

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

Návrh malé vodní elektrárny

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

Author

MARTIN VYSOUDIL

BRNO 2009

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané semestrální práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 15.4.2009

Martin Vysoudil



Vysoké učení technické v Brně



**Fakulta elektrotechniky a komunikačních
technologií
Ústav elektroenergetiky**

Bakalářská práce
**NÁVRH MALÉ VODNÍ
ELEKTRÁRNY**

Martin Vysoudil

**vedoucí: Ing. Martin Belatka
Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT, 2009**

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering**

Bachelor's Thesis

The project of the small water power station

**by
Martin Vysoudil**

**supervisor: Ing. Martin Belatka
Brno University of Technology, 2009**

Brno

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce nás v první části seznamuje se všeobecnou teorií malých vodních elektráren. V druhé části se řeší konstrukce malé vodní elektrárny pro konkrétní podmínky dané vybranou lokalitou. Na závěr je návrh zhodnocen z ekonomického hlediska.

KLÍČOVÁ SLOVA: malá vodní elektrárna; energie vody; vodní turbína; generátor;

ABSTRACT

The first part of this bachelor's work discuss about general theory of small water power station. The second part addresses the construction of small hydropower plants for specific conditions of the selected locations. At conclusion the project is assessed from economical point of view.

KEY WORDS: small water-power station; water energy; water turbine; generator

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

Zároveň bych na tomto místě chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Belatkovi za cenné rady a připomínky k mé práci, poskytnutou literaturu a svým rodičům za podporu během celé doby mého studia.

.....
Martin Vysoudil

OBSAH

Seznam obrázků.....	10
Seznam tabulek.....	11
Seznam symbolů a zkratk.....	12
1 Teorie MVE.....	14
1.1 Úvod.....	14
1.2 Popis MVE.....	14
1.2.1 Vtokový objekt.....	14
1.2.1.1 Beztlakové vtokové objekty.....	14
1.2.1.2 Jednotlivé části beztlakového vtokového objektu.....	15
1.2.1.3 Tlakové vtokové objekty.....	16
1.2.1.4 Tvarování tlakových vtoků.....	16
1.2.1.5 Česle.....	16
1.2.1.6 Stavidlo.....	17
1.2.2 Přiváděče a odpady.....	18
1.2.2.1 Beztlakové přiváděče a odpady.....	18
1.2.2.2 Konstrukční řešení přiváděčů a odpadů.....	18
1.2.2.3 Hydraulické řešení kanálů.....	19
1.2.2.4 Tlakové přiváděče a odpady.....	22
1.2.3 Strojní část MVE.....	22
1.2.3.1 Provozní objekt.....	22
1.2.3.2 Vodní motory a jejich dělení.....	23
1.2.3.3 Vodní kola.....	23
1.2.3.4 Turbíny.....	23
1.2.3.5 Savky přetlakových turbín.....	26
1.2.3.6 Převody.....	27
1.2.3.7 Uzávěry.....	28
1.2.3.8 Generátory.....	28
2 Výběr lokality.....	31
2.1 Lokalita.....	31
2.2 Popis lokality.....	31
2.3 Hydrologické údaje.....	32
2.4 Koncepční a dispoziční řešení MVE.....	33
3 Návrh strojní části MVE.....	33
3.1 Hydroenergetické řešení MVE.....	33
3.2 Turbína.....	35
3.3 Převody.....	39
3.4 Regulace.....	39

3.5 Asynchronní generátor.....	41
4 Návrh silnoproudé části	43
4.1 Kompenzace jalového výkonu.....	43
4.2 Elektrické schéma	47
4.3 Schéma vlastní spotřeby.....	49
4.4 Varianty vyvedení výkonu.....	50
4.4.1 Napojení MVE na síť.....	50
4.4.2 Elektrická přípojka.....	50
4.5 Měření.....	51
4.6 Ochrany.....	52
4.7 Stavební úpravy MVE.....	53
5 Ekonomické zhodnocení.....	58
5.1 Náklady na realizaci.....	58
5.1.1 Náklady na stavební úpravy MVE.....	58
5.1.2 Strojní vybavení.....	58
5.1.3 Elektrotechnické vybavení.....	58
5.1.4 Projekt a poplatky.....	59
5.1.5 Provozní náklady za období jednoho roku.....	59
5.1.6 Celkové náklady na realizaci MVE.....	59
5.2 Ceny, bonusy, zvýhodnění.....	59
5.3 Hodnocení efektivity investic a ziskovosti.....	60
5.3.1 Výnos MVE.....	60
5.3.2 Metody hodnocení efektivity investic.....	61
5.4 Předpokládaná návratnost.....	65
6 Závěr.....	66
Použitá literatura.....	67

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2-1 Lokalita vybraná pro návrh MVE</i>	31
<i>Obr. 2-2 Odtoková křivka</i>	32
<i>Obr. 3-1 Oblasti použití různých typů turbíny [4]</i>	35
<i>Obr. 3-2 Bánkiho turbína [5]</i>	36
<i>Obr. 3-3 Graf určující součinitel k_{1d} [4]</i>	36
<i>Obr. 3-4 Průběh účinnosti [5]</i>	38
<i>Obr. 3-5 Možná podoba převodu [2]</i>	39
<i>Obr. 3-6 Odtoková křivka+regulace</i>	40
<i>Obr. 3-7 Řídící systém MVE</i>	41
<i>Obr. 3-8 Účinnost a účinník generátoru při daném zatížení</i>	43
<i>Obr. 4-1 Kondenzátory firmy ZEZ-Silko [8]</i>	45
<i>Obr. 4-2 Regulátor jalového výkonu [7]</i>	46
<i>Obr. 4-3 Zapojení regulátoru jal. výkonu NOVAR 5+ [7]</i>	46
<i>Obr. 4-4 Schéma zapojení MVE</i>	48
<i>Obr. 4-5 Schéma zapojení vlastní spotřeby</i>	49
<i>Obr. 4-6 Závislost $K=f(h)$</i>	56
<i>Obr. 4-7 Přívodní kanál [5]</i>	56
<i>Obr. 4-8 Objekt MVE</i>	57
<i>Obr. 5-1 Předpokládaná návratnost</i>	65

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 2-1 Velké vody opakující se jednou za N-leté období</i>	32
<i>Tab. 2-2 Hodnoty průměrného překročení průtoku po dobu M-denní[3]</i>	32
<i>Tab. 3-1 Vypočtené parametry turbíny</i>	38
<i>Tab. 3-2 Výkon na turbíně při mezních stupních regulace</i>	41
<i>Tab. 3-3 Parametry asynchronního generátoru [10]</i>	42
<i>Tab. 3-4 Účinnost a účinník generátoru při daném zatížení[10]</i>	42
<i>Tab. 3-5 Přehled elektrických výkonů při třech stupních regulace</i>	43
<i>Tab. 4-1 Veličiny potřebné pro návrh napájecího kabelu rozvaděče-přípojka</i>	50
<i>Tab. 4-2 Veličiny měřené přístrojem Lovato</i>	52
<i>Tab. 4-3 Nastavení ochran</i>	53
<i>Tab. 4-4 Hodnoty hydraulicky nejvýhodnějšího poměru u licho. profilů [1]</i>	54
<i>Tab. 4-5 Veličiny pro sestavení závislosti $K=f(h)$</i>	55
<i>Tab. 5-1 Stavební úpravy</i>	58
<i>Tab. 5-2 Strojní vybavení</i>	58
<i>Tab. 5-3 Elektrotechnické vybavení</i>	59
<i>Tab. 5-4 Cena projektu a poplatky</i>	59
<i>Tab. 5-5 Provozní náklady</i>	59
<i>Tab. 5-6 Celkové náklady</i>	59
<i>Tab. 5-7 Výše výkupních cen a zelených bonusů pro rok 2009[11]</i>	60
<i>Tab. 5-8 Vyrobená energie a výnos</i>	61
<i>Tab. 5-9 Vstupní hodnoty</i>	62
<i>Tab. 5-10 Hodnocení efektivnosti investice</i>	63

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

h_{zc}	– hydraulické ztráty v hrubých česlech
b_{ε}	– světlá vzdálenost mezi česlicemi
β	– ztrátový činitel otékání česlic, pro hrubé česlice
L_{pk}	– délka přívodního kanálu
Δh_v	– Rozdíl hladin u vtok. objektu přívodního kanálu a vstupem kanálu do přivaděče
S	– vnější průměr česlic
b	– šířka kanálu ve dně
C	– rychlostní součinitel
D_k	– průměr, resp. výška koncového profilu vtokového objektu.
h	– výška hladiny vody v kanále
H	– spád využitý vodní elektrárnou
H_b	– hrubý spád
h_z	– rozdíl hladin na úseku ΔL mezi profily 1 a 2,
i	– roční úroková míra (požadovaná výnosnost investice)
I	– sklon hladiny
IRR	– vnitřní výnosové procento
I_{ZR2}	– Maximální proudové zatížení zásuvky v rozvaděči
K	– modul průtoku
k_{1d}	– součinitel provozního spádu
K_i	– pořizovací náklady
$k_{ostř}$	– součinitel ostříku
KTh	– Kumulativní tok hotovosti
M	– moment stroje
m	– sklon svahu kanálu
MVE	– malá vodní elektrárna
N	– celkové investiční náklady
n	– doba životnosti
n	– součinitel drsnosti stěn a dna kanálu
N_{odpj}	– odpisy v j-tém roce
NPV	– čistá současná hodnota
O	– omočený obvod
PI	– index ziskovosti

- P_i - vnitřní výkon stroje
- P_j - peněžní příjem z investice v j-tém roce její životnosti
- P_{MVE} – Instalovaný výkon MVE
- P_β - skutečný výkon generátoru daný výkonem turbíny na hřídeli
- Q - průtok vody kanálem
- R - hydraulický poloměr
- R_{min} - poloměr oblouku vztažený k ose kanálu
- R_s – střední hydraulický poloměr
- s – délka odpisovaného období
- S - plocha průtočného průřezu v oblouku
- Th - Tok hotovosti (Cash flow)
- v - střední profilová rychlost v oblouku
- v_0 – střední rychlost proudění v profilu hrubých česlí
- v_k – průměrná profilová rychlost v koncovém profilu vtokového objektu,
- v_s – střední omočený obvod,
- y - součinitel přibližně roven
- $Zč$ - Čistý zisk
- Z_{dj} - čistý zisk v j-tém roce
- Zh - Hrubý zisk
- ω – úhlová rychlost
- k_p - koeficient vyjadřující vliv podpěr česlí
- g – gravitační zrychlení
- α – úhel roviny česlí od vodorovné roviny
- η_g – účinnost generátoru
- $\eta_{př}$ – účinnost převodu
- η_t – účinnost turbíny
- η_{tr} – účinnost transformátoru
- k_δ – koeficient zahrnující šikmost obtékání česlí při sbíhajících se stěnách vtoku
- η_c – celková účinnost
- ρ - hustota vody

1 Teorie MVE

1.1 Úvod

Problematika nedostatku ekologické energie se v dnešní době dostává stále více do popředí zájmů široké veřejnosti. Snaha skloubit stále rostoucí poptávku po elektrické energii spjatá s poškozováním životního prostředí, vlivem její výroby, dává za podmět návrat k tradiční čisté výrobě elektřiny z vodní energie.

MVE se vyznačují několikanásobně delší dobou ekonomické životnosti, než je doba návratnosti prostředků vynaložených na jejich pořízení. Proto energie v nich vyráběná je nejlevnější energií dodávanou do elektrizační sítě. Malé vodní elektrárny jsou elektrárny takové, jejichž instalovaný výkon nepřesahuje 10MW.

Cílem této práce je navrhnout rekonstrukci malé vodní elektrárny ve Vlčicích a dále zhodnotit její celkový smysl.

1.2 Popis MVE:

- Vtokový objekt
- Přiváděče a odpady
- Strojní část

1.2.1 Vtokový objekt

Vtokové objekty se vyskytují u každé vodní elektrárny. Požadavky na vtokové objekty lze shrnout do těchto bodů:

- Zajištění potřebného přítoku vody na turbíny vodní elektrárny po celou dobu životnosti díla.
- Zajištění separace plavenin nebo splavenin sunutých po dně, které by mohli ohrozit turbínu. Týká se to např. plovoucí trávy, listů, apod., protože ty se mohou zachytit na lopatkách turbíny a výrazně změnit charakter proudění vody podél nich (snížení výkonu). Nebezpečná je rovněž směs písku a vody, která může způsobit abrazi lopatek turbín.
- Konstrukce vtokového objektu musí zabránit vnikání vzduchu do hydraulického systému vodních turbín. Vhodným návrhem musí být zabráněno tvoření vodních vírů na vtoku.
- Zamezení ucpání jemných česlí na vtoku listím, ledem, apod. a to i při průchodu velkých vod.
- Provoz vtokového objektu nesmí být náročný na spotřebu energií a na obsluhu. Optimální je provoz bezobslužný.
- Hydraulické ztráty ve vtokovém objektu musí být minimální.[1]

Z hlediska tlakových poměrů ve vtokovém objektu lze dělit vtoky na beztlakové a tlakové.

1.2.1.1 Beztlakové vtokové objekty

Beztlakové vtokové objekty slouží pro odběr vody do beztlakových přiváděčů vody na vodní elektrárny. Proudění vody těmito vtoky je beztlakové o volné hladině. Součástí vtoků bývá obvykle norná stěna pro zachycování plavenin a práh ve dně pro zachycování splavenin sunutých po dně, který se obvykle vyvyšuje nade dno horní zdrže a upravuje se tak,

aby bylo možno vyplachovat splaveniny, které se před ním usadí. Dále vtok obsahuje hrubé česlo proti vnikání velkých plovoucích předmětů. Pokud není možno vnikání splavenin zabránit, navrhuje se za vtokovým objektem usazovák s proplachováním. V případě potřeby má rovněž umožňovat ovládání průtoku, tzn. umožňovat odběr vody v požadovaném množství. V případě potřeby regulace odběru vody na vstupu je třeba vtokový objekt vybavit provozními uzávěry. Má být navržen tak, aby vyvolával při proudění vody minimální tlakové ztráty.

Velkou pozornost je třeba věnovat vhodnému situování vtokových objektů do přírodních kanálů derivačních vodních elektráren. Ten se umísťuje do oblasti, v níž dochází k vymílání dna řeky, tj. do konkávního břehu těsně nad jez.

1.2.1.2 Jednotlivé části beztlakového vtokového objektu:

- *Vtokový práh* – má být 0,5-1m převýšen nade dnem horní zdrže, jeho předpolí musí být opevněno. V půdoryse má práh navazovat na dělicí pilíř mezi jezem a vtokovým objektem. Otevřením krajního jezového pole (pokud jez takové pole má) tak lze podél prahu vyvolat proudění, kterým se propláchnou zde usazené splaveniny do dolní nádrže pod jez.
- *Norná clona* – umísťuje se nad vtokový práh. Má hrubá česla pro zachytávání plovoucích předmětů (ledů, dřeva, větví atd.). Norná clona má spodní hranu asi 0,5m pod minimální vzdutou hladinou a bývá podpírána pilíři proudnicového tvaru. Česlice se navrhuje svislé nebo mírně nakloněné (asi 5:1), s mezerami 150 až 300mm.
- *Usazovací prostor* – vytváří se prohloubením dna za vtokovým prahem. Splaveniny zadržené v tomto prostoru se odstraňují bagrováním nebo hydromechanizací. Při větším množství splavenin se dno upravuje směrem po proudu ve sklonu, který je ukončen druhým prahem s proplachovacím kanálem, zaústěným do dolní vody pod jez.
- *Volný plavební otvor* – pokud derivační kanál vodní elektrárny slouží rovněž k plavebním účelům.[1]

Při navrhování vtokového objektu se obvykle vychází z požadavku, že se maximální rychlosti proudění mají pohybovat v rozmezí 0,7 až 1,0m/s .

Vtokové objekty do náhonu malých vodních elektráren mají vesměs menší parametry, protože odebírané množství vody je menší. Po konstrukční stránce mohou však být složitější než vtoky do derivačních kanálů. Těchto objektů existuje mnoho různých typů. Rozděluje je do několika základních skupin:

- boční odběry jednostranné nebo oboustranné
- odběry využívající příčné cirkulace proudění v řece
- čelní odběry jednostranné nebo oboustranné
- odběry ze zakřiveného koryta vedle jezu
- dnové odběry

Každý z uvedených typů může mít různé modifikace, směřující ke zlepšení konstrukčního řešení a funkční spolehlivosti. Přednosti určitého řešení vyplynou vždy v konkrétních podmínkách z výsledků hydrotechnického výzkumu a technicko-ekonomického porovnání zkoumaných variant.

Pro odstranění drobných nečistot vznášejících se ve vodním proudu zejména při velkých průtocích, které by mohly zanášet přivaděč a odírat lopatky se používají tzv. usazováky. Budují se bezprostředně za vtokovým objektem. Mohou být jednokomorové nebo vícekomorové, s občasným nebo průběžným proplachováním usazených splavenin.

1.2.1.3 Tlakové vtokové objekty

Tlakové vtoky na turbíny vodních elektráren se upravují v předsazené části spodní stavby strojovny. Průtočný profil se navrhuje takových rozměrů, aby v něm rychlost proudění nepřesahovala $0,8$ až $1,2 \text{ m.s}^{-1}$. Ve vtocích se umísťují česle, vtokové uzávěry a před nimi drážky pro provizorní hrazení.

Přední vtoková hrana má být zaoblena a ponořena pod minimální provozní hladinu tak, aby nedocházelo ke vzniku vírů a strhávání vzduchu do vtoků. V prahu může být zabudován proplachovací kanál na odplavování splavenin usazených na dně před prahem, který vyúsťuje do dolní vody.

1.2.1.4 Tvarování tlakových vtoků

Výškové umístění vtoku, zejména jeho horní vtokové plochy pod hladinou vody má zásadní význam pro zabezpečení vtoku před strháváním vzduchu a před tvorbou vodních vírů. Z doporučených vztahů pro určení hloubky zanoření stropu přivaděče na vodní elektrárnu lze uvést:

$$Sp=0,45.v_k.D_k^{0,5} \quad (1.1)$$

Kde: $v_k(\text{m/s})$ – průměrná profilová rychlost v koncovém profilu vtokového objektu,
 $D_k(\text{m})$ – průměr, resp. výška koncového profilu vtokového objektu.

Jako minimální hloubku ponoření vtoku do horní vody je možno považovat $Sp=0,2\text{m}$. Nižší hodnoty Sp jsou nevhodné.

Ve vstupním profilu by měla být navrhována střední profilová rychlost v rozmezí $0,7$ až $1,0\text{m/s}$. Při větších rychlostech dosahují ztráty na jemných česlích a v drážkách velkých hodnot a snižují tak využitelnou energii vody. Vstupní profil je vhodné navrhnout jako obdélníkový, protože se zjednoduší navrhování provozních uzávěrů (stavidlové tabule). Obdélníkový profil má delší horizontální stranu a kratší svislou; ta by měla mít minimální rozměr $1,8$ násobek průměru přivaděče.

1.2.1.5 Česle

Česle slouží k separaci plovoucích splavenin, které by mohly při svém průchodu na turbínu poškodit jejich rozváděcí nebo oběžné lopatky, nebo uchycením na lopatkách turbíny změnit charakter proudění a obtékání lopatek turbín s důsledkem snížení výkonu. U vodních elektráren rozeznáváme česle hrubé a jemné.

a) *Hrubé česle* – slouží k zabránění vniku rozměrných splavenin (plovoucí stromy, ledové kry, apod.) do hydraulického systému. Hrubé česle se nejčastěji navrhují jako svislá mřížovina s mezerami mezi jednotlivými česlicemi 300 až 600mm . Pro zajištění plynulého obtékání při různých manipulacích s turbínami vodní elektrárny bývá vhodné navrhnout česlice ze silnostěnných trub o průměru $80-150\text{mm}$. Tloušťka stěn trub jednotlivých česlic závisí na jejich rozpětí a zatížení. Česle se dimenzují na plné ucpání, což znamená, že pruty česlí musí

přenést zatížení plným hydrostatickým tlakem. Při proudění vody přes česle vznikají hydraulické ztráty, se kterými je nutno při navrhování vodního díla počítat. Vlastní ztráty v hrubých česlích je možno určit pomocí vztahu: [1]

$$h_{zc} = \beta \cdot \left(\frac{S}{b_c} \right)^{\frac{4}{3}} \cdot \frac{v_0^2}{2 \cdot g} \quad (1.2)$$

kde h_{zc} [m] – hydraulické ztráty v hrubých česlech,

β – ztrátový činitel obtékání česlic, pro hrubé česlice $\beta = 1,79$,

S [m] – vnější průměr česlic,

b_c [m] – světlá vzdálenost mezi česlicemi,

v_0 [m.s⁻¹] – střední rychlost proudění v profilu hrubých česlí $v_0 = 0,5-0,7$ m.s⁻¹.

Takto určené ztráty platí pro čisté česle. V případě jejich zanesení se ztráty zvětšují několikanásobně. Proto je nutné česle pravidelně čistit.

b) *Jemné česle* – tvoří v hydraulickém systému další zábranu proti vniknutí nežádoucích splavenin do turbín. Na rozdíl od hrubých česlí se obvykle navrhují ve sklonu 60° až 70°, což umožňuje jejich čištění vyhrnováním splavenin nahoru. Česle bývají nejčastěji vyrobené z páskové oceli o průřezu 50x6 až 180x20 mm. Vzhledem k tomu, že i jemné česle se musí dimenzovat na plný hydrostatický tlak vody (jako by byly plně ucpané), je třeba obvykle kromě samostatných česlic osadit ještě podpěrný systém, které tvoří vodorovné nosníky uložené v bocích profilu jemných česlí.

V jemných česlích dochází k poměrně velkým hydraulickým ztrátám. Profil česlí se navrhuje tak velký, aby střední rychlost v tomto profilu dosahovala hodnot 0,8 až 1,2 m.s⁻¹. [1]

$$h_{zc} = \beta \cdot \left(\frac{S}{b_c} \right)^{\frac{4}{3}} \cdot \frac{v_0^2}{2 \cdot g} \cdot \sin(\alpha) \cdot k_\delta k_p \quad (1.3)$$

kde $\alpha(^{\circ})$ – úhel roviny česlí od vodorovné roviny

k_δ – koeficient zahrnující šikmost obtékání česlí při sbíhajících se stěnách vtoku (4 až 5,5)

k_p – koeficient vyjadřující vliv podpěr česlí. U velkých vtokových otvorů se složitou podpěrnou konstrukcí jemných česlí lze uvažovat hodnotu 2,0. U česlí bez podpěrných konstrukcí je tato hodnota rovna 1,0.

Při zanesení jemných česlí jsou hydraulické ztráty podobné jako hrubých česlí několikanásobně vyšší.

Čištění česlí se provádí dvojím způsobem – ručně (u malého díla) nebo čistícími stroji. Čistící stroj není nepostradatelnou částí vodního díla, avšak může zlepšit výkon díla a usnadnit obsluhu MVE.

1.2.1.6 Stavidlo

Slouží k úplnému zastavení, regulaci nebo omezení průtoku. Podle konstrukce, provedení a umístění může zastoupit i funkci přepadu či jezu. Většinou se používá u

otevřených přivaděčů (v betonových korytech, tak i v dřevěných vantrokách). Při provedení jako deskové hradítko ovládané dlouhou tyčí může být použito i na vstupech do potrubí umístěných hluboko pod hladinou.

Stavidlo se většinou skládá z dřevěné nebo plechové desky, kterou pohybuje zdvihadcí mechanismus svisle v postranním vedení. Tento mechanismus může být umístěn nad vlastním stavidlem, na příčnicku zvaném pouch. Zdvihání může být ruční nebo může být mechanismus doplněn převodovkou a elektromotorem.

Nejčastěji je stavidlo osazováno do betonového koryta tak, že je jeho vedení zcela zapuštěno ve stěně a jeho desku lze zdvihnout úplně nad hladinu, takže pak neklade proudící vodě žádný odpor.

Drážky provizorních hrazení a provozních uzávěrů narušují jinak téměř dokonalou hladkost bočních stěn. Ztráty v těchto částech dosahují velkých hodnot. Například při zkoumání vtokového objektu VE Liptovská Mara na hydraulickém modelu bylo zjištěno, že ztráty na drážkách provizorního hrazení a uzávěrů tvořily 30% ztrát na vtokovém objektu. Po tvarové optimalizaci byly ztráty sníženy na 17%.

V souvislosti s drážkami provizorních hrazení a uzávěrů často mluvíme o pojmu kavitace, která vzniká při velkém průtoku vody kolem drážek a následným odtržením proudy vody od stěny. Dojde k poklesu tlaku pod hodnotu tlaku nasycených vodních par a vzniknou tzv. kavitační dutiny, které se propagují až do míst, kde opět tlak dosáhne hodnoty tlaku nasycených vodních par. Dochází k zániku kavitační dutiny (kolapsu), který má charakter hydraulického rázu. Tento jev má za následek poškozování betonových stěn vtokového objektu (někdy až několik decimetrů).[1]

1.2.2. Přivaděče a odpady

Úkolem přivaděčů a odpadů je přivést vodu na turbínu a po předání energie vody lopatkám turbíny vodu od turbíny odvést. Při navrhování přivaděčů a odpadů je nutno postupovat tak, aby bylo spotřebováno co nejméně energie.

Přivaděče a odpady slouží také k soustředění spádu na delším úseku toku pomocí tzv. derivace. Všeobecně známá je snaha o návrh co možno nejkratší délky přivaděčů a odpadů z finančního hlediska. Jejich návrh se doplňuje podrobným rozбором rozporu nákladu na vybudování delšího přivaděče (odpadu) a z toho vyplývající zvýšený výkon a finanční návratnost získaná na zvýšeném spádu. Přivaděče a odpady se mohou dělit podle tlakových poměrů na beztlakové s volnou hladinou a na tlakové. Z hlediska konstrukčního se dělí přivaděče a odpady na kanály, náhony, žlaby, štol, potrubí a šachty.

1.2.2.1 Beztlakové přivaděče a odpady

Otevřené kanály, náhony a žlaby – Velmi časté užití u malých vodních elektráren. Jsou levnější než tlakové přivaděče. Z konstrukčního hlediska je možné tyto přivaděče a odpady rozdělit na zakryté a nezakryté.

1.2.2.2 Konstrukční řešení přivaděčů a odpadů

Při budování přívodních kanálů je nutno dbát na jejich vodotěsnost. Prosakování vody stěnami kanálu nebo případné přetékání znamená ztrátu energie. Může také docházet k znehodnocování půdy v okolí díla. V praxi se průsaky vody mohou projevit výskytem mokřadních rostlin, rákosů apod.

Naopak tomu může být u odpadů, které se záměrně navrhují bez těsnění. Takto navržený odpad zastává funkci odvodňovacího kanálu.

Trasa vedení kanálu se navrhuje co možno nejkratší, nejpřímější (hydraulické ztráty způsobené změnou toku proudu vody, usazování splavenin na konvexní straně koryta). Podle získaných zkušeností by neměl mít oblouk ve své ose menší poloměr, než vyjadřuje vztah:

$$R_{\min} = 11 \cdot v^2 \cdot \sqrt{S} + 12 \cdot m \quad (1.4)$$

kde $R_{\min}$ [m] - poloměr oblouku vztažený k ose kanálu,
 v [m.s⁻¹] - střední profilová rychlost v oblouku,
 S [m²] - plocha průtočného průřezu v oblouku,
 m - sklon svahu kanálu (např. při sklonu 1:2 je $m=2$).
 Pro orientační návrh minimálního poloměru se volí jednodušší vztah:

$$R_{\min} \geq 5 \cdot b \quad (1.5)$$

kde b [m] je šířka kanálu ve dně.

U derivačních přivaděčů a odpadů se veškerý spád pro vodní motor je získáván téměř vodorovným vedením náhonu, zatím co původní řečiště klesá výrazněji. Obdobně je řešen i odpadní kanál.

1.2.2.3 Hydraulické řešení kanálů

Řešení musí zahrnovat stanovení:

- maximální kapacity kanálu,
- průběh hladin při různých provozních stavech vodní elektrárny,
- hydraulických ztrát v kanálu,
- hydraulicky nejvhodnějšího průřezu kanálu,
- ztráty vody prosakování.

Návrhy derivačních kanálů se dokládají hydraulickými řešeními třech režimů proudění vody, které se mohou v přívodní nebo odpadním kanálu vyskytnout – proudění ustáleného rovnoměrného, ustáleného nerovnoměrného a neustáleného. [1]

a) ustálené rovnoměrné proudění

Je to stav, kdy se proudění nemění ani v závislosti na čase, ani na poloze vůči podélné ose kanálu, tzn. že proud vody má konstantní průtok, hloubku a sklon hladiny (rovnoběžný se sklonem dna). Při návrzích kanálů je stav ustáleného rovnoměrného proudění výchozí pro výpočet základních parametrů přivaděče a odpadu.

Základní rovnice ustáleného rovnoměrného proudění vody (Chézyho):

$$Q = S \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot I} = K \cdot \sqrt{I} \quad (1.6)$$

kde Q [m³.s⁻¹] je průtok vody kanálem,
 S [m²] - plocha průtočného profilu,
 C - rychlostní součinitel,

R [m] - hydraulický poloměr ($R=S/O$),
 O [m] - omočený obvod,
 I - sklon hladiny,
 $K=S.C.R^{1/2}$ – modul průtoku.

Vztah pro určení rychlostního součinitele C :

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^y \quad (1.7)$$

kde n je součinitel drsnosti stěn a dna kanálu (pro betonový kanál $n=0,017$),
 y - součinitel přibližně roven $y=1/6$ (záleží na velikosti R).

Při návrhu derivačního kanálu MVE, kdy je známý návrhový průtok Q a podélný sklon dna I se výpočtem určují geometrické parametry průtočného průřezu, z nichž některý parametr může být předem dán (např. hloubka kanálu). Nejčastěji se používá lichoběžníkový profil, ale vše závisí na prostředí, kde MVE navrhujeme.

Vztahy potřebné pro výpočet průtočného průřezu:

$$S = h \cdot (b + m \cdot h) = h^2 \cdot (\beta + m) \quad (1.8)$$

kde h [m] je výška hladiny vody v kanále,
 b [m] - šířka dna kanálu,
 β - poměr b/h .

$$O = b + 2h\sqrt{1+m^2} = h(\beta + 2\sqrt{1+m^2}) \quad (1.9)$$

$$R = \frac{S}{O} \quad (1.10)$$

pozn. Hodnoty hydraulicky nejvýhodnějšího poměru β u lichoběžníkových profilů jsou např. pro $m=0,25$ je $\beta'=1,56$. [1]

Rychlost proudění vody v přivaděčích a odpadech se navrhuje v rozmezí $0,7$ až $1,5 \text{ m.s}^{-1}$. Jako dostatečné rychlosti proudění vody, při kterých nehrozí zanášení kanálu, se uvádějí střední rychlosti od $0,6$ až $0,9 \text{ m.s}^{-1}$.

b) Ustálené nerovnoměrné proudění vody

Je to stav, kdy voda teče s konstantním průtokem, avšak měnícími se rychlostmi podél kanálu. Na rychlost proudění vody má v tomto případě vliv měnící se sklon dna I . Vytváří se tzv. křivky vzduť nebo snížení. Kanály mají většinou nerovnoměrný tvar. Příčné profily i sklon dna se mohou podél kanálu měnit, což je obtížné početně vyjádřit. Pro výpočet užíváme základní rovnice ustáleného nerovnoměrného proudění:

$$h_z = \frac{v_s^2 \cdot \Delta L}{C_s^2 \cdot R_s} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad (1.11)$$

kde h_z je rozdíl hladin na úseku ΔL mezi profily 1 a 2,

v_s – střední omočený obvod,

R_s – střední hydraulický poloměr,

C – střední hodnota rychlostního součinitele na daném úseku.

$$v_s = \frac{Q}{S} - O_s = 0,5 \cdot (O_1 + O_2) \quad (1.12)$$

$$R_s = 0,5 \cdot (R_1 + R_2) \quad (1.13)$$

Jako návrhový průtok budeme brát Q_p a jemu příslušející hloubka h_1 (hloubka na začátku kanálu). Dále předpokládejme, že hladina vody ve vtoku je stálá a že je dána kótou hladiny v horní zdrži jezu. Hloubka h_2 je výška hladiny na konci přívodního kanálu.

Jestliže bude skutečný průtok kanálem menší než návrhový ($Q < Q_p$), tak bude průtok Q protékat kanálem při vzduť a hloubka vody na jeho konci bude $h_2 > h_1$. V případě, že $Q > Q_p$ dochází ke snížení hladiny, tedy $h_2 < h_1$.

Největší hloubka na konci přivaděče h_2 bude ve chvíli, kdy bude elektrárna vyřazena z provozu ($Q=0$).

$$h_2 = h_1 + L \cdot I \quad (1.14)$$

Tzn., že aby nedošlo k únikům vody z kanálu, měla by být výška kanálu konstantní od vtoku až po elektrárnu. Takto vypočtenou hloubku můžeme uvažovat v případě krátkého přívodního kanálu. U delších přivaděčů by se jednalo o znatelné zvýšení nákladů na vybudování. To se řeší vybudováním jalového přelivu na konci přivaděče.

c) Neustálené proudění vody

Neustálené proudění vody v kanálech je charakterizováno časovou změnou hydraulických parametrů v jednotlivých úsecích kanálu. Tyto změny by se mohly shrnout do třech skupin :

- *Translační rázové vlny* vznikajících při náhlých změnách průtoku vodní elektrárnou, např. při jejím výpadku. Představují extrémní případ proudění. Jedná se vesměs o havarijní případy provozu vodní elektrárny. Vyskytují se čtyři základní typy této vlny: Kladná zpětná vlna (záporná zpětná vlna) – vzniká v horní zdrži úplným nebo částečným zmenšením (zvětšením) průtoku elektrárnou. Kladná přímá vlna (záporná přímá vlna) - vzniká v dolní zdrži úplným nebo částečným zvětšením (zmenšením) průtoku elektrárnou.
- *Translační plynulé vlny*, které vznikají při manipulaci hradíci uzávěry, při změně odběru vodní turbíny, atd. Výpočet těchto vln je matematicky a obsahově náročné. V praxi je schůdné výhradně s použitím počítače.
- *Oscilační vlny* vznikající působením větru nebo při proplutí lodě, atd. Tyto vlny nepřenášejí žádný průtok. Na parametrech těchto vln často závisí výška hrází, i jejich opevnění a těsnění.

Při návrhu rozměrů kanálu MVE je potřeba znát v dané lokalitě průběhy a velikosti těchto vln. Opevnění a těsnění svahů, odlehčovací zařízení, určení provozní hladiny, plánování výroby elektrické energie – to všechno jsou aspekty, které jsou znalostí těchto vln ovlivněny.

1.2.2.4. Tlakové přivaděče a odpady

Pokud je to možné, tak se při návrhu hydraulického systému vodních elektráren tlakovým přivaděčům vyhýbáme. Ve většině případů jde o drahou technologii a nákladné vybudování (v porovnání s beztlakovým přivaděčem a odpady). Typy přivaděčů se liší použitým materiálem:

- ocelová potrubí,
- litinová potrubí,
- železobetonová potrubí,
- plastová potrubí.

1.2.3 Strojní část MVE

1.2.3.1 Provozní objekt

Budova vodní elektrárny představuje stěžejní část celého díla. V ní jsou umístěny strojovna a další doprovodné objekty a doprovodná zařízení (rozvodna, montážní prostor, atd.). Základním vybavením strojovny se skládá z turbíny, generátoru a transformátoru doplněnými o zařízení nutných pro zajištění jejich spolehlivého provozu.

Stavební uspořádání se odvíjí od použitého typu a uspořádání soustrojí a nároků na doprovodná zařízení, včetně vývodu elektrické energie.

Na podobu stavby má vliv spousta faktorů což znemožňuje určit „etiketu“, která by určovala konečnou podobu budovy.

Budovu vodní elektrárny lze rozdělit na dvě hlavní části: spodní stavba a horní stavba.

- *Spodní stavba*- se nachází pod úrovní podlahy strojovny. Působí na ni namáhání typická pro vodní stavby, zejména vodní tlak, vztlak a průsak. Kromě toho na ni působí tíha veškerých konstrukcí a zařízení. Spodní stavba bývá řešena jako monolitická betonová konstrukce v níž jsou navrženy příslušné prostory pro soustrojí, jeho příslušenství a pro komunikace. Kromě toho jsou zde situována zařízení nutná pro zabezpečení provozu soustrojí: uzávěry, synchronní ventily, čerpací agregáty mazacího a tlakového oleje, atd.

Rozměr spodní stavby závisí především na volbě typu soustrojí. U jezových vodních elektráren ovlivňuje rozměry spodní stavby vtokový objekt.

- *Horní stavba* – zde se nachází horní část hydroalternátorů s budiči a regulátory, kontrolní panely jednotlivých soustrojí, transformátory, mostové nebo jiné jeřáby.

U průmyslových MVE má budova obvykle charakter výrobní haly. U MVE nižších výkonů to je spíše charakter obytného prostoru. Montážní prostor je nutný pro montáž částí soustrojí a dalších zařízení v době výstavby vodní elektrárny, a pro provádění oprav v době jejího provozu. Horní stavba také obsahuje celou řadu komponent zabezpečujících její bezpečný popř. bezobslužný provoz. Patří sem především systémy pro mazání rotujících částí soustrojí, chlazení transformátorů, kompresorová stanice a kompresory, atd.

V provozní části se umísťují zařízení potřebná pro provoz díla jako např. transformátor vlastní spotřeby, rozvaděč nízkého napětí, zařízení automatického provozu, velín, telefonní ústředna pro dálkové ovládání, akumulátorovna (pro umístění náhradního zdroje v případě výpadku VE), kompresorová stanice, dílna, sklad a sociální zařízení.

Návrh budovy vodní elektrárny by měl být svěřen odborníkovi, autorizovanému v oboru statiky a dynamiky konstrukcí. [1]

1.2.3.2 Vodní motory a jejich dělení

Základní dělení dělí vodní stroje na vodní kola, turbíny a ostatní vodní stroje. Každý typ vodního motoru má své specifické vlastnosti, své výhody a nevýhody. Tam, kde jeden bezvadně funguje, bude použití jiného spojeno s neskonalými potížemi. Právě správná volba toho či onoho typu vodního motoru je jedním z nejtěžších úloh projektanta, protože neexistuje nějaký univerzální typ turbíny, který by se dal použít beze změn na všechny lokality. Také nelze jednoznačně prohlásit, že vodní kolo je horší než turbína. Záleží jen a pouze na konkrétní lokalitě, způsobu provozu a druhu stroje, který má být vodním motorem poháněn.

Často také rozhoduje pořizovací náklad. Někdy je lépe využít říčku alespoň částečně laciným a primitivním "mlýnkem", než ji pro vysokou cenu kvalitního soustrojí nevyužít vůbec. [2]

1.2.3.3 Vodní kola

Jsou to jedny z nejstarších strojů, které začal člověk pro pohon využívat. Jedná se o pomaluběžné motory, ve kterých účinkuje voda svou polohovou energií.

Vodní kolo je nenáročným, spolehlivým a laciným hnacím motorem v hydrologicky nejistých lokalitách s velkou průtokovou přetížitelností a necitlivostí k nečistotám. Není zanedbatelný ani jeho ekologický přínos výrazným okysličením vody při plnění korečků a následném výpadu vody.

Charakteristickou vlastností těchto strojů je, že dokáží lépe využít „velkou vodu“ než turbíny. I „za sucha“ se vodní kolo zachová poměrně dobře.

Nectností vodních kol je namrzání v zimě, zejména jsou-li část dne nebo přes noc zastavena. Přírodní stavidlo nikdy stoprocentně netěsní a tak ráno za velkých mrazů vypadá kolo jako jedna velká ledová hrouda. Předějit se tomu dá tak, že je celé vodní kolo uzavřeno v dřevěném nebo zděném domečku tzv. lednici. Tekoucí voda tam udržuje v zimě i v létě stálou teplotu, dřevěné kolo se nerozesychá, ani nenamrzá a je také menší pravděpodobnost úrazu.

Typickým znakem výpočtů všech typů vodních kol je ta skutečnost, že průměry, rozměry korečků a tvary lopatek jsou závislé pouze na spádu, zatím co vlastní šířka kola je závislá jen na průtoku. Vodní kolo se tedy na jiný průtok přepočítává velmi snadno, narozdíl od turbíny, kde se s drobnou změnou kteréhokoliv ze základních parametrů změní téměř všechny konstrukční rozměry.[2]

1.2.3.4 Turbíny

V současné době se při výstavbě malých vodních elektráren používají následující typy vodních turbín:

- Rovnotlaké (akční) turbíny - Peltonovy turbíny
 - Turgo turbíny
 - Bánkiho turbína

Přetlakové (reakční) turbíny - Francisovy turbíny

- Kaplanovy turbíny

- Propelerová turbína (vrtulová turbína)

Peltonova turbína:

Typově se jedná o rovnotlakou turbínu s parciálním tangenciálním ostřikem. Účinnost u malé turbíny 80 až 85%, u velké 85 až 95%.

Voda je přiváděna k turbíně potrubím kruhového průřezu, které vede k jedné nebo více dýzám. V dýze kruhového průřezu se celý spád vody přetransformuje na pohybovou energii. Voda vstoupí tangenciálně do oběžného kola osazeného lžícovitými lopatkami. Břit uprostřed lopatek rozdělí paprsek na dvě poloviny a lžícovitý tvar lopatky se snaží otočit směr tekoucí vody zpět. Změna směru způsobí předání energie oběžnému kolu.

Běžné turbíny mají počet lopatek v rozsahu 18 až 26 kusů. Turbína ústí bez savky volně do odpadu, prostup hřídele ze skříně nemusí být utěsněn, je opatřen jen odstřikovými kroužky, aby voda nestékala po hřídeli do ložisek. Turbína se většinou staví jako horizontální. Velké stroje mohou mít i vertikální montáž. Turbína se reguluje zasouváním jehly do dýzy, na úplné zastavení přítoku se však většinou používá šoupátko umístěné na přívodním potrubí.

Tato turbína se používá pro malá množství vody při velkých spádech. Vyhoví na malých tocích v horách a všude tam, kde je nutno zpracovat relativně malé množství vody při velkém tlaku. Není náchylná ke kavitaci. Ložiska jsou mimo vodu, takže je možno pracovat i s pitnou vodou bez nebezpečí jejího znečištění. Její hltlost lze zvýšit přidáním dalších dýz (u horizontálního řešení 2, u vertikálního až 6 ks). Bohužel její použitelnost v hydrologických poměrech České republiky je omezená. [2]

Turgo turbína:

Typově se jedná o rovnotlakou turbínu s parciálním ostřikem. Účinnost je 85 až 90%. Voda je přiváděna k turbíně potrubím kruhového průřezu, které vede k jedné nebo více dýzám. V šikmo umístěné dýze kruhového průřezu se celý spád vody přetransformuje na pohybovou energii. Voda vstoupí šikmo tangenciálně do oběžného kola. Oběžné kolo je tvořeno dvěma prstenci, mezi kterými jsou zakřivené lopatky. Lopatky se snaží otočit směr tekoucí vody zpět. Změna směru způsobí předání energie oběžnému kolu. Turbína je velmi citlivá na dodržení jmenovitých otáček, jinak ztrácí na účinnosti. Nesmí pracovat bez zatížení. Turbína se většinou staví jako vertikální. Turbína se reguluje zasouváním jehly do dýzy, na úplné zastavení přítoku se však většinou používá šoupátko umístěné na přívodním potrubí. Používá se pro malá množství vody při velkých spádech. S výhodou ji lze použít v situacích, kdy se rozhoduje mezi turbínou Francisovou a Peltonovou. Má téměř stejné vlastnosti jako turbína Peltonova, je však konstrukčně jednodušší, levnější a technologicky nenáročná. Je vhodná pro pohon asynchronních a (s otáčkovým regulátorem) i synchronních generátorů. Drobnou nevýhodou turbíny je část ztraceného spádu. Aby se tato vlastnost co nejvíce potlačila, leží oběžné kolo nízko a vadí mu vzestup spodní hladiny. Na menších spádech dává turbína malý počet otáček a vyžaduje převod.[2]

Bánkiho turbína:

Typově se jedná o příčně dvojnásobně protékanou turbínu. Účinnost 78 až 84%. Voda je přiváděna k turbíně potrubím, kruhového průřezu. Před turbínou je umístěn mezikus, který mění kruhový průřez na obdélný. Na konci tohoto vstupního dílu je umístěn regulační orgán, nejčastěji klapka. Ve štěrbině mezi zakřivenou stěnou a klapkou se celý spád vody přetransformuje na pohybovou energii. Voda vstoupí tangenciálně do oběžného kola hustě osazeného dlouhými lopatkami. Lopatky se snaží odklonit směr tekoucí vody do středu kola k hřídeli. Změna směru způsobí předání energie oběžnému kolu. Při prvním průtoku lopatkami

se turbíně předává asi 79% z celkového výkonu. Vlivem souběhu mezi rychlostí vody a otáčením kola nemíří vytékající paprsek na hřídel turbíny, ale mine jej volným zavzdušněným prostorem. Potom vstoupí do lopatek na protější straně lopatkového věnce. Voda je opět přinucena změnit směr a předává lopatkám další díl své energie, odpovídající 21% z celkového výkonu turbíny. Po opuštění lopatkového věnce volně vytéká pod oběžné kolo.

Tato turbína má velmi široké využití. Vyhoví zejména na malých tocích. Turbína je však vhodná pouze tehdy, kdy je její průměr nejméně 5 až 10krát menší, než spád H . Nehodí se tam, kde hrozí vzestup spodní vody. Je velmi jednoduchá na výpočet a výrobně snadno realizovatelná i v amatérských podmínkách. Nevyžaduje použití žádných speciálních materiálů, běžně vyhoví i obyčejný plech. Výrazně okysličuje vodu. Je snadno a rychle regulovatelná. Mimo uzavírací orgán je tato turbína podstatně méně citlivá na nečistoty, než turbíny s dostředivým průtokem. Je odolná proti abrazi pískem. Není náchylná ke kavitaci.

Minimální počet lopatek je 28 ks, ale doporučuje se 32 ks. Pokud se předpokládá častý provoz při malém průtoku, pak až 36 ks. Náběžná hrana lopatky je přiosťřená a svírá s tečnou úhel 30° . Výstupní hrana lopatky je taktéž přiosťřená a míří přesně do středu hřídele. Turbína se většinou staví jako horizontální. Pro spády menší než 2 metry se Bánkiho turbína většinou nestaví.[2]

Francisova turbína:

- vertikální turbína:

Vertikální kašnová Francisova turbína byla hojně rozšířeným přetlakovým vodním motorem v minulosti. Osazovala se jí většinou vodní díla jezová nebo vodní díla derivační s otevřeným přivaděčem v nížinách na větších řekách. Používala se nejčastěji jako hlavní mechanický pohon větších mlýnů, městských elektráren a průmyslových závodů. Vlastní turbína je umístěna na dně turbínové kašny naplněné vodou. Její hřídel vede svisle vzhůru do strojovny, která je dostatečně vysoko nad spodní vodou, aby nehrozilo její zaplavení. Voda vniká z kašny do regulovatelných rozváděcích lopatek po celém obvodu turbíny. Při průtoku rozváděcími lopatkami získává rychlost a směr potřebný pro vstup do oběžného kola. V zakřivených mezilopatkových kanálech oběžného kola voda mění směr i rychlost a tím předává svoji energii. Turbína se reguluje otáčením regulačního kruhu, který ovládá rozváděcí lopatky. [2]

- kašnová horizontální:

Toto technické uspořádání se používá na spádech od 2 do 8 metrů při malých a středních průtocích (přibližně od 100 do 2000 l/s). Ve srovnání s vertikální turbínou, má turbína horizontální nižší účinnost. Má však jiné výhody. Mezi hlavní z nich patří vodorovný hřídel, vycházející z turbíny přímo do prostoru strojovny. Tím se výrazně zjednoduší převody. Často se vystačí jen s řemenovým převodem a tak se celková bilance účinnosti vyrovnává.

Vlastní turbína je umístěna ve stěně turbínové kašny naplněné vodou. Její osa je dostatečně vysoko nad spodní vodou, aby nehrozilo zaplavení stroje. Voda vniká z kašny do regulovatelných rozváděcích lopatek po celém obvodu turbíny. Při průtoku rozváděcími lopatkami získává rychlost a směr potřebný pro vstup do oběžného kola. V oběžném kole voda předává svoji energii a po výtoku z oběžného kola se odvádí do odpadního kanálu. [2]

Kaplanova turbína (S-turbína):

Kaplanova S-turbína (stejně tak jako Semi-Kaplan a turbína vrtulová) patří mezi nejčastěji používané hnací stroje na nově budovaných malospádových vodních elektrárnách. Bývá použita i při přestavbě starších vodních děl - původně osazených vertikální Francisovou turbínou, kde často dosahuje lepšího využití toku. Osazují se s ní především vodní díla jezová a také vodní díla derivační s otevřeným přivaděčem na menších spádech. Svůj název získala

od esovitě tvarované savky a je turbínou horizontální. Používá se výhradně pro pohon generátorů a to především asynchronních, ale díky dobré regulovatelnosti je možné použití i generátoru synchronního a možnost dodávky elektřiny do samostatné sítě nebo soustrojí použit jako záložní energetický zdroj. Nejčastější použití nalezne na spádech od 2 do 4 metrů při průtocích od 500 do 3000 l/s. Výhodou této přímoproudé turbíny je, že má malé náklady na stavební část. Převod ke generátoru je u menších turbín řemenový nebo u větších strojů ozubeným čelním soukolím v samostatné uzavřené převodovce. Pouze turbíny na větších spádech, které dosahují dostatečně vysoké otáčky, jsou spojeny s generátorem přímo. Velkou výhodou tohoto stroje je malá stavební výška, možnost instalace do malých strojoven u jezových elektráren nebo v jezových pilířích.

Nevýhodou stroje je vysoká cena a vyšší náklady na údržbu. Proto má význam tento typ turbíny instalovat pouze na lokality, kde je to jejich hydrologickým charakterem skutečně opodstatněné. Mezi takové patří lokality bez možnosti akumulace vody, na kterých je navíc průtok během roku natolik rozkolísaný, že by použití jednodušších typů strojů přinášelo velké ztráty.

Voda vtéká do difuzéru stroje, který se kuželovitě zužuje. Tím se rychlost vody zvýší. Lopatky upraví směr a rychlost vody pro vstup do oběžného kola. Oběžné kolo je umístěno v nejužším průřezu celého stroje, kde je rychlost proudění vody nejvyšší. Počet lopatek oběžného kola je sudý. Nejčastěji jsou čtyři. Voda opouští oběžné kolo s poměrně značnou zbytkovou energií. Tu však následně využívá savka turbíny a transformuje ji na zápornou tlakovou energii, která podporuje průtok vody strojem. [2]

Propelerová turbína (vrtulová turbína):

Ne ve všech případech je potřeba snažit se o extrémní výkon a účinnost. Často potřebujeme mimořádně jednoduchý a spolehlivý záložní zdroj energie, ať už na pokrytí krátkého výpadku elektrické energie pro řídicí elektroniku, dobítí záložních akumulátorů nebo jen pro rozsvícení nouzového osvětlení.

Tyto malé pomocné vodní motory jsou napojené na společný zdroj vody s hlavní turbínou a pracují pod stálým zatížením. Nejčastěji bývají konstruovány jako jednoduché vrtulové neregulovatelné turbíny, opatřené pouze hlavním uzávěrem určeným k úplnému zastavení. Jsou dnes poměrně vzácné a pokud byly v minulosti použity, pak nejčastěji na derivačních vodních dílech s malými spády od 1,5 do 4 metrů, výkonově nepřesahovaly 1,5kW. Svoje místo by však našly i dnes a to především jako hnací stroje pracující do stálé zátěže (např. pro nabíjení akumulátorů na chatách).

Turbína obsahuje pět rozváděcích lopatek, s velkými mezerami, aby se mezilopátkové kanály nezanášely. Oběžné kolo má čtyři masivní odlité lopatky. Hřídel od oběžného kola dál volně pokračuje kolenem savky a v jeho zadní části vychází do strojovny přes provazcovou ucpávku. Bezprostředně za ucpávkou následuje řemenice na plochý řemen k hnanému stroji (např. dynamu). Voda po projití kolenem turbíny pokračuje kuželovitou rozšiřující se savkou pod podlahu strojovny do vývěřiště. Vývěřiště je společné s hlavní turbínou. [2]

1.2.3.5 Savky přetlakových turbín:

Sací roura nebo zkráceně savka je pojmem vyskytujícím se většinou v souvislosti s přetlakovými turbínami. U turbín rovnotlakých mluvíme o odpadním potrubí. Pouze tehdy, je-li za oběžným kolem sloupcem vody vytvořený podtlak, hovoříme o savce.

Savka spojuje odtokovou stranu turbíny se spodní vodou. Protože je po prvním spuštění turbíny zcela vyplněna vodou, chová se v ní sloupec kapaliny spojitě. I při zavřené turbíně zůstává v savce viset. Turbína za provozu zpracovává přetlak od horní hladiny po oběžné kolo i podtlak vzniklý působením sloupce od oběžného kola ke spodní hladině. I když je stroj vodorovně, je možno vodu odvádět kolenem. Kolenová savka umožňuje téměř libovolnou

stavební výšku při témže spádu. Nejdůležitější její funkce spočívá v tom, že dokáže zužít energii vody, která by jinak marnotratně unikala. Voda opouští oběžné kolo poměrně velkou rychlostí. Protože se již dostala mimo dosah lopatek, je tato zbytková energie zdánlivě nevyužitelná. Nikoliv však, použijeme-li za oběžným kolem rozšiřující se savku. Odpadní voda proudící kuželem je nucena zaujímat čím dál tím širší průřez. V širším průřezu kapalina samozřejmě musí proudit pomaleji. Jenže setrvačná síla ji žene dál. Voda se chová jako jakýsi neviditelný píst a projevuje se tím, že za odtékající kapalinou vzniká výrazný podtlak, který se přenáší sloupcem vody zpět až na lopatky oběžného kola. Pro turbínu je tento podtlak totéž, jako by spodní hladina stála níž než ve skutečnosti je. [2]

1.2.3.6 Převody

U velkých soustrojí bývá přenos mechanické energie zajištěn přímým spojením hřídele turbíny s generátorem, který bývá konstruován přímo na otáčky turbíny. U MVE se často používá jako generátor asynchronní motor pracující při vysokých otáčkách. Proto je nutné použít převodu (zrychlení otáček). Od převodu je očekávána provozní spolehlivost, dlouhá životnost, vysoká účinnost, malé nároky na údržbu a na prostor, který budou zabírat.

a) Ozubená soukolí

Používají se u nízkospádových vodních elektráren. Máme soukolí dřevěná nebo ocelová. Podle druhu ozubení rozdělujeme zuby přímé (nejlevnější), šikmé a šípové. Účinnost ozubených převodů závisí na druhu ozubení, přesnosti výroby, drsnosti povrchu zubů, stupni opotřebení apod. Účinnost se však běžně pohybuje v rozmezí od 94% do 97%. U opotřebovaných převodů je to 85%. Na jednom stupni lze realizovat převod 1:8 až 1:10.

b) Řemenové převody

Nejrozšířenějším druhem převodu u VE. Jako nosné prvky řemenů se v dnešní době používají např. uhlíková vlákna, polyamidová vlákna, textilní vložky apod. Z hlediska konstrukce řemenů je lze dělit na:

- řemeny ploché,
- řemeny klínové,
- řemeny ozubené.

Plochými řemeny lze realizovat převod až do 1:15. Obvodové rychlosti by neměli přesáhnout 70m.s^{-1} . Hodnoty účinnosti se pohybují v rozmezí 96 až 98%.

Pokročilejším řešením jsou klínové řemeny. Jsou náročné na výrobu. Při provozu se postupně nevratně protahují. Obvodové rychlosti jsou limitovány v rozmezí od 40m.s^{-1} do 60m.s^{-1} . Jako maximální převodový poměr lze použít 1:10. Účinnost se pohybuje kolem 98%.

Ozubené řemeny představují technicky nejdokonalejší řešení. Jsou vhodné pro vysoké výkony (300kW). Účinnost je až 99%.

c) Lanové převody

Dnes se užívají spíše v jiných technických odvětvích (výtahy apod.). Dříve lana konopná, bavlněná, později ocelová.

d) Řetězové převody

Jsou úsporné z hlediska prostoru pro jejich realizaci. Pro převodová soustrojí u vodních turbín se používají článkové řetězy jednořadé a víceřadé. Počet článků v řetězu musí být vždy sudý z důvodu spojení řetězu. Během provozu se připouští protažení řetězu o 2,5% (více znamená výměnu). Převodový poměr je 1:15. Účinnost těchto převodů je až 98,5%, klesá však při špatném mazání a malém počtu zubů. Do obvodové rychlosti nepřesahující rychlost 10m.s^{-1} je mazání převodu možné realizovat broděním řetězu olejovou lázní. Při

vyšších rychlostech je nutno přivádět mazací olej na vnitřní stranu řetězu, olej se pak odstředivou silou dostane i na vnější stranu řetězu. Pomocí tohoto převodu je možno převádět výkony až do 5MW. [1]

1.2.3.7 Uzávěry:

Tvoří nedílnou součást strojního vybavení každé vodní elektrárny.

Dělení:

- dle charakteru provozu - regulační,
- neregulační.
- dle funkce - provozní (do klidné vody),
- nouzové (do proudící vody),
- rychlouzávěry.
- dle konstrukce na stavidlové, hradidlové, hradlové, klapkové, klínové, válcové a segmentové.
- dle velikosti tlaku vody - trubní tlakové,
- kanálové o volné hladině.

Návrh by měl vyhovovat z hlediska hydraulického i statického. Posouzení by mělo být provedeno autorizovaným statikem. [1]

1.2.3.8 Generátory MVE:

Asynchronní generátory

Asynchronní stroj je spojen mechanicky (hřídelí) s pohonnou jednotkou – vodní turbínou. Tedy připojením asynchronního motoru k turbíně se stává tento stroj asynchronním generátorem.

V praxi se nejčastěji setkáváme s asynchronními generátory s kotvou nakrátko, výjimečně s kotvou kroužkovou. Dále se jednotlivé generátory liší výkonem, provozními otáčkami, provedením statorového vinutí, apod.

Asynchronní generátor odebírá ze sítě jalový magnetizační výkon, neboť směr jalové složky proudu zůstává týž jako při chodu motorickém. Kompenzace jalového výkonu asynchronního stroje může nastat přidáním zdroje magnetizačního proudu, což představuje jakýkoliv synchronní stroj nebo kondenzátor (obecně jakákoliv kapacita). Nejčastějším provozem asynchronního stroje je provoz paralelně se sítí napájenou synchronními generátory, kde je kapacitní výkon tvořen synchronními stroji a kapacitami rozvodné sítě. Pro asynchronní stroje o výkonu větším 35 kW, má provozovatel elektrárny povinnost připojit kompenzační baterii na svorky generátoru (kompenzovat daný stroj).

Točivý moment stroje je závislý na synchronní úhlové rychlosti ω a na vnitřním výkonu stroje P_i podle vztahu:

$$P_i = M \cdot \omega \quad [W; Nm; rad/s] \quad (1.15)$$

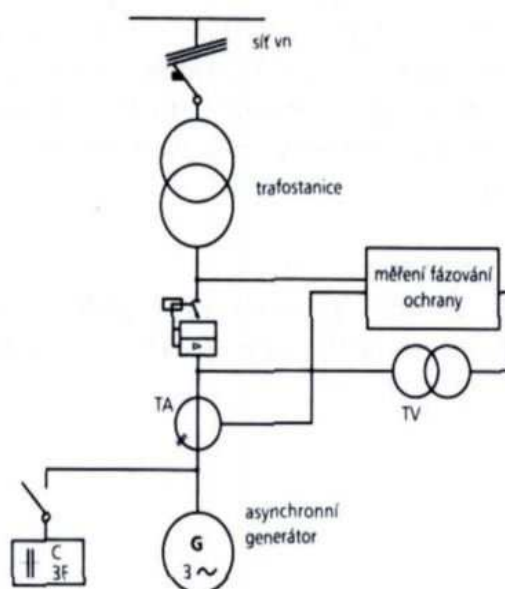


Schéma zapojení generátoru na síť [1]

Synchronní generátory

Synchronní stroje se používají spíše u velkých elektráren než u MVE. Často se však s nimi můžeme setkat při rekonstrukci starších MVE. Hlavním důvodem užívání těchto elektráren v minulosti bylo jejich nezávislost na provozu napájecí sítě. Starší elektrárny byly totiž většinou elektrárnami továrními a umožňovaly provoz továrny i v době výpadku sítě.

U vodních elektráren se užívají synchronní generátory pomaluběžné. Jejich rotory mají vyniklé póly.

V případě samostatného chodu musí turbína udržovat synchronní otáčky generátoru tak, aby nedocházelo ani se změnou zatížení ke změnám otáček generátoru. Toto zajišťuje regulátor turbíny reagující na změny výkonového zatížení stroje přivíráním nebo otevíráním turbíny udržuje synchronní otáčky stroje. Napětí na svorkách generátoru je i při změně charakteru zátěže udržováno při konstantní hodnotě také změnou budícího proudu v rotoru. Synchronní generátor oproti asynchronnímu dodává do sítě jalový výkon. To bude-li synchronní generátor dodávat jalový výkon nebo bude tento výkon spotřebovávat, je dáno charakterem zátěže a tím velikostí napětí, následně pak velikostí budícího proudu.

Zdrojem budícího proudu může být jakýkoliv stejnosměrný regulovatelný zdroj. Zdrojem pro buzení nebo pro první nabuzení mohou být i staniční baterie.

Hlavní výhodou synchronních generátorů – kromě možnosti práce do vyčleněné sítě – je, že nepotřebují žádná přídatná zařízení, jako kompenzační baterie apod., a že se tyto generátory chovají mnohem příhodněji při přechodových stavech a poruchách v síti.

Stejnoseměrná dynamo

Stejnoseměrný stroj je v podstatě střídavý stroj, obdobný jako stroj synchronní, avšak s mechanickým usměrňovačem, komutátorem. U těchto strojů je uspořádání vždy takové, že stroj má na statoru magnety a na rotoru kotvu. V kotvě indukovaný proud se usměrňuje na točícím se komutátoru.

U malých dynam mohou být na statoru permanentní magnety, zatímco u větších dynam jsou zde elektromagnety napájené stejnosměrným proudem.

Zdrojem stejnosměrného napětí může být zcela cizí zdroj (dynamo s cizím buzením), může to být svorkové napětí na kotvě (derivační dynamo), nebo proud procházející kotvou a buzením zapojeným v sérii, nebo také kombinací posledních dvou způsobů buzení (kompaundní dynamo). Vlastnosti jednotlivých dynam jsou rozdílné. U dynam s cizím a derivačním buzením lze velice efektivně řídit jeho výstupní napětí při konst. otáčkách

velikostí budícího proudu. To se provádí změnou odporu, zařazeného v sérii s budícím vinutím. Při používání dynam jako zdroje pro MVE se nejčastěji používá kompaundní dynamo, kde je potřebná regulace výstupního napětí prováděna změnou odporu zařazeného u derivačního vinutí.

Každý stejnosměrný motor může pracovat jako generátor nebo jako motor. Záleží pouze na způsobu mechanického a elektrického připojení.

Pro řešení MVE je tato vlastnost poměrně důležitá. Velmi často dynamy nepracují do pasivní spotřeby, ale slouží jako zdroj pro dobíjení baterií. V případě uzavření přítoku vody, např. v důsledku zanesení česlí, dynamo přechází nepozorovaně do motorického chodu a místo nabíjení baterie vybíjí. [1]

2 Výběr lokality

2.1 Lokalita

Řeka – Třebůvka

Kraj – Olomoucký

Okres – Šumperk

Lokace – Zábřežská vrchovina

Obec s rozšířenou působností – Mohelnice

Lokalita se nachází u obce Vlčice

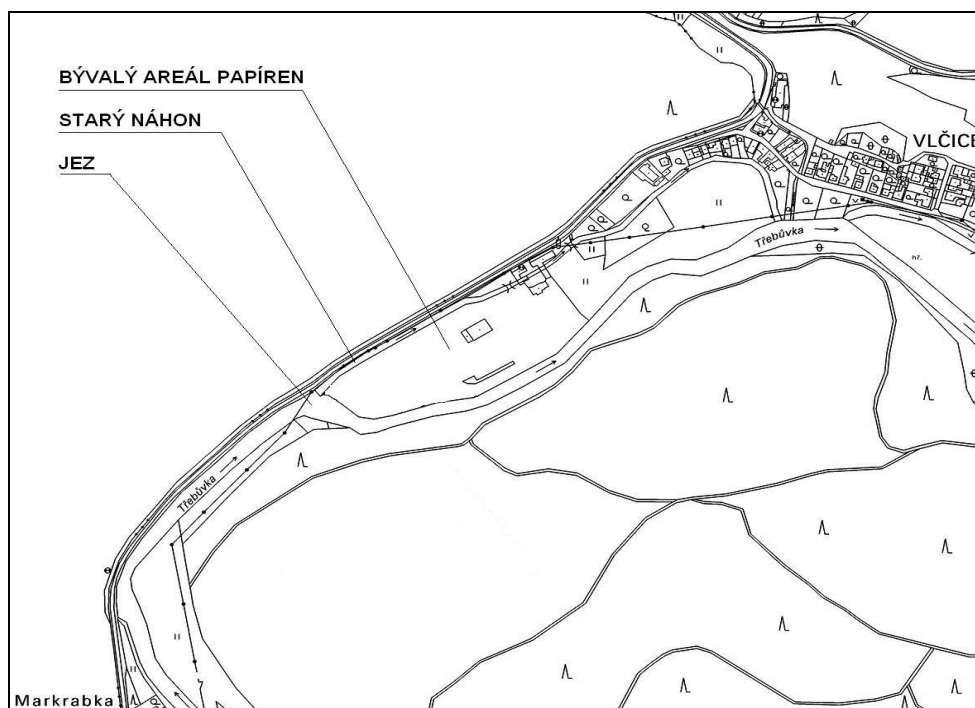
Říční kilometr lokality: 7 [km]

Provozovatel – ČHMÚ Ostrava

2.2 Popis lokality

Toto místo je výhodné v tom, že zde v minulosti již MVE provozována byla. Provozována byla jako vodní elektrárna derivační. V blízkosti lokality je místní komunikace zajišťující velmi dobrou přístupnost (viz. Obr. 2-1). Místo je odlehlé (odpadá problém případné hlučnosti během provozu).

Nevýhodou lokality je to, že je majetkem soukromého vlastníka, což by mohlo znamenat případnou komplikaci realizace díla.



Obr. 2-1 Lokalita vybraná pro návrh MVE [4]

2.3 Hydrologické údaje

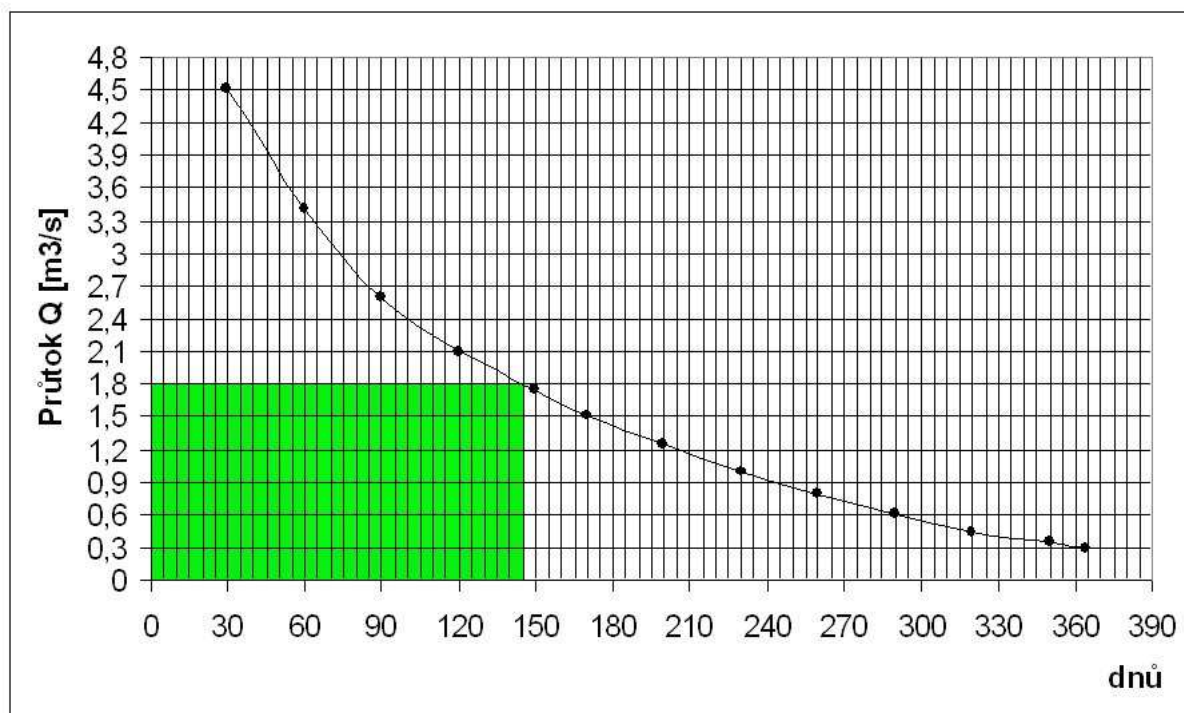
- Podle ČHMU je průměrný roční průtok na řece Třebůvce $Q = 2,66 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Plocha povodí: $573,32 \text{ km}^2$
- Nula vodočtu: $252,47 \text{ [m.n.m.]}$
- Průměrný roční stav: $127 \text{ [cm]} [3]$
- Přibližným měřením jsem určil hrubý spád $H_b \cong 2,2 \text{ m}$.

N-leté průtoky:	Q_1	Q_5	Q_{10}	Q_{50}	Q_{100}
$[\text{m}^3 \text{s}^{-1}]$	29,1	71	90	136	157

Tabulka 2.1 Velké vody opakující se jednou za (N-leté období)[3]

dnů	30	60	90	120	150	170	200	230	260	290	320	350	364
m^3/s	4,5	3,4	2,6	2,1	1,75	1,5	1,25	1	0,8	0,6	0,45	0,35	0,3

Tabulka 2.2 Hodnoty průměrného překročení průtoku po dobu (M-denní)[3]



Obr. 2-2 Odtoková křivka

2.4 Koncepční a dispoziční řešení MVE

Návrh optimálního schématu se řeší vždy ve více variantách, přičemž výsledná optimální variant vyplyne z porovnání technického řešení, ekonomického zhodnocení a zvážení všech ekologických hledisek i jiných, kvantitativně nevyčíslitelných faktorů.

V mém návrhu budu rekonstruovat již vytvořenou, ale nefunkční derivační malou vodní elektrárnu. Dle velikosti spádu patří elektrárna do skupiny nízkotlakých vodních elektráren (velikost spádu do 10m).

Jezové těleso je šikmé k ose hlavního toku. Jez je vybudován z kamene a betonu. Rozměry jezu zůstanou při návrhu díla v původní podobě.

Je zde hradicí stavidlo na začátku přívodního kanálu, ale bude nutná rekonstrukce. Podobně je tomu i u přívodního a odpadního kanálu, které jsou značně zanešeny, a bude zde nutné vyčištění.

Stavba MVE byla upravena a v nynější době slouží jako vrátnice. Veškerá zařízení z ní byla odvezena. Budou zde nutné částečné stavební úpravy, instalace nového strojního a elektrotechnického vybavení.

Lokalitou také prochází elektrické vedení 22kV. Připojení na toto vedení zde již v minulosti bylo, avšak bude potřeba ho celé znovu navrhnout a zrealizovat.

3 Návrh strojní části MVE

3.1 Hydroenergetické řešení MVE

Voda protékající z horní vody do spodní vody vykonává práci. Teoretický výkon potom vypočítáme pomocí vzorce:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad [\text{W}] \quad (3.1)$$

kde ρ je hustota vody [$\rho=1000 \text{ kg/m}^3$],

g – gravitační zrychlení [$9,81 \text{ m.s}^{-2}$],

$Q [\text{m}^3.\text{s}^{-1}]$ – průtok vodním motorem,

$H [\text{m}]$ – spád využitý vodní elektrárnou.

Abychom mohli vypočítat teoretický výkon musíme určit průtok. Průměrný průtok vody danou lokalitu je $2,66 \text{ m}^3/\text{s}$. Vzhledem k tvaru průtokové křivky volíme průtok menší a to $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (odpovídá 145dnů v roce). Je to proto, že tomuto průtoku vymezí největší obsah pod průtokovou křivkou. S tímto průtokem budeme počítat při výpočtu turbíny. Hrubý spád $H=2,2\text{m}$. Po dosazení hodnot do vzorce (3.1):

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H = 1000 \cdot 9,81 \cdot 1,8 \cdot 2,2 = 38,85 \text{ kW}$$

Abychom byli schopni určit výkon na prahu elektrárny, musíme do takto vypočteného teoretického výkonu započítat účinnost turbíny η_t , elektrického generátoru η_g , popřípadě účinnost převodu $\eta_{př}$. Výkon, který vodní elektrárna dodává do sítě, je také ovlivněn

transformací na vyšší napětí. Účinnost transformátoru $\eta_{tr} = 0,92$ až $0,98$ (uvažujeme hodnotu $\eta_{tr} = 0,92$).

Jako turbína bude při návrhu použita Bánkiho turbína. Její účinnost bývá v literatuře [2] uváděna v rozmezích od $0,72$ do $0,84$ (uvažujeme hodnotu $\eta_t = 0,78$).

Generátor má vlivem vlastních ztrát účinnost $\eta_g = 0,85$ až $0,97$ (pro asynchronní motor bude účinnost $\eta_g \cong 0,87$, avšak záleží na typu použitého asynchronního motoru).

Převod mezi turbínou a generátorem bude řemenový. Účinnost řemenového převodu $\eta_{př} = 0,96$ až $0,98$ (uvažujeme hodnotu $0,96$).

Celková účinnost hydroagregátu (vodní turbíny a generátoru) s transformátorem je potom dána vztahem:

$$\eta_C = \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_{př} \cdot \eta_{tr} = 0,78 \cdot 0,87 \cdot 0,96 \cdot 0,92 = 0,6 \quad (3.2)$$

Výkon na prahu elektrárny je :

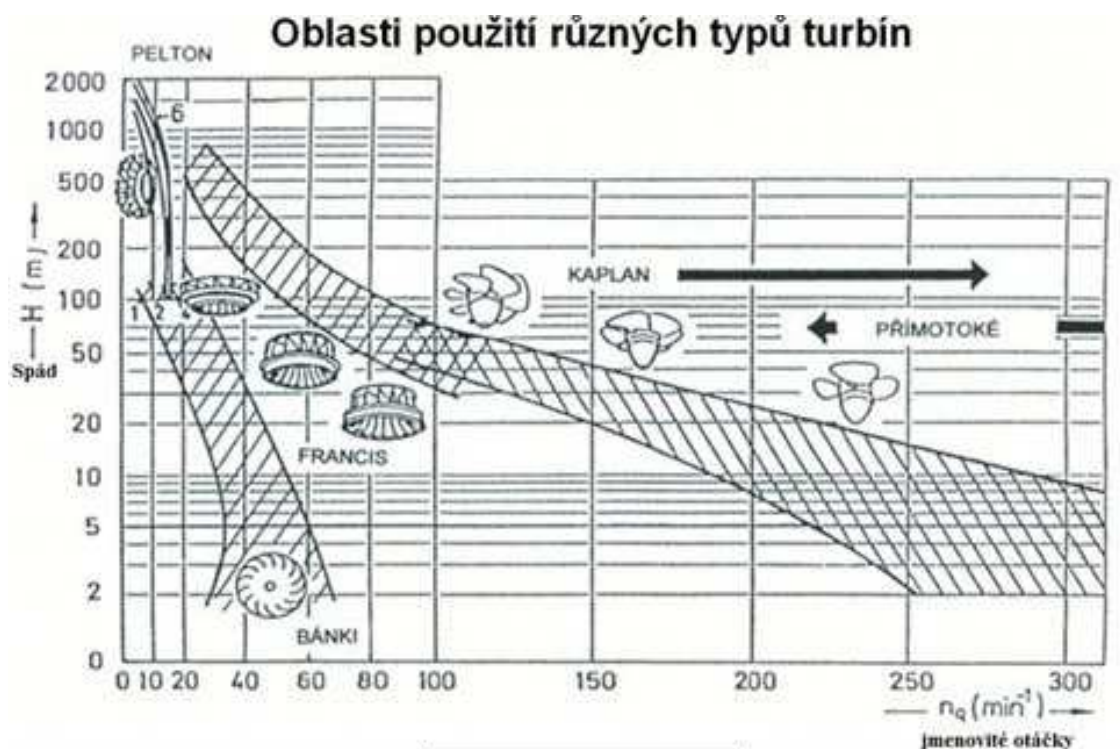
$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta_C = 9,81 \cdot 1,8 \cdot 2,2 \cdot 0,6 = 23,3 \text{ kW} \quad (3.3)$$

Pro srovnání uvedu vzorec pro určení dosažitelného výkonu u malých vodních elektráren udávaný v literatuře [1]:

$$P = 6 \cdot Q \cdot H = 6 \cdot 1,8 \cdot 2,2 = 23,76 \text{ kW} \quad (3.4)$$

Dosažitelný výkon vypočtený pomocí vzorců (3.3) a (3.4) je v podstatě totožný.

3.2 Turbína



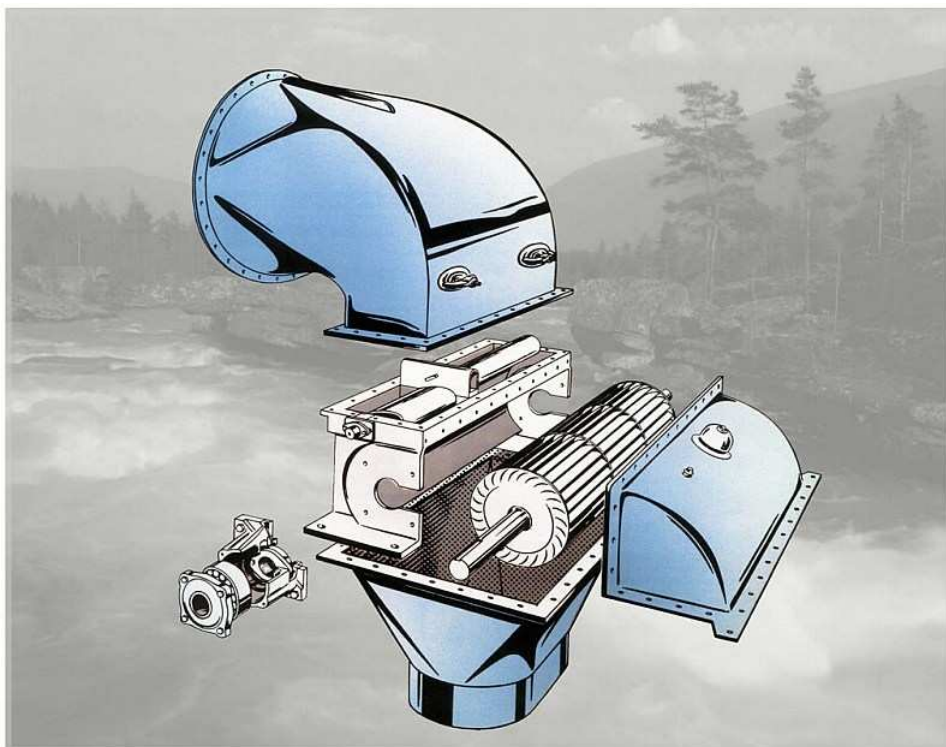
Obr. 3-1 Oblasti použití různých typů turbín [4]

Místa vhodná pro výstavbu velkých vodních děl jsou v současné době plně využívána. To je příčinou toho, proč se výroba el. energie, prostřednictvím kinetické energie vody, ubírá právě k malým vodním elektrárnám.

Obr. 3-1 nám ukazuje turbíny, které je vhodné, na základě parametrů spádu a průtoku, použít u MVE. Z diagramu je patrné, že v úvahu připadají dvě základní typy turbín – Kaplanova, Bánkiho. Dle daných parametrů by se dala užít i turbína Vírová, navržená na VUT pro využívání právě těch lokalit, kterých je u nás dostatek, tedy o malém spádu (do 3m) a dostačujícím průtoku.

Parametry Kaplanovy turbíny (viz.1.2.3.4) jsou vhodné pro větší průtoky, než jsou k dispozici v naší lokalitě. Také její cena by znatelně zvýšila celkové náklady na vybudování MVE.

Vyšší cena Vírové turbíny rozhodla o výběru Bánkiho turbíny. Základní vlastnosti této turbíny jsou uvedeny již v části 1.2.3.4. Tato turbína má velmi široké využití. Vyhoví zejména na malých tocích, všude tam, kdy by jiný stroj vycházel malý a choulostivý.



Obr. 3-2 Bánkiho turbína [5]

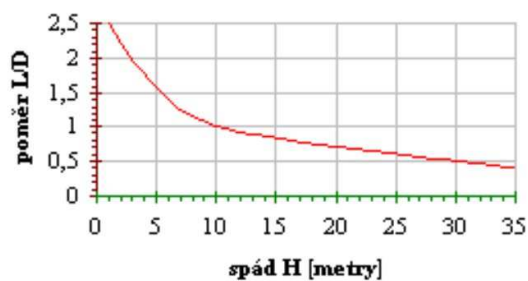
Přesné parametry turbíny použité v mém návrhu jsou popsány v tabulce (viz. Tab. 3-1). Tyto parametry jsem určil následovně:

Postup výpočtu:

Předpoklady:

- vstupní úhel vody: 15°
- vstupní úhel lopatky: 30°
- výstupní úhel lopatky: 90°
- počet lopatek: 32ks
- účinnost: 78%

Hodnotu součinitele k_{ld} pro konkrétní provozní spád jsem určil z grafu (viz. Obr. 3-2). $k_{ld}=2$



Obr. 3-3 Graf určující součinitel k_{ld} [4]

Vstupní rychlost vody c_1 :

$$c_1 = 0,98 \cdot \sqrt{19,81 \cdot H} = 0,98 \cdot \sqrt{19,81 \cdot 2,2} = 6,47 m^3 / s \quad (3.5)$$

plochu štěrby **a**:

$$a = \frac{Q}{c_1 \cdot 1000} = \frac{1800}{6,47 \cdot 1000} = 0,27 m^2 \quad (3.6)$$

největší otevření štěrby **s**:

$$s = 1000 \cdot \sqrt{\frac{a \cdot k_{ostř}}{k_{1d}}} = 1000 \cdot \sqrt{\frac{0,27 \cdot 0,2}{2}} = 164 mm \quad (3.7)$$

$k_{ostř}$ je součinitel ostříku (pro Bánkiho turbínu je $k_{ostř}=0,2$ [4])

vnější průměr oběžného kola **D**:

$$D = \frac{s}{k_{ostř}} = \frac{164}{0,2} = 820 mm \quad (3.8)$$

vnitřní průměr **d₂**:

$$d_2 = D \cdot 0,66 = 541 mm \quad (3.9)$$

délka štěrby **L**:

$$L = D \cdot k_{1d} = 820 \cdot 2 = 1640 mm \quad (3.10)$$

délka lopatky **L₂** by měla být o 5mm – 15mm větší než délka štěrby:

$$L_2 = L + 10 = 1650 mm \quad (3.11)$$

Světlost **DN** této trubky (vnitřní průměr):

$$DN = 0,326 \cdot D - 2 \cdot tl = 0,326 \cdot 820 - 2 \cdot 5 = 257 mm \quad (3.12)$$

V praxi se použije nejbližší typizovaný rozměr trubky. Síla stěny **tl** se pohybuje od **3,5** do **8 mm** podle délky lopatky a jejího namáhání.

jmenovité otáčky turbíny **n**:

$$n = 9898 \cdot \frac{c_1}{D} = 9898 \cdot \frac{6,47}{820} = 78 ot / min. \quad (3.12)$$

Přibližný průměr hřídele **d_h**:

$$d_h = 160 \cdot \sqrt[3]{\frac{H \cdot Q}{75 \cdot n}} = 160 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,2 \cdot 1800}{75 \cdot 78}} = 140,5 mm \quad (3.13)$$

Výpočet mechanického výkonu na hřídeli turbíny:

$$P_{\text{turbíny}} = g \cdot H \cdot Q \cdot \eta_T = 9,81 \cdot 2,2 \cdot 1,8 \cdot 0,78 = 30,3 \text{ kW}$$

$$(3.14)$$

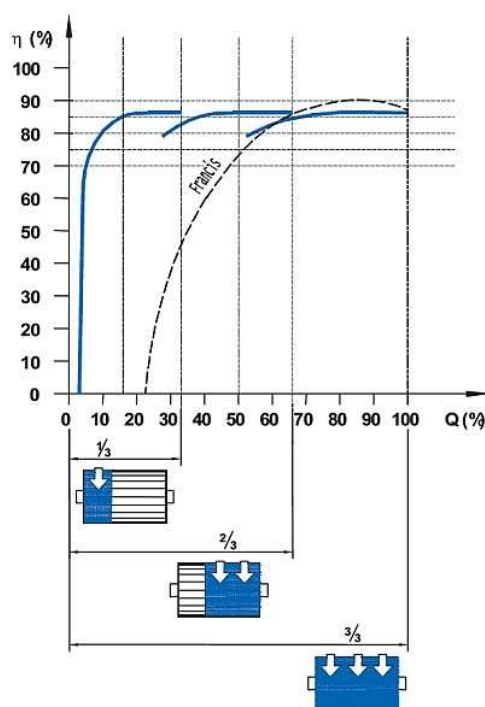
Parametry vypočtené na turbíně srovnané pro přehlednost do tabulky:

Parametr	hodnota
$P_{\text{turbíny}}$	30,3kW
n	78ot/min.
D	820mm
d2	541mm
L	1640mm
Délka lopatky	1650mm
s	164mm
DN	257mm
d_h	140,5mm
c1	6,47m ³ /s
a	0,27m ²

Tab. 3-1 Vypočtené parametry turbíny

Množství vody v řece Třebůvce je vlivem její zeměpisné polohy poměrně proměnné, a proto bude turbína stavěna jako dvoukomorová. Užší komora zpracovává malý a širší komora střední průtok vody. Plný průtok protéká přes obě komory najednou. Celková účinnost turbíny se u daného spádu a výkonu v celé oblasti průtoku zvýší. Obrázek 3-4 ukazuje výhody průtokové turbíny v oblasti částečného zatížení. Turbína je postavena horizontálně.

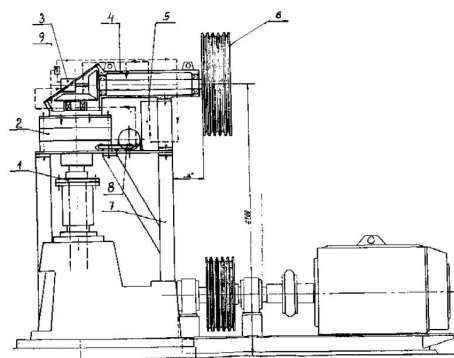
U turbíny bude použita savka (bereme v potaz ztrátu výkonu při zvýšené vodní hladině).



Obr. 3-4 Průběh účinnosti průtokové turbíny, složený ze 3 křivek účinnosti při regulaci dělenou regulační klapkou v poměru 1:2 ve srovnání s Francisovou turbínou. [5]

3.3 Převody

Propojení mezi vyvedenou hřídelí z turbíny ($n=78\text{ot/min}$) a hřídelí generátoru ($n_2=750\text{ot/min}$) je provedeno klínovými řemeny $22 \times 2000\text{mm}$. Účinnost řemenového převodu $\eta_{\text{pr}} = 0,96$ až $0,98$ (uvažujeme hodnotu $0,96$). Převod do rychla má poměr $1:9,6$.



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

Obr. 3-5 Možná podoba převodu [2]

3.4 Regulece

Regulace obecně spočívá v regulaci průtoku turbínou. Regulace průtoku Bánkiho turbíny se provádí tzv. regulačními klapkami. U turbíny dvojsekční (při poměru sekcí $1/3$ ku $2/3$) je plnění od **8%** do **100%**, což je velmi dobré (viz. Obr 3-4).

V dělené průtokové turbíně (dvousekční) je pracovní voda směřována dvěma regulačními klapkami. Klapky jsou na sobě nezávislé. Poloha klapky a tím i velikost průtoku bude měněna automaticky pomocí šroubu (prodloužené rameno) a servomotoru, napájených z vlastní spotřeby a z akumulátoru 12V . Toto ovládání je navrženo hlavně pro havarijní uzavření turbín při ztrátě napětí v síti, kdy dojde k odpadnutí hlavního stykače a na pomocných kontaktech dojde k sepnutí okruhu 12V pro uzavření turbín.

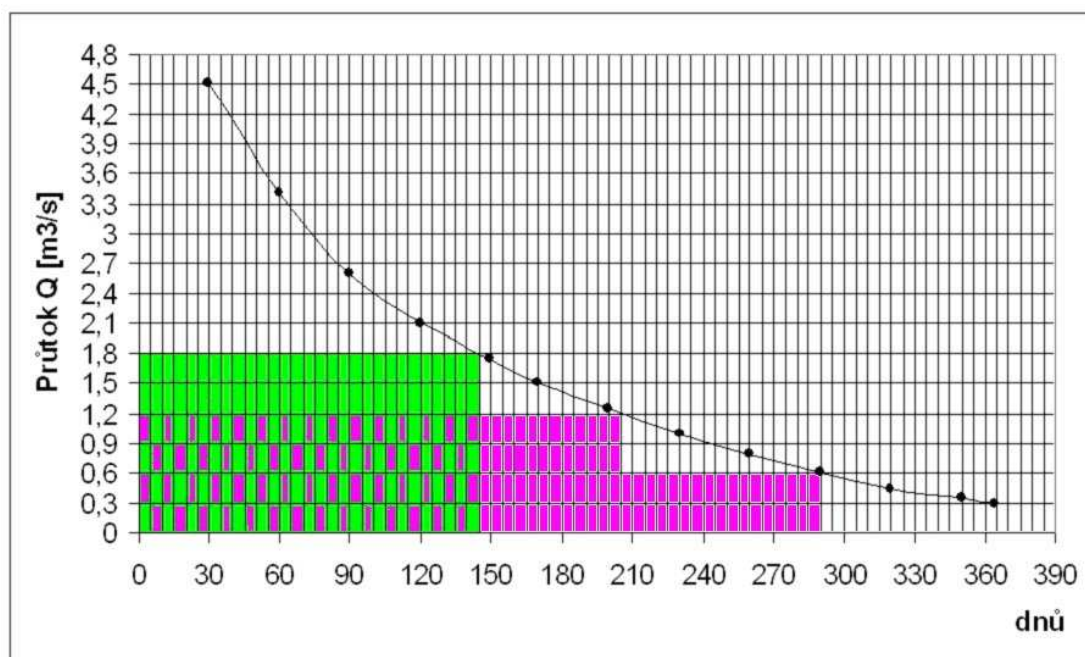
O stavu hladiny budou regulační orgán informovat dvě elektrodové čidla (čidlo 1, čidlo 2 (umístěné pod čidlem 1)). Princip činnosti elektrodového čidla je, že při zaplavení společné a snímací elektrody dojde k uzavření obvodu a sepnutí výstupní kontaktní jednotky.

Dorozumívání mezi čidly a servomotorem bude zajištěno převodníky a reléovou logikou, popř. může být elektrárny na požadavek investora vybavena programovatelným automatem PLC (obr. 3-7) zajišťujícím lepší komfort, spolehlivost a operativnost řízení MVE. Tyto systémy se v dnešní době vyrábějí přímo pro aplikaci do malých vodních elektráren. Pro náš účel by mohl být použit přístroj firmy Unitronics M91-2-R6C (24VDC , 6 Digital Inputs, 6 Relay Outputs, 6 Analog Inputs).

Z předchozích informací vyplývá, že turbína má tři možnosti jak přivádět vodu na oběžné kolo.

1. *Plný průtok turbínou* - obě klapky otevřené,
 - obě čidla ponořená,
 - na tento průtok je turbína navržena ($Q=1,8\text{m}^3/\text{s}$),
 - protéká turbínou dle odtokové křivky 145 dní v roce.
2. *Střední průtok turbínou* – čidlo 1 není ponořené, čidlo 2 ponořené,
 - menší klapka uzavřená, větší je otevřená,
 - průtok je roven $2/3$ maximálního průtoku ($Q_{205}=1,2\text{m}^3/\text{s}$),
 - protéká turbínou dle odtokové křivky 205 dní v roce
3. *Malý průtok turbínou* – obě čidla nejsou ponořené,
 - menší klapka je otevřená, větší klapka je uzavřená,
 - průtok je roven $1/3$ maximálního průtoku ($Q_{290}=0,6\text{m}^3/\text{s}$),
 - protéká turbínou dle odtokové křivky 290 dní v roce.

Obr. 3-6 zobrazuje odtokovou křivku s vyznačením pokrytí turbínou (zelená barva) a vylepšení pokrytí odtokové křivky díky regulaci (růžová barva).



Obr. 3-6 Odtoková křivka s vyznačením pokrytí turbínou + pokrytí regulací

Jak již bylo řečeno v předchozím odstavci, Bánkiho turbína má vysoký rozsah regulace (viz. Obr 3-4), a tedy při práci v mezních hodnotách průtoku reguluje s účinností přibližně stejnou jako při průtoku ($\eta_t = 78\%$) na jaký byla dimenzovaná. Vlivem menšího průtoku se zmenší výkon na turbíně a tedy i výkon na prahu elektrárny.

Uvažujeme-li vzorec 3.14, pro výpočet výkonu na Bánkiho turbíně, výkon pro *střední průtok turbínou* a *malý průtok turbínou* bude následující:

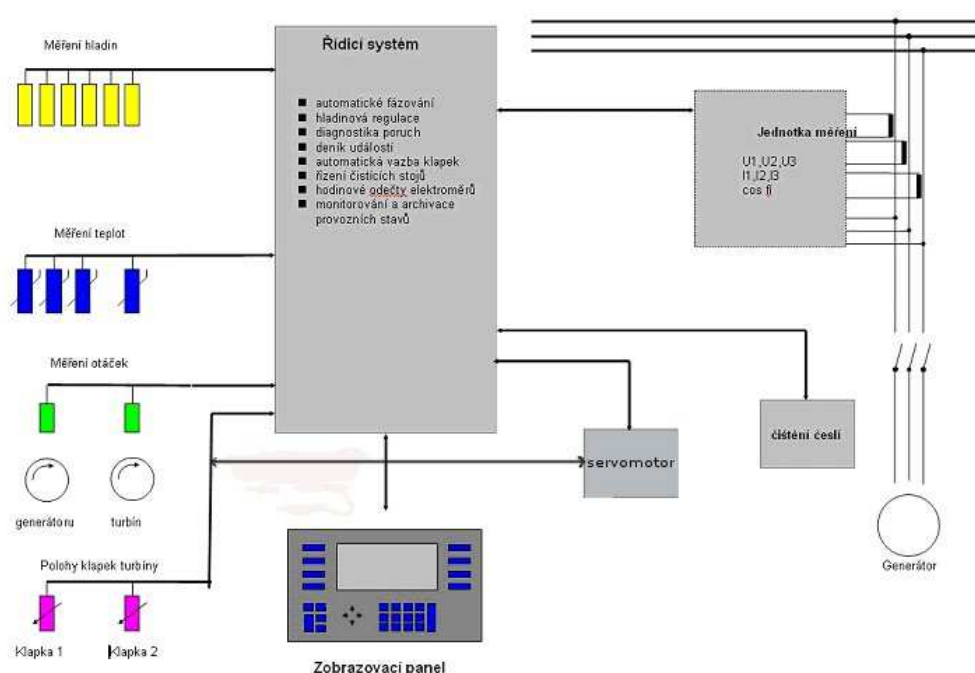
$$P_{t205} = g \cdot H \cdot Q \cdot \eta_T = 9,81 \cdot 2,2 \cdot 1,2 \cdot 0,78 = 20,2\text{kW}$$

$$P_{t290} = g \cdot H \cdot Q \cdot \eta_T = 9,81 \cdot 2,2 \cdot 0,6 \cdot 0,78 = 10,1 \text{ kW}$$

Průtok turbínou	Účinnost [%]	Průtok [m ³ /s]	Výkon [kW]
<i>Plný průtok</i>	78	1,8	30,3
<i>Střední průtok</i>	78	1,2	20,2
<i>Malý průtok</i>	78	0,6	10,1

Tab. 3-2 Výkon na turbíně při mezních stupních regulace

Tyto výkony je nutné znát pro určení zatížení generátoru při daných stupních regulace. Se zatížením generátoru se mění i jeho účinnost a účinník, což ovlivní výsledný elektrický výkon na prahu elektrárny.



Obr. 3-7 Řídicí systém MVE

3.5 Asynchronní generátor

Asynchronní generátor je nejčastěji používaným zdrojem proudu na současných malých vodních elektrárnách. Mezi jeho přednosti patří jednoduchost, spolehlivost a minimální nároky na údržbu. Jako asynchronní generátor lze bez úprav použít téměř každý asynchronní elektromotor s kotvou nakrátko.

Při spouštění je soustrojí s generátorem roztočeno na otáčky blízké synchronním otáčkám sítě, načež dojde k sepnutí k síti a zatažení stroje do otáček odpovídajících kmitočtu sítě. U asynchronního generátoru se snažíme snížit první proudový náraz, vzniklý při spojení stroje a sítě, nebo úplně odstranit činnou složku nárazového proudu.

Základní vlastnosti důležité pro návrh MVE:

- Elektromotor ve funkci asynchronního generátoru může dodávat proud pouze do veřejné třífázové elektrorozvodné sítě.

- Elektromotor ve funkci asynchronního generátoru za běžných okolností nelze použít v místech, kde tato síť není. Nemůže tedy pracovat jako nouzový zdroj při jejím výpadku nebo jako jediný zdroj v neelektrifikovaných lokalitách.
- Generátor není nutné k síti složitě fázovat.
- Generátor nevyžaduje žádnou regulaci napětí a frekvence.
- Vodní motor pohánějící tento generátor nepotřebuje regulátor otáček. Generátor si sám vodní kolo nebo turbínu přibrzdí na odpovídající otáčky. Vhodný převodový poměr zajistí, aby v tu chvíli pracovala turbína v optimálním režimu.
- Je-li vody dostatek, nebo pracuje-li dílo s akumulací vody, nemusí mít vodní motor regulaci průtoku, pouze havarijní uzavírací orgán.[4]

Z vypočtených parametrů na turbíně (výkon) jsem vybral z katalogu firmy TES asynchronní generátor následujícího typu a parametrů:

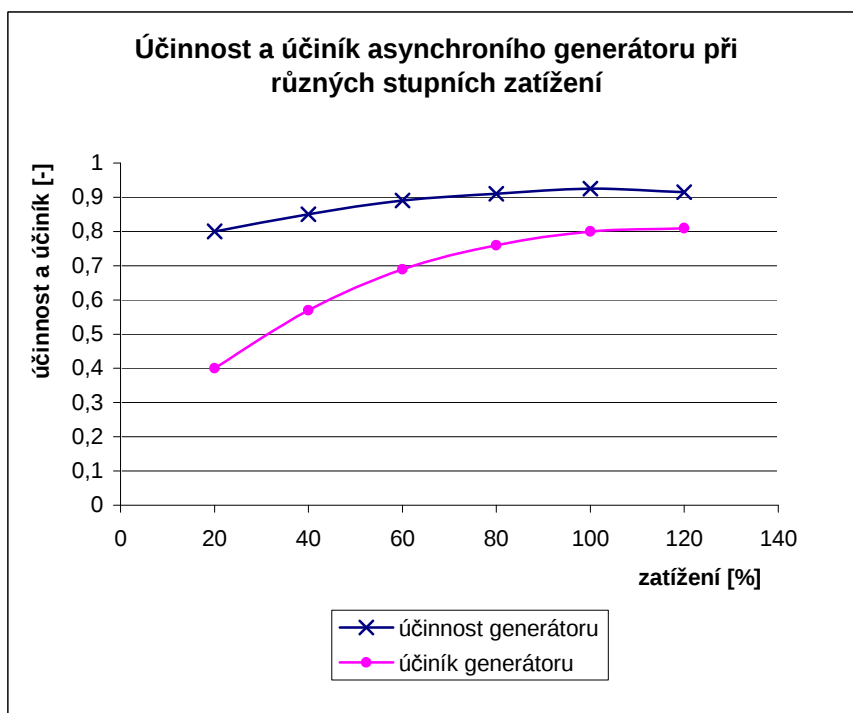
Typ	GAK225S8
Kmitočet	50Hz
Teplotní třída	F
Využití	B
Tvar	IM 1001
Krytí	IP 23
Chlazení	IC 01
Výkon P_N [kW]	30
Napětí U [V]	420
Proud I_A [A]	52
Příkon P_1 [kW]	32
Účinník při P_n [-]	0,8
Účinnost při P_n [%]	92,5
Syn. otáčky [ot/min]	750
Počet pólů	8

Tabulka 3-3 Parametry Asynchronního generátoru [10]

Při daných zatíženích se bude účinnost a účinník asynchronního generátoru GAK225S8 měnit podle následující tabulky: [10]

Zatížení [%]	Účinnost [-]	Účinník [-]
120	0,900	0,81
100	0,925	0,80
80	0,890	0,75
60	0,850	0,70
40	0,825	0,61
20	0,800	0,47

Tabulka 3-4 Účinnost a Účinník generátoru při daném zatížení [10]



Obr. 3.8 Účinnost a účiník generátoru při daném zatížení

Pro další výpočet parametrů MVE je důležité určit elektrický výkon generátoru při třech stupních regulace, který je roven výstupnímu výkonu na prahu elektrárny dodávanému do distribuční sítě.

Jako příklad uvedeme výpočet výkonu generátoru při plném průtoku. Ostatní výkony budou uvedeny v tabulce (viz. Tab. 3-5).

$$P_{el145} = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q_{145} \cdot \eta_t \cdot \eta_p \cdot \eta_g = 9810 \cdot 2,2 \cdot 1,8 \cdot 0,78 \cdot 0,87 \cdot 0,92 = 24,3 \text{ kW} \quad (3.15)$$

Počet dnů	Průtok [m ³ /s]	Spád [m]	Účinnost turbíny [%]	Účinnost motoru [%]	Elektrický výkon [kW]
145	1,8	2,2	78	92	24,3
205	1,2	2,2	78	86	15,1
290	0,6	2,2	78	81	7,1

Tabulka 3-5 Přehled elektrických výkonů při třech stupních regulace

Pozn.: Účinnosti generátoru při různých stupních zatížení, které se mění s regulací, jsou brány z Obr. 3.8 Účinnost a účiník generátoru při daném zatížení.

4 Návrh silnoproudé části

4.1 Kompenzace jalového výkonu

Provozovatele distribuční soustavy (dále pouze PDS) vyžaduje aby generátor dodával do sítě činný výkon v rozmezí induktivního účinníku $\cos\phi = 0,85$ až 1 (dodávka jal.výkonu

induktivního charakteru) a kapacitního účinníku až $\cos\varphi = 1$ až 0,95 (chod generátoru v podbuzeném stavu). Tato kompenzace se většinou provádí pevnými kondenzátory (kompenzačními bateriemi).

Jsou používány tyto druhy kompenzace:

- individuální,
- skupinová a centrální.

U individuální kompenzace je kondenzátor spínán přímo se spotřebičem (pro nás asynchronní generátor). Skupinová a centrální kompenzace je vhodná pro rozsáhlejší elektrické systémy s proměnnou zátěží. Spínání kondenzátorů je řízeno mikroprocesorovým regulátorem, který zajišťuje dosažení optimálního účinníku.

Také napětí na svorkách generátoru má svou dovolenou hodnotu $\pm 5\% U_n$ a frekvence tohoto napětí musí být v rozmezí 48,5 až 50,5 Hz.

Při návrhu kompenzace MVE vycházím ze znalosti základních parametrů asynchronního motoru:

$$U_s = \sqrt{3} \cdot 400V$$

$$\eta_{gen} = 0,925$$

$$\cos\varphi = 0,8 \Rightarrow \tan\varphi = 0,75$$

$$I_{vin} = 52A$$

$$P_N = 30kW$$

Jalový výkon generátoru:

$$Q_{gen} = P_N \cdot \tan\varphi = 30 \cdot 10^3 \cdot 0,75 = 22,5kVAr \quad (4.1)$$

Generátor kompenzujeme na hodnotu odpovídající $\cos\varphi=0,95$ až 0,98. Od jalového výkonu generátoru je zapotřebí odečíst jalový výkon, který je podle pravidel připojování daných provozovatelem distribuční sítě možno dodávat ze sítě. Kompenzace bude prováděna na $\cos\varphi=0,98$.

$$Q_{sítě} = U_s \cdot I_{vin} \cdot \sin\varphi = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 52 \cdot 0,2 = 7,205kVAr \quad (4.2)$$

Výsledný jalový výkon pro kompenzaci:

$$Q_C = Q_{gen} - Q_{sítě} = 22,5 - 7,205 = 15,295kVAr \quad (4.3)$$

Z výpočtu pro výsledný jalový výkon pro kompenzaci plyne, že pro kompenzaci MVE budou použity dva kondenzátory od firmy ZEZ-Silko. První kondenzátor $Q_1=5kVAr$ (typ-CSADG 1-0,4/5), druhý kondenzátor $Q_2=10kVAr$ (typ-CSADG 1-0,4/10). Budou spojeny tak, aby tvořily tři stupně kompenzace:

- $Q_a=5kVAr$,
- $Q_b=10kVAr$ (paralelní spojení Q_1 a Q_2),
- $Q_c=15kVAr$.



Obr. 4-1 Kondenzátory firmy ZEZ-Silko [8]

Kompenzační kondenzátory by měly být jištěny pojistkami s pomalou vypínací charakteristikou. Průřez vodičů by měl být dimenzován alespoň na 1,6 – 1,8 násobek jmenovitého proudu kondenzátoru.

Pro vytvoření třech kompenzačních výkonů v závislosti na aktuálním výkonu generátoru (regulace jalového výkonu) je použit regulátor účinníku NOVAR 5+ od firmy KMB Sytems.

Vlastnosti

- 5 + 1 reléových stupňů
- šesté relé programovatelné jako regulační nebo alarmové
- společné napájecí a měřicí napětí 230 V AC (nebo 115 V AC), 50/60 Hz
- citlivost proudového vstupu 0,05 A
- čelní panel 96 x 96 mm .[7]

Popis přístroje

Regulátor jalového výkonu typu NOVAR 5 je plně automatický přístroj, umožňující optimální řízení kompenzace jalového výkonu. Jeho hlavní předností je příznivá cena.

Vstup měřicího napětí je společný s napájecími svorkami 230 Vstř. Proudový měřicí vstup předpokládá připojení MTP s nominální hodnotou sekundárního proudu 5A. K regulátoru lze připojit libovolné fázové napětí a proud libovolné fáze trojfázové sítě 3x230/400 Vstř.

Instalace přístroje je plně automatizována. Regulátor automaticky zjistí jak způsob připojení, tak velikost jednotlivých připojených kompenzačních stupňů. Ruční zadání těchto parametrů je rovněž možné. Libovolný výstup lze nastavit jako pevný.

Připínání a odpínání kompenzačních kondenzátorů je prováděno tak, aby optimální stav kompenzace byl dosažen jediným regulačním zásahem a minimálním počtem přepínaných stupňů.

Regulátor je vybaven šesti výstupními relé. Funkci šestého relé lze nakonfigurovat jako regulační nebo jako alarmovou pro signalizaci nestandardních stavů.[7]

Automatická funkce

- Automatické rozpoznání připojení při instalaci regulátoru a rozpoznání regulačních stupňů,
- možnost připojení zcela libovolné kombinace regulačních stupňů,
- možnost ručního zadání hodnot stupňů,

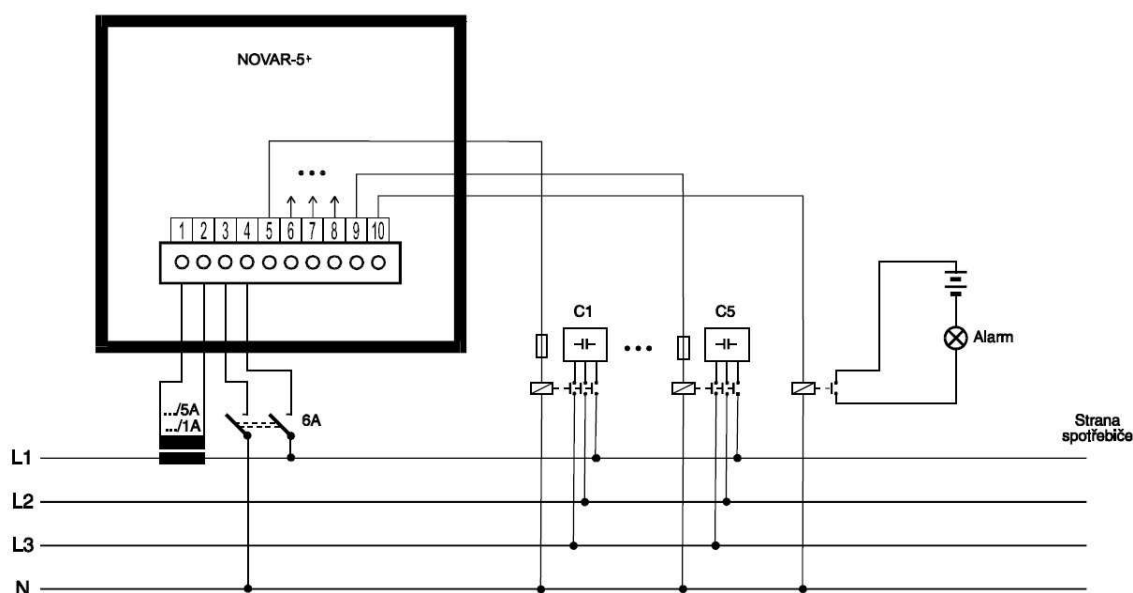
- průběžná kontrola regulačních stupňů v průběhu regulačního procesu a v případě opakovaného zjištění závady dočasné vyřazení vadného stupně z regulace a případně současná aktivace alarmu,
- libovolný regulační stupeň lze nastavit jako pevný, a to jako trvale odepnutý, nebo trvale zapnutý.[7]

Volně programovatelný alarm

- Samostatně nastavitelná signalizační a akční funkce alarmu,
- funkce šestého relé nastavitelná pro dálkovou signalizaci alarmu. [7]



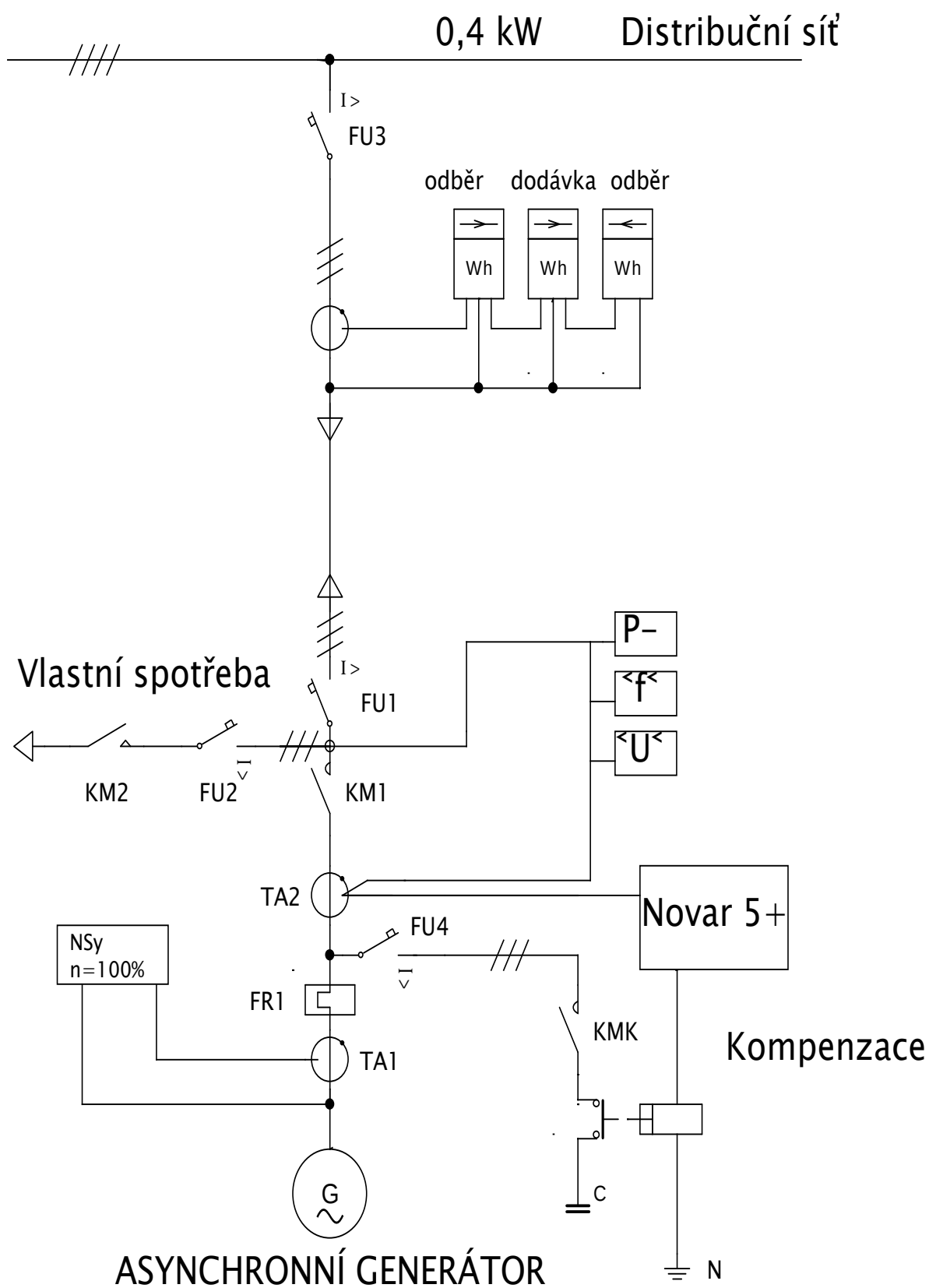
Obr. 4-2 Regulátor jalového výkonu NOVAR 5+ [7]



Obr. 4-3 Zapojení regulátoru jalového výkonu NOVAR 5+ [7]

4.2 Elektrické schéma

Vazbu alternátoru na elektrizační soustavu a propojení jednotlivých elektrických spotřebičů v elektrárně řeší elektrické schéma elektrárny. Elektrické schéma musí zajistit nejen spolehlivé vyvedení elektrické energie ze zdroje, ale i spolehlivé a hospodárné napájení spotřebičů ve vlastní spotřebě, zejména pak elektrických pohonů ve strojní části elektrárny. V zásadě se dělí na hlavní elektrické schéma, které řeší pouze vyvedení výkonu do soustavy a napojení vlastní spotřeby, a na schéma vlastní spotřeby, které řeší konkrétní zapojení elektrických spotřebičů v technologickém schématu elektrárny.[9]



Obr. 4-4 Schéma zapojení MVE

Popis schéma:

Elektrické schéma (obr. 4-4) se skládá z následujících větví:

- Generátorová větev
- Větev vyvedení výkonu do sítě
- Větev vlastní spotřeby
- Kompenzační větev

Generátorová větev:

Generátorová větev se skládá z asynchronní generátor, stykač **KM1**, který je určen k uvedení generátoru do provozu a odstavování generátoru z provozu. Dále větev obsahuje napěťovou ochranu, frekvenční ochranu, jistič **FU1**, ochranu proudové přetížitelnosti **FR1**. Proudová ochrana přetížitelnosti **FR1** chrání generátor před přetížením. Jedná se o nadproudové relé s časovým zpožděním. Napěťová a frekvenční ochrana je popsána v kapitole „ochrany“.

Větev vyvedení výkonu do sítě:

Tato část elektrického schéma obsahuje jistič **FU3**, měření energie vyrobené a měření energie spotřebované.

Větev vlastní spotřeby:

Větev vlastní spotřeby obsahuje zařízení vlastní spotřeby (např. servomotor, čidla, regulátory a další spotřebiče zajišťující spolehlivost a operativnost chodu MVE), stykač **KM2**, jistič **FU2**.

Kompenzační větev:

Větev obsahuje kompenzační kondenzátory, regulátor jalového výkonu **NOVAR 5+**, stykač **KMK**, jistič **FU4**. Ochranný pojistkový jistič kompenzace **FU3** je několikastupňový s celkovou proudovou ochranou. Potřebná ochrana se odvíjí od aktuálního výkonu MVE a tím i požadavků na kompenzaci jalového výkonu. Kompenzační kondenzátory a regulátor jalového výkonu **NOVAR 5+** jsou popsány v kapitole „kompenzace jalového výkonu“.

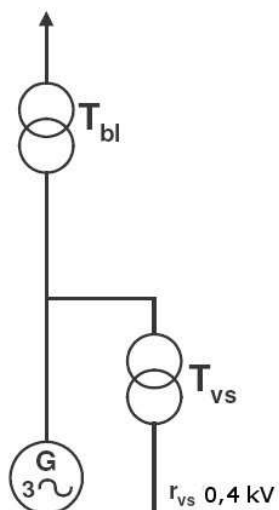
Jednotlivá větve jsou chráněny vlastním jističem **FU1**, **FU2**, **FU3**, **FU4**. Jistič **FU3** jistící vyvedení výkonu do sítě je hlavním jističem MVE. Jističe chrání zařízení před přetížením (proudové jistící relé proti přetížení- tepelná spoušť) a před zkratem (zkratová ochrana-magnetická spoušť). Generátorová větev, kompenzační větev a větev vlastní spotřeby jsou spínány každá vlastním stykačem **KM1**, **KMK**, **KM2**.

4.3 Schéma vlastní spotřeby

Elektrické schéma vlastní spotřeby nám znázorňuje rozmístění rozvoden a způsob zapojení elektrických spotřebičů zajišťujících spolehlivost a operativnost chodu MVE.

Nejčastěji je střídavá vlastní spotřeba za provozu napájena z vývodu MVE. U generátoru nízkého napětí (naš případ) je vlastní spotřeba napájena přímo z vývodu.

Ve schématu (obr. 4-5) je znázorněn generátor, hlavní transformátor **T_{bl}** upravující vyrobenou energii na napěťovou hladinu DS, transformátor vlastní spotřeby **T_{vs}** upravující část vyrobené energie na energii pro vlastní spotřebu a odpor **r_{vs}** představující odpor elektrických spotřebičů zajišťujících spolehlivost a operativnost chodu MVE.



Obr. 4-5 Schéma zapojení vlastní spotřeby

4.4 Varianty vyvedení výkonu

Připojení MVE na distribuční soustavu (dále jen DS) musí být projednáno s provozovatelem distribuční soustavy (dále jen PDS). Změna výkonu nebo jiné zásadní provozní či technické změny je nutné opět projednat s PDS.

U předávacího místa musí být vypínač s možností jeho uzamknutí ve vypnuté poloze, nebo musí být jinak zajištěna možnost spolehlivého odpojení MVE od rozvodné sítě a jeho zajištění proti neoprávněné manipulaci.

4.4.1 Napojení MVE na síť

Elektrárna bude připojena 15m kabelovou přípojkou na venkovní vedení nn. Kabelová přípojka je vzdálena 100m od distribučního transformátoru.

Důležité je zachovat selektivní jištění celého vývodu. V řetězci jisticích prvků jsou jističe v transformační stanici, v distribučním rozvodu nn, v předávacím místě MVE a nakonec v samotné MVE. V návrhu jištění počítáme s proudovým nárazem vznikajícím při spouštění asynchronního generátoru k síti (6-9ti násobek jmenovitého proudu stroje).

4.4.2 Elektrická přípojka

El. zdroj bude připojen přes TR 0,4/22kV do linky VN 22kV, napájeno z TR 110/22 kV.

Parametr	Značení	Hodnota
Délka napájecího kabelu	l	15m
Instalovaný výkon MVE	P_{MVE}	30kW
Výkon generátoru	P_N	30kW
Jmenovitý proud generátoru	I_A	52A
Koeficient soudobosti	k_s	1
Maximální proudové zatížení zásuvky v rozvaděči	I_{ZR2}	12A

Tab. 4-1 Veličiny potřebné pro návrh napájecího kabelu rozvaděče-přípojka

Kabel pro napájení rozvaděče R z přípojkové skříně:

Koeficient využití generátoru:

$$k_v = \frac{P_\beta}{P_N} = \frac{24,3}{30} = 0,81 \quad (4.4)$$

$P_\beta = P_{el145}$ - skutečný výkon generátoru daný výkonem turbíny na hřídeli.

Koeficient náročnosti pro přívod generátoru:

$$\beta = k_s \cdot k_v = 1 \cdot 0,81 = 0,81 \quad (4.5)$$

Velikost výpočtového proudu pro dimenzování přívodního kabelu:

$$I_v = \beta \cdot I_A + I_{ZR2} = 0,81 \cdot 52 + 12 = 55,8A \quad (4.6)$$

Pro napájení rozvaděče R z přípojkové skříně vyhovuje kabel CYKY 4Jx25 mm². Kabel bude jištěn v přípojkové skříně pojistkami gG 80A.

Z rozvaděče R je napojen asynchronní generátor a související technologie. Rozvaděč je napájen z vlastní spotřeby MVE. Pro možnost jednoduchého viditelného odpojení napájení MVE je použit pojistkový odpínač OPV 22. Z důvodů selektivity je vybaven válcovými pojistkami gG 63A. Za pojistkami jsou umístěny měřicí transformátory proudu a hlavní stykač MVE K1. Stykač K1 je napojen na centrální STOP tlačítko.

Kabel propojující asynchronního generátoru a rozvaděč bude mít následující parametry:

Koeficient využití generátoru:

$$k_v = \frac{P_\beta \cdot \eta_{př}}{P_N} = \frac{24,3 \cdot 0,96}{30} = 0,78 \quad (4.7)$$

Výpočtový pro dimenzování a návrh kabelu:

$$I_v = k_v \cdot I_A = 0,78 \cdot 52 = 40,5A \quad (4.8)$$

Pro připojení generátoru vyhovuje kabel CYKY 4Jx16mm². Kabel s generátorem budou jištěny proti zkratu pojistkami aM 50 A. Volbou pojistek je zajištěna selektivita jištění.

4.5 Měření

Pro měření dodávky elektrické energie z MVE a dalších veličin je nainstalován měřicí přístroj Lovato DMK22.

1.	Napětí (fáz., sdružená)	5.	Frekvence vstupního napětí
2.	Proud	6.	Účinník
3.	Zdánlivý výkon	7.	Počítadlo dodávané energie
4.	Činný výkon		

Tab. 4-2 Veličiny měřené přístrojem Lovato

Měření pro účtování vyrobené v našem případě i spotřebované energie je zajištěno cejchovaným elektroměrem, který je v majetku provozovatele sítě. Elektroměr zaznamenává činnou vyrobenou energii, činnou spotřebovanou energii a jalovou spotřebovanou energii. Podle podmínek sjednaných pro dodávku elektrické energie s PDS, jsou tyto elektroměry jednotarifové nebo dvoutarifové.

Odběratel na vlastní náklady zajistí telefonní linku do blízkosti elektroměru z důvodu dálkových odečtů.

MVE bude obsahovat i snímače neelektrických veličin, např. měření teploty, měření hladiny, měření průtoku nebo snímání otáček.

4.6 Ochrany

MVE obsahuje následující společné ochrany:

1. Ochranu nadproudovou a zkratovou

- *Ochrany s okamžitým působením* - patří sem ochrany zkratové jejichž představiteli jsou pojistky a zkratové spouště jističů na vývodu generátoru.

- *Ochrany časově zpožděné* – jsou ochrany indukující přetížení stroje. U MVE se často realizují nadproudovým relé nebo nadproudovou spouští jističů.

2. Ochranu napět'ovou a podpět'ovou

- Ke sledování napětí se používá jedno relé, zahrnující obě ochrany, nebo dvě rozdílná relé, samostatná pro přepětí a podpětí. Přepět'ové ochrany musí bezpečně rychle odepnout stroj při vzniklém přepětí. Podpět'ová a přepět'ová ochrana musí být trojfázová.

3. Ochranu proti asymetrii napětí

4. Ochranu proti nesouměrnému zatížení

5. Ochranu na sled fází

6. Ochrana nadfrekvenční a podfrekvenční

- Nadfrekvenční a podfrekvenční ochrana je zajištěna jedním frekvenčním relé. Nastavení mezí relé je závislé na požadavcích provozovatele sítě a na typu soustrojí (viz. Tabulka 4.3). Podfrekvenční a nadfrekvenční ochrana může být jednofázová.

Hydrogenerátor pak obsahuje následující ochrany:

1. Ochranu nadproudovou a zkratovou

2. Ochranu na synchronní otáčky při fázování

3. Zpětnou wattovou ochranu

Pohon regulačních klapek (servomotor) je chráněný ochranou nadproudovou a zkratovou. Pohon je připojen kabelem CYKY 4Jx1mm². Připojný kabel i pohon jsou

chráněny proti zkratu pojistkami aM 6 A, proti přetížení působí nastavitelné nadproudové relé.

Pohon je spouštěn dvojicí stykačů v reverzním zapojení, které umožňuje pohyb oběma směry.

Funkce	Rozsah nastavení	Příklad nastavení	Časové zpoždění	Příklad nastavení
Podpětí 1. stupeň $U <$	0.70U až 1.0U	90 % U_n	$t_{u<}$	0,5 s
Podpětí 2.stupeň $U \ll$	0.70U až 1.0U	80 % U_n	$t_{u\ll}$	0,1 s
Přepětí 1. stupeň $U >$	1.0U až 1.2U	110 % U_n	$t_{u>}$	0,5 s
Přepětí 2.stupeň $U \gg$	1.0U až 1.2U	120 % U_n	$t_{u\gg}$	0,1 s
Podfrekvence 1.stupeň $f <$	48 Hz až 50 Hz	49,8 Hz	$t_{f<}$	0,5 s
Podfrekvence 2.stupeň $f \ll$	48 Hz až 50 Hz	49,5 Hz	$t_{f\ll}$	0,1 s
Nadfrekvence $f >$	50 Hz až 52 Hz.	50,2 Hz	t_f	0,5 s

Tab. 4-3 Nastavení ochran [11]

V některých případech může být s ohledem na síťové poměry třeba jiné nastavení ochran (např. upustit po dohodě s PDS od 2. stupně uvedených ochran). Proto je jejich nastavení vždy nutné odsouhlasit s PDS.

Ostrovni provoz el. zdroje není přípustný. Proto je nutno zabezpečit, aby v případě ztráty napětí v síti 22 kV došlo k okamžitému odpojení el.zdroje od DS.

4.7 Stavební úpravy MVE

Jez – jez je pevný betonový (šířka 17m) s železným pevným nástavkem o výšce 0,35 m. Jez je v zachovalém stavu, a proto na něm nebudou prováděny žádné změny. Splňuje účel, pro který byl vytvořen, tedy pro přivedení vody na náhon derivační elektrárny. Pouze bude zapotřebí vyčištění podjezí od naplavených nečistot a vyčištění nadjezí a vtokového prahu od usazených splavenin.

MVE využívá hydro-energetický potenciál průtoků řeky až do průtoku cca 145ti denní vody průběžně se zabezpečením požadovaného přelivu přes jez (sanaci) v hodnotě $Q=0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ (odpovídá 350-ti dennímu průtoku dle odtokové křivky), ostatní vyšší Q_m denní průtoky pak vyústí přepadem vody přes jez.

Vtokový objekt, Stavidlo – Vtokový objekt se nachází na levém břehu bezprostředně vedle jezu. Na betonové konstrukci vtokového objektu, která je v zachovalém stavu, jsou usazeny hrubé česle a za nimi je umístěno stavidlo.

Hrubé česle, stejně jako stavidlo, budou muset být rekonstruovány (odstranění rzi, nátěr, atd.). U stavidla bude dále potřeba vyměnit stávající dřevěné stavidlové desky za nové, opět dřevěné.

Do vtokovém objektu může být dle požadavku přidána tzv. plašička ryb, sloužící k odrazení ryb, které by se rozhodly vplout do náhonu MVE.

Přívodní a odpadní kanál – Přívodní kanál (o délce 312 m) hrazený stavidlovým uzávěrem vtoku a odpadní kanál (o délce 464 m) zaústěný do vodního toku 650 m pod jezem je nutné vyčistit od usazených splavenin a plevelné vegetace.

Obecně lze říci, že při vedení vody na vzdálenosti stovek metrů až kilometrů se používá široká strouha kopaná v hlíně s malou rychlostí proudění. Vyžaduje však častou údržbu. Stavebně je nejlevnější, ale mohou být problémy s prosakováním. Betonový náhon je

při stejném průtoku menší, těsný, ale drahý. Proto se používá tam, kde jeho délka nepřekročí desítky metrů. Nevhodně navržený náhon se vymílá nebo zanáší. Rychlost pod 0,1 m/sec. způsobuje intenzivní zanášení.

Tvar profilu nově budovaného náhonu bývá lichoběžníkový. Sklon břehů **alfa** je dán soudržností horniny a u bahnitě hlíny nebo jílu bývá **45 °**. Aby se břehy a dno nevymílalo, musí být rychlost vody v bahnitě hlíně jen **0,1 [m/s]**.

Pro rekonstrukci kanálu bude důležité znát jeho původní parametry, které se spočítají zhruba takto:

- Rozdíl hladin u vtokového objektu přírodního kanálu (dlouhý 312m) a vstupem kanálu do přivaděče Δh_v je 1m. Z délky kanálu L_{pk} a rozdílu hladiny určí sklon dna I:

$$I = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta h_v}{L_{pk}} = \frac{1}{312} = 0,003 \quad (4.9)$$

Vztahy pro výpočet tvaru přírodního a odpadního kanálu jsou popsány v kapitole **(1.2.2.3 Hydraulické řešení kanálů):**

Z rovnice (1.6) určíme potřebný modul průtoku K_0 :

$$K_0 = \frac{Q}{\sqrt{I}} = \frac{1,8}{\sqrt{0,003}} = 32,86 \approx \underline{\underline{33}}$$

Pro další výpočet je nutné uvést hodnoty hydraulicky nejvýhodnějšího poměru β u lichoběžníkových profilů (tab. 4-4). V našem případě $\alpha = 45^\circ \Rightarrow m = 1 \Rightarrow \beta = 0,83$.

m	0,0	0,10	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	2,00	2,50	3,00
β	2,0	1,81	1,56	1,24	1,00	0,83	0,70	0,61	0,47	0,38	0,32

Tab. 4-4 hodnoty hydraulicky nejvýhodnějšího poměru β u lichoběžníkových profilů [1]

Výšku hladiny H volíme orientačně v rozmezí $H = 0,7 - 1,5\text{m}$. Správnou hodnotu H určíme až z grafu (obr. 4-6).

Příklad výpočtu pro tabulku (4-5), výška hladiny $H=1\text{m}$:

Z rovnice (1.8) určíme plochu průtočného profilu S :

$$S = H \cdot (B_2 + m \cdot H) = H^2 \cdot (\beta + m) = 1^2 \cdot (0,83 + 1) = 1,83\text{m}^2$$

Z rovnice (1.9) určíme omočený obvod O :

$$O = H \cdot (\beta + 2\sqrt{1 + m^2}) = 1 \cdot (0,83 + 2\sqrt{2}) = 3,66\text{m}$$

Z rovnice (1.10) určíme hydraulický poloměr R :

$$R = \frac{S}{O} = \frac{1,83}{3,66} = 0,5m$$

Z rovnice (1.7) určíme rychlostní součinitel C :

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^y = \frac{1}{0,03} \cdot 0,5^{\frac{1}{6}} = 29,69$$

kde n je součinitel drsnosti stěn a dna kanálu (pro zemní kanály s malou údržbou n=0,03),
y - součinitel přibližně roven y=1/6 .[1]

Teoretický modul průtoku K pro výšku hladiny $H = 1m$ bude následující:

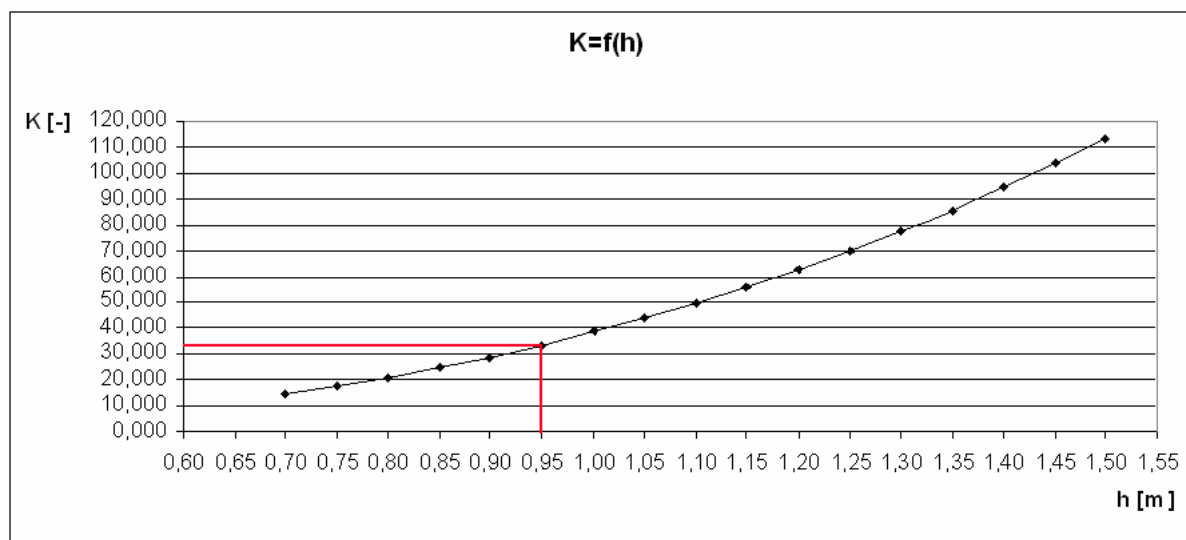
$$K = S \cdot C \cdot \sqrt{R} = 1,83 \cdot 29,69 \cdot \sqrt{0,5} = 38,42$$

Výsledné výpočty pro jednotlivé orientační výšky hladiny H:

H [m]	S [m ²]	O [m]	R [m]	C [-]	K [-]
0,70	0,897	2,562	0,350	27,983	14,845
0,75	1,029	2,745	0,375	28,306	17,843
0,80	1,171	2,928	0,400	28,612	21,194
0,85	1,322	3,111	0,425	28,903	24,913
0,90	1,482	3,294	0,450	29,180	29,015
0,95	1,652	3,477	0,475	29,444	33,515
1,00	1,830	3,660	0,500	29,697	38,428
1,05	2,018	3,843	0,525	29,939	43,767
1,10	2,214	4,026	0,550	30,172	49,548
1,15	2,420	4,209	0,575	30,396	55,783
1,20	2,635	4,392	0,600	30,613	62,488
1,25	2,859	4,575	0,625	30,822	69,674
1,30	3,093	4,758	0,650	31,024	77,356
1,35	3,335	4,941	0,675	31,220	85,546
1,40	3,587	5,124	0,700	31,410	94,258
1,45	3,848	5,307	0,725	31,594	103,504
1,50	4,118	5,490	0,750	31,773	113,297

Tab. 4-5 Veličiny pro sestavení závislosti $K=f(h)$

Z obrázku (4-6) vyplývá, že hloubka přívodního kanálu do MVE odpovídající vypočtenému modulu K_0 bude **H = 0,95 m**.

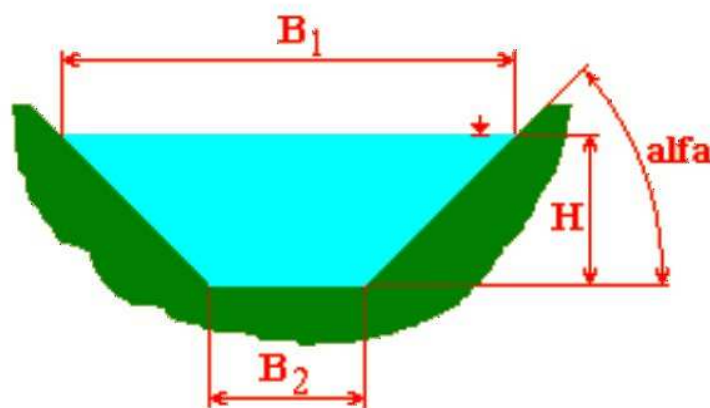
Obr. 4-6 Závislost $K=f(h)$

Ze vzorce pro výpočet poměru β zpětně dopočítáme B_2 :

$$\beta = \frac{B_2}{H} \Rightarrow B_2 = \beta \cdot H = 0,83 \cdot 0,95 \cong 0,8m \quad (4.10)$$

$$B_1 = 2 \cdot H + B_2 = 2 \cdot 0,95 + 0,8 = 2,7m$$

Vypočtené parametry odpovídají *Plnému průtoku*, na který je turbína dimenzovaná. Aby nedošlo k vylití vody, kanál bude mít větší parametry (viz. Obr. 4-7).



Obr. 4-7 Přívodní kanál [5]

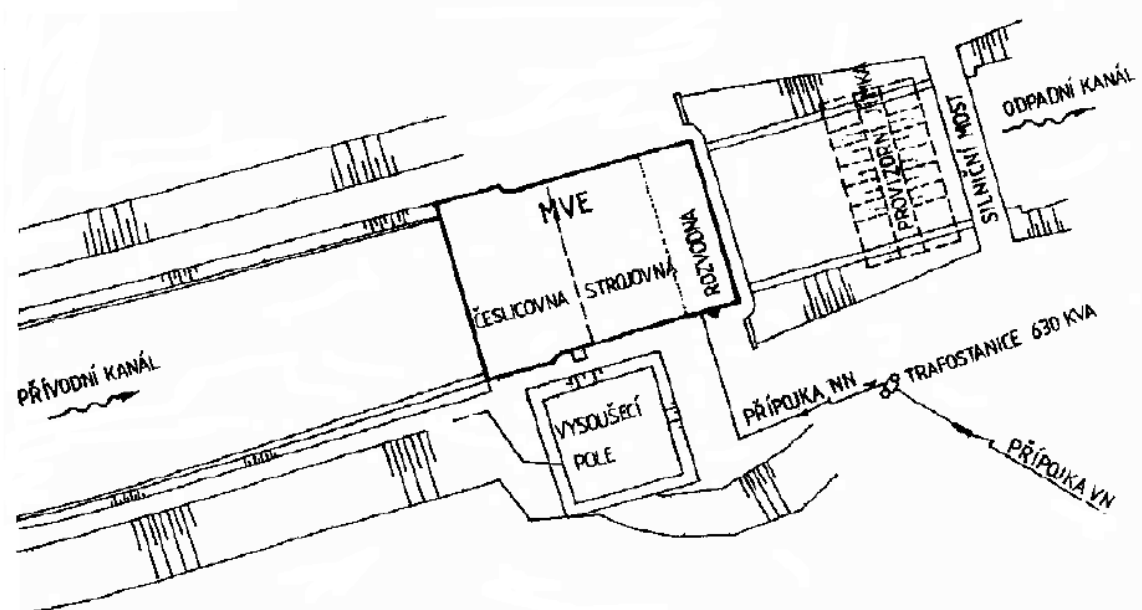
Pro zpevnění břehů, ale pouze v místech, kde nebudou omezovat, je možné použít přírodní zeleň. Nejúčinnější v tomto směru je osázení břehu vlhkomilnými stromy (vrbami, olšemi, ale i osikami, topoly nebo duby).

Odpadní kanál bude mít stejné parametry jako přívodní kanál.

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

Byla provedena instalace nového asynchronního generátoru, instalace Bánkiho turbíny a výměna dožitých částí MVE. Instalací ASŘ (automatický systém řízení) a elektrických ochranných a osazením čistícího stroje česlí byla MVE modernizována. ASŘ, včetně hladinové regulace a elektrických ochranných generátoru umožňují automatický bezobslužný provoz pouze s občasným dohledem. Soustrojí spolupracují podle nadřazeného řídicího systému, který optimalizuje jejich provoz. Instalace nové turbíny respektuje záměr minimálního zásahu do stávající stavby, bez zásahů do základů budovy MVE.

U vstupu vody na turbínu, hned vedle jemných česlí je vybudovaný šachtový přepad, sloužící pro odvod vody při uzavření klapky turbíny. Přepad je betonovou součástí objektu a je v dobrém stavu.



Obr. 4-8 Objekt MVE

5 Ekonomické zhodnocení

5.1 Náklady na realizaci díla

5.1.1 Náklady na stavební úpravy MVE

Položka	cena
Vyčištění přívod. a odpadního kanálu	300 000 Kč
Vyčištění nadjezí a podjezí	100 000 Kč
Rekonstrukce stavidla	10 000 Kč
Rekonstrukce horní stavby	100 000 Kč
Rekonstrukce dolní stavby (strojovny)	100 000 Kč
Rekonstrukce hrubých česlí	5 000 Kč
Výměna jemných česlí	10 000 Kč
Celkem:	625 000Kč

Tab. 5-1 Stavební úpravy

K vyčištění přívodního a odpadního kanálu bude potřeba objednat firmu provádějící zemní práce podobného rázu. Nynější ceny těchto prací se pohybují v rozmezí o d 800-1200kč/hod. Záleží na použitém stroji. Pro náš účel bude zapotřebí bagr otočný určen pro práci v těžkém terénu (cena se pohybuje kolem 850kč/hod) a nákladní auto TATRA 815 nosnost 12t, 7m³ (cena se pohybuje kolem 550,-Kč /hod, 40,- Kč/km). Délka přívodního kanálu je 312m a délka kanálu odpadního je 464m.

Rekonstrukce horní a dolní stavby (strojovny) bude vyžadovat stavební úpravu pro umístění výrobního soustrojí.

Pozn. Určení cen stavebních nákladů se může dle okolností podstatně změnit. To bude mít vliv na konečné investiční zhodnocení.

5.1.2 Strojní vybavení

Položka	cena
Bánkiho turbína	300 000 Kč
Asynchronní generátor	40 000 Kč
Regulace turbíny (servopohon)	2 000 Kč
Převod (řemeny převodu)	4 000 Kč
Převod (kola převodu)	8 000 Kč
Potrubí	20 000 Kč
Instalace zařízení	100 000 Kč
Celkem:	474 000 Kč

Tab. 5-2 Strojní vybavení

Bánkiho turbínu je konstrukčně jednoduchá. Cena na zakázku vyrobeného stroje od specializovaného výrobce se může pohybovat od 200 000 – 300 000Kč.

5.1.3 Elektrotechnické vybavení

Položka	cena
Automatický systém řízení	10 000 Kč
Regulace průtoku turbínou (el. část)	8 000 Kč
Regulátor jalového výkonu	5 200 Kč
Kompenzační baterie	5 000 Kč
Rozvaděče	30 000 Kč
Měření	15 000 Kč
Ochrany	10 000 Kč
Kabeláž+vyvedení výkonu	80 000 Kč
Instalace zařízení	150 000 Kč
Celkem:	313 200 Kč

Tab. 5-3 Elektrotechnické vybavení

5.1.4 Projekt a poplatky

Položka	cena
Cena projektu	100 000 Kč
Poplatky	20 000 Kč
Celkem:	120 000 Kč

Tab. 5-4 Cena projektu a poplatky

5.1.5 Provozní náklady za období jednoho roku

Položka	cena
Mazivo	5 000 Kč
Náhradní díly	10 000 Kč
Mzdy	20 000 Kč
Celkem:	35 000 Kč

Tab. 5-5 Provozní náklady

5.1.6 Celkové náklady na realizaci MVE

Položka	cena
Náklady na stavební úpravu	625 000 Kč
Strojní vybavení	474 000 Kč
Elektrotechnické vybavení	313 000 Kč
Projekt a poplatky	120 000 Kč
CELKEM	1532000 Kč

Tab. 5-6 Celkové náklady

5.2 Ceny, bonusy, zvýhodnění

Aktuální ceny za vyrobenou a naměřenou energii v malé vodní elektrárně jsou uveřejněny např. na internetových stránkách provozovatele distribuční soustavy (v našem případě je to ČEZ). Vyrobená (i spotřebovaná) elektrická energie MVE je měřena v přípojkové skříni digitálními měřicími přístroji. Digitální měřicí přístroj je provozovatelem

distribuční soustavy opatřen zařízením díky kterému si může PDS zjistit bezprostřední stav energie vyrobené a spotřebované na MVE.

Zelené bonusy je opatření podporující rozvoj alternativních zdrojů. Zelené bonusy se rok od roku mění, avšak jejich výše v den připojení MVE zůstává stejná po dobu provozování MVE. To samozřejmě platí i pro cenu vyrobené elektřiny v MVE.

Zdroj energie / Datum uvedení do provozu	Výkupní ceny elektřiny dodané do sítě v Kč za 1 MWh	Zelené bonusy v Kč za 1 MWh
Malá vodní elektrárna uvedená do provozu v nových lokalitách po 1. lednu 2008 včetně	2700	1260
Malá vodní elektrárna uvedená do provozu v nových lokalitách od 1. ledna 2006 do 31. prosince 2007	2540	1100
Malá vodní elektrárna uvedená do provozu po 1. lednu 2005 včetně a rekonstruovaná malá vodní elektrárna	2300	860
Malá vodní elektrárna uvedená do provozu před 1. lednem 2005	1790	350

Tab. 5-7 Výše výkupních cen a zelených bonusů pro rok 2009 [11]

Malou vodní elektrárnou nazýváme všechny vodní elektrárny nepřesahující výkon 10 MW_e včetně. Výkupní cena za vyrobenou energii v MVE bude 3960 Kč/MWh.

Pozn.: V tuto chvíli by bylo vhodné upřesnit si dobu, kdy bude MVE v Lošticích uvedena do provozu. Je to důležité pro určení výkupní ceny za el. energii a tím i do celkového finančního zhodnocení. Tedy MVE v Lošticích bude uvedena do provozu koncem roku 2009.

Při stavbě nebo rekonstrukci MVE, na kterou je stavebním úřadem vydáno stavební povolení, je dnem kolaudace majitel MVE oprostěn od odvádění daně z příjmu na dobu 5-ti let. V dalších letech podléhá zisk 15% dani.

5.3 Hodnocení efektivnosti investic a ziskovosti

Volba vhodného investičního projektu se nazývá investiční rozhodování.

5.3.1 Výnos MVE

Vyrobená energie bez regulace průtoku

Vyrobenou energii vypočítáme pomocí vzorce (uvažujeme využití 145 denního průtoku $Q_{145}=1,8\text{m}^3/\text{s}$):

$$E_{145} = P_{el145} \cdot t = 24,3 \cdot 145 \cdot 24 = 88\text{MWh} \quad (5.1)$$

t je doba po kterou elektrárna dodává do sítě vyrobenou energii (145 dní – 24 hodin denně)

Vyrobená energie s regulací průtoku

Výpočet vyrobené energie je obdobný jako u předchozího výpočtu. Pouze přičteme energii získané regulací.

$$E_{145R} = E_{145} + E_{205} + E_{290} = 88 + 20,8 + 14,5 = \underline{\underline{123,3MWh}} \quad (5.2)$$

$$E_{145} = P_{el145} \cdot t = 24,3 \cdot 145 \cdot 24 = 88MWh$$

$$E_{205} = P_{el205} \cdot t = 14,5 \cdot 60 \cdot 24 = 20,8MWh \quad (5.3)$$

$$E_{290} = P_{el290} \cdot t = 7,1 \cdot 85 \cdot 24 = 14,5MWh \quad (5.4)$$

	VYROBENÁ ENERGIE [MWh]	JEDNOTKOVÁ CENA [Kč/MWh]	VÝNOS [Kč]
MVE bez regulace	88	3 960	348 480
MVE s regulací	123,3	3 960	488 268

Tab. 5-8 Vyrobená energie a výnos

5.3.2 Metody hodnocení efektivnosti investic

Tyto metody se dělí podle dvou základních kritérií [6]:

a) podle zohlednění faktoru času

- *statické metody* – nerespektují faktor času,
- *dynamické metody* – respektují faktor času.

b) podle pojetí efektu z investice

- *nákladové metody hodnocení efektivnosti* – jako kritéria se používá úspora nákladů,
- *ziskové metody hodnocení efektivnosti* – jako kritéria se používá čistý zisk
- *příjmové metody hodnocení efektivnosti* – jako kritéria se používá peněžní příjem z investice, tj. čistý zisk plus odpisy.

Základní používané metody hodnocení efektivnosti investičního projektu jsou [6]:

- *metoda průměrných ročních nákladů*
- *metoda diskontovaných nákladů*
- *metoda čisté současné hodnoty a metoda indexu ziskovosti*
- *metoda vnitřního výnosového procenta*
- *metoda průměrné výnosnosti*
- *metoda doby návratnosti*

Některé z těchto metod užijeme pro zhodnocení efektivnosti investice vložené do MVE ve Vlčicích.

Vstupní hodnoty	
Investiční náklady	1 532 000 Kč
Provozní náklady	35 000 Kč
Životnost	25 let
Požadovaná výnosnost	8 %/rok
Daň z příjmu	15 %
Vyrobená energie za 1 rok	123,3 MWh
Výkupní cena	3 960 Kč/MWh
Průměrná roční inflace i_{inf}	4 %

Tab. 5-9 Vstupní hodnoty

Zpracování číselných údajů

- Odpisy O**

$$O = \frac{N}{s} = \frac{1532000}{15} = 102133 \text{ Kč} \cdot r^{-1} \quad (5.5)$$

N – celkové investiční náklady (Kč)

s – délka odpisovaného období (roky)

- Hrubý zisk Z_h** je částka, z které se odečítají daně. Takto vypočítaný hrubý zisk je základem pro výpočet daní.

$$Z_h = T_r - N_p \cdot i_{inf} \quad \text{Pro prvních 5 let} \quad (5.6)$$

$$Z_h = T_r - N_p \cdot i_{inf} - O \quad \text{Pro 6. – 20. rok}$$

- Čistý zisk $Z_{\check{c}}$** je hrubý zisk po odečtení daní

$$Z_{\check{c}} = Z_h - (Z_h \cdot d) \quad (5.7)$$

- Tok hotovosti (Cash flow) T_h** (kč)

$$T_h = T_r - N_p \cdot i_{inf} - D \quad (5.8)$$

- Kumulativní tok hotovosti KTh** (Kč) = CF. kum. = kumulované cash flow. Kumulovaný výsledek toku hotovosti k posuzovanému roku - je to tedy průběžný součet všech toků hotovosti od nultého roku do daného roku.

$$KT_{h1} = -N_v + T_{h1}$$

$$KT_{h1} = -N_v + T_{h1} \quad (5.9)$$

rok	Roční tržby Tr [Kč/rok]	Roční provozní náklady Np [Kč/rok]	Odpisy [Kč/rok]	Hrubý zisk [Kč/rok]	Daň z příjmu [15 %]; [Kč]	Čistý zisk [Kč/rok]	Tok hotovosti Th – Cash flow [Kč]	Kumulovaný tok hotovosti KTh	Čistý Cash flow	Kumulovaný Cash flow
1	488 268	35000	0	453 268	0	480268	480268	-1051732	444693	-1087307
2	488 268	36400	0	451 868	0	480028	480028	-571704	411547	-675761
3	488 268	37856	0	450 412	0	479781	479781	-91923	380866	-294895
4	488 268	39370	0	448 898	0	479526	479526	387603	352466	57571
5	488 268	40945	0	447 323	0	479264	479264	866867	326179	383750
6	488 268	42583	102 133	343 552	51533	292 019	394152	1261019	248383	632133
7	488 268	44286	102 133	341 849	51277	290 572	392705	1653724	229139	861272
8	488 268	46058	102 133	340 077	51012	289 066	391199	2044923	211353	1072624
9	488 268	47900	102 133	338 235	50735	287 500	389633	2434555	194913	1267538
10	488 268	49816	102 133	336 319	50448	285 871	388004	2822560	179721	1447259
11	488 268	51809	102 133	334 326	50149	284 177	386310	3208870	165682	1612941
12	488 268	53881	102 133	332 254	49838	282 416	384549	3593419	152710	1765651
13	488 268	56036	102 133	330 099	49515	280 584	382717	3976136	140724	1906375
14	488 268	58278	102 133	327 857	49179	278 679	380812	4356948	129652	2036026
15	488 268	60609	102 133	325 526	48829	276 697	378830	4735778	119423	2155450
16	488 268	63033	102 133	323 102	48465	274 637	376770	5112548	109975	2265425
17	488 268	65554	102 133	320 581	48087	272 494	374627	5487175	101250	2366675
18	488 268	68177	102 133	317 958	47694	270 265	372398	5859572	93192	2459867
19	488 268	70904	102 133	315 231	47285	267 947	370080	6229652	85752	2545619
20	488 268	73740	102 133	312 395	46859	265 536	367669	6597321	78883	2624502
21	488 268	76689	0	411 579	61737	349 842	349842	6947163	69498	2694000
22	488 268	79757	0	408 511	61277	347 234	347234	7294397	63870	2757870
23	488 268	82947	0	405 321	60798	344 523	344523	7638920	58677	2816548
24	488 268	86265	0	402 003	60300	341 703	341703	7980623	53886	2870434
25	488 268	89716	0	398 552	59783	338 770	338770	8319392	49466	2919901

Tab. 5-10 Hodnocení efektivity investice

Metoda čisté současně hodnoty

Jde o dynamickou metodu hodnocení efektivity investičních projektů. Čistá současná je rozdíl mezi celkovými aktualizovanými příjmy a pořizovacími náklady.

$$NPV = \sum_{j=1}^n \frac{P_j}{(1+i)^j} - K_i \quad (5.10)$$

kde NPV čistá souč. hodnota,
 n doba životnosti,
 P_j peněžní příjem z investice v j-tém roce její životnosti,
 i roční úroková míra (požadovaná výnosnost investice),
 K_i pořizovací náklady.

Peněžní příjem se určí podle vztahu

$$P_j = Z_{dj} + N_{odpj} \quad (5.11)$$

kde Z_{dj} čistý zisk v j-tém roce,
 N_{odpj} odpisy v j-tém roce.

$$NPV = 4451901 - 1532000 = 2919901Kč \quad (5.12)$$

$NPV > 0$ - investiční projekt je považován za efektivní

$NPV < 0$ - investiční projekt je považován za neefektivní

Při porovnávání variant je za nejvhodnější považována ta, jejíž čistá současná hodnota je nejvyšší. [6]

Metoda indexu ziskovosti

Index ziskovosti je relativním vyjádřením celkových diskontovaných příjmů vztažených k pořizovacím nákladům.

$$PI = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{P_j}{(1+i)^j}}{K_i} = \frac{4451901}{1532000} = 2,9 \quad (5.13)$$

kde PI index ziskovosti.

Při porovnávání více variant je opět za nejvýhodnější považována ta, jejíž index ziskovosti je nejvyšší a pro posuzování absolutní efektivnosti platí [6]:

- $PI > 1$ investiční projekt je považován za přijatelný,
- $PI < 1$ investiční projekt je považován za nepřijatelný.

Metoda vnitřního výnosového procenta

Vnitřní výnosové procento je úroková míra, při níž jsou celkové diskontované příjmy rovné pořizovacím nákladům.

$$\sum_{j=1}^n \frac{P_j}{(1+IRR)^j} = K_i \quad (5.14)$$

kde IRR vnitřní výnosové procento

Je rovněž založena na koncepci současné hodnoty. Aby se investice vyplatila, IRR musí být větší než diskontní sazba. Pro stanovení vnitřního výnosového procenta byly zvoleny dvě sazby 10% a 11%, pro které byly spočítány čisté současné hodnoty.

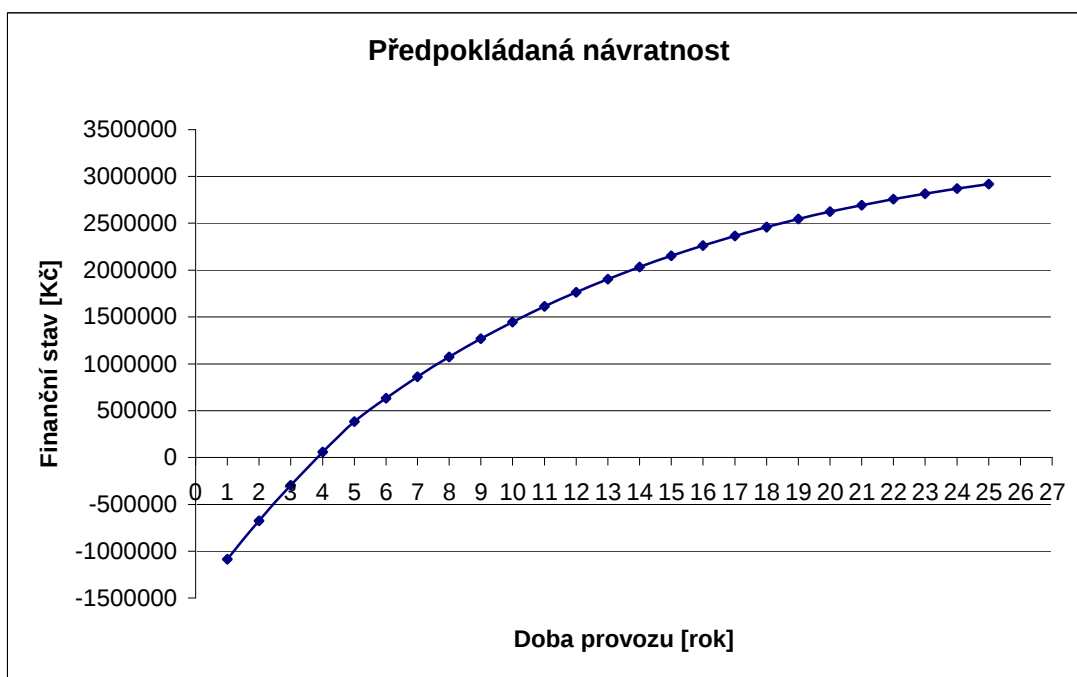
Pro přesnější výpočet byla použita interpolace [6]:

$$IRR = p_1 + \frac{\sum NPV1}{\sum NPV1 - \sum NPV2} \cdot (p_2 - p_1) = 10 + \frac{3832617}{3832617 - 3576657} \cdot (11 - 10) = 25\% \quad (5.15)$$

Předchozí metody hodnocení efektivnosti investice nám určily, že projekt je investičně výhodný.

5.4 Předpokládaná návratnost

Z hodnot vypočtených v tabulce (5-11) sestojíme graf, který nám názorně ukáže předpokládanou návratnost.



Obr.

5-1 Předpokládaná návratnost

Z obr. (5-1) a z tab. (5-11) vyplývá, že vložená investice bude zúročena do 4 let po uvedení MVE do provozu.

6 Závěr

Lokalita byla již v minulosti využívána pro papírenský a dřevařský průmysl. Za účelem dodávky elektrické energie pracovním strojům zde byla vybudována derivační vodní elektrárna, která pracovala do ostrovní sítě. V dnešní době je areál využíván soukromou strojní firmou. Derivační elektrárna je téměř 10 let odstavená z důvodu dožití některých hlavních provozních prvků. Uvážíme-li výhody lokality (vybudovaný jez, upravené řečiště, přírodní a odpadní kanál, stavidlo, česle, atd.), lokalita je velmi perspektivní.

V návrhu MVE jsem se oproti teoretickému úvodu zaměřil především na elektrickou a strojní část. Dle daných parametrů lokality, jsem dílo osadil Bánkiho turbínou a asynchronním generátorem ($P_N = 30\text{kW}$). Elektrárna bude zmodernizována automatickým řídicím systémem, čističem jemných česlí (dle zkušeností dokáže ušetřit 10% výkonu) a další příslušnou technologií pro zlepšení spolehlivosti, operativnosti a bezobslužného provozu.

V kapitole hodnocení efektivnosti investic a ziskovosti jsme ověřili výhodnost a přínos navrženého díla.

Při hodnocení jsme vycházeli z - ročního výnosu $T_r = 488\,268\text{ Kč}$,

- provozních nákladů během 1 roku $N_p = 35\,000\text{ Kč}$,

- nákladů na výstavbu MVE $IN = 1\,532\,000\text{ Kč}$.

Ke zjištění efektivnosti investice do projektu MVE byli použity následující metody: metoda pracující s diskontovanými hodnotami, metoda čisté současné hodnoty, metoda indexu ziskovosti, metoda vnitřního výnosového procenta. Pomocí uvedených metod jsme došli k výsledkům: doba splacení celé investice je rovna **4 letům**, čistá současná hodnota $NPN = 2919901\text{ Kč}$, index ziskovosti $PI = 2,9$, vnitřní výnosové procento $IRR = 25\%$.

Vzhledem k tomu, že se jedná pouze o rekonstrukci a modernizaci je projekt mimořádně ekonomicky efektivní. Výsledné hodnoty jsou velice dobré, ale velmi optimistické. Na chod MVE může během provozu působit mnoho faktorů, které budou splacení investice oddalovat. Zejména poruchy nově instalovaného zařízení a menší říční průtok. Z pesimistického hlediska, by se vlivem poruch a chyb při dimenzování soustrojí mohla návratnost investice prodloužit i na 6 až 8 let.

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

Použitá literatura

[1] GABRIEL, Pavel, ČIHÁK, František, KALANDRA, Petr. *Malé vodní elektrárny*. 1. vyd. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1998. 321 s. ISBN 80-01-01812-1.

[2] *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. c2007 , 02/19/2007 [cit. 2008-03-06]. Dostupný z WWW: <<http://mve.energetika.cz/>>.

[3] *Český hydrometeorologický ústav* [online]. [2003] [cit. 2008-02-04]. Dostupný z WWW: <<http://www.chmi.cz/>>.

[4] *Geoportál* [online]. [2003] [cit. 2008-03-06]. Dostupný z WWW: <<http://geoportal.cuzk.cz/>>.

[5] *cink-hydro-energi* [online], 04/02/2008 [cit. 2009-06-04]. Dostupný z WWW: <<http://cink-hydro-energy.com/>>.

[6] CHMELA, Michal. *Ekonomika a řízení*. 1. vyd. Brno : Vydavatelství VUT, 12.9.2007. SKRYPRTA PRO VUT.

[7] *kmb systems* [online]. c2007 , 03/20/2009 [cit. 2008-03-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.kmb.cz/>>.

[8] *ZEZ – Silko* [online]. c2008 , 03/01/2009 [cit. 2009-03-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.zez-silko.cz/>>.

[9] MATOUŠEK, Antonín. *Výroba elektrické energie*. 1. vyd. Brno : Vydavatelství VUT, SKRYPRTA PRO VUT.

[10] *TES* [online]. c2008 , 03/08/2008 [cit. 2008-03-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.tes.cz/>>.

[11] *ČEZ* [online]. c2008 , 07/03/2009 [cit. 2008-12-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.cezdistribuce.cz/>>.