se zaměřit na následující parametry:

Při identifikaci potenciálních lokalit MVE je třeba vyhodnotit podélný sklon dna řeky a plochy povodí k uvažovaným profilům. Pro návrh MVE jsou výhodnější lokality s velkým spádem, úseky, kde je možné navrhnout krátký přivaděč a úseky toku s většími průtoky. Podélný profil toku s výškovými kótami a plochy povodí se odvodí z map. U vybraných toků má správce povodí zpracované podrobné podélné profily s říčním staničením. Pokud jsou výsledky hodnocení zpracovány v grafické formě, jak je znázorněno na **obr. 3.1**, je identifikace potenciálních lokalit MVE mnohem snadnější.

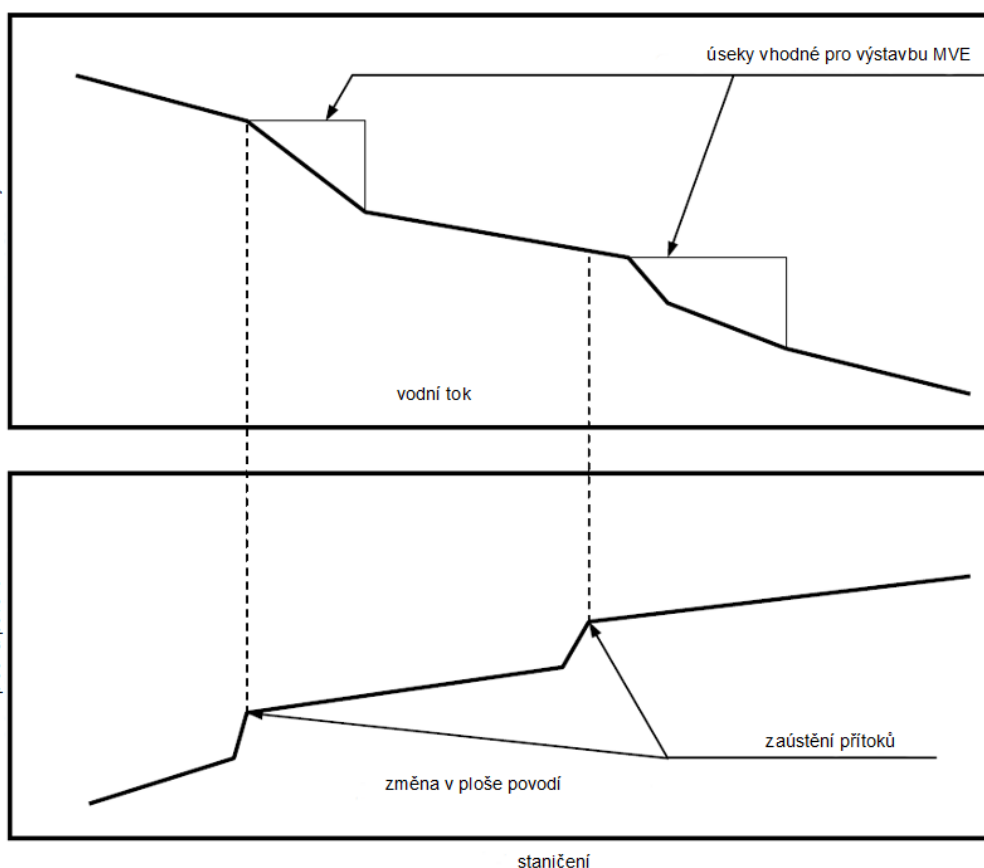
#### **3.1.2 ANALÝZA PŘÍČNÝCH PŘEKÁŽEK S NEVYUŽITÝM POTENCIÁLEM**

V rámci projektu byly zpracovány dvě dílčí analýzy. Jde analýzu současného stavu využití hydroenergetického potenciálu MVE včetně zhodnocení míry využití disponibilního hydroenergetického potenciálu v jednotlivých lokalitách při zachování ekologické rovnováhy v toku a minimálních zůstatkových průtoků (zkráceně analýza současného stavu) a dále analýzu přehled dosud nevyužitého, nebo jen částečně využitého hydroenergetického potenciálu v lokalitách s již existujícím soustředěným spádem při zachování ekologické rovnováhy toku a minimálních zůstatkových průtoků (zkráceně analýza nevyužitého potenciálu)

Oba výstupy jsou přílohou této metodiky a lze je mimo jiné využít jako doplňkový podklad k identifikaci potenciálních lokalit MVE.

#### **3.1.3 VÝBĚR LOKALIT NA ZÁKLADĚ POCHŮZKY V TERÉNU**

V některých případech nelze provést předběžný výběr z mapových podkladů. Jde zejména o lokality s malým využitelným spádem, dále o místa se skokovou změnou výšky dna (vodopády), místa, kde s nevyužívanými objekty (zrušené MVE ve starých továrních objektech, mlýnech, staré náhony, částečně pobožené jezy, lokality u vzdušní paty rybníčních hrází, apod.). Zde je nutná prohlídka na místě s orientačním zaměřením, nebo získat informace od správců objektu.



Obr. 3.1 Podélný profil vodním tokem a změny v ploše povodí jako podklad pro identifikaci profilů vhodných pro výstavbu MVE

### 3.2 VÝBĚR LOKALIT MVE PRO DALŠÍ POSOUZENÍ

Následně je proveden výběr potenciálních profilů, získaných z vyhledávacího průzkumu v předchozím bodu, vhodných pro hydroenergetické využití.

### 3.3 HYDROLOGICKÉ PODKLADY

V České republice je možné si vyžádat hydrologické údaje od Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Pro návrh MVE jsou důležité následující hydrologické údaje v profilu odběru vody na MVE:

1. Dlouhodobý průměrný roční průtok
2. Čára překročení denních průtoků
3. Dlouhodobé průměrné měsíční průtoky
4. Řada průměrných denních průtoků v průměrném roce, odvozeném z dlouhodobé řady pozorování (alespoň 20 let) s pravděpodobností  $p=50\%$ , případně i řady průměrných denních průtoků v suchém ( $p=85\%$ ) a mokřém roce ( $p=15\%$ ), případně dlouhodobá řada průměrných denních průtoků z pozorování v nejbližší limnigrafické stanici s přepočtem na profil odběru vody na MVE pomocí hydrologické analogie.

5. Údaje o velkých vodách. Pro návrh objektů jsou důležité z hlediska situativního a výškového uspořádání MVE. MVE je obvykle navržena tak, aby nedošlo k zaplavení strojovny při kulminaci 50-leté ( $Q_{50}$ ) až 100-leté ( $Q_{100}$ ) povodně (závisí na velikosti a důležitosti MVE a ekonomické rozvaze).

**Pro zpracování úkolu byla získána tato hydrologická data od Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ): m-denní průtoky, a dlouhodobý průměrný roční průtok  $Q_a$  pro jednotlivé uzávěrové profily povodí IV řádu a dále průměrné měsíční průtoky z bilančních povodí vodoměrných stanic.**

Při detailnějším posouzení vybraných perspektivních lokalit bude nutné zažádat o místně specifikované hydrologické údaje ČHMÚ. Tato instituce navíc od roku 2013 postupně poskytuje m-denní průtoky za nové referenční období 1981-2010 (aktuální plány povodí postihují referenční období 1931-1980) a s novými metodickými přístupy.

Ve fázi základní rozvahy o ekonomické proveditelnosti MVE se pro výpočet průměrné roční výroby obvykle používá čára překročení průtoků (2), případně dlouhodobé průměrné měsíční průtoky (3) přepočtené na profil odběru. Tato data lze objednat u ČHMÚ.

Použití průměrných dlouhodobých měsíčních průtoků je však ošidné. Podle dlouhodobých průměrů vyrábí MVE energii celý měsíc, zatímco ve skutečnosti, s použitím středních denních průtoků mohou být střední průtoky ovlivněny jednou, nebo několika přívalovými srážkami, i když je po většinu měsíce suché období. To se týká zejména malých povodí. Vznikne tak situace, že v období přívalových srážek je spád na pevných jezích minimální, nebo je MVE odstavena a v suchém období s minimálními průtoky menšími než minimální hltlost turbíny rovněž. Mezi výsledky výpočtu výroby elektrické energie v MVE z dlouhodobých středních měsíčních průtoků a středních denních průtoků jsou pak značné rozdíly.

Pro přesnější výpočty výroby je proto vhodnější použít hydrologické údaje dle bodu 4.

### 3.4 NÁVRH SITUATIVNÍHO USPOŘÁDÁNÍ MVE, NÁVRH VZDOUVACÍHO OBJEKTU

závisí na místních podmínkách a disponibilním spádu MVE. Základní typy uspořádání MVE podle získaného spádu, velikosti spádu a umístění strojovny jsou popsány v předchozí kapitole. Základní koncepce MVE se navrhuje ve stádiu studie proveditelnosti.

### 3.5 STANOVENÍ NÁVRHOVÉ HLTNOSTI A URČENÍ MINIMÁLNÍHO ZAJIŠTĚNÉHO PRŮTOKU MVE

#### 3.5.1 URČENÍ NÁVRHOVÉ HLTNOSTI MVE

Určení optimální hltnosti turbín není úloha jednoduchá, uvážíme-li, že se přirozené průtoky výrazně mění v průběhu roku a navíc, že se od sebe značně liší roky málovodné a vodné. Dokonce je tato úloha složitější u malých vodních elektráren než u nízkotlakých elektráren větších výkonů, u nichž je dosti obvyklé volit návrhový průtok  $Q_{nVE}$  v rozmezí od devadesátidenního průtoky  $Q_{90d}$  do stovacetidenního průtoky  $Q_{120d}$ . Přitom u elektráren při jezu (bez derivačních kanálů a potrubí) se návrhový průtok MVE blíží  $Q_{90d}$  a u derivačních elektráren průtoky  $Q_{120d}$ .

U MVE se při určování návrhového průtoky uplatňuje řada dalších kritérií více méně individuálního charakteru. To značně rozšiřuje interval, v němž se výsledný návrh pohybuje. V zahraničí není výjimkou návrhový průtok  $Q_{nMVE} = Q_{60d} - Q_{65d}$  (MVE Stuttgart), byly ale realizovány i lokality navržené na  $Q_{nMVE} = (0,75 \text{ až } 0,50) Q_a$ , kde  $Q_a$  je dlouhodobý průměrný roční průtok. Posledně uvedené hodnoty se týkají převážně derivačních elektráren s dlouhými přivaděči a lokalit MVE dostavovaných ke vzdouvacím stavbám na velkých řekách.

Hlavním kritériem, které se při volbě návrhového průtoku uplatňuje, je snaha o co nejvyšší roční výrobu energie při minimálních investičních a provozních nákladech MVE, tedy při nejlepší dosažené ekonomické efektivnosti. V našich podmínkách je třeba přizpůsobovat volbu návrhového průtoku i hltností turbín nabízených pro daný spád uvažované lokality. Pokud však nejsou jiné zvláštní důvody, je obvyklé volit návrhový průtok i u nízkotlakých MVE přibližně v okolí největší křivosti čáry trvání průtoků, což je na našich řekách v rozmezí 60denní až 90denní vody, tj. průtok

$$Q_{nMVE} = Q_{90d} \text{ až } Q_{60d}$$

V souladu s vodním zákonem je potřeba zajistit, aby elektrárna využívala alespoň průtok Q90 (§5). To znamená, že méně než 90 dní v roce je průtok větší než kolik může elektrárna zpracovat. Cílem instalované elektrárny z pohledu vodohospodářského, z pohledu vodního zákona a nezhodnocení lokality má být maximální roční výroba energie.

Z pohledu investora je, někdy i navzdory tomuto maximalizace zisku a nízká doba návratnosti. Zde do úvahy vstupují ještě investiční náklady a výkupní ceny energie. Příliš nízké výkupní ceny energie vedou investora k návrhu levnější turbíny, nebo nižšího počtu strojů s vyšším hodinovým využitím. To současně zamená více ztracené vody.

Vždy je však vhodné provést ve stádiu studie proveditelnosti rámcové variantní řešení pro několik návrhových průtoků s ekonomickým vyhodnocením pomocí dynamické finanční analýzy a maximalizovat výši čisté současné hodnoty NPV a vnitřní míry návratnosti IRR (viz [kap. 8.2](#)).

Při modelování je snaha dosáhnout co nejlepších ekonomických parametrů, nikoliv maximalizovat výrobu na úkor ekonomiky. U řady lokalit jsou nejlepší ekonomické parametry a nejvyšší roční výroba energie dosaženy při stejném návrhovém průtoku MVE, u některých lokalit jsou však nejlepší (nebo vyhovující) ekonomické parametry a nejvyšší roční výroba energie dosaženy při různých návrhových průtocích a je třeba zohlednit ekonomickou efektivnost provozu MVE.

Zajistit aby optimální využití lokality a ekonomická efektivita projektu bylo umožněno stejnou návrhovou hltností je rolí státu jako regulátora.

### 3.5.2 SOUČINITEL VYUŽITÍ INSTALOVANÉHO VÝKONU A SOUČINITEL VYUŽITÍ VÝROBY V MVE

#### 3.5.2.1 SOUČINITEL VYUŽITÍ INSTALOVANÉHO VÝKONU

Součinitel využití instalovaného výkonu (Plant Factor) je velmi důležitým faktorem při plánování hydroenergetického využití. Je definován následující rovnicí:

$$\text{Součinitel využití instalovaného výkonu} = \frac{G_{e_{roční}}}{P_{max} \times 365 \times 24} \%$$

a

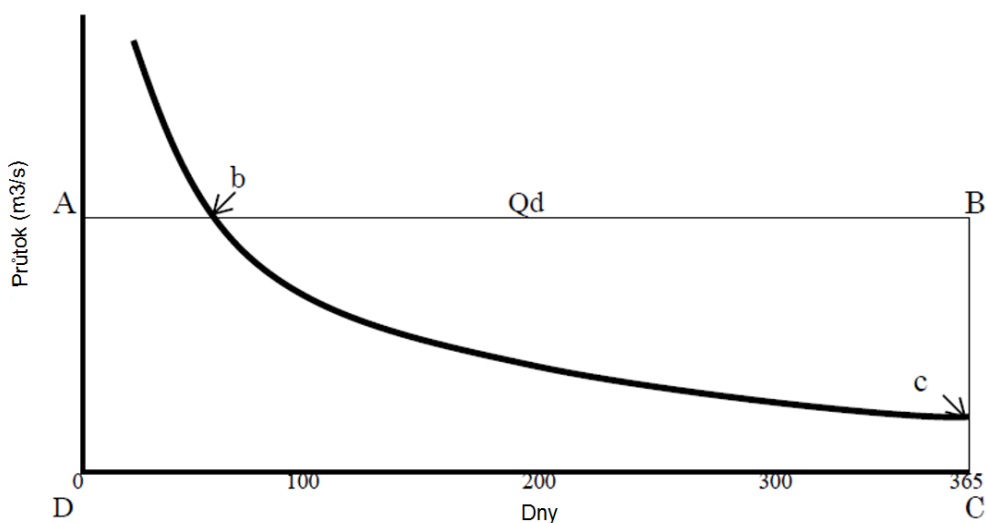
$$\text{Součinitel využití průtoku} = \frac{Q_{ave}}{Q_d} \text{ nebo } \frac{\text{plocha } A-b-c-C-D \text{ v obr.3.6}}{\text{plocha } A-B-C-D \text{ v obr.3.6}} \%$$

kde;

$G_{e_{roční}}$ :..... možná roční výroba elektrické energie.....(kWh)

Výpočet  $G_{e_{roční}}$  je uveden v [kapitole 3.8](#).





Obr. 3.6 Plant Factor

Ze vzorce vyplývá, že výsledný koeficient je teoreticky tím vyšší, čím větší část roku MVE vyrábí na plný instalovaný výkon. Nižší koeficienty instalovaného výkonu znamenají, že menší část roku budou průtoky v lokalitě nad navrženou kapacitu strojů, po zbytek roku MVE plně nezapojuje celý instalovaný výkon, nicméně průtok je využit. Vyšší čísla naznačují, že MVE plně zapojuje celý instalovaný výkon větší část roku, ve zbylé části roku se vyskytují průtoky, které soustrojí není schopné pojmout. V souladu s vyhláškou 475/2005 Sb. Ve znění pozdějších předpisů jsou indikativní hodnoty technických a ekonomických parametrů uvedené takto:

Měrné investiční náklady [Kč/kWe]	Roční využití instalovaného výkonu [kWh/kWe]
< 150 000	>4000

### 3.5.2.2 SOUČINTEL VYUŽITÍ VÝROBY

Pojmy „součinitel využití výroby (Load Factor)“ a „součinitel využití výkonu (Plant Factor)“ se často nesprávně považují za identické.

Součinitel využití výroby je definován následující rovnicí:

$$\text{Součinitel využití výroby} = \frac{\text{Roční výroba elektrické energie využitá spotřebitelem}}{\text{Možná roční výroba v MVE}} \%$$

Základním pravidlem pro návrh vodních mikro a mini elektráren je proto „návrh MVE s maximálně možným součinitelem využití výroby (Load Factor)“.

## 3.6 NÁVRH HYDRAULICKÉHO OBVODU MVE

### 3.6.1 ZÁKLADNÍ OBJEKTY HYDRAULICKÉHO OBVODU MVE

Hydraulický obvod vodní elektrárny se skládá z řady stavebních objektů, jejichž návrh závisí na typu schématu, místních podmínkách, dostupnosti stavebního materiálu a také místních stavebních tradicích v daném regionu. Hydraulický obvod VE obvykle tvoří následující objekty:

#### Vzdouvací objekt:

- Hradící konstrukce (jez, nízká hráz)
- Přeliv
- Tlumení energie pod přelivem –(vývar, balvanitý skluz)
- Rybí přechod
- Výpustný objekt pro vypouštění minimálních zůstatkových průtoků a pro vypouštění zdrže v případě čištění a údržby

#### Přivaděč:

- Vtokový objekt
- Lapač písku
- Otevřený kanál – přívodní koryto
- Tunel
- Tlakové potrubí
- Budova MVE

Níže jsou uvedeny některé aspekty návrhu objektů:

#### Vtokový objekt

Konstrukce vtokových objektů se liší podle toho, zda se jedná o vtok do otevřeného kanálu o volné hladině, nebo do tlakového potrubí či tunelu. Podle toho se člení na vtokové objekty tlakové, beztlakové a speciální.

Tlakové objekty se používají pro odběr vody do tlakových přivaděčů nebo přímo na turbíny. Existují různé typy vtokových objektů: přímé, boční, dnové a násoskové. U prvních 2 typů je nezbytné navrhnout tvar vtoku tak, aby se zamezilo otrhávání proudu vody od stěn vtoku a dosáhlo vysoké hydraulické účinnosti s minimalizací hydraulických ztrát.

U všech typů vtoků je také třeba ověřit minimální hloubku vtoku pod hladinou vody, aby se zamezilo tvorbě vtokových vírů s následným strháváním vzduchu. Přítok vody se reguluje buď různými uzávěry na přítoku (stavidla, šoupata, pohyblivé jezové uzávěry) nebo zúžením profilu na přítoku.

Výška hladiny vody je regulována pohyblivou jezovou konstrukcí nebo vakovým jezem tak, aby se vytvořila dostatečná výška hladiny ( $H_0$ ) k nátoku požadovaného množství vody na turbíny ( $Q_0$ ).

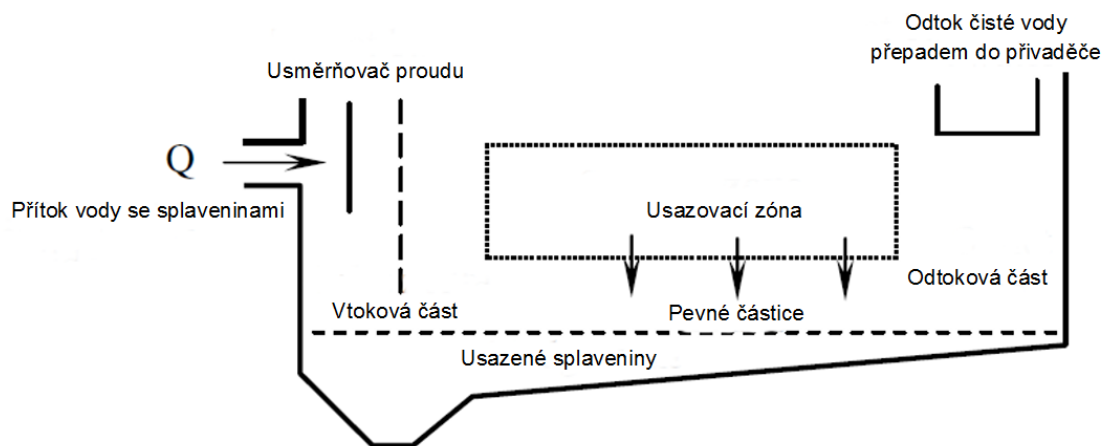
#### Sedimentační nádrž – lapač písku

V sedimentační nádrži se usadí jemné částice nesené vodou v suspenzi, které by mohly poškodit části turbíny a snížit její účinnost a životnost. Usazování probíhá gravitací při snižování rychlosti

vody v sedimentační nádrži zvětšováním jejího příčného profilu. Sedimentační nádrže mají obvykle prizmatický tvar s převažujícím horizontálním směrem proudění. Lapač písku je rozdělen do 4 zón:

1. Vtoková část
2. Usazovací část
3. Výtok
4. Kalová jámka - zásobník kalu

Vtoková část musí zabezpečit rovnoměrné rozdělení rychlosti vody průtokem přes perforovaný usměrňovač proudu. V usazovací části dochází k usazení pevných částic. Čistá voda odtéká do přivaděče přepadem nebo vypouštěcím otvorem (*obr. 3.7*).



Obr. 3.7 Rozdělení usazovací nádrže na jednotlivé zóny

### Jez (přeliv u nízké přehradě)

Někdy je vhodné instalovat na koruně přepadu pohyblivou hradící konstrukci pro zvýšení spádu nebo zvětšení užitého objemu zdrže. Přeliv se navrhuje na návrhovou povodeň s periodicitou dle kategorie vodního díla (např. 100 let) a musí být ověřen i na kulminační průtok kontrolní povodně.

Pod přelivem je nutné v závislosti na geotechnických poměrech lokality navrhnout tlumení energie přepadajícího paprsku.

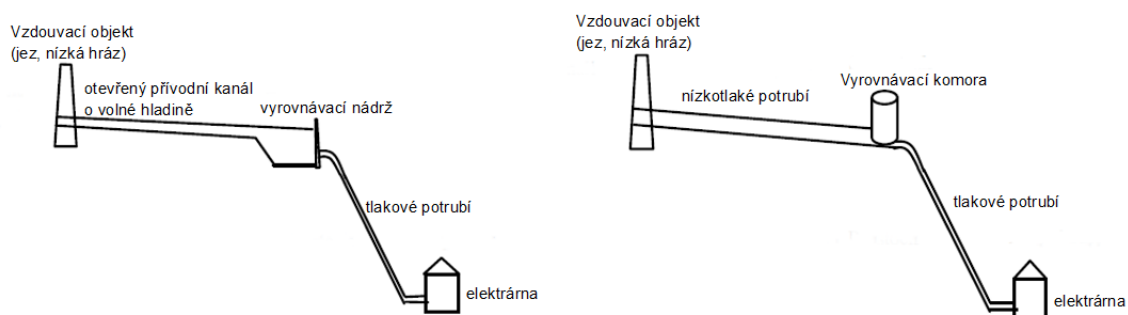
### Základová výpust

Aby bylo možné nádrž (jezovou zdrž) vyprázdnit při čištění a případných opravách, je třeba vybavit hráz (jez) základovou výpustí. Pro výpočet průběhu prázdnění nádrže je třeba definovat hydraulické charakteristiky, zejména místní hydraulické ztráty, drsnost a příčný profil výpusti. Dále je třeba vypočítat rychlost vody pro návrh tlumení energie na výtoku a navrhnout výšku bočních zdí na výtoku k nasměrování odtoku do vodního toku. Základová výpust umožňuje úplné nebo částečné prázdnění nádrže (jezové zdrže).

### Přivaděč

Přivaděč zahrnuje veškeré objekty pro přívod vody od vtokového objektu k budově elektrárny. Přívod vody může být řešen buď pomocí tlakových štol či tlakového potrubí, nebo jako kombinovaný, složený z přívodního kanálu o volné hladině a tlakového potrubí. Návrh přivaděče závisí na několika faktorech, zmíněných stručně v následujících poznámkách.

- Je třeba provést analýzu různých variant pro umístění hradící konstrukce a vtokového objektu a prořešit různé varianty návrhu přivaděče s cílem dosáhnout ekonomicky výhodného čistého spádu a minimální délky přivaděče, což znamená menší objemy výkopů a přemístění zeminy. Všechny lokality by měly mít dobrý přístup, přičemž je třeba dbát na minimalizaci plochy vyvlastněných pozemků. Výběr nejvhodnější výsledné varianty řešení musí být proveden na základě vyhodnocení technického řešení, ekonomického posouzení, zhodnocení vlivu na životní prostředí a zvážení sociálních dopadů.
- Příčný profil přívodního hydraulického systému (např. charakterizovaný průměrem potrubí) musí být optimalizován s ohledem na roční výrobu energie a vynaloženými investičními náklady. Při menším průměru potrubí jsou vyšší hydraulické ztráty v přivaděči, tedy nižší výroba energie (ztráty ve výrobě energie), ale zároveň nižší investiční náklady a naopak. Hledá se optimum součtu celkových ročních provozních nákladů (se zahrnutím investice formou odpisů) a celkové roční výroby energie.
- Návrh všech prvků a zařízení přivaděče a jejich nejvhodnějšího umístění.



Obr. 3.8 Schémata smíšených přivaděčů hydraulického systému

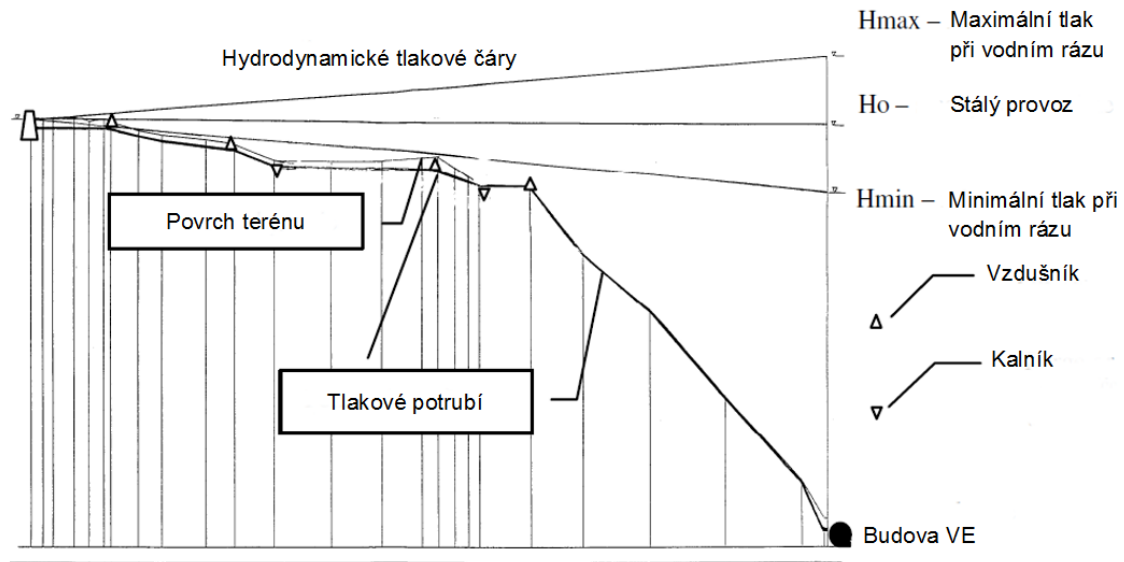
Výběr profilu pro umístění vzdouvacího objektu (tj. jezu nebo nízké přehradní hráze) a budovy elektrárny se provádí na základě analýzy topografických map, inženýrskogeologických podmínek a prohlídky lokality. Pro trasování přívodního koryta nebo nízkotlakého přívodního potrubí přivaděče je třeba vzít v úvahu následující faktory:

- Dlouhý otevřený přivaděč o volné hladině může být z geomorfologického hlediska nevhodný, protože musí překonávat boční přítoky a rokle, což znamená výstavbu objektů v místě křížení, jako jsou přemostění a shybky. Je třeba rovněž pečlivě posoudit riziko možných sesuvů bočních svahů údolí.
- Při trasování přivaděče je obvykle výhodné přetnout meandry říčního koryta přímým tunelem nebo kombinovaným systémem otevřených kanálů a nízkotlakého potrubí, pokud to geologické poměry umožňují.
- U nízkotlakých přivaděčů je možné uvažovat potrubí z plastů. Je však třeba vzít v úvahu omezující podmínky jako výrobní škála průměrů potrubí, faktory oslunění, přetlak a vnější zatížení, teplotní změny. Tyto faktory vyžadují uložení potrubí ve výkopu, nebo jeho překrytí zemním násypem.

Výše uvedená omezení je třeba zvážit a porovnat variantní řešení k nalezení nejlepší možné alternativy.

### 3.6.2 TLAKOVÝ PŘIVADĚČ

Pro tlakový přivaděč, u kterého sleduje potrubí v celé délce povrch terénu, musí být v nejnižších bodech instalovány armatury pro vypouštění a odkalení potrubí a v nejvyšších lomech potrubí pak vzdušníky, aby se zabránilo havárii nebo deformaci potrubí. Nejvyšší výškové body tlakového přivaděče musí být situovány pod nejnižší dosaženou čarou hydrodynamického tlaku při mimořádných provozních podmínkách ([obr. 3.9](#)).



Obr. 3.9 Příklad průběhu čar hydrodynamického tlaku a tlakového potrubí

Při změnách průtoku nebo při změnách nastavení rozváděcích lopatek turbíny se mění tlak v přívodním potrubí s časem. Je třeba zjistit obalovou čarou maximálních a minimálních piezometrických výšek, provést statický výpočet tlakového přivaděče na mimořádné provozní stavy a ověřit v podélném profilu výškové vedení přivaděče.

Kontrola změn maximálních a minimálních hydrodynamických tlaků při přechodových stavech je součástí projektu.

Tlakové potrubí musí být dimenzováno na maximální vnitřní tlak, dosažený při vodním rázu, při normálních a mimořádných provozních stavech. Potrubí se pokládá na stabilní podpěry ve směru proti sklonu svahu. U menších spádů se potrubí ukládá do země, aby se eliminovaly teplotní změny, nebo je třeba s těmito změnami počítat při návrhu potrubí.

Jsou 2 možné způsoby uspořádání tlakového potrubí – samostatné potrubí pro každé turbínové soustrojí, nebo společné potrubí s rozvětvením na jednotlivé stroje těsně před elektrárnou. Při výběru nejvhodnějšího uspořádání tlakového přivaděče je nutné mít na zřeteli princip maximální ekonomické efektivity a bezpečnosti díla.

#### Ekonomicky optimální průměr přivaděče

Při návrhu ekonomického průměru přivaděče se hledá optimum mezi zvýšením příjmů z výroby energie vlivem nižších hydraulických ztrát při větším průměru potrubí, stabilitou provozních podmínek (vodní ráz a opotřebení) a zvýšením celkových investičních nákladů.

Výběr optimálního průměru každé větve tlakového přivaděče je založen na zjednodušeném ekonomickém posouzení s hlavním cílem minimalizovat celkové náklady (tj. jednotkové investiční náklady na potrubí a jednotkovou ztrátu z prodeje energie vlivem hydraulických ztrát třením).



### Minimální tloušťka stěny ocelového potrubí

Kritickou podmínkou při návrhu minimální tloušťky stěny je kolaps potrubí při vzniku vakua - podtlaku při náhlém vyprázdnění potrubí a uzavřeném vtoku. Je to nejkritičtější stav.

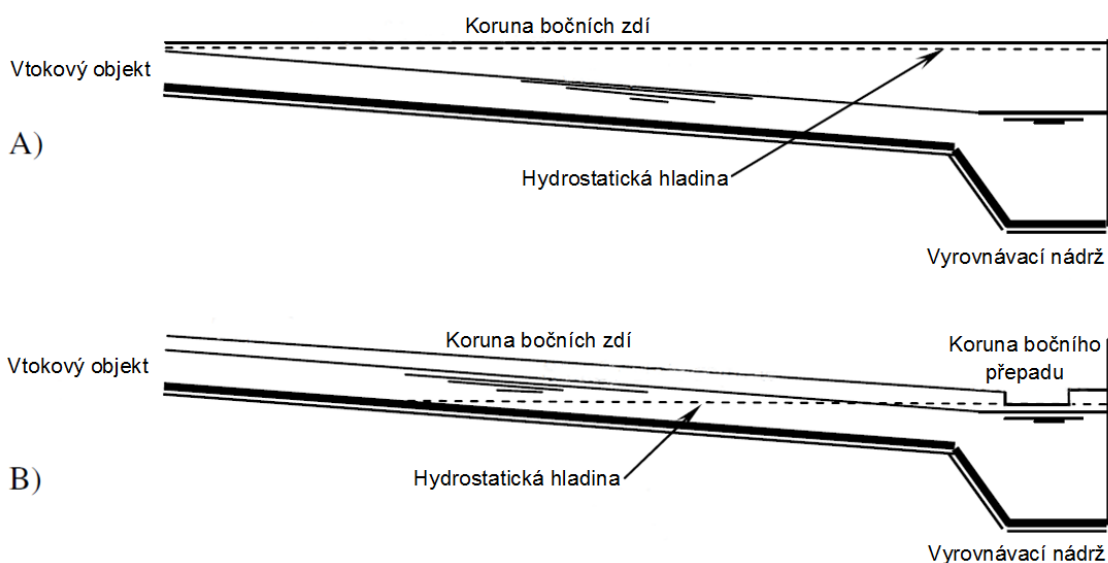
### 3.6.3 OTEVŘENÝ KANÁL O VOLNÉ HLADINĚ

Ekonomická proveditelnost MVE je podmíněna, kromě jiných faktorů, dostatečným spádem – energií vody. Návrh derivačního uspořádání pro zvýšení celkového čistého spádu MVE je řešení, závislé na topografii terénu a inženýrskogeologických poměrech dané lokality. Typické derivační uspořádání se skládá ze vzdouvacího objektu, přívodního kanálu o volné hladině, vyrovnávací nádrže s vtokem do tlakového potrubí, pro přívod vody na turbíny. Vyrovnávací nádrž vyrovnává hladinu při změnách turbinového průtoku.

Délka přívodního kanálu je důležité omezení, které závisí na výsledcích studie proveditelnosti. Výška bočních hrází kanálu přitom musí být navržena tak, aby se zabránilo přelítí jejich koruny vodou, a to jak při přechodových stavech, tak při hydrostatickém tlaku, kdy je elektrárna mimo provoz.

Návrh bočního přepadu je řešením jak kontrolovat výšku hladiny v přívodním kanálu (*obr. 3.10*). Umístění bočního přepadu závisí na morfologii terénu a možnosti odvést bezpečně přepadající vodu, případně odolnosti terénu proti erozi pod přelivem. Boční přeliv omezí výšku hydrostatické hladiny a tím i výšku bočních hrází, nebo zdí přívodního kanálu.

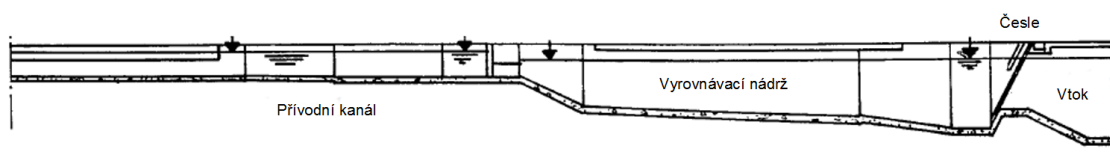
Realizace automatického řídicího systému pro regulaci hladiny vody a regulaci vypouštění průtoku stavidly nebo uzávěry jsou také důležitými opatřeními pro provoz MVE, které omezí nadměrnou výšku bočních hrází (zdí) přívodního kanálu.



Obr. 3.10 Možnosti návrhu přivaděče o volné hladině: A) Koruna bočních zdí je horizontální B) S bočním přelivem

### Vyrovnávací nádrž

Náhlé změny průtoku turbínami vyvolávají oscilaci hladin v derivačním kanálu. Vyrovnávací nádrž (forebay) má regulační funkci s cílem omezit změny hladiny vody a rychleji ustálit hladinu vody v derivačním kanálu při změnách průtoku turbínami. Působí také jako ochrana turbín před nasáváním usazenin a plovoucích předmětů do přivaděče na turbíny (*obr. 3.11*).



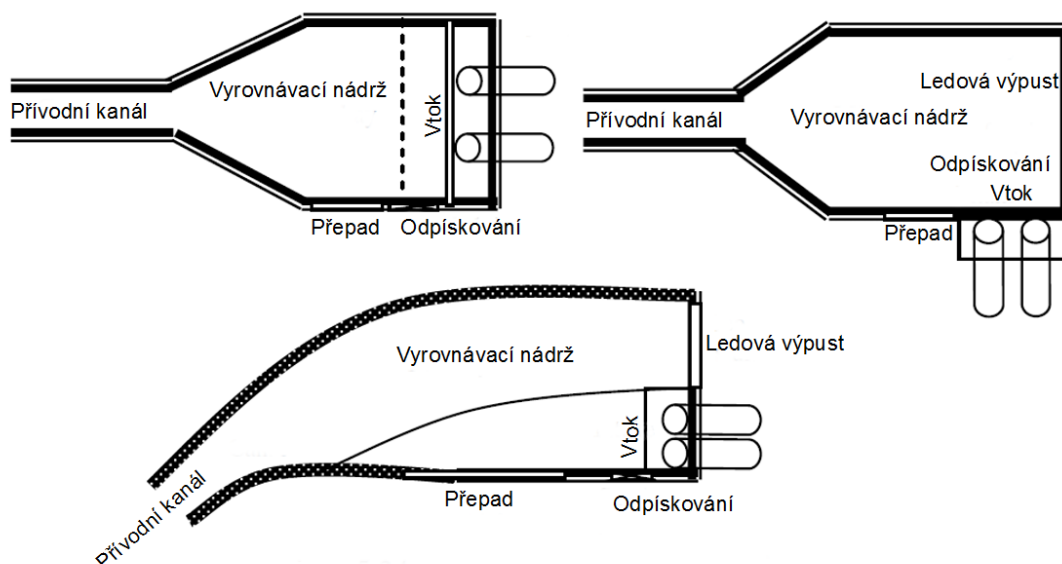
Obr. 3.11 Schéma vyrovnávací nádrže

Když se zvýší průtok vody turbínami, hladina vody se rychle snižuje, protože přivodní kanál nereaguje tak rychle na změny a nemůže okamžitě zvýšit průtok na požadovanou hodnotu. Naopak, při odstavení elektrárny se šíří směrem proti toku vodní ráz, zatímco z přivodního kanálu stále přitéká voda do vyrovnávací nádrže. Tento poslední jev může vyvolat sekundární oscilační vlny a přepad vody přes korunu bočních hrází (nebo zdí) při přeplnění přivodního kanálu.

Rozměry vyrovnávací nádrže, umístěné na dolním konci přivodního kanálu, jsou ovlivněny následujícími podmínkami:

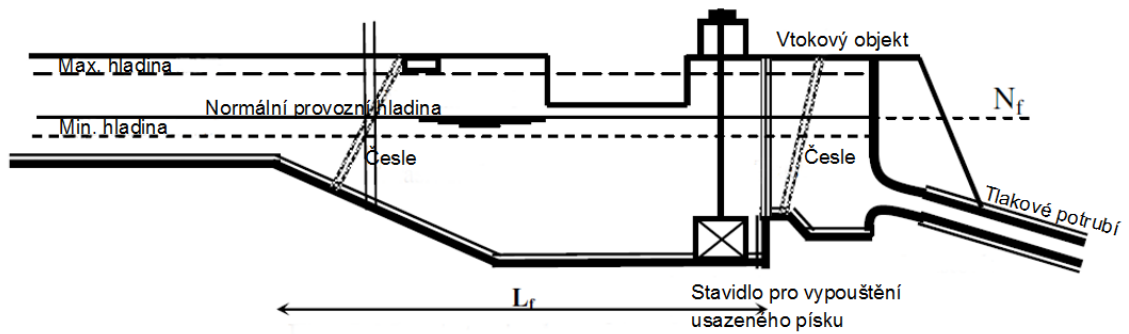
1. Dostatek místa pro výstavbu vtokového objektu do tlakového potrubí, přivádějícího vodu na turbíny a jeho vybavení (provizorní hrazení – hradidla, česle s čistícím strojem, detektory úrovně hladiny, stavidla, přeliv), přičemž je třeba navrhnout minimální hloubku vtoku pod hladinou tak, aby nedocházelo ke vzniku vírů a strhávání vzduchu do tlakového přivaděče
2. Omezit vznik oscilačních vln v přivodním kanálu při změnách průtoku vody při manipulaci s turbínami
3. Zajistit regulační funkce (tj. zajistit změny průtoku vody turbínami nezávisle na režimu průtoku)

Jednoduše řečeno, při hydraulických výpočtech se vyrovnávací nádrž uvažuje jako zásobník s horizontální volnou hladinou, protože je vyrovnávací nádrž většinou mnohem hlubší než přivodní koryto.



Obr. 3.12 Obvyklé uspořádání vyrovnávací nádrže

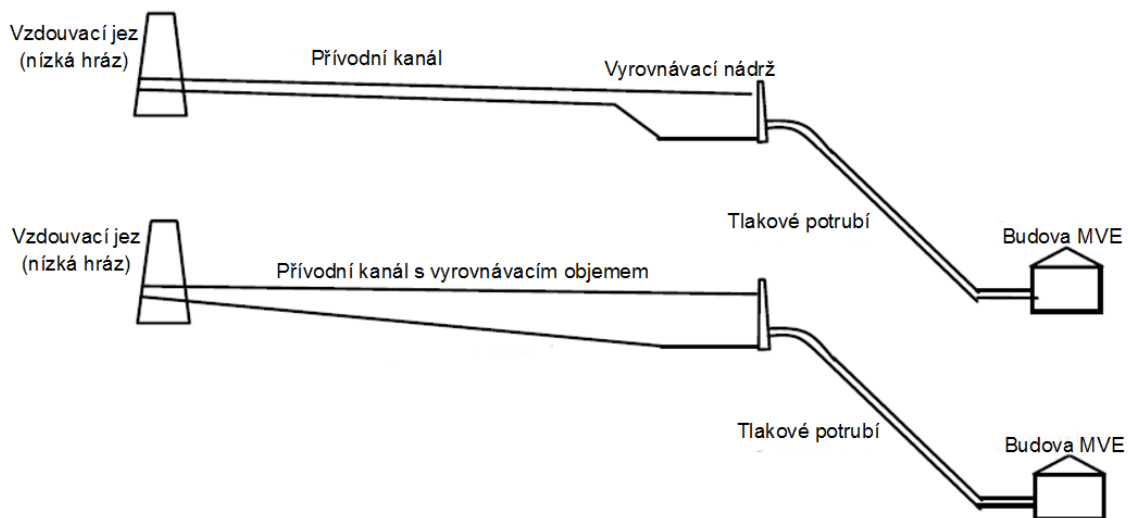
Obvykle je  $L_f > B_f$  (kde  $L_f$  je délka a  $B_f$  šířka vyrovnávací nádrže) a rychlost vody ve vyrovnávací nádrži je menší než 0,5 m/s, aby došlo k usazení nežádoucích pevných částic.



Obr. 3.13 Typické uspořádání vyrovnávací nádrže

### 3.6.4 OBECNÉ POZNÁMKY KE SMÍŠENÝM PŘIVADĚČŮM

Podle morfologických podmínek lokality mohou být navrženy i smíšené přivaděče. Rychlost proudění vody a tvar příčného průřezu se navrhuje dle postupů, popsaných v běžně dostupné odborné literatuře. Přívodní kanál o volné hladině se navrhuje na maximální hltnost turbín, i když může být v běžném provozu ve funkci i při mnohem nižších průtocích (v suchém období), což může způsobit vážné problémy se zanášením kanálu nebo vyrovnávací nádrže.



Obr. 3.14 Dva typy smíšených přivaděčů

Otevřený přívodní kanál má ve srovnání s tlakovým přivaděčem, navrženým v celé délce přívodu vody na turbíny, tyto hlavní nevýhody:

- Délka otevřeného přívodního kanálu je obvykle delší než tlakový přivaděč (s ohledem na vedení kanálu o volné hladině s minimálním spádem po svahu údolí)
- Potenciální obtíže při výstavbě kanálu ve svahu údolí podél běhu vodního toku
- Přechody přes boční přítoky a rokle
- Cesty pro lidi a zvířata a nebezpečí pádu do kanálu
- Ledové jevy, potíže se zamrznutím v zimním období
- Problémy s efektivním odvedením sedimentů
- Dopady na životní prostředí při trvalých výkopech pro otevřený kanál
- Náklady na údržbu

Variantně se v mnoha případech dává přednost tunelu (štole) o volné hladině. Při výstavbě tunelu však může docházet k obtížím vyvolaným zejména geologickými puklinami, poruchami a smykovými zónami v horninovém masivu.

### 3.6.5 BUDOVA MVE

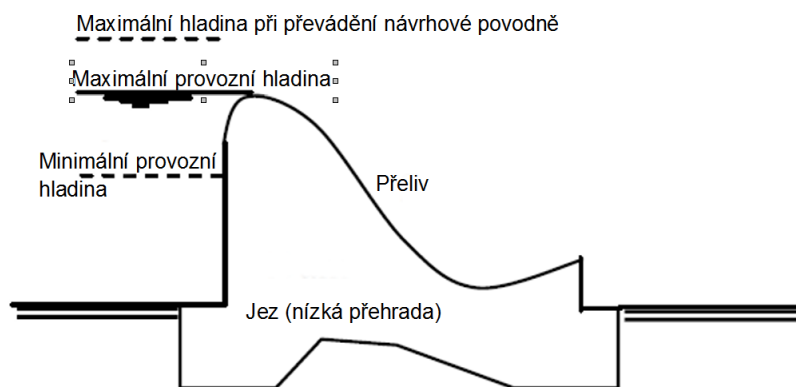
Funkcí budovy MVE je ochrana turbogenerátorových soustrojí a pomocných zařízení (např. bezpečnostní a ochranné uzávěry, rozvaděče, regulátory, ovládání turbín, dálkové ovládání provozu MVE, ovládací panel a zařízení pro ochranu – požár, vloupání, atd.) před povětrností s vytvořením prostoru pro obsluhu a umístěním pomocných provozů (malá dílna). Návrh budovy MVE musí umožnit snadnou instalaci zařízení, stejně jako přístup pro kontrolu a údržbu turbín a všech ostatních zařízení. Obecně lze říci, rozměry budovy závisí hlavně na velikosti turbogenerátoru (ů), uzávěrů a dalších zařízení.

### 3.7 VÝPOČET ČISTÉHO SPÁDU

Čistý spád  $H_0$  je jedním z nejdůležitějších parametrů pro předběžnou analýzu ve fázi studie proveditelnosti a zpracování projektu MVE. Druh materiálu, příčný profil a délka tlakového přivaděče ovlivní hydraulické ztráty. Při výpočtu čistého spádu se vychází z hrubého spádu ( $H_g$ ) – geometrické výšky neboli rozdílu mezi kótou hladiny vody na vstupu do přivaděče ( $Z_h$ ) a kótou hladiny vody na výstupu z elektrárny ( $Z_d$ ) - pro reakční turbíny, nebo kótou osy dýz – pro akční turbíny (zejména Pelton) a součtu všech hydraulických ztrát (ztrát třením a místních ztrát  $\Delta H_i$  v celém hydraulickém systému). Velikost ztrát je funkcí měnícího se průtoku v průběhu provozu MVE.

$$H_0 = Z_h - Z_d - \sum_i \Delta H_i$$

Návrhový spád se používá k výpočtu instalovaného výkonu turbíny (typicky maximální výkon při nejvyšším spádu). U vysokospádových elektráren s dlouhým tlakovým přivaděčem má kolísání vodní hladiny menší dopad na výkon MVE než hydraulické ztráty, měnící se s kolísajícím průtokem.



Obr. 3.15 Hladiny vody u vzdouvacího objektu

Při změnách kóty hladiny zdrže vzdouvacího objektu může být dosaženo při povodni maximální hladiny vody (hladiny retenčního prostoru), kdy se přes přeliv převádí návrhová povodeň. Maximální provozní hladina je dána kótou přelivu a minimální provozní hladina je určena požadavky na bezporuchový provoz vtokového objektu (např. minimální hloubka vtoku pod hladinou vody).



### 3.7.1 ZTRÁTY TŘENÍM

Ztráty třením v otevřeném kanálu o volné hladině nebo v tlakovém přivaděči se vypočítají dle vzorce

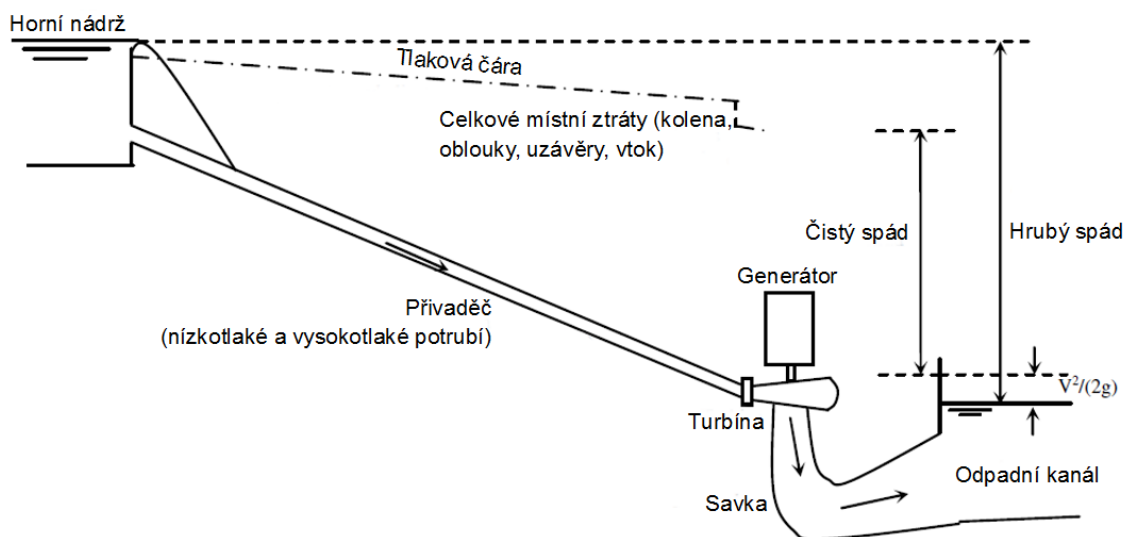
$$\Delta H_t = I \cdot L$$

kde

I = sklon tlakové čáry

L = délka kanálu, nebo tlakového přivaděče

Za předpokladu, že průtoková rychlost v horní nádrži je zanedbatelná, je hrubý a čistý spád schematicky znázorněn v **obr. 3.16** pro reakční turbínu se savkou na výtoku z turbíny. V tomto případě se vnitřní ztráty v savce započítávají do účinnosti turbíny.



Obr. 3.16 Schéma pro výpočet čistého spádu MVE s reakční turbínou

### 3.7.2 MÍSTNÍ ZTRÁTY

Místní ztráty se počítají dle vzorce

$$\Delta H_L = \sum \xi_i \frac{v^2}{2g}$$

kde  $\xi_i$  = koeficient místních ztrát, který závisí zejména na geometrii místní změny směru a profilu a Reynoldsově čísla.

### 3.8 VÝPOČET PRŮMĚRNÉ ROČNÍ VÝROBY

Příklad výpočtu roční výroby elektrické energie z čáry překročení průtoků je uveden v *příloze 1*.

Pro každou hodnotu říčního průtoku je stanoven přítok na MVE, z čáry spádů v závislosti na říčním průtoku spád MVE, a účinnosti turbíny, generátoru a transformátoru. Následně je pro každou hodnotu průtoku turbínou vypočtena hodnota výroby v čase  $t_i$  a možná roční výroba elektrické energie  $G_{\text{roční}}$ .

$$P_i = 9,81 \times Q_i \times \eta_{ti} \times \eta_{gi} \times \eta_{př} \times \eta_{tri}$$

$$G_{\text{roční}} = \sum E_i = (P_{i-1} + P_i) / 2 \times (t_i - t_{i-1}) \times 24$$

$P_{\text{max}}$  ..... instalovaný výkon ..... (kW)

$P_i$  ..... Výkon v čase  $t_i$  ..... (kW)

$Q_i$  ..... Průtok vody turbínami v čase  $t_i$  ..... (m<sup>3</sup>/s)

$\eta_{ti}$  ..... účinnost turbíny pro průtok  $Q_i$  ..... (bezrozměrné)

$\eta_{gi}$  ..... účinnost generátoru pro průtok  $Q_i$  ..... (bezrozměrné)

$\eta_{př}$  ..... účinnost převodovky (pokud je součástí soustrojí) ..... (bezrozměrné)

$\eta_{tri}$  ..... účinnost transformátoru pro průtok  $Q_i$  ..... (bezrozměrné)

$t_i, t_{i-1}$  ..... čas z čáry překročení ..... (dnů)

Podobně se počítá i roční výroba z řady průměrných denních průtoků. Interval ( $t_i - t_{i-1}$ ) je v tomto případě 1 den.

Pro výpočet energie dodané do rozvodné sítě se hodnota průměrné roční výroby snižuje o vlastní spotřebu MVE. Ta se předběžně odhaduje jako 1% z roční výroby.

## 4 OBECNÉ ZÁSADY NÁVRHU TURBÍN

### 4.1 TYPY TURBÍN

Výběr standardizovaných turbín pro malé vodní elektrárny závisí na těchto hlavních parametrech systému: čistý spád, specifický průtok a jednotkový výkon. Hydraulické turbíny mění energii vody na rotační mechanickou energii. Hlavní charakteristické typy turbín se dělí podle toho, jak působí voda na oběžné kolo turbíny.

- Volný tryskový paprsek vody při atmosférickém tlaku – akční turbíny
- Průtok vody turbínou pod tlakem – reakční turbíny

#### Akční turbíny

jsou vhodné pro velké spády. Peltonova turbína je nejnámější typ akčních turbín a skládá se z oběžného kola a jedné, nebo několika trysek. Lopatky oběžného kola mají tvar dvojité misky.

Paprsek vody proudí z trysky na lopatky oběžného kola a dochází k transformaci kinetické energie vody na rotační mechanickou energii. Každá tryska je vybavena pohyblivým jehlovým uzávěrem k regulaci průtoku. Maximální počet trysek pro horizontální uspořádání je 2, nebo 6 pro vertikální šachtu. Trysky jsou vybaveny deflektory pro kontrolu průtoku. Při výpadku elektrárny dojde k odklonění paprsku vody od oběžného kola, což umožní pomalé uzavírání tlakového přivaděče s kontrolou přetlaku vody v přivaděči při vodním rázu a zároveň se vyloučí překročení rychlosti oběžného kola.

Hlavní výhody těchto turbín jsou následující:

- Snadno se přizpůsobují změnám výkonu při téměř konstantní účinnosti
- Kontrola přetlaku vody v tlakovém přivaděči a kontrola překročení rychlosti oběžného kola je jednodušší
- Konstrukce turbín umožňuje snadnou údržbu a opravy
- Vzhledem k vysoké energii tryskového paprsku jsou výrobci nuceni používat na výrobu komponentů kvalitnější materiály, což má za následek nižší poškození turbín abrazí.

Průměr oběžného kola je obvykle 10 až 20 krát větší než průměr trysky v závislosti na rozteči lopatek. Čistý spád u těchto akčních turbín se rovná součtu čistého spádu v tlakovém přivaděči nad jehlovými uzávěry a svislé vzdálenosti k ose vodního paprsku. Mnohdy se navrhuje oběžná kola po obou stranách generátoru (dvojitě uspořádání). Akční turbíny mají ocelové kryty, aby se zabránilo stříkání vody, ale vzduch uvnitř krytu má převážně atmosférický tlak.

#### Reakční turbíny

Protože u moderních reakčních turbín je třeba zásobovat oběžné kolo vodou po celém obvodu, je hlavním úkolem přívodu vody zajistit rovnoměrnost tohoto zásobování při co největší prostorové úspornosti konstrukce. Z klasických konstrukcí přívodu vody lze jmenovat krytou nebo nezakrytou kašnu (jako nejstarší uspořádání) a dále moderní betonovou nebo ocelovou spirálu. Pohyblivé rozváděcí lopatky směřující průtok k oběžnému kolu mají zároveň funkci regulace turbínového průtoku. Lopatky jsou připojeny k pohyblivému ovládacímu prstenci. Za turbínou je savka, která svým tvarem s pozvolnou se zvyšujícím průřezem umožňuje částečnou rekuperaci kinetické energie vody, odtékající z oběžného kola.

Hlavní výhody těchto turbín jsou následující:

- Vyžadují menší prostor pro instalaci (oběžná kola jsou menší než u Peltonových turbín)
- Mají větší čistý spád a lepší ochranu proti vysokým hladinám vody pod elektrárnou při povodních (mohou běžet pod hladinou)
- Mohou mít vyšší otáčky
- Je možné dosáhnout vyšších účinností při vyšších hodnotách výkonu

## Klasifikace turbín

Uspořádání hřídele turbíny může být vertikální nebo horizontální, s pevnými (Francis), nebo nastavitelnými (Kaplan) lopatkami oběžného kola, což jsou důležité faktory, které se berou v úvahu při klasifikaci turbín. Francisovy turbíny mohou být jednoduché nebo dvojité.

Rozdělení turbín závisí na mnoha faktorech, přičemž se turbíny rozlišují podle:

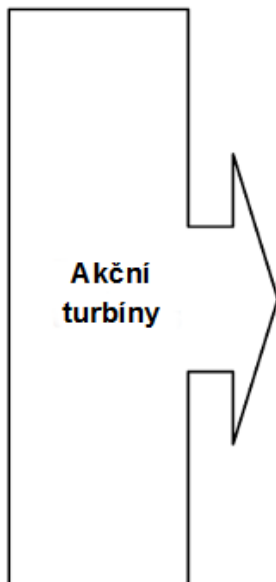
- Typu instalace
- Počtu oběžných kol
- Uspořádání šachty oběžného kola
- Dosaženého čistého spádu

Turbíny jsou charakterizovány specifickými otáčkami  $n_s$ . V následující tabulce je uvedeno rozdělení turbín podle nominálního spádu, průtoku, výkonu a specifických otáček.

Vodní turbíny		H (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	P (kW)	$n_s$ (ot/min)
<b>Reakční</b>	Přímoproudé	2 – 10	3 – 40	100 – 2500	200 – 450
	Kaplan a vrtulové – axiální průtok	2 – 20	3 – 50	50 – 5000	250 - 700
	Francis vysokorychlostní – diagonální průtok	10 – 40	0,7 – 10	100 – 5000	100 - 250
	Francis s nízkými specifickými otáčkami – diagonální průtok	40 - 200	1 - 20	500 - 15000	30 - 100
<b>Akční</b>	Pelton	60 - 1000	0,2 - 5	200 - 15000	<30
	Turgo	30 - 200		100 - 6000	
	Crossflow - Bánki	2 - 50	0,01 – 0,12	2 - 15	

Tab. 4.1 Rozsah využitelnosti standardních turbín (podle údajů různých výrobců)

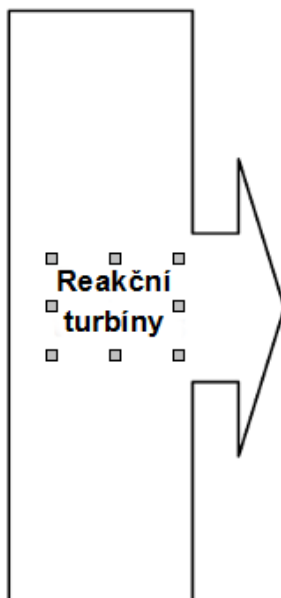
Hlavní rozdíly mezi jednotlivými druhy turbín (*obr. 4.1*)



**Turbína Pelton** může mít jednu nebo několik dýz a využívá se pro střední, nebo vysoké spády. Vodní paprsek působí na lopatky turbínového kola a padá do odpadního kanálu při atmosférickém tlaku. Turbína nemůže pracovat při zatopení kola spodní vodou.

**Turbína Turgo** je také akční turbína, ale s odlišnou konstrukcí lopatek než turbína Pelton. Voda natéká na oběžné kolo z jedné strany, prochází jím a vytéká na druhé straně.

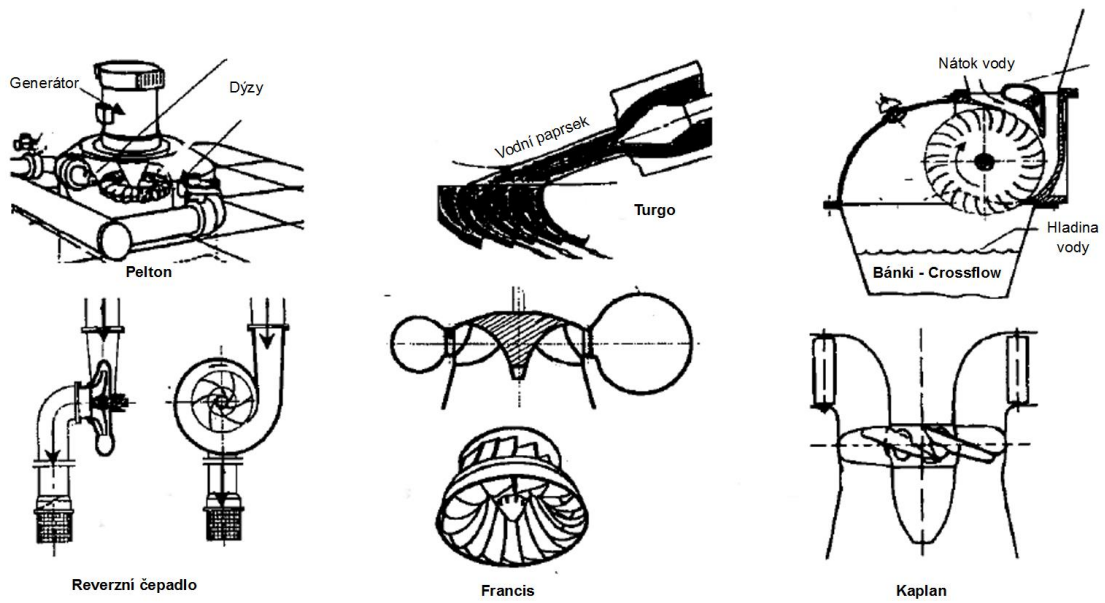
**Turbína Bánki** (nazývaná také Cross-flow, Ossberger nebo Mitchell) se využívá pro široké rozmezí spádů. Na rozdíl od většiny vodních turbín, které mají axiální nebo radiální průtok, zde voda prochází přes turbínu příčně přes lopatky turbíny. Stejně jako u vodního kola přitéká voda na turbínu shora, prochází oběžným kolem, a vytéká na opačné straně. Voda prochází lopatkami oběžného kola dvakrát, čímž se zvýší účinnost turbíny. Když voda odtéká z oběžného kola, pomáhá také čistit lopatky od drobných splavenin, listí apod. Turbína Bánki je pomaluběžný stroj, který je vhodný i pro místa s nízkým spádem, ale s vysokým průtokem.



**Reverzní čerpadla** fungují jako reakční turbína s opačným směrem průtoku od výtoku ke vtoku. Protože nemají žádnou regulaci průtoku (rozdávěcí lopatky), mohou fungovat jen při přibližně konstantním spádu a průtoku.

**Turbína Francis** má radiální neboli smíšený průtok s nastavitelnými rozváděcími lopatkami. Využívá se pro střední spády. K rovnoměrnému rozdělení nátoky vody po obvodu oběžného kola turbíny slouží spirála, připojená na tlakové potrubí přivaděče. Turbína může mít vertikální nebo horizontální uspořádání a může být rovněž instalována na náhonech s volnou hladinou.

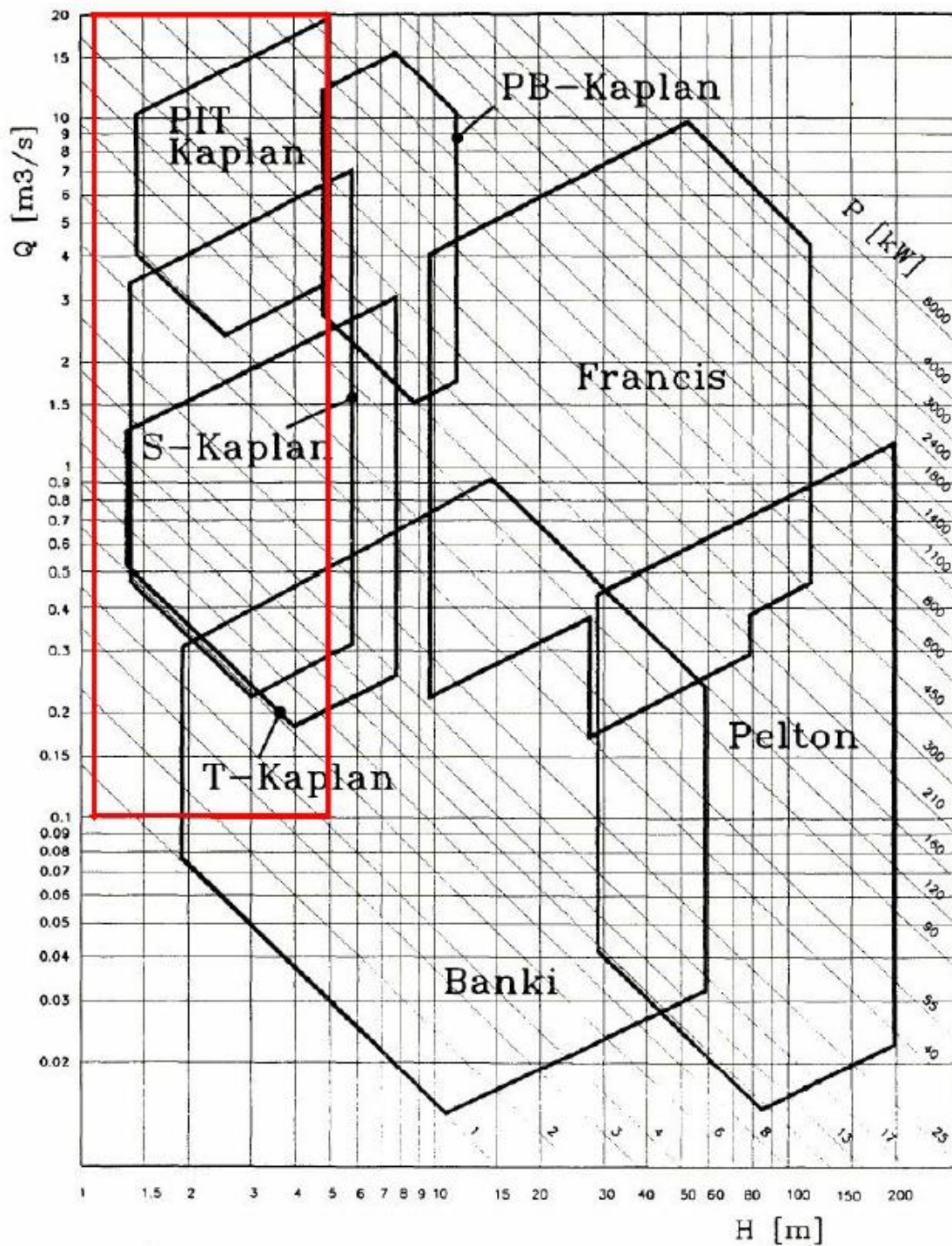
**Turbíny Kaplan a vrtulové turbíny** jsou reakční turbíny s axiálním průtokem a většinou se využívají pro nízké spády. Kaplanovy turbíny mají nastavitelné lopatky oběžného kola s nastavitelnými (s dvojitou regulací) nebo pevnými rozváděcími lopatkami (s jednoduchou regulací). Vrtulové turbíny se navrhují v případech, kdy se jak průtok, tak spád prakticky nemění. Oba typy turbín mohou být instalovány jak na náhonech s volnou hladinou, nebo s betonovou či ocelovou spirálou, podobně jako Francisovy turbíny. Pro malé spády na tocích s vysokým průtokem se navrhují přímoproudé turbíny a S turbíny.



Obr. 4.1 Typické turbíny pro malé vodní elektrárny



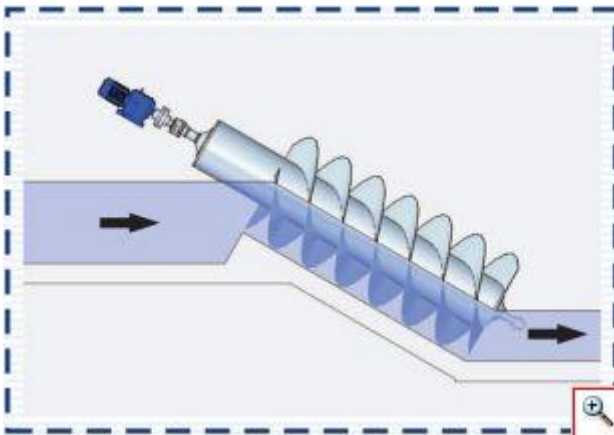
V inženýrské praxi se využívá v počátečních fázích návrhu MVE pro výběr standardních turbín grafů, zpracovaných výrobci. Jako příklad uvádíme graf v *obr. 4.2*.



Obr. 4.2 Orientační oblast použití turbín. Q – H diagram - červená oblast pro experimentální vírovou turbínu

## Šneková turbína

V současné době se rozšiřuje i použití tzv. šnekových turbín.



### Rozsah použití:

Systém je založen na principu Archimédova šroubu, používá se jako vodní motor pro malé vodní elektrárny pracující s asynchronním generátorem do veřejné sítě. Využívá se všude tam, kde je malý spád a značné kolísání průtoku. Je navržen i jako doplňkový motor ke stávajícím turbínám (Bánki, Kaplan atp.) využívající energii jalových přepadů.

<b>Výkon:</b>	<b>do 500 kW</b>
<b>Průtok:</b>	<b>100 – 10 000 l/s</b>
<b>Spád:</b>	<b>1 – 10 m</b>
<b>Úhel sklonu:</b>	<b>22 – 36°</b>

### VÝHODY:

- Nízké náklady na stavební část MVE
- Nižší pořizovací náklady v porovnání s tradičními turbínami
- Využití nízkých spádů
- Jednoduchá konstrukce
- Dlouhá životnost
- Vysoká účinnost
- Spolehlivý i při malém průtoku (již při 20 % hltnosti má účinnost 74 %)
- Jednoduchá obsluha - nízké provozní náklady
- Snadný přístup k činnému prostoru
- Možnost montáže do jezu
- Nevyžaduje jemné česle a je šetrný k vodním živočichům (tzv. fish friendly turbines)
- Okysličuje vodu, a tím přispívá ke zlepšení kvality vody v toku

### Princip:

Volně přitékající voda se vlévá do závitů šnekovnice. Zároveň působí svou hmotností po celé dráze svého klesání a jejím působením se médium vytvořené mezi sousedními šnekovými plochami, nosnou rourou a žlabem vine směrem dolů a tím roztáčí celou šnekovnici.

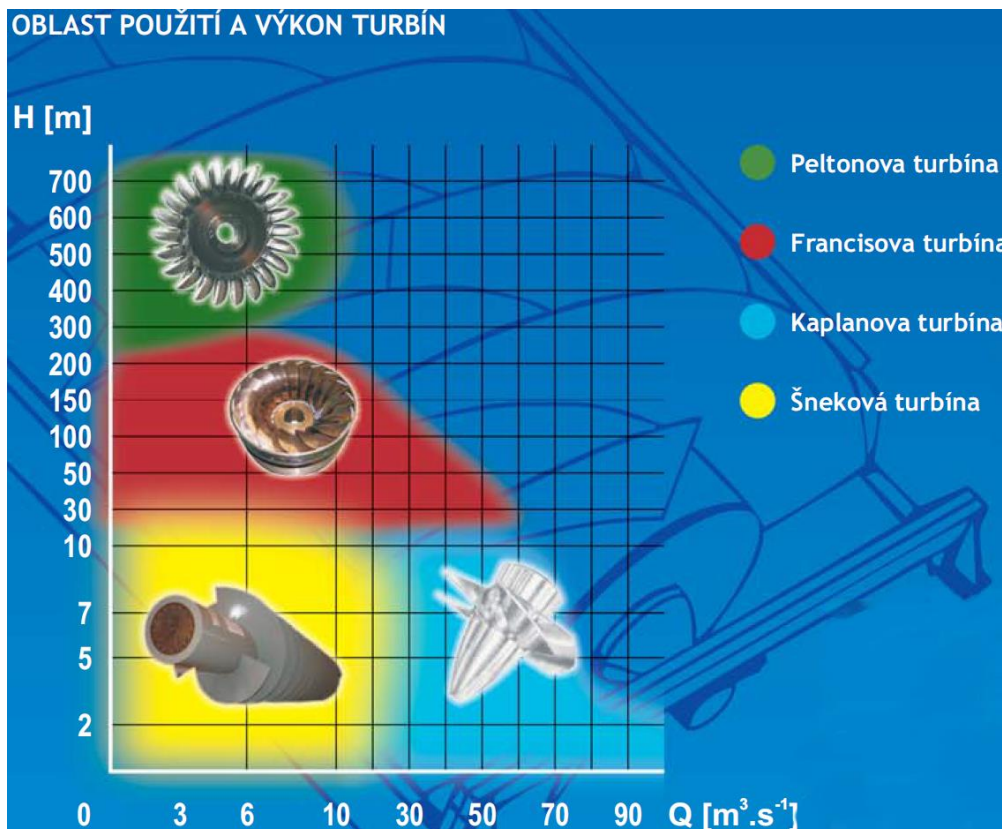
### Srovnání účinností používaných vodních motorů:

Typ vodního motoru	Plnění stroje - hltnost									
	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %	100 %
Archimédův šroub	25	74	77	79	82	82	83	83	84	85
Kaplanova turbína	15	70	85	88	90	90	90	90	88	85
Francisova turbína	-	-	15	58	72	78	82	82	82	80
Bánkiho turbína	-	40	60	68	72	74	75	74	72	70

Účinnost vodních motorů [%]

### Popis:

Šnekové turbíny ST jsou obdobné konstrukce jako šneková kalová čerpadla SC. Šneková turbína je sestavena z rotoru, který je uložen ve žlabu a uchycen v horním a dolním ložisku, převodovým soustrojím a asynchronním generátorem, který je nejmodernějším zdrojem proudu na současných malých vodních elektrárnách.



## 4.2 VHODNÉ TURBÍNY PRO POTENCIÁLNÍ VYUŽITÍ LOKALIT IDENTIFIKOVANÝCH V ŘEŠENÉM ÚKOLU

V návaznosti na potenciální lokality pro hydroenergetické využití, identifikované v řešeném úkolu, se jedná o využití spádu stávajících příčných překážek.

Potenciální lokality jsou vyznačeny v mapě, znázorňující současný stav využití hydroenergetického potenciálu MVE a disponibilní potenciál toků (podrobně viz přílohy 1,4,5).

**Převážně se jedná o malé spády, pro které jsou vhodné přímoproudé kolenové turbíny, přímoproudé Kaplanovy turbíny, Kaplanovy turbíny, turbíny Ossberger (Bánki), reverzní čerpadla, šnekové turbíny a vírové turbíny.**

## 4.3 TURBÍNY ŠETRNÉ K VODNÍM ŽIVOČICHŮM

Moderní možností zejména na menších tocích a menších MVE je použití turbín šetrných k vodním živočichům. Jedná se o patentované vírové turbíny nebo šnekové turbíny využívající systém Archimédova šroubu vhodné pro nízké spády. Požadavky splňují v některých případech i pomaluběžné přímoproudé Kaplanovy turbíny. Vesměs se jedná o turbíny pro nízké spády,

## 4.4 ÚČINNOST TURBÍN

Účinnost turbíny je definována jako poměr efektivní, tj. účinné energie využitelné vodním motorem k teoretické hydraulické energii vodního zdroje. Obvykle je účinnost definována následujícím vzorcem:

$$\eta = \frac{BH \omega}{\gamma Q H_0} = \frac{P}{\gamma Q H_0}$$

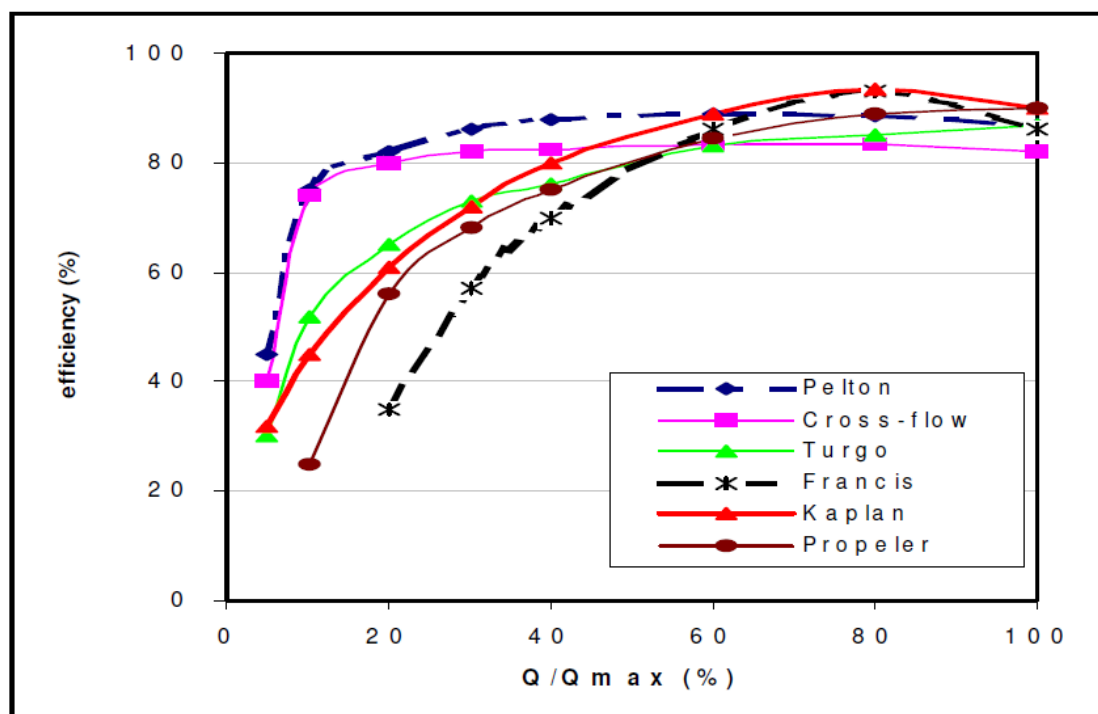
Kde BH (N. m) je kroutící síla a P (W) výkon turbíny,  $\omega$  (rad/s) je úhlová rychlost, Q (m<sup>3</sup>/s) je průtok a H<sub>0</sub> je čistý spád na turbínu. Účinnosti různých typů turbín se různě mění s poměrem průtoku k návrhové hltnosti turbíny, jak je patrné z **obr. 4.3**.

Jak je patrné z grafu, mají akční turbíny vysokou účinnost v širokém rozsahu průtoků. Vrtulové turbíny jsou velmi citlivé na změnu průtoků. Kaplanovy turbíny s dvojitou regulací (s pohyblivými lopatkami oběžného kola) si udržují vysokou účinnost v širokém rozmezí průtoků.

Turbíny nemohou být ekonomicky provozovány od nulového průtoku do návrhové hltnosti. Pod určitým procentem návrhové hltnosti účinnost rychle klesá. Řada typů turbín může být provozována nad hranicí 40% návrhové hltnosti.

Celková účinnost MVE pro dodávku elektrické energie do rozvodné sítě se vypočte přenásobením dalšími účinnostmi (např. převodovky, generátoru, transformátoru).





Obr. 4.3 Typické účinnosti různých typů turbín v závislosti na poměru průtoku k návrhové hltnosti turbíny

## 5 HYDRAULICKÉ PŘECHODOVÉ JEVY A DYNAMICKÉ ÚČINKY

Když se mění průtok, v průběhu provozu MVE vznikají v hydraulickém přívodním systému přechodové jevy při změně z jednoho ustáleného režimu proudění do jiného. Fyzikálně vyvolají tyto hydraulické přechodové jevy povrchové gravitační vlny v otevřených přívodních kanálech a elastické tlakové vlny v tlakových přivaděčích.

Hydraulické přechodové jevy je nutné vyhodnotit již od prvních, počátečních fází MVE a návrh upravit tak, aby výsledné řešení bylo co nejekonomičtější a nejbezpečnější. Průtokové změny v MVE jsou nevyhnutelné. Každé turbogenerátorové soustrojí někdy musí nastartovat, přizpůsobit se změnám průtoku nebo zatížení, nebo vypnout. Nepředvídatelné události, jako jsou lidské chyby, poruchy zařízení nebo ohrožení životního prostředí, mohou také způsobit kritické nestabilní režimy.

V otevřených kanálových přivaděčích způsobí uzavření přívodu vody na turbíny v elektrárně přechodovou vodní vlnu, která se šíří proti toku vody. Převýšení koruny bočních hrází či zdí přívodního kanálu a návrh všech hydraulických prvků po délce kanálu musí být na tento stav dimenzován.

V tlakových přivaděčích musí všechny komponenty systému odolat maximálním přechodovým přetlakům a podtlakům, vyvolanými změnami průtoku.

Výsledný optimální návrh MVE by měl obsahovat řešení hydraulických přechodových režimů se všemi souběžnými dynamickými účinky, včetně interakce s elektrotechnologickým zařízením.

- Hydraulické přechodové jevy jsou hlavním faktorem při definování podmínek provozní bezpečnosti s cílem zamezit poruše potrubí, rozdělení vodního sloupce v přívodním potrubí nebo vniknutí vzduchu do tlakového přivaděče a přelití bočních hrází přívodního kanálu nebo zdí vyrovnávací nádrže.
- Hydraulické přechodové jevy a kontrola průtoků ovlivní celkovou odezvu systému, týkající se zejména překročení rychlosti oběžného kola turbíny až do průběžných otáček,

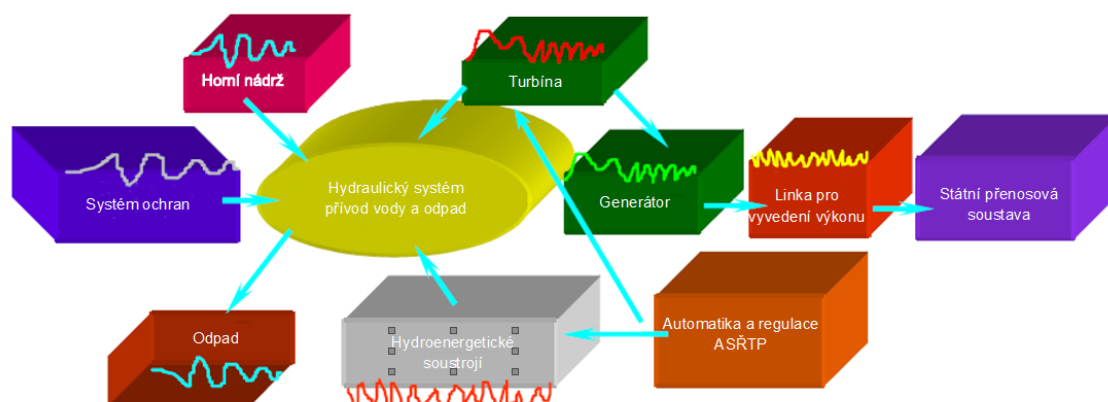
systému kontroly a řízení (např. ovládání turbíny a regulátorů), podmínek stability systému, stejně jako statických sil ve stavebních objektech vyvolaných dynamickými účinky (kotevní bloky na potrubí, aj.).

Reakce systému s různými prvky závisí na druhu provozní změny, poruchy nebo změny v rozvodné síti, do které je MVE napojena (viz [obr. 5.1](#)). Spolupůsobení jednotlivých prvků může způsobit potenciální poruchy a havárie, v krajním případě pak rezonanční jevy. Navržený typ turbín silně ovlivňuje odezvy systému.

Chování hydraulického systému bude záviset na jeho komponentech a jejich vzájemné interakci. V každém případě, a to zejména u MVE, je třeba určit nejdůležitější zdroje dynamických jevů, které mají být brány v úvahu. U MVE, připojených k velké celostátní přenosové síti lze zdůvodnit, že se nebude uvažovat většina kritérií stability, aplikovaných na izolovanou rozvodnou síť.

Ve všech případech by integrovaná analýza neměla opomenout některé zvláštní situace, které mohou být modelovány s menším počtem prvků, jako např.:

- Prázdňení tlakového potrubí, nebo přívodního kanálu dnovými výpustmi a návrh zavzdušňovacích a vypouštěcích uzávěrů, pokud je to požadováno za nezbytné
- Statické posouzení kotevních bloků na potrubí, zatížených extrémními hydrodynamickými silami z výsledku analýzy přechodových jevů, na základě vynesení obálky extrémních tlaků po délce tlakového potrubí.



Obr. 5.1- Oscilační charakteristiky jednotlivých prvků MVE.

Kontrola přechodových jevů a dynamické chování hydroenergetických systémů jsou zásadním výchozím podkladem, garantujícím bezpečné a spolehlivé řešení při vypracování projektu a návrhu provozu MVE.

Účinnost nových návrhových kritérií založených na počítačových modelech by měla umožnit analýzu globálního chování s cílem určit případná provozní omezení, od zahájení provozu MVE, jakož i místních poměrů místní a mimořádných provozních stavů, které jsou životně důležité pro ochranu systému.

Výběr analytické metody k řešení přechodových jevů bude záviset na stupni projektové přípravy a charakteristikách konkrétního systému.

Nehody, způsobené hydraulickými přechodovými jevy mohou představovat velmi významné riziko jak ekonomických ztrát, tak ztrát na lidských životech, provozuschopnosti elektrárny, spolehlivosti provozu i kvality výroby elektrické energie.

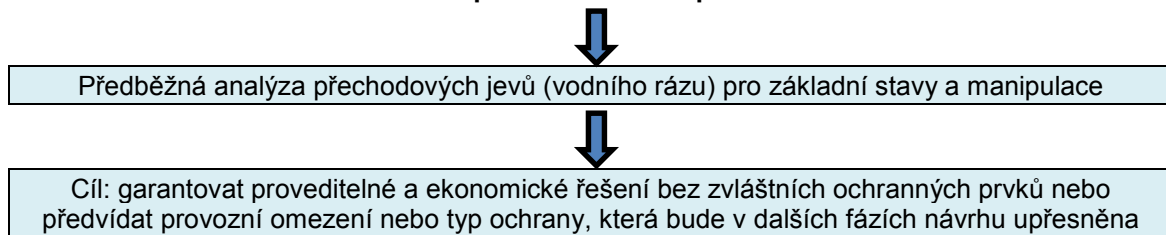
Od šedesátých let minulého století došlo k značnému rozvoji výpočetních metod pro hydraulickou analýzu a simulaci přechodových jevů a dnes máme k dispozici velké množství technik pro řešení hydraulických přechodových jevů a globální dynamické chování hydraulického systému MVE.



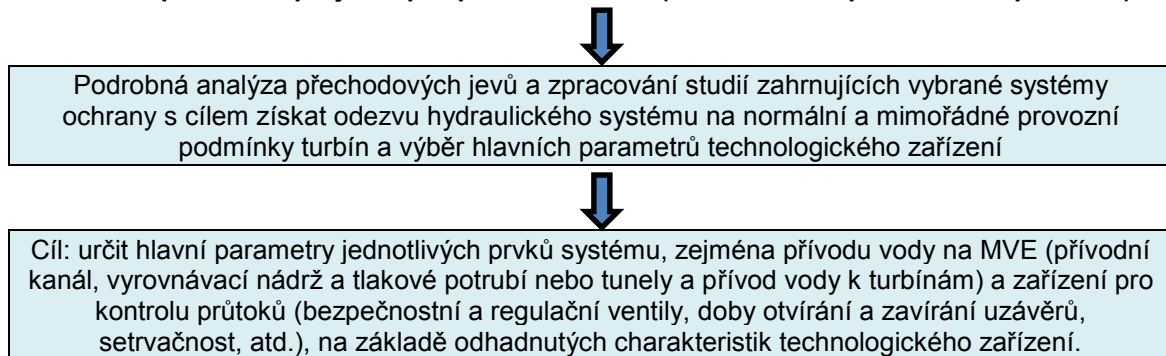
V některých případech je vhodnější derivační systém a hydraulický přívodní systém smíšeného typu (derivační kanál o volné hladině a tlaková štola nebo tlakové potrubí). Někdy je však ekonomicky výhodnější a z hlediska životního prostředí přijatelnější navrhnout tlakový přiváděč v celé délce.

Všeobecný postup při řešení přechodových jevů MVE je schematicky uveden v následujícím grafu.

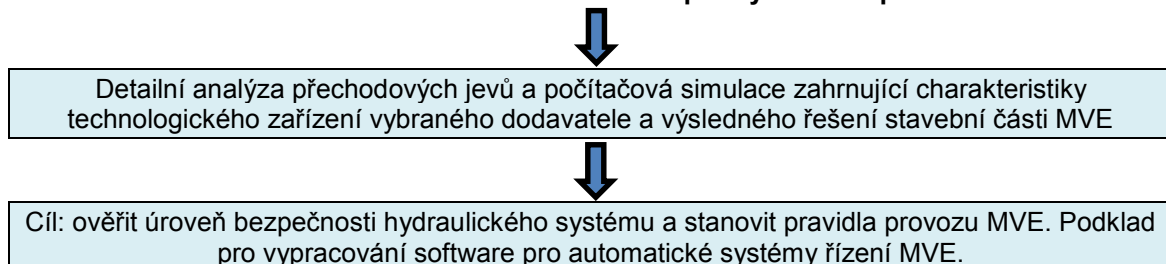
#### A. Úvodní studie a studie proveditelnosti v počátečních fázích návrhu MVE



#### B. Zpracování projektu pro podání nabídek (dokumentace pro stavební povolení)



#### C. Podrobná realizační dokumentace pro výstavbu a provoz MVE



Kompletní hydraulická analýza, včetně přechodových režimů a interaktivních dynamických účinků je komplexní téma, které vyžaduje u velkých hydroenergetických soustav samostatný výzkum, týkající se některých specifických jevů a vývoj pokročilých výpočetních postupů. U malých vodních elektráren s omezeným rozpočtem je třeba aplikovat známá kritéria, uváděná v odborné literatuře a existující výpočetní postupy a metody pro analýzu přechodových jevů.

Rozvoj výpočetních metod a počítačového softwaru s použitím komplexních rovnic pro neustálené nerovnoměrné proudění vody je v současnosti relativně snadno dostupné a použití starých přibližných metod výpočtu vodního rázu je již neodůvodnitelné a může být nebezpečné jak z ekonomického, tak i z bezpečnostního hlediska.

Hydraulická analýza do značné míry závisí na typu rozvodné sítě, do které je malá vodní elektrárna připojena.

- 1) Napojení MVE do izolované (nebo ostrovní) rozvodné sítě znamená přísnější omezení, týkající se zejména dynamických účinků a stability regulace otáček turbíny; V ČR se prakticky nevyskytuje
- 2) Připojení k velké celostátní přenosové síti s řádově mnohonásobně větší celkovou výrobou připojených energetických zdrojů umožní jednodušší provoz MVE pokud jde o dynamické účinky

## 6 STANOVENÍ MINIMÁLNÍHO ZŮSTATKOVÉHO PRŮTOKU V ŘECE S OHLEDEM NA ZACHOVÁNÍ EKOLOGICKÉ ROVNOVÁHY TOKU

### 6.1 FUNKCE MINIMÁLNÍHO ZŮSTATKOVÉHO PRŮTOKU

Minimální zůstatkový průtok (MZP) slouží k zachování ekologických funkcí toku, které jsou negativně ovlivněny výstavbou MVE, nebo odběrem za jiným účelem. Minimální zůstatkový průtok (MZP) v rámci každého profilu musí zajistit zejména tři základní funkce:

- 1) Zajištění ekologické stability toku pod příčnou překážkou
- 2) Zajištění migrační průchodnosti pro vodní organismy
- 3) Zajištění životnosti a správného provozu a údržby vodního díla

Na každé příčné překážce je nutné při stanovení minimálního zůstatkového průtoku uvažovat všechny tři výše uvedené požadavky a posoudit jejich potřebnost. Za nesprávný je potřeba vnímat přístup kdy MZP je stanoven pouze pro MVE derivačního typu. Důvodem, proč MZP musí být stanoven i pro elektrárny jezové je jednak povinnost neporušit migrační průchodnost příčné překážky která vychází z vodního zákona, aby ryby vstup do RP v rámci příčného profilu našly, je nutné zajistit dostatečný lákavý proud, metodické materiály uvádí hodnotu 1-5% celkového průtoku (dle vodnatosti toku) v době migrace ryb v případě, že RP má vhodnou lokalizaci. Dále je důležité vzít v úvahu, že i krátký úsek bez vody v podjezí může být fatální pro populaci reofilních druhů ryb, které v hustě fragmentovaných tocích s četnými zdržemi jsou často jediné proudné úseky toku a jsou zde významná trdliště ryb, podle délky jezu může mít tento habitat plochu i 1 ha. V těchto případech platí, že průtok nutný k zajištění smáčení rybích habitatů pod jezem a funkce RP může být menší než MZP nutný v případě derivační MVE.

Nejstarší postup stanovení MZP je definován ve směrném vodohospodářském plánu ČSR z roku 1976- část 2, kapitola 11.4 – Minimální průtoky ve vodních tocích. Tento postup byl nahrazen Metodickým pokynem odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí ke stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích z roku ZP16/98. ZP16/98 stanovuje MZP na základě hodnoty průtoku  $Q_{355d}$ . To je průtok v daném profilu vodního toku, který byl dosažen nebo překročen průměrně 355 dní v roce, vypočtený z řady průměrných denních neovlivněných průtoků z let 1931 – 1980. Nejsou-li tyto neovlivněné průtoky k dispozici, použije se řada průměrných denních průtoků z let 1931 – 1960.

Pro hodnoty  $Q_{355d}$  stanovuje ZP16/98 MZP podle vztahů určených v následující tabulce.

Průtok $Q_{355d}$	Minimální zůstatkový průtok
Menší než 0,05 m <sup>3</sup> /s	$Q_{330d}$
0,05 – 0,5 m <sup>3</sup> /s	$(Q_{330d} + Q_{355d}) * 0,5$
0,51 – 5,0 m <sup>3</sup> /s	$Q_{355d}$
Větší než 5,0 m <sup>3</sup> /s	$(Q_{355d} + Q_{364d}) * 0,5$

Tabulka 6.1. Směrné hodnoty pro stanovení MZP dle metodického pokynu MŽP ZP16/98

Vedle určení směrných hodnot, popisuje metodický pokyn ZP16/98 postup ve zvláštních případech, v suchých obdobích a za nouzových situací. Také se zmiňuje o kontrolách dodržování stanovených MZP.

V souvislosti s novelou vodního zákona bylo rozhodnuto, že stanovení MZP bude schváleno formou nařízení vlády. Za tímto účelem byl VÚV TGM, v.v.i. pověřen vypracováním metodiky pro stanovení MZP.

### 6.1.1 STANOVENÍ MINIMÁLNÍHO ZŮSTATKOVÉHO PRŮTOKU PODLE NAVRHOVANÉ METODIKY PRO PŘIPRAVOVANÉ NAŘÍZENÍ VLÁDY

Metodika předpokládá 3 základní kritéria stanovení MZP

- 1) Pro potřeby stanovení minimálního zůstatkového průtoku je území České republiky rozděleno podle parametru  $K_{99}$  do čtyř oblastí.

Přítom parametr  $K_{99}$  je poměr mezi průtokem  $Q_{99\%}$  a průtokem  $Q_a$  ( $Q_{99\%}/Q_a$ ).  
 průtok  $Q_{99\%}$  je průměrný denní průtok v profilu vodního toku, který je dosažen nebo překročen průměrně 99% dní v příslušném období,  
 průtok  $Q_a$  je průměrný průtok v profilu vodního toku v příslušném období,

- 2) Pro potřeby stanovení minimálního zůstatkového průtoku je období roku rozděleno na dvě sezóny, hlavní a jarní.
- 3) Pro potřeby stanovení minimálního zůstatkového průtoku vodoprávní úřad vychází z hodnot  $Q_a$ ,  $Q_{99\%}$  a z hodnot ovlivněných M-denních průtoků.

Přestože smyslem tohoto projektu a certifikované metodiky není připomínkovat návrh nařízení vlády o způsobu a kritériích stanovení minimálního zůstatkového průtoku je na tomto místě potřeba poukázat na nevhodný přístup metodiky k lokalitám ovlivněným vodní nádrží. Podle návrhu nařízení vlády vychází vodoprávní úřad z hodnot  $Q_a$ ,  $Q_{99\%}$  a z hodnot ovlivněných M-denních průtoků. Právě použití ovlivněných M-denních průtoků může zkreslovat řešenou situaci.

Tím, že nádrž akumuluje extrémní průtoky a nadlepšuje minimální průtoky, dochází k statistickému ovlivnění řady průtoků. Čára překročení M-denních průtoků je v oblasti  $Q_{330}$  až  $Q_{365}$  více plochá než by tomu bylo u neovlivněného průtoku.  $Q_{365}$  pak reálně neznamená nejnižší průtok v roce dosažený v nejsušším období, nýbrž průtok který je sice minimální, ale můžeme jej v korytě naměřit i několik měsíců v roce (záleží na retenčním objemu nádrže a manipulačním řádu). Proto není možné počítat minimální zůstatkový průtok z extrémních průtoků, jako jsou  $Q_{330}$  –  $Q_{365}$ , a to zejména u MVE, které nemají derivační schéma a vypouštějí vodu pod jez. Mnohem vhodnější je v takovém případě vycházet z neovlivněných průtoků, nebo spočítat průtoky, které jsou nezbytné pro zajištění jednotlivých funkcí vodního díla kromě výroby elektřiny na MVE.

- smáčení jezové konstrukce dostatečným paprskem vody,
- smáčení říčních habitatů pod jezem,
- rybí přechod
- sportovní propust

Metodika předpokládá nejprve zatřídění místa nakládání s vodami do jedné ze 4 oblastí. V případě, že vodní tok protéká jednou oblastí lze vycházet z příloženého seznamu vodních toků. Pro toky protékající více oblastmi je zatřídění provedeno výpočtem parametru  $K_{99}$  z hodnot  $Q_{99\%}$  a  $Q_a$ .

Hodnoty parametru  $K_{99}$  pro zatřídění toku jsou uvedeny v příloze č. 3 nařízení vlády.

oblast	hodnota $K_{99}$
1	> 0,18
2	> 0,15

3	0,1-0,15
4	< 0,1

Tabulka 6.2 hodnoty parametru K99 pro 4 oblasti zatřívzení vodních toků

Dalším krokem po zatřívzení lokality je určení dvou hodnot MZP pro hlavní sezónu a jarní sezónu. Podle vzorců uvedených v příloze č. 4 nařívzení vlády

Vzorec pro výpočet hodnot minimálního zůstatkového průtoku pak uvádí následující tabulka

Oblast	Hlavní sezóna		Jarní sezóna	
	1	květen - leden	$0,6 \times Q_{330d}^{0,85}$	únor – duben
2	červen - únor	$0,8 \times Q_{330d}^{0,85}$	březen – květen*	$0,9 \times Q_{330d}^{0,85}$
3	květen - leden	$0,85 \times Q_{330d}^{0,85}$	únor – duben	$0,95 \times Q_{330d}^{0,85}$
4	květen - leden	$0,9 \times Q_{330d}^{0,85}$	únor – duben	$Q_{330d}^{0,85}$

Tabulka 6.3 vztahy pro výpočet MZP dle návrhu metodiky pro nařívzení vlády

V případě, že hodnoty minimálního zůstatkového průtoku získané výpočtem podle přílohy č. 4 k nařívzení vlády jsou menší než 10 %  $Q_a$ , vodoprávní úřad stanoví příslušné hodnoty minimálního zůstatkového průtoku na úrovni 10 %  $Q_a$ .

V případě, že hodnoty minimálního zůstatkového průtoku získané výpočtem podle přílohy č. 4 k nařívzení vlády jsou větší než přítok do vodního díla, sloužícího ke vzdouvání nebo akumulaci vod, vodoprávní úřad stanoví hodnoty minimálního zůstatkového průtoku na úrovni přítoku do vodního díla podle přílohy č. 5 k nařívzení vlády.

Přítok do vodního díla Q	Minimální zůstatkový průtok (MZP) z přílohy č. 4
$Q > MZP$	MZP
$Q < MZP$	Q

Tabulka 6.4 vztah pro výpočet MZP je-li přítok do vodního díla nižší než vypočtená hodnota MZP

## 6.2 DĚLENÍ MINIMÁLNÍHO ZŮSTATKOVÉHO PRŮTOKU POD VODNÍM DÍLEM Z HLEDISKA ZACHOVÁNÍ HLAVNÍCH EKOLOGICKÝCH FUNKCÍ TOKU A ZAJIŠTĚNÍ ŽIVOTNOSTI A SPRÁVNÉHO PROVOZU A ÚDRŽBY VODNÍHO DÍLA

### 6.2.1 ZAJIŠTĚNÍ ŽIVOTNOSTI A SPRÁVNÉHO PROVOZU A ÚDRŽBY VODNÍHO DÍLA

Zejména u pevných konstrukcí je nutné zajistit jejich smáčení z důvodu zamezení vysychání, vymrzání a také teplotní stability konstrukce. Požadavky se liší během letní (březen – listopad) a zimní sezóny (prosinec- únor).

Běžně se uvádí výška vodního sloupce nad přelivnou hranou jezu, ta se liší dle konstrukce vodního díla a také dle stavu přelivné hrany, zda je dostatečně rovná a přímá. Pokud je přelivná hrana přímá a rovná, uvádí se běžně potřebný vodní sloupec 3-5 cm v letní sezóně a 5-8 cm v zimní sezóně.

Pro přesný výpočet průtoku, který tento vodní sloupec představuje, je nutné použít hydraulické rovnice s řadou koeficientů, které závisí na tvaru vodního díla, povrchu přelivné hrany, rozdílu hladin, přítokové rychlosti i množství rozpuštěných látek a teplotě. Pro hrubý odhad však stačí uvažovat rychlost proudění na hraně jezu přibližně  $0,75 \text{ m.s}^{-1}$ . Pak vodní paprsek o tloušťce 1 cm převede na 1 metr přelivné hrany  $0,0075 \text{ m}^3$  vody za jednu sekundu. Pro příklad, paprsek o tloušťce 3 cm tedy převede přes jez o délce 50 m přibližně  $1,125 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ .

U pohyblivých jezů, které mají například kovová pole, nebo vakových jezů, kde vak je ze syntetických materiálů, není smáčení konstrukce nutné.

### 6.2.2 ZAJIŠTĚNÍ EKOLOGICKÉ STABILITY HABITATŮ LOKALIZOVANÝCH PŘÍMO POD PŘÍČNOU PŘEKÁŽKOU

Průtok vody přes přelivnou hranu jezu má vedle zajištění stability konstrukce dále významnou ekologickou funkci, kdy se jeho prostřednictvím zajišťuje smáčení dna toku pod jezem. Tato oblast je extrémně důležitá pro řadu složek vodního ekosystému.

- Přímo na ponořené konstrukci nacházíme velké množství přisedlých organismů, které jsou i krátkodobým zastavením průtoku přes přelivnou hranu jezu ohroženy.
- Zejména na intenzivně upravených a regulovaných tocích je místo pod jezem jediným úsekem toku s vyšší rychlostí proudění a s písčito-šterkovým substrátem, velmi často zejména na dolních tocích je to také místo výskytu vodních makrofyt. Dochází ke vzniku šterkových lavic, ostrovů porostlých vlhkomilnou vegetací. Proto se zde vyskytují velmi specifické organismy, zejména bentičtí bezobratlí, a i krátkodobé vysušení (v zimě následné vymrznutí) může mít fatální následky. Je nutné velmi citlivě stanovit množství vody, které zajistí smáčení těchto habitatů.
- Výše uvedené prostředí slouží jako trdliště většiny reofilních druhů ryb, a to jak fytofilních, které se vytírají na ponořenou vegetaci (jelec tloušť, ouklej obecná), tak lythofilních, které využívají písčité až šterkový substrát (parma říční, pstruh obecný, lipan podhorní). Ke koncentraci ryb pod jezy během období rozmnožování dochází nejen z důvodu výskytu vhodného substrátu, ale i z důvodu toho, že i přes vybudování dostatečně kapacitního rybního přechodu nelze zajistit stoprocentní průchodnost pro všechny druhy, věkové kategorie ryb a během všech průtokových situací. Po vytření následují vývin jiker a dále tyto habitaty slouží k vývoji plůdku těchto ryb, a to během celé letní sezóny. I krátkodobé vysušení může tak mít fatální následky, kdy dojde buď přímo k úhynu jiker nebo mladých ryb nebo jejich vystavení zvýšené predaci.
- Součástí konstrukce většiny jezů je i vývar pod jezem, který slouží k tlumení energie přepadající vody. Ten se stává velmi často útočištěm ryb, které zde nacházejí vhodné kyslíkové i potravní podmínky i úkryt. Zastavení průtoku do této části má za následek zhoršení podmínek a také větší riziko predace ze strany rybožravých predátorů.

V případě, že je požadováno vlastníkem jezu smáčení konstrukce (min 3-5 cm), tento průtok je dostatečný pro zajištění výše uvedených funkcí.

### 6.2.3 ZAJIŠTĚNÍ MIGRAČNÍ PRŮCHODNOSTI PRO VODNÍ ORGANISMY

Omezení vlivu technických zásahů do přirozených vodních toků se řeší pod vlivem implementace Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES ze dne 23. října 2000, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky (Rámcová směrnice o vodách, RSV) a její následné transpozice do zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů ve znění pozdějších předpisů (vodní zákon, VZ).

Na základě analýzy současného stavu vod při přípravě prvních plánů oblastí povodí bylo zjištěno, že omezení podélné průchodnosti vodních toků pro vodní živočichy je jedním z nejzávažnějších problémů dosažení dobrého ekologického stavu vod, na vodních tocích v ČR je vybudováno více než 8000 příčných staveb. Přesné číslo není známo, jelikož evidence překážek zejména na menších vodních tocích nebyla dostatečně provedena.

Další závazky pro ČR plynou z nařízení Rady ES č. 1100/2007, kterým se stanoví opatření pro obnovu populace úhoře říčního *Anguilla anguilla*. Koncepce zprůchodnění říční sítě ČR je v



souladu s návrhy opatření uvedenými v plánech řízení stavu úhoře říčního pro mezinárodní povodí Labe a pro mezinárodní povodí Odry, které byly Ministerstvem zemědělství předloženy ke schválení Evropské Komisi.

Pro dosažení dobrého stavu vod je nezbytné zohlednit i závazky vyplývající ze Směrnice Rady č. 92/43/EHS ze dne 21. května 1992 o ochraně přírodních stanovišť, volně žijících živočichů a planě rostoucích rostlin, na jejímž základě se vyhláší evropsky významné lokality soustavy NATURA 2000.

Zákon č. 245/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů se dotýká zajištění ekologického stavu vod a migrační prostupnosti vodních toků v několika svých paragrafech, za nejdůležitější lze považovat ustanovení §15 odst. 6, kdy „Při povolování vodních děl, jejich změn, změn jejich užívání a jejich odstranění musí být zohledněna ochrana vodních a na vodu vázaných ekosystémů. Tato vodní díla nesmějí vytvářet bariéry v pohybu ryb a vodních živočichů v obou směrech vodního toku.

Zákon č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých zákonů (zákon o posuzování vlivů na životní prostředí), ve znění pozdějších předpisů se především dotýká nově navrhovaných nebo rekonstruovaných staveb, kdy by mělo být provedeno zjišťovací řízení podle tohoto zákona u vodních elektráren s celkovým instalovaným výkonem výroby od 10 MWe do 50 MWe a nad 50 MWe a dále u staveb, technologií a činností v chráněných územích nebo pokud příslušný orgán k posuzování vlivů na životní prostředí rozhodne z vlastního podnětu či z podnětu jiného subjektu za předpokladu, že MVE nebo úprava toku zásadně mění charakter toku a ráz krajiny. Tento předpis je možné tedy aplikovat v podstatě na všechny umělé stupně na tocích.

Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny se v některých paragrafech týká také zajištění ekologického stavu vodních toků. Vodní toky včetně údolní nivy jsou významnými krajinnými prvky (dále VKP) podle § 3 a podle následujícího § 4 mohou být využívány tak, aby nebyla narušena jejich obnova a nedošlo k ohrožení nebo oslabení jejich stabilizační funkce, přičemž k zásahům vedoucím k ohrožení, oslabení, poškození nebo dokonce zničení VKP je třeba mít souhlasné stanovisko orgánu ochrany přírody. Lze říci, že příčná stavba na vodním toku je vždy významným zásahem do přírodního prostředí a VKP. Vodní toky a jejich biotopy ve většině případů plní i funkci biokoridorů v územním systému ekologické stability krajiny. Vodní toky tvoří podle tohoto zákona životní prostředí pro obecně (§ 5) a zvláště chráněné druhy živočichů (§ 50). Příčné stavby na toku ohrožují populace méně početných druhů ryb, neboť dochází k fragmentaci a fyzickému oddělení potřebného počtu jedinců pro udržení genetické diverzity. Také u zvláště chráněných druhů organismů ve smyslu zákona č. 114/1992 Sb. § 50 dochází ke škodlivým zásahům do jejich přirozeného vývoje, pokud jim není umožněna migrace přes stupně na toku v obou směrech.

Vliv příčných staveb na toku na životní prostředí lze specifikovat i jako „Ekologickou újmu— podle zákona č. 17/1992 Sb. §10, za kterou je považována ztráta nebo oslabení přirozených funkcí ekosystémů, vznikající poškozením jejich složek nebo narušením vnitřních vazeb a procesů v důsledku lidské činnosti. Fragmentací toku dochází k oslabení populací některých druhů živočichů, především ryb, a tím i celého vodního ekosystému včetně jeho vazeb.

Zákon č. 99/2004 Sb., o rybníkářství, výkonu rybářského práva, rybářské strážní, ochraně mořských rybolovných zdrojů a o změně některých zákonů (zákon o rybářství), ve znění pozdějších předpisů Udává přímo povinnost vlastníka objektu zřizovat rybí přechody („...musí být dbáno, aby tam, kde je to účelné, byly zřizovány a udržovány rybí přechody a česlice...“).

### **6.3 NAVRHOVÁNÍ RYBÍCH PŘECHODŮ**

Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, jako odborný garant Operačního programu životní prostředí, zřídila odbornou skupinu „Komise pro rybí přechody při AOPK“. Tato komise posuzuje projekty na rybí přechody všech žadatelů z OPŽP před podáním žádosti, její souhlasné stanovisko je povinným podkladem pro žádost do OPŽP. Zároveň je povinným i souhlasné stanovisko o funkčnosti RP po dokončení realizace. Velmi často je stanovisko komise vyžadováno i vodoprávním nebo stavebním úřadem při povolování staveb i případně, že investor

nežádá podporu z OPŽP. V rámci souběžně probíhajícího projektu TAČR TA04020765 „Vývoj metodických, plánovacích a monitorovacích opatření pro řešení problematiky fragmentace říční sítě ČR“ je vyvíjena standardizovaná národní databáze příčných překážek na vodních tocích a rybích přechodů a dále standardizované metodiky hodnocení provozu a funkčnosti rybích přechodů.

Základní typy rybích přechodů a jejich parametry ve vazbě na cílová rybí společenstva popisují v současné době tři metodické materiály, které vycházejí ze zahraniční literatury a mírně se liší v terminologii i parametrech vzhledem k účelu jejich zpracování:

- 1) Technická norma TNV 75 2321 „Zprůchodňování migračních bariér rybími přechody“ z ledna 2011
- 2) Metodický postup na zlepšení migrační průchodnosti příčných překážek ve vodních tocích ČR, příručka pro žadatele OPŽP, Slavík, Vančura a kol., 2012
- 3) Standardy péče o přírodu a krajinu, Voda v krajině, Řada B, Rybí přechody SPPK B02 006: 2014

Není nutné popisovat různé typy RP podrobně definované v rámci výše popsaných metodik. Všechny RP jsou funkční, pokud jsou postaveny správně. Také je nutné dostatečně reflektovat potřebu ochrany ryb při poproudové migraci.

Při přípravných pracích před vlastní realizací RP je nutné zaměřit se na následující položky (zdroj TNV 75 2321)

a) Ichtyologický průzkum s cílem stanovení cílové rybí obsádky (pomocí zařazení do tzv. rybích pásem) a dále cílových druhů, jimž musí být přizpůsobeny parametry RP:

- objektivní zjištění druhové skladby rybního osídlení v zájmové části toku a stavu populací jednotlivých druhů, s důrazem na tzv. cílové druhy (viz příloha B TNV 75 2321);
- rybářské obhospodařování vodního toku (rybářský revír, chráněná rybí oblast), vysazované druhy;
- informace z Nálezové databáze AOPK.

b) Krajina a přírodní funkce vodního toku:

- hodnota a statut území včetně vodního toku (NPR, CHKO, NP, EVL a další varianty územní či místní ochrany);
- krajinná hodnota vodního toku, vazba toku na přilehlé záplavové území;
- informace o vlastním vodním toku (upravené koryto vodního toku, přirozené koryto vodního toku), jakost vody, znečištění a možnost zlepšení, cílový stav ve vazbě na Směrnici Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky, plány povodí.

c) Lokalita pro výstavbu RP:

- pozemky na březích, zástavba, komunikace, inženýrské sítě, apod.;
- charakter migrační bariéry, platná nakládání s vodami;
- průtoky, odběry vody – stávající, výhledové.

d) Další informační zdroje:

- Nálezová databáze AOPK ČR
- Koncepce zprůchodňování říční sítě ČR – prioritní úseky vodních toků

### 6.3.1 MINIMÁLNÍ PRŮTOK PRO ZAJIŠTĚNÍ FUNKCE RP

Pro zajištění správné funkce RP je nutné stanovit správný návrhový průtok RP. Vhodný průtok rybím přechodem musí zajistit jednak průchodnost jeho trati, ale především spolu s vhodnou lokalizací vstupu i dostatečný lákavý proud, který ryby do RP navede. Návrhový průtok RP se



může skládat z průtoku vlastní tratí RP a dále z takzvaného vábícího proudu, který se přivádí až do vstupu do RP s cílem posílit lákavý efekt pro ryby. Výše návrhového průtoku je stanovena ve výše uvedených metodických materiálech rozdílně. Vesměs předpokládají, že vstup do RP je umístěn ideálně vzhledem k situaci na vodním díle, tedy co nejbližší pod vlastním jezem a také poblíž výtoků z MVE.

TNV 75 2321 odvozuje požadovaný minimální průtok od hodnoty  $Q_{355}$

Q355d $m^3 s^{-1}$	Minimální podíl pro RP %	Minimální průtok RP
0,2		do 0,1 $m^3 s^{-1}$ celý průtok
0,2 až 0,5	50	0,1 $m^3 s^{-1}$
0,5 až 1,0	50	minimálně 0,25 $m^3 s^{-1}$
1,0 až 5,0	40	minimálně 0,4 $m^3 s^{-1}$
5,0 až 25,0	20	minimálně 1,0 $m^3 s^{-1}$
$\geq 25,0$	20	minimálně 5 $m^3 s^{-1}$

Tabulka 6.5. Minimální průtok pro zajištění funkce rybiho přechodu podle TNV 75 2321

**Metodický postup na zlepšení migrační průchodnosti příčných překážek ve vodních tocích ČR, příručka pro žadatele OPŽP**, Slavík, Vančura a kol., 2012, uvádí požadované hodnoty poněkud jinak.

Nejprve uvádí informativní návrhový interval průtoků v řece pro protiproudění migrace, tedy rozmezí průtoků, kdy by měl být RP funkční. Tyto hodnoty lze informativně využít v předprojektové přípravě u řek, kde není režim ovlivněn provozem nádrží nebo významnými odběry. V ostatních případech je nezbytné vyžádat si ovlivněné průtoky, nebo lokalitu posuzovat individuálně podle statistického vyhodnocení denních průtoků.

druh	obecná sladkovodní ryba	losos	úhoř
návrhový průtok	$Q_{30d} - Q_{330d}$	$Q_{30d} - Q_{355d}$	$Q_{240d} - Q_{355d}$

Tabulka 6.6 návrhový průtok pro RP podle příručky pro žadatele OPŽP

Pro stanovení návrhového průtoku na vstupu do RP citují zahraniční literaturu (Larinier a kol., 2002):

- 1–5 % aktuálního průtoku v rozsahu návrhového intervalu,
- 5–10 % průměrného ročního průtoku,
- $Q_{355}$  denní

**Standardy péče o přírodu a krajinu**, Voda v krajině, Řada B, Rybí přechody SPPK B02 006: 2014 neuvádí přesné hodnoty požadovaného průtoku a zřejmě počítá s využitím výše uvedených metodických podkladů, zejména TNV 75 2321. V materiálu je však velmi podrobně popsán postup při přípravě koncepce technického řešení rybiho přechodu a také postup výpočtu návrhových parametrů.

### 6.3.2 ZAJIŠTĚNÍ FUNKCE ZAŘÍZENÍ UMOŽŇUJÍCÍCH SJÍZDĚNÍ JEZŮ

Řada toků je využívána v rámci vodáctví a vodních sportů. Při návrhu rozdělení průtoků přes jednotlivé části vodního díla je třeba zohlednit také funkčnost zařízení, které vodákům umožňují překonání jezu, kterým je nejčastěji sportovní propust. Pokročilým řešením, které umožní efektivnější využití energetického potenciálu, je instalace vstupní brány, která se otevře pouze při průjezdu lodě. V době, kdy lodě nejedí, je průtok propustí minimální a zajišťuje pouze smáčení

dna s cílem zachovat bitou. To umožní využití energetického potenciálu mimo období vodácké aktivity- mimo letní měsíce a v noci.

V rámci některých vodních děl jsou vybudovány sportovní trati, také tyto musí být zohledněny při výpočtu MZP.

Dalším možným řešením je realizace kartáčového rybího přechodu, který umožňuje bezpečný průjezd lodí i migraci ryb s využitím jedné trati, tedy jednoho průtoku.

### 6.3.3 ZAJIŠTĚNÍ EKOLOGICKÉ FUNKCE TOKU V PŘÍPADĚ DERIVAČNÍHO ŘEŠENÍ MVE

V případě, že je voda z toku odváděna náhonem s cílem získání většího spádu, je nutné zajistit dostatečný průtok v hlavním korytu, ten se odvíjí od výše MZP uvedené výše. Tento průtok se skládá z průtoku přes korunu jezu a dále z průtoku přes rybí přechod, případně zařízení pro vodáky. Nikdy by neměl být nižší, než vypočtená hodnota MZP dle uvedeného vzorce.

## 7 ZHODNOCENÍ EKONOMICKÉ EFEKTIVNOSTI

### 7.1 ÚVOD. NÁKLADY A UŽITKY

Konečné rozhodnutí o tom, zda by malá vodní elektrárna měla být postavena, nebo výběr výsledné koncepce z alternativních návrhových řešení, je obecně založen na srovnání očekávaných nákladů a přínosů pro celou dobu životnosti projektu, a to prostřednictvím kritérií ekonomické analýzy. Tato analýza by měla být provedena již v prvních fázích návrhu (spolu se studií proveditelnosti) pro ověření, že projekt je z technického hlediska proveditelný a je výhodný i z ekonomického hlediska.

Je třeba zdůraznit, že z několika alternativních řešení, které mají stejné přínosy, se pro výsledný návrh vybírá to, které má nižší náklady nebo menší negativní vliv na životní prostředí. Porovnání alternativních projektů nebo konstrukčních řešení s různými náklady a přínosy vyžaduje použití ekonomických kritérií s cílem identifikovat nejhodnější alternativu.

Účinnost ekonomické analýzy jako nástroje pro rozhodování investora MVE závisí na přesnosti vyčíslení investičních a provozních nákladů a výpočtu očekávaných přínosů. Odhad nákladů a přínosů není, zejména v raných fázích návrhu snadný, kdy některé z parametrů hydroenergetického díla jsou pouze předběžně definovány.

### 7.2 NÁKLADY

Celkové náklady MVE mohou být rozděleny do těchto 3 kategorií ([tab. 7.1](#)):

<b>Investiční náklady (kapitálové)</b>	Studie, průzkumy a projekty Supervize v průběhu výstavby Stavební náklady Náklady na technologické zařízení Náklady na pozemky Rezerva a nepředvídané náklady
<b>Roční provozní náklady</b>	Provoz Údržba Náhradní díly
<b>Náklady na rekonstrukci MVE</b>	

Tabulka 7.1 Rozdělení celkových nákladů

**Investiční náklady** se definují jako souhrn všech výdajů na realizaci projektu. Jsou to náklady, vynaložené v období přípravy a realizace projektu (obvykle v období 1 až 3 let).

**Náklady na rekonstrukci** vznikají při nutnosti výměny zařízení s nižší dobou životnosti než je období provozu MVE.

Do investičních nákladů se obvykle přiřazují následující výdaje:

- Studie, průzkumy a projekty
- Supervize v průběhu výstavby
- Realizace stavební části MVE (včetně přístupových komunikací a dočasných objektů zařízení staveniště)
- Náklady na technologické zařízení (včetně strojně technologické a elektrotechnologické části, vnitřních rozvodů a napojení na přenosovou síť)
- Náklady na ribí přechod
- Náklady na výkup pozemků

Do investičních nákladů je třeba také zařadit položku na nepředvídané, neboli rozpočtovou rezervu. Ta reprezentuje náklady na práce, které jsou možné, ale nejsou jisté, nebo se zatím nepředpokládají. Tato položka např. pomáhá překonat nejistotu, že poměry lokality, ve které má být stavba realizována, nejsou zcela známy, zejména v úvodních fázích projektové přípravy a nejsou tedy komplexně zohledněny při návrhu koncepce MVE. Nejistoty se týkají zejména stavební části a mohou např. znamenat podhodnocení objemu výkopů a deponií, nebo podloží s horšími podmínkami pro zakládání objektů, než původní návrh předpokládal.

Náklady na průzkumy, vypracování studie, projektovou dokumentaci a dozor stavby jsou výsledkem jednání mezi investorem a konzultačními firmami. Pokud má investor předchozí zkušenosti z realizace MVE, měl by být schopen pro první ekonomické rozvahy odhadnout tyto náklady v % z nákladů stavební a technologické části MVE.

Stavební náklady jsou vypočteny v projektu z výkazu výměr jednotlivých stavebních objektů přenásobením jednotkovými cenami stavebních prací, které obvykle není obtížné získat na trhu stavebních dodavatelů. Ke stanovení výše nákladů na technologii je možné si vyžádat nabídky od dodavatelů technologického zařízení.

Náklady na výkup (nebo pronájem) pozemků pro realizaci stavby

Náklady na realizaci MVE, vyčíslené v průběhu studie, je třeba pokud možno porovnat s náklady podobné, již realizované stavby, nebo alespoň podobné, dosud nerealizované stavby s již zpracovanou podrobnou realizační dokumentací. Toto porovnání je mnohem důležitější při odhadu investičních nákladů technologické části, protože mnohdy není možné získat od výrobců technologie nabídky v kratší době, než je termín vypracování studie.

Technickými a ekonomickými parametry se zabývá také vyhláška 475/2005 Sb. Ve znění pozdějších předpisů. Která splněním technických a ekonomických parametrů podmiňuje podporu výroby energie. V aktuálním předpise 347/2012 Sb. Jsou jako technicko ekonomické parametry uvedeny:

**Měrné investiční náklady < 150 000 Kč/kWe při ročním využití instalovaného výkonu >4000 kWh/kWe**

Měrné investiční náklady lze brát jako hrubý odhad investičních nákladů. Skutečná cena projektu je závislá na řadě faktorů a liší se případ od případu. Investor ji zjistí po zpracování projektové dokumentace a položkového rozpočtu.

**Roční provozní náklady** jsou náklady na provoz a údržbu MVE po dobu její životnosti

Roční provozní náklady zahrnují následující položky – viz předchozí tabulka:

- Provoz

- Údržba
- Náhradní díly

Provozní náklady zahrnují zejména náklady na pracovníky pro provoz MVE. Tyto náklady je možné redukovat návrhem plně automatického provozu. Tento způsob provozu však vyžaduje další zařízení (např. systémy automatického řízení (SŘTP), telefonní nebo satelitní linky pro telemetrii a výstražné signály).

Náklady na údržbu se skládají z 2 částí:

1. Náklady na údržbu stavební části, které se pohybují obvykle v rozmezí 0,25% až 0,50% investičních nákladů stavební části
2. Náklady na údržbu technologického zařízení, které dosahují cca 2,50% investičních nákladů technologické části

Náklady na náhradní díly zahrnují materiály a součástky, které je třeba mít na skladě, aby bylo možné provádět údržbu a drobné opravy MVE. Tyto náklady lze zařadit do ročních nákladů a vzniknou vždy, když je třeba obnovit zásoby materiálu.

V dalším pokračování této kapitoly budeme předpokládat, že nákup energie vyrobené v MVE je zajištěn bez ohledu na množství vyrobené energie a charakteristikách výroby. Tento scénář je reálný s ohledem na výkup energie z obnovitelných zdrojů, které mají důležitou roli v energetické politice.

### 7.3 UŽITKY

Hlavním užitkem z provozu MVE jsou tržby za dodávku elektrické energie do rozvodné sítě, kde je rozhodující jednotková výkupní cena za 1 MWh dodané energie.

Výpočet roční výroby elektrické energie je uveden v [kapitole 3.8](#).

Pro ceny energie, dodávané z MVE do distribuční sítě platí **Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 1/2014 ze dne 12. listopadu 2014, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie**.

Pro elektřinu vyrobenou z obnovitelných zdrojů energie platí následující podmínky:

(1.1.) Výkupní ceny jsou stanoveny jako minimální ceny podle jiného právního předpisu<sup>4)</sup>. Roční a hodinové zelené bonusy na elektřinu jsou stanoveny pro dané časové období jako pevné hodnoty podle jiného právního předpisu<sup>5)</sup>. V rámci jedné výroby elektřiny nelze kombinovat podporu formou výkupních cen a zelených bonusů na elektřinu.

(1.2.) Roční a hodinové zelené bonusy na elektřinu se uplatňují za elektřinu naměřenou podle jiného právního předpisu<sup>6)</sup> a dodanou v předávacím místě výroby elektřiny a sítě provozovatele distribuční soustavy nebo přenosové soustavy a dodanou výrobcem obchodníkovi s elektřinou nebo zákazníkovi a dále za elektřinu, která je účelně využita v rámci lokální spotřeby výrobce podle jiného právního předpisu. Zelené bonusy a výkupní ceny se neuplatňují za technologickou vlastní spotřebu elektřiny.

---

4) Zákon č. 526/1990 Sb., o cenách, ve znění pozdějších předpisů.

5) Zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů.

6) Vyhláška č. 82/2011 Sb., o měření elektřiny a o způsobu stanovení náhrady škody při neoprávněném odběru, neoprávněné dodávce, neoprávněném přenosu nebo neoprávněné distribuci elektřiny, ve znění pozdějších předpisů.

7) Vyhláška č. 541/2005 Sb., o Pravidlech trhu s elektřinou, zásadách tvorby cen za činnosti operátora trhu s elektřinou a provedení některých dalších ustanovení energetického zákona, ve znění pozdějších předpisů

8) Vyhláška č. 347/2012 Sb., kterou se stanoví technicko-ekonomické parametry obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny a doba životnosti vyroben elektřiny z podporovaných zdrojů, ve znění pozdějších předpisů.

9) Vyhláška č. 140/2009 Sb., o způsobu regulace cen v energetických odvětvích a postupech pro regulaci cen, ve znění pozdějších předpisů.

### (1.6.) Výkupní ceny a roční zelené bonusy na elektřinu pro malé vodní elektrárny:

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu (nebo splnění podmínky bodu 1.6.4.)		Jednotarifní pásmo provozování		Dvoutarifní pásmo provozování	
		od (včetně)	do (včetně)	Výkupní ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]	
						VT	NT
a	b	c	j	k	n	o	
100		-	31.12.2004	2 028	1 208	1 500	1 012
101	Malá vodní elektrárna	1.1.2005	31.12.2013	2 600	1 780	2 270	1 485
102		1.1.2014	31.12.2014	2 549	1 729	-	-
103		1.1.2015	31.12.2015	2 499	1 679	-	-
110		-	31.12.2013	2 600	1 780	2 270	1 485
111	Rekonstruovaná malá vodní elektrárna	1.1.2014	31.12.2014	2 549	1 729	-	-
112		1.1.2015	31.12.2015	2 499	1 679	-	-
120	Malá vodní elektrárna v nových lokalitách	1.1.2006	31.12.2007	2 888	2 068	2 600	1 752
121		1.1.2008	31.12.2009	3 057	2 237	2 600	2 006
122		1.1.2010	31.12.2010	3 322	2 502	2 600	2 403
123		1.1.2011	31.12.2011	3 248	2 428	2 600	2 292
124		1.1.2012	31.12.2012	3 385	2 565	2 600	2 498
125		1.1.2013	31.12.2013	3 361	2 541	2 600	2 462
126		1.1.2014	31.12.2014	3 295	2 475	-	-
127		1.1.2015	31.12.2015	3 230	2 410	-	-

kde: VT - pásmo platnosti vysokého tarifu stanovené provozovatelem distribuční soustavy v délce 8 hodin denně;

NT - pásmo platnosti nízkého tarifu platné v době mimo pásmo platnosti VT.

(1.6.1.) Možnost zařazení výroby elektřiny (špičkové nebo pološpičkové akumulární malé vodní elektrárny 10) do dvoutarifního pásma provozování podle bodu (1. 6.) mají pouze výroby elektřiny, kterým je stanoven špičkový nebo pološpičkový provoz v povolení k nakládání s vodami nebo v jiném povolení nebo rozhodnutí.

(1.6.2.) Malou vodní elektrárnou se rozumí vodní elektrárna s instalovaným výkonem do 10 MW včetně.

(1.6.3.) Novou lokalitou se rozumí lokalita, kde nebyla v období od 1. ledna 1995 včetně připojena výroba elektřiny k přenosové nebo distribuční soustavě.

(1.6.4.) Rekonstruovanou malou vodní elektrárnou podle bodu (1. 6.) se rozumí stávající výroba elektřiny, na které byla po 13. srpnu 2002 provedena a dokončena rekonstrukce nebo modernizace zařízení výroby elektřiny zvyšující technickou, provozní, bezpečnostní a ekologickou úroveň zařízení na úroveň srovnatelnou s nově zřizovanými výrobami elektřiny. Za takovou rekonstrukci nebo modernizaci zařízení se považuje:

- a) výměna nebo generální oprava turbíny;
- b) výměna nebo převinutí generátoru;
- c) oprava elektročásti spočívající v zabránění působení zpětných vlivů na síť a vyhovující ČSN EN 50160;
- d) výměna regulačních zařízení;
- e) výměna nebo instalace nového automatizovaného systému řízení.

Rekonstrukce nebo modernizace zařízení výroby elektřiny je dokončena provedením všech prací uvedených pod písmeny a) až e), přičemž jednotlivé výrobní technologické celky, kterými

je nahrazeno stávající zařízením, nesmí být ke dni ukončení rekonstrukce nebo modernizace starší než 5 let.

(1.6.5.) Malou vodní elektrárnou uvedenou do provozu od 1. ledna 2005 se rozumí taková malá vodní elektrárna, která byla poprvé uvedena do provozu po 1. lednu 2005 včetně, 10) ČSN 75 0120.6 přičemž v okamžiku uvedení do provozu nebyly žádné technologické výrobní celky malé vodní elektrárny starší 5 let. Malou vodní elektrárnou uvedenou do provozu v nové lokalitě se rozumí taková malá vodní elektrárna, jejíž jednotlivé technologické výrobní celky nebyly v okamžiku uvedení malé vodní elektrárny do provozu v nové lokalitě starší 5 let. V případě, že u malých vodních elektráren uvedených do provozu od 1. ledna 2005 budou využity technologické výrobní celky starší 5 let, spadají tyto zdroje do kategorie malých vodních elektráren uvedených do provozu do 31. prosince 2004.

## 7.4 PŘÍJMY Z VÝROBY ENERGIE A BUDOUČÍ REŽIM PRŮTOKŮ

Protože skutečnou výrobu elektrické energie v MVE, která závisí na budoucích průtokových poměrech v profilu odběrného objektu, nelze vypočítat, předpokládá se při ekonomickém vyhodnocení, že výnosy z prodeje elektrické energie jsou konstantní po celou dobu životnosti MVE. Výnosy se počítají z průměrné roční výroby, ať už z řady odvozených denních průtoků v průměrném roce, určeném z dlouhodobé řady pozorování, nebo z čáry překročení průtoků k profilu odběrného objektu MVE.

Nejistota, týkající se budoucího režimu průtoků a tím i budoucí výroby elektrické energie v MVE se pokládá za hydrologické riziko, které, vzhledem k současným klimatickým změnám i předpokládanému budoucímu trendu nabývá na aktuálnosti. Toto riziko může být vyjádřeno např. jako pravděpodobnost budoucího výskytu období suchých let, nebo let s objemem ročního průtoku pod určitou hranicí.

## 7.5 EKONOMICKÁ ANALÝZA – ZÁKLADNÍ POJMY

V úvodu ekonomického hodnocení bude pro přibližný odhad ekonomické efektivity provedena **analýza přínosů a nákladů**.

Analýza je kalkulována jako bezrozměrný podíl

$$\frac{B}{C}$$

kde:

B	tržby (benefits) v tis. Kč
C	provozní náklady (costs) v tis. Kč

Za ekonomicky efektivní lze považovat pouze ty případy, kdy poměr přínosů a nákladů B/C je vyšší než 1.

Pro podrobnější hodnocení ekonomické efektivity bude použita **dynamická finanční analýza**.

Dynamická finanční analýza investice spočívá ve:

- stanovení budoucích **peněžních toků** (cash flow, dále CF),
- zohlednění **časové hodnoty peněz** budoucích peněžních toků **diskontováním** k počátečnímu roku projektu,
- výpočtu zvolených **ukazatelů** finanční analýzy z vypočtených budoucích peněžních toků.



**Peněžním tokem** se rozumí přírůstek nebo úbytek peněžních prostředků za určité období. Jedná se o prostý součet příjmů a všech výdajů (včetně investičních):

$$CF_n = \sum_0^n \text{příjmy, výdaje}$$

Rozhodujícími bilančními položkami v rámci projektů z oblasti malých vodních elektráren jsou:

1. **investiční náklady** - přímé výdaje na pořízení investice MVE
2. **výdaje na provoz - provozní náklady (náklady na údržbu a opravy, přímé materiálové náklady, personální náklady, odpisy)**
3. **příjmy** – výnosy ve formě tržeb za elektrickou energii

Při kalkulaci investičních nákladů je třeba rovněž pamatovat na to, že část investic je třeba pravidelně obnovovat (reinvestovat). U investic typu MVE se jedná zejména o měřicí, automatizační a regulační zařízení, soustrojí a podobně.

Časová hodnota peněz je v dynamické finanční analýze zohledněna diskontováním všech peněžních toků k nulému roku projektu.

Diskontování (odúročení) se provádí podle vzorce:

$$\sum_0^n SH = \sum_0^n \frac{BH_k}{(1+i)^k}$$

kde je:

SH	současná hodnota CF
BH	budoucí hodnota CF
i	diskontní sazba
n	počet období
k	konkrétní období

Jako kritéria finanční analýzy je obvykle použita Čistá současná hodnota (NPV), Vnitřní výnosová míra (IRR) a doba návratnosti vložených investičních prostředků.

### **Čistá současná hodnota**

Čistá současná hodnota (net present value) NPV je kalkulována jako současná hodnota všech (minulých, současných a budoucích) peněžních toků projektu, diskontovaných k roku 0 projektu diskontní sazbou (obvykle 5%).

Nezáporná velikost čisté současné hodnoty toku hotovosti po zdanění za celou dobu životnosti výroben elektřiny, při využití diskontní míry ve výši průměrného váženého nákladu kapitálu je předpokladem pro zajištění patnáctileté doby návratnosti investic při uplatnění podpory výkupními cenami za elektřinu vyrobenou z obnovitelných zdrojů.

NPV lze rovněž definovat jako sumu diskontovaných peněžních toků v průběhu doby hodnocení projektu:

$$NPV = \sum_{t=0}^{t=N} \frac{NCF_n}{(1+i)^t}$$

kde je:

i	diskontní sazba
N	doba zkoumání (životnosti) projektu

$NCF_n$  roční čisté cash-flow v jednotlivých letech projektu

Projekt je považován za udržitelný a přínosný, jestliže je  $NPV > 0$ .

### **Vnitřní výnosová míra**

Vnitřní výnosová míra (internal rate of return) IRR je charakterizována jako diskontní sazba, při níž je současná hodnota budoucích peněžních toků rovna nule:

$$\sum_{t=0}^{t=N} \frac{NCF_n}{(1+i)^t} = 0$$

kde je:

$i$  IRR

$N$  doba zkoumání (životnosti) projektu

$NCF_n$  roční čisté cash-flow v jednotlivých letech projektu

Projekt je považován za udržitelný a přínosný jestliže  $IRR >$  úrokové sazby (např. PRIBOR).

Matematicky jde o řešení soustavy rovnic vyššího řádu, při kterých je úroková míra čisté současné hodnoty výdajů a příjmů rovna nule.

### **Doba návratnosti**

Doba návratnosti (payback period) PBP může být kalkulována jako statická nebo dynamická. Doba návratnosti investičních prostředků je čas, při kterém součet cash-flow (tzv. kumulativní cash-flow) dosáhne kladných hodnot ( $CF > 0$ ).

## 7.6 ANALÝZA CITLIVOSTI

Projekty malých vodních elektráren jsou obvykle charakterizovány nejistotou v odhadech investičních nákladů, budoucích ročních nákladů, budoucí výroby a ceny elektrické energie. Analýza citlivosti by proto měla být provedena s cílem analyzovat schopnost odezvy projektu na různé scénáře. Obvyklé posuzované scénáře jsou následující: zvýšení investičních nákladů a zachování nebo snížení příjmů, nebo, v případě, že odhady nákladů jsou považovány za dostatečně přesné, zachování investičních nákladů a snížení příjmů. Při analýze citlivosti se obvykle uvažují odchylky od  $\pm 10\%$  do  $\pm 20\%$ .

Pokud jde o diskontní sazbu, měly by se posoudit nejméně dvě hodnoty kolem nejpravděpodobnější diskontní sazby: hodnota pesimistická vyšší než očekávaná diskontní sazba a jedna optimistická, nižší než očekávaná diskontní sazba.

Příklad, uvedený v [příloze 4](#) demonstruje důležitost analýzy citlivosti výsledků ekonomického hodnocení na změny hlavních parametrů MVE, zejména:

- Výši roční výroby energie
- Jednotkové ceně za prodej elektrické energie
- Výši investičních nákladů
- Výši úroků z bankovního úvěru.

## 8 ZÁVĚR

Předkládaná metodika stručně popisuje postup přípravy malých vodních elektráren, zásady návrhu, zdůrazňuje některé aspekty návrhu MVE, popisuje metody odhadu nákladů v počátečních fázích přípravy a popisuje metody a postupy ekonomického hodnocení v jednotlivých fázích přípravy a zpracování projektu.

Zvláštní pozornost je v metodice věnována zásadám navrhování MVE na malých, středních a velkých tocích s ohledem na zachování ekologické rovnováhy toku a minimálních zůstatkových průtoků v podmínkách České republiky.

Metodika je, v návaznosti na mapu znázorňující současný stav využití hydroenergetického potenciálu MVE a disponibilní potenciál toků, určena především začínajícím investorům a zájemcům o výstavbu MVE, kapitoly, pojednávající o ekologické rovnováze toků a minimálních zůstatkových průtocích pak pracovníkům vodoprávních úřadů a ochrany přírody **s cílem získat základní přehled a orientaci v problematice přípravy a navrhování malých vodních elektráren.**

Tato metodika si neklade za cíl sloužit jako podrobný manuál pro návrh jednotlivých objektů MVE a jejich technologického vybavení. Jedná se o velmi širokou problematiku, jednotlivým aspektům se věnuje řada odborných publikací, knih a vysokoškolských skript, které nelze shrnout do podrobného manuálu.

Hodnocení ekonomické efektivity je doplněno konkrétními příklady ekonomického hodnocení a finanční analýzy z praxe v jednotlivých fázích přípravy investice. Pokud jde o tabelární uspořádání výsledků ekonomické analýzy, nejedná se o předepsanou, neměnnou úpravu tabulek a výsledky hodnocení je třeba upravit vždy podle konkrétního projektu a požadavků investorů.

**Uvedená metodika by měla sloužit pro základní orientaci investorů, pracovníků vodoprávních úřadů a orgánů ochrany přírody při přípravě a realizaci projektů malých vodních elektráren.**

## 9 POUŽITÁ LITERATURA

- Holata M. - Malé vodní elektrárny projektování a provoz, Academia Praha 2002
- Štoll, Kratochvíl, Holata – Využití vodní energie, SNTL Praha 1977
- ČSN 75 0120 – Vodní hospodářství – Terminologie hydrotechniky
- ČSN 75 2601 – Malé vodní elektrárny – základní požadavky
- Hes St. – Hydroenergetické využití velmi malých spádů v závislosti na ekonomické efektivitě – ČVUT, fakulta elektrotechnická, katedra elektroenergetiky
- VINTR M. – Malé vodní elektrárny kašnového typu, VUT Brno, fakulta strojního inženýrství, 2009
- Mastný P. - Malé zdroje elektrické energie – Vodní energie, UEEN VUT FEKT v Brně
- Gordon J. L. – Hydraulic turbine efficiency – Can. J. Civ. Eng. 28, 2001
- Gordon J. L. – Turbine selection for small low-head hydro developments - conference workshop "INNOVATIVE SMALL HYDRO TECHNOLOGIES" 2003
- IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, Computerized tools for preliminary design, assessment and equipment selection, 2008
- CH2OICE Project - Review of best practices/guidelines for compensation measures for hydropower generation facilities
- ALPINE CONVENTION PLATFORM WATER MANAGEMENT IN THE ALPS – Common guidelines for the use of small hydropower in the Alpine region
- Tuhtan J. A. - Cost optimization of small hydropower, Universität Stuttgart 2007
- European Small Hydropower Association - Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant, 2004
- Ramos H., Almeida A. B., Portela M. M., Almeida H. P. - Guideline for Design of SMALL HYDROPOWER PLANTS, WREAN (Western Regional Energy Agency & Network) and DED (Department of Economic Development), Belfast, North Ireland, 2000.
- Guidelines on the Planning, Design, Construction & Operation of Small-Scale Hydro-Electric Schemes and Fisheries, Central Fisheries Board, Swords Business Campus, Swords Co. Dublin, 2007.
- AHEC/MNRE/SHP Standards/ Civil Works - Guidelines For Hydraulic Design Of Small Hydro Plants, May 2011
- International Hydropower Association IHA – Sustainability Guidelines, 2004
- International Hydropower Association IHA - Sustainability Assessment Protocol, 2006
- DEPARTMENT OF ENERGY ENERGY UTILIZATION MANAGEMENT BUREAU - Manuals and Guidelines for Micro-hydropower Development in Rural Electrification, 2009
- Voros N. G., Kiranoudis C. T., Maroulis Z. B. - Short-cut design of small hydroelectric plants – Renewable Energy, 1999
- Wilson M. E. - Assessment Methods for Small-hydro Projects, International Hydropower Association IHA, 2000
- Bollaert E. - Standardization of civil engineering works of small hydropower plants, lessons in Porto, 2004
- Andaroodi M. - Standardization of civil engineering works of small high-head hydropower plants and development of an optimization tool - Laboratoire de Constructions Hydrauliques Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2006
- Punys P., Dumbrasuskas A., Kvaracius A., Vyciene G. - Tools for Small Hydropower Plant Resource Planning and Development: A Review of Technology and Applications, Energies 2011
- Gordon J. L., Noel C. R., The economic limits of small and low-head hydro - Water Power and Dam Construction V. 38, 1986
- Aggidis G. A., Luchinskaya E., Rotschild R., Howard D. C. – Estimating the costs of small-scale hydropower for the processing of world hydro development, Hydro 2008
- Alvarado-Ancieta C., A. – Estimating E&M powerhouse costs, Water Power and Dam Construction V. 61, 2009
- studie Evropské komise - "Externalities of Energy - Volume 6 Wind and Hydro" EUR 16525 EN

- Pauwels H., DG Tren – Specific cost of installed capacity, THERIE 1984 – 1997, konference HIDROENERGIA'97
- „Scientific and Technological References Energy Technology Indicators“ v rámci informačního systému CORDIS EU, 2002
- Projekt Evropské Unie „Scientific Reference System on New Energy Technologies, Energy End-use Efficiency and Energy RTD“, ukončený v roce 2008
- Externalities of Energy - Volume 6 Wind and Hydro" EUR 16525 EN
- Příklady ekonomické analýzy z projektů, zpracovaných firmou Sweco – Hydroprojekt a.s.
- Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 4/2013 ze dne 27. listopadu 2013, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie.
- Studie využitelnosti „volných profilů“ Povodí Vltavy, státní podnik pro stavbu MVE (SWECO Hydroprojekt 04/2013)



## 10 PŘÍLOHY

# PŘÍLOHA 1 – PŘÍKLAD VÝPOČTU PRŮMĚRNÉ ROČNÍ VÝROBY

## MVE Liběchov (jez Dolní Beřkovice) - výpočet roční výroby

Hydrostatický (hrubý) spád: <b>2,45</b> m	Jmenovitá hlnost turbíny: 43,3 m <sup>3</sup> /s	Maximální provozní spád: 2,43 m
Návrhová hlnost elektrárny: 259,8 m <sup>3</sup> /s	Spád při jmenovité hlnosti: 1,85 m	Minimální provozní spád: 1,50 m
Počet turbosoustrojí: 6 ks	Průměrný průtok řekou: 250,0 m <sup>3</sup> /s	Minimální spád pro start: 1,50 m
Průtok rybím přechodem: 2,2 m <sup>3</sup> /s	Instalovaný výkon elektrárny: 6x 680 kW	Maximální výkon elektrárny: 4023,9 kW
	tj.: 4 080 kW	

při účinnku 0,85 jsou navrhovány stroje 800 kVA

průtok dní v roce	průtok řekou	průtok turbínami	počet turbín v provozu	průtok jednou turbínou	statický (hrubý) spád	ztráta na spádu v česlích	ztráta spádu od dolní vody	čistý spád bloku	účinnost turbíny	účinnost převodu	účinnost generátoru	celková účinnost	výkon jednoho bloku	výkon bloků v provozu	účinnost trafořů	výkon celé elny	výroba elny v čase
	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	ks	m <sup>3</sup> /s	m	m	m	m	%	%	%	%	kW	kW	%	kW	MWh
365	37,5	35,3	2	17,65	2,45	0,02	0,00	2,43	73,0%	98,0%	96,0%	68,7%	289,0	577,9	98,6%	569,8	
360	43,5	41,3	2	20,65	2,45	0,02	0,01	2,42	78,0%	98,0%	96,0%	73,4%	359,7	719,5	98,6%	709,4	76,8
355	50,0	47,8	2	23,90	2,45	0,03	0,02	2,40	83,0%	98,0%	96,0%	78,1%	439,4	878,8	98,6%	866,5	94,6
350	53,5	51,3	2	25,65	2,45	0,03	0,03	2,39	85,0%	98,0%	96,0%	80,0%	480,9	961,8	98,6%	948,4	108,9
345	57,5	55,3	2	27,65	2,45	0,04	0,04	2,37	86,0%	98,0%	96,0%	80,9%	520,1	1040,3	98,6%	1025,7	118,4
340	61,5	59,3	2	29,65	2,45	0,05	0,05	2,35	87,0%	98,0%	96,0%	81,8%	559,5	1118,9	98,6%	1103,3	127,7
335	65,5	63,3	2	31,65	2,45	0,05	0,06	2,34	88,0%	98,0%	96,0%	82,8%	601,5	1203,0	98,6%	1186,2	137,4
330	68,5	66,3	2	33,15	2,45	0,06	0,07	2,32	88,5%	98,0%	96,0%	83,3%	628,2	1256,4	98,6%	1238,8	145,5
325	71,5	69,3	3	23,10	2,45	0,03	0,08	2,34	82,0%	98,0%	96,0%	77,1%	409,1	1227,2	98,6%	1210,1	146,9
320	74,5	72,3	3	24,10	2,45	0,03	0,09	2,33	83,0%	98,0%	96,0%	78,1%	430,1	1290,4	98,6%	1272,4	148,9
315	77,5	75,3	3	25,10	2,45	0,03	0,10	2,32	84,0%	98,0%	96,0%	79,0%	451,4	1354,3	98,6%	1335,4	156,5
310	80,5	78,3	3	26,10	2,45	0,03	0,11	2,31	85,0%	98,0%	96,0%	80,0%	473,0	1418,9	98,6%	1399,1	164,1
305	83,5	81,3	3	27,10	2,45	0,04	0,12	2,29	86,0%	98,0%	96,0%	80,9%	492,6	1477,7	98,6%	1457,0	171,4
300	86,5	84,3	3	28,10	2,45	0,04	0,13	2,28	86,5%	98,0%	96,0%	81,4%	511,5	1534,4	98,6%	1512,9	178,2
295	89,5	87,3	3	29,10	2,45	0,05	0,14	2,26	87,0%	98,0%	96,0%	81,8%	528,1	1584,2	98,6%	1562,0	184,5
290	92,5	90,3	3	30,10	2,45	0,05	0,15	2,25	88,0%	98,0%	96,0%	82,8%	550,0	1650,1	98,6%	1627,0	191,3
285	95,5	93,3	3	31,10	2,45	0,05	0,16	2,24	88,0%	98,0%	96,0%	82,8%	565,8	1697,4	98,6%	1673,6	198,0
280	98,5	96,3	3	32,10	2,45	0,06	0,17	2,22	88,0%	98,0%	96,0%	82,8%	578,8	1736,3	98,6%	1712,0	203,1
275	101,5	99,3	3	33,10	2,45	0,06	0,18	2,21	88,5%	98,0%	96,0%	83,3%	597,5	1792,5	98,6%	1767,4	208,8
270	104,5	102,3	3	34,10	2,45	0,07	0,19	2,19	89,0%	98,0%	96,0%	83,7%	613,4	1840,2	98,6%	1814,5	214,9
265	107,5	105,3	3	35,10	2,45	0,07	0,20	2,18	89,0%	98,0%	96,0%	83,7%	628,5	1885,6	98,6%	1859,2	220,4
260	110,5	108,3	3	36,10	2,45	0,08	0,21	2,16	89,0%	98,0%	96,0%	83,7%	640,5	1921,5	98,6%	1894,6	225,2
255	114,0	111,8	4	27,95	2,45	0,04	0,22	2,19	87,0%	98,0%	96,0%	81,8%	491,5	1965,9	98,6%	1938,4	230,0
250	117,5	115,3	4	28,83	2,45	0,05	0,23	2,17	87,5%	98,0%	96,0%	82,3%	505,1	2020,5	98,6%	1992,2	235,8
245	121,0	118,8	4	29,70	2,45	0,05	0,24	2,16	87,5%	98,0%	96,0%	82,3%	518,1	2072,3	98,6%	2043,2	242,1
240	124,5	122,3	4	30,58	2,45	0,05	0,25	2,15	88,0%	98,0%	96,0%	82,8%	533,9	2135,6	98,6%	2105,7	248,9
235	128,0	125,8	4	31,45	2,45	0,05	0,26	2,14	88,0%	98,0%	96,0%	82,8%	546,6	2186,5	98,6%	2155,9	255,7
230	131,5	129,3	4	32,33	2,45	0,06	0,27	2,12	88,0%	98,0%	96,0%	82,8%	556,6	2226,3	98,6%	2195,1	261,1
225	135,0	132,8	4	33,20	2,45	0,06	0,28	2,11	88,5%	98,0%	96,0%	83,3%	572,2	2288,7	98,6%	2256,7	267,1
220	138,5	136,3	4	34,08	2,45	0,07	0,29	2,09	89,0%	98,0%	96,0%	83,7%	585,0	2339,9	98,6%	2307,1	273,8
215	142,5	140,3	4	35,08	2,45	0,07	0,30	2,08	89,0%	98,0%	96,0%	83,7%	599,3	2397,1	98,6%	2363,5	280,2
210	146,5	144,3	4	36,08	2,45	0,08	0,31	2,06	89,5%	98,0%	96,0%	84,2%	613,9	2455,4	98,6%	2421,0	287,1
205	150,5	148,3	4	37,08	2,45	0,08	0,32	2,05	90,0%	98,0%	96,0%	84,7%	631,3	2525,2	98,6%	2489,9	294,7
200	154,5	152,3	4	38,08	2,45	0,08	0,33	2,04	90,0%	98,0%	96,0%	84,7%	645,2	2580,7	98,6%	2544,6	302,1
195	159,0	156,8	4	39,20	2,45	0,09	0,34	2,02	90,5%	98,0%	96,0%	85,1%	661,4	2645,5	98,6%	2608,5	309,2
190	163,5	161,3	5	32,26	2,45	0,06	0,35	2,04	88,0%	98,0%	96,0%	82,8%	534,5	2672,5	98,6%	2635,1	314,6
185	168,0	165,8	5	33,16	2,45	0,06	0,36	2,03	88,5%	98,0%	96,0%	83,3%	549,8	2749,1	98,6%	2710,6	320,7
180	172,5	170,3	5	34,06	2,45	0,07	0,37	2,01	89,0%	98,0%	96,0%	83,7%	562,3	2811,7	98,6%	2772,3	329,0
175	177,5	175,3	5	35,06	2,45	0,07	0,38	2,00	89,0%	98,0%	96,0%	83,7%	576,0	2879,8	98,6%	2839,5	336,7
170	182,5	180,3	5	36,06	2,45	0,08	0,39	1,99	89,0%	98,0%	96,0%	83,7%	586,5	2932,4	98,6%	2891,3	343,8
165	188,0	185,8	5	37,16	2,45	0,08	0,40	1,97	90,0%	98,0%	96,0%	84,7%	608,1	3040,3	98,6%	2997,8	353,3
160	193,5	191,3	5	38,26	2,45	0,09	0,41	1,96	90,5%	98,0%	96,0%	85,1%	626,3	3131,7	98,6%	3087,9	365,1
155	199,0	196,8	5	39,36	2,45	0,09	0,42	1,94	91,0%	98,0%	96,0%	85,6%	641,3	3206,5	98,6%	3161,6	375,0
150	204,5	202,3	5	40,46	2,45	0,09	0,43	1,93	91,0%	98,0%	96,0%	85,6%	655,8	3279,1	98,6%	3233,2	383,7
145	210,5	208,3	5	41,66	2,45	0,09	0,44	1,92	91,5%	98,0%	96,0%	86,1%	675,5	3377,4	98,6%	3330,1	393,8
140	217,0	214,8	6	35,80	2,45	0,08	0,45	1,92	89,0%	98,0%	96,0%	83,7%	564,6	3387,6	98,6%	3340,2	400,2
135	223,5	221,3	6	36,88	2,45	0,08	0,46	1,91	89,5%	98,0%	96,0%	84,2%	581,9	3491,4	98,6%	3442,6	407,0
130	230,5	228,3	6	38,05	2,45	0,08	0,47	1,90	90,0%	98,0%	96,0%	84,7%	600,5	3603,0	98,6%	3552,6	419,7
125	238,0	235,8	6	39,30	2,45	0,09	0,48	1,88	90,5%	98,0%	96,0%	85,1%	617,1	3702,7	98,6%	3650,8	432,2
120	245,5	243,3	6	40,55	2,45	0,09	0,49	1,87	91,0%	98,0%	96,0%	85,6%	636,9	3821,1	98,6%	3767,6	445,1
115	253,5	251,3	6	41,88	2,45	0,09	0,50	1,86	91,5%	98,0%	96,0%	86,1%	657,9	3947,2	98,6%	3892,0	459,6
<b>110</b>	<b>262,0</b>	<b>259,8</b>	<b>6</b>	<b>43,30</b>	<b>2,45</b>	<b>0,09</b>	<b>0,51</b>	<b>1,85</b>	<b>92,0%</b>	<b>98,0%</b>	<b>96,0%</b>	<b>86,6%</b>	<b>680,2</b>	<b>4081,0</b>	<b>98,6%</b>	<b>4023,9</b>	<b>474,9</b>
105	271,0	268,8	6	42,83	2,45	0,09	0,53	1,83	92,0%	98,0%	96,0%	86,6%	665,5	3993,2	98,6%	3937,3	477,7
100	280,5	278,3	6	41,91	2,45	0,09	0,55	1,81	91,7%	98,0%	96,0%	86,3%	641,9	3851,6	98,6%	3797,7	464,1
95	290,5	288,3	6	40,55	2,45	0,09	0,57	1,79	91,2%	98,0%	96,0%	85,8%	610,9	3665,4	98,6%	3614,1	444,7
90	301,5	299,3	6	39,01	2,45	0,08	0,59	1,78	90,6%	98,0%	96,0%	85,2%	580,7	3483,9	98,6%	3435,2	423,0
85	313,5	311,3	6	37,11	2,45	0,08	0,61	1,76	89,8%	98,0%	96,0%	84,5%	541,4	3248,3	98,6%	3202,8	398,3
80	326,5	324,3	6	35,11	2,45	0,07	0,63	1,75	89,0%	98,0%	96,0%	83,7%	504,7	3028,0	98,6%	2985,6	371,3
75	340,5	338,3	6	33,02	2,45	0,06	0,65	1,74	88,5%	98,0%	96,0%	83,3%	469,3	2815,8	98,6%	2776,4	345,7
70	355,5	353,3	6	30,88	2,45	0,05	0,67	1,73	88,0%	98,0%	96,0%	82,8%	433,9	2603,2	98,6%	2566,8	320,6
65	371,5	369,3	6	28,54	2,45	0,04	0,70	1,71	87,0%	98,0%	96,0%	81,8%	391,9	2351,4	98,6%	2318,4	293,1
60	388,5	386,3	6	26,07	2,45	0,03	0,73	1,69	85,0%	98,0%	96,0%	80,0%	345,7	2074,1	98,6%	2045,0	261,8
55	407,5	405,3	6	23,40	2,45	0,03	0,76	1,66	82,0%	98,0%	96,0%	77,1%	293,9	1763,5	98,6%	1738,8	227,0
50	429,5	427,3	6	20,74	2,45	0,02	0,79	1,64	78,0%	98,0%	96,0%	73,4%	244,9	1469,2	98,6%	1448,6	191,2
45	453,5	451,3	6	18,05	2,45	0,02	0,82	1,61	73,0%	98,0%	96,0%	68,7%	195,8	1174,7	98,6%	1158,3	



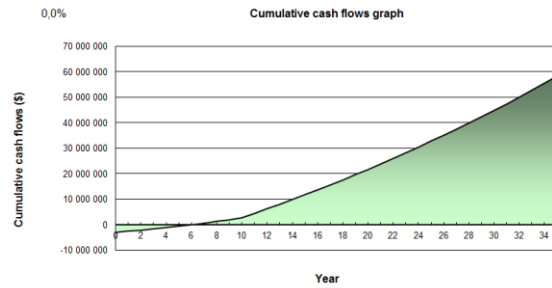
Settings		
<input type="checkbox"/> As fired fuel	<input type="checkbox"/> Ground heat exchanger	<input type="checkbox"/> User-defined fuel - gas
<input type="checkbox"/> Biogas	<input type="checkbox"/> Heat rate	<input type="checkbox"/> User-defined fuel - solid
<input type="checkbox"/> Building envelope properties	<input type="checkbox"/> Heating value & fuel rate	<input type="checkbox"/> Water & steam
<input type="checkbox"/> Appliances & equipment	<input checked="" type="checkbox"/> Hydro formula costing method	<input type="checkbox"/> Water pumping
<input type="checkbox"/> Electricity rate - monthly	<input type="checkbox"/> Landfill gas	<input type="checkbox"/> Window properties
<input type="checkbox"/> Electricity rate - time of use	<input type="checkbox"/> Unit conversion	<input type="checkbox"/> Custom 1
<input type="checkbox"/> GHG equivalence	<input type="checkbox"/> User-defined fuel	<input type="checkbox"/> Custom 2

Hydro formula costing method			
<b>Country</b>	Canada		
Cold climate	yes/no	Yes	
Frost days at site	day	195	
Design flow	m <sup>3</sup> /s	2	2
Gross head	m	150	150
Number of turbines	turbine	1	1
Type		Francis	Francis
Flow per turbine	m <sup>3</sup> /s	2,00	
Turbine runner diameter per unit	m	0,66	
Facility type		Mini	Mini
Existing dam	yes/no	Yes	
New dam crest length	m	25	
Rock at dam site	yes/no	Yes	
Maximum hydraulic losses	%	5,0%	5,0%
Miscellaneous losses	%	1,0%	
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Road construction</b>			
Length	km	15,0	
Tote road only	yes/no	Yes	
Difficulty of terrain		1,0	
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Tunnel</b>			
Length	m	1 700	
Allowable tunnel headloss factor	%	3,0%	
Percent length of tunnel that is lined	%	100%	
Excavation method		Hand-built	
Diameter	m	2,40	
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Canal</b>			
Length in rock	m	50	
Terrain side slope in rock (average)	-	30	
Length in impervious soil	m	0	
Terrain side slope in soil (average)	-	0	
Total canal headloss	m	0,1	
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Penstock</b>			
Length	m	250,0	
Number	penstock	1	
Allowable penstock headloss factor	%	1,0%	
Diameter	m	0,98	
Average pipe wall thickness	mm	6,97	
Distance to borrow pits	km	4,0	
<b>Transmission line</b>			
Grid type		Central-grid	Central-grid
Length	km	20,0	
Difficulty of terrain		1,0	
Voltage	kV	25,0	
<b>Initial costs (credits)</b>	<b>Amount \$</b>	<b>Adjustment factor</b>	<b>Amount \$</b>
Feasibility study	312 000	1,00	312 000
Development	375 000	1,00	375 000
Engineering	226 000	1,00	226 000
<b>Power system</b>			
Hydro turbine	1 018 000	1,00	1 018 000
Road construction	93 000	1,00	93 000
Transmission line	521 000	1,00	521 000
Substation	46 000	1,00	46 000
<b>Balance of system &amp; miscellaneous</b>			
Penstock	282 000	1,00	282 000
Canal	99 000	1,00	99 000
Tunnel	6 166 000	1,00	6 166 000
Other	932 000	1,00	932 000
Subtotal:	7 479 000		7 479 000
<b>Total initial costs</b>	<b>10 070 000</b>		<b>10 070 000</b>
			<b>100,0%</b>
			<b>Relative costs</b>

Emission Analysis				
Base case electricity system (Baseline)		GHG emission factor (excl. T&D)	T&D losses	GHG emission factor
Country - region	Fuel type	tCO <sub>2</sub> /MWh	%	tCO <sub>2</sub> /MWh
Canada	All types	0,186	5,0%	0,196
Electricity exported to grid	MWh	15 980	T&D losses	2,0%
<b>GHG emission</b>				
Base case	tCO <sub>2</sub>	3 135,6		
Proposed case	tCO <sub>2</sub>	62,7		
<b>Gross annual GHG emission reduction</b>	tCO <sub>2</sub>	3 072,9		
GHG credits transaction fee	%	0,0%		
<b>Net annual GHG emission reduction</b>	tCO <sub>2</sub>	3 072,9	is equivalent to	563 <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Cars &amp; light trucks not used</span>
<b>GHG reduction income</b>				
GHG reduction credit rate	\$/tCO <sub>2</sub>	0,00		

**Financial Analysis**

<b>Financial parameters</b>			
Inflation rate	%	2,0%	
Project life	yr	35	
Debt ratio	%	70%	
Debt interest rate	%	7,00%	
Debt term	yr	10	
<b>Initial costs</b>			
Power system	\$	10 000 000	100,0%
Other	\$		0,0%
<b>Total initial costs</b>	\$	10 000 000	100,0%
<b>Incentives and grants</b>			
	\$		0,0%
<b>Annual costs and debt payments</b>			
O&M (savings) costs	\$	200 000	
Fuel cost - proposed case	\$	0	
Debt payments - 10 yrs	\$	996 643	
	\$		
<b>Total annual costs</b>	\$	1 196 643	
<b>Annual savings and income</b>			
Fuel cost - base case	\$	0	
Electricity export income	\$	1 597 976	
	\$		
<b>Total annual savings and income</b>	\$	1 597 976	
<b>Financial viability</b>			
Pre-tax IRR - equity	%	23,0%	
Pre-tax IRR - assets	%	10,3%	
Simple payback	yr	7,2	
Equity payback	yr	6,0	



## PŘÍLOHA 3 - PŘÍKLAD ANALÝZY CASH FLOW VE FÁZI STUDIE PROVEDITELNOSTI

Bylo provedeno ekonomické vyhodnocení rekonstrukce MVE se započtením zbytkové hodnoty stavební a technologické části MVE a nákladů na opravu jezu.

### Výchozí předpoklady:

Průměrná dodávka elektrické energie za rok dle studie .....	1 037 MWh
Výkupní cena energie za 1,0 kWh.....	2,567 Kč
Vlastní ztráty energie.....	2%
Roční provozní náklady stanoveny jako aritmetický průměr z let 2001 – 2010 dle údajů provozovatele se zaokrouhlením ve výši.....	590 000 Kč
Odpisy stanoveny jako aritmetický průměr z let 2001 – 2010 dle údajů provozovatele se zaokrouhlením ve výši .....	548 000 Kč
Vzhledem k tomu, že je hodnocen hrubý zisk před zdaněním, nejsou odpisy do ekonomického hodnocení zahrnuty Zbytková hodnota stavební a technologické části MVE.....	17 790 900 Kč
Orientační náklady na generální opravu MVE .....	3 500 000 Kč
Orientační náklady na reinvestici do technologické části MVE prováděné vždy po 10 letech provozu .....	2 500 000 Kč
Orientační náklady na opravu jezu – sanaci betonů .....	2 000 000 Kč
Odhad nákladů na opravu a doplnění rozrážečů vakového jezu .....	50 000 Kč
Vlastní zdroje .....	zahrnuty do cash - flow a nediskontovány
Hodnocení provedeno pro .....	25 let provozu MVE
Navýšení cen elektrické energie v dalších letech .....	se neuvažuje
Míra inflace .....	se neuvažuje
Diskontní sazba .....	5%
Úvěr .....	s dobou splatnosti 8 let, úrokovou mírou 8%, anuitní splátky úvěru
Doba GO .....	6 měsíců

Analýza cash flow je provedena v Microsoft Excel s využitím běžně dostupných funkcí a vzorců. Příklad výsledků analýzy cash flow je uveden v následujících tabulkách.



## EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ

<b>Lokalita VE:</b>	
<b>Typ turbíny:</b>	Kaplanova přímoproudá bloková s převodem na generátor
<b>Počet turbín:</b>	2
<b>Varianta 4:</b>	Včetně opravy jezu, s kalkulací zbytkové hodnoty MVE, odpisy nezahnutý do kalkulace cash-flow, bankovní úvěr 70%

ODHAD NÁKLADŮ NA GENERÁLNÍ OPRAVU MVE	
Oprava jezu - sanace betonů	2 000 000 Kč
Oprava a doplnění rozřažeců vakového jezu (odhad)	50 000 Kč
Zbytková hodnota stavební a technologické části MVE	17 800 000 Kč
Generální oprava technologie	3 500 000 Kč
<b>NÁKLADY CELKEM</b>	<b>23 350 000 Kč</b>

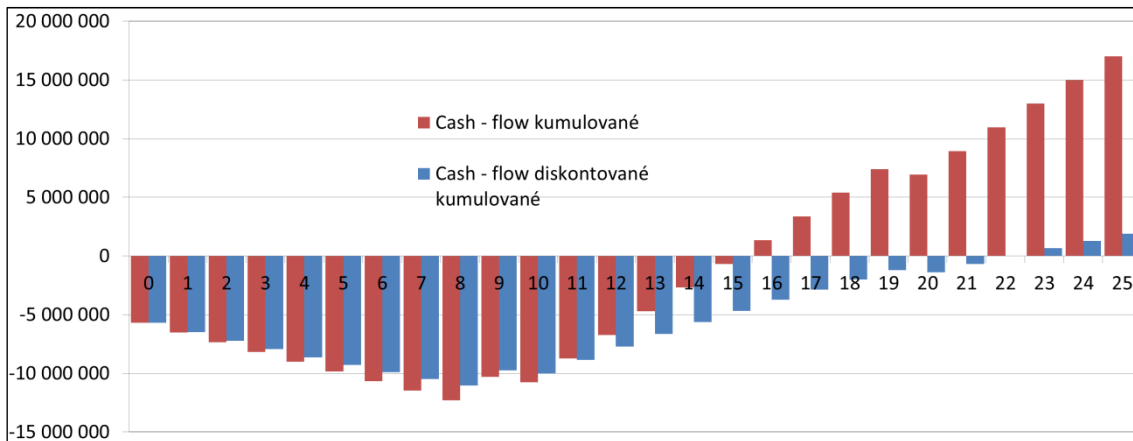
EKONOMICKÉ PARAMETRY		
<b>Posuzovaná doba provozu pro cash-flow</b>	roků	<b>25</b>
<b>Průměrná roční výroba el. energie Er</b>	kWh	<b>1 037 000</b>
<b>Roční tržba za vyrobenou elektrickou energii Cr /Kč/</b>		
kde $C_e$ je výkupní cena za el. energii dodanou do sítě (Kč/kWh)		2,567
Ztráty energie Z (trafo a vlastní spotřeba)	2%	
Roční tržba za vyrobenou elektrickou energii $C_r = C_e \cdot E_r \cdot (1-Z)$		<b>2 608 739 Kč</b>
Zvyšování ceny elektrické energie	0%	ročné
<b>Roční náklady na provoz N<sub>pr</sub> /Kč/ zaokrouleno na tis. Kč</b>		
Spotřeba materiálu a energie		64 000 Kč
Opravy a údržba technologické části		250 000 Kč
Služby		88 000 Kč
Osobní náklady		183 000 Kč
Ostatní náklady		5 000 Kč
<b>Roční náklady celkem</b>		<b>590 000 Kč</b>
<b>Odpisy /Kč/</b>		
Běžné odpisy (stanoveny dle údajů provozovatele se zaokrouhlením na tis. Kč)		548 000 Kč
Odpisy GO technologie	10%	350 000 Kč
Odpisy z opravy jezu		82 000 Kč
Odpisy reinvestice	10%	
<b>Roční odpisy celkem</b>		<b>980 000 Kč</b>
<b>Celkové roční náklady na provoz</b>		<b>590 000 Kč</b>
<b>Náklady na generální opravy technologie</b>		
Reinvestice celkem		2 500 000 Kč
Periodicky po:	10 letech provozu	
Průměrně ročně		250 000 Kč
<b>Hrubý roční zisk Z<sub>r</sub> /Kč/</b>		<b>1 768 739 Kč</b>
$Z_r = C_r - N_{pr} - Ngo$		
<b>Návratnost nákladů hrubým ziskem T<sub>z</sub> /roky/</b>		<b>13,2</b>

OPTIMALIZAČNÍ KRITÉRIA	
Zisk / návratnost K1 (mil Kč)	0,13
Zisk * (životnost-návratnost) K2 (mil.Kč)	20,9
Roční zisk / roční náklady na provoz bez odpisů K3	3,0

DYNAMICKÁ FINANČNÍ ANALÝZA		
<b>Předpoklady:</b>		
Vlastní zdroje zahrnutý do cash - flow a nediskontovány		
Dotace nezahrnutý do cash - flow		
Hodnocení provedeno pro 25 let provozu VE		
Návšení cen elektrické energie v dalších letech	%	nevažuje se
Míra inflace	%	nevažuje se
měna		Kč
diskontní sazba		5%
Úvěr:	dobu splatnosti (let)	8
	úroková míra	8%
anuitní splátky úvěru		
	umořovatel	0,1740

Od uvedení do provozu		Celkem	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
diskontní faktor			1,0000	0,9524	0,9070	0,8638	0,8227	0,7835	0,7462	0,7107	0,6768	0,6446	0,6139	0,5847	0,5568	
<b>Investiční náklady</b>																
Oprava jezu - sanace betonů			2 000 000													
Oprava a doplnění rozražečů vakového jezu (odhad)			50 000													
Zbytková hodnota stavební a technologické části MVE			17 800 000													
Generální oprava technologie			3 500 000													
Reinvestice do technologické části MVE												2 500 000				
<b>Investiční náklady celkem</b>	IN	<b>28 350 000</b>	<b>23 350 000</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2 500 000</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
<b>Financování stavby:</b>																
Vlastní zdroje	30%	7 005 000	7 005 000													
Dotace	0%	0	0													
Úvěr	70%	16 345 000	16 345 000													
<b>Celkem</b>		<b>23 350 000</b>	<b>23 350 000</b>													
Anuitní splátky úvěru včetně úroků		22 754 170		2 844 271	2 844 271	2 844 271	2 844 271	2 844 271	2 844 271	2 844 271	2 844 271					
<b>Provozní náklady:</b>																
Spotřeba materiálu a energie		64 000														
Opravy a údržba technologické části		250 000														
Služby		88 000														
Osobní náklady		183 000														
Ostatní náklady		5 000														
<b>Provozní náklady celkem</b>		<b>590 000</b>		<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	
<b>Odpisy</b>																
Běžné odpisy (stanoveny dle údajů provozovatele se zaokrouhlením na tis. Kč)																
Odpisy GO technologie																
Odpisy z opravy jezu																
Odpisy reinvestice																
<b>Odpisy celkem</b>																
<b>Celkové roční náklady</b>		<b>49 509 170</b>	<b>7 005 000</b>	<b>3 434 271</b>	<b>3 434 271</b>	<b>3 434 271</b>	<b>3 434 271</b>	<b>3 434 271</b>	<b>3 434 271</b>	<b>3 434 271</b>	<b>3 434 271</b>	<b>3 434 271</b>	<b>590 000</b>	<b>3 090 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>
<b>NPV celkových nákladů</b>		<b>36 180 564</b>	<b>7 005 000</b>	<b>3 270 735</b>	<b>3 114 985</b>	<b>2 966 653</b>	<b>2 825 383</b>	<b>2 690 841</b>	<b>2 562 706</b>	<b>2 440 672</b>	<b>2 324 450</b>	<b>380 319</b>	<b>1 896 992</b>	<b>344 961</b>	<b>328 534</b>	
<b>Roční tržba za vyrobenou elektrickou energii</b>		<b>66 522 855</b>	<b>1 304 370</b>	<b>2 608 739</b>	<b>2 608 739</b>	<b>2 608 739</b>	<b>2 608 739</b>	<b>2 608 739</b>	<b>2 608 739</b>	<b>2 608 739</b>	<b>2 608 739</b>	<b>2 608 739</b>	<b>2 608 739</b>	<b>2 608 739</b>	<b>2 608 739</b>	
<b>NPV přínosů</b>		<b>38 071 798</b>	<b>1 304 370</b>	<b>2 484 514</b>	<b>2 366 204</b>	<b>2 253 527</b>	<b>2 146 216</b>	<b>2 044 016</b>	<b>1 946 682</b>	<b>1 853 982</b>	<b>1 765 698</b>	<b>1 681 617</b>	<b>1 601 540</b>	<b>1 525 276</b>	<b>1 452 644</b>	
<b>Cash - flow</b>			-5 700 630	-825 532	-825 532	-825 532	-825 532	-825 532	-825 532	-825 532	-825 532	2 018 739	-481 261	2 018 739	2 018 739	
<b>Cash - flow diskontované</b>			-5 700 630	-786 221	-748 782	-713 125	-679 167	-646 826	-616 025	-586 690	-558 752	1 301 297	-295 452	1 180 315	1 124 110	
<b>Cash - flow kumulované</b>			-5 700 630	-6 526 162	-7 351 694	-8 177 226	-9 002 758	-9 828 289	-10 653 821	-11 479 353	-12 304 885	-10 286 146	-10 767 406	-8 748 667	-6 729 927	
<b>Cash - flow diskontované kumulované</b>			-5 700 630	-6 486 851	-7 235 633	-7 948 758	-8 627 925	-9 274 751	-9 890 776	-10 477 466	-11 036 218	-9 734 921	-10 030 373	-8 850 058	-7 725 948	

Od uvedení do provozu		Celkem	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
diskontní faktor			0,5303	0,5051	0,4810	0,4581	0,4363	0,4155	0,3957	0,3769	0,3589	0,3418	0,3256	0,3101	0,2953
<b>Investiční náklady</b>															
Oprava jezu - sanace betonů															
Oprava a doplnění rozražečů vakového jezu (odhad)															
Zbytková hodnota stavební a technologické části MVE															
Generální oprava technologie															
Reinvestice do technologické části MVE										2 500 000					
<b>Investiční náklady celkem</b>	IN	<b>28 350 000</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2 500 000</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Financování stavby:</b>															
Vlastní zdroje	30%	7 005 000													
Dotace	0%	0													
Úvěr	70%	16 345 000													
<b>Celkem</b>		<b>23 350 000</b>													
Anuitní splátky úvěru včetně úroků		22 754 170													
<b>Provozní náklady:</b>															
Spotřeba materiálu a energie		64 000													
Opravy a údržba technologické části		250 000													
Služby		88 000													
Osobní náklady		183 000													
Ostatní náklady		5 000													
<b>Provozní náklady celkem</b>		<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>
<b>Odpisy</b>															
Běžné odpisy (stanoveny dle údajů provozovatele se zaokrouhlením na tis. Kč)															
Odpisy GO technologie															
Odpisy z opravy jezu															
Odpisy reinvestice															
<b>Odpisy celkem</b>															
<b>Celkové roční náklady</b>		<b>49 509 170</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>3 090 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>	<b>590 000</b>
<b>NPV celkových nákladů</b>		<b>36 180 564</b>	<b>312 890</b>	<b>297 990</b>	<b>283 800</b>	<b>270 286</b>	<b>257 415</b>	<b>245 157</b>	<b>233 483</b>	<b>1 164 589</b>	<b>211 776</b>	<b>201 691</b>	<b>192 087</b>	<b>182 940</b>	<b>174 229</b>
<b>Roční tržba za vyrobenou elektrickou energii</b>		<b>66 522 855</b>	<b>2 608 739</b>	<b>2 608 739</b>	<b>2 608 739</b>	<b>2 608 739</b>	<b>2 608 739</b>	<b>2 608 739</b>	<b>2 608 739</b>	<b>2 608 739</b>	<b>2 608 739</b>	<b>2 608 739</b>	<b>2 608 739</b>	<b>2 608 739</b>	<b>2 608 739</b>
<b>NPV přínosů</b>		<b>38 071 798</b>	<b>1 383 470</b>	<b>1 317 591</b>	<b>1 254 848</b>	<b>1 195 094</b>	<b>1 138 184</b>	<b>1 083 985</b>	<b>1 032 367</b>	<b>983 206</b>	<b>936 387</b>	<b>891 797</b>	<b>849 331</b>	<b>808 886</b>	<b>770 368</b>
<b>Cash - flow</b>			2 018 739	2 018 739	2 018 739	2 018 739	2 018 739	2 018 739	2 018 739	-481 261	2 018 739	2 018 739	2 018 739	2 018 739	2 018 739
<b>Cash - flow diskontované</b>			1 070 581	1 019 601	971 048	924 808	880 769	838 828	798 884	-181 382	724 611	690 106	657 244	625 946	596 139
<b>Cash - flow kumulované</b>			-4 711 188	-2 692 449	-673 709	1 345 030	3 363 770	5 382 509	7 401 249	6 919 988	8 938 727	10 957 467	12 976 206	14 994 946	17 013 685
<b>Cash - flow diskontované kumulované</b>			-6 655 368	-5 635 767	-4 664 719	-3 739 911	-2 859 142	-2 020 314	-1 221 430	-1 402 812	-678 201	11 905	669 148	1 295 095	1 891 234



VÝSLEDKY DYNAMICKÉ FINANČNÍ ANALÝZY:	
Čistá současná hodnota NPV:	1 801 175
Vnitřní míra výnosnosti IRR:	6,18%
Poměr celkových přínosů a nákladů za hodnocené období B/C:	
prostý	1,344
diskontovaný	1,052
doby návratnosti:	
doba návratnosti prostá:	15,33 let
doba návratnosti dynamická:	21,98 let

Čistá současná hodnota NPV je kladná, vnitřní výnosová míra je o něco vyšší než použitý diskontní faktor (použit faktor 5%), statická doba návratnosti je 15,99 let, dynamická doba návratnosti je 23,75 let, obě jsou nižší než doba hodnocení investice (25 let). Projekt této MVE není sice vysoce výnosný, ale je dlouhodobě udržitelný. Výnosnost by se zvýšila, pokud by oprava jezu, který je v majetku Povodí, byla hrazena z provozních prostředků správce toku.

## PŘÍLOHA 4 - PŘÍKLAD PODROBNÉHO BUSSINES PLANU S ANALÝZOU CITLIVOSTI

Uvedený příklad hodnotí projekt kaskády 2 derivačních MVE ve střední Asii. Náklady jsou v EUR, do hodnocení jsou promítnuty místní ceny a legislativa.

### BASIC PARAMETERS

No.	Parameter	Value
<b>Loan Conditions</b>		
1	Debt Ratio	70%
2	Interest Rate on Loan	6,00%
3	LIBOR	1,92%
5	Loan duration (years)	10
<b>Energy Revenues</b>		
7	Energy Selling Price (EUR/kWh)	0,05
8	Energy Price Indexation in following years	7,0%
<b>Costs</b>		
9	Construction Period (month)	18
10	Interests during construction	6,00%
12	Operating Costs (percentage of Net Investment Costs)	1,5%
13	Annual Cost Increases for Operating Costs	6,0%
15	Inflation Rate	8,0%
16	Income Tax on Profit	10,0%
17	Asset Tax - % of annual net book value of fixed assets	0,6%
<b>Actualization Parameters</b>		
18	Discount Rate of Equity	15,0%
19	Discount Rate at WACC of	8,3%
20	Calculated SHPP life span (years)	30

Přiložený výpočet obsahuje mezinárodně používané pojmy a parametry, všeobecně známé i v české ekonomické literatuře. Stručný výklad pojmů je uveden, kromě již dříve definovaných parametrů NPV a IRR, v následujícím přehledu.

angličtina	čeština
<b>Total Revenues</b>	Příjmy celkem
<b>Total Expenses</b>	Výdaje celkem
<b>EBITDA</b> - Earnings before Interests, Taxes, Depreciation and Amortization	Zisk před započtením úroků, daní, odpisů a amortizace
<b>EBIT</b> - Earnings before Interests and Taxes	Zisk před zdaněním a úroky
<b>EBT</b> - Earnings before Taxes	Zisk před zdaněním
<b>Asset Tax</b>	Daň z majetku
<b>Income Tax</b>	Daň z příjmu
<b>DSCR</b> – Debt Service Coverage Ratio	Krytí dluhové služby – poměr hotovosti k dispozici pro dluhovou službu na úrok, jistinu a splátky

<p><b>WACC</b> – Weighted Average Cost of Capital</p>	<p>Průměrné náklady kapitálu</p> <p>Výpočet:</p> $WACC = r_d(1 - t) \times \frac{D}{C} + r_e \times \frac{E}{C}$ <p>kde:</p> <p><math>r_d</math> jsou náklady na cizí kapitál (úrok)</p> <p><math>t</math> je sazba daně z příjmů právnických osob</p> <p><math>D</math> (Debet) je <u>cizí kapitál</u> (dluhy)</p> <p><math>C</math> je celkový dlouhodobě investovaný kapitál</p> <p><math>r_e</math> jsou náklady na vlastní (akciový) kapitál (očekávaná výnosnost vlastního kapitálu)</p> <p><math>E</math> (Equity) je <u>vlastní kapitál</u></p>
<p><b>PBP</b> – Payback Period</p>	<p>Doba návratnosti</p>



Estimated energy production in average year	Measure unit	Total	Years																				
			-2	-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
The volume of production by products																							
A. Total production	KWH	-	30 591 476	65 473 893	65 473 893	65 473 893	65 473 893	65 473 893	65 473 893	65 473 893	65 473 893	65 473 893	65 473 893	65 473 893	65 473 893	65 473 893	65 473 893	65 473 893	65 473 893	65 473 893	65 473 893	65 473 893	
Production of SHPP 1	KWH	894 812 224	28 152 732	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	
Production of SHPP 2			2 438 745	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	
Production of SHPP 3																							
Production of SHPP 4																							
B. Price per unit	EUR/KWh		0,050	0,054	0,057	0,061	0,066	0,070	0,075	0,080	0,086	0,092	0,098	0,105	0,113	0,120	0,129	0,138	0,148	0,158	0,169	0,181	0,193
C. Value of production	EUR	307 491 649	1 529 574	3 502 853	3 748 053	4 010 417	4 291 146	4 591 526	4 912 933	5 256 838	5 624 817	6 018 554	6 439 853	6 890 643	7 372 988	7 889 097	8 441 333	9 032 227	9 664 483	10 340 996	11 064 866	11 839 407	12 668 165
D. Total ( EUR)		-	1 529 574	3 502 853	3 748 053	4 010 417	4 291 146	4 591 526	4 912 933	5 256 838	5 624 817	6 018 554	6 439 853	6 890 643	7 372 988	7 889 097	8 441 333	9 032 227	9 664 483	10 340 996	11 064 866	11 839 407	12 668 165

**TABLE OF SALES AND INCOME**

Forecasted sales	Measure unit	Total	Years																				
			-2	-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
A. The volume of sales by product																							
Production of SHPP 1	KWH	-	28 152 732	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810	29 884 810
Production of SHPP 2	KWH		2 438 745	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083	35 589 083
Production of SHPP 3	KWH		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Production of SHPP 4	KWH		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B. Price per unit		0	0,050	0,054	0,057	0,061	0,066	0,070	0,075	0,080	0,086	0,092	0,098	0,105	0,113	0,120	0,129	0,138	0,148	0,158	0,169	0,181	0,193
Outages*	2%		2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
C. Value of sales (AxB)		-	1 498 982	3 432 796	3 673 082	3 930 208	4 205 323	4 499 696	4 814 674	5 151 701	5 512 321	5 898 183	6 311 056	6 752 830	7 225 528	7 731 315	8 272 507	8 851 582	9 471 193	10 134 176	10 843 569	11 602 619	12 414 802
D. Total ( EUR)		301 341 816	1 498 982	3 432 796	3 673 082	3 930 208	4 205 323	4 499 696	4 814 674	5 151 701	5 512 321	5 898 183	6 311 056	6 752 830	7 225 528	7 731 315	8 272 507	8 851 582	9 471 193	10 134 176	10 843 569	11 602 619	12 414 802

\* For the economic evaluation 2% of the theoretical energy has been taken off in order to take into account outages due to grid failure and unplanned maintenance. It corresponds to 7 days per year.

CDM revenues	Values in EUR	Year	Construction Period			Operation Period																			
			-3	-2	-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Net Energy Sales	301 341 816				1 498 982	3 432 796	3 673 092	3 930 208	4 205 323	4 499 696	4 814 674	5 151 701	5 512 321	5 898 183	6 311 056	6 752 830	7 225 528	7 731 315	8 272 507	8 851 582	9 471 193	10 134 176	10 843 569	11 602 619	12 414 802
CDM revenues (10 years starting from Yr1)	-				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total Revenues</b>	<b>301 341 816</b>				<b>1 498 982</b>	<b>3 432 796</b>	<b>3 673 092</b>	<b>3 930 208</b>	<b>4 205 323</b>	<b>4 499 696</b>	<b>4 814 674</b>	<b>5 151 701</b>	<b>5 512 321</b>	<b>5 898 183</b>	<b>6 311 056</b>	<b>6 752 830</b>	<b>7 225 528</b>	<b>7 731 315</b>	<b>8 272 507</b>	<b>8 851 582</b>	<b>9 471 193</b>	<b>10 134 176</b>	<b>10 843 569</b>	<b>11 602 619</b>	<b>12 414 802</b>
Operating Costs	23 944 131			183 169	322 665	342 025	362 546	384 299	407 357	431 798	457 706	485 168	514 278	545 135	577 843	612 514	649 265	688 221	729 514	773 285	819 682	868 863	920 994	976 254	
Land Lease	378 199	5000	5000	5000	5 000	5 300	5 618	5 955	6 312	6 691	7 093	7 518	7 969	8 447	8 954	9 491	10 061	10 665	11 305	11 983	12 702	13 464	14 272	15 128	
Insurance	1 330 132			25 123	45 000	45 000	45 000	45 000	45 000	45 000	45 000	45 000	45 000	45 000	45 000	45 000	45 000	45 000	45 000	45 000	45 000	45 000	45 000	45 000	
Fee for use of water in HEC	-			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Regulator Fee	-			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Total Expenses</b>	<b>25 652 462</b>	<b>5 000</b>	<b>5 000</b>	<b>213 293</b>	<b>372 665</b>	<b>392 325</b>	<b>413 164</b>	<b>435 254</b>	<b>458 669</b>	<b>483 490</b>	<b>509 799</b>	<b>537 687</b>	<b>567 248</b>	<b>598 583</b>	<b>631 798</b>	<b>667 006</b>	<b>704 326</b>	<b>743 886</b>	<b>785 819</b>	<b>830 268</b>	<b>877 384</b>	<b>927 327</b>	<b>980 266</b>	<b>1 036 382</b>	
<b>EBITDA</b>	<b>275 689 354</b>	<b>-5 000</b>	<b>-5 000</b>	<b>1 285 690</b>	<b>3 060 131</b>	<b>3 280 767</b>	<b>3 517 044</b>	<b>3 770 069</b>	<b>4 041 026</b>	<b>4 331 185</b>	<b>4 641 903</b>	<b>4 974 634</b>	<b>5 330 935</b>	<b>5 712 473</b>	<b>6 121 032</b>	<b>6 558 522</b>	<b>7 026 989</b>	<b>7 528 621</b>	<b>8 065 764</b>	<b>8 640 925</b>	<b>9 256 793</b>	<b>9 916 242</b>	<b>10 622 352</b>	<b>11 378 420</b>	
Depreciation	21 510 978				912 777	912 777	912 777	912 777	912 777	912 777	912 777	912 777	912 777	912 777	912 777	912 777	912 777	912 777	912 777	912 777	521 288	521 288	521 288	521 288	
<b>EBIT</b>	<b>-5 000</b>	<b>-5 000</b>	<b>1 285 690</b>	<b>2 147 354</b>	<b>2 367 990</b>	<b>2 604 267</b>	<b>2 857 292</b>	<b>3 128 249</b>	<b>3 418 408</b>	<b>3 729 125</b>	<b>4 061 857</b>	<b>4 418 158</b>	<b>4 799 696</b>	<b>5 208 255</b>	<b>5 645 745</b>	<b>6 114 212</b>	<b>6 615 844</b>	<b>7 152 986</b>	<b>7 735 505</b>	<b>8 359 954</b>	<b>9 027 954</b>	<b>9 799 954</b>	<b>10 610 064</b>	<b>11 478 131</b>	
Interest Income	-																								
Interest expense	6 693 286				1 119 654	1 034 708	944 666	849 221	748 049	640 806	527 130	406 632	278 905	143 514											
Other expenses (Fin. Costs)	-																								
<b>EBT</b>	<b>248 006 377</b>	<b>-5 000</b>	<b>-5 000</b>	<b>1 285 690</b>	<b>1 027 700</b>	<b>1 333 282</b>	<b>1 659 601</b>	<b>2 008 071</b>	<b>2 380 200</b>	<b>2 777 601</b>	<b>3 201 996</b>	<b>3 655 224</b>	<b>4 139 253</b>	<b>4 656 182</b>	<b>5 208 255</b>	<b>5 645 745</b>	<b>6 114 212</b>	<b>6 615 844</b>	<b>7 152 986</b>	<b>7 735 505</b>	<b>8 359 954</b>	<b>9 027 954</b>	<b>9 799 954</b>	<b>10 610 064</b>	
Loss Carryforward	-																								
<b>Taxable Income</b>	<b>248 006 377</b>	<b>-5 000</b>	<b>-5 000</b>	<b>1 285 690</b>	<b>1 027 700</b>	<b>1 333 282</b>	<b>1 659 601</b>	<b>2 008 071</b>	<b>2 380 200</b>	<b>2 777 601</b>	<b>3 201 996</b>	<b>3 655 224</b>	<b>4 139 253</b>	<b>4 656 182</b>	<b>5 208 255</b>	<b>5 645 745</b>	<b>6 114 212</b>	<b>6 615 844</b>	<b>7 152 986</b>	<b>7 735 505</b>	<b>8 359 954</b>	<b>9 027 954</b>	<b>9 799 954</b>	<b>10 610 064</b>	
Annual net book value of fixed assets	-				9 159 389	8 246 612	7 333 834	6 421 057	5 508 280	4 595 503	3 682 726	2 769 949	1 857 172	944 395	31 618	-881 159	-1 793 937	-2 706 714	-3 619 491	-4 540 779	-5 492 067	-6 462 067	-7 458 067	-8 478 067	
Asset Tax	(322 720)			60 433	54 956	49 480	44 003	38 526	33 050	27 573	22 096	16 620	11 143	5 666	190	-5 287	-10 764	-16 240	-21 717	-28 845	-37 972	-48 000	-59 000	-70 000	
Income Tax	24 801 138			128 569	102 770	133 328	165 960	200 807	238 020	277 760	320 200	365 522	413 925	465 618	520 825	564 574	611 421	661 584	715 299	773 954	833 500	899 954	970 000	1 045 000	
<b>Net Income (EAT)</b>	<b>-5 000</b>	<b>-5 000</b>	<b>1 096 688</b>	<b>869 973</b>	<b>1 150 474</b>	<b>1 449 638</b>	<b>1 768 738</b>	<b>2 109 131</b>	<b>2 472 268</b>	<b>2 859 700</b>	<b>3 273 082</b>	<b>3 714 184</b>	<b>4 184 897</b>	<b>4 687 240</b>	<b>5 086 457</b>	<b>5 513 554</b>	<b>5 970 500</b>	<b>6 459 405</b>	<b>6 973 518</b>	<b>7 522 926</b>	<b>8 110 926</b>	<b>8 742 926</b>			

Investor's IRR	22,6%	Investor's NPV	EUR 7 325 553
Min. DSCR	114,5%	at rate of equity of	15,0%
Payback Period (in years after Start of Operation)	6,84		
Project IRR (100% Equity Financed)	16,9%	Project NPV	EUR 33 080 776
Payback Period (in years after Start of Operation)	6,66	at WACC of	8,3%
Project IRR (Total)	12,1%	Total Project NPV	EUR 18 147 770
Payback Period (in years after Start of Operation)	11,94	at WACC of	8,3%

Values in EUR	Year	-3	-2	-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Development</b>														
Development capital expenditure	(24 564 512)	(2 469 193)	(15 279 148)	(6 816 171)										
Interest during construction	(2 093 924)	(65 358)	(636 443)	(1 392 123)										
Total	(26 658 436)	(2 534 552)	(15 915 590)	(8 208 294)										
<b>Funding</b>														
Equity funding	7 997 531	760 365	4 774 677	2 462 488										
Debt funding	18 660 905	1 774 186	11 140 913	5 745 806										
Total	26 658 436	2 534 552	15 915 590	8 208 294										
<b>Debt service</b>														
Interest					(1 119 654)	(1 034 708)	(944 666)	(849 221)	(748 049)	(640 806)	(527 130)	(406 632)	(278 905)	(143 514)
Principal repayment					(1 415 765)	(1 500 711)	(1 590 753)	(1 686 199)	(1 787 370)	(1 894 613)	(2 008 289)	(2 128 787)	(2 256 514)	(2 391 905)
Total					(2 535 419)	(2 535 419)	(2 535 419)	(2 535 419)	(2 535 419)	(2 535 419)	(2 535 419)	(2 535 419)	(2 535 419)	(2 535 419)
<b>Debt calculations</b>														
<b>Debt Account</b>														
Balance B/f			1 774 186	12 915 099	18 660 905	17 245 140	15 744 430	14 153 676	12 467 478	10 680 108	8 785 495	6 777 206	4 648 419	2 391 905
Drawdowns		1 774 186	11 140 913	5 745 806	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Repayments		-	-	-	(1 415 765)	(1 500 711)	(1 590 753)	(1 686 199)	(1 787 370)	(1 894 613)	(2 008 289)	(2 128 787)	(2 256 514)	(2 391 905)
Balance C/f		1 774 186	12 915 099	18 660 905	17 245 140	15 744 430	14 153 676	12 467 478	10 680 108	8 785 495	6 777 206	4 648 419	2 391 905	0
<b>Interest</b>														
Rate					6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%
Amount payable	6 693 286				1 119 654	1 034 708	944 666	849 221	748 049	640 806	527 130	406 632	278 905	143 514
Payment remaining					10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
<b>Calculation of principal repayment</b>														
Annuity					2 535 419	2 535 419	2 535 419	2 535 419	2 535 419	2 535 419	2 535 419	2 535 419	2 535 419	2 535 419
Less interest					(1 119 654)	(1 034 708)	(944 666)	(849 221)	(748 049)	(640 806)	(527 130)	(406 632)	(278 905)	(143 514)
Principal repayment					1 415 765	1 500 711	1 590 753	1 686 199	1 787 370	1 894 613	2 008 289	2 128 787	2 256 514	2 391 905

### INTERESTS DURING CONSTRUCTION

Year	Trimester	Costs	Total costs	Trimester Interests
2015	Q1	298 263	298 263	4 474
	Q2	383 559	681 821	10 227
	Q3	226 115	907 936	13 619
	Q4	1 561 257	2 469 193	37 038
<b>2015 Total</b>		<b>2 469 193</b>	<b>2 469 193</b>	<b>65 358</b>
2016	Q1	2 182 141	4 651 334	69 770
	Q2	3 411 941	8 063 276	120 949
	Q3	3 903 278	11 966 553	179 498
	Q4	5 781 788	17 748 341	266 225
<b>2016 Total</b>		<b>15 279 148</b>	<b>17 748 341</b>	<b>636 443</b>
2017	Q1	3 125 154	20 873 495	313 102
	Q2	2 152 179	23 025 673	345 385
	Q3	1 318 839	24 344 512	365 168
	Q4	220 000	24 564 512	368 468
<b>2017 Total</b>		<b>6 816 171</b>	<b>24 564 512</b>	<b>1 392 123</b>
<b>Grand Total</b>		<b>24 564 512</b>	<b>24 564 512</b>	<b>2 093 924</b>

## Příklad analýzy citlivosti

Initial investment		80%	85%	90%	95%	100%	105%	110%	115%	120%
Investor's	NPV	2 552 679	1 983 794	1 414 910	846 025	277 140	-291 745	-860 630	-1 429 515	-1 998 400
	IRR	28,88%	26,99%	25,33%	23,88%	22,58%	21,42%	20,38%	19,43%	18,57%
	Min DSCR	144%	136%	128%	121%	114%	109%	104%	99%	95%
	Payback period	4,24	4,83	5,46	6,14	6,84	7,57	8,33	9,11	9,89
Project	NPV	23 712 767	22 587 740	21 462 713	20 337 686	19 212 659	18 087 632	16 962 605	15 837 578	14 712 551
	IRR	19,88%	19,02%	18,25%	17,54%	16,89%	16,30%	15,74%	15,23%	14,75%
	Payback period	5,43	5,75	6,06	6,36	6,66	6,96	7,25	7,54	7,83

Energy tariffs		0,040	0,045	0,050	0,055	0,060	0,065	0,070	0,075
Investor's	NPV	-2 095 701	-909 281	277 140	1 463 560	2 649 980	3 836 401	5 022 821	6 209 242
	IRR	17,7%	20,1%	22,6%	25,1%	27,7%	30,4%	33,1%	35,8%
	Min DSCR	90%	102%	114%	127%	139%	151%	163%	175%
	Payback period	10,32	8,53	6,84	5,56	4,59	3,86	3,28	2,83
Project	NPV	10 765 782	14 989 221	19 212 659	23 436 097	27 659 536	31 882 974	36 106 412	40 329 851
	IRR	14,3%	15,6%	16,9%	18,1%	19,3%	20,5%	21,7%	22,8%
	Payback period	8,15	7,33	6,66	6,10	5,62	5,21	4,86	4,54

Interest rate		2,92%	5,00%	6,00%	7,00%	8,00%	10,00%	11,00%
Investor's	NPV	1 331 631	631 223	277 140	-88 332	-465 269	-1 253 781	-1 665 454
	IRR	25,0%	23,4%	22,6%	21,8%	21,1%	19,7%	19,0%
	Min DSCR	136%	121%	114%	109%	103%	93%	89%
	Payback period	5,36	6,31	6,84	7,42	8,08	9,54	10,14
Project	NPV	31 583 286	22 678 427	19 212 659	16 177 494	13 514 051	9 109 260	7 288 651
	IRR	16,81%	16,87%	16,89%	16,92%	16,96%	17,02%	17,06%
	Payback period	6,73	6,69	6,66	6,64	6,61	6,55	6,53

Electricity Production		70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
Investor's	NPV	-3 282 122	-2 688 911	-2 095 701	-1 502 491	-909 281	-316 071	277 140
	IRR	15,3%	16,5%	17,7%	18,9%	20,1%	21,3%	22,6%
	Min DSCR	78%	84%	90%	96%	102%	108%	114%
	Payback period	11,50	10,88	10,32	9,57	8,53	7,62	6,84
Project	NPV	6 542 344	8 654 063	10 765 782	12 877 501	14 989 221	17 100 940	19 212 659
	IRR	12,83%	13,55%	14,26%	14,94%	15,61%	16,26%	16,89%
	Payback period	9,16	8,62	8,15	7,72	7,33	6,99	6,66

Electricity Production		105%	110%	115%	120%	125%	130%
Investor's	NPV	870 350	1 463 560	2 056 770	2 649 980	3 243 191	3 836 401
	IRR	23,8%	25,1%	26,4%	27,7%	29,0%	30,4%
	Min DSCR	121%	127%	133%	139%	145%	151%
	Payback period	6,16	5,56	5,05	4,59	4,20	3,86
Project	NPV	21 324 378	23 436 097	25 547 816	27 659 536	29 771 255	31 882 974
	IRR	17,52%	18,14%	18,74%	19,34%	19,93%	20,51%
	Payback period	6,37	6,10	5,86	5,62	5,41	5,21

Discount Rate of Equity		8%	10%	12%	14%	16%	18%	20%	22%
Equity funding		7 997 531							
Investor's NPV		35 991 040	23 087 840	14 782 696	9 328 696	5 679 365	3 195 463	1 478 925	277 140
Investor's NPV/Equity		450,0%	288,7%	184,8%	116,6%	71,0%	40,0%	18,5%	3,5%
Total Project funding		26 658 436							
Project NPV (100% equity financed)		55 093 216	47 702 110	41 257 978	35 627 228	30 696 596	26 369 870	22 565 166	19 212 659
at WACC of		6,2%	6,8%	7,4%	8,0%	8,6%	9,2%	9,8%	10,4%
Project NPV/Total Project funding		206,7%	178,9%	154,8%	133,6%	115,1%	98,9%	84,6%	72,1%

Repayment of the loan (years)		13	10	8
Investor's	NPV	898 633	277 140	-253 800
	IRR	24,0%	22,6%	21,5%
	Min DSCR	137,7%	114%	96,6%
	Payback period	5,42	6,84	8,31
Project	NPV	19 278 337	19 212 659	19 163 306
	IRR	16,9%	16,89%	16,9%
	Payback period	6,65	6,66	6,68

Investor's NPV at rate of equity of 22,0%  
 Project NPV (100% Equity Financed) at WACC of 10,4%