

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

**VYUŽITÍ HYDROENERGETICKÉHO
POTENCIÁLU NA ŘECE TICHÁ ORLICE**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

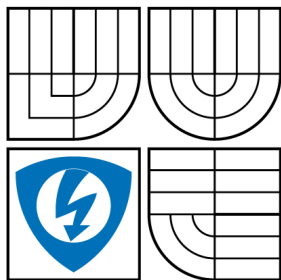
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MICHAL RYBKA

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a
komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a energetika

Student: Michal Rybka
Ročník: 3

ID: 98578
Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Využití hydroenergetického potenciálu na řece Tichá Orlice

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Výběr vhodných lokalit pro výstavbu MVE
2. Návrh řešení a porovnání potenciálních lokalit
3. Technické řešení
4. Ekonomické zhodnocení

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího

Termín zadání: 9. 2. 2009

Termín odevzdání: 1.6.2009

Vedoucí práce: doc. Ing. Antoním Matoušek, CSc.

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následku porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Michal Rybka
Bytem: Verměřovice 68, Verměřovice 561 52
Narozen/a (datum a místo): 27. srpna 1987 v Ústí nad Orlicí
(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií,
se sídlem Údolní 244/53, 602 00 Brno,
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.

.....
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
- diplomová práce
- bakalářská práce
- jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

.....
(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP:	Využití hydroenergetického potenciálu na řece Tichá Orlice
Vedoucí/ školitel VŠKP:	doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc.
Ústav:	Ústav elektroenergetiky
Datum obhajoby VŠKP:	

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

- tištěné formě – počet exemplářů
- elektronické formě – počet exemplářů

.....
* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečně zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Bibliografická citace práce:

RYBKA, M. Využití hydroenergetického potenciálu na řece Tichá Orlice. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 58 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a dalších zdrojů, které jsou uvedeny v seznamu zdrojů na konci práce.

V Brně dne 1. června 2009

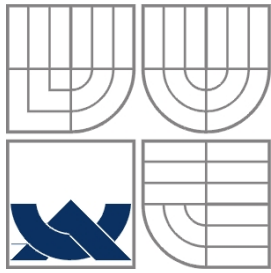
.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Antonínu Matouškovi, CSc. za podnětné rady a další přínosné připomínky při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 1. června 2009

.....
podpis autora



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



**Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky**

Bakalářská práce

Využití hydroenergetického potenciálu na řece Tichá Orlice

Michal Rybka

vedoucí: doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2009

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

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

Bachelor's Thesis

Usage hydropower potential on river Ticha Orlice

by

Michal Rybka

Supervisor: doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc.

Brno University of Technology, 2009

Brno

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce řeší návrh malé vodní elektrárny. V prvních částech se zabývá energetickými zdroji, hlavně vodní energií a její využívání v České republice. V další části je charakterizována řeka Tichá Orlice, nezbytnou součástí je porovnání pěti vybraných jezů. Další kapitolou je navrhnutí malé vodní elektrárny zejména její elektrické části, včetně její připojení na distribuční síť. Na závěr je uvedeno investiční zhodnocení navržené malé vodní elektrárny.

KLÍČOVÁ SLOVA:

malá vodní elektrárna; vodní energie; vhodná lokalita; průtok; turbína; generátor;

ABSTRACT

This bachelor thesis solves proposal of small hydro power station. The first part deals with energy resources, especially water energy and energy use in the Czech Republic. River Ticha Orlice is characterized in other part, comparing of five weirs is necessary part. Next chapter is proposal of small hydro power station particular its electrical parts, including the connection to the distribution system. Finally, investment evaluation of proposed small hydro power station is mentioned.

KEY WORDS:

small hydro power station; water energy; suitable location; flow; turbine; generator;

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	13
SEZNAM TABULEK	14
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	15
1 ÚVOD	17
2 SOUČASNÝ STAV	18
3 CÍL PRÁCE.....	19
4 ZDROJE ENERGIE	20
5 VODNÍ ENERGIE	21
5.1 HISTORIE V ČR	21
5.2 VYUŽITÍ VODNÍ ENERGIE.....	21
5.3 VÝHODY MVE.....	21
6 VÝBĚR VHODNÉ LOKALITY.....	23
6.1 ZDŮVODNĚNÍ VÝBĚRU ŘEKY TICHÁ ORLICE	23
6.2 CHARAKTERISTIKA ŘEKY TICHÁ ORLICE	23
6.2.1 ROZMEZÍ LET 1931-1980	23
6.2.2 ROK 2005	24
6.2.3 ROK 2006	26
6.2.4 ROK 2007	27
6.2.5 ROZMEZÍ LET 2005-2007	29
6.2.6 POROVNÁNÍ KŘIVKY Z LET 1931-1980 A KŘIVKY Z LET 2005-2007	29
6.3 VYBRANÉ LOKALITY	30
6.3.1 JEZ SOBKOVICE.....	30
6.3.2 JEZ JABLONNÉ NAD ORLICÍ.....	31
6.3.3 JEZ MISTROVICE	33
6.3.4 JEZ VERMĚŘOVICE.....	34
6.3.5 JEZ LETOHRAD	35
6.4 VÝBĚR FINÁLNÍ LOKALITY PRO NÁVRH MVE	36
7 ELEKTROTECHNICKÉ A STAVEBNÍ ŘEŠENÍ MVE	37
7.1 VYROBENÝ VÝKON A VYROBENÁ ELEKTRICKÁ ENERGIE MVE	37
7.2 TURBÍNA	38
7.2.1 TECHNICKÉ ÚDAJE TURBÍNY	38
7.3 ELEKTRICKÝ GENERÁTOR	38
7.3.1 TECHNICKÉ ÚDAJE GENERÁTORU	39
7.4 PŘEVOD.....	39
7.4.1 NÁVRH KLÍNOVÉHO ŘEMENE.....	39
7.5 KOMPENZAČNÍ KONDENZÁTORY	42
7.5.1 NÁVRH KOMPENZAČNÍCH KONDENZÁTORŮ	42

7.6 DIMENZOVÁNÍ VODIČŮ	43
7.6.1 NÁVRH PŘÍVODNÍHO KABELU PRO ASYNCHRONNÍ GENERÁTOR.....	43
7.6.1.1 Kontrola úbytku napětí	43
7.6.1.2 Kontrola tepelných účinků zkratových proudů.....	44
7.6.2 NÁVRH PŘÍVODNÍHO KABELU PRO MVE	46
7.6.2.1 Kontrola úbytku napětí	46
7.6.2.2 Kontrola tepelných účinků zkratových proudů.....	47
7.7 PŘIPOJENÍ MVE NA DISTRIBUČNÍ SÍŤ.....	47
7.7.1 POPIS FUNKCE JEDNOPÓLOVÉHO SCHÉMA MVE	49
7.8 STAVEBNÍ ŘEŠENÍ MVE.....	49
8 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	51
8.1 NÁKLADY	51
8.1.1 STAVEBNÍ ČÁST NÁKLADŮ.....	51
8.1.2 STROJNÍ ČÁST NÁKLADŮ.....	51
8.1.3 ELEKTRICKÁ ČÁST NÁKLADŮ	51
8.1.4 JINÉ NÁKLADY	52
8.2 VÝKUPNÍ CENY A ZELENÉ BONUSY	52
8.3 HODNOCENÍ INVESTIC	53
8.3.1 HODNOCENÍ INVESTICE POMOCÍ METODY ČISTÉ SOUČASNÉ HODNOTY.....	55
8.3.2 HODNOCENÍ INVESTICE POMOCÍ METODY INDEXU ZISKOVOSTI.....	56
9 ZÁVĚR.....	57
POUŽITÁ LITERATURA	58

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 6.2.1-1 Křivka denních průtoků v rozmezí let 1931-1980.....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 6.2.2-1 Křivka denních průtoků pro rok 2005</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 6.2.2-2 Vodní stav pro rok 2005</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 6.2.3-1 Křivka denních průtoků pro rok 2006</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 6.2.3-2 Vodní stav pro rok 2006</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 6.2.4-1 Křivka denních průtoků pro rok 2007</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 6.2.4-2 Vodní stav pro rok 2007</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 6.2.5-1 Křivka denních průtoků v rozmezí let 2005-2007.....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 6.2.6-1 Křivka denních průtoků z let 1931-1980 v porovnání s křivkou denních průtoků z let 2005-2007.....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 6.3.1-1 Letecký snímek jezu v Sobkovicích [5]</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 6.3.1-2 Fotografie jezu v Sobkovicích.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 6.3.2-1 Letecký snímek jezu v Jablonném nad Orlicí [5]</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 6.3.2-2 Fotografie jezu v Jablonném nad Orlicí.....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 6.3.3-1 Letecký snímek jezu v Mistrovicích [5]</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 6.3.3-2 Fotografie jezu v Mistrovicích.....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 6.3.4-1 Letecký snímek jezu ve Verměřovicích [5]</i>	<i>34</i>
<i>Obr.6.3.4-2 Fotografie jezu ve Verměřovicích.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 6.3.5-1 Letecký snímek jezu v Letohradě [5]</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 6.3.5-2 Fotografie jezu v Letohradě</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 7.4.1-1 Klínový řemen.....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 7.7-1 Připojení MVE na distribuční síť</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 7.7-2 Jednopolové schéma MVE.....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 7.8-1 Půdorys MVE doporučené firmou ČKD Blansko.....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 7.8-2 Nárys MVE doporučené firmou ČKD Blansko.....</i>	<i>50</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 6.2.2-1 Průtok pro rok 2005</i>	24
<i>Tab. 6.2.3-1 Průtok pro rok 2006</i>	26
<i>Tab. 6.2.4-1 Průtok pro rok 2007</i>	27
<i>Tab. 7.1-1 Hrubý a elektrický výkon a vyrobená elektrická energie v ročním srovnání</i>	38
<i>Tab. 7.3.1-1 Elektrický generátor [7]</i>	39
<i>Tab. 7.6.1.2-1 Materiálové konstanty [12]</i>	45
<i>Tab. 7.6.1.2-2 Dovolené provozní a maximální teploty vodičů [12]</i>	45
<i>Tab. 8.1.1-1 Stavební část nákladů</i>	51
<i>Tab. 8.1.2-1 Strojní část nákladů</i>	51
<i>Tab. 8.1.3-1 Elektrická část nákladů</i>	52
<i>Tab. 8.1.4-1 Jiné náklady</i>	52
<i>Tab. 8.2-1 Výkupní ceny elektřiny a zelené bonusy pro MVE [13]</i>	52
<i>Tab. 8.3-1 Vstupní hodnoty výhodnosti investice</i>	53
<i>Tab. 8.3-2 Přehled číselných údajů</i>	55

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

a	skutečná osová vzdálenost
a_1	hrubá osová vzdálenost
c	napěťový součinitel
c_0	specifické teplo materiálu
$\cos\varphi$	účinník
C	výkupní cena
ČR	Česká republika
d	průměr malé řemenice
D	průměr velké řemenice
D_1	průměr oběžného kola
E	elektrická energie
f	frekvence
g	tíhové zrychlení
h	výška řemene
H	spád
i	převodový poměr
i_{inf}	průměrná roční inflace
i_s	skutečný převodový poměr
I	elektrický proud
I_n	jmenovité proudové zatížení vodiče
I_Z	dovolené zatížení vodiče
I_{ke}	ekvivalentní oteplovací proud
I_k''	počáteční rázový zkratový proud
k	součinitel zkratu
k_1	součinitel zohledňující teplotu vzduchu
k_2	součinitel zohledňující teplotu země okolí
k_3	součinitel zohledňující proudovou zatížitelnost země
k_e	součinitel doby zkratu
K_i	pořizovací náklady
l	délka vodiče
l_0	vnější šířka řemene
l_p	vnitřní šířka řemene
L_1	vnitřní délka řemene
L_p	vnější délka řemene
MVE	malá vodní elektrárna
n	doba provozu
n_G	otáčky generátoru
n_T	otáčky turbíny
nn	nízké napětí
N	celkové náklady
N_{odp}	náklady na odpisy
N_p	roční provozní náklady
$N_{úR}$	náklady na úrok

NPV	čistá současná hodnota
p	požadovaná výnosnost
p_d	daň ze zisku
P	peněžní příjem
P^A	aktualizovaný peněžní příjem
P_{el}	elektrický výkon
P_H	hrubý výkon
PI	index ziskovosti
PVC	umělá hmota
Q	průtok
Q_{gen}	jalový výkon generátoru
Q_{kom}	jalový výkon kondenzátorů
$Q_{sít}$	jalový výkon dodávaný ze sítě
Q_{skut}	skutečný jalový výkon kondenzátorů
Q_V	výpočtový průtok
R	elektrický odpor
ROS	roční odpisová sazba
s_{min}	minimální průřez vodiče
S	průřez vodiče
t	počet provozních hodin
t_K	doba zkratu
T	tržby
U	elektrické napětí
ΔU	úbytek napětí
v	obvodová rychlost
x_k	měrná reaktance
X	reaktance
Z	zisk
$Z_{\check{c}}$	čistý zisk
Z_k	celková impedance
α	úhel zkosení řemene
α_1	úhel opásání
η_G	účinnost generátoru
$\eta_{PŘ}$	účinnost převodu
η_T	účinnost turbíny
ρ	hustota vody
ρ	měrný elektrický odpor
ρ_{20}	specifický odpor materiálu při 20°C
u	fiktivní teplota materiálu
u_1	nejvyšší dovolená provozní teplota materiálu
u_K	nejvyšší dovolená teplota při zkratu

1 ÚVOD

Energie jako taková je základním kamenem lidské společnosti. Bez energie by nebyl život takový jaký ho nyní máme nebo takový jaký si ho představujeme. Mnoho světových zemí si je vědomo limitujícím faktorem, kterým je vyčerpatelnost hlavních (neobnovitelných) zdrojů energie (černé a hnědé uhlí, ropa, zemní plyn, uran), proto se snaží využít co nejvíce obnovitelné zdroje energie (energie vody, energie Slunce, energie větru, atd.). Nejhlavnějším a dosud nejvyužívanějším obnovitelným zdrojem je energie vody. Největšími zásobárnami vody jsou samozřejmě moře a oceány (elektrárny přílivové, elektrárny využívající mořských vln nebo mořských proudů). Ovšem hlavní část vodních elektráren je soustředěna na místa, kde je možné využít velký spád (akumulační, přečerpávací elektrárny) nebo velký průtok (průtočné). Ideálním případem je soustředění velkého množství vody do míst s velkým spádem. Tyto podmínky splňují velké nebo malé řeky.

2 SOUČASNÝ STAV

Vzhledem k zeměpisné poloze České republiky není využitelnost vodních toků příliš ideální. Velké řeky u nás pouze pramení a nedosahují velkých průtoků. Vhodné pro výstavbu velkých vodních elektráren (jednoty až desítky MW instalovaného výkonu) jsou řeky Vltava, Labe a Morava. Ty už jsou ovšem maximálně využívány (Vltavská kaskáda) a výstavba dalších velkých vodních elektráren je prakticky nemožná. Proto se stále více firem a jednotlivců obrací na malé toky, kde se i v dnešní době dají nalézt vhodné lokality pro výstavbu vodních elektráren. Jejich snažení je podporováno jak ze strany státu tak ze strany evropské unie. Výhody spočívají zejména ve výkupní ceně vyrobené elektrické energie.

3 CÍL PRÁCE

Cílem této práce je vybrání vhodných lokalit pro výstavbu MVE na řece Tichá Orlice. Dále porovnání a stručný návrh řešení pro jednotlivé lokality. Dalším cílem zadání je konkrétní návrh MVE pro vybranou lokalitu. Navrhnutí turbíny, generátoru, silových vodičů, kompenzačních kondenzátorů a vyvedení výkonu do distribuční sítě je samozřejmostí. Posledním cílem je investiční zhodnocení navržené MVE.

4 ZDROJE ENERGIE

Energie, jakožto základní faktor pro lidskou společnost má vliv na rozvoj národního hospodářství ve všech jeho sférách. Její význam roste úměrně s poznáním vyčerpatelnosti a nerovnoměrnosti rozdělení zásob. Pro lidstvo jsou omezené zásoby neobnovitelných zdrojů energie nejvýznamnějším limitujícím faktorem rozvoje, který úzce souvisí s ekologickými problémy vyvolanými zejména rostoucí produkcí odpadů, jež nelze bez následků odstranit. Přitom celková spotřeba neustále narůstá. Proto se pozornost stále více obrací k využívání nevyčerpatelných zdrojů přírodní energie, jako jsou energie vod, energie větru a energie slunečního záření, které ve své podstatě představují přímé i nepřímé využití sluneční energie a které se samy obnovují a nemají škodlivé důsledky pro životní prostředí. Z těchto zdrojů patří vodní energie mezi nejvíce prozkoumané, se zvládnutým technologickým zařízením vysoké technicko-ekonomické úrovně [1].

5 VODNÍ ENERGIE

5.1 Historie v ČR

V českých zemích má využívání vodní energie dlouholetou tradici. Od přímého mechanického pohonu zařízení mlýnů, pil a hamrů až k přeměně na elektrickou energii. Nejstarším zařízením tohoto typu v Čechách byla vodní elektrárna v Písku, vybudovaná v roce 1888 [4]. Za zmínku stojí jedna z nejznámějších elektráren Čenková pila (1912), která podobně jako větší a novější elektrárna Černé jezero pracuje dodnes s původním vybavením. Zásadním rozkvětem by se dalo považovat rozmezí let 1918-1948. Roku 1919 byl přijat zákon o všeobecné elektrizaci, jeho obsahem byl mimo jiné fakt, že vodní elektrárny se mohou budovat z veřejných prostředků. Po tomto roce se začalo s výstavbou vodních děl. Roku 1936 byla postavena první velká elektrárna na Vltavě - Vrané. V letech 1960 – 1965 se vodní elektrárny podílely z 10% na celkové výrobě energie. V roce 1977 už z 11% [2]. V současnosti, když využijeme v České republice všechny vhodné lokality pro MVE, mohou se na celkovém výkonu podílet maximálně 4%. Přičemž v současnosti je v provozu okolo 550 MVE [6].

5.2 Využití vodní energie

Vodní energie, která je nejdéle využívanou formou energie v historii lidstva, je jedním z nevyčerpatelných (obnovitelných) zdrojů energie v přírodě. Vyskytuje se v mechanické, tepelné a chemické formě. Do skupiny obnovitelných zdrojů energie patří energie vodních toků, přílivu, odlivu, dále energie větru, tepelná energie Země apod. Pohyb vody je sekundární energií slunce, ne zcela pravidelné, ale cyklicky se opakující odpařování a kondenzace způsobuje tok řek a potoků. Přeměna kinetické energie vody na elektrickou energii je jedním z nejstabilnějších energetických zdrojů [3]. I když v ČR nejsou přírodní poměry pro budování velkých vodních energetických děl ideální, hrají vodní elektrárny v rámci obnovitelných zdrojů důležitou roli. Jelikož Česká republika leží geograficky na evropském rozvodí, naše toky tak nemají potřebný spád ani dostatečné množství vody. Proto je podíl výroby elektrické energie ve vodních elektrárnách na celkové výrobě v ČR poměrně nízký. Významným úkolem vodních elektráren v ČR je však sloužit jako doplňkový zdroj výroby elektrické energie [4].

5.3 Výhody MVE

Z ekonomických důvodů je, podle mého názoru, správné v ČR podporovat výstavbu malých vodních elektráren. V dnešní době ještě na mnoha místech odtéká voda bez využití, přitom mají malé vodní elektrárny tolik předností:

- Je to téměř nevyčerpatelný zdroj energie.
- Nezatěžuje a neznečišťuje své okolí chemickými látkami a zplodinami.
- Je to vlastní zdroj energie – při jeho využívání stát nezávisí na zahraničí.

- Nízké investiční a provozní náklady.
- Dlouhá životnost s malou poruchovostí.
- K obsluze je potřeba pouze malý počet provozních pracovníků.
- Vytváří nové možnosti pro rekreaci obyvatelstva, především pro sportovní využití (Tento bod platí pro vodní přehradu).

6 VÝBĚR VHODNÉ LOKALITY

Velké, často podceňované jsou fáze přípravy, kde je potřeba dospět k poměrně přesnému ocenění vhodnosti realizace MVE v daných podmínkách. Zde je důležité prověřit okolnosti, které s výstavbou MVE nesporně souvisí. Tyto zábrany mohou být majetko-právní, technicko-hospodářské, v dnešní době se také klade velký důraz na ochranu přírody, památkovou péči nebo stanoviska veřejnosti. Nelze také vyloučit střety zájmů. Tyto informace je tedy důležité získat, včetně zajištění možnosti přístupu k elektrárně a vyvedení jejího výkonu do distribuční sítě [3].

6.1 Zdůvodnění výběru řeky Tichá Orlice

Hlavním důvodem proč jsem si vybral řeku Tichou Orlici bylo z důvodu, že protéká obcí Verměřovice, kde se nachází mé bydliště. Dlouhá léta jsem ji mohl pozorovat, tudíž ji dobře znám a mám k ní velice dobrý vztah.

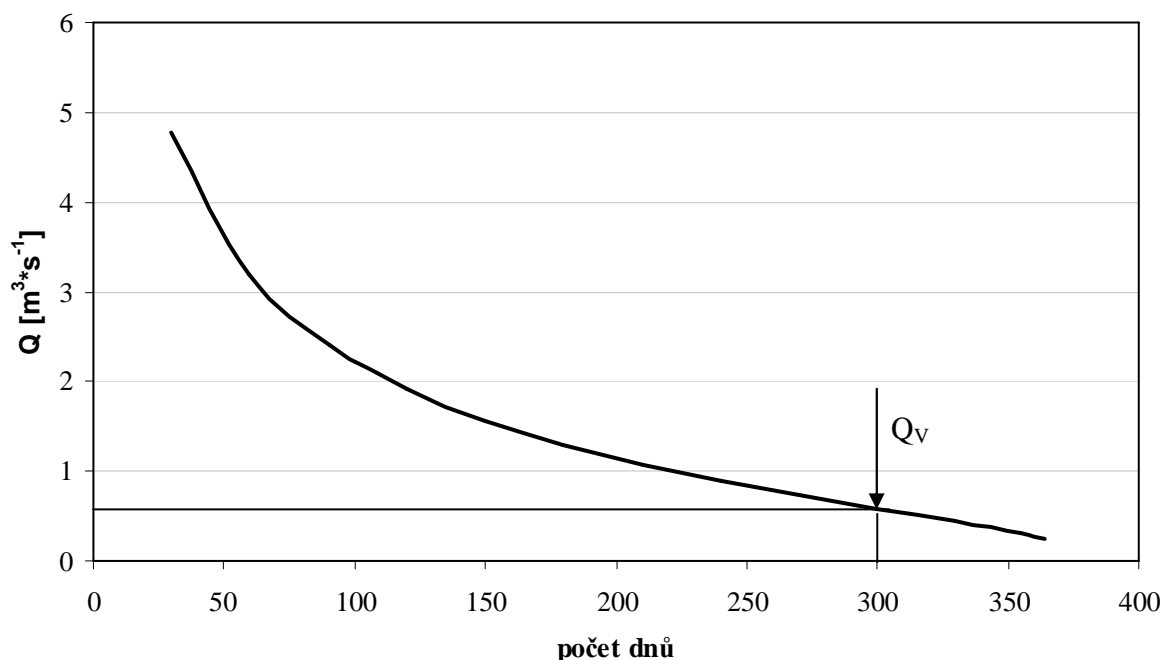
6.2 Charakteristika řeky Tichá Orlice

Charakteristika toku:

- Hydrologické číslo povodí 1-02-02-015
- Plocha povodí 129,45 km²
- Průměrná dlouhodobá roční výška srážek 940 mm
- Průměrný dlouhodobý průtok 2,03 m³/s

6.2.1 Rozmezí let 1931-1980

Dlouhodobý trend na zvoleném toku ukazuje obr. 6.2.1-1



Obr. 6.2.1-1 Křivka denních průtoků v rozmezí let 1931-1980

Z obr. 6.2.1-1 lze snadno zjistit, že průměrný průtok se nedostal nad hodnotu $Q = 5 \text{ m}^3/\text{s}$. Tato hodnota je tedy menší než průtok, který udáváme u let 2005-2007. Naopak o velikosti výpočtového průtoků z rozmezí let 1931-1980, který byl $Q_v = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ můžu říci, že je velmi podobný průměrnému výpočtovému průtoků z let 2005-2007.

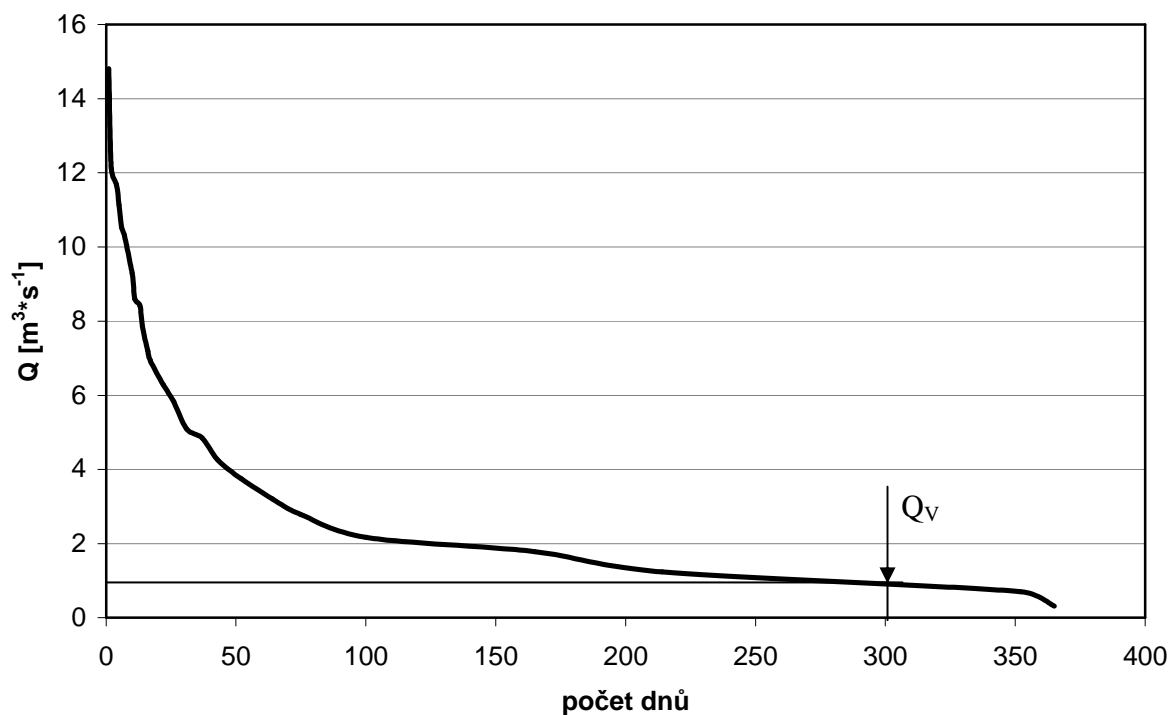
6.2.2 Rok 2005

Z Obr. 6.2.2-1 a z Tab. 6.2.2-1 je patrné, že maximální průtok, který měl trvání pouze jeden den byl $Q = 14,80 \text{ m}^3/\text{s}$. Nejnižší byl $Q = 0,14 \text{ m}^3/\text{s}$. Mnou zvolený výpočtový průtok odečítaný z grafu pro 300 dní byl $Q_v = 0,98 \text{ m}^3/\text{s}$.

počet dnů	1	2	4	5	6	7	10	11	13	14	16	17	22
Q [m³/s]	14,80	12,11	11,67	11,12	10,52	10,30	9,29	8,59	8,41	7,85	7,19	6,93	6,28

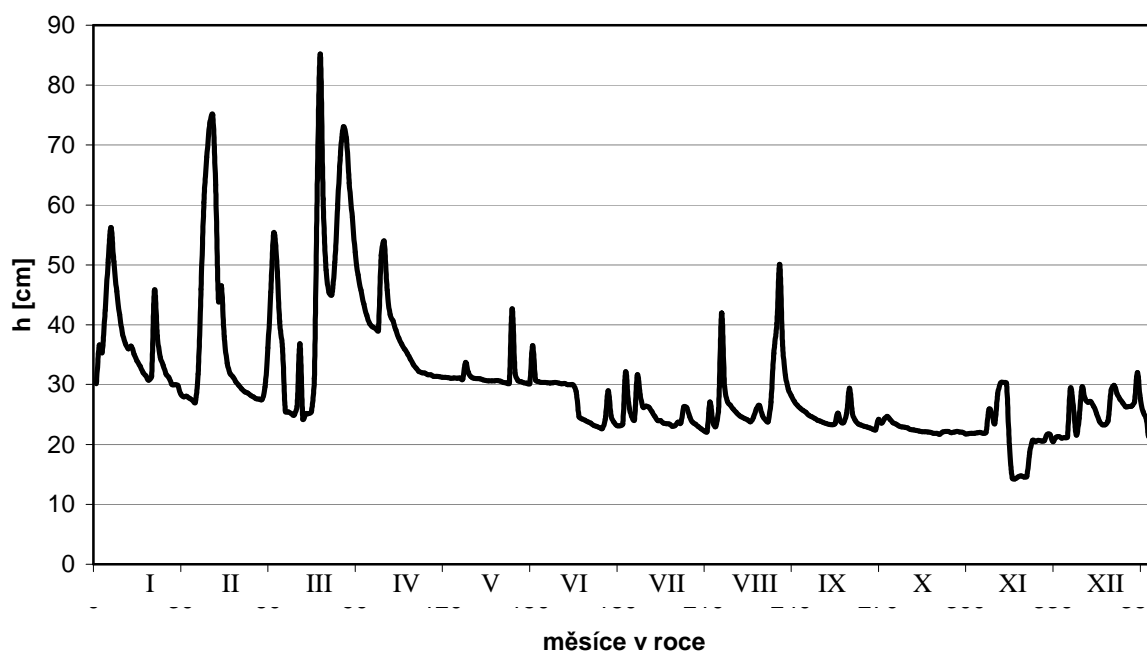
počet dnů	26	31	37	43	52	64	75	100	165	214	352	365
Q [m³/s]	5,82	5,09	4,84	4,24	3,74	3,19	2,78	2,16	1,78	1,23	0,70	0,31

Tab. 6.2.2-1 Průtok pro rok 2005



Obr. 6.2.2-1 Křivka denních průtoků pro rok 2005

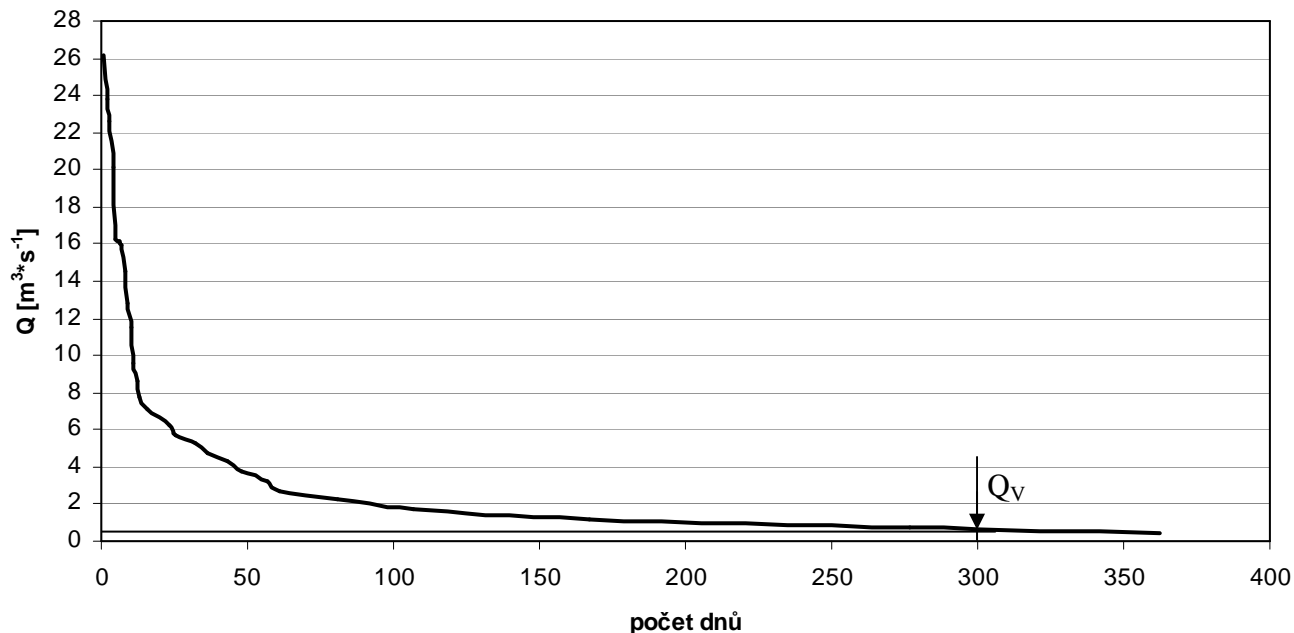
O Obr. 6.2.2-2 lze jednoduše říci, že maximální výška hladiny řeky Tiché Orlice za uplynulý rok 2005 byla 85 cm a nejnižší výška hladiny se ustálila na hodnotě 14,5 cm. Nejvíce vody tedy bylo na přelomu zimy a jara, nejméně pak v průběhu podzimu.



Obr. 6.2.2-2 Vodní stav pro rok 2005

6.2.3 Rok 2006

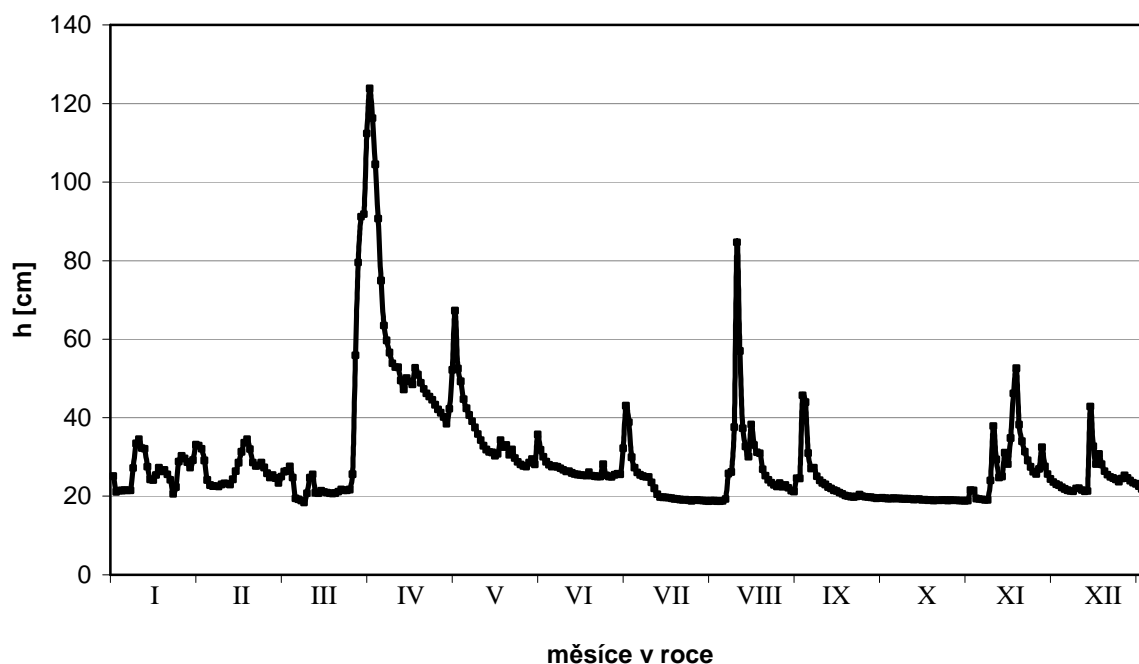
Z Obr. 6.2.3-1 a z Tab. 6.2.3-1 vyplývá, že nejvyšší hodnota průtoku změřena v jednom dni v roce byla $Q = 26,12 \text{ m}^3/\text{s}$ a nejnižší změřená hodnota byla $Q = 0,32 \text{ m}^3/\text{s}$. Zvolený výpočtový průtok se rovná hodnotě $Q_v = 0,75 \text{ m}^3/\text{s}$.



Obr. 6.2.3-1 Křivka denních průtoků pro rok 2006

počet dnů	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	16
$Q \text{ [m}^3/\text{s]}$	26,12	23,79	22,58	20,17	16,29	16,10	15,95	14,57	12,76	11,52	9,56	8,63	7,74	7,15
počet dnů	23	25	32	36	43	48	57	61	81	107	167	277	362	
$Q \text{ [m}^3/\text{s]}$	6,20	5,69	5,29	4,78	4,27	3,79	3,19	2,64	2,21	1,75	1,22	0,74	0,38	

Tab. 6.2.3-1 Průtok pro rok 2006



Obr. 6.2.3-2 Vodní stav pro rok 2006

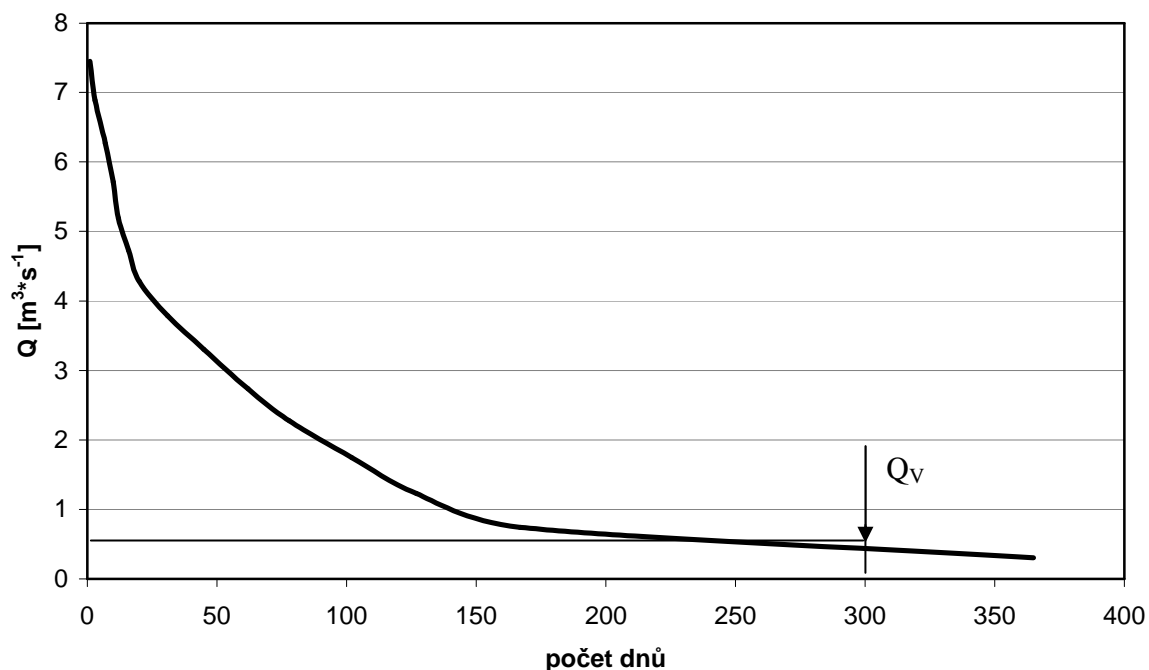
Z Obr. 6.2.3-2 můžu zjistit nejvyšší hodnotu hladiny vody, která byla téměř 124 cm, za to nejnižší byla 18 cm. Z grafu také můžu vyvodit závěr, že na přelomu let 2005 a 2006 byla tuhá zima. Sníh, který napadl roztál až s příchodem jara na konci března.

6.2.4 Rok 2007

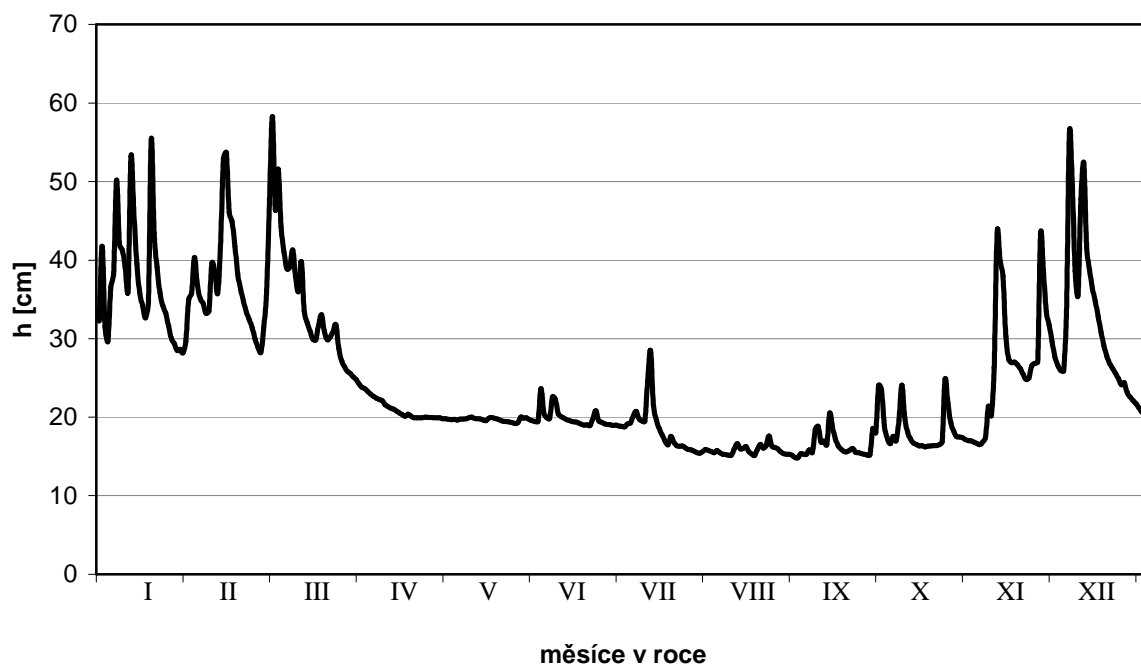
Z Obr. 6.2.4-1 a z Tab. 6.2.4-1 je patrné, že nejvyšší naměřený průtok v roce 2007 byl $Q=7,44 \text{ m}^3/\text{s}$ a nejnižší naměřený průtok byl $Q=0,15 \text{ m}^3/\text{s}$. Zvolenou hodnotu výpočtového průtoku pro 300 dní jsem stanovil na $Q_v=0,42 \text{ m}^3/\text{s}$.

počet dnů	1	3	7	10	12	16	20	31	45	62	78	102	127	167	365
$Q \text{ [m}^3/\text{s]}$	7,44	6,88	6,27	5,71	5,19	4,72	4,28	3,78	3,30	2,73	2,27	1,74	1,22	0,74	0,30

Tab. 6.2.4-1 Průtok pro rok 2007



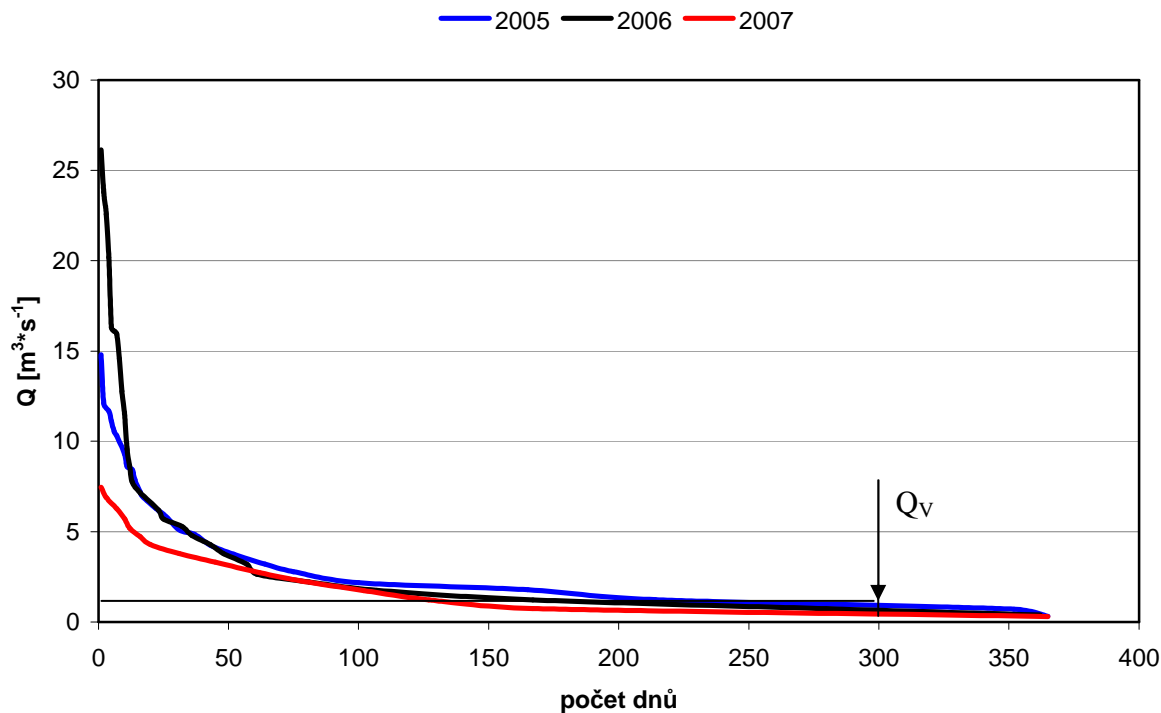
Obr. 6.2.4-1 Křivka denních průtoků pro rok 2007



Obr. 6.2.4-2 Vodní stav pro rok 2007

O Obr. 6.2.4-2 můžu shodně říci, že nejvyšší naměřená hodnota vodní hladiny byla více jak 58 cm a nejnižší téměř 15 cm. Můžu tedy směle říci, že největší sucho v průběhu roku 2007 bylo začátkem jara přes léto až po podzim, za to v průběhu zimy byly naměřeny velké hodnoty hladiny vody. To bylo způsobeno velkým množstvím sněhových srážek.

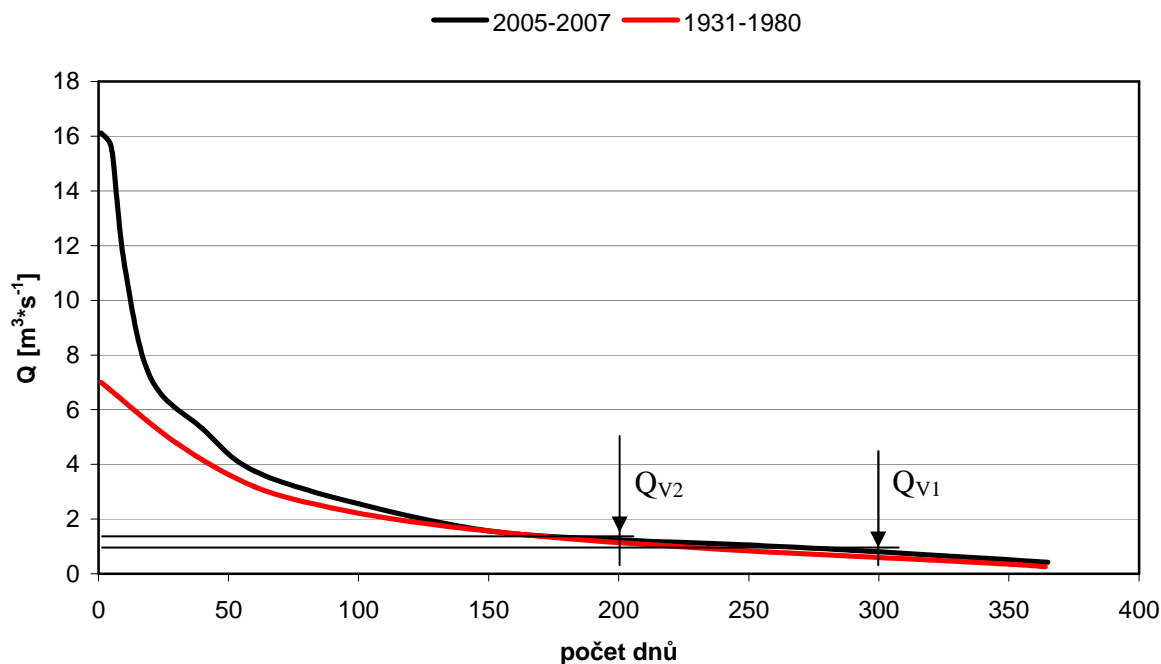
6.2.5 Rozmezí let 2005-2007



Obr. 6.2.5-1 Křivka denních průtoků v rozmezí let 2005-2007

Z Obr. 6.2.5-1 je zřejmé, že největší naměřený průtok byl v roce 2006 a nejnižší v roce 2007. Průměrný výpočtový průtok jsem stanovil na hodnotě $Q_v = 0,75 \text{ m}^3/\text{s}$.

6.2.6 Porovnání křivky z let 1931-1980 a křivky z let 2005-2007



Obr. 6.2.6-1 Křivka denních průtoků z let 1931-1980 v porovnání s křivkou denních průtoků z let 2005-2007

Výpočtový průtok, který se rovná hodnotě $Q_{V1} = 0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ by byl výchozí hodnotou pro případ řešení MVE s jednou turbínou, která by pracovala po 300 dní v roce. Kdyby ovšem bylo naším záměrem použít dvě turbíny v soustrojí vycházeli bychom z výpočtového průtoku $Q_{V2} = 1,3 \text{ m}^3/\text{s}$, tato turbína by pracovala po 200 dní v roce.

6.3 Vybrané lokality

6.3.1 Jez Sobkovice



Obr. 6.3.1-1 Letecký snímek jezu v Sobkovicích [5]

Tento jez se nachází v blízkosti průmyslového závodu, tudíž je zde možnost připojení výstupního výkonu na distribuční síť. Samozřejmostí je dobrá dopravní dostupnost přímo k jezu. Zde by mohla být MVE řešena jak jezovým způsobem tak derivačním způsobem. Vzhledem ke spádu, který je zde 2,50 m bych volil Kaplanovu nebo Bánkiho turbínu.



Obr. 6.3.1-2 Fotografie jezu v Sobkovicích

6.3.2 Jez Jablonné nad Orlicí



Obr. 6.3.2-1 Letecký snímek jezu v Jablonném nad Orlicí [5]



Obr. 6.3.2-2 Fotografie jezu v Jablonném nad Orlicí

Tento válcový jez v Jablonném nad Orlicí se nachází v bezprostřední blízkosti obydlené oblasti. Dobrá dopravní dostupnost je samozřejmostí. Nejvhodnějším řešením vyvedení výstupního výkonu do distribuční sítě by bylo kabelem. Nereálným řešením by zde byla MVE s derivačním kanálem, naopak jezové řešení se jeví jako lepší. Spád se pohybuje okolo 1,80 m. Z důvodu menšího spádu bych volil Kaplanovu turbínu, další možná použitá turbína by byla Bánkiho.

6.3.3 Jez Mistrovice



Obr. 6.3.3-1 Letecký snímek jezu v Mistrovicích [5]



Obr. 6.3.3-2 Fotografie jezu v Mistrovicích

Tento jez je ohraničen lomem, železniční tratí a silnicí II. třídy č.311. Z tohoto důvodu je zde dopravní dostupnost výhodou. Zároveň z tohoto samého důvodu je zde derivační řešení MVE nereálné, jezové řešení je tedy jako jediné možné. Blízká trafostanice zaručuje připojení k distribuční síti. Spád je 2,30 m. Vzhledem k omezenému prostoru pro výstavbu MVE bych volil Kaplanovu turbínu.

6.3.4 Jez Verměřovice



Obr. 6.3.4-1 Letecký snímek jezu ve Verměřovicích [5]

Jez ve Verměřovicích je vybudován v blízkosti obydlené oblasti, a právě v těch místech, kde není zřízena obecní ani soukromá cesta. Jediným řešením je tedy MVE s derivačním kanálem. Podle případné polohy vystavěné MVE by mohl být výstupní výkon vyveden do distribuční sítě jak kabely tak dráty. U tohoto jezu uvádím spád 2,10 m. Mnou zvolená turbína by byla Kaplanova turbína, další možnou je Bánkiho turbína.



Obr.6.3.4-2 Fotografie jezu ve Verměřovicích

6.3.5 Jez Letohrad



Obr. 6.3.5-1 Letecký snímek jezu v Letohradě [5]



Obr. 6.3.5-2 Fotografie jezu v Letohradě

Letohradský jez se nachází na okraji obydlené oblasti v blízkosti obecní cesty. Dopravní dostupnost je tedy dobrá. Zde může být vybudována MVE jak jezová tak s derivačním kanálem. Vyvedení výstupního výkonu zde může být řešeno oběma způsoby, tedy pomocí kabelů i drátů. Spád se pohybuje okolo 2,10 m. Z tohoto důvodu bych volil Kaplanovu turbínu, dalším řešením by bylo použití Francisovy turbíny.

6.4 Výběr finální lokality pro návrh MVE

Z vybraných pěti lokalit jsem si jednoznačně vybral jez v Sobkovicích (kap. 6.3.1). Tento jez je z pěti vybraných jezů položen nejvýše na řece. Na tomto jezu je mimo jiné provozována měřicí stanice, z údajů vypracovaných touto měřicí stanicí jsem vycházel pro sestrojení křivek denních průtoků a vodních stavů. Hodnoty odečtených výpočtových průtoků z grafů tedy nejsou zkráceny vzdáleností jednotlivých jezů od měřicí stanice. Tento jez je situován na okraj zalesněného prostoru z jedné strany a z druhé strany ohraničen loukou využívanou v zemědělství. Výkupní cena pozemků by tedy nemusela být příliš vysoká, oproti případu, kde je jez vybudován v blízkosti obydlených oblastí. Výše uvedené umístění jezu mezi lesem a loukou není nevýhodou z hlediska dostupnosti, jak se může zdát. K jezu vede přímá cesta jak z levého břehu tak z pravého břehu řeky. V blízkosti jezu se také nachází obecní vedení nízkého napětí, kam bude vyveden výkon. Nákladné financování elektrického vedení tedy není nutné.

7 ELEKTROTECHNICKÉ A STAVEBNÍ ŘEŠENÍ MVE

7.1 Vyrobený výkon a vyrobená elektrická energie MVE

Pro výpočet hrubého (teoretického) výkonu je potřeba znát spád a průtok na vybraném jezu. V mém případě je spád $H = 2,5$ m a výpočtový průtok $Q_V = 0,93$ m³/s.

Výpočet hrubého průtoku:

$$P_H = Q_V \cdot H \cdot g \cdot \rho = 0,93 \cdot 2,5 \cdot 9,81 \cdot 1000 = \underline{\underline{22,80 \text{ kW}}} \quad (7.1)$$

P_H - elektrický výkon (W)

Q_V - výpočtový průtok (m³/s)

H - spád (m)

g - tíhové zrychlení (9,81 m/s²)

ρ - hustota vody (1000 kg/m³)

Při výpočtu elektrického (čistého) výkonu, který bude dodáván do distribuční sítě musím započítat ztráty v turbíně, ztráty v generátoru a ztráty použitým převodem. Tyto ztráty jsou vyjádřeny pomocí účinností $\eta_T = 0,86$, $\eta_G = 0,9$ a $\eta_{PŘ} = 0,95$.

Výpočet čistého výkonu:

$$P_{el} = Q_V \cdot H \cdot g \cdot \rho \cdot \eta_T \cdot \eta_G \cdot \eta_{PŘ} = 0,93 \cdot 2,5 \cdot 9,81 \cdot 1000 \cdot 0,86 \cdot 0,9 \cdot 0,95 = \underline{\underline{16,77 \text{ kW}}} \quad (7.2)$$

P_{el} - elektrický výkon (W)

η_T - účinnost turbíny (-)

η_G - účinnost generátoru (-)

$\eta_{PŘ}$ - účinnost převodu (-)

Další ukazatel, který je potřeba znát i nejen pro ekonomické zhodnocení je vyrobená elektrická energie. Počet provozních hodin je proměnlivý a závisí na mnoha vlivech. Pro svůj návrh budu uvažovat 250 provozních dnů ročně, tedy 6000 provozních hodin.

Výpočet vyrobené elektrické energie za rok:

$$E = P_{el} \cdot t = 16,77 \cdot 6000 = \underline{\underline{100,62 \text{ MWh}}} \quad (7.3)$$

E - vyrobená elektrická energie (Wh)

t - počet provozních hodin elektrárny (h)

počet provozních dnů	350	300	250	200	150	100	75	50	25
Q (m ³ /s)	0,55	0,75	0,93	1,04	1,45	1,99	2,58	3,53	5,15
P _H (kW)	13,49	18,39	22,80	25,51	35,56	48,80	63,27	86,57	126,30
P _{el} (kW)	9,92	13,52	16,77	18,75	26,15	35,89	46,53	63,66	92,87
E (MWh)	59,5	81,1	100,6	112,5	156,9	215,3	279,2	381,9	557,2

Tab. 7.1-1 Hrubý a elektrický výkon a vyrobená elektrická energie v ročním srovnání

7.2 Turbína

Vzhledem k uvažovanému spádu $H = 2,5$ m a výpočtovému průtoku $Q_v = 0,93$ m³/s, mi byla doporučena firmou ČKD Blansko jimi vyráběná kašnová Kaplanova turbína typu 4-K12. Pro tyto hodnoty spádu a průtoku pracuje turbína s účinností $\eta_T = 0,86$.

7.2.1 Technické údaje turbíny

Pro další postup v návrhu potřebujeme vědět jmenovité otáčky turbíny. Pro stavební řešení je nezbytné znát průměr oběžného kola od čehož se poté odvíjí například velikost použité savky.

$$n_T = 420 \text{ ot/min}$$

$$D_1 = 560 \text{ mm}$$

$$n_T - \text{jmenovité otáčky turbíny (ot/min)}$$

$$D_1 - \text{průměr oběžného kola (mm)}$$

7.3 Elektrický generátor

Pro tento návrh bude jako generátor uvažován asynchronní motor s kotvou nakrátko. Při správném výběru je nejdůležitější výkon stroje. Z široké nabídky vyráběných asynchronních motorů jsem si vybral osmipólový motor firmy SIEMENS s typovým označením 1LG4220-8AB61. Generátor pracuje s účinností $\eta_G = 0,9$ [7].

7.3.1 Technické údaje generátoru

Typová řada	1LG4
Velikost (osová výška)	225 mm
Výkon	18,50 kW
Otáčky	730 ot/min
Počet pólů	8
Napětí	400 / 690 V, 50 Hz
Proud	38 A
Cos φ	0,79
Krytí	IP 55
Kostra	šedá litina
Pro teplotu okolí	od -20°C do + 40°C
Třída izolace	F
Pro nadmořskou výšku	do 1000 m
Pro trvalé zatížení	S1
Standardní nátěr	odstín RAL 7030

Tab. 7.3.1-1 Elektrický generátor [7]

7.4 Převod

Pokud nejsou jmenovité otáčky turbíny stejné jako jmenovité otáčky generátoru musí být použit převod mezi turbínou a generátorem. Jako nejlepší a nejjednodušší se mi jeví převod pomocí klínového řemene. Uvažovaná účinnost klínového řemene bude $\eta_{p\check{r}} = 0,95$.

7.4.1 Návrh klínového řemene

Než začnu vybírat velikost řemenic a samotný klínový řemen, musím znát převodový poměr. Převodový poměr je podíl mezi otáčkami generátoru a otáčkami turbíny. Jako otáčky generátoru se musí uvažovat synchronní otáčky, pro osmipólový generátor to je 750 ot/min.

Výpočet převodového poměru:

$$i = \frac{n_G}{n_T} = \frac{750}{420} = 1,78 \quad (7.4)$$

i- převodový poměr (-)

n_G - otáčky generátoru (ot/min)

Další navrhovanou součástí bude velká a malá řemenice. Součástí vzorce pro návrh průměru řemenice je mimo jiné obvodová rychlost. Obvodová rychlost se volí v rozmezí 10 až 45 m/s. Pro mé účely bude postačující rychlost 15 m/s [9].

Výpočet průměru malé řemenice:

$$d = \frac{60000 \cdot v}{\pi \cdot n_G} = \frac{60000 \cdot 15}{\pi \cdot 750} = 381,9 \text{ mm} \quad (7.5)$$

d- průměr malé řemenice (mm)

v- obvodová rychlost (m/s)

Pomocí strojnických tabulek volím normalizovanou hodnotu průměru malé řemenice a to $d = 400 \text{ mm}$ [8].

Výpočet velké řemenice:

$$D = d \cdot i = 400 \cdot 1,78 = 712 \text{ mm} \quad (7.6)$$

D- průměr velké řemenice (mm)

Na základě strojnických tabulek volím normalizovanou hodnotu průměru velké řemenice $D = 710 \text{ mm}$ [8].

Výpočet skutečného převodového poměru:

$$i_s = \frac{D}{d} = \frac{710}{400} = 1,77 \quad (7.7)$$

i_s - skutečný převodový poměr (-)

Převodový poměr vypočítaný na základě otáček turbíny a generátoru se od skutečného převodového poměru liší jen minimálně. Zvolený převod je tedy ideální.

Ze závislosti otáček malé řemenice na přenášeném výkonu jsem zvolil oblast C, která představuje průřez použitého klínového řemenu [8].

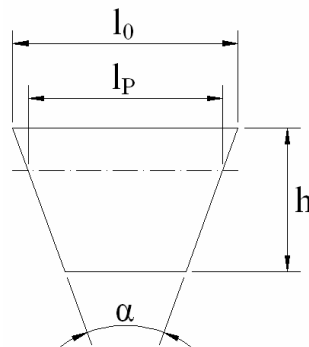
Parametry klínového řemenu:

$$l_0 = 22 \text{ mm}$$

$$l_p = 19 \text{ mm}$$

$$h = 14 \text{ mm}$$

$$\alpha = 40^\circ$$



Obr. 7.4.1-1 Klínový řemen

Další důležitou součástí, zejména pro stavební řešení je osová vzdálenost. Abych ji mohl vypočítat musím nejprve zjistit ze strojnických tabulek rozdíl mezi vnitřní a vnější délkou klínového řemene [9].

$$\Delta L = L_p - L_1 = 58 \text{ mm} \quad (7.8)$$

ΔL - rozdíl mezi vnitřní a vnější délkou klínového řemene (mm)

L_p - vnější délka klínového řemene (mm)

L_1 - vnitřní délka klínového řemene (mm)

Jako další si vypočítám vnější délku řemene pomocí vzorce:

$$\begin{aligned} L_p &= \frac{\pi}{2} \cdot (D + d) + 2 \cdot a_1 \cdot \sin \frac{\alpha_1}{2} + \frac{\pi \cdot (180 - \alpha_1)}{180} \cdot \frac{D - d}{2} = \\ &= \frac{\pi}{2} \cdot (710 + 400) + 2 \cdot 1110 \cdot \sin \frac{110}{2} + \frac{\pi \cdot (180 - 110)}{180} \cdot \frac{710 - 400}{2} = 3751,46 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.9)$$

a_1 - hrubá osová vzdálenost (mm)

α_1 - úhel opásání ($^\circ$)

Za hrubou osovou vzdálenost jsem dosadil do vzorce délku 1110 mm, což je součet průměrů velké a malé řemenice.

Výpočet vnitřní délky klínového řemene:

$$L_1 = L_p - \Delta L = 3751,46 - 58 = 3693,46 \text{ mm} \quad (7.10)$$

Pomocí strojírenských tabulek zaokrouhlím vnitřní délku klínového řemene na nejbližší vyšší hodnotu a to na $L_1 = 4000$ mm [9].

Výpočet skutečné vzdálenosti L_p :

$$L_p = \Delta L + L_1 = 4058 \text{ mm} \quad (7.11)$$

Nyní mi už nic nebrání ve výpočtu skutečné osově vzdálenosti.

Výpočet skutečné osově vzdálenosti:

$$\begin{aligned} a &= \frac{L_p}{4} - \frac{\pi}{8} \cdot (D + d) + \sqrt{\left[\frac{L_p}{4} - \frac{\pi}{8} \cdot (D + d) \right]^2 - \frac{(D - d)^2}{8}} = \\ &= \frac{4058}{4} - \frac{\pi}{8} \cdot (710 + 400) + \sqrt{\left[\frac{4058}{4} - \frac{\pi}{8} \cdot (710 + 400) \right]^2 - \frac{(710 - 400)^2}{8}} = 1146,73 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.12)$$

a - skutečná osová vzdálenost (mm)

Skutečná osová vzdálenost vyšla $a = \underline{\underline{1146,73 \text{ mm}}}$. Tato osová vzdálenost je pro další návrh přijatelná.

7.5 Kompenzační kondenzátory

Dle požadavků provozovatele distribuční sítě musí být generátor připojený k síti schopen dodávat jmenovitý činný výkon v rozmezí účinníku $\cos\varphi = 0,85$ (dodávka jalového výkonu induktivního charakteru) a $\cos\varphi = 0,95$ (chod generátoru v podbuzeném stavu) při dovoleném rozsahu napětí na svorkách generátoru $\pm 5\% U_n$ a při kmitočtu v rozmezí 48,5 až 50,5 Hz [10].

7.5.1 Návrh kompenzačních kondenzátorů

Pro výpočet kompenzačních kondenzátorů budeme vycházet z těchto parametrů.

$$P_{el} = 16,77 \text{ kW}$$

$$U = 400 \text{ V}$$

$$I = 38 \text{ A}$$

$$\cos \varphi_{gen} = 0,79$$

$$\cos \varphi_{sít} = 0,95$$

U- napětí generátoru (V)

I- proud generátoru (A)

$\cos \varphi_{gen}$ - účinník generátoru (-)

$\cos \varphi_{sít}$ - účinník sítě (-)

Nejprve si pomocí těchto uvedených hodnot vypočítám jalový výkon generátoru a jalový výkon dodávaný ze sítě.

Výpočet jalového výkonu generátoru:

$$Q_{gen} = P_{el} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{gen} = 16,77 \cdot 10^3 \cdot 0,77 = 12,91 \text{ kVAr} \quad (7.13)$$

Q_{gen} - jalový výkon generátoru (VAr)

Výpočet jalového výkonu dodávaného ze sítě.

$$Q_{sít} = U_{sdr} \cdot I \cdot \sin \varphi_{sít} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 38 \cdot 0,31 = 8,16 \text{ kVAr} \quad (7.14)$$

$Q_{sít}$ - jalový výkon dodávaný ze sítě (VAr)

Rozdíl mezi jalovým výkonem generátoru a jalovým výkonem dodávaným ze sítě udává výkon kompenzačních kondenzátorů.

Výpočet jalového výkonu kompenzačních kondenzátorů:

$$Q_{kom} = Q_{gen} - Q_{sít} = 12,91 - 8,16 = \underline{\underline{4,75 \text{ kVAr}}} \quad (7.15)$$

Q_{kom} - jalový výkon kompenzačních kondenzátorů (VAr)

Z nabídky firmy ZEZ Silko jsem si pro mé účely vybral kompenzační kondenzátor s jalovým výkonem 5 kVAr. Pro další postup v návrhu, zejména dimenzování vodičů je důležité přepočítat skutečný účinník [11].

Výpočet skutečného účinníku:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{\text{skut}}}{P_{\text{el}}} = \frac{5}{16,77} = 0,30 \quad (7.16)$$

Q_{skut} - skutečný kompenzační výkon (VAr)

Skutečný účinník tedy bude $\cos \varphi = \underline{\underline{0,95}}$.

7.6 Dimenzování vodičů

Nedílnou součástí každé MVE i každého objektu jsou silové vodiče pro přívod elektrické energie ze sítě.

7.6.1 Návrh přívodního kabelu pro asynchronní generátor

Pod přívodním kabelem pro asynchronní generátor rozumíme kabel mezi rozvaděčem na prahu MVE a samotným asynchronním generátorem. Jako první stanovím dovolené zatížení vodiče, což je maximální proud který prochází generátorem.

$$I_z = 40,5 \text{ A}$$

I_z - dovolené zatížení vodiče (A)

Pro samotné vybrání průřezu vodiče musím vypočítat jmenovité proudové zatížení vodiče. To provedu za pomoci přepočítávacího součinitele, který zohledňuje teplotu vzduchu okolí.

Výpočet proudového zatížení vodiče:

$$I_n \geq \frac{I_z}{k_1} = \frac{40,5}{1,08} = 37,5 \text{ A} \quad (7.17)$$

I_n - jmenovité proudové zatížení vodiče (A)

k_1 - přepočítávací součinitel zohledňující teplotu vzduchu okolí

Na základě referenčního uložení E, které představuje uložení kabelu volně ve vzduchu a vypočítaného proudového zatížení vodiče volím kabel AYKY 3x10 mm² [12]. Důvod pro výběr hliníkového jádra kabelu je prostý, a to je cena kabelu.

7.6.1.1 Kontrola úbytku napětí

Součástí každého dimenzování musí být kontrola úbytku napětí na kabelu. Pro výpočet musím znát elektrický odpor vodiče a reaktanci vodiče.

Výpočet elektrického odporu vodiče:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} = 0,029 \cdot \frac{10}{10} = 0,029 \text{ } \Omega \quad (7.18)$$

R- elektrický odpor vodiče (Ω)

ρ - měrný elektrický odpor ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)

l- délka vodiče (m)

S- průřez vodiče (mm^2)

Výpočet měrné reaktance vodiče:

$$X = x_k \cdot l = 0,05 \cdot 0,01 = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ } \Omega \quad (7.19)$$

X- reaktance vodiče (Ω)

x_k - měrná reaktance (Ω/km)

Měrná reaktance x_k se pro rozvody nn udává 0,05 Ω/km [12].

Úbytek napětí se spočítá pomocí činné a jalové složky úbytku napětí. Jako proud dosazují dovolené zatížení vodiče. Jako účinník dosazují účinník generátoru.

Výpočet úbytku napětí na vodiči:

$$\Delta U = R \cdot I_z \cdot \cos \varphi + X \cdot I_z \cdot \sin \varphi = 0,029 \cdot 40,5 \cdot 0,95 + 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 40,5 \cdot 0,31 = 1,12 \text{ V} \quad (7.20)$$

ΔU - úbytek napětí (V)

Pro lepší zhodnocení vypočítaného úbytku bude procentuální vyjádření.

Výpočet úbytku napětí v procentech:

$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta U \cdot 100}{U} \cdot \sqrt{3} = \frac{1,12 \cdot 100}{400} \cdot \sqrt{3} = 0,48 \text{ } \% \leq 5 \text{ } \% \quad (7.21)$$

$\Delta u_{\%}$ - úbytek napětí v procentuálním vyjádření (%)

Z výpočtu můžu vyčíst, že úbytek napětí je 0,48 %, je tedy menší než dovolená mez 5 %. Mnou zvolený kabel AYKY 3x10 mm^2 vyhověl kontrole úbytku napětí.

7.6.1.2 Kontrola tepelných účinků zkratových proudů

Pro tuto kontrolu bude výchozí hodnota počáteční rázový zkratový proud a s tím související ekvivalentní oteplovací proud. Další nutnou veličinou je celková impedance kabelu.

Výpočet celkové impedance kabelu:

$$|Z_k| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,029^2 + (0,5 \cdot 10^{-3})^2} = 0,029 \text{ } \Omega \quad (7.22)$$

Z_k - celková impedance (Ω)

Výpočet počátečního rázového zkratového proudu:

$$I_k'' = k \cdot \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot |Z_k|} = 1 \cdot \frac{1,1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot |0,029|} = 8,75 \text{ kA} \quad (7.23)$$

I_k'' - počáteční rázový zkratový proud (A)

k- součinitel druhu zkratu (-)

c- napěťový součinitel (-)

Pro výpočet počátečního zkratového proudu jsem použil součinitel druhu zkratu k. Tento součinitel vyjadřuje druh zkratu (pro třífázový zkrat je k=1). Další veličinou použitou při výpočtu byl napěťový součinitel c. Tato veličina vyjadřuje odhad vnitřního napětí zdrojů za jejich reaktancí v době zkratu (pro chod při zatížení je c= 1,1).

Výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu:

$$I_{ke} = k_e \cdot I_k'' = 1,18 \cdot 8,75 \cdot 10^3 = 10,325 \text{ kA} \quad (7.24)$$

I_{ke} - ekvivalentní oteplovací proud (A)

k_e - přepočítávací součinitel zohledňující dobu zkratu (-)

Výpočet minimálního průřezu vodiče:

$$s_{\min} = \frac{I_{ke} \cdot \sqrt{t_K}}{\sqrt{\frac{c_0 \cdot (\vartheta + 20)}{\rho_{20}} \cdot \ln \frac{\vartheta + \vartheta_k}{\vartheta + \vartheta_1}}} = \frac{10,325 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{0,015}}{\sqrt{\frac{2,417 \cdot (228 + 20)}{0,02941} \cdot \ln \frac{228 + 160}{228 + 70}}} = 17,24 \text{ mm}^2 \quad (7.25)$$

s_{\min} - minimální průřez vodiče (mm^2)

t_k - doba zkratu (s)

c_0 - specifické teplo materiálu ($\text{J/cm}^3/^\circ\text{C}$)

ϑ - fiktivní teplota materiálu ($^\circ\text{C}$)

ρ_{20} - specifický odpor materiálu při 20°C ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$)

ϑ_k - nejvyšší dovolená teplota při zkratu ($^\circ\text{C}$)

ϑ_1 - nejvyšší dovolená provozní teplota ($^\circ\text{C}$)

Pro výpočet byli použity mimo jiné veličiny nejvyšší dovolená teplota při zkratu a nejvyšší dovolená provozní teplota. Tyto dvě veličiny závisí na druhu izolace navrhovaného kabelu. Další veličiny jako specifické teplo materiálu, fiktivní teplota a specifický odpor materiálu jsou materiálové konstanty.

materiál	hliník
ρ_{20} ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$)	0,02941
ϑ ($^\circ\text{C}$)	228
c_0 ($\text{J/cm}^3/^\circ\text{C}$)	2,417

Tab. 7.6.1.2-1 Materiálové konstanty [12]

druh izolace	PVC
ϑ_1 ($^\circ\text{C}$)	70
ϑ_k ($^\circ\text{C}$)	140-160

Tab. 7.6.1.2-2 Dovolené provozní a maximální teploty vodičů [12]

Z výpočtu minimálního průřezu je jasně patrné, že kabel AYKY 3x10 mm² nevyhověl kontrole tepelných účinků zkratových proudů. Volím tedy kabel s průřezem o dva řády výše a to kabel AYKY s průřezem 3x25 mm².

7.6.2 Návrh přívodního kabelu pro MVE

Pro tento návrh budeme postupovat obdobně jako u návrhu přívodního kabelu pro asynchronní generátor. Tento kabel představuje přívodní kabel pro celou budovu elektrárny od sloupu nízkého napětí obecního vedení. Vzdálenost těchto dvou bodů je 350 m. Nejprve stanovím dovolené zatížení vodiče.

$$I_z = 45 \text{ A}$$

Dalším krokem je proudové zatížení vodiče určující výběr průřezu kabelu.

Výpočet proudového zatížení vodiče:

$$I_n \geq \frac{I_z}{k_2 \cdot k_3} = \frac{45}{1,05 \cdot 1,1} = 38,96 \text{ A} \quad (7.26)$$

k_2 - přepočítávací součinitel zohledňující teplotu země okolí (-)

k_3 - přepočítávací součinitel zohledňující proudovou zatížitelnost země (-)

Vzhledem k referenčnímu uložení D (vícežilové kabely uloženy v trubkách v zemi) a vypočítanému proudovému zatížení vodiče volím kabel AYKY 3x50 mm² [12].

7.6.2.1 Kontrola úbytku napětí

Pro samotný výpočet hodnoty úbytku a její procentuální vyjádření si nejprve určím elektrický odpor vodiče a reaktanci vodiče.

Výpočet elektrického odporu vodiče:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} = 0,029 \cdot \frac{350}{50} = 0,203 \text{ } \Omega \quad (7.27)$$

Výpočet měrné reaktance vodiče:

$$X = x_k \cdot l = 0,05 \cdot 0,35 = 17,5 \cdot 10^{-3} \text{ } \Omega \quad (7.28)$$

Nyní mohu přistoupit k samotnému vyjádření úbytku napětí na přívodním kabelu.

Výpočet úbytku napětí na vodiči:

$$\Delta U = R \cdot I_z \cdot \cos \varphi + X \cdot I_z \cdot \sin \varphi = 0,203 \cdot 45 \cdot 0,95 + 17,5 \cdot 10^{-3} \cdot 45 \cdot 0,31 = 8,92 \text{ V} \quad (7.29)$$

Úbytek si vyjádřím v procentech.

Výpočet úbytku napětí v procentech:

$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta U \cdot 100}{U} \cdot \sqrt{3} = \frac{8,92 \cdot 100}{400} \cdot \sqrt{3} = \underline{\underline{3,86 \% \leq 5 \%}} \quad (7.30)$$

Z výpočtu je patrné, že zvolený kabel AYKY s průřezem $3 \times 50 \text{ mm}^2$ vyhověl kontrole úbytku napětí.

7.6.2.2 Kontrola tepelných účinků zkratových proudů

Nejprve si vypočítám celkovou impedanci vedení, počáteční rázový zkratový proud a ekvivalentní oteplovací proud.

Výpočet celkové impedance kabelu:

$$|Z_k| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,203^2 + (17,5 \cdot 10^{-3})^2} = 0,203 \ \Omega \quad (7.31)$$

Výpočet počátečního rázového zkratového proudu:

$$I_k'' = k \cdot \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot |Z_k|} = 1 \cdot \frac{1,1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot |0,203|} = 1,25 \ \text{kA} \quad (7.32)$$

Výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu:

$$I_{ke} = k_e \cdot I_k'' = 1,18 \cdot 1,25 \cdot 10^3 = 1,475 \ \text{kA} \quad (7.33)$$

Navrhovaný kabel je stejný jako v případě, kdy jsem navrhoval přívodní kabel pro asynchronní generátor hliníkového jádra, proto budou materiálové konstanty stejně jako konstanty závislé na izolaci vodiče stejné.

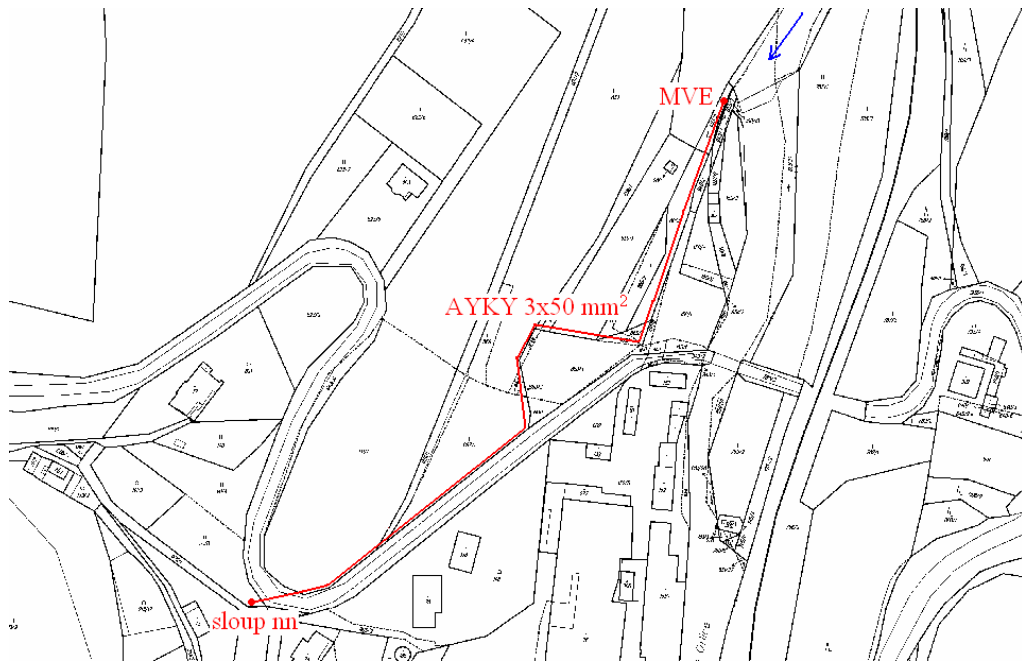
Výpočet minimálního průřezu vodiče:

$$s_{\min} = \frac{I_{ke} \cdot \sqrt{t_K}}{\sqrt{\frac{c_0 \cdot (\vartheta + 20)}{\rho_{20}} \cdot \ln \frac{\vartheta + \vartheta_k}{\vartheta + \vartheta_1}}} = \frac{1,475 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{0,015}}{\sqrt{\frac{2,417 \cdot (228 + 20)}{0,02941} \cdot \ln \frac{228 + 160}{228 + 70}}} = 2,46 \ \text{mm}^2 \quad (7.34)$$

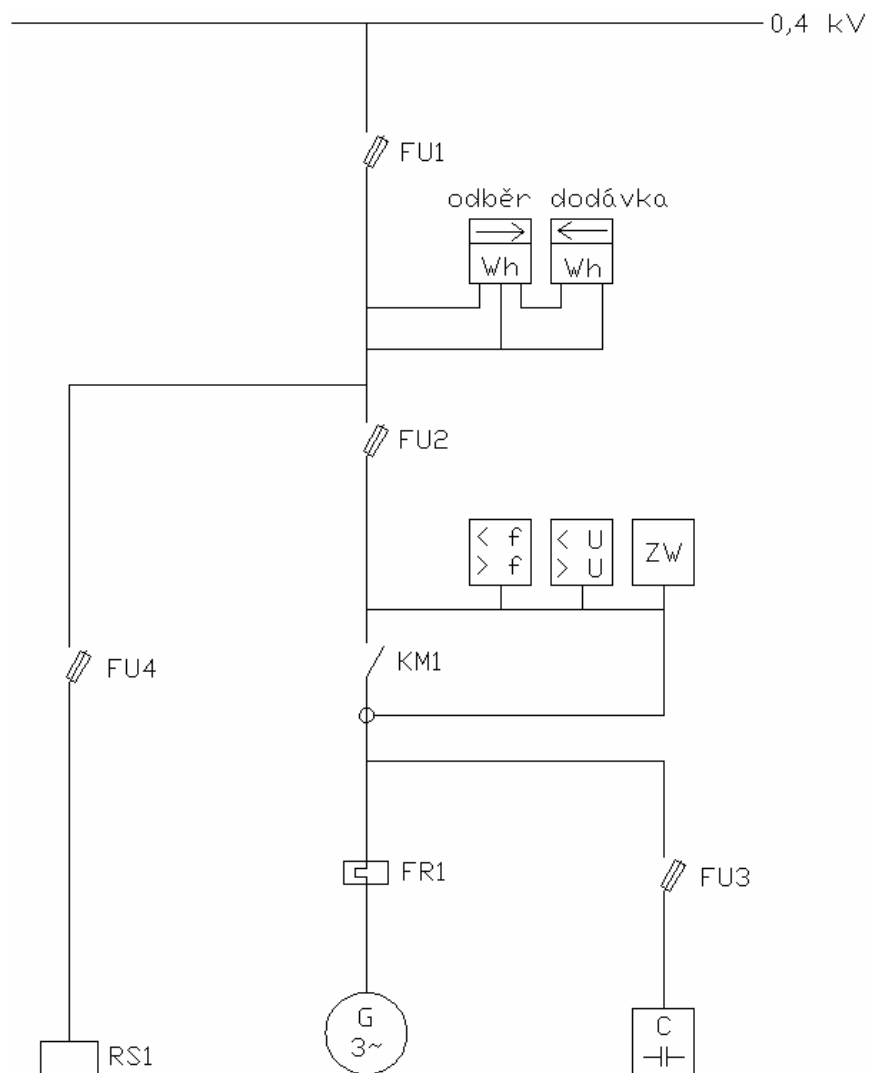
Navrhnutý kabel AYKY s průřezem $3 \times 50 \text{ mm}^2$ vyhověl tepelným účinkům zkratových proudů. Průřez kabelu 50 mm^2 je tak velký z důvodu úbytku napětí. Menší průřez by kontrole úbytku napětí nevyhověl.

7.7 Připojení MVE na distribuční síť

Jak bylo řečeno výše, přívodní kabel bude hliníkového jádra s izolací PVC a s průřezem $3 \times 50 \text{ mm}^2$. Kabel bude dlouhý 350 m a bude uložen v zemi. Z obrázku 7.7-1 je patrné, že přívodní kabel bude přiveden k MVE podél obecní cesty a přilehlého parkoviště. Nákladné stavební úpravy nejsou nutné.



Obr. 7.7-1 Připojení MVE na distribuční síť



Obr. 7.7-2 Jednopolové schéma MVE

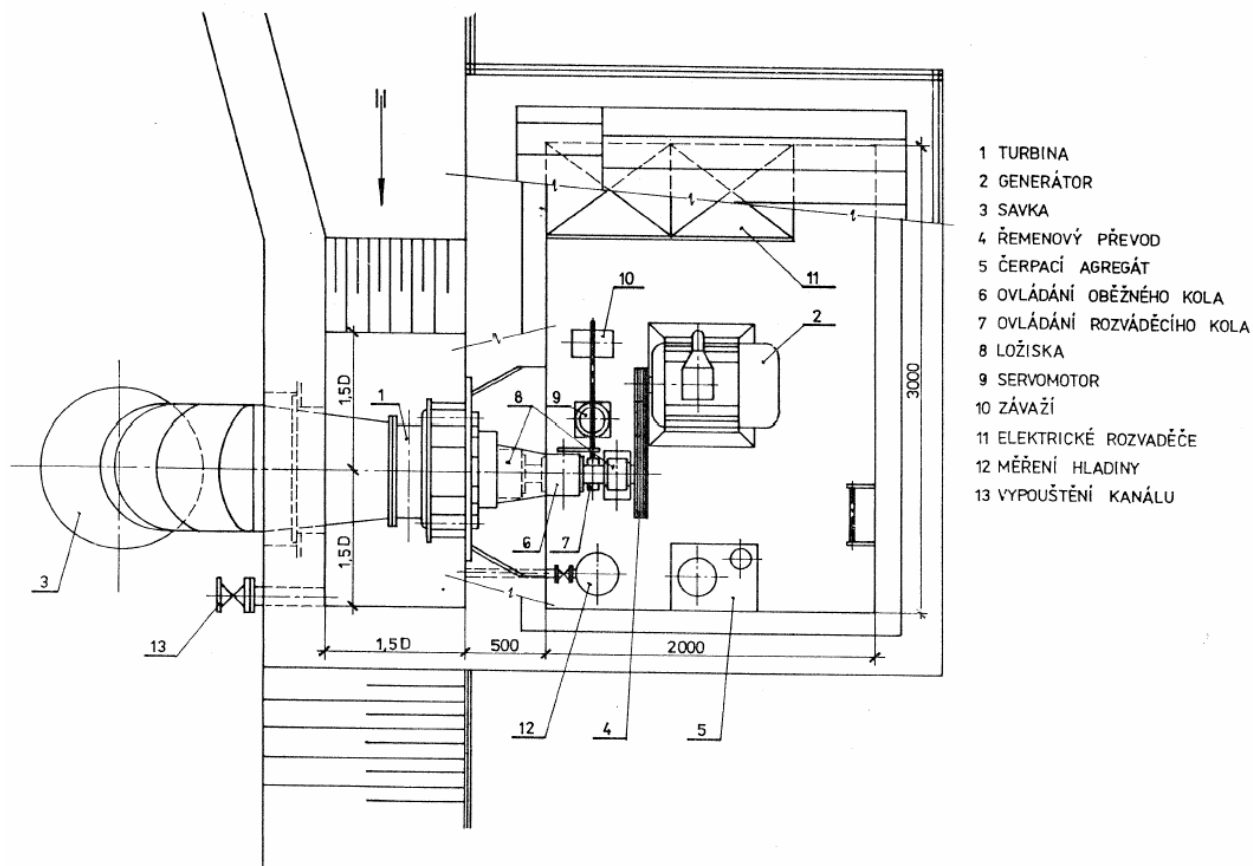
7.7.1 Popis funkce jednopólového schéma MVE

Jednopólové schéma se skládá z asynchronního generátoru G, soustavy kompenzačních kondenzátorů C, rozvaděče vlastní spotřeby RS1, proudové ochrany přetížitelnosti FR1, stykače KM1, jističů FU1, FU2, FU3, FU4 a ze soustavy ochran.

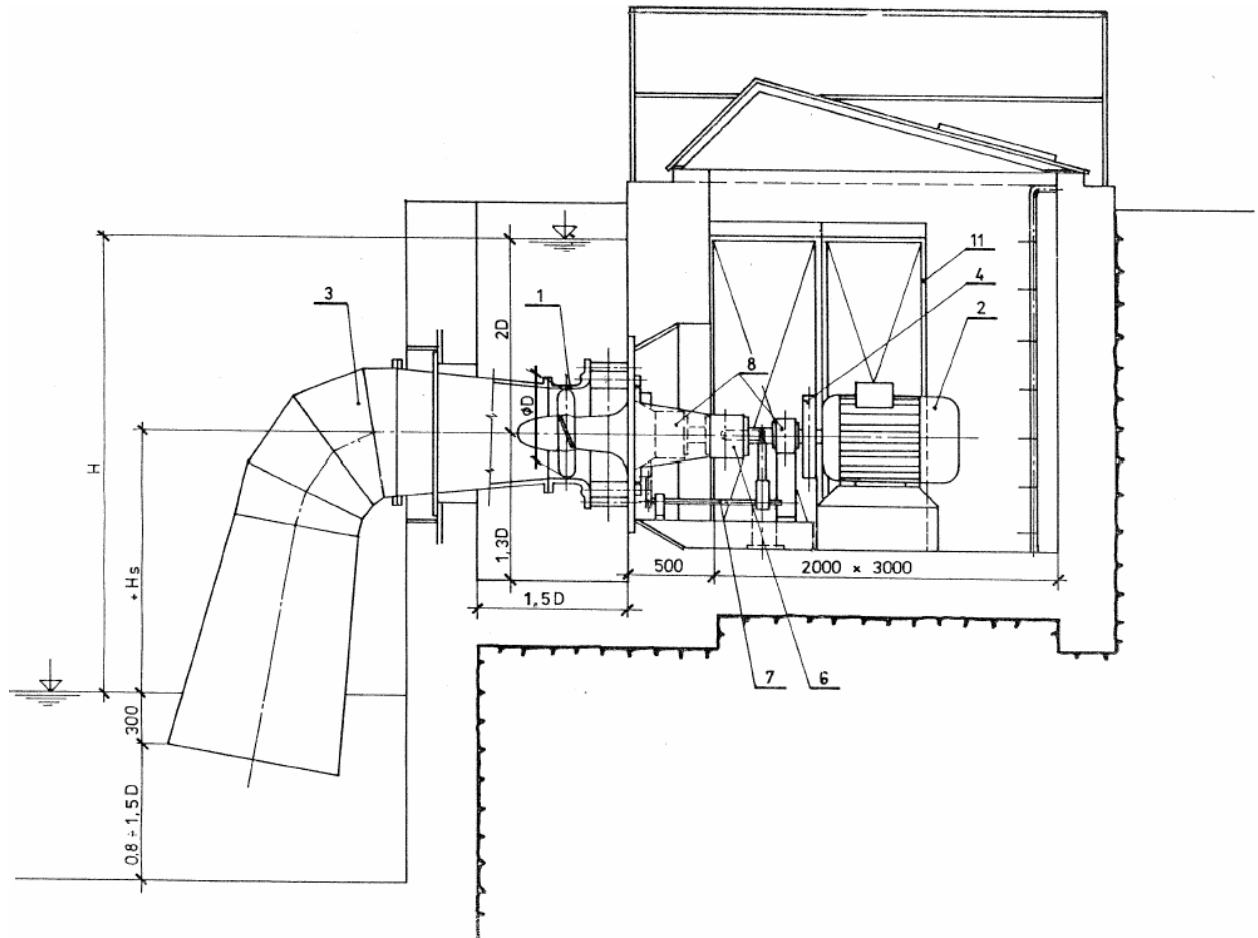
Proudová ochrana přetížitelnosti FR1 chrání generátor G před přetížením. Stykač KM1 je určen pro odpojování a připojování generátoru k síti. Tento stykač je ovládán ochranami proti podpětí (<U), přepětí (>U), podfrekvencí (<f), nadfrekvencí (>f) a proti zpětnému toku výkon (ZW). Tento stykač ST503-50-A230 firmy OEZ s.r.o. bude kombinován s nadproudým relé SR503-50 stejné firmy. Jistič FU3 chrání soustavu kompenzačních kondenzátorů. Jistič FU2 chrání jak generátor a soustavu ochran tak kompenzační soustavu. Jistič FU4 chrání rozvaděč vlastní spotřeby, potažmo i zařízení vlastní spotřeby. Součástí jsou i měřicí přístroje pro měření dodávky a odběru elektrické energie. Jistič FU1 chrání celou budovu MVE.

7.8 Stavební řešení MVE

Elektrárna bude uvažována s přívodním derivačním kanálem o délce 8 m a odpadním kanálem o délce 4 m. Samotná budova bude mít velikost podstavy 4x3,5 m s výškou budovy 2,5 m.



Obr. 7.8-1 Půdorys MVE doporučené firmou ČKD Blansko



Obr. 7.8-2 Nárys MVE doporučené firmou ČKD Blansko

8 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V dnešní době je pro každý navrhovaný projekt důležitá ekonomika provozu. Výjimkou není ani MVE. Ceny jsou zjištěny na základě nabídky výrobců. Ceny které jsou označeny symbolem “*” a jsou určeny na základě kvalifikovaného odhadu.

8.1 Náklady

8.1.1 Stavební část nákladů

Stavební část nákladů	(Kč)
příprava území (zpevnění břehů, úprava koryta) *	200000
přívodní a odpadní kanál *	125000
stavba MVE (4x3,5x2,5m) *	200000
celkem	525000

Tab. 8.1.1-1 Stavební část nákladů

8.1.2 Strojní část nákladů

Strojní část nákladů	(Kč)
česle	15000
řemenový převod *	8000
Kaplanova turbína	1100000
příslušenství turbíny (savka)	100000
celkem	1223000

Tab. 8.1.2-1 Strojní část nákladů

8.1.3 Elektrická část nákladů

Elektrická část nákladů	(Kč)
generátor s příslušenstvím (ochrany, vestavby)	87500
kompensační kondenzátory	7000
ochrany + měření *	20000

rozvaděč *	50000
kabeláž	60000
celkem	224500

Tab. 8.1.3-1 Elektrická část nákladů

8.1.4 Jiné náklady

Jiné náklady	(Kč)
roční provozní náklady	15000

Tab. 8.1.4-1 Jiné náklady

Celkové pořizovací náklady jsou 1952500 Kč.

8.2 Výkupní ceny a zelené bonusy

Vzhledem k tomu, že MVE vyrábí elektrickou energii z obnovitelných zdrojů existuje zde možnost zvýhodnění výkupních cen zelenými bonusy. Výkupní cena a zelené bonusy se rozlišují podle toho kdy byla MVE uvedena do provozu.

Datum uvedení do provozu:	Výkupní ceny elektřiny (Kč/MWh)	Zelené bonusy (Kč/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. 8.2-1 Výkupní ceny elektřiny a zelené bonusy pro MVE [13]

8.3 Hodnocení investic

Jak bylo stanoveno výše navrhovaná MVE vyrobí ročně 100,62 MWh elektrické energie. Pro samotné zhodnocení investice bude vhodné si nejprve spočítat roční tržby.

Výpočet ročních tržeb:

$$T = E \cdot C = 100,62 \cdot 3960 = 398455,2 \text{ Kč / rok} \quad (8.1)$$

T- tržby (Kč/rok)

C- výkupní cena (Kč/MWh)

Z hlediska odpisů patří MVE do třetí odpisové skupiny, tj. odpisování po dobu minimálně 12 let.

Vstupní hodnoty	
ROS ₁ (%/rok)	4,3
ROS ₂ (%/rok)	8,7
K _i (Kč)	1952500
p (%/rok)	6,5
p _d (%)	15
délka odpisovaného období (roky)	12
i _{inf} (%)	2,5
n (roky)	25
N _{p1} (Kč/rok)	15000

Tab. 8.3-1 Vstupní hodnoty výhodnosti investice

ROS₁- roční odpisová sazba pro první rok (%/rok)

ROS₂- roční odpisová sazba pro druhý až dvanáctý rok (%/rok)

K_i- pořizovací náklady (Kč)

p- požadovaná výnosnost investice (%/rok)

p_d- daň ze zisku (%)

i_{inf}- průměrná roční inflace (%)

n- doba provozu (roky)

N_{p1}-roční provozní náklady (Kč/rok)

Pro zhodnocení bude rozhodující peněžní příjem za každý rok a aktualizovaný peněžní příjem za každý rok.

Výpočet nákladů na odpis za první rok:

$$N_{odp1} = K_i \cdot \frac{ROS_1}{100} = 1952500 \cdot \frac{4,3}{100} = 83957,50 \text{ Kč / rok} \quad (8.2)$$

N_{odp1}- náklady na odpisy za první rok (Kč/rok)

Výpočet nákladů na úrok:

$$N_{\text{úř}} = K_i \cdot \frac{p}{100} = 1952500 \cdot \frac{6,5}{100} = 126912,50 \text{ Kč / rok} \quad (8.3)$$

$N_{\text{úř}}$ - náklady na úrok (Kč/rok)

Výpočet celkových nákladů na první rok:

$$N_1 = N_{p1} + N_{\text{odp1}} + N_{\text{úř}} = 15000 + 83957,50 + 126912,50 = 225870 \text{ Kč / rok} \quad (8.4)$$

N_1 - celkové náklady za první rok (Kč/rok)

Výpočet hrubého zisku:

$$Z_1 = T - N_1 = 398455,20 - 225870 = 172585,20 \text{ Kč / rok} \quad (8.5)$$

Z_1 - hrubý zisk za první rok (Kč/rok)

Výpočet čistého zisku:

$$Z_{\text{č1}} = Z_1 \cdot \frac{100 - p_d}{100} = 172585,20 \cdot \frac{100 - 15}{100} = 146697,40 \text{ Kč / rok} \quad (8.6)$$

$Z_{\text{č1}}$ - čistý zisk za první rok (Kč/rok)

Výpočet peněžního příjmu:

$$P_1 = Z_{\text{č1}} + N_{\text{odp1}} = 146697,40 + 83957,50 = \underline{\underline{230654,90 \text{ Kč / rok}}} \quad (8.7)$$

P_1 - peněžní příjem za první rok (Kč/rok)

Výpočet aktualizovaného peněžního příjmu:

$$P_1^A = \frac{P_1}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^j} = \frac{230654,90}{\left(1 + \frac{6,5}{100}\right)^1} = \underline{\underline{216577,40 \text{ Kč}}} \quad (8.8)$$

P_1^A - aktualizovaný peněžní příjem za první rok (Kč)

Pro druhý až dvanáctý pátý rok budu postupovat obdobně jako pro rok první, ovšem s tím rozdílem, že provozní náklady se budou zvyšovat o roční míru inflace. Dalším rozdílem bude použití roční odpisové sazby pro druhý až dvanáctý rok ROS_2 .

Výpočet nákladů na odpis za druhý až dvanáctý rok:

$$N_{\text{odp2-12}} = K_i \cdot \frac{ROS_2}{100} = 1952500 \cdot \frac{8,7}{100} = 169867,50 \text{ Kč / rok} \quad (8.9)$$

$N_{\text{odp2-12}}$ - náklady na odpisy za druhý až dvanáctý rok (Kč/rok)

Výpočet provozních nákladů za druhý rok:

$$N_{p2} = N_{p1} \cdot \frac{i_{\text{inf}}}{100} + N_{p1} = 15000 \cdot \frac{2,5}{100} + 15000 = 15375 \text{ Kč / rok} \quad (8.10)$$

N_{p2} - provozní náklady za druhý rok (Kč/rok)

rok	T (Kč/rok)	N _{odp} (Kč/rok)	N _P (Kč/rok)	N _{úř} (Kč/rok)	N (Kč/rok)	Z ₁ (Kč/rok)	Z _{č1} (Kč/rok)	P ₁ (Kč/rok)	P ₁ ^A (Kč)
1	398455,2	83957,5	15000,0	126912,5	225870,0	172585,2	146697,4	230654,9	216577,4
2	398455,2	169867,5	15375,0	126912,5	312155,0	86300,2	73355,2	243222,7	214439,5
3	398455,2	169867,5	15759,4	126912,5	312539,4	85915,8	73028,5	242896,0	201081,2
4	398455,2	169867,5	16153,4	126912,5	312933,4	85521,8	72693,6	242561,1	188548,3
5	398455,2	169867,5	16557,2	126912,5	313337,2	85118,0	72350,3	242217,8	176790,1
6	398455,2	169867,5	16971,1	126912,5	313751,1	84704,1	71998,5	241866,0	165759,0
7	398455,2	169867,5	17395,4	126912,5	314175,4	84279,8	71637,8	241505,3	155410,2
8	398455,2	169867,5	17830,3	126912,5	314610,3	83844,9	71268,2	241135,7	145701,7
9	398455,2	169867,5	18276,0	126912,5	315056,0	83399,2	70889,3	240756,8	136594,1
10	398455,2	169867,5	18732,9	126912,5	315512,9	82942,3	70500,9	240368,4	128050,5
11	398455,2	169867,5	19201,3	126912,5	315981,3	82473,9	70102,8	239970,3	120036,1
12	398455,2	169867,5	19681,3	126912,5	316461,3	81993,9	69694,8	239562,3	112518,3
13	398455,2	0	20173,3	126912,5	147085,8	251369,4	213664,0	213664,0	94229,4
14	398455,2	0	20677,7	126912,5	147590,2	250865,0	213235,3	213235,3	88300,8
15	398455,2	0	21194,6	126912,5	148107,1	250348,1	212795,9	212795,9	82740,7
16	398455,2	0	21724,5	126912,5	148637,0	249818,2	212345,5	212345,5	77526,3
17	398455,2	0	22267,6	126912,5	149180,1	249275,1	211883,8	211883,8	72636,4
18	398455,2	0	22824,3	126912,5	149736,8	248718,4	211410,7	211410,7	68050,9
19	398455,2	0	23394,9	126912,5	150307,4	248147,8	210925,6	210925,6	63751,0
20	398455,2	0	23979,8	126912,5	150892,3	247562,9	210428,5	210428,5	59719,0
21	398455,2	0	24579,2	126912,5	151491,7	246963,5	209918,9	209918,9	55938,4
22	398455,2	0	25193,7	126912,5	152106,2	246349,0	209396,6	209396,6	52393,6
23	398455,2	0	25823,6	126912,5	152736,1	245719,1	208861,3	208861,3	49070,1
24	398455,2	0	26469,2	126912,5	153381,7	245073,5	208312,5	208312,5	45954,2
25	398455,2	0	27130,9	126912,5	154043,4	244411,8	207750,0	207750,0	43032,9

Tab. 8.3-2 Přehled číselných údajů

8.3.1 Hodnocení investice pomocí metody čisté současné hodnoty

Tato metoda je jednou ze základních metod hodnocení efektivnosti a ziskovosti investic.

$$NPV = \sum_{j=1}^n P_j^A - K_i = \sum_{j=1}^{25} P_j^A - 1952500 = 862350 \text{ Kč} \quad (8.11)$$

NPV- čistá současná hodnota (Kč)

Aby byla investice posuzovaná touto metodou efektivní musí být $NPV > 0$, v opačném případě se považuje investice za neefektivní. Čím vyšší čistá současná hodnota NPV tím lepší investici posuzujeme.

$$\underline{\underline{NPV = 862350 \text{ Kč} > 0}}$$

Tato investice je efektivní, jinými slovy není ztrátová.

8.3.2 Hodnocení investice pomocí metody indexu ziskovosti

Tato metoda je stejně jako předchozí metoda jednou ze základních metod hodnocení efektivnosti investic.

$$PI = \frac{\sum_{j=1}^n P_j^A}{K_i} = \frac{\sum_{j=1}^{25} P_j^A}{1952500} = 1,44 \quad (8.12)$$

PI- index ziskovosti (-)

Aby byla investice efektivní musí být index ziskovosti $PI > 1$, v opačném nepříznivém případě by musel být $PI < 1$. Čím vyšší index ziskovosti PI tím lepší je to investice.

$$\underline{\underline{PI = 1,44 > 1}}$$

Tato investice je efektivní.

9 ZÁVĚR

Jak už bylo řečeno v úvodu, podmínky pro výstavbu vodních elektráren nejsou v ČR výhodné a většina vhodných lokalit je už využívána. Proto se stále zmenšují nároky na výstavbu vodních elektráren. V dnešní době můžeme nalézt MVE s průtokem $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ a se spádem 1 m. Malý průtok a malý spád tedy nejsou překážkou. Proto budou mít MVE svoji budoucnost.

Návrh MVE je specifický úkol a zahrnuje hodně kritérií pro vlastní realizaci. Ať už je to výběr vhodné lokality a s tím související hydroenergetický potenciál nebo samotný návrh hlavního použitého zařízení jako turbína a generátor. Návrh připojení na distribuční síť také vyžaduje hodně zkušeností a pozornosti. Dalšími kritérii, které si je nutno uvědomit jsou ekologické problémy, které mohou nastat jak při výstavbě tak při pozdějším provozu. Je třeba si uvědomit, že se jedná o bezprostřední zásah do okolní krajiny.

Pro samotný návrh MVE jsem uvažoval s pěti jezy. A po mnoha úvahách jsem si vybral jez v Sobkovicích, a to hned z několika důvodů. Jedním z důvodů je dobrá dostupnost k jezu a vhodná vzdálenost od distribuční sítě. Při velké vzdálenosti by vzrůstala cena přívodního kabelu. Další vybranou částí byla turbína. Od počátku jsem uvažoval použití Bánkiho turbíny, ovšem po konzultaci s výrobcem turbín jsem tuto možnost vzhledem k průtoku a spádu jezu zavrhl. Mnohem výhodnější a mnou vybraná turbína pro finální návrh je Kaplanova turbína typu 4-K12 s průměrem oběžného kola 560 mm. Jako generátor jsem vybral osmipólový asynchronní generátor s kotvou nakrátko o jmenovitém výkonu 18,5 kW a otáčkách 730 ot/min. Hlavním důvodem pro tento výběr byla cena použitého generátoru. Pro převod výkonu z turbíny na generátor je použit klínový řemen. Dále tato práce obsahuje navrhnutí kompenzačního kondenzátoru s celkovým jalovým výkonem 5 kVAr. Celkový účinník použitého zařízení je $\cos\varphi=0,95$. Pro připojení MVE do distribuční sítě byl navrhnut přívodní kabel AYKY $3 \times 50 \text{ mm}^2$. Dále je v práci uvedeno jednopólové schéma MVE a stavební řešení MVE.

Posledním řešeným úkolem bylo ekonomické zhodnocení a efektivnost této investice. V první části je rozepsána cena stavebních prací a jednotlivých použitých strojních a elektrických zařízení. Celková investice byla stanovena na 1952500 Kč. Hlavním důvodem takto vysoké ceny je použitá Kaplanova turbína, která bez příslušenství stojí 1100000 Kč. Dle cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu je výkupní cena 3,96 Kč/kWh včetně zelených bonusů. Dalšími vypočítanými kritérii jsou odpisy, čisté zisky a peněžní příjmy. Peněžní příjem pro první rok je 230654,90 Kč. Pro samotné zhodnocení jsem použil metody čisté současné hodnoty NPV a indexu ziskovosti PI. Pomocí obou těchto metod vyšla uvažovaná investice jako efektivní, neztrátová.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Bednář, J. *Malé vodní elektrárny 2 Turbíny*. SNTL, 1989, ISBN 04-220-89. [cit. 2008-11-29].
- [2] Pažout, F. *Malé vodní elektrárny 1 Ekonomika-Předpisy*. SNTL, 1987, ISBN 04-727-87. [cit. 2008-12-2].
- [3] Gabriel, P., Čihák, F., Kalandra, P. *Malé vodní elektrárny*. ČVUT, 1998, ISBN 80-01-01812-1. [cit. 2008-11-10].
- [4] ČEZ, a.s. *Využívání vodní energie v ČR* [online]. [cit. 2008-11-5]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/energie-a-zivotni-prostredi/energie-z-obnovitelnych-zdroju/voda/informace-o-vodni-energetice.html> .
- [5] DigitalGlobe. *Google - Obrázky* [online]. [cit. 2008-12-15] Dostupné z: <http://maps.google.com/> .
- [6] Energetická agentura Zlínského kraje, o.p.s. *Energie Vody* [online]. Poslední úpravy 1. února 2008, [cit. 2008-11-16]. Dostupné z: <http://www.eazk.cz/energie-vody/cs/> .
- [7] Siemens s.r.o. *Nízkonapěťové motory* [online]. [cit. 2009-03-15]. Dostupné z: <http://www.elektromotory.net/dokumenty/1LG4.pdf> .
- [8] Kaláb, K. *Návrh a výpočet řemenového převodu* [online]. [cit. 2009-04-26]. Dostupné z: <http://www.347.vsb.cz/Files/monografie/prirucka-remen.pdf> .
- [9] Černochoch, S. *Strojně technická příručka*. SNTL, 1977, ISBN 04-224-77. [cit. 2009-04-26].
- [10] E.ON, Distribuce, a.s. *Pravidla provozování distribuční soustavy* [online]. Poslední úpravy 1. dubna 2006 [cit. 2009-05-02]. Dostupné z: http://www.eon.cz/file/cs/info/legislative/ppds/PPDS_2006.pdf .
- [11] ZEZ SILKO, s.r.o. *Kompenzace jalové energie* [online]. Poslední úpravy leden 2009 [cit. 2009-05-03]. Dostupné z: <http://www.zez-silko.cz/PDFs/pfcnew.pdf> .
- [12] Orságová, J. *Rozvodná zařízení*. VUT Brno, [cit. 2009-05-06].
- [13] Fiřt, J. *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu* [online]. Poslední úpravy 18. listopadu 2008 [cit. 2009-05-12]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/download.py?file=docu/predpisy/download/CR8-2008.pdf> .