

**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

**POTENCIÁL VODNÍ ENERGETIKY V ČR  
- NÁVRH MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY**

**DIPLOMOVÁ/BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

MASTER'S/BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**DANIEL KORNIÁK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**ING. PETR MASTNÝ, Ph.D.**

**BRNO 2010**



**VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ**  
Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií  
Ústav elektroenergetiky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

**Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

**Student:** Daniel Korniak  
**Ročník:** 3

**ID:** 106549  
**Akademický rok:** 2009/2010

## **NÁZEV TÉMATU:**

**Potenciál vodní energetiky v ČR  
- návrh malé vodní elektrárny**

## **POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Základní typy hydroenergetických děl a klasifikace vodních elektráren
2. Vodohospodářské a hydroenergetické řešení MVE
3. Elektrická část MVE a její připojení do elektrizační soustavy
4. Návrh MVE dle zadaných parametrů
5. Ekonomika provozu MVE

## **DOPORUČENÁ LITERATURA:**

podle pokynů vedoucího práce

**Termín zadání:** 8.2.2010

**Termín odevzdání:** 31.5.2010

**Vedoucí práce:** Ing. Petr Mastný, Ph.D.

**doc. Ing. Čestmír Ondrušek, CSc.**  
*Předseda oborové rady*

## **UPOZORNĚNÍ:**

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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 c. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku c.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

DANIEL KORNIÁK, PROBLEMATIKA VZNIKU KORÓNY U ELEKTRICKÝCH ZAŘÍZENÍ. Bakalářská práce.  
Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2010, 58 stran.

### **Poděkování:**

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Petru Mastnému, Ph.D. za podmětné připomínky a celkovou pomoc při zpracování mé bakalářské práce.

v Brně dne 28.5.2010

.....

Podpis autora

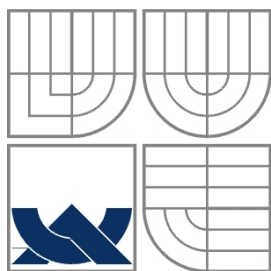
### **Prohlášení:**

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

v Brně dne 28.5.2010

.....

Podpis autora



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**



**Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií**

**Ústav elektroenergetiky**

**Bakalářská práce**

# **Potenciál vodní energetiky v ČR - návrh malé vodní elektrárny**

**Daniel Korniak**

**vedoucí: doc. Ing. Petr Mastný, CSc.**

**Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2010**

**Brno**



**BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

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

**Bachelor's Thesis**

**Potential of hydro-power  
engineering in Czech republic  
- design of small hydroelectric power  
station**

**by**

**Daniel Korniak**

**Supervisor: doc. Ing. Petr Mastný, CSc.**

**Brno University of Technology, 2010**

**Brno**

## ABSTRAKT

Práce pojednává o základní problematice návrhu malé vodní elektrárny, hlavně v oblasti návrhu elektrické části, turbo-soustrojí a připojení MVE na síť. V první teoretické části je popsáno rozdělení elektráren podle jednotlivých parametrů. Dále se zabývám teorií návrhu hlavně stavebních částí MVE. Ve čtvrté kapitole je již konkrétní návrh MVE pro zvolenou lokalitu se zaměřením na elektrickou část MVE. Pro ukázkou jsou zde jednotlivé parametry propočítané, i když v praxi je možné většinu výpočtů nahradit návrhem pomocí speciálních programů. V závěru hodnotím možnosti vodní energetiky u nás a celkovou efektivitu stavby navržené MVE.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** Malá vodní elektrárna (MVE), generátor, vyvedení výkonu z MVE, vodní energie, řemenový převod, automatizace provozu MVE.

## ABSTRACT

Work treat of basic problems of design small hydraulic power plant, mostly in area of design electric parts, turbine-generator unit and interface MVE electric power network. In first theoretic parts it's described to partition power station after single parameters. In the next part I deal with theory of design building parts MVE. In fourth chapter I already design MVE for elect locality with a view to electric part MVE. To demonstration are here individual characteristics calculate, even if practically it is not necessary, because most calculations are replaced by calculation s in special software. At the close of work I evaluate possibilities water energetic in ČR and general effectiveness of construction suggested MVE.

**KEY WORDS:** Small hydroelectric power station (MVE), generator, brought-out neutral achievement from MVE, waterpower, thong transmit ion, automatization of running MVE.

# OBSAH

<b>OBSAH</b> .....	<b>6</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>9</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>10</b>
<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>12</b>
<b>1.1 VODNÍ ENERGIE</b> .....	<b>12</b>
<b>1.2 HYDROENERGETICKÝ POTENCIÁL VODNÍHO TOKU</b> .....	<b>13</b>
<b>1.3 VYUŽITÍ VODNÍ ENERGIE V ČR</b> .....	<b>13</b>
<b>2 VODNÍ ELEKTRÁRNY A JEJICH ROZDĚLENÍ</b> .....	<b>15</b>
<b>3 MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY MVE</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1 ZÁKLADNÍ PARAMETRY HYDROENERGETICKÉHO DÍLA</b> .....	<b>17</b>
3.1.1 SPÁD .....	17
3.1.2 PRŮTOK TURBÍNOU .....	18
3.1.3 VÝKON A VÝROBA ELEKTRICKÉ ENERGIE V MVE .....	19
3.1.4 OTÁČKY TURBÍNY A TURBOSOUSTROJÍ.....	20
<b>3.2 STAVEBNÍ ŘEŠENÍ MVE</b> .....	<b>21</b>
3.2.1 KONCEPCE A DISPOZICE MVE .....	21
3.2.2 VTKOVÉ OBJEKTY.....	22
3.2.3 PŘIVADĚČE A ODPADY .....	24
3.2.4 PROVOZNÍ A VÝROBNÍ OBJEKTY .....	25
<b>3.3 STROJNÍ ZAŘÍZENÍ MVE</b> .....	<b>26</b>
3.3.1 PŘÍVOD VODY K PŘETLAKOVÉ TURBÍNĚ .....	26
3.3.2 ODVOD VODY OD PŘETLAKOVÉ TURBÍNY .....	29
3.3.3 TURBÍNY .....	30
3.3.4 PŘEVODY TURBÍNY .....	30
<b>3.4 ELEKTRICKÉ ZAŘÍZENÍ MVE A JEJÍ PŘIPOJENÍ DO SÍTĚ</b> .....	<b>31</b>
3.4.1 ELEKTRICKÉ GENERÁTORY .....	31
3.4.2 SILNORODÁ ZAŘÍZENÍ.....	34
3.4.3 ŘÍDÍCÍ, MĚŘÍCÍ A REGULAČNÍ SYSTÉMY .....	35
<b>4 NÁVRH MVE KONKRÉTNÍ LOKALITU</b> .....	<b>36</b>
<b>4.1 LOKALITA</b> .....	<b>36</b>
<b>4.2 SPÁD</b> .....	<b>37</b>
<b>4.3 PRŮTOK</b> .....	<b>37</b>
<b>4.4 VÝKON</b> .....	<b>37</b>
<b>4.5 TURBÍNA</b> .....	<b>38</b>
<b>4.6 GENERÁTOR</b> .....	<b>39</b>



---

4.6.1 NÁVRH KOMPENZAČNÍ BATERIE .....	39
4.6.2 PŘEVOD.....	40
4.6.3 NÁVRH DÉLKY ŘEMENE .....	41
4.6.4 DIMENZOVÁNÍ PŘÍVODNÍHO VODIČE KE GENERÁTORU .....	43
4.6.5 DIMENZOVÁNÍ VODIČŮ PODLE ÚBYTKU NAPĚTÍ.....	43
4.6.6 KONTROLA NA TEPELNÝ ÚČINEK ZKRATOVÝCH PROUDŮ .....	44
<b>4.7 POHONY OVLÁDACÍCH PRVKŮ .....</b>	<b>45</b>
<b>4.8 STAVEBNÍ ŘEŠENÍ MVE.....</b>	<b>45</b>
4.8.1 PŘIVADĚČ ODPAD .....	45
4.8.2 SPODNÍ STAVBA .....	45
4.8.3 HORNÍ STAVBA .....	45
<b>4.9 NÁVRH PŘIPOJENÍ MVE NA DISTRIBUČNÍ SÍŤ.....</b>	<b>46</b>
4.9.1 SCHÉMA ROZVADĚČE.....	47
4.9.1 OCHRANA PŘED NEBEZPEČNÝM DOTYKOVÝM NAPĚTÍM .....	47
4.9.2 NÁVRH AUTOMATICKÉ REGULACE MVE .....	48
<b>5 ODBORNÁ DOKUMENTACE A POVOLENÍ .....</b>	<b>50</b>
5.1 STAVEBNÍ NÁVRH A POVOLENÍ.....	50
5.2 ELEKTRICKÝ NÁVRH .....	50
5.3 ZHODNOCENÍ VLIVU NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ .....	50
<b>6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ MVE .....</b>	<b>51</b>
6.1 VÝKUPNÍ CENY ELEKTRINY A ZELENÉ BONUSY .....	51
6.2 VYHODNOCENÍ NÁVRATNOSTI INVESTIC.....	52
6.2.1 HODNOCENÍ INVESTICE POMOCÍ METODY ČISTÉ SOUČASNÉ HODNOTY.....	54
6.2.2 HODNOCENÍ INVESTICE POMOCÍ METODY INDEXU ZISKOVOSTI.....	54
<b>7 ZÁVĚR.....</b>	<b>55</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>57</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1 Srážkové úhrny na území ČR [17]</i> .....	14
<i>Obrázek 2 Přehled VE nad 1MW instalovaného výkonu [14]</i> .....	14
<i>Obrázek 3 Nejčastější řešení VE[5]</i> .....	15
<i>Obrázek 4 Použití typu turbíny v závislosti na průtoku a spádu[13]</i> .....	16
<i>Obrázek 5 Rozdělení MVE [2]</i> .....	17
<i>Obrázek 6 Křivka překročení průtoku [8]</i> .....	18
<i>Obrázek 7 Účinnost turbíny BANKI s regulací v závislosti na průtoku[10]</i> .....	19
<i>Obrázek 8 Půdorysný tvar vtoku na jezovou MVE umístěnou v zářezu do břehu a účelný tvar ohlaví pilíře [8]</i> .....	22
<i>Obrázek 9 Typy odběrných objektů [8]</i> .....	23
<i>Obrázek 10 Typy horní stavby strojovny MVE [8]</i> .....	26
<i>Obrázek 11 Vývoj odkrytých kašen turbín [8]</i> .....	27
<i>Obrázek 12Příčný řez a) kovovou spirálou b) betonovou spirálou [8]</i> .....	27
<i>Obrázek 13 Závislost rychlostního součinitele spirály na spádu [8]</i> .....	28
<i>Obrázek 14 Kvjatkovského spirála [2]</i> .....	28
<i>Obrázek 15 Reiffenstenova spirála [2]</i> .....	28
<i>Obrázek 16 Schéma savky [8]</i> .....	29
<i>Obrázek 17 Schéma zapojení generátoru na síť a) Synchronní gen. b) Asynchronní gen. [8]</i> .....	33
<i>Obrázek 18 Schéma propojení generátoru s transformátorem a) blokové b) se spol. transformátorem [8]</i> .....	34
<i>Obrázek 19 Lokalita MVE[29]</i> .....	36
<i>Obrázek 20 Situační schéma a foto lokality [28]</i> .....	36
<i>Obrázek 21 Situace MVE</i> .....	37
<i>Obrázek 22 Genrátor siemens 1LA7134-6AA6x[20]</i> .....	39
<i>Obrázek 23 Diagram určení potřebného průřezu řemene[24]</i> .....	40
<i>Obrázek 24Schéma řemenice [24]</i> .....	42
<i>Obrázek 25Schéma MVE-řez budovou</i> .....	46
<i>Obrázek 26Schéma jištění z programu SICHR[32]</i> .....	46
<i>Obrázek 27Vypínací charakteristiky ochran[32]</i> .....	47
<i>Obrázek 28 Schéma vyvedení výkonu z MVE</i> .....	48

## SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1</i> Hodnoty <i>m</i> -denních průtoků [18].....	37
<i>Tabulka 2</i> Roční výroba energie .....	38
<i>Tabulka 3</i> Parametry turbíny .....	39
<i>Tabulka 4</i> Štítkové hodnoty generátoru[20] .....	39
<i>Tabulka 5</i> Minimální výpočtové průměry řemenic pro jednotlivé velikosti klasického průřezu klínového řemene[24] .....	40
<i>Tabulka 6</i> Normalizované velikosti výpočtových průměrů řemenic[24].....	41
<i>Tabulka 7</i> Normalizované délky klínového řemene [24].....	42
<i>Tabulka 8</i> Přehled nákladů na MVE .....	51
<i>Tabulka 9</i> Výkupní ceny energie + zelené bonusy[22] .....	52
<i>Tabulka 10</i> Rozpis výdělku MVE za 25 let .....	53

## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Amin	skutečná osová vzdálenost
Amax	hrubá osová vzdálenost
Ask	skutečná osová vzdálenost
c	napěťový součinitel
cos $\phi$	účinník
ČR	Česká republika
D <sub>1</sub>	průměr velké řemenice
D <sub>2</sub>	průměr oběžného kola
E	elektrická energie
f	frekvence
g	tíhové zrychlení
H	spád
i	převodový poměr
I	elektrický proud
I <sub>n</sub>	jmenovité proudové zatížení vodiče
I <sub>Z</sub>	dovolené zatížení vodiče
I <sub>ke</sub>	ekvivalentní oteplovací proud
I <sub>k''</sub>	počáteční rázový zkratový proud
k	součinitel zkratu
k <sub>1</sub>	součinitel zohledňující teplotu vzduchu
k <sub>e</sub>	součinitel doby zkratu
K <sub>i</sub>	pořizovací náklady
l	délka vodiče
L <sub>p</sub>	vnější délka řemene
MVE	malá vodní elektrárna
n <sub>G</sub>	otáčky generátoru
n <sub>T</sub>	otáčky turbíny
nn	nízké napětí
N <sub>p</sub>	celkové roční provozní náklady
N <sub>odp</sub>	náklady na odpisy
N <sub>roč</sub>	roční provozní náklady
NPV	čistá současná hodnota
p	výnosnost běžné investice
p <sub>d</sub>	daň ze zisku
P <sub>1</sub>	peněžní příjem
P <sub>1A</sub>	aktualizovaný peněžní příjem
P <sub>el</sub>	elektrický výkon
P <sub>t</sub>	teoretický výkon
PI	index ziskovosti
PVC	umělá hmota
Q	průtok
Q <sub>gen</sub>	jalový výkon generátoru
Q <sub>kom</sub>	jalový výkon kondenzátorů
Q <sub>sít'</sub>	jalový výkon dodávaný ze sítě

$Q_{\text{skut}}$	skutečný jalový výkon kondenzátorů
$R$	elektrický odpor
$R_{\text{OS}}$	roční odpisová sazba
$S_{\text{min}}$	minimální průřez vodiče
$S$	průřez vodiče
$t$	počet provozních hodin
$t_{\text{K}}$	doba zkratu
$U$	elektrické napětí
$x_{\text{k}}$	měrná reaktance
$X$	reaktance
$Z_1$	zisk
$Z_{\text{č}}$	čistý zisk
$Z_{\text{k}}$	celková impedance
$\alpha$	úhel zkosení řemene
$\eta_{\text{G}}$	účinnost generátoru
$\eta_{\text{PŘ}}$	účinnost převodu
$\eta_{\text{T}}$	účinnost turbíny
$\rho$	hustota vody
$\rho$	měrný elektrický odpor
$\rho_{20}$	specifický odpor materiálu při 20°C
$\vartheta$	fiktivní teplota materiálu
$\vartheta_1$	nejvyšší dovolená provozní teplota materiálu
$\vartheta_{\text{K}}$	nejvyšší dovolená teplota při zkratu

# 1 ÚVOD

Energie je jedním z nejzákladnějších faktorů, jež mají vliv na rozvoj hospodářství jednotlivých zemí ve všech sférách. Význam jednotlivých zdrojů roste s poznatkem vyčerpatelnosti jednotlivých zdrojů na Zemi, a to nás nutí neustále hledat nové zdroje nebo způsoby jak lépe využít ty stávající. V dnešní době představují nejpoužívanější zdroj fosilní paliva, ale stále se mluví o jejich vlivu na životní prostředí a také době, po kterou jsou světové zásoby schopny zajistit dodávku elektřiny z tepelných elektráren. Z tohoto důvodu se dnes nejvíce hovoří v souvislosti s řešením energetické situace každého státu o jaderné, větrné, sluneční a vodní energii. Problém jaderné energie stále spočívá v tom, že umíme zatím bezpečně využívat pouze uranové palivo, které je také vyčerpatelným zdrojem. V dnešní době vědci neustále pracují na výzkumu fúzních reaktorů, který přispěje k tomu, aby reaktory pracovali na principu slučování jader, avšak mnoho vědců se domnívá, že výstavba průmyslově využitelných fúzních elektráren je otázkou minimálně 50 let. Větrná a sluneční energie patří do skupiny obnovitelných zdrojů, ale ne každý stát má podmínky pro jejich výstavbu a účinné využití, přičemž u fotovoltaických elektráren je podíl energie vyrobené k energii spotřebované stále velmi malý. Vodní elektrárny se proto dostávají do středu zájmu, jelikož jejich použití má dlouhou historii a většina států má dlouholeté zkušenosti s jejich provozem a výstavbou. Problémem pro mnoho států se jeví nalezení nových lokalit pro velká hydroenergetická díla, a proto se jejich pozornost soustřeďuje na menší díla, která mohou poskytnout velký zdroj energie při velkém množství děl.

## 1.1 Vodní energie

Využití vodní energie je velmi široký pojem, jelikož pod toto téma spadá velká řada systémů. Energie vod se v přírodě ukrývá ve formě chemické, tepelné a hlavně mechanické, která v sobě zahrnuje mechanickou energii srážek, ledovců, toků a moří. Z historického hlediska je z těchto zdrojů mechanické energie nejdéle využívána energie toků, a proto má v dnešní době největší světový podíl na výrobě energie z vodních zdrojů. Mechanická energie vodních toků je využívána od dob vynalezení vodního kola, které bylo používáno jako mechanický pohon takových zařízení jako byly mlýny, hamry a pily. Problémy s vázaností vodní energie na tok byly vyřešeny s vynálezem elektrického generátoru, který v soustrojí s turbínou dokáže vyrobit elektrickou energii s velkou účinností a poté ji pomocí přenosové soustavy dokáže dopravit na velké vzdálenosti. Renesance vodních elektráren poté přišla s průmyslovou revolucí, kdy enormně vzrostla poptávka po elektrické energii a VE byly v tehdejší době jejím nejlepším zdrojem.

Využití hydroenergetického potenciálu naší země ve VE má mnoho výhod ve srovnání s ostatními zdroji[8]:

- ∞ je to nevyčerpatelný zdroj energie, jehož využití má minimální důsledky na životní prostředí
- ∞ je to zdroj nezávislý na okolních zemích
- ∞ je to pohotový zdroj, který dokáže reagovat v řádech několika sekund na potřeby ES
- ∞ vyžaduje velmi nízké náklady na provoz (možnost plné automatizace) při velkém počtu provozních hodin a dlouhé životnosti
- ∞ patří mezi nejlacinější zdroje elektrické energie

## 1.2 Hydroenergetický potenciál vodního toku

Každý vodní tok představuje určité množství vodní energie. Hydroenergetickým potenciálem označujeme velikost energie, kterou představuje jeho roční průtok. Jednotlivé potenciály vztažené na určité území či oblast nám slouží k přehledu o možnosti využití potenciální energie těchto toků v dané oblasti. Rozdělujeme je na hrubý, teoretický a reálně využitelný hydroenergetický potenciál.

*Hrubý hydroenergetický potenciál* má spíše evidenční charakter. Určuje se z nadmořských výšek a příslušných průměrných průtoků pro hodnocenou oblast. Vztahuje se buď k hladině ústí do moře, nebo ke kótě hladiny na státní hranici.

*Teoretický hydroenergetický potenciál* představuje teoretické zásoby energie v našich tocích při stoprocentním využití spádu toku a jeho středních průtoků. Pro všechny toky v České Republice byl vyhodnocen Teoretický hydroenergetický potenciál ve Směrných vodohospodářských plánech.

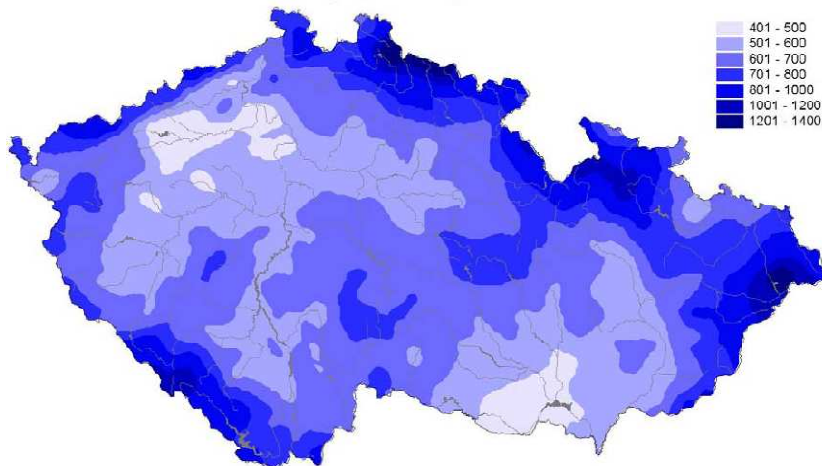
*Reálně využitelný hydroenergetický potenciál* je vždy mnohem menší než teoretický, jelikož nejsme schopni využít celý spád na sto procent kvůli osídlení, chráněným krajinným oblastem, komunikacím a průmyslovým objektům. Dále nejsme schopni dosáhnout sto procentní přeměny vodní energie v elektrickou. Nejčastěji bojujeme se ztrátou na spádu průtoků, průtočným množstvím (průsaky, odpary, omezená kapacita VE) a ztrátou při převodu energie (účinnost generátoru, turbíny, přenosové sítě apod.). Jak již bylo řečeno, dosahujeme asi 40-50% teoretického potenciálu.

## 1.3 Využití vodní energie v ČR

Česká republika zahrnuje ve svém povodí střední a horní části velkých evropských toků, a tudíž čelí problémům s hydroenergetickým potenciálem vodních toků. Kvůli omezení z hlediska hydrologických, topografických, geologických a ekologických podmínek jsme dnes schopni využít pouze 40-50% z teoretického hydroenergetického potenciálu České republiky. Pro horní a střední toky je charakteristické kolísání průtoků a celkově menší průtoky. Proto je nutná výstavba vodohospodářských děl, jako jsou akumulární nádrže, které jsou schopny naakumulovat velké množství vody a tím i poskytnout možnost provozu VE v případě potřeby. Pro výstavbu velkých akumulárních nádrží jsou u nás vhodné toky Labe a Vltava, které jsou již z hlediska výstavby větších děl vyčerpané, jelikož je osídlení podél řek husté. Na Labi je nutné zajistit splavnost a stavba velké nádrže by narazila na odpor veřejných organizací.

První VE vznikaly na našem území již koncem 19. století, kdy se jednalo spíše o lokální zdroje v řádu jednotek až stovek kW, velké VE se začaly stavět v období 30. let 20. století. Největší rozmach výstavby VE nastal v 50. letech minulého století, kdy vzrostly energetické nároky naší země a využití vodní energie se zdálo být ideálním řešením. V tomto období vyrostly jedny z největších vodních děl Lipno, Orlík, Kamýk, Slapy a Štěchovice na Vltavské kaskádě. Další významnou událostí byla výstavba jaderné elektrárny Dukovany a s ní spojené přečerpávací elektrárny Dalešice s výkonem 480 MW v roce 1978 a jaderné elektrárny Temelín s přečerpávacími elektrárnami Štěchovice II (45 MW) a Dlouhé stráně (650 MW). Tyto

přečerpávací elektrárny patří mezi základní regulační prvky české ES. Rozmístění VE nad 1MW instalovaného výkonu v ČR můžeme vidět na obrázku 1.



Obrázek 1 Srážkové úhrny na území ČR [17]

Výstavba větších vodních děl tedy není možná, avšak podle odborníků se ve vodních tocích České republiky ukrývá ještě velké množství energie, jež by mohlo být využito menšími díly. Dle aktuálních statistik ERÚ a MPO je v provozu cca 1400 vodních elektráren, přičemž celkový instalovaný výkon těchto zdrojů představuje 1,987 GW a technicky využitelný potenciál naší republiky včetně všech aspektů, jako je životní prostředí, infrastruktura, osídlení a rozmístění průmyslu, se odhaduje v průměrně vodním roce na maximálně 3 000 GWh/rok. V roce 2008 dle statistik ERÚ byla celková výroba 2376 GWh/rok, z čehož vyplývá, že v daném roce bylo možné využít potenciál 20,8% stávající výroby.

rok	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
výroba[GWh]	2845	1794	2563	3027	3257	2524	2376

Tabulka 1 Výroba elektřiny ve vodních elektrárnách za jednotlivé roky [14]

Vzhledem k tomu, že má využití vodní energie u nás dlouholetou historii a v 30. letech minulého století zde bylo registrováno přes 11 000 VE [1] ze skupiny MVE je zde velké množství dnes již nepoužívaných děl, které by bylo možné znovu obnovit nejčastěji jako drobné VE.



Obrázek 2 Přehled VE nad 1MW instalovaného výkonu [14]

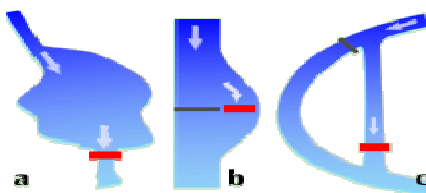


## 2 VODNÍ ELEKTRÁRNY A JEJICH ROZDĚLENÍ

Vodní elektrárny můžeme rozdělit podle mnohých kritérií. Mezi ty hlavní patří velikost spádu, koncepce využití energie vodního toku, způsob provozu a velikost instalovaného výkonu.

Podle koncepce využití vodního toku tedy řadíme VE mezi:

- a) *Říční*, kdy je elektrárna postavena v korytě řeky kde prochází turbínou, tzn., že je postavena pod jezem či přehradou nebo v jejím tělese.
- b) *Derivační*, kdy je voda k turbíně dovedena pomocí přiváděcího kanálu, stol či tunelů a po průchodu turbínou se opět vrací do koryta řeky nebo je odvedena do řeky jiné (řeky ve dvou úrovních výšky). Jak je vidět na obrázku 3c využitím kanálu zkrátíme cestu řeky a docílíme většího spádu.



Obrázek 3 Nejčastější řešení VE[5]

Podle způsobu provozování se elektrárny dělí na:

- a) *Akumulační s přirozenou akumulací* – jsou schopny udržovat a regulovat vodní tok, tzn., že mají postaveny vodohospodářská díla (přehrady), která zadržují přitékající vodu po 24h a poté ji přes turbínu vypouští ven v období špičkového a pološpičkového zatížení, což znamená, že pracují jen několik hodin denně, a proto musí být vybaveny vyrovnávací nádrží, která poté vodu rovnoměrně vypouští přes turbínu po 24h. Tyto elektrárny jsou charakteristické středním až vysokým spádem.
- b) *Akumulační s umělou akumulací (přečerpávací)* - z energetického hlediska jsou tyto elektrárny ztrátové (spotřebují více, než vyrobí), avšak slouží jako regulační prvky přenosové soustavy. Tyto elektrárny čerpají v období menšího zatížení ES vodu z dolní nádrže do horní akumuláční nádrže a poté ji v období špičky spouští přes turbínu zpět do dolní nádrže spádem až několika set metrů. Potřeba těchto typů VE vzrostla s příchodem jaderných elektráren, které pracují na 100 % výkonu po celých 24h.
- c) *Průtočné*- nemají žádný akumuláční prostor, a proto jsou závislé na okamžitém průtoku vody korytem řeky. Z tohoto důvodu je vhodné je budovat na velkých tocích, kde je průtok velký a stálý. Pro vzdmutí hladiny se většinou využívají jezy. Tyto elektrárny jsou charakteristické velmi malým spádem.

Budují se na [8]:

- 1) využití přirozených průtoků u vzdouvacích objektů, bez akumuláčních prvků (nejčastější)
- 2) využití rovnoměrných odběrů pro vodohospodářské účely z akumuláčních nádrží a vodojemů
- 3) využití vyrovnaných odtoků pod vyrovnávacími nádržemi

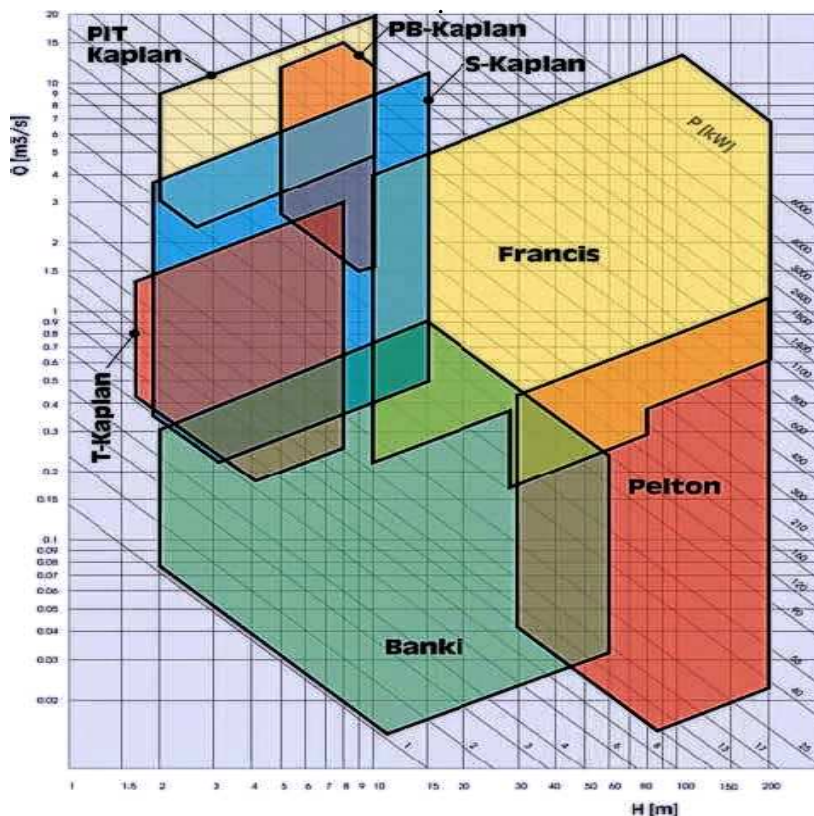
Podle spádu vodního díla nebo pod kterým pracuje turbína:

- a) *nízkotlaké elektrárny* – mají spád menší než 20 m. Bývají většinou postaveny při jezu nebo přímo v jezovém tělese, a proto nepotřebují přivaděč vody. Jejich hltnost bývá menší

než maximální průtok vody a jejich využitelnost je 5000-7000 hodin ročně. Používají se většinou Kaplanovy turbíny a to díky své schopnosti pracovat při proměnném průtoku a různém spádu a pro svou vysokou účinnost.

b) *Středotlaké elektrárny*- mají spád 20-100 m. Velmi častý typ (většina přehrad). Používají se zde Kaplanovy a především Francisovy turbíny.

c) *Vysokotlaké elektrárny*- mají spád větší než 100 m. Používají se zde Francisovy a Peltonovy turbíny. Elektrárna je stavěna buď pod přehradou, anebo je voda přiváděna derivačním kanálem. Hltnost turbín je větší než maximální průtok vody a doba využití je okolo 1000 hodin ročně



Obrázek 4 Použití typu turbíny v závislosti na průtoku a spádu[13]

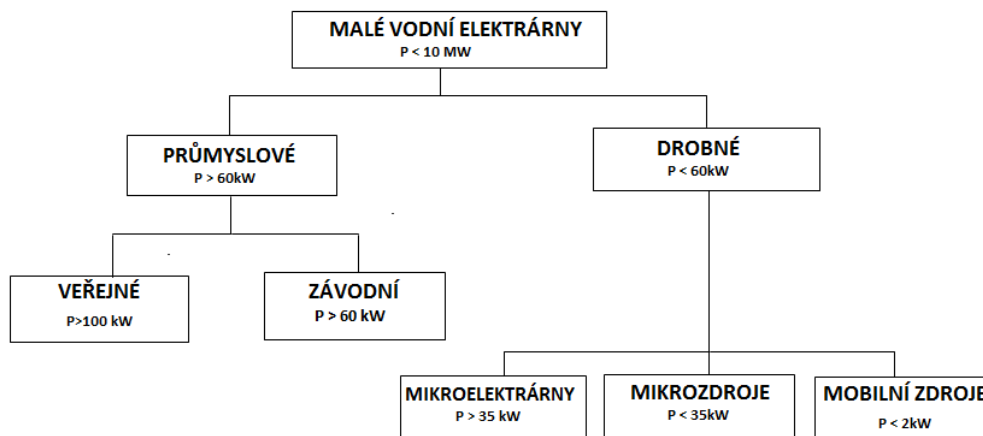
Podle instalovaného výkonu:

- mikroelektrárny* do 60 kW (asynchronní generátory)
- drobné* do 1 MW (asynchronní i synchronní generátory)
- malé* do 10 MW (synchronní generátory)
- střední* do 100 MW (synchronní generátory)
- velké* nad 100 MW (synchronní generátory)

### 3 MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY MVE

Malá vodní elektrárna je v dnešní době velice široký pojem. Její výkon se pohybuje od jednotek kW až po jednotky MW. Podle normy ČSN (STN) 75 0128 rozdělujeme MVE na [8]:

- domácí vodní elektrárny s výkonem do 35kW
- vodní mikroelektrárny s výkonem 35 – 100 kW
- vodní minielektrárny s výkonem 100-1000 kW
- průmyslové vodní elektrárny s instalovaným výkonem 1-10 MW



Jak je již zřejmé, MVE mají široké pole využití a spolu s charakterem našich toků, jejich různorodostí a dlouholetou tradicí výstavby u nás máme dnes velké množství řešení MVE, jak z hlediska řešení vodního díla, tak i strojního řešení.

#### 3.1 Základní parametry hydroenergetického díla

Každá vodní elektrárna je charakterizována pěti parametry a to průtokem  $Q$ , spádem  $H$ , účinností  $\eta$ , výkonem  $P$  a výrobou elektrické energie  $E$ . Pro výpočet výkonu VE využíváme průtok, spádu, účinnosti hydroagregátu (vodního stroje) a účinnosti hydroalternátoru.

##### 3.1.1 Spád

Jako spád  $H$  označujeme výškový rozdíl hladin ve dvou bodech toku, spád vodní elektrárny ve výškový rozdíl hladin před vtokem do objektu a při vyústění do odpadu VE.

Celkový spád VE  $H_C$  je statický spád mezi začátkem a koncem vodního toku v posuzovaném úseku, který chceme využít pro VE. Na již postaveném hydroenergetickém objektu se jednoduše určí nivelací hladin, pokud ji však nemáme k dispozici, lze použít metodu s pomocí latí, kolíků a vodováhy. V trase toku zatlučeme kolíky vzdálené od sebe na délku latě asi 3 m a poté položíme lat' na horní kolík, vyrovnáme ji vodováhou a změříme vzdálenost latě ke spodnímu kolíku. Takto postupujeme až k poslednímu kolíku a výsledné vzdálenosti nám po součtu dávají celkový spád. Tento spád představuje celkovou potenciální energii, kterou při postaveném díle můžeme využít na vodní turbíně.

Čistý spád VE je spád zmenšený o hydraulické ztráty a po odečtení ztrát v hydraulickém obvodu získáme užitečný spád. Jeho určení je již mnohem náročnější a vychází z řešení

Bernoulliho rovnic a výstupního profilu za dynamického režimu. Přehled výpočtu můžeme vidět v mé seminární práci pod stejným názvem jako bakalářská práce.

Problémem využití spádu na toku se stává jeho roční proměnlivost, která je nejvíce patrná u nízkotlakých MVE bez akumulace, proto je potřeba přihlížet při komplexním rozboru na vlastnosti turbín a průtokové změny. Roční období můžeme rozdělit pro nízkotlaké MVE bez akumulace na tři období [1]:

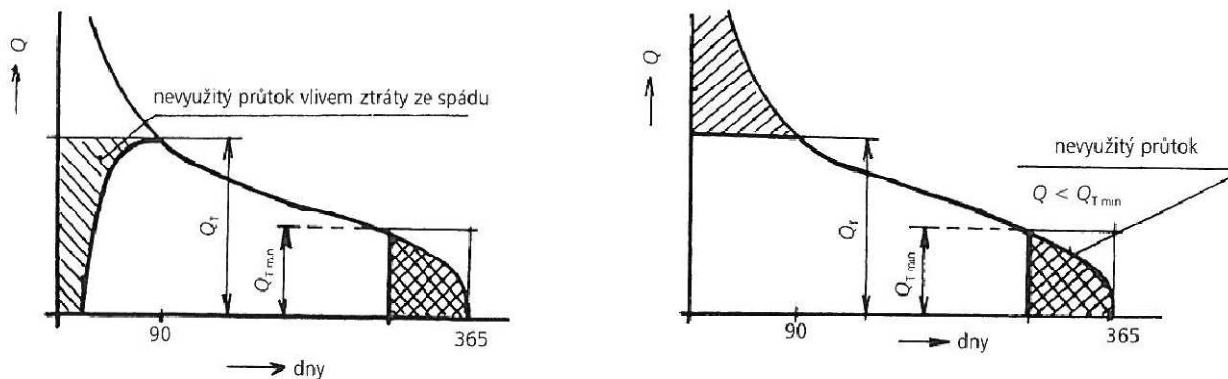
- ∞ období nedostatku spádu a přebytku průtoku
- ∞ období dostatku spádu a průtoku
- ∞ období velkých spádů a nízkých průtoků

Tento jev lze jednoduše a přehledně popsat *křivkami překročení průtoků a spádu*. Přičemž čáru překročení průtoků získáme seřazením denních průtoků podle velikosti v průběhu normálně vodného roku a čáru překročení spádu přiřazením spádů k odpovídajícím průtokům.

V prvním období často dochází k odstavení nedostatkem minimálního spádu  $H_{MIN}$ , pod jehož hodnotou nemohou stroje efektivně pracovat. V praxi se tento problém řeší použitím turbín s dvojitou regulací (Kaplanova a Bankiho turbína), jež dokážou délku odstavení zkrátit.

### 3.1.2 Průtok turbínou

Průtok turbínou je definován jako celkové množství vody procházející turbínou včetně vody, která prosákne v oblasti turbíny. Jednotkou je  $m^3/s$ . V případě vodohospodářského řešení VE se zabýváme pouze průtoky použitelnými k účinnému energetickému zpracování. Hlavním kritériem při zvolení návrhového průtoku turbínou je snaha o docílení co největší roční výroby el. energie při co nejnižších investičních a provozních nákladech. Bohužel se dnes musíme omezovat na parametry soustrojí dodávaných výrobcem na našem trhu.



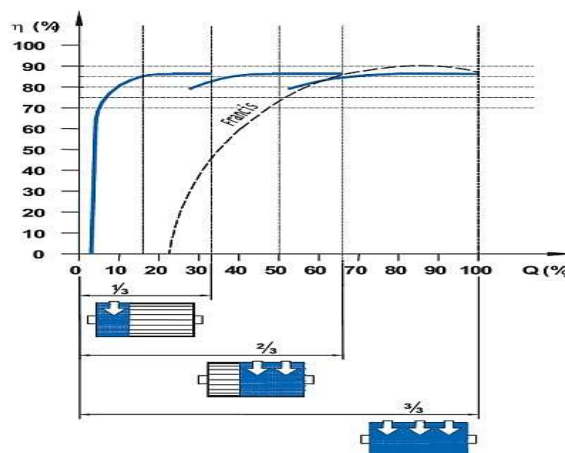
Obrázek 6 Křivka překročení průtoku [8]

Pro stanovení průměrných ročních průtoků je nejlepší cestou využití Českého hydrometeorologického ústavu popř. publikace „Hydrologické poměry ČSR“ 3. díl, 1970. Z těchto údajů poté sestavíme křivku překročení průtoků pro daný úsek toku. Pro návrhový průtok turbínou se doporučuje zvolit průtok  $Q_{90d}$  u jezových VE a  $Q_{120D}$  u VE derivačních, což je průtok, který je dosažen nebo překročen po 90 až 120 dní v roce. Příklad zhotovení křivky překročení průtoku je vidět na Obrázek 6. Jeho teoretický výpočet je stanoven vztahem 3.1,

$$Q_{90d} = 1.15 * Q_a \quad (m^3/s) [8] \quad 3.1$$

kde  $Q_a$  je průměrný roční průtok, hodnota 1.15 může dosahovat hodnoty až 1.2 (pro zvolený 120 denní průtok)

Jak jsme již zmínili v kapitole 3.1.1, v průběhu roku dochází ke změnám průtoků na toku, a proto je vhodné zvolit řešení, které by efektivně dokázalo pokrýt výkyvy průtoků během roku. V praxi se osvědčilo využití řešení se dvěma stroji s odběrem 2/3 průtoku a 1/3 průtoku. Malé průtoky zpracovává menší stroj a v případě plného průtoku běží oba stroje. Dalším podobným řešením zakládajícím se na jiném principu u průtokové turbíny je dvoukomorový systém Bankiho turbíny ossberger, jež rozděluje průtok 1:2 a rozvádí je do komor, jež jsou velikostně rozděleny na 1/3 a 2/3. Princip je opět stejný. Na obrázku 7 můžeme vidět průběh účinnosti této turbíny, pro dvoustrojové řešení vypadá závislost podobně, akorát zde pracují buď jednotlivé stroje samostatně nebo oba zároveň.



Obrázek 7 Účinnost turbíny BANKI s regulací v závislosti na průtoku [10]

### 3.1.3 Výkon a výroba elektrické energie v MVE

Po určení použitelného průtoku a spádu je dobré se zabývat výkonem hydroagregátu (soustrojí turbíny, osy popř. převodové ústrojí a generátoru). Všeobecně je znám vztah pro výpočet energie vodního toku mezi body A a B 3.6,

$$E = H \rho g Q t \quad (J) \quad 3.6$$

kde  $H$  je součet rozdílů výšek úseků mezi místy A a B a  $Q$  označuje průtok vody.

Výpočet teoretického výkonu je poté dán vztahem 3.7 [8],

$$P_t = \frac{E}{t} = \frac{H \rho g Q t}{t} = H \rho g Q \quad (W) \quad 3.7$$

Tento výkon je zmenšen o ztráty na turbíně  $\eta_t$ , jež jsou dány součinem tří dílčích účinností: *volumetrické* (ztráty objemu vlivem obtékání turbíny mezerami mezi turbínou a odsávací trubkou, úniku na ucpávce na hřídeli turbíny), *mechanické* (tření v ložiscích turbíny, v ucpávkách hřídele turbíny a třením vnějších ploch turbíny o vodu) a *hydraulické* (víření vody, ohýbání vodního proudu a tření o turbínové kanály), většinou však výrobce udává účinnost celého soustrojí  $\eta_t$ .

$$P_{ef} = \eta_t P_t = \eta_t H \rho g Q \quad (W) \quad 3.8$$

$$\eta_t = \eta_v \eta_h \eta_m \quad (-) [8] \quad 3.9$$

Při dobře navržené turbíně a optimálním průtoku a spádu dosahuje  $\eta_t$  hodnot 0,85-0,93. Mechanickou energii předává turbína generátoru, který ji přeměňuje na elektrickou s účinností  $\eta_g=0,85-0,97$  (hodnoty nad 0,90 platí pouze pro synchronní generátory). Generátor je spojen s turbínou buď pevně  $\eta_p=1$ , nebo přes převodovku, která dosahuje hodnot účinnosti  $\eta_p=0,94-0,98$ . Posledním článkem, kde vznikají ztráty, je transformátor, u něhož účinnost dosahuje hodnot

$\eta_{tr}=0,92-0,98$ . Výkon na výstupu z transformátoru je dán vztahem 3.10[8], celková účinnost je dána vztahem 3.11[8]:

$$P = P_{ef}\eta_g\eta_p\eta_{tr} = P_t \eta_t\eta_g\eta_p\eta_{tr} \quad (W) [8] \quad 3.10$$

$$\eta_c = \eta_t\eta_g\eta_p\eta_{tr} \quad (-) [8] \quad 3.11$$

Výsledný vztah po dosazení můžeme vyjádřit jako 3.12[8]

$$P = \eta_c H \rho g Q = 9810 H Q \eta_c \quad (W) [8] \quad 3.12$$

nebo jako 3.12':

$$P = 9,81 H Q \eta_c \quad (kW) [8] \quad 3.12'$$

V praxi se vztah ještě zjednodušuje dosazením za  $9,81 \eta_c$  ve vztahu 3.12 konstanty  $k$ . Výsledný vztah dostává podobu 3.13[8]:

$$P = k H Q \quad (kW) [8] \quad 3.13$$

Podle provedení výkonu a kvality strojního zařízení nabývá konstanta  $k$  takovýchto hodnot:

- a)  $k=8$  pro MVE s výkony okolo 5 až 10 MW s Kaplanovými a Peltonovými turbínami bez převodu a s příslušenstvím vynikající kvality
- b)  $k=7$  pro MVE s Kaplanovými, Peltonovými, Francisovými, Bankiho turbínami a příslušenstvím dobré kvality
- c)  $k=5-6$  pro MVE s Bankiho turbínami s převodem a na malé spády nebo vkládanými přímo do potrubí či s turbínami bez dvojité regulace.

V případě většího počtu hydroagregátů se celkový výkon MVE rovná součtu jejich výkonů.

Výroba elektrárny o výkonu  $P$  za dobu  $t$  je dána vztahem 3.14:

$$E = P t \quad (Wh) \quad 3.14$$

### 3.1.4 Otáčky turbíny a turbosoustrojí

Určení provozních otáček turbosoustrojí je velmi důležitým prvkem a má vliv na účinnost energetických přeměn. Otáčky se běžně pohybují od 53 ot/min. do 1500 ot/min., ovšem malé otáčky jsou z hlediska potřeby převodu do rychla nevýhodné a vysoké otáčky v sobě skýtají nebezpečí v případě vypadnutí generátoru. Stanovení se neobejde bez spolupráce s výrobcem turbosoustrojí. Pro předběžné určení otáček je možné použít vztah 3.15,

$$n = \frac{n_s H^{\frac{4}{3}}}{\sqrt{P_T}} * 1,166 \quad (\%)[1] \quad 3.15$$

kde  $n$  jsou jmenovité otáčky,

$n_s$  jsou specifické otáčky geometricky podobné turbíny (má takový průměr oběžného kola, že při  $H=1$  m dodává výkon 0,736 kW),

$H$  je spád (m)

$P_T$  je výkon na hřídeli turbíny (kW).

V praxi se doporučuje volit turbíny rychloběžné tj. s velkou hodnotou  $n_s$ , aby nebylo nutné používat převody do rychla, jež představují větší ztráty, avšak při nízkých spádech se převodům do rychla nevyhne.

MVE velikosti mikrozdrojů v praxi vyrábí také stejnosměrný proud, většinou to bývá v místech, kde rozvod nepřesáhne 1 km a el. energie se využívá pro odporové vyhřívání (žárovky, topení atd.). Otáčky se v tomto případě navrhuje podle dostupných alternátorů a dynam.

Pro zdroje VE vyšších výkonů se používají třífázové synchronní generátory. Zde můžeme ovlivňovat jmenovité otáčky stroje počtem pólových dvojic  $p$ . Jelikož stroje dodávají do sítě

napětí s frekvencí 50 Hz, jsou otáčky stroje dány vztahem 3.16.

$$n = \frac{60 \cdot 50}{p} \quad 3.16$$

## 3.2 Stavební řešení MVE

Při návrhu a přípravě výstavby je potřeba zvážit možnosti koncepčního řešení, dispozice a stavebních částí, jako jsou vtokové objekty, přivaděče, odpady a výrobní objekty, jež mají velký vliv na výsledné parametry VE a také investiční náklady, čímž mohou prodloužit návratnost investice. Jednotlivými částmi se budeme věnovat následující podkapitole kapitole.

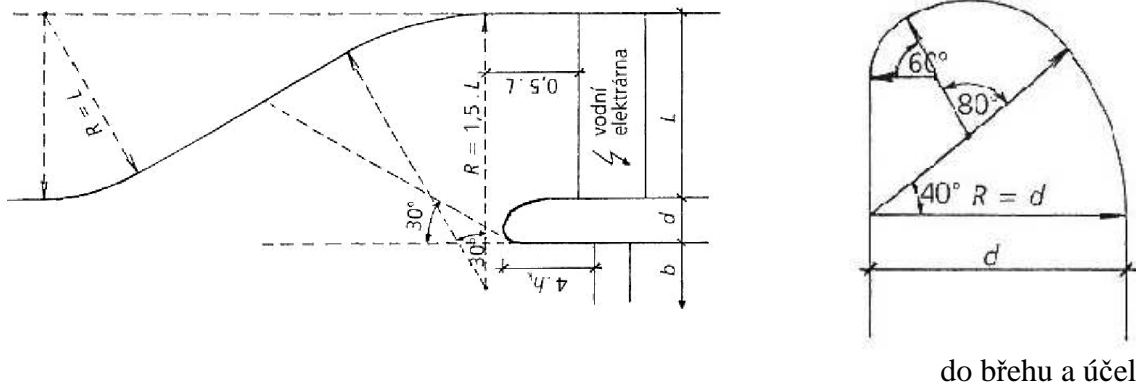
### 3.2.1 Koncepce a dispozice MVE

Z hlediska získání spádu se u nás objevují MVE přehradní, jezové, derivační a MVE vybudované na dílech, které slouží k jiným než energetickým účelům (vodárenské nádrže a různé odběry vody). MVE přehradního typu u nás nejsou příliš běžné, jelikož je jejich provoz i výstavba spojena s mnoha problémy a většinou jsou stavěny na dílech, které neslouží energetickým dílům (přehrady pro regulaci průtoků řekou, pro zásobu pitné vody atd.). U nás patří mezi nejběžnější typ MVE typ jezové a derivační VE, jelikož nepředstavují velké změny na toku, co se týče průtoků, pohybu ryb atd.

*Jezové MVE* se dnes již navrhuje s pohyblivým jezem, aby se zabránilo zvyšování hladiny nad jezem při vyšších průtocích a s tím spojenou výstavbou ochranných hrází apod. Jako hradicí konstrukce pro pohyblivý jez se používají balené klapky či hradicí vaky. Další nutnou součástí tohoto typu vodní elektrárny je tzv. rybovod, jež umožňuje volný pohyb ryb mezi horní a dolní částí jezu. Při výstavbě jezové MVE se řídíme těmito obecnými pravidly [8]:

- a) V případě, že trasa řeky tvoří vlnovku, je třeba umístit jez do jejího vrcholu tak, aby vypočítaná trasa proudnice toku proházela středem kolmo na jeho osu.
- b) Vodní elektrárnu je vhodné umístit do konkávního oblouku břehu tak, aby byla chráněna před naplaveninami a přímým náparem ledu. Břehová křídla musí plynule navazovat na břehové linie obou zdrží.
- c) Do konkávních břehů je vhodné situovat i odběry vody z toku.
- d) U zdymadel se současným energetickým a plavebním využitím je třeba umístit VE a plavební komoru tak, aby vzájemné ovlivňování energetického a plavebního provozu bylo minimální.
- e) Volná šířka toku by se měla v oblasti zdymadel měnit jen velmi plynule a neměla by být nikde menší, než je světlá šířka jezu.

Velmi častým řešením jezové MVE je umístění strojovny do vakovitého zářezu v konkávním břehu, zde je třeba dodržet hydraulicky účelný tvar vtokové části, jak zobrazuje obrázek 8. Pro zabránění vniku splavenin a plovoucích nečistot do vtoků turbín se odděluje vtoková část od horní nádrže vtokovými objekty (hrubými česlemi, prahem či stírací stěnou)



*Derivační MVE* je koncepčně nejjednodušší řešení MVE, protože zde není potřeba stavět nějak velké vzdouvací objekty, avšak zde potřebujeme velký sklon údolí. Hlavní stavební částí je zde přivaděč, který může být tlakový či otevřený. Tlakový přivaděč používáme v případě, že má jeho trasa velký podélný sklon, a nebo je třeba odtok ochránit před klimatickými podmínkami (mrazy). Otevřené kanály používáme v místech s nepropustnou zeminou, bez výskytu listnatých stromů a s mírnějšími klimatickými podmínkami.

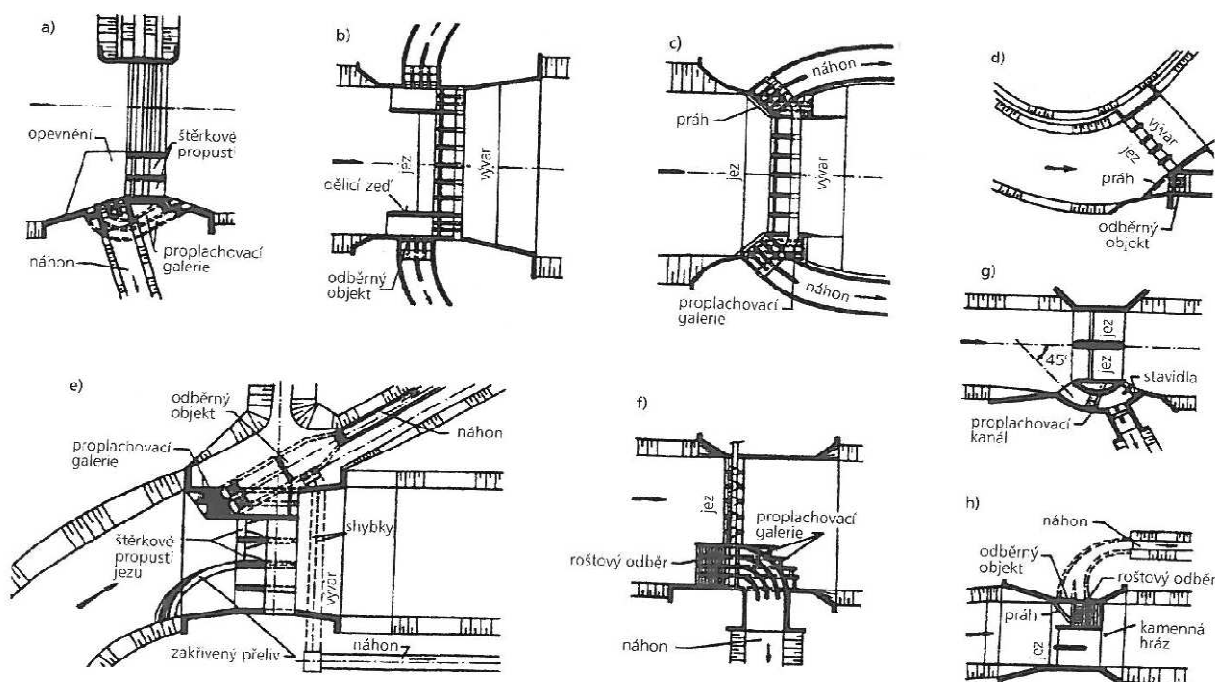
### 3.2.2 Vtokové objekty

Vtokové objekty jsou stavební části zabezpečující dostatečný přítok vody do přivaděče turbíny, které chrání MVE před vnikem hrubých splavenin a plovoucích předmětů do turbíny. Při jeho návrhu je důležité věnovat velkou pozornost dosažení minimálních hydraulických ztrát. Pro návrh je třeba dodržovat tyto zásady[8]:

- a) návrh umístění a řešení musí zajišťovat minimální hydraulické ztráty
- b) práh vtokového objektu je třeba navrhnut tak, aby byl nad dnem horní nádrže a tím zabraňoval zanášení vtoku hrubými a jemnými splaveninami, dále aby bylo možné tyto splaveniny proplachovat
- c) v případě, že nejsme schopni návrhem zajistit ochranu před splaveninami, je třeba navrhnut za prahem usazovací nádrž s možností proplachu
- d) vtokový objekt je třeba osadit zařízením na ochranu před vnikem plovoucích předmětů
- e) vtokový objekt musí obsahovat zařízení pro regulaci přítoku do přivaděče, či jeho úplné zahrazení.

Kompletní vtokový objekt se skládá z částí, které musí zabezpečit vniknutí splavenin, plovoucích nečistot, ledu a strhávání vzduchu na turbínu. profil se navrhuje tak, aby voda v něm dosahovala rychlosti 0,8 – 1,2 m/s . Způsoby odtoku z koryta je zobrazen na obrázku 9, pro každý tok bývá možné použít minimálně dva typy.





Obrázek 9 Typy odběrných objektů [8]

*Vtokový práh* bývá minimálně 0,5 m vysoký a slouží k zachycení hrubých splavenin posunujících se po dně. U větších průtoků je práh navržen tak, aby byly splaveniny pod ním unášeny pod jez.

*Norná clona* je umístěna nad prahem a zasahuje min. 0,5 m pod minimální provozní hladinu. Usměrnjuje plovoucí předměty a ledy pod jez.

*Hrubé česle* se umísťují mezi vtokový práh a vtokovou lávku. Jsou vyrobeny z tlustostěnných ocelových trubek s mezerami 150-300 mm podle charakteru toku a předpokladu velikosti plovoucích předmětů. Rychlost proudění vody zde dosahuje 0,5 – 0,6 m/s .

*Vtoky do turbíny* mají plynulý tvar jak ve směru vodorovném, tak i svislém, aby způsobovaly minimální hydr. ztráty. Přední vtoková hrana musí být zaoblená a ponořená pod min. provozní hladinu, aby nedocházelo ke strhávání vzduchu a vzniku vírů. Práh vtoků před jemnými česlemi má tvar podobný jako vtokový práh, bývá zde vybudovaný proplachovací kanál na proplach splavenin vyúsťující do dolní vody pod jezem.

*Jemné česle* jsou vyrobeny většinou z ocelových prutů pravoúhlého průřezu s rozměry od 60/8 mm až do 160/20 mm. Musí unést plný hydrostatický tlak i při plném ucpání, a tak se podpírají jedním a více vodorovnými nosníky proudnicového průřezu. Vzdálenost jednotlivých prutů bývá 25 – 5 mm a voda zde dosahuje rychlosti 0,8 m/s . Ve větších VE se česle čistí strojově, a to mechanickou škrabkou či řetězovým čistícím strojem. U mikro- a minizdrojů se česle čistí ručně.

*Vtokové uzávěry* jsou umístěny před vstupem do spirál turbín. Bývají ovládány hydromotory, které jsou schopny při výpadku proudu uzavřít přívod vlastní vahou. Dnes se v některých případech (hlavně u VE s malými spády) z ekonomického hlediska vtokové uzávěry nenavrhují a jejich funkci přebírají rozváděcí lopatky turbín. Hrozí tu však nebezpečí, že při vniknutí cizího tělesa mezi lopatky nebude možné uzávěr zavřít a turbínu odstavit. Z tohoto důvodu se zde

projektuje ještě *provizorní hrazení*, které se instaluje na vtocích a výtocích savek a nejčastěji představuje ocelová hradidla.

Při použití turbíny méně citlivé na plovoucí nečistoty je možné vynechat část se clonou a hrubými česlemi. Objekt potom tvoří pouze vlastní turbínové vtoky, kam se umísťují česle (50 – 150mm), vtokový uzávěr a provizorní hrazení. Pilířové VE mají řešení ještě jednodušší, jelikož je tvoří pouze turbínové vtoky bez vtokových uzávěrů a jen s provizorním hrazením. Podpřelivové jezové VE mají také pouze turbínové vtoky upravené v tělese dutého jezu. Vtokové uzávěry mohou být klapkové či žádné.

### 3.2.3 Přivaděče a odpady

Přivaděče a odpady představují velkou investiční část výstavby MVE. Proto je důležité navrhnout optimální řešení z hlediska ekonomiky provozu a nároků na obsluhu. Podle funkce se dělí na beztlakové a tlakové.

*Beztlakové přivaděče* jsou levnější variantou, a tak se většinou navrhnou vždy, když to podmínky dovolí. Jejich řešení může být otevřené či zakryté. Z konstrukčního hlediska musí všechny přivaděče splňovat tyto podmínky [8]:

- svahy přivaděče musejí být stabilní proti sesuvu a podemletí
- přivaděčem nesmí prosakovat množství vody, jež by mohlo ohrozit konstrukci přivaděče, změnit hladinu spodní vody a projevit se na zmenšení výroby el. energie
- konstrukce přivaděče musí zajišťovat ochranu před přelitím.

Realizace otevřeného přivaděče se provádí jako kanál lichoběžníkového nebo obdélníkového profilu. Pro utěsnění kanálu se snažíme dosáhnout co nejmenších investic. Proto se ve velkém množství případů používá fólie. Při použití fólie je potřeba ji ochránit před vyplavením a účinky slunečního záření, které zhoršuje životnost fólie. Fólie se ukládá asi 300 mm pod pokryvnou vrstvu. Zde je třeba mít na paměti, že zrnitost pokryvné vrstvy musí být taková, aby její ostré části nemohly poškodit fólii. Z tohoto důvodu se nejdříve fólie obsypává pískem a poté přírodním materiálem. Abychom zajistili těsnost fólie po celé délce přivaděče, musíme svařit jednotlivé části. Nakonec je ještě potřeba zajistit dobré ukončení fólie, aby se nedostala na povrch terénu. Dalším způsobem těsnění přivaděče je opevnění betonovou deskou či panely. Jednotlivé celky je třeba oddělit dilatačními spárami, jež vyrovnávají pohyby svahu, teplotní roztažnost betonu, popř. dotvarování betonu při tuhnutí. Materiál pro vyplnění dilatačních spár je třeba zvolit s ohledem na utěsnění spár, v praxi se využívají gumové těsnící pásy a u panelů gumové hadice, jež se zainjektují pod tlakem do betonové směsi. Velikost jednotlivých celků bývá okolo 2m. V případě opravy již stávajícího přivaděče z lomeného zdiva je třeba odstranit nánosy humusu, povrch dokonale pod tlakem vymýt a spáry zaplnit směsí betonu. Nelepší variantou je rozpínavý beton, jež spáry zatěsňuje a zároveň také zpevní celé zdivo. Samozřejmě je zde možné i použití normálního cementu.

Pro konstrukci přivaděče je také možné použít betonové panely na svislé stěny nebo prefabrikované betonové profily ve tvaru U. Tyto profily nám umožňují jednoduše vytvořit zakryté beztlakové přivaděče, které chrání Mve před nečistotami (listí atd.), zamrzáním. Běžné je také použití v případě, že je nutné využít povrch nad přivaděčem.

*Tlakové přivaděče* mají většinou kruhový tvar a budují se jako štoly nebo tunely. Používáme je při překonávání velkých spádů, kdy by byla výstavba beztlakového přivaděče neekonomická či nemožná. U MVE se nejčastěji používá tlakové potrubí, které bývá uloženo volně nad terénem,

kryté (uložené v rýze a zasypané terénem) a uložené ve štole. Téměř výhradně se zde používá jako materiál ocel, avšak u mini- a mikroelektráren lze použít také potrubí z PVC, PE, 1PE, Rpe, novoduru, azbestocementu, betonu atd. Materiály PVC, PE a novodur jsou vhodné díky malým ztrátám třením, je zde však zapotřebí věnovat velkou pozornost hladkým spojům. Dalším aspektem je tepelná roztažnost materiálu, což řešíme izolací potrubí. V případě, že hrozí velké tlakové změny v potrubí, je třeba vybudovat vyrovnávací komoru s tlakovým polštářem.

### 3.2.4 Provozní a výrobní objekty

Do této části patří výrobní objekty, provozní budova, rozvodna a další objekty důležité pro výrobu a provoz elektrárny. Vzhledem k malému rozsahu díla a velké automatizaci u MVE se většinou provozní budova vynechává.

Na výrobní a provozní objekty jsou kladeny vysoké nároky, co se týče společné práce strojního, hydrotechnického a elektrotechnického zařízení MVE. Je důležité, aby byl zajištěn přístup a prostor pro manipulaci se zařízením a jeho revize, ale také bezpečnost jejich provozu. Při výstavbě se snažíme o co nejjednodušší řešení, nejnižší náklady a rozsah stavebních prací, avšak stále musíme mít na paměti všechny prostorové nároky všech zařízení.

Hlavním objektem je výrobně technologická část, kterou tvoří strojovna MVE skládající se ze tří částí: horní a dolní stavby a montážního prostoru.

Spodní stavba je oddělena od horní stavby podlahou strojovny. Tato část je nejsložitější konstrukční částí, jelikož je namáhána hydrostatickými a hydrodynamickými silami, zatížením všech zařízení a výše postavených konstrukcí. V praxi se jedná o monolitickou železo-betonovou konstrukci, v případech potřeby odlehčenou.

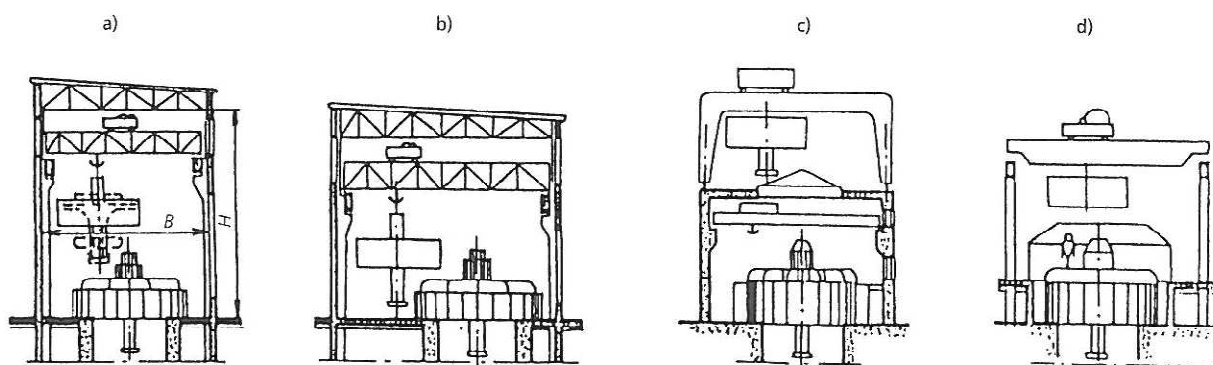
Horní stavba strojovny obsahuje část hydroalternátorů s budiči a regulátory otáček, převody, transformátory, montážní plošinu, jeřáby atd. Zařízení je zde chráněno před atmosférickými vlivy střechou nebo vodotěsným stropem s odebíratelnými poklapy, zajišťujícími přístup k technologickým zařízením při jeho demontáži, opravách atd.

Rozměry spodní části strojovny určuje počet turbínových bloků zvětšený o jeden pro umístění montážní plošiny. Rozměry horní části strojovny ovlivňuje dispoziční uspořádání zařízení ve strojovně. Můžeme použít tři typy: zakrytou, nezakrytou a polozakrytou strojovnu.

U zakryté strojovny jsou všechna zařízení včetně jeřábu umístěna v uzavřené budově. Šířku i výšku ovlivňuje prostorová náročnost při instalaci a opravách zařízení. Výšku můžeme snížit o 1,5-2 m použitím spráhnutého jeřábu. Výstavba je sice finančně náročnější, avšak přináší mnoho výhod při provozu a pracích s technologickým zařízením.

Horní stavba polozakrytého krytu nám umožňuje zmenšit rozměry bez výrazného snížení pohodlí při provozu a opravách. Zde je pouze jeřáb umístěn nad zakrytou částí strojovny. Obsluha zařízení je zajištěna pomocí jeřábu při odstranění krytu nad každým soustrojím.

Odkryté strojovny se používají pouze pro MVE menších výkonů místního významu. Nemají horní stavbu. Hydroalternátor je umístěn pod odebíratelným krytem. Toto řešení v sobě skrývá velké problémy při opravách na nezakryté plošině. Jednotlivé případy řešení strojovny jsou zobrazeny pro přehlednost na obrázku 10.



Obrázek 10 Typy horní stavby strojovny MVE [8]

### 3.3 Strojní zařízení MVE

V této kategorii se budeme zabývat vodními stroji a stavebními částmi začleňujícími je do MVE. Sem patří vstupní a výstupní části turbíny, jež mají velký vliv na celkovou účinnost energetické přeměny, a proto je důležité jim věnovat velkou pozornost. Principy těchto částí mají obecné řešení s malým vlivem na typ turbíny.

Rovnotlaké turbíny u nás nepatří mezi nejrozšířenější typ. Vstupní a výstupní části zde nejsou nijak technicky složité, proto se budeme nejvíce věnovat částem přetlakové turbíny.

#### 3.3.1 Přívod vody k přetlakové turbíně

U dnešních typů turbín je třeba zásobovat oběžné kolo po celém obvodu a hlavním úkolem přívodních částí je rovnoměrnost zásobování vodou při co největší úspoře prostoru. Mezi nejběžnější konstrukce přívodů vody můžeme jmenovat zakrytou či nezakrytou kašnu a dále moderní betonovou spirálu.

Díky mnohaletým zkušenostem prošly kašny dlouhodobým vývojem. Dnes již víme, že nejdůležitějším prvkem nesprávný návrh řešení především půdorysu kašny, tak abychom dosáhli minimálních hydraulických ztrát. Kašny se používají především u starších typů turbín s průměrem kola do 1,2 m a spádem do 5-6 m. Abychom předešly vytváření vertikálních vírů strhávajících vzduch a nepříznivému proudění, umístíme turbínu do kašny nesymetricky a špatně protékané kouty vyplňujeme. Na obrázku 11d) můžeme vidět příklad kašny připomínající půdorysně spirálu. Umístěním turbíny excentricky a vyplněním míst se špatným prouděním dosáhneme půdorysu spirálové kašny na obrázku 11a).

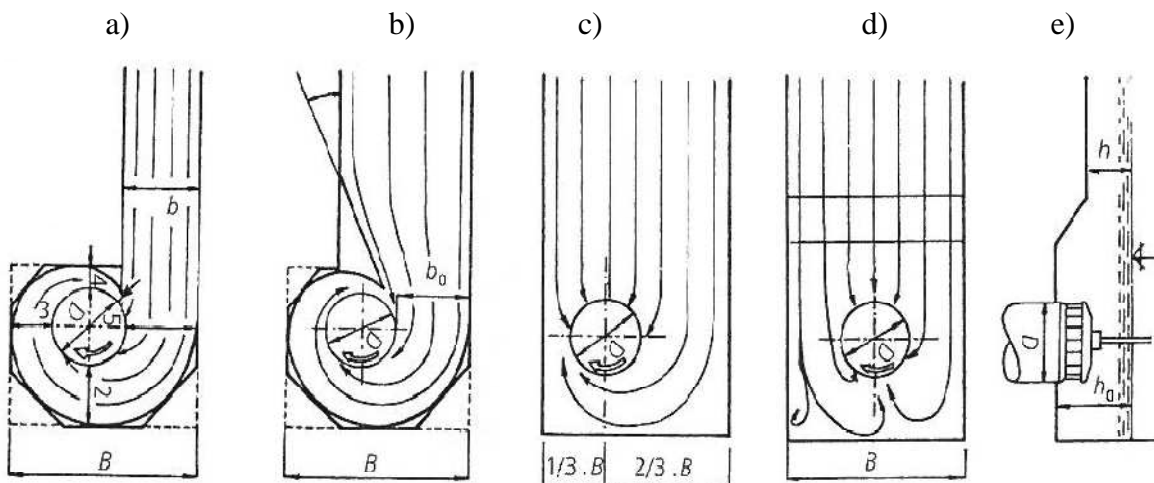
Nejčastějším moderním řešením přívodu vody na turbínu je betonová (pro menší spády a vertikální uspořádání) či kovová spirála (pro střední a velké spády s vertikálním i horizontálním uspořádáním). Svým tvarem připomíná spirální ulitu.

*Kovové spirály* mají většinou kruhový profil, v případě malých výkonů bývají spirály samonosné. Pro větší výkony je zde potřeba docílit pevnosti zlomocí podpěrných lopatek v horním a dolním věnci, které musí být vhodně nasměrovány, aby usnadňovaly proudění vody k oběžnému kolu. Úhel obchvatu se v praxi volí 345°.

Betonové spirály mají v mnoha modifikacích příčný profil ve tvaru lichoběžníku. Podpěrné lopatky tu spolu s radiálními ocelovými věnci tvoří radiálně průtočný prstenec zakotvený pomocí zabetonování. Příčný průřez můžeme vidět na obrázku 12b .

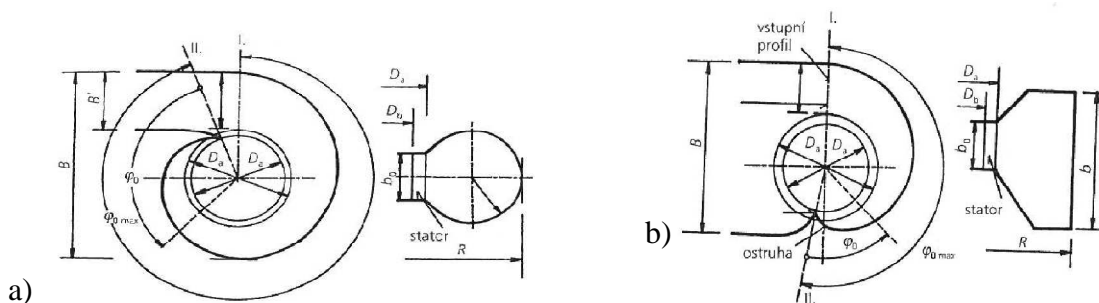
Parametry je vhodné volit v mezích:

$$b:a = 1,5-2,0 ; \delta = \gamma = 20^\circ - 35^\circ \quad [1]$$



Obrázek 11 Vývoj odkrytých kašen turbín [8]

Úhel obchvatu se podle zkušeností volí  $135^\circ$  až  $225^\circ$ , avšak v praxi se nejčastěji používá úhel  $180^\circ$ .



Obrázek 12 Příčný řez a) kovovou spirálou b) betonovou spirálou [8]

Při hydraulickém návrhu postupujeme stejně pro oba typy materiálu. Pro výpočet rychlosti po délce přivaděče budeme uvažovat konstantní střední rychlost a dostaneme vztah 3.20:

$$v_{sp} = \alpha * \sqrt{2 g H} \quad (\text{m/s}) \quad [8] \quad 3.20$$

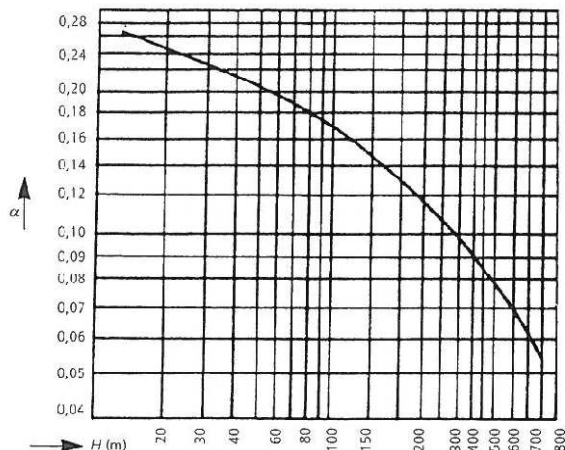
kde  $v_{sp}$  je rychlost po délce spirály,  $H$  je čistý spád a  $\alpha$  je rychlostní součinitel, který můžeme zjistit z Obrázek 13.

Rozměry betonových i kovových spirál získáme ze vztahu 3.21, za předpokladu konstantní rychlosti po délce spirály,

$$S_p = \frac{Q_p}{v_{sp}} * \frac{\varphi_n}{\varphi_{0max}} = S_n * \frac{\varphi_n}{\varphi_{0max}} \quad (\text{m}^2) \quad [1] \quad 3.21$$

kde  $Q_p$  je průtok ve vstupním profilu,  $\varphi_n$  je úhel měřený od ostruhy spirály a  $\varphi_{0max}$  je úhel obchvatu spirály.

Vývoj koncepce spirál se dnes ubírá směrem eliminace či úplného odstranění rozvaděče turbíny, čímž dosáhneme značných úspor, co se týče náročnosti technologie výstavby a také samozřejmě její ceny. Toto řešení představuje Kvjatkovského a Reiffenstenova spirála.



Obrázek 13 Závislost rychlostního součinitele spirály na pádu [8]

Reiffenstenova spirála umožňuje vynechat rozvaděč turbíny, avšak musí nahradit jeho funkci (vytvořit ideální nátokový úhel). Jeho střední hodnota se vypočítá ze vztahu 3.22 odvozeného z Eulerových rovnic:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = 0,0017 Q_{11} n_{11} D \eta_M^{-1} b^{-1} \quad (-)[1] \quad 3.22$$

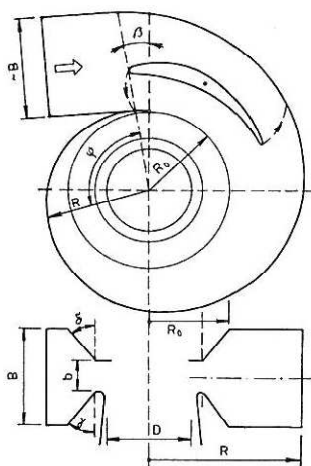
kde  $Q_{11}, n_{11}, \eta_M$  jsou jednotkové průtoky, otáčky, účinnost pro  $H=1\text{m}$  a  $D=1\text{m}$ ,  $D$  je průměr kola a  $b$  je výška nátku po obvodu oběžného kola. Z úhlu  $\alpha_0$  potom zjistíme potřebný úhel spirály ze vztahu 3.23:

$$\operatorname{tg} \alpha_s = \frac{b}{B} \operatorname{tg} \alpha_0 \quad (-)[1] \quad 3.23$$

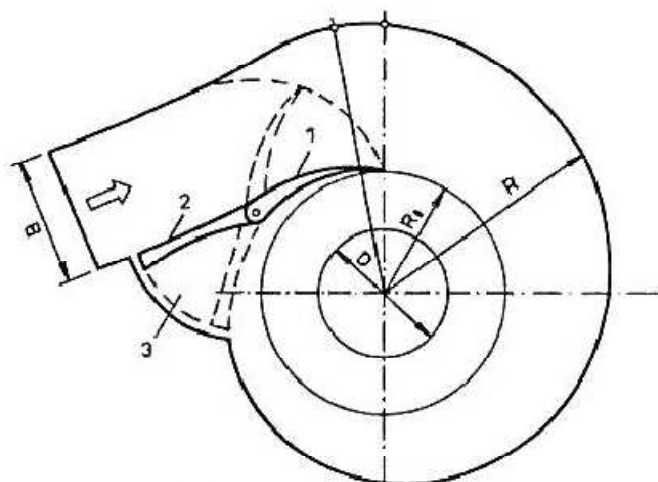
kde  $B$  je výška spirály po vnějším obvodu. Půdorysný obrys můžeme vyjádřit vztahem 3.24,

$$R = R_0 \exp(\operatorname{tg} \alpha_s \varphi \varphi_{0\max}^{-1}) \quad (\text{m}) [1] \quad 3.24$$

kde význam jednotlivých parametrů je patrný z obrázku 15.



Obrázek 15 Reiffenstenova spirála [2]



Obrázek 14 Kvjatkovského spirála [2]

Velmi důležitým komponentem Reiffenstenovy spirály je regulační klapka, která zde plní také funkci uzávěru. V hodný návrh klapky vidíme na obrázku 15. Nevýhodou je snížení účinnosti při malém otevření klapky, a to až o 8% oproti použití rozvaděče turbíny.

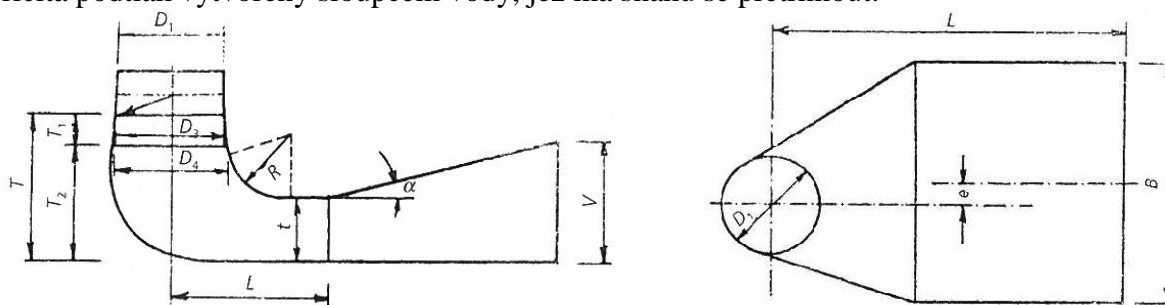
*Kvjatkovského spirála* se liší od Reiffenstnovy právě v systému klapky. Systém je vidět na obrázku 14. Výhodou *Kvjatkovského spirály* je, že při malém otevření zde dochází k poklesu účinnosti pouze o 3%, avšak oproti Reiffenstenově spirále neumožňuje plné zavření průtoku na oběžné kolo.

### 3.3.2 Odvod vody od přetlakové turbíny

Odvedení vody od turbíny u přetlakových turbín výlučně zajišťuje savka. Je to zařízení, díky němuž jsme schopni využívat kinetickou energii vody, odcházející z turbíny. Savka zajišťuje hermetické propojení prostoru pod oběžným kolem a dolní vody. Díky tomu můžeme umístit turbínu nad hladinu dolní vody, aniž bychom nějak výrazně snížili hodnotu užitého pádu a zvýšili energetické ztráty. Základní požadavky na savku jsou [1]:

- ∞ zajistit využití celkového spádu daného rozdílem horní a dolní hladiny, a to i v případě, že je turbína umístěna nad dolní vodou
- ∞ využít co největší část kinetické energie vody opouštějící oběžné kolo
- ∞ umožnit opravy a revize turbíny v suchu

Princip funkce savky spočívá v její konstrukci, která se směrem ke konci rozšiřuje, čímž zpomaluje sloupec vody a tím se část kinetické energie přeměňuje na podtlak. K tomu se ještě přičítá podtlak vytvořený sloupcem vody, jež má snahu se přetrhnout.



Obrázek 16 Schéma savky [8]

Pro správnou funkci savky je správný návrh statické a dynamické výšky turbíny, která zamezí vzniku kavitačních jevů, jež jsou z dlouhodobého hlediska nebezpečným faktorem ovlivňujícím životnost vodního stroje. Pro výpočet statické sací výšky používáme vztah 3.25

výška může být nižší, avšak v žádném případě ne vyšší:

$$H_s = B - \sigma H_k - 1 \quad (\text{m}) \quad [1] \quad 3.25$$

kde  $H_s$  je definována jako vzdálenost středu rozvaděče od dolní hladiny,  $B$  je barometrický tlak  $B=10-n_v/900$  (m),  $n_v$  je kóta oběžného kola,  $H_k$  je čistý spád a  $\sigma$  je Thomsonův kavitační součinitel, který uvádí výrobce turbíny.

Jelikož je výpočet parametrů savky při kolísání průtoku během roku dosti složitý a tyto parametry potřebujeme vědět pouze orientačně, stačí nám použít výpočtový formulář pro parametry savky umístěný na internetové adrese:

<http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/savky-francis.htm>

### 3.3.3 Turbíny

Tato oblast je všeobecně známá a veškeré informace o typech turbín a jejich použití lze snadno najít jak v odborné literatuře, tak i na internetu. Pro návrh MVE je většinou důležité volit turbínu podle spádu a průtoku, kde volíme buď rovnotlaké turbíny (Peltonova, Bánki atd.) nebo přetlakové turbíny (Francisova, Kaplanova atd.). Rovnotlaké turbíny jsou vhodné pro větší spády a menší průtoky. Zatím co přetlakové turbíny používáme hlavně při větších průtocích a malých spádech, avšak jejich použití je nohem univerzálnější.

Dnes nejpoužívanější jsou různé typy turbíny Kaplanovy, které vynikají výbornou účinností při velkém rozsahu průtoků, což je dáno možností regulace průtoku pomocí rozváděcích lopatek, lopatek oběžného kola nebo dokonce obojí.

### 3.3.4 Převody turbíny

Jelikož u turbín často nedosahujeme potřebných otáček pro provoz generátoru, odpadá použití pevného spojení turbíny s generátorem (většinou možné na velkých spádech u Peltonových turbín, výlučně i Bankiho turbín) a je třeba je nahradit převodem do rychla. Používají se převodovky s ozubeným soukolím, řemenové a řetězové.

*Převodovky s ozubeným soukolím* jsou časté většinou u starších MVE. Dosahují účinnosti okolo 97%, avšak při opotřebení může účinnost klesnout až na 80%. Maximální hodnoty převodu jsou do 1:10 a v případě potřeby většího převodu jsme nuceni použít víceúrovňovou převodovku. Mezi nejúčinnější patří planetová převodovka s účinností okolo 98%. Její nevýhodou je však vysoká cena, a proto se příliš nepoužívá.

*Řemenové převody* jsou dnes velmi rozšířené pro svou jednoduchost, malou hlučnost, velkou provozní spolehlivost a nižší cenu. U nás se používají do výkonu 3MW a máme tři typy ploché, klínové a ozubené.

*Ploché řemeny* se používají pro převod do 1:15, při jejich provozu je třeba dodržet přepětí řemene odpovídající 1-1,5 násobku síly přenášeného výkonu, obvodová rychlost nemá přesáhnout 50m/s, jejich účinnost dosahuje hodnot okolo 96-97% a vhodné jsou pro výkony do 500Kw.

*Klínové řemeny* se používají pro přenášení vyšších výkonů. Řemeny se při provozu roztahují a z tohoto důvodu je třeba technicky zajistit jejich napínání. Jelikož se tyto řemeny používají ve více kusech, dáváme dnes přednost *klínovým řemenům násobným*. Přepětí se zde volí od 0,7-1 násobku síly tahu přenášeného výkonu, použitelný převod je max. 1:10, účinnost se pohybuje od 90-97,5% a používají se pro výkony do 800Kw.

*Ozubené řemeny* patří mezi technicky nejdokonalejší. Jsou to stejné řemeny, jako se používají v automobilovém průmyslu. Jsou téměř bezhlučné, dosahují účinnosti až 99% a používají se pro výkony do 300kW.

*Řetězové převody* používáme v případě, kdy je potřeba vyvést výkon z prostor obtékaných vodou. V praxi se příliš neosvědčili, jelikož mají krátkou životnost a velkou hlučnost.



### 3.4 Elektrické zařízení MVE a její připojení do sítě

Při návrhu stavebních částí MVE je potřebné mít přehled o všech prvcích elektrického systému, jež budou na MVE použity.

Do elektrického systému se řadí[8]:

- ∞ generátor
- ∞ vývody z generátoru
- ∞ rozvodna generátorových vývodů
- ∞ blokový transformátor
- ∞ vývody z transformátoru
- ∞ venkovní rozvodna (nemusí být)
- ∞ transformátor vlastní spotřeby
- ∞ elektrické motory pomocných zařízení
- ∞ budiče generátorů a pomocná zařízení

Mít přehled o všech těchto vyjmenovaných zařízení patří k základu, stejně jako typ turbíny a způsob přivádění vody, jelikož to má obrovský vliv na dispoziční řešení MVE, rozsah stavebních prací a také ekonomiku stavby.

#### 3.4.1 Elektrické generátory

Podle potřeby dodávky elektrické energie můžeme pro výrobu využít tři základní typy generátorů, a to málonapěťové (do 50 V), nízkonapěťové (50-1000 V) a vysokonapěťové generátory (nad 1000 V). Dále se pak ještě dělí na střídavé a stejnosměrné generátory.

*Málonapěťové generátory* se používají od nejmenších výkonů až do 1000 kW. V praxi se ale používají spíše pro menší výkony pracující do samostatné sítě, většinou ve spojení s akumulátorem, popř. jako náhradní zdroje napětí.

*Stejnoseměrné generátory (dynama)* vyrábějí stejnosměrný proud. Jsou konstrukčně složité, avšak jejich výhodou je možnost použití v širokém rozsahu otáček. Používají se jako zdroj napájení pro odporové zátěže (např. svícení a topení). Většinou bývají málonapěťové.

*Střídavé generátory* jsou vhodné pro většinu MVE. Volit můžeme mezi synchronními a asynchronními generátory. Volba generátoru je podmíněna požadavkům provozovatele MVE a distribuční sítě, k níž je MVE připojena.

##### 3.4.1.1 Synchronní generátor

Synchronní generátory se instalují v případě, že chceme, aby MVE pracovala paralelně se sítí nebo výjimečně pro samostatný chod, jako náhradní zdroj energie či zdroj v odlehlých oblastech. Synchronní generátor se skládá ze statoru se střídavým trojfázovým vinutím a rotoru se stejnosměrným budícím napětím. Generátor do sítě dodává jalový a činný výkon. Činný výkon je dán velikostí mechanického výkonu vodního stroje a zatěžovacího úhlu. Jalový výkon je dán velikostí budícího proudu. Velikost budícího proudu je potřeba určit tak, aby nám generátor nevypadl ze synchronismu, čímž by mohlo dojít k poškození stroje (nevolit příliš malý budící proud).

Otáčky generátoru ovlivňují počet pólových dvojic (vždy jeden pól na statoru a jeden na rotoru) podle vztahu 3.25

$$n = \frac{f \cdot 60}{p} \quad (\text{ot./min.}) \quad [8] \quad 3.26$$

kde  $f$  je frekvence sítě (50Hz) a  $p$  je počet pólových dvojic. Budící proud se na vinutí rotoru přivádí přes kroužky a kolektory nebo přímo hřídelí, pokud je budič umístěn na hřídeli. Synchronní generátory mohou regulovat frekvenci nebo napětí. Regulace frekvence je popsána výše a regulace napětí je zajištěna velikostí budícího napětí. Účinník nebo jmenovitý jalový výkon jsou dány charakterem zátěže v síti. Činný výkon odebíraný z generátoru musí být roven mechanickému výkonu vodního stroje zmenšeného o příslušné elektrické a mechanické ztráty.

Pokud chceme, aby generátor pracoval paralelně se sítí popř. s jiným generátorem, je nutné, aby v okamžiku připojení generátoru nedošlo v síti k proudovému rázu a k elektromechanickému vyrovnávacímu pochodu. Procesu zajištění těchto podmínek říkáme fázování.

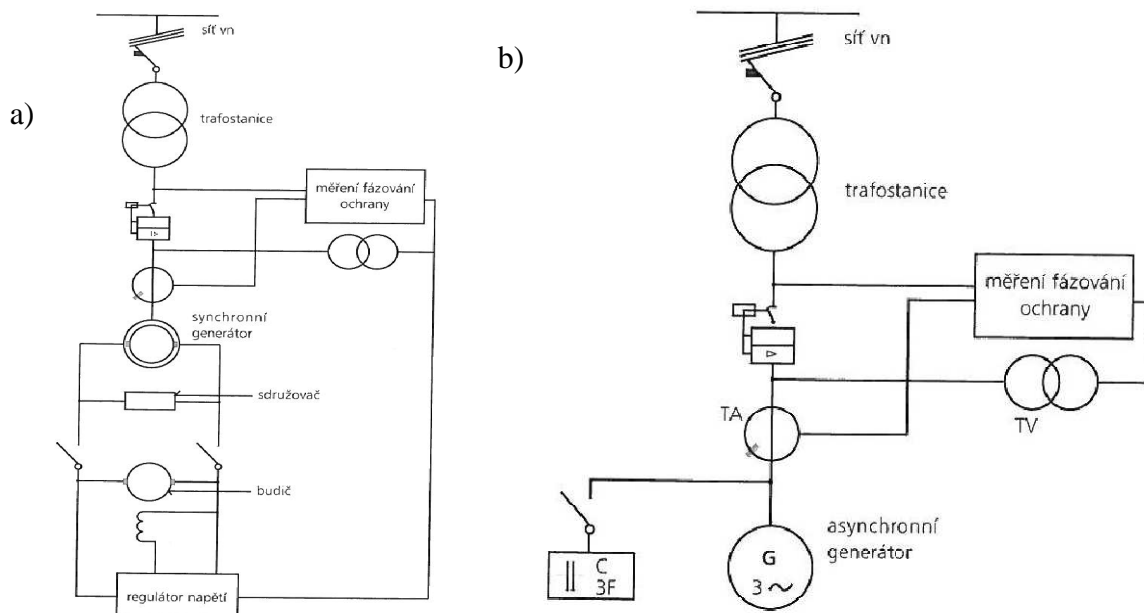
Při fázování musíme dodržet několik důležitých podmínek:

- a) Musíme dodržet stejné napětí stroje a sítě. Kontrolu provádíme pomocí voltmetrů, připojených na napětí stroje a sítě. V případě, že nedosahujeme napětí sítě, máme možnost regulace napětí generátoru pomocí přibuzování či odbuzování stroje. Dodržení stejného napětí je důležité, protože kdyby došlo k připojení rozdílných napětí, došlo by k velkému nárazu jalového proudu.
- b) Musíme dodržet stejné kmitočty stroje a sítě. Shodnost kmitočtů je důležitější než shodnost napětí, protože odchýlení se od kmitočtu vzniká ráz činného proudu. Nárazy jsou vyvolány tím, že v okamžiku zapnutí se musí značná rotující hmota rotoru alternátoru zpomalit nebo zrychlit, podle toho má-li alternátor kmitočet nižší nebo vyšší než síť. Nahromaděnou kinetickou energií rotoru a její rychlou přeměnou v energii elektrickou vzniká značný náraz činného proudu při fázování s rozdílem kmitočtu. Tento náraz činného proudu způsobuje velké mechanické namáhání turbíny a alternátoru.
- c) Je nutné zajistit minimální fázový posuv napětí sítě a generátoru. Velkým fázovým posuvem napětí vzniká proudový ráz způsobený vyrovnávacím proudem, jehož maximální hodnota stoupá s fázovým úhlem. V případě difference všech tří hodnot se vyrovnávací proudy vektorově sčítají.
- d) Stejný sled fází generátoru a sítě. To je možné zjistit zlomocí asynchronního motorku, jež se po připojení na stejné fáze sítě a generátoru musí točit stejným směrem.

Fázování generátoru se dnes zajišťuje za pomoci tzv. synchronoskopu, jež umožňuje automatické fázování bez obsluhy.

### 3.4.1.2 Asynchronní generátor

Asynchronní generátory se používají pro výrobu elektrické energie téměř výhradně do pevné sítě. Asynchronní generátory mají stejnou konstrukci jako asynchronní motory, tj. stator s trojfázovým střídavým vinutím a rotor vinutý s kroužky popř. s klencovým vinutím.



asynchronní gen. [8]

Přivedením mechanického momentu na hřídel rotoru tak, abychom se dostaly nad otáčky mag. pole, se dostáváme do záporného skluzu a rotor je brzděn, čímž se do sítě dodává činný výkon. Zároveň se ale ze sítě odebírá jalový výkon pro vlastní magnetizaci, což nám síť zatěžuje zvýšeným proudem. Tento jev se kompenzuje kondenzátory, avšak zde hrozí nebezpečí vzniku přepětí na svorkách paralelního zapojení kondenzátoru a generátoru samobuzením při výpadku sítě a následným zvýšením otáček. Tomu můžeme zabránit rozpojením uvedené kombinace. Na trhu je dnes mnoho strojů s velkou škálou jmenovitých otáček, jaké otáčky tedy zvolit? Ideální je zvolení nízkých otáček, abychom nemuseli používat převod do rychla, avšak tyto stroje jsou rozměrné, drahé a špatně se chladí. Vysokootáčkové generátory jsou malé, levné, dobře se chladí a za velké vody je možné je přetížit, avšak při výpadku sítě by generátor mohl dosáhnout nebezpečně vysokých otáček a roztrhnout se. V praxi se tedy využívají čtyř a šestipólové asynchronní generátory, jsou cenově dostupné, jejich chlazení je účinné a krátkodobě snesou i průběžné otáčky odlehčené turbíny.

Fázování generátoru se provádí při dosažení přibližně synchronních otáček. Proudový náraz je zde podobný jako u synchronních generátorů. Výkon asynchronního generátoru se navrhuje na přibližně na hodnotu výkonu vodního stroje. V případě, že jako generátor používáme asynchronní motor, můžeme ho zatížit až na hodnotu jeho příkonu. Dimenzování ostatních částí (ložiska, hřídel atd.) je třeba konzultovat s výrobcem stroje, jelikož ho budeme provozovat při zvýšených otáčkách.

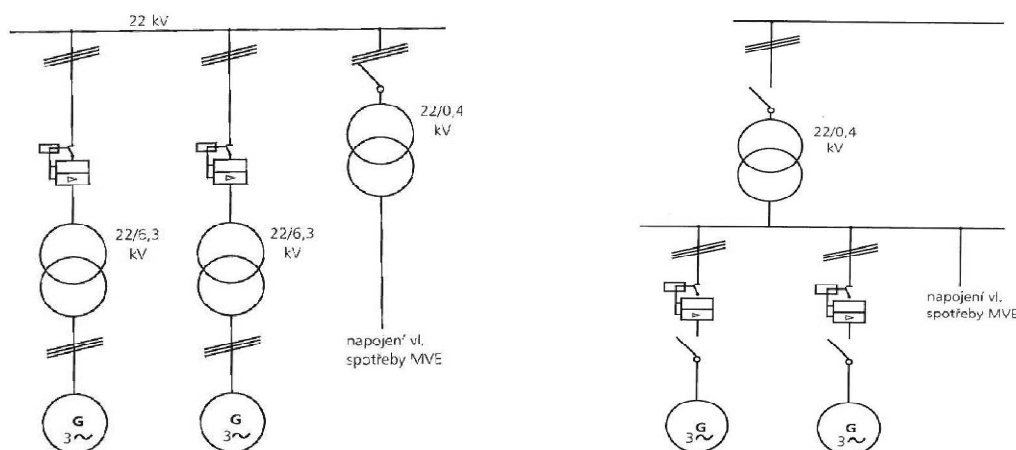
Použitím synchronního generátoru zmenšujeme počet elektrických zařízení, jejich hmotnost a také investiční náklady. Nevýhodou je odběr jalového výkonu ze sítě (zhoršení účinníku), neschopnost samostatného chodu a snížení účinnosti při částečném výkonovém zatížení.

### 3.4.2 Silnoproudá zařízení

Mezi silnoproudá zařízení se řadí zařízení, jež nám umožňují přenos, transformaci, spínání a jištění vyrobené elektrické energie a k zajištění vlastní spotřeby MVE.

Výkon MVE se přenáší přípojkou venkovního nebo kabelového vedení na úroveň nn ( $3 \times 400\text{V}$ ) a při vyšších výkonech vn (22 a 35 kV). Přípojka se dimenzuje tak, aby byla schopna odolat při co nejmenším průřezu účinku zkratových proudů a nedocházelo zde k velkým ztrátám na vedení a úbytku napětí. Velikost výkonu připojovaného do místa sítě je vždy nutné konzultovat s provozovatelem sítě.

Elektrická přípojka je zakončena v hlavní skříni nebo pro vn v rozvodně vn. Vstupní část přípojky musí být přístupná pracovníkům provozovatele sítě a vybavena spínacími a jisticími přístroji (použití přístrojů je dáno použitou hodnotou napětí a podmínkami provozovatele sítě). Pro vn se však používají pouze přístroje nezbytně nutné, jelikož je jejich cena dosti vysoká.



Obrázek 18 Schéma propojení generátoru s transformátorem a) blokově b) se spol. transformátorem [8]

Při přenosu výkonu na delší vzdálenosti je nutné transformovat energii na vyšší napětí, abychom dosáhli menších proudů, a tím tedy i hospodárnějšího průřezu vodičů. Transformátory používáme na vyvedení výkonu z MVE a transformaci napětí pro vlastní spotřebu MVE. Pro MVE se používají jednofázové a mnohem častější trojfázové transformátory, které mají v každé fázi dvě a více vinutí zapojené do hvězdy, trojúhelníku či lomené hvězdy. Generátory jsou připojeny k transformátoru blokově anebo je transformátor společný pro více generátorů. Schéma obou připojení je znázorněno na obrázku 18. Transformátory umístíme v jednom prostoru s rozvodným zařízením nn a vn, v transformátorových komorách v místech velkého znečištění a na venkovních stáních v místech, kde nehrozí znečištění. Transformátorová stání musí být navržena tak, aby dokázala zabránit rozšíření požáru od hořícího oleje a také zabránit úniku oleje do okolní půdy (použití šterkového lóže k zachycení oleje). Stání se také umísťují na severní nebo východní část budovy, aby nebyl transformátor vystaven přímému slunečnímu záření a aby okolní vzduch měl co nejnižší teplotu pro chlazení transformátoru. Při návrhu MVE musíme uvažovat nad dopravou transformátoru na místo stání a také prostoru pro jeho revize. Transformátor vlastní spotřeby se navrhuje na součet příkonů všech spotřebičů potřebných pro zajištění chodu MVE při maximálním výkonu.

### 3.4.3 Řídící, měřicí a regulační systémy

Elektrické obvody MVE je většinou případy nutné ještě doplnit pomocnými elektrickými zařízeními jako jsou *měřicí, regulační a jistící obvody*. Rozsah obvodů je dán hlavně velikostí MVE a požadavky odběratele, menším faktorem je velikost automatizace MVE.

Při navrhování *měřících obvodů* se většinou řídíme podmínkami odběratele elektrické energie, provozními podmínkami a instalovanou technologií [8]. Základní je měření veličin vyrobené energie proud, napětí, účinník a výkon a při použití synchronního stroje také velikost budícího proudu a veličin na fázování (viz. kap. 3.4.1). Pokud jsme připojeni paralelně k síti je třeba také měřit vyrobenou, ale také spotřebovanou činnou a jalovou el. energii. Krom elektrických veličin je také měřit ostatní veličiny jako jsou poloha horní a dolní hladiny, otáčky generátoru a jeho teplota. Tyto veličiny měříme pomocí běžně dostupných speciálních snímačů nebo převodníků na elektrický signál.

Celý hydroagregát je samozřejmě nutné chránit *jistícími obvody* proti přepětí a nebezpečnými nadproudy. Dnes se MVE staví jako bezobslužné s občasným dohledem a proto je potřeba zajistit automatické systémy, které v případě poruchy nebo výpadku paralelní el.sítě odstaví elektrárnu a ohlásí poruchu provozovateli. Elektrické ochrany jsou dány normou a provozovatelem sítě.

Jako *řídící systémy* se dnes většinou používají průmyslové automaty *Proces Logic Control (PLC)* popř. PLC- soft (pro menší zdroje, software na os. počítači + vstupně - výstupní karta se vstupem a výstupem všech potřebných dat) jež splňují základní požadavky na provoz. Komunikace je zajištěna pomocí standartních komunikačních protokolů (Modbus, Profibus, Interbus, TCP/IP apod.).

Automatizace se na MVE dělí na tři základní úrovně[8]:

- ∞ *Základní zabezpečovací systém* je soubor elektrických strojově-mechanických ochranných technologických zařízení, který je funkčně nezávislý na ostatních úrovních
- ∞ *1.úroveň-provozní*, zpracování vstupů a výstupů a stavů technologie MVE a následující řízení a regulace
- ∞ *2.úroveň-styk s obsluhou a vizualizace*, kromě vizualizace se zde může také provádět vyšší řízení, např. skupinová regulace

Základní zabezpečovací systém kontroluje nejdůležitější stavové veličiny provozu, tlak ovládacího regul. oleje, maximální otáčky stroje, teplotu ložisek, olejových náplní a vinutí generátoru, průtoky mazacích a chladících médií, hladiny ve sběrných nádržích atd. Pokud jsou některé hodnoty překročeny zajistí odstavení turbíny z provozu (pomocí závaží, či servopohonu) popř. spustí světelnou signalizaci poruchy před odstavením.

První úroveň automatizace fází stroj na síť, reguluje parametry generátoru ( $\cos \varphi$ , výkon, napětí)nebo přepnout ovládání na manuální režim, dále reguluje servomotory regulace turbíny (viz. kap. 3.3.3.), výšky horní hladiny. Zajišťuje také archivaci všech naměřených údajů, stavů provozu a poruch. Celou úroveň je možné realizovat jako jeden stroj.

Druhá úroveň automatizace zprostředkovává komunikaci s obsluhou provozu (tlačítka, vizualizace atd.). Velmi často obsahují komunikační protokoly (modemy, ISDN modemy, GSM atd.), takže je možné dostávat pravidelné zprávy o stavu MVE prostřednictvím SMS.

## 4 NÁVRH MVE KONKRÉTNÍ LOKALITU

V této kapitole se budeme zabývat již konkrétním návrhem malé vodní elektrárny, a jelikož není majitel rozhodnut, v jaké síti by měla elektrárna pracovat, vytvoříme technický a ekonomický náčrt všech variant, z nichž jednu vybereme a provedeme návrh celého systému se všemi technologickými náležitostmi.

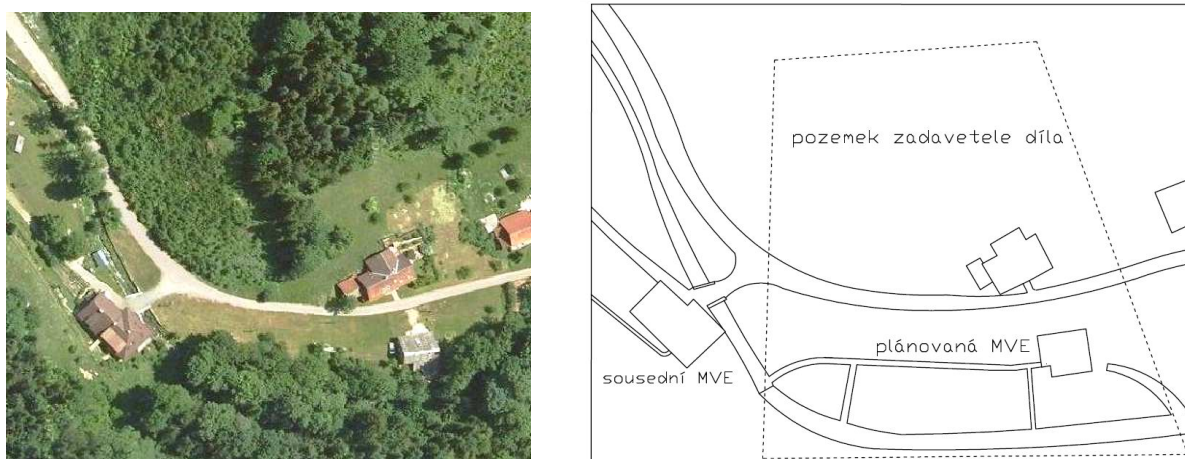


Obrázek 19 Lokalita MVE[29]

### 4.1 Lokalita

Vybrané místo pro realizaci MVE se nachází na řece Dědině v podhůří Orlických hor v obci Kounov, konkrétní umístění lokality je vidět na obrázku 19.

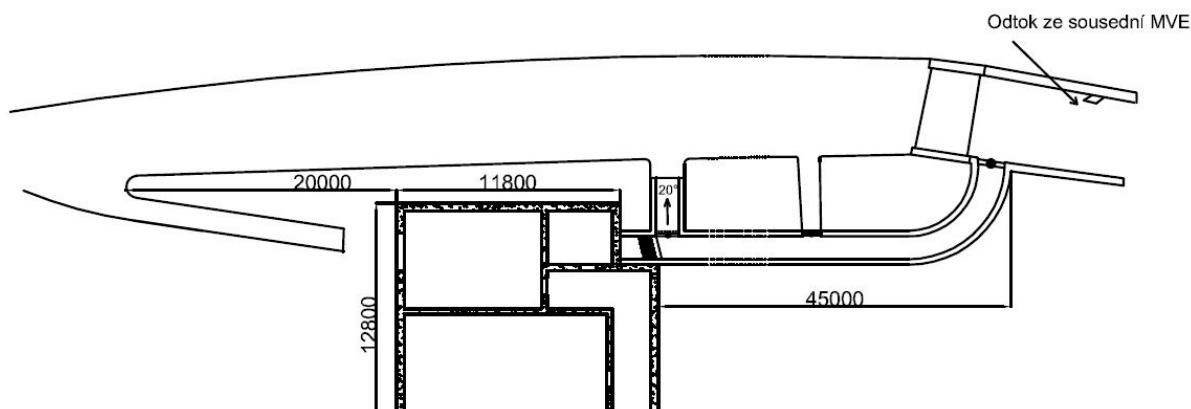
Návrh budeme provádět na objektu, kde bývalo v dřívější době obsazeno vodní kolo, jež pohánělo technické zařízení (tkalcovské stavy). Přívod vody z koryta je zde řešen otevřeným přivaděčem, bude se tedy jednat o derivační elektrárnu.



Obrázek 20 Situační schéma a foto lokality [28]

Hned nad objektem, asi 10m od místa odběru vody z toku, je umístěna MVE s francisovou turbínou o výkonu necelých 5 kW pracující v distribuční síti. Dále, asi 1 km proti proudu, je

umístěna MVE s Peltonovou turbínou pracující se spádem okolo 10 m. Situační schéma je zobrazeno na obrázku 19 a 20.



Obrázek 21 Situace MVE

## 4.2 Spád

Celkový spád byl stanoven nivelací hladin na 2,25 m, ale je zde ještě možnost vyhloubit kanál odvádějící vodu zpět do toku a zvýšit hodnotu celkového spádu na 2,55 m, protože splav, který stál pod ústím odvodního kanálu, byl odstraněn po povodních v roce 1998, čímž se snížila hladina a rozdíl hladin na výpusti z turbíny a přítoku do koryta řeky byl 50cm. Tímto dosáhneme hrubého spádu 2,55m.

Užitečný spád nebylo možné zatím změřit, a proto jsem ho po konzultaci stanovil na 2,3m.

## 4.3 Průtok

Hodnotu optimálního průtoku budeme určovat z m-denních hodnot průtoků [1]. Jelikož bude elektrárna dodávat energii do distribuční sítě, volíme hodnotu 90-ti denního průtoku což je  $0,378 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Jelikož se však jedná o elektrárnu derivační, je nutné zajistit přirozený průtok vody korytem, který jsme stanovili z průměrného ročního průtoku na  $0,065 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364	dní
766	505	378	297	240	196	160	131	105	82	60	39	28	$\text{l.s}^{-1}$

Tabulka 2 Hodnoty m-denních průtoků [18]

## 4.4 Výkon

Pro výpočet výkonu elektrárny použijeme námi zvolený 90-ti denní průtok a zjištěný užitečný spád 2.5m. Hrubý výkon je dán vztahem 3.7:

$$P_H = Q_V \cdot H \cdot g \cdot \rho = 0,313 \cdot 2,3 \cdot 9,81 \cdot 1000 = 7062.2 \text{ W}$$

kde je  $P_H$  hrubý elektrický výkon[W]  
 $Q_V$  průtok  
 $H$  užitečný spád  
 $\rho$  hustota vody

Pro výpočet výkonu dodávaného do distribuční sítě musíme ještě snížit hrubý výkon  $P_H$  snížit o ztráty na turbíně, převodovce a generátoru. Informace o účinnosti turbíny, převodu a generátoru by nám měl udat výrobce. Pro zadané hodnoty spádu průtoku má naše turbína účinnost  $\eta_t=0,8$ , řemenová převodovka  $\eta_p=0,95$  a generátor  $\eta_g=0,9$ . Výsledný elektrický výkon je dán vztahem 3.12:

$$P_{el} = Q_V \cdot H \cdot g \cdot \rho \cdot \eta_t \cdot \eta_p \cdot \eta_g = 0,313 \cdot 2,3 \cdot 9,81 \cdot 1000 \cdot 0,8 \cdot 0,95 \cdot 0,86 = 4615,9W$$

kde  $\eta_t$  účinnost turbíny  
 $\eta_p$  účinnost řemenového převodu  
 $\eta_g$  účinnost generátoru

Posledním výpočtem je celková energie vyrobená za celý rok, která nám poslouží pro ekonomické zhodnocení MVE. Jelikož budeme MVE osazovat semi-kaplanovou, která může zpracovávat různé průtoky, vytvořil jsem přehlednou tabulku s vypočtenou výrobou pro dané denní průtoky.

Počet dnů	Průtok	Výkon	Účinnost	Vyrobena energie
[-]	[l/s]	[w]	[%]	[MW]
30	701	4866,57	83	3,50
60	440	4866,57	83	3,50
90	313	4615,87	83	3,32
120	232	3421,35	83	2,46
150	175	2580,76	82	1,86
180	131	1931,88	82	1,39
210	95	1400,98	72	1,01
240	66	973,31	72	0,70
270	40	ODSTAVENO Z DŮVODU MALÉHO PRŮTOKU		
300	17			
330	0			
355	0			
364	0			
Cel. vyrobená energie za rok				

Tabulka 3 Roční výroba energie

## 4.5 Turbína

Turbína patří mezi nejvyšší položky na nákladovém listu. Abych dosáhl nejnižších nákladů při zachování kvality. Pro MVE na vyšších horních tocích je vhodné volit turbínu s regulací, jelikož zde dochází k velkým změnám průtoku a spádu. Pro naše potřeby bude dostačující semi-kaplanova turbína, která má regulovatelné lopatky běžného kola a jejíž cena je z hlediska návratnosti investice dostačující.

Nalezení turbíny dodavatele turbíny bylo velmi složité a ceny často znamenaly nerealizovatelnost projektu, viz. návrh firmy CINK na dvoukomorovou turbínu Crossflow za 870 000 Kč. Na základě doporučení jsem zvolil firmu HYDROMONT DACHOVSKÝ. Vybíral



jsem mezi semi-kaplanovou turbínou o průměru  $d=350\text{mm}$  s hltností  $330\text{l/s}$ , tady by byla potřeba stavební úpravy, které je potřeba konzultovat se stavebním inženýrem, přibližná cena těchto úprav by byla asi  $80\,000\text{Kč}$ . Druhou variantou by byla přímoproudá semi-kaplanova turbína s průměrem  $d=300\text{mm}$  s hltností  $320\text{l/s}$ . Ta nevyžaduje nákladné stavební úpravy, avšak její cena je výrazně vyšší.

Nakonec jsem zvolil první variantu, a to z důvodu nižších nákladů, turbína bude uložena v kovové vaně, celé schéma je vidět v příloze 1. Parametry turbíny jsou v tabulce 2.

průměr turbíny	[mm]	350
Maximální hltnost	[l/s]	330
Účinnost	[%]	80
Otáčky turbíny	[min.]	608

Tabulka 4 Parametry turbíny

## 4.6 Generátor

Pro MVE jsem zvolil trojfázový asynchronní motor s kotvou nakrátko s výkonem  $5,5\text{kW}$  SIEMENS 1LA7134-6AA6x. Důvod výběru firmy je dlouholetá tradice ve výrobě asynchronních strojů a hlavně mnoho doporučení. Údaje o generátoru jsou v tabulce 5:

Typová řada: 1LA7 Velikost (osová výška):	132 mm
Výkon:	5,50 kW
Otáčky:	$1455\text{ min}^{-1}$
Počet pólů:	Šestipólový
Účinník $\cos\varphi$	0,81
Proud	11,4 A
Napětí:	400 / 690V 50Hz
Účinnost	86%
Krytí:	IP 55
Kostra:	Hliníková
Pro teplotu okolí:	od $-30^{\circ}\text{C}$ do $+40^{\circ}\text{C}$
Třída izolace:	F
Pro trvalé zatížení:	S1

Tabulka 5 Štítkové hodnoty generátoru [20]



Obrázek 22 Genrátor siemens  
1LA7134-6AA6x [20]

### 4.6.1 Návrh kompenzační baterie

Pro povolení provozu MVE v distribuční síti je nutné splnit požadavky na kvalitu dodávané energie a to účinník  $\cos\varphi = 0,85-0,95$ , hodnota napětí na svorkách generátoru v rozmezí  $\pm 5\%$   $U_n$  a hodnota frekvence  $48,5$  až  $50,5$  [23]. Pro výpočet kompenzačních kondenzátorů budeme vycházet ze štítkových hodnot generátoru a účinníku sítě  $\cos\varphi=0,95$ .

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

$$Q_{gen} = P_{el} \cdot \text{tg } \varphi_{gen} = 4615 \cdot 0,732 = 3378,8 \text{ VAr [30]}$$

4.1

$$Q_{sít} = U \cdot I \cdot \sin\varphi_{sít} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 11,4 \cdot 0,312 = 2464,2 \text{ VAr} \quad [30] \quad 4.2$$

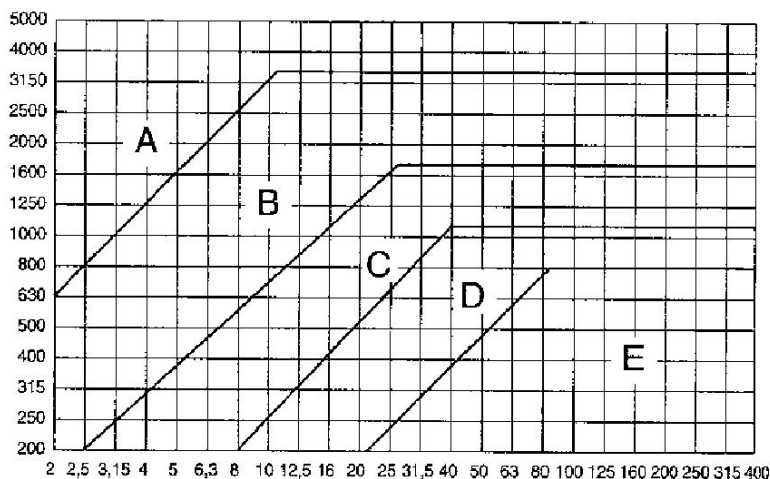
Rozdíl mezi jalovým výkonem generátoru a jalovým výkonem dodávaným ze sítě udává výkon kompenzačních kondenzátorů.

$$Q_{kom} = Q_{gen} - Q_{sít} = 3378,8 - 2769 = 611,4 \text{ VAr} \quad [30] \quad 4.3$$

Jelikož budeme provozovat MVE při různém zatížení, bude potřeba ke generátoru připojit automatický regulátor účinníku. Zvolil jsem 1 kVAr Screw.

#### 4.6.2 Převod

Jako první je nutné vybrat z 6 normalizovaných průřezů klínového řemenu a to z P-n diagramu na obrázku 23. Řídit se budeme otáčkami malé řemenice a přenášeným výkonem. Z diagramu jsem jsme zjistili, že pro nás bude v hodný průřez A.



Obrázek 23 Diagram určení potřebného průřezu řemene[24]

##### 4.6.2.1 Stanovení minimálního výpočtového průřezu řemenic

Aby nedocházelo k velkému namáhání řemene a k následnému praskání při přílišném ohýbání, je třeba zvolit minimální průřez řemenice z tabulky 7. Pro náš případ jsme zvolili minimální průřez 125 mm.

Průřez řemene	$D_{MIN}$ [mm]
Z	63
A	90
B	125
C	200
D	355
E	500

Tabulka 6 Minimální výpočtové průměry řemenic pro jednotlivé velikosti klasického průřezu klínového řemene[24]

#### 4.6.2.2 Návrh výpočtových průměrů řemenic D1 a D2

Normalizovanou velikost průměru malé řemenice si zvolíme z rozmezí,

$$D_{MIN} \leq D_1 \quad [24]$$

z tabulky 7, nyní vypočteme  $D_2$  vynásobením a  $D_1$  převodovým poměrem:

$$D_2 = D_1 \frac{n_2}{n_1} = 132 * \frac{1455}{608} = 315,89 \text{ mm} \quad [24] \quad 4.4$$

výsledný normalizovaný průměr bude tedy 315mm. Zde je třeba najít takový poměr průřezů, aby byl co nejlíže žádanému převodovému poměru.

Průřez řemene	Normalizovaný výpočtový průměr řemenice D [mm]
Z	(50), (53), (56), 60, 63, 67, 71, 75, 80, 90, 100, 112, 125, 140, 150, 160, 180, 200, 224, 250
A	(75), (80), (85), 90, 95, 100, 106, 112, 118, 125, 132, 140, 150, 160, (170), 180, (190), 200, 224, 250, 280, 300, 315, 355, 400, 450, 500, 560, 630, 710, (800)
B	125, 132, 140, 150, 160, 170, 180, (190), 200, 224, 250, 280, 300, 315, 355, 375, 400, 450, 500, (530), 560, 600, 630, 710, 750, 800, 900, 1000, (1120)
C	200, 212, 224, 236, 250, 265, 280, 300, 315, (335), 355, 375, 400, 450, 500, (530), 560, 600, 630, 710, 750, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600
D	355, 375, 400, 425, 450, 475, 500, (530), 560, 600, 630, 710, 750, 800, 900, 1000, 1060, 1120, 1250, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000
E	500, 530, 560, 600, 630, 670, 710, (750), 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1500, 1600, 1800, 1900, 2000, 2240, 2500

Tabulka 7 Normalizované velikosti výpočtových průměrů řemenic [24]

#### 4.6.2.3 Návrh osové vzdálenosti

Osovou vzdálenost volíme v rozmezí  $A_{MIN} \leq A_1 \leq A_{MAX}$ . Pro návrh osové vzdálenosti je velmi důležité znát stavební řešení strojovny a vzdálenost volit s ohledem na rozložení jednotlivých strojů.

$$A_{MIN} = \frac{1}{\sqrt{2}} (D_1 + D_2) = \frac{1}{\sqrt{2}} (132 + 315) = 316 \text{ mm} \quad [24] \quad 4.5$$

$$A_{MAX} = 2(D_1 + D_2) = 2 \cdot (132 + 315) = 894 \text{ mm} \quad [24] \quad 4.6$$

Osovou vzdálenost jsme tedy zvolili 500mm.

#### 4.6.3 Návrh délky řemene

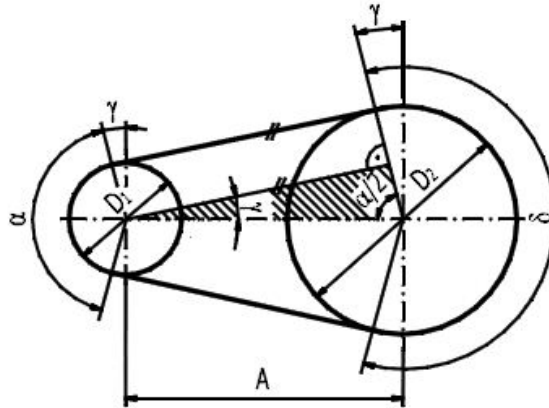
Uzavřenou délku řemene spočítáme geometrickým výpočtem. Jako první si určíme úhel opásání hnací řemenice.

$$\alpha = 2 \cdot \cos^{-1} \left( \frac{D_2 - D_1}{2 \cdot A} \right) = 2 \cdot \cos^{-1} \left( \frac{315 - 132}{2 \cdot 500} \right) = 158,9^\circ \quad [24] \quad 4.7$$

$$\gamma = 90 - \left( \frac{\alpha}{2} \right) = 90 - \left( \frac{158,9}{2} \right) = 1,113 \quad [28] \quad 4.8$$

$$L_p' = 2 \cdot A \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + \frac{\pi}{2} (D_1 + D_2) + \frac{\pi \gamma}{180} (D_2 - D_1) =$$

$$= 2 * 500 * \sin \frac{158,9}{2} + \frac{\pi}{2} (132 + 315) + \frac{\pi * 1,113}{180} (315 - 132) = 1688,8 \text{ mm} \quad [24] \quad 4.9$$



Obrázek 24 Schéma řemenice [24]

Průřez řemene	Výpočtové délky $L_p$ [mm] klínového řemene
Z	400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 1800, 2000, 2240, 2500
A	560, 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 1800, 2000, 2240, 2500, 2800, 3150, 3550, 4000
B	800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 1800, 2000, 2240, 2500, 2800, 3150, 3550, 4000, 4500, 5000, 5600, 6300
C	1800, 2000, 2240, 2500, 2800, 3150, 3550, 4000, 4500, 5000, 5600, 6300, 7100, 8000, 9000, 10000,
D	3150, 3550, 4000, 4500, 5000, 5600, 6300, 7100, 8000, 9000, 10000, 11200, 12500, 14000
E	4500, 5000, 5600, 6300, 7100, 8000, 9000, 10000, 11200, 12500, 14000, 16000, 18000

Tabulka 8 Normalizované délky klínového řemene [24]

Z tabulky 8 jsme zvolili normalizovanou délku řemenu naší velikosti 1800mm. Nyní je třeba přepočítat skutečnou osovou vzdálenost:

$$A_{sk} = \frac{1,04 * L_p - \frac{\pi}{2} (D_1 + D_2) - \frac{\pi \gamma}{180} (D_2 - D_1)}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} =$$

$$= \frac{1,04 * 1800 - \frac{\pi}{2} (315 + 132) - \frac{\pi \gamma}{180} (315 - 132)}{2 \sin \frac{158,9}{2}} = 593,2 \text{ mm} \quad [24] \quad 4.10$$

Uvedené výpočty jsou pouze informativní vypočtené za účelem představy, konkrétní řešení je nejlepší projednat s prodejcem řemenů, který nám navrhne ideální řešení zpracované na programu vytvořeném výrobcem.

#### 4.6.4 Dimenzování přívodního vodiče ke generátoru

Přívodní kabel ke generátoru je vodič, kterým bude vyveden výkon z generátoru k rozvaděči. Jako první je nutné stanovit dovolené zatížení vodiče, to stanovíme dle vztahu 4.11:

$$I_z = \frac{P}{\sqrt{3}U \cos\varphi \eta} = \frac{5500}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,95 \cdot 0,86} = 9,72 \text{ A} \quad [19] \quad 4.11$$

$$I_n = \frac{I_z}{k_1} = \frac{9,72}{1,04} = 9,34 \text{ A} \quad [19] \quad 4.12$$

kde  $k_1$  je přepočítávací součinitel pro odlišnou teplotu vzduchu ([20] tabulka 37.), pro nás jsem zvolil teplotu okolního vzduchu  $\vartheta_0=25^\circ\text{C}$  pro max. dovolené oteplení vodiče  $\vartheta_z=70^\circ\text{C}$ .

$I_n$  je dovolený proud hliníkovým vodičem uloženým ve vzduchu s izolací PVC pro průřez  $2,5 \text{ mm}^2$

Na základě uložení E a proudu generátoru jsem zvolil vodiče AYKY  $3 \times 2,5 \text{ mm}^2$ . Hliníkové jádro jsem zvolil kvůli jeho ceně.

#### 4.6.5 Dimenzování vodičů podle úbytku napětí

Aby byl vodič správně dimenzován, musí se úbytek napětí pohybovat v hodnotách  $\pm 5\%$   $U_n$ . Pro výpočet úbytku je nejprve nutné vypočítat odpor vodiče a jeho reaktanci. Odpor vodiče se počítá podle známého vztahu 1.6:

$$R = \frac{l}{s} \cdot \rho = \frac{15}{2,5} \cdot 0,029 = 0,174 \Omega \quad [19] \quad 4.13$$

kde  $R$  je elektrický odpor vodiče

$s$  je průřez vodiče [ $\text{mm}^2$ ]

$l$  je délka vodiče v [m]

$\rho$  je měrný elektrický odpor vodiče [ $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ]

Výpočet reaktance vodiče je dán součinem měrné reaktance vodiče a jeho délky.

$$X = x_R \cdot l = 0,05 \cdot 0,015 = 0,75 \cdot 10^{-3} \Omega \quad [19] \quad 4.14$$

kde  $X$  je reaktance vodiče

$x_R$  je měrná reaktance vodiče, která je pro nn rozvody  $0,05 \Omega/\text{km}$  [19]

$l$  je délka vodiče

Nyní můžeme vypočítat úbytek napětí dle vztahu 4.15,

$$\begin{aligned} \Delta U &= R \cdot I_z \cdot \cos\varphi + X \cdot I_z \cdot \sin\varphi = \\ &= 0,174 \cdot 9,72 \cdot 0,95 + 0,75 \cdot 10^{-3} \cdot 9,72 \cdot 0,95 = 1,61 \text{ V} \quad [19] \quad 4.15 \end{aligned}$$

a potom ho vyjádříme procentuelně dle vztahu 4.16:

$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta U \cdot 100}{U} \cdot \sqrt{3} = \frac{1,61 \cdot 100}{400} \cdot \sqrt{3} = 0,7\% < 5\% \quad [19] \quad 4.16$$

Jak je vidět z výpočtu nahoře, vodič CYKY 3x2,5 mm<sup>2</sup> vyhověl kontrole na úbytek napětí. Úbytek zde dosahuje hodnoty 0,7%, což je menší než 5% a vodič prošel zkouškou na úbytek napětí.

#### 4.6.6 Kontrola na tepelný účinek zkratových proudů

U všech vodičů je potřeba provést tuto kontrolu, jelikož je zde reálná možnost, že se na vodičích objeví zkratový proud. V případě špatného dimenzování by mohlo dojít k ohřátí vodiče nad maximální hodnotu teploty izolace a jejímu následnému roztavení. Základním parametrem při návrhu je hodnota počátečního zkratového proudu. Další veličinou je celková impedance kabelu,

$$|Z_k| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,174^2 + (0,75 \cdot 10^{-3})^2} = 0,174 \Omega \quad [19] \quad 4.17$$

a počáteční rázová hodnota se pak spočítá podle vztahu 1.8:

$$I''_K = k \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} |Z_k|} = 1 \frac{1,1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0,174} = 1,456 \text{ kA} \quad [19] \quad 4.18$$

kde k je součinitel zkratu a pro třífázový zkrat je 1 [19]

c je napěťový součinitel [20]

ekvivalentní oteplovací proud se vypočte vynásobením rázového zkratu přepočítávacím součinitelem zohledňujícím dobu zkratu podle vztahu 4.19,

$$I_{ke} = k_e \cdot I''_K = 1,50 \cdot 1,456 \cdot 10^3 = 2,184 \text{ kA} \quad [19] \quad 4.19$$

výpočet minimálního průřezu je dán vztahem 4.20:

$$S_{min} = \frac{I_{ke} \sqrt{t_k}}{\sqrt{\frac{c_0 (\vartheta + 20) \cdot (\vartheta + \vartheta_k)}{\rho_{20} \cdot (\vartheta + \vartheta_1)}}} = \frac{2,184 \cdot 10^3 \sqrt{0,1}}{\sqrt{\frac{2,417(228+20) \cdot \ln \frac{(228+160)}{228+90}}{0,02941}}} = 10,846 \text{ mm}^2 \quad [19] \quad 4.20$$

kde S<sub>min</sub> je minimální průřez vodiče [mm<sup>2</sup>]

t<sub>k</sub> je doba zkratu [s] (viz. tab.21 [2])

c<sub>0</sub> je specifické teplo materiálu [J/cm<sup>3</sup>/°C] (viz. tab.21 [19])

ϑ je fiktivní teplota materiálu [°C] (viz. [2])

ρ<sub>20</sub> je specifický odpor materiálu při 20 °C [Ω mm<sup>2</sup>/m] (viz. tab.19 [19])

ϑ<sub>k</sub> je nejvyšší dovolená teplota při zkratu [°C] (viz. tab.37 [19])

ϑ<sub>0</sub> je nejvyšší dovolená provozní teplota [°C] (viz. tab.37 [19])

Bohužel mnou zvolený vodič 3x2,5mm<sup>2</sup> nevyhověl minimálnímu průřezu pro tepelné účinky zkratu v obvodu a proto musím zvolit průřez vyšší hodnoty než 10,846 mm<sup>2</sup> a to 3x16mm<sup>2</sup>.

## 4.7 Pohony ovládacích prvků

Díky automatizaci MVE bude zapotřebí nainstalovat několik motorů na ovládací prvky. První bude regulační uzávěr přivaděče, který zajistí přirozený průtok korytem a hlavně maximální využití průtoku v řece elektrárnou. Zde jsem zvolil servomotor dodávaný firmou Techneau ČR s označením SA05 s příkonem 0,37kW, jehož technické parametry jsou:

Napájení:	400 V/50 Hz, jmenovitý proud 1,5A
Ovládání:	s regulací otáček a koncovými spínači
Motor:	trojitá tepelná ochrana izolace třídy F
Ochrana:	ochrana proti vnitřní kondenzaci vody je zajištěna regulovaným ohříváním
Jištění:	IP 68 (72 hodin pod hladinou vody 5 metrů)
Teplota:	-25 °C až +75°C
Vybavení:	vizuální indikátor, kolo pro manuální ovládání

Druhý motor bude zapotřebí pro regulaci klapky otáčecího kola turbíny, který bude pracovat přes hydraulický systém. Tady jsem zvolil trojfázový asynchronní motor s příkonem 0,25 kW od firmy siemens s typovým označením 1LA7063-2AA1x se jmenovitým proudem 0,68A při 400V.

## 4.8 Stavební řešení MVE

V objektu bývalo dříve nainstalováno vodní kolo a v celém objektu není vytvořeno zázemí pro MVE, bude zde zapotřebí provést mnoho drobných stavebních úprav. Celé schéma MVE je se všemi řezy vidět v příloze 1. Zmenšený pohled na řez MVE je na obrázku 25.

### 4.8.1 Přivaděč odpad

Přivaděč je dodnes pravidelně udržován, avšak jelikož budeme muset zajistit minimální přirozený průtok korytem řeky, bude nutné vybudovat vtokový práh a regulační uzávěr přivaděče a také opravit stavidlo. Česle jsou díky pravidelné údržbě ve výborném stavu a nebude na nich třeba provádět jakékoliv úpravy. Čištění česlí bude prováděno ručně, jelikož majitel pravidelně navštěvuje objekt a automatické čištění by zvýšilo investici.

Odpad bude potřeba v podstatě celý vybudovat, jelikož ho budeme vyhlubovat a je v dezolátním stavu.

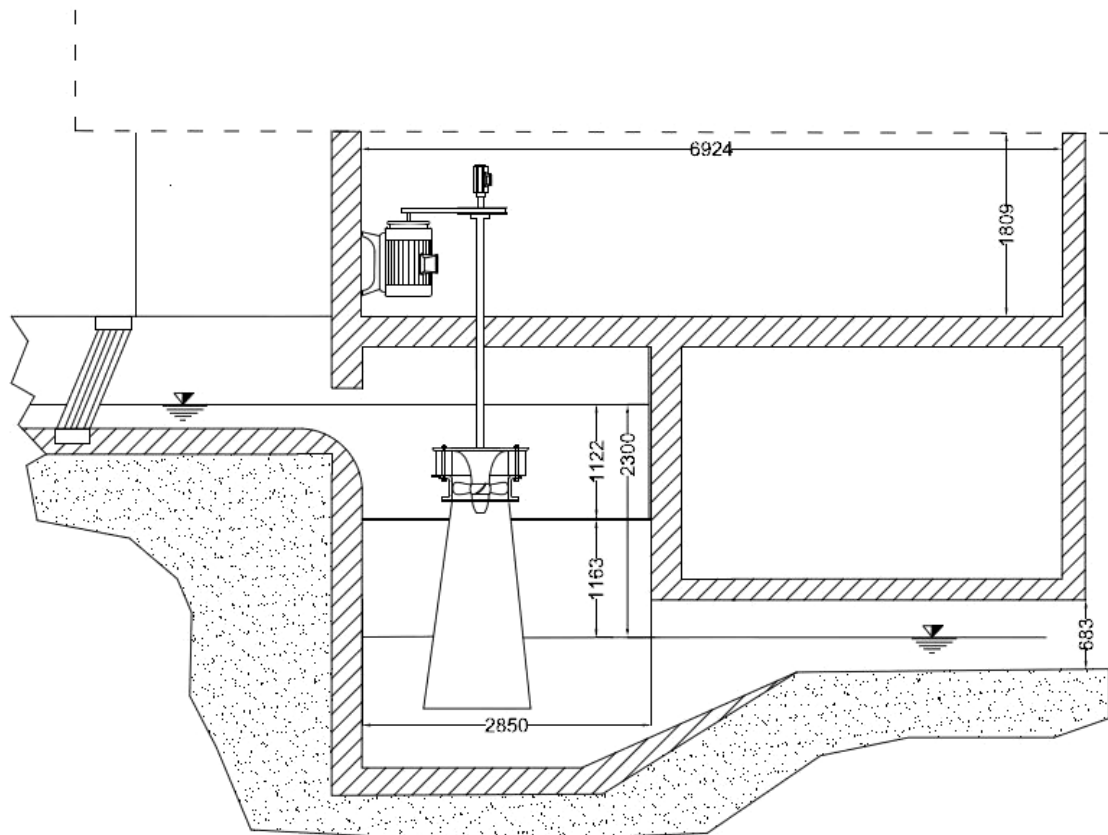
### 4.8.2 Spodní stavba

Přívod vody na turbínu bude řešen kovovou vanou, jež bude uchycena do stávající stavby. Pod vanou bude nutné vybudovat vývařiště pod savkou. Konkrétní uchycení vany na budovu a další stavební úpravy bude již konkrétně řešit stavební dokumentace.

### 4.8.3 Horní stavba

V horní části budovy bude potřeba vybudovat zázemí pro strojovnu, prostor byl dříve využíván jako sklad materiálu, proto zde nejsou žádné el. obvody krom světelného. Hlavní stavební úpravou bude příprava pro vyvedení hnací hřídele turbíny a hřídele pro ovládání opatek turbíny. Další bude vytvoření zázemí pro bezpečnou obsluhu strojů a zařízení. Poslední bude

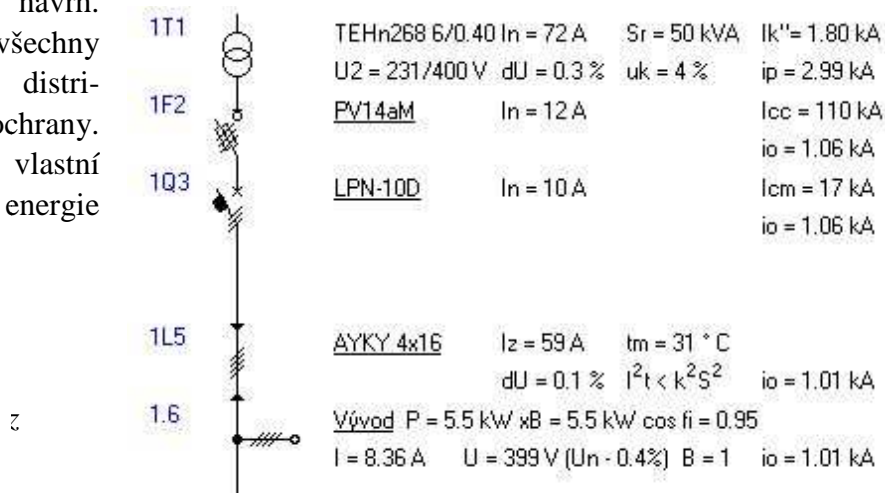
příprava pro vyvedení výkonu z generátorů a kompletních rozvodů včetně rozvaděče.



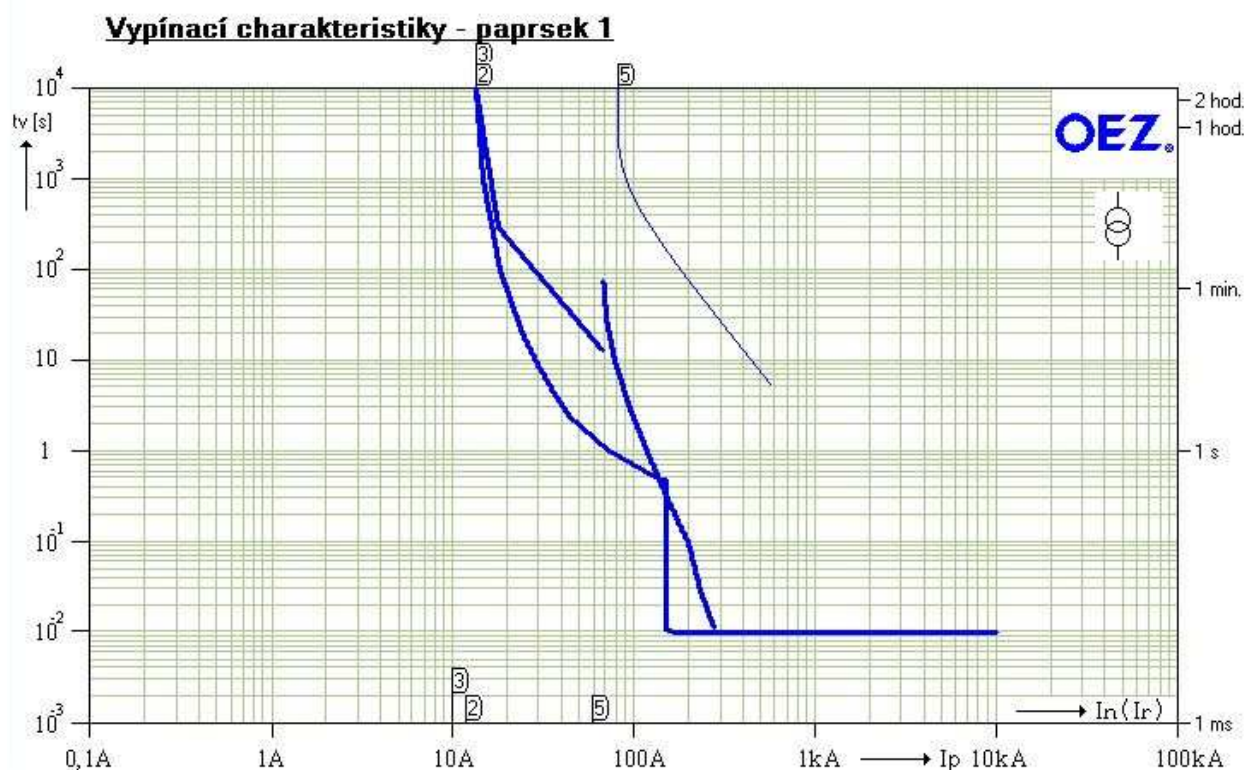
Obrázek 25 Schéma MVE-řez budovou

## 4.9 Návrh připojení MVE na distribuční síť

Pro dimenzování celého připojení jsem využil program SICHR od firmy OEZ, od jejichž výrobky také použiji pro návrh. Důležité také bylo splnit všechny podmínky provozovatele distribuční sítě, co se týče ochrany. Připojení je provedeno vlastní přípojkou v místě odběru energie pro obytný objekt.







Obrázek 27 Vypínací charakteristiky ochran [32]

#### 4.9.1 Schéma rozvaděče

MVE bude připojena ve vlastním rozvaděči hned vedle rozvaděče pro obytný objekt (jedna z podmínek provozovatele distribuční sítě). Jištění a ochrana zařízení a sítě proti poruchovým stavům v distribuční síti a síti MVE je zajištěno jističem LPN-10D, pojistkami PV14aM a PV10aM a automatickým systémem s měřicím multimetrem LOVATO MDK 21.

Schéma je pouze informativní, jelikož jsou zde ještě vývody k pohonům ovládacích prvků spolu s pojistkami.

#### 4.9.1 Ochrana před nebezpečným dotykovým napětím

Ochrana osob před nebezpečným dotykovým napětím je řešena následujícími 3 body [30]:

1. 3NPE, 230/400V, 50Hz, TN-S

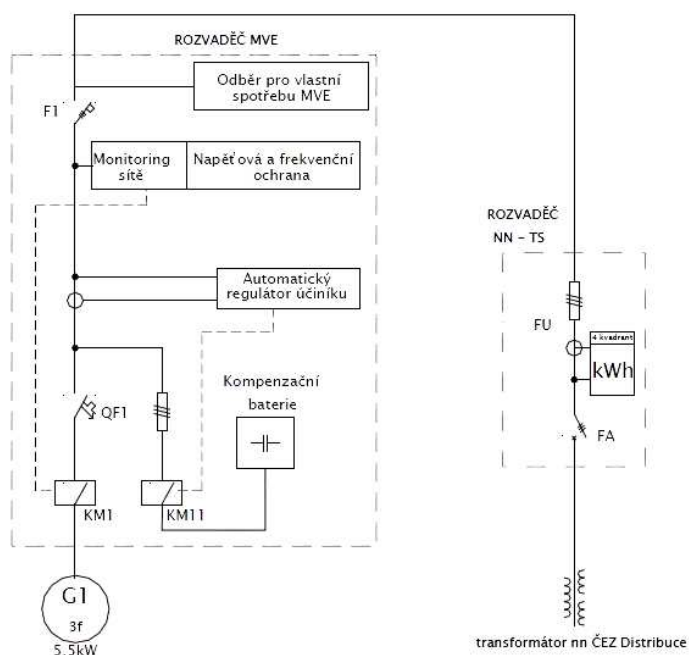
a) základní – samočinným odpojením od zdroje dle ČSN 33 2000-4-41 článku odstavce 413.1.3

b) doplňková – ochranným pospojováním dle ČSN 33 2000-4-41 článku odstavce 413.1.2

c) proudový chránič zde nemusí být instalován, jelikož v objektu je již provedena elektroinstalace se zásuvkami a světelnými obvody

2. 2=, 24VDC, PELV

a) izolací a přepážkami dle ČSN 33 2000-4-41 článku odstavce 411.1.5



Obrázek 28 Schéma vyvedení výkonu z MVE

#### 4.9.2 Návrh automatické regulace MVE

Provoz soustrojí by měl být plně automatizován a koncepce řízení navržená tak, aby bylo optimálně využito hydroenergetického potenciálu vodního toku s minimálními nároky na obsluhu a údržbu zařízení. Řízení soustrojí je realizováno na bázi programovatelného logického automatu SIEMENS, přístrojem SIMATIC S7-200 s možností vzdáleného přístupu a sběru dat po síti Internet.

Mikroprocesorový řídicí systém zajišťuje automatický provoz MVE s občasným dozorem obsluhy v optimálním režimu s ohledem na požadovaný výkon a výšku hladiny v tomto rozsahu [26]:

- automatické připojení asynchronního generátoru k síti při dosažení jmenovitých otáček
- automatické fázování (synchronizaci) generátorů
- odpojení generátorů od sítě v případě poruchy zařízení nebo poruchy sítě a odstavení turbíny
- automatické najetí turbíny do původního nastavení po odeznění poruchy
- parametrická regulace výkonu generátoru - ovládání otevření turbíny v závislosti na stavu hladiny
- zobrazení na grafickém displeji řídicího systému provozních (výkon, hladina, teploty atd.) a poruchových stavů
- záznam, paměť provozních stavů (výkon, hladina - informativně 14 dní)
- záznam, paměť poruchových stavů (99 záznamů)
- komunikace s nadřazeným PC a s dispečinkem prostřednictvím ETHERNET
- komunikace s obsluhou pomocí GSM zpráv

Pro zajištění bezpečného provozu technologie spolupracuje řídicí systém se systémem ochran popř. zastává funkci ochran pomocí měření hodnoty elektrických veličin pomocí multimetru LOVATO MDK 21:

- a) Frekvenční ochrana
- b) Přepětíová ochrana
- c) Zpětná wattová ochrana (tuto ochranu provádí přímo systém, který při záporné hodnotě výkonu automaticky odpojí MVE od sítě)
- d) Proudová nesymetrie (tuto ochranu provádí přímo systém)
- e) Nadproudová ochrana
- f) Rozdílová ochrana

## 5 ODBORNÁ DOKUMENTACE A POVOLENÍ

### 5.1 Stavební návrh a povolení

Jelikož budeme provádět stavební úpravy na objektu, bude třeba zpracovat stavební projekt se vši dokumentací a dále stavbu postoupit dále k řízení o stavebním povolení. Jelikož se jedná o malou stavbu a nebudou stavební práce rozsáhlé bez zásadních zásahů do statiky budovy neměly by náklady být příliš vysoké. Podrobnější informace lze najít ve **stavebním zákoně č.183/2006 Sb., § 93-96 a dále § 109-118.**[31]

### 5.2 Elektrický návrh

Pro povolení ke stavbě bude důležité ke stavební dokumentaci připojit dokumentaci o bezpečnosti návrhu technologie, rozvodů a ochran. Opět bude zapotřebí oslovit odborníky o zpracování dokumentace. Zde opět náklady na dokumentaci nedosáhnou vysoké ceny, jelikož se jedná o malý projekt a velkou část dokumentace vytvoří dodavatel zařízení.

### 5.3 Zhodnocení vlivu na životní prostředí

V této oblasti je nutné hlavně zajistit povolení o nakládání s vodami a povolení stavby MVE, tyto povolení upravuje **zákon o vodách č. 254/2001 Sb [31]**. Dále je nutné provést vyhodnocení dopadů na životní prostředí, tzv. EIA. Tuto povinnost upravuje **zákon č. 100/2001 Sb [31]**. Poslední povolení je nutné získat od správce toku, je to povolení pro nakládání s vodami.

Závěrem ještě uvedu nutnost získání licence pro podnikání v energetice, jež uděluje energetický regulační úřad dle **zákona č. 458/2000 Sb [31]** na základě písemné žádosti.

## 6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ MVE

Po dohodě s majitelem o náročnosti a rozsahu prací na stavbě MVE jsme došli k závěru, že velkou část prací, zvláště pak stavebních, si majitel provede sám. Díky mnoha kontaktům majitele bylo možné již s určitými výhodnými cenami počítat v ekonomickém zhodnocení. Velkou část nákladů jsme ušetřili zvolením turbíny od méně známého výrobce, který nám vyšel velmi vsťříc. Samozřejmostí bylo zhodnocení dřívějších realizací výrobce.

V tabulce 9 dole jsou vypsány náklady, pro přehlednost jsou náklady uspořádány do jednotlivých celků, celkový podrobný výpis jednotlivých nákladů bude již součástí dokumentace MVE.

Stavební náklady [Kč]		Elektrická část nákladů [Kč]	
Stavební projekt	15 000	Generátory s příslušenstvím	15 000
Stavební úpravy strojovny	30 000	Kompenzační baterie	5 000
Stavební úpravy přívodního a odváděcího kanálu	15 000	Ochran, měření a automatika	80 000
Strojní část nákladů [Kč]		Rozvaděč	25 000
Savka	60 000	Roční náklady na provoz MVE	5 000
Řemenový převod	8 000		
Regulační uzávěr přívaděče	20 000	<b>Celkem</b>	<b>381000</b>

Tabulka 9 Přehled nákladů na MVE

Celkové náklady na stavbu MVE budou 383 000 Kč, ale vlivem různých faktorů, které se mohou naskytnout při výstavbě, jsem konečnou cenu zaokrouhlil na 400 000Kč.

### 6.1 Výkupní ceny elektřiny a zelené bonusy

V tabulce 10 níže jsou vidět výkupní ceny elektřiny, pro rok 2010 bude výkupní cena 1MWh z MVE 3000Kč. Zelený bonus výrobce elektřiny dostává, i pokud ji sám spotřebuje, a proto by bylo do budoucna vhodné část vyrobené elektřiny sám spotřebovat v obytném objektu a zvýšit výnos za 1kWh na přibližně 7 Kč. Dnes ale objekt není dostatečně energeticky využíván a tak s možností prodeje přebytku energie z MVE budeme pouze uvažovat při návrhu a realizaci MVE.

Datum uvedení MVE do provozu	Celková výkupní cena	silová elektřina	zelené bonusy
	[Kč/MWh]	[Kč/MWh]	[Kč/MWh]
MVE uvedená do provozu v nových lokalitách od 1.1.2010 do 31.12.2010	3000	970	2030
MVE uvedená do provozu v nových lokalitách od 1.1. 2008 do 31.12.2009	2760	970	1790

MVE uvedená do provozu v nových lokalitách od 1.1. 2006 do 31.12.2007	2600	970	1630
MVE uvedená do provozu po 1.1. 2005 včetně a rekonstruovaná malá vodní elektrárna	2350	970	1380
MVE uvedená do provozu před 1.1. 2005	1830	970	860

Tabulka 10 Výkupní ceny energie + zelené bonusy[22]

## 6.2 Vyhodnocení návratnosti investic

Základní hodnotou pro vyhodnocení návratnosti je roční vyrobená energie a její výkupní cena. Násobek těchto hodnot nám dá roční tržby v Kč:

$$T = E \cdot C = 17,75 \cdot 3000 = 53\,250 \text{ Kč} \quad 6.1$$

Nyní je potřeba zjistit roční náklady tj. hodnotu, kterou můžeme na konci roku odepsat. Z hlediska odepisování investic, lze MVE odepisovat po dobu 12 let. Pro první rok odepisujeme 4,3% a dále už 8,7% z hodnoty investice. Celkové roční náklady jsou dány součtem ročního odpisu a nákladů na provoz MVE, případně sem patří také náklady na splácení půjčky (úrok), avšak majitel nebude na investici potřebovat půjčku.

Náklady pro první rok provozu MVE,

$$N_{roč} = N_{od} + N_{prov} = 17200 + 5000 = 22\,200 \text{ Kč} \quad 6.2$$

$$N_{od} = K_i \frac{R_{os1}}{100} = 400\,000 \cdot \frac{4,3}{100} = 17200 \text{ Kč} \quad 6.3$$

kde jsou  $N_{roč}$  roční náklady

$N_{od}$  roční odpisové náklady

$N_{prov}$  roční provozní náklady

$K_i$  investice

$R_{os1}$  roční odpisová sazba

hrubý zisk je dán odečtením ročních nákladů od tržeb,

$$Z_1 = T - N_{roč} = 53\,250 - 22\,200 = 31\,050 \text{ Kč} \quad 6.4$$

a čistý zisk potom získáme odečtením daňového zatížení z hrubého zisku, přičemž v prvních 5-ti letech jsme od zdanění osvobozeni,

$$Z_{\check{c}} = Z_1 \cdot \frac{100 - p_d}{100} = 31\,050 \frac{100 - 15}{100} = 26392,5 \text{ Kč} \quad 6.5$$

kde  $p_d$  je přímá daň, jež je u nás stanovena na 15%.

Další důležitou hodnotou je peněžní příjem, který je dán součtem čistého zisku a ročního odpisu investice,

$$P_1 = Z_{\check{c}} + N_{od} = 26\,392,5 + 17\,200 = 40\,592,5 \text{ Kč} \quad 6.6$$

výpočet aktualizovaného peněžního příjmu je dán vztahem 6.12 a představuje poměr výtěžku oproti investici v jiné oblasti. Výnosnost investic v jiných oblastí se většinou uvažuje mezi 4-7%. Já jsem zvolil 6%, jelikož je to číslo blížíící se realitě.

$$P_1^A = \frac{P_1}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^j} = \frac{40592,5}{\left(1 + \frac{6}{100}\right)^1} = 38294,8 \text{ Kč} \quad [33] \quad 6.7$$

Při výpočtu pro další roky je třeba vzít v potaz roční míru inflace, zvýšenou hodnotu ročního odpisu pro 2.- 12. rok a roční zvyšování nákladů mírou inflace. Přehledná tabulka s výnosem během 25 let je vidět v

rok	T	Nod	Nprov	Nroč	Zč	P1	P1A
[-]	[Kč/rok]	[Kč/rok]	[Kč/rok]	[Kč/rok]	[Kč/rok]	[Kč/rok]	[Kč/rok]
1	53 250	17 200	5 000	22 200	26392,5	43 593	41125
2	53 250	34 800	5 100	39 900	11347,5	46 148	41071
3	53 250	34 800	5 200	40 000	11262,5	46 063	38675
4	53 250	34 800	5 300	40 100	11177,5	45 978	36418
5	53 250	34 800	5 400	40 200	11092,5	45 893	34294
6	53 250	34 800	5 500	40 300	11007,5	45 808	32292
7	53 250	34 800	5 600	40 400	10922,5	45 723	30408
8	53 250	34 800	5 700	40 500	10837,5	45 638	28634
9	53 250	34 800	5 800	40 600	10752,5	45 553	26962
10	53 250	34 800	5 900	40 700	10667,5	45 468	25389
11	53 250	34 800	6 000	40 800	10582,5	45 383	23907
12	53 250	34 800	6 100	40 900	10497,5	45 298	22511
13	53 250	0	6 200	6 200	39992,5	39 993	18750
14	53 250	0	6 300	6 300	39907,5	39 908	17651
15	53 250	0	6 400	6 400	39822,5	39 823	16617
16	53 250	0	6 500	6 500	39737,5	39 738	15643
17	53 250	0	6 600	6 600	39652,5	39 653	14726
18	53 250	0	6 700	6 700	39567,5	39 568	13862
19	53 250	0	6 800	6 800	39482,5	39 483	13049
20	53 250	0	6 900	6 900	39397,5	39 398	12284
21	53 250	0	7 000	7 000	39312,5	39 313	11564
22	53 250	0	7 100	7 100	39227,5	39 228	10886
23	53 250	0	7 200	7 200	39142,5	39 143	10247
24	53 250	0	7 300	7 300	39057,5	39 058	9646
25	53 250	0	7 400	7 400	38972,5	38 973	9081

Tabulka 11 Rozpis výtěžku MVE za 25 let

### 6.2.1 Hodnocení investice pomocí metody čisté současné hodnoty

Tato metoda je dána součtem aktualizovaného peněžního příjmu po odečtení celkových nákladů.

$$NPV = \sum_{j=1}^n P_j^A - K_i = \sum_{j=1}^{25} P_1^A - 400\,000 = 155\,693\text{Kč} \quad [33] \quad 6.8$$

Pro vyhodnocení investice jako výnosné je nutné, aby dosahovala hodnota NPV kladných čísel  $NPV > 0$ . Velikost výhodnosti investice je poté dána rozdílem investic a hodnoty NPV. Jelikož zde vyšla NPV 155 693Kč považují investici za efektivní.

### 6.2.2 Hodnocení investice pomocí metody indexu ziskovosti

Spolu s předchozí metodou tvoří tato metoda základ v posuzování efektivnosti investice. Je dána jako podíl celkového aktualizovaného peněžního příjmu a nákladů.

$$PI = \frac{\sum_{j=1}^n P_j^A}{K_i} = \frac{\sum_{j=1}^{25} P_1^A}{400\,000} = 1,389 \quad [33] \quad 6.9$$

Pro vyhodnocení investice jako efektivní je nutné, aby byl index ziskovosti vyšší než 1 ( $PI > 1$ ). Jelikož index vyšel 1,389 hodnotím investici jako efektivní.



## 7 ZÁVĚR

Vodní energetika má v českých zemích dlouholetou tradici, bohužel v dnešní době se již nenalézají lokality vhodné pro stavbu velkých vodních děl a to hlavně z důvodů hustého osídlení České republiky a druhým problémem je síla ekologických organizací, které snižují možnost realizace větších celků takřka na jednotky procent, protože většina teoreticky vhodných lokalit se nachází v chráněných oblastech a národním parku. Co však v sobě skrývá využitelný potenciál jsou malé vodní elektrárny v oblasti výkonu do 50kW. Takřka ve většině podhůří hor v České republice byla voda využívána k pohánění technologie výroby v malých výrobních celcích, hlavně v oblasti textilního průmyslu. Vlivem ekonomických a politických změn se výroba přesunula do větších fabrik a tyto tzv. „Výrobní“ byly opuštěny. Pokud se podíváme na horních části většiny toků, nalezneme zde velké množství pozůstatků vodních děl a přivaděčů.

Problémem budování MVE v těchto místech je jejich velikost, jelikož části, které u velkých realizací tvoří malé položky, se zde stávají podstatnými. Největší problém nastává již při hledání vhodné turbíny, jelikož mnoho výrobců se výrobou takto malých soustrojí vůbec nezabývá a pokud ano, pak bývá cena natolik vysoká, že se s návratností dostáváme na velmi nízká až záporná čísla. Možným řešením je oslovení malých výrobců, kterých sice není mnoho a jejich nalezení není nejjednodušší, avšak cenově bývají dostupní a mnohdy se dostávají na velmi dobré hodnoty účinností soustrojí.

Celkově bych tedy situaci v oblasti výstavby nových zdrojů vodní energie jako velmi problematickou a do budoucna v tomto zdroji nevidím výrazné zvýšení příspěvku na výrobě energie z obnovitelných zdrojů. V oblasti ekonomie zde však vidím vhodnou investici v případě, že se jedná o realizaci v objektech, jež vlastní investor.

Část dokumentu s návrhem MVE tvoří komplexní dokument pro zhodnocení efektivnosti výstavby MVE na říčce Dědině v oblasti Kounov. Při návrhu jsem vzal v potaz možnosti majitele na maximální snížení nákladů, a to hlavně v oblasti stavebních úprav mnoha technických prací. Aby bylo možné realizaci uskutečnit, bylo nutné snížit náklady na turbínu, což se mi povedlo zajištěním soustrojí od firmy HYDROMONT DACHOVSKÝ, ohledně které jsem dostal velmi dobré reference. Celkově bych hodnotil situaci na trhu s velmi malými turbínami za složitou, jelikož nalezení dalších výrobců bylo velmi složité a ceny často nerealizovatelné. Jako generátor jsem zvolil asynchronní generátor firmy SIEMENS s označením 1LA7134-6AA6x, jejíž výrobky dosahují vysoké kvality. Jištění elektrárny a její automatizace provozu je zajištěna automatem značky SIEMENS SIMATIC S7-200, který získává informace o výstupní elektrické energii pomocí altimetru LOVATO MDK 21, jištění proti zkratovým proudům je zajištěno pojistkami firmy OEZ, která je lídrem na trhu s jisticími prvky, a to typem PV14aM a PV10aM. Pro vyvedení výkonu z generátoru jsem zvolil vodič  $4 \times 16 \text{mm}^2$  s hliníkovým jádrem s uložením na perforované látce, hliníkové jádro zde bude použito hlavně kvůli jeho ceně. Jako pohon stavidla, které bude řízené automatikou pro dosažení maximálního využití průtoku na řece, jsem zvolil servomotor dodávaný firmou TECHNEAU ČR s označením SA05, jež odolává silným nepříznivým přírodním podmínkám. Ovládání lopatek oběžného kola turbíny bude realizováno třífázovým asynchronním motorem SIEMENS s označením 1LA7063-2AA1x, který bude pohánět hydraulický systém.

Pro úplnost jsem v páté kapitole uvedl veškeré písemné náležitosti, které bude před realizací nutné vyřídit. V šesté kapitole jsem provedl zhodnocení efektivnosti investice pomocí dvou nejpoužívanějších metod metody čisté současné hodnoty NPV s výsledkem 155 693Kč a indexu ziskovosti PI s výsledkem 1,389. Návratnost investice je 9 let. Celkové náklady na výstavbu jsem zaokrouhlil kvůli možným navýšením na 400 000 Kč, při čemž nejvyšším nákladem je pořízení turbíny se vším příslušenstvím. Při návrhu MVE, která by byla realizována dodavatelskými firmami, by se cena investice mohla vyšplhat až na hodnotu přes 500 000, čímž by se návratnost prodloužila na 11 let. Jelikož při malých realizacích do 1.5 mil. korun nedá zajistit čerpání z fondů České republiky a Evropské unie, nebude zapotřebí náklady přesně rozepisovat.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] MIROSLAV HOLATA. *Malé vodní elektrárny- projektování a provoz* , Academia Praha, 2000, 271 str., ISBN 80-901985-0-3
- [2] ING. JOSEF BEDNÁŘ CSC, *Malé vodní elektrárny 2 Turbíny* ,SNTL Nakladatelství technické literatury, Praha 1989, ISBN 80-901985-0-3
- [3] MATOUŠEK ANTONÍN , *Elektrárny I*, VUT Brno, Brno 1987, 208 stran, ISBN 0-412-08541-0.
- [4] MATOUŠEK ANTONÍN , *Elektrárny IV*, VUT Brno, Brno 1979, 215 stran, ISBN 0-412-08541-0.
- [5] GABRIEL, P., ČIHÁK, F., KALANDRA, P.: *Malé vodní elektrárny. ČVUT, Praha, 1998* ISBN 0-412-08541-0.
- [6] JAROMÍR ŘÍHA A KOL., *Hydrotechnické stavby II*, VUT Brno, 2006, 103 stran, ISBN 80-901985-0-3
- [7] PETROV, G.N. *Elektrické stroje 2 :Asynchronní stroje-synchronní stroje*, Praha Academia, 1982, 80-901985-0-3
- [8] P.DUŠIČKA,P. GABRIEL,T. HODÁK, F. ČIHÁK, P.ŠULEK, *Malé vodní elektrárny*, vydavatelství JAGA, Bratislava 2003, 161 stran, ISBN 80-901985-0-3
- [9] MARIAN MICHULÍK ,*Mechanika tekutin část 11*, Žilinská universita v Žilině, Strojní fakulta, Ústav energetickéj techniky, [online] ,ISBN 0-412-08541-0, [citace 27.4.2010] dostupné z [http://fstroj.uniza.sk/web/ket/subory/pre%20studentov/mt/Mechanika\\_tekutin-cast\\_1.pdf](http://fstroj.uniza.sk/web/ket/subory/pre%20studentov/mt/Mechanika_tekutin-cast_1.pdf)
- [10] Stránky výrobce vodních strojů , ISSN 1432-0487 ,[online],[citace 13.2.2010], dostupné z <http://www.cink-hydro-energy.com>
- [11] VIKTOR LAIKA Z OLBRAMIC , *Abeceda malých vodních pohonů*, ISSN 1432-0487, [online],[citace 08.3.2010], dostupné z <http://mve.energetika.cz/>
- [12] Stránky výrobce turbín, ISSN 1432-0487, ,[online],[citace 13.4.2010],dostupné z [www.tridentes.com/energy/images/diag\\_francis.jpg](http://www.tridentes.com/energy/images/diag_francis.jpg)
- [13] LIBOR NOVÁK, *Vodní energie (I)- zdroje vodní energie*, [ONLINE],vydáno 6.11.2006, [CITACE 1.4.2010], ISSN 1432-0487 , dostupné z <http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3645>
- [14] Roční zpráva o provozu ES ČR 2007 - ERÚ, ISSN 1432-0487 , ,[online], [citace 12.4.2010], dostupné z [http://www.eru.cz/user\\_data/files/statistika\\_elektro/rocni\\_zprava/2007/](http://www.eru.cz/user_data/files/statistika_elektro/rocni_zprava/2007/)
- [15] Fázování synchronního generátoru k síti , ISSN 1432-487, ,[online],[citace 12.4.2010], dostupné z [http://fei1.vsb.cz/kat453/www453/soubory/texty/ucebni\\_texty/se/cast\\_B\\_el\\_stroje/se\\_es\\_c2\\_fazovani.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat453/www453/soubory/texty/ucebni_texty/se/cast_B_el_stroje/se_es_c2_fazovani.pdf)
- [16] Vodní energie, ISSN 1432-487, ,[online],[citace 12.4.2010], dostupné z [www.ekowatt.cz/uspory/img/uvod/voda\\_02.jpg](http://www.ekowatt.cz/uspory/img/uvod/voda_02.jpg)

- [17] Nakládání s dešťovou vodou, ISSN 1432-487, ,[online],[citace 18.4.2010], dostupné z <http://www.glynwed.cz/galerie/obrazky/image.php?img=13697&x=560&y=325>
- [18] NOVOTNÝ, J. ; HYDROLOGICKÉ POMĚRY NA ŘECE DĚDINĚ
- [19] JAROSLAVA ORSÁGOVÁ, *Rozvodné zařízení*, VUT v BRNĚ, 2002, 152 STRAN, ISBN 80-901985-0-3
- [20] Distributor elektromotorů Siemens, ,[online],[citace 13.4.2010], dostupné z <http://www.elektromotory.net/elektromotor-siemens-1LA7-134-6AA6.html>
- [21] Podmínky připojení do distr. soustavy čez, ,[online],[citace 21.4.2010], dostupné z [www.dk-elvis.eu/download/5-pripojovaci-podminky](http://www.dk-elvis.eu/download/5-pripojovaci-podminky)
- [22] Materiál s rozhodnutím ERÚ o výkupních cenách a zelených bonusech, ,[online], [citace 21.4.2010], dostupné z <http://www.spvez.cz/pages/podpory.htm>
- [23] LOVATO, PDF 2009 KOMPENZACE JALOVÉ ENERGIE, [ONLINE],[CITACE 5.5.2010], dostupné z <http://podpora.lovato.cz/katalog.php?rmid=3&mid=30&tid=1>
- [24] KVĚTOSLAV KALÁB, *Návrh a výpočet řemenového převodu*, [ONLINE], TECHNICKÁ UNIVERSITA OSTRAVA,[CITACE 5.5.2010], dostupné z <http://www.347.vsb.cz/CZ/kestazeni/prirucky.asp>
- [25] SIROVÝ M., *Moderní způsoby projektování a řízení MVE*, [online], [citace 15.5.2010] , dostupné z [www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/soutez/sirovy.pdf](http://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/soutez/sirovy.pdf)
- [26] Stránky dodavatele zařízení pro automatiku MVE, ,[online],[citace 15.5.2010], dostupné z [http://www.shcontrol.cz/cz/article.asp?article\\_id=18&lang\\_id=1](http://www.shcontrol.cz/cz/article.asp?article_id=18&lang_id=1)
- [27] STRÁNKY VÝROBCE ELEKTROMOTORŮ, ISSN 1432-487, <http://www.tes.cz/>
- [28] Google map, [online], [citace 11.5.2010], dostupné z [www.google.com](http://www.google.com)
- [29] Seznam mapy,[online],[citace 11.5.2010], dostupné z [www.seznam.cz](http://www.seznam.cz)
- [30] BLAŽEK V.,*Distribuce elektrické energie*, BRNO 2001,140STRAN, , ISSN 1432-0487
- [31] INFORMACE O VĚTRNÝCH A VODNÍCH ELEKTRÁRNÁCH,[ONLINE],[CITACE 21.5.2010]. <http://www.vodni-vetrne-elektrarny.cz/cz/blog/podminky-vystavby-male-vodni-elektrarny-aneb-jake-kroky-ucinit-pred-zapocetim-stavby-17>
- [32] PROGRAM SICHR, výpočtový program výrobce ocran O EZ
- [33] Zuzana Kordíková, *Metody hodnocení investičních variant*, poslední aktualizace 25.5.2010, [online], [citace 25.5.2010].Dostupné z [st.vse.cz/~XHORV11/PE301/investice.DOC](http://st.vse.cz/~XHORV11/PE301/investice.DOC)