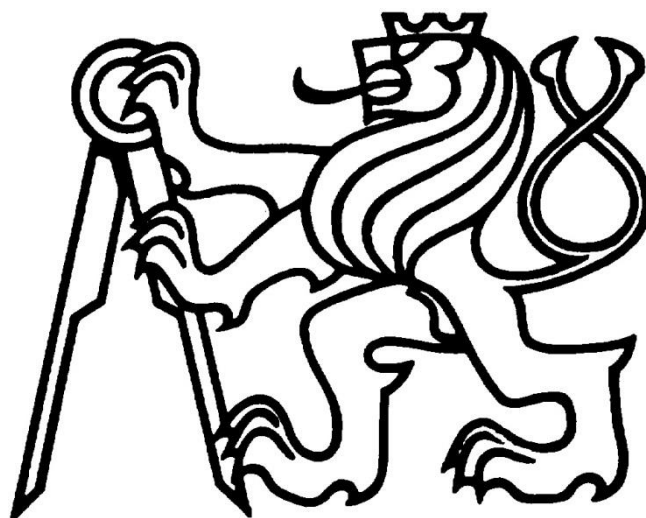


**České vysoké učení technické v Praze**  
**Fakulta elektrotechnická**  
**Katedra elektroenergetiky**



**Ad fontes, malá vodní elektrárna pro vlastní spotřebu**

**Bakalářská práce**

**Zbyněk Svoboda**

**Obor studia: Aplikovaná elektrotechnika**

**Vedoucí práce: Ing. Petr Nemšovský**

**© 2018 ČVUT v Praze**



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Svoboda** Jméno: **Zbyněk** Osobní číslo: **457063**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Ad fontes, malá vodní elektrárna pro vlastní spotřebu**

Název bakalářské práce anglicky:

**Ad fontes, a small hydropower plant for own consumption**

Pokyny pro vypracování:

Cíle práce:

- 1) Popis objektu v současném stavu
- 2) Legislativní požadavky na povolení stavby
- 3) Technické řešení
- 4) Finanční rozvaha

Seznam doporučené literatury:

1. DUŠIČKA, P. GABRIEL, P. a kol. Malé vodní elektrárny. Bratislava: Jaga group, v.o.s., 2003. ISBN 80-88905-45-1.
2. HOLATA, editor: M. GABRIEL, P: Malé vodní elektrárny. Academia, 2002. ISBN 978-80-200-0828-2
3. CÍSAŘOVÁ, E. Malé vodní elektrárny, právní předpisy. Redakce knihovnice v Československém středisku výstavby a architektury, 1984
4. CENEK, M. a kol. Akumulátory a baterie. Praha: STRO.M, 1996
5. MAREK, J. STEHLÍK, L. Hermetické akumulátory v praxi. Praha: INEL, 2004. ISBN 80-86230-34-1

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Petr Nemšovský, ABB**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **13.02.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **25.05.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2019**

Ing. Petr Nemšovský  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta



## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 24. května 2018

---

Zbyněk Svoboda



## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Nemšovskému za vstřícný přístup, poskytnuté rady a připomínky k práci. Dále bych rád poděkoval Asociaci TOM za možnost podílení se na realizaci projektu Ad fontes a především své rodině za veškerou podporu.





# **Ad fontes, malá vodní elektrárna pro vlastní spotřebu**

## **Anotace**

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem domácí vodní elektrárny. První část je postavena na teoretické bázi a je věnována vodní energii, rozdělení vodních elektráren a částem nezbytným k jejich provozu. Druhá část je zaměřena prakticky a je určena ke konkrétnímu návrhu domácí vodní elektrárny. Obsahuje popis objektu Oparenského mlýna v současném stavu, objasňuje legislativní požadavky na povolení vodní stavby. Hlavní úsek druhé části se zabývá technickým řešením návrhu osvětlení funkce jednotlivých komponentů. Poslední část nastiňuje finanční rozvahu včetně návratnosti nákladů na realizaci projektu.

**Klíčová slova:** Ad fontes ,voda, energie, vodní stavba, vodní mlýn, vodní elektrárna, domácí elektrárna, životní prostředí



# **Ad fontes, a small hydropower plant for own consumption**

## **Annotation**

This bachelor thesis deals with a design of a home hydropower plant. The first part is built on a theoretical basis and is devoted to water energy, the classification of hydropower plants and the parts necessary for their functionality. The second part is focused on the practical design of the home hydropower plant. It contains a description of the Oparno Mill in its present condition, clarifying the legislative requirements for the approval of the home hydropower plant. The main part of the second portion deals with the technical design solution and explanation of the used components' functions. The last part presents the financial balance sheet, including the return-on-investments on the project realization costs.

**Keywords:** Ad fontes, water, energy, water construction, watermill, hydropower plant, home power plant, environment



# Obsah

## Seznam použitých symbolů, zkratek a veličin

<b>1 Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Cíl práce .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Uvedení do problematiky vodních elektráren .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Vodní energie .....</b>	<b>3</b>
2.1.1 Historie získávání energie z vody .....	4
2.1.2 Vodní energie v ČR .....	4
<b>2.2 Vodní elektrárny .....</b>	<b>5</b>
2.2.1 Dělení vodních elektráren .....	5
2.2.1.1 Podle instalovaného výkonu.....	5
2.2.1.2 Podle získaného spádu .....	6
2.2.1.3 Podle velikosti spádu.....	7
2.2.1.4 Dle připojení k síti.....	7
2.2.2 Složení vodních elektráren.....	8
2.2.2.1 Turbína .....	8
2.2.2.2 Generátor elektrické energie .....	10
2.2.2.3 Silnoproudá zařízení.....	10
2.2.2.4 Přívod a odvod vody .....	10
2.2.3 Domácí vodní elektrárny .....	11
<b>3 Popis objektu v současném stavu.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Budovy.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2 Náhon .....</b>	<b>13</b>
3.2.1 Obecný popis .....	13
3.2.2 Akumulační nádrž.....	16
3.2.3 Mlýnské kolo .....	18

<b>3.3</b>	<b>Spotřeba elektrické energie.....</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>Legislativní požadavky na povolení stavby .....</b>	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>Technické řešení .....</b>	<b>25</b>
<b>5.1</b>	<b>Vodní energie.....</b>	<b>25</b>
5.1.1	Vhodný zdroj .....	25
5.1.2	Instalovaný výkon.....	25
5.1.2.1	Maximální výkon.....	29
5.1.2.2	Skutečný výkon .....	29
5.1.3	Mechanické převody.....	30
5.1.4	Generátor .....	31
5.1.5	Elektrická energie na výstupu generátoru.....	34
5.1.5.1	Maximální elektrický výkon.....	34
5.1.5.2	Předpokládaný elektrický výkon .....	34
<b>5.2</b>	<b>Další komponenty.....</b>	<b>35</b>
5.2.1	Regulátor dobíjení akumulátorů .....	35
5.2.2	Akumulátory .....	35
5.2.2.1	Výpočet celkové ceny akumulátorů.....	37
5.2.2.2	Konečný výběr typu akumulátorů.....	39
5.2.3	Balancér pro akumulátory.....	39
5.2.4	Měnič napětí (střídač).....	41
5.2.5	Pohon stavidla.....	43
5.2.6	Dimenzování přívodního kabelu z akumulátorů do hlavní domovní skříně (HDS).....	45
5.2.7	Plovákový spínač .....	48
5.2.8	Stykače.....	49
<b>5.3</b>	<b>Propojení a řízení provozu MVE.....</b>	<b>51</b>
5.3.1	Propojení jednotlivých komponentů.....	51

5.3.2	Vlastní spotřeba MVE .....	54
5.3.3	Řízení provozu MVE .....	54
<b>5.4</b>	<b>Jištění MVE .....</b>	<b>56</b>
5.4.1	Vývod MVE.....	58
5.4.2	Pohon stavidla.....	59
5.4.3	Řídicí obvody.....	60
<b>5.5</b>	<b>Uzemnění MVE .....</b>	<b>60</b>
<b>6</b>	<b>Finanční rozvaha.....</b>	<b>61</b>
<b>6.1</b>	<b>Náklady na komponenty a související práce.....</b>	<b>61</b>
<b>6.2</b>	<b>Zdroje financování .....</b>	<b>62</b>
<b>7</b>	<b>Výsledky a diskuse .....</b>	<b>63</b>
<b>7.1</b>	<b>Vyrobená elektrická energie .....</b>	<b>63</b>
<b>7.2</b>	<b>Finanční návratnost projektu .....</b>	<b>64</b>
7.2.1	Výhodnost investice.....	66
<b>8</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>67</b>
	Seznam použité literatury.....	68
	Přehled grafů .....	72
	Přehled obrázků .....	72
	Přehled tabulek .....	73
	Seznam příloh.....	74
	<b>Přílohy</b>	

## Seznam použitých symbolů, zkratek a veličin

Zkratka	Název/Popis
MVE	malá vodní elektrárna
J	joule; jednotka práce
EJ	exajoule; $1 \text{ EJ} = 10^{18} \text{ J}$
W	watt; jednotka výkonu
MW	megawatt; $1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W}$
ČR	Česká republika
ČSN	Česká státní norma
VE	vodní elektrárna
PVE	přečerpávací vodní elektrárna
$\eta$	účinnost [%]
H	spád [m]
m	metr; jednotka délky
$Q_a$	dlouhodobý průměrný průtok [ $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ ]
$P_a$	dlouhodobá průměrná roční výška srážek [mm]
$Q_M$	M – denní průtok vody [ $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ ]; M – počet dnů
$Q_N$	N – letý průtok vody [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]; N – počet let
PPO	protipovodňová opatření
$h_{st}$	výška stavidla [m]
$h_{max}$	maximální hloubka nádrže [m]
$l_n$	délka náhonu [m]
$S_n$	povrch náhonu [ $\text{m}^2$ ]
V	objem [ $\text{m}^3$ ]
$V_n$	objem náhonu [ $\text{m}^3$ ]
$\text{m}^3$	metr krychlový; jednotka objemu
A	ampér; jednotka elektrického proudu
V	volt; jednotka elektrického napětí
kWh	kilowatthodina; jednotka práce; $1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$
§	paragraf; označení části právního předpisu
Q	průtok vody [ $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ ]
$Q_n$	n denní průtok vody [ $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ ]; n – počet dnů



<b>Zkratka</b>	<b>Název/Popis</b>
BP	bakalářská práce
$\rho$	hustota vody [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]
g	tíhové zrychlení [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ]
$P_{\text{pot}}$	hydroenergetický potenciál vody (teoretický mechanický výkon) [W]
B	šířka korečku [m]
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
$Q_{\text{m}}$	maximální průtok vody [ $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
$Q_{\text{sk}}$	předpokládaný skutečný průtok vody [ $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
$P_{\text{mech1}}$	mechanický výkon na hřídeli kola – výpočet 1 [W]
$P_{\text{mech2}}$	mechanický výkon na hřídeli kola – výpočet 2 [W]
$P_{\text{mechsk}}$	předpokládaný skutečný mechanický výkon na hřídeli kola [W]
$P_{\text{mechg}}$	mechanický výkon na hřídeli generátoru [W]
$P_{\text{mechgsk}}$	předpokládaný skutečný mechanický výkon na hřídeli generátoru [W]
$V_{\text{stř}}$	volt střídavý; jednotka elektrického napětí střídavého typu
$V_{\text{ss}}$	volt stejnosměrný; jednotka elektrického napětí stejnosměrného typu
ot/min	otáčky za minutu; jednotka rychlosti otáčení
$P_{\text{el}}$	maximální elektrický výkon [W]
$P_{\text{elsk}}$	předpokládaný skutečný elektrický výkon [W]
MPPT	Maximum Power Point Tracking (přeloženo jako sledování bodu maximálního výkonu)
$P_{\text{elak}}$	maximální elektrický výkon dodávaný do akumulátorů [W]
$P_{\text{elaksk}}$	předpokládaný skutečný elektrický výkon dodávaný do akumulátorů [W]
FVE	fotovoltaická elektrárna
VRLA	ValveRegulatedLead Acid (volně přeloženo jako ventilem řízené olověné kyselinové)
AGM	AbsorbedGlass Mat (volně přeloženo jako savé skelné podložky)
$\text{LiFePO}_4$	Lithium-železo-fosfát
Ah	ampérhodina; jednotka proudové kapacity
Wh	watthodina; jednotka práce; $1 \text{ Wh} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ J}$
DPH	daň z přidané hodnoty
ks	kus, jednotka množství
Kč	koruna česká; měnová jednotka

<b>Zkratka</b>	<b>Název/Popis</b>
kA	kiloampér; jednotka elektrického proudu; $1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}$
AK	akumulátorová kombinace
Hz	hertz; frekvence
DS	distribuční soustava
DC	direct current (stejnoseměrný proud)
AC	amplifycurrent (střídavý proud)
VA	voltampér; jednotka výkonu
kg	kilogram; jednotka hmotnosti
$P_{Ms}$	výkon motoru stavidla [W]
h	hodina; jednotka času; $1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$
min	minuta; jednotka času; $1 \text{ min} = 60 \text{ s}$
HDS	hlavní domovní skříň
$\Omega \cdot \text{m}$	ohm metr; jednotka rezistivity
$\text{mm}^2$	milimetr čtvereční; jednotka plochy
I	elektrický proud [A]
U	elektrické napětí [V]
R	elektrický odpor [ $\Omega$ ]
Z	elektrická impedance [ $\Omega$ ]
$\Omega$	ohm; jednotka elektrického odporu/impedance
PLC	ProgrammableLogicController (Programovatelný logický automat)
HDR	hlavní domovní rozvodnice
ČNB	Česká národní banka
€	euro, měnová jednotka
$E_{elvm}$	Předpokládaná roční maximální využitelná energie [Wh]
$E_{elvs}$	Předpokládaná roční skutečná využitelná energie [Wh]
t	čas [h]
CF	cash flow (tok peněz)

# 1 Úvod

V dnešní době je elektrina naší nedílnou součástí. Každým dnem vzrůstají nároky na její výrobu. Přestože je Česká republika i v době své nejvyšší spotřeby jejím vývozcem, nemusí tomu tak být vždy.

Díky našemu pohodlí se se zavedenou elektrickou přípojkou a relativně stabilní dodávkou elektrické energie setkáváme i v odlehlejších končinách naší republiky. Jako v dřívějších dobách, tak i dnes téměř každý hledá cestu jak ušetřit a energetická soběstačnost, byť jen částečná, může být jednou z nich.

Tato práce je součástí velkého projektu nazvaného Ad Fontes, jehož hlavním cílem je vytvořit, realizovat a následně zajistit udržitelnost vzdělávacích výchovných programů environmentální výchovy formou spolupráce koordinátorů a lektorů všech partnerů[1]. Na tomto programu se podílejí čtyři organizace ze dvou zemí. Kromě české Asociace TOM se jedná o spolky Umweltzentrum Dresden, Erzgebirgsverein a DOMINO Soziale Projekte z německého státu Sasko. Celkové alokované náklady na projekt činí 580 097,04 €[2]. Nedílnou součástí tohoto projektu je realizace malé vodní elektrárny na jednom ze zúčastněných objektů.

Cílem této bakalářské práce je zpracování návrhu elektrické části malé vodní elektrárny (dále jen MVE), který bude dále použitý pro její uskutečnění.

Realizovaná stavba bude sloužit především ke vzdělávacím účelům v rámci projektu Ad Fontes a ke snížení energetické závislosti daného objektu.

## 1.1 Cíl práce

Vlastní cíle BP byly v oficiálním zadání uvedeny takto:

- Popis objektu v současném stavu
- Legislativní požadavky na povolení stavby
- Technické řešení
- Finanční rozvaha

Popisem objektu v současném stavu se rozumí složení jeho budov a přilehlých míst k němu patřících. Součástí je také aktuální spotřeba elektrické energie a informace o vlastním provozování.

Druhý bod zahrnuje všechny legislativní požadavky a udělená povolení pro provedení stavby MVE včetně jejich popisu a doporučeného postupu kde, jak a v jakém pořadí je nutné je zajišťovat.

Technické řešení zahrnuje kompletní návrh plánované MVE, popis navrhovaných komponentů, a výběr konkrétních výrobků spolu s propojením celého systému. Součástí technického řešení je též i návrh nového manipulačního řádu pro MVE.

Poslední bod zahrnuje okrajové nahlédnutí na finanční stránku projektu (cena jednotlivých komponentů, zdroje financování, možná finanční návratnost).

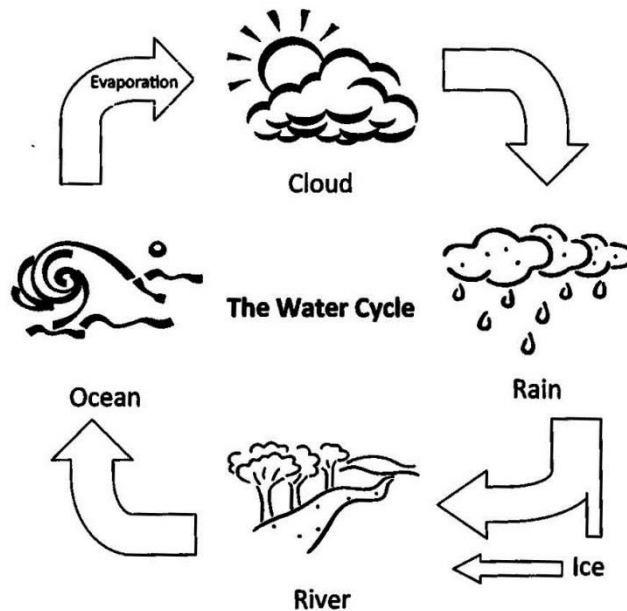
## 2 Uvedení do problematiky vodních elektráren

Voda je nedílnou součástí našeho života, bez ní bychom nemohli existovat. Vyskytuje se všude kolem nás, na obloze v mracích, v potocích, řekách, mořích a nejen tam. Má neuvěřitelný energetický potenciál, kterého by bylo škoda nevyužít.

### 2.1 Vodní energie

Voda koluje v přírodě v nekonečných cyklech, během nichž vystřídá všechna svá skupenství. Cyklus vzniká díky dopadajícímu slunečnímu záření, z jehož energie  $3,9 \cdot 10^6$  EJ dopadající na povrch Země každý rok, je kolem 22% spotřebováno pro tvorbu srážek[3].

Obr. 1. Cyklus vody v přírodě[3]



V přírodě se mechanická energie vody projevuje v několika oblastech[4].

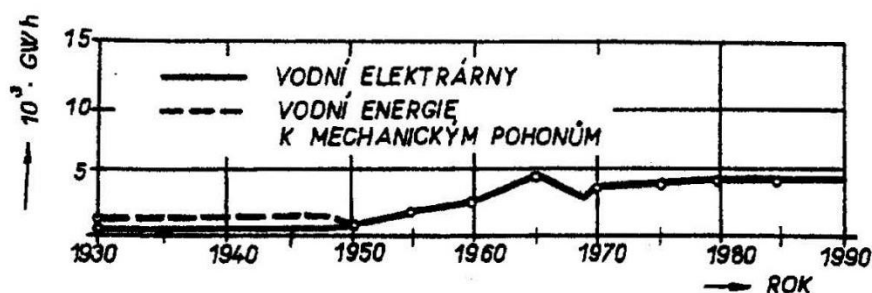
- Vodní srážky
- Energie ledovců
- Energie moří
  - Vlnění
  - Mořské proudy
  - Přílivy a odlivy
- Vodní toky

Energie vodních toků, v dnešní době nejvyužívanější, představuje jen zlomek celkové energie vody. Z celkového množství odpařené vody z povrchu Země za rok dopadne na pevninu přibližně jedna pětina, ze které se asi 68% opět vypaří, 31% oteče v řekách do moří a 1% oteče ve formě podzemních toků[5].

### 2.1.1 Historie získávání energie z vody

Vodní energie je v rámci historie lidstva nejdéle využívanou formou energie[4] a to déle než 2000 let[6] a jeneodmyslitelně spojena s vývojem civilizace[4]. Již starověcí Chaldejci využívali energii vody k potřebnému zavlažování[7]. Ačkoliv je voda čistým, relativně dostupným a především obnovitelným zdrojem energie[4], využití jejíhopotenciálu se výrazně rozvinulo až v průběhu průmyslové revoluce. Pomyslně zlomovým bodem byl rok 1827, kdy francouzský inženýr BenoitFourneyron vyvinul první vysoce účinnou turbínu ( $\eta_t = 80\%$ ) odstředivého typu[6]. Rozvoji výrazně pomohlo prosazení dostředivé Francisovy přetlakové turbíny a rovnotlaké Peltonovy turbíny v 19. století, ke kterým se na počátku 20. století přidala Kaplanova turbína rovněž přetlakového typu[8]. Všechny tři typy turbín jsou dodnes hojně využívány. Využití vodní energie pro výrobu elektrické energie doznalo nejvyššího rozvoje ve 20. století, kdy byla vybudována velká vodní díla s výkonem v řádech několika set MW [8]. V českých zemích byl zlomovým bodem rok 1950, kdy výroba elektrické energie z vody překročila její užívání pro mechanické účely [4].

Obr. 2. Výroba elektrické energie ve vodních elektrárnách do roku 1990 [4]



### 2.1.2 Vodní energie v ČR

Efektivní využívání vodní energie pro masovou výrobu elektrické energie je v České republice obtížné. Zapříčiňují to přírodní podmínky naší krajiny, kde je velká část hydroenergetického potenciálu rozptýlena na malých tocích [9].

Vyrobená elektrická energie z vody je využívána k pokrytí pološpičkové, či špičkové spotřeby elektrické energie, vzhledem k tomu, že vodní elektrárny jsou schopny reagovat na požadavek odběru téměř okamžitě[8].

Hydroenergetické možnosti našich toků však nejsou zdaleka naplněny. V dnešní době je využito jen asi 30% teoretické kapacity[9]. Teoretický potenciál nelze nikdy naplnit, jelikož využití celkového spádu je nereálné a přeměna je doprovázena ztrátami. Maximální dosažitelnou hodnotou je technický potenciál, který je v ČR přibližně 50% potenciálu teoretického[8].

## 2.2 Vodní elektrárny

Voda působí svou energií a roztáčí turbínu mechanicky spojenou s hřídelí elektrického generátoru, který mění mechanickou energii na elektrickou, dále transformovanou na potřebné parametry a odváděna do míst spotřeby [8].

### 2.2.1 Dělení vodních elektráren

Vodní elektrárny (VE) lze klasifikovat dle mnoha různých kritérií [3]. Nejčastěji se dělí podle instalovaného výkonu, získaného spádu a velikosti spádu [4]. Zajímavým aspektem dělení, který je společný pro elektrárny všech druhů, je zapojení do elektrizační soustavy.

#### 2.2.1.1 Podle instalovaného výkonu

Rozdělení VEV závislosti na instalovaném výkonu je v ČR určeno ČSN 75 0120 [10]

- Domácí  $P \leq 35 \text{ kW}$
- Malá  $35 \text{ kW} < P \leq 10 \text{ MW}$
- Střední  $10 \text{ MW} < P \leq 200 \text{ MW}$
- Velká  $200 \text{ MW} < P$

Nahradila, od 2009 neplatnou, ČSN 75 0128 [11], podle které byly MVE (v současné klasifikaci rozsahu  $35 \text{ kW} < P \leq 10 \text{ MW}$ ) děleny na:

- Vodní mikroelektrárny  $35 \text{ kW} < P \leq 100 \text{ kW}$
- Vodní minielektrárny  $100 \text{ kW} < P \leq 1 \text{ MW}$
- Průmyslové VE  $1 \text{ MW} < P \leq 10 \text{ MW}$

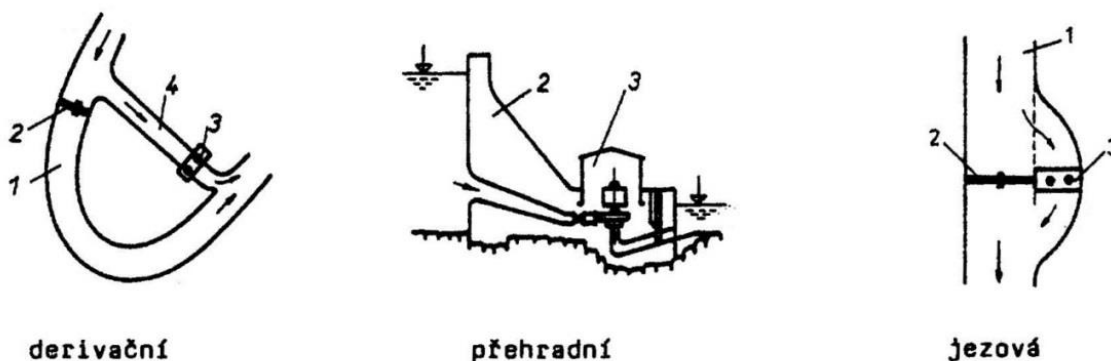
### 2.2.1.2 Podle získaného spádu

Kritérii pro rozdělení jsou způsob soustředění vodní energie a přívod vody k turbíně [4].

Vodní elektrárny je možné rozdělit na [3][4][6][8]:

- Průtočné VE
  - Zdržové – též jezové. Spád vytvořen jezem. Příkladem je MVE Troja na Císařském ostrově v Praze.
  - Derivační – Část toku je odkloněna uměle vybudovaným kanálem. Po průchodu elektrárnou je voda navracena zpět do toku.
- Akumulační VE – jsou součástí vodních nádrží. Také pomocí zbudované vyrovnávací nádrže, či ve formě kaskády (několik přehrad za sebou) stabilizují průtoky říčním korytem.
- Přečerpávací VE – speciální druh VE. Využívané pro uchování již vyrobené elektrické energie přeměnou zpět na potenciální. V současné době nemají v oblasti uchovávání velkého množství elektrické energie konkurenci. Jejich účinnost je téměř 80% [3].

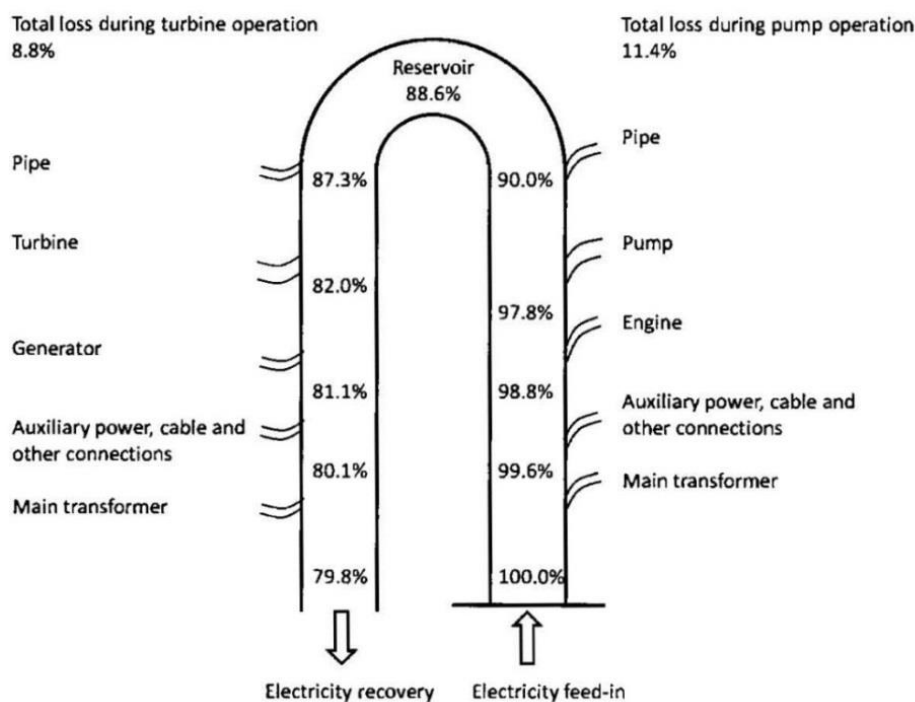
**Obr. 3. Základní varianty řešení MVE [4]**



1 – koryto vodního toku, 2 – vzdouvací zařízení, 3 – strojovna, 4 – derivační přivaděč



**Obr. 4. Účinnost PVE [3]**



Uvedené základní rozdělení nepokrývá všechny typy VE. Mohou existovat i jejich kombinace. Například derivační VE s akumulací nádrží vybudovanou na odkloněném toku. Tímto typem je elektrárna navrhovaná v této práci.

#### 2.2.1.3 Podle velikosti spádu

Významné kritérium, na jehož základě se v kombinaci s průtokem volí vhodný typ vodního motoru. MVE se dle spádu dělí na tři typy:[10]

- Nízkotlaké:  $H \leq 20$  m
- Středotlaké:  $20 \text{ m} < H \leq 100$  m
- Vysokotlaké:  $100 \text{ m} < H$

#### 2.2.1.4 Dle připojení k síti

Jedná se o dělicí aspekt společný pro všechny elektrárny. Existují pouze dvě základní možnosti.

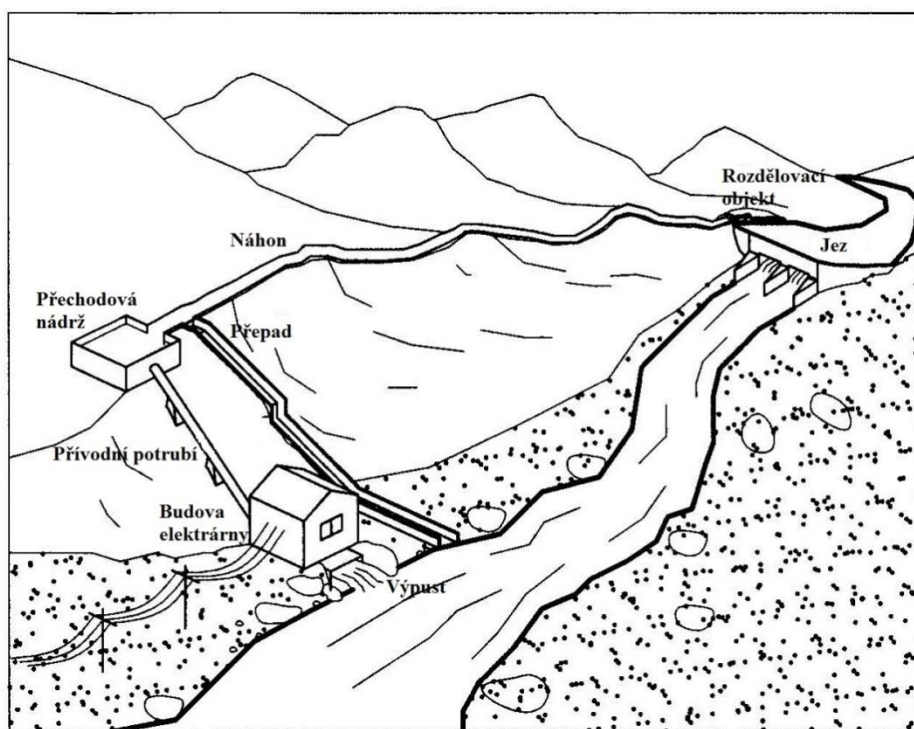
- Připojený na síť
- Autonomní (off-grid) systém

Většina elektráren v ČR je připojena na síť. Autonomní systém využívají především domácí mikroelektrárny, sloužící ke snížení spotřeby elektrické energie z distribuční sítě.

## 2.2.2 Složení vodních elektráren

Každá VE musí obsahovat hlavní části, bez kterých by nemohla fungovat [3]. Díky přírodním podmínkám nenajdeme na Zemi dvě stejná místa. Ačkoliv je principiální složení všech VE shodné, nemůžou technicky vzato existovat dvě naprosto totožné vodní elektrárny.

Obr. 5. Typická derivační elektrárna [6]



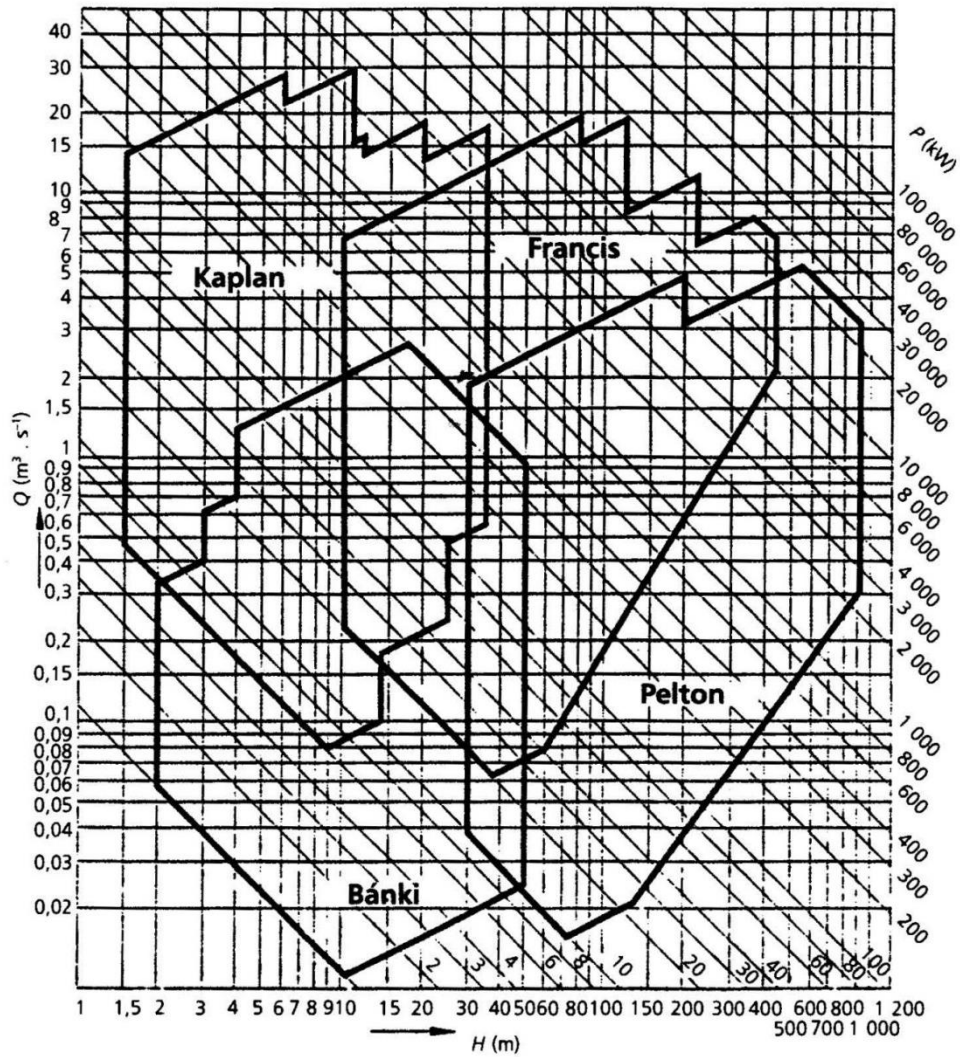
### 2.2.2.1 Turbína

Turbínu lze označit za srdce vodní elektrárny[3]. Jejím úkolem je přeměna energie vody na mechanickou rotační energii. Vodní turbíny jsou nejdokonalejší mechanické motory s účinností až 95% [8]. Jejich výstupním bodem je hřídel [3].

Vodní turbíny se dělí dle změny tlaku vody jejím průtokem.

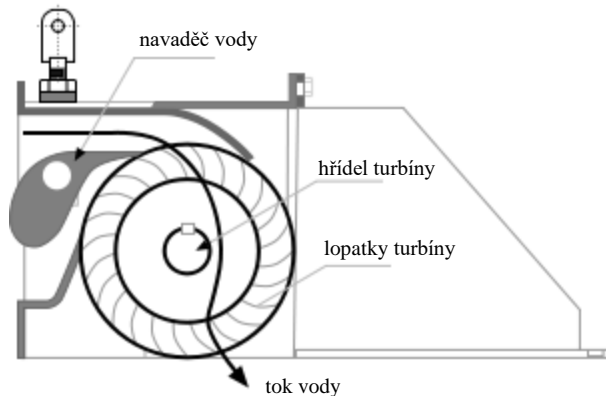
- Přetlaková turbína – „turbína, jejíž oběžné kolo přeměňuje kinetickou i tlakovou energii vody; před oběžným kolem je tlak větší, než za kolem“ [12].
  - Nejpoužívanějšími typy přetlakových turbín jsou Francisova a Kaplanova turbína[8].
- Rovnotlaká turbína – „turbína, jejíž oběžné kolo přeměňuje pouze kinetickou energii, vody; před i za oběžným kolem je stejný tlak“ [12].
  - Peltonova turbína je nejpoužívanějším představitelem rovnotlakého typu [8].

**Obr. 6. Oblasti použití základních typů turbín[8]**



Turbína Bánkiho typu je představitelem rovnotlakých turbín [4] s účinností 78 – 84% [13]. Jejím specifickým rysem je dvojnásobný průtok vody oběžným kolem[4]. Je využívána zejména malými vodními elektrárnami [8].

**Obr. 7. Principiální schéma Bánkiho turbíny [14]**



#### 2.2.2.2 Generátor elektrické energie

Primární funkcí generátoru je přeměna mechanické energie na elektrickou. Je mechanicky spojen s hřídelí turbíny, nejčastěji jsou oba komponenty na stejné hřídeli [3]. Pro případné vyrovnání různých otáček turbíny a generátoru může být vložen mechanický převod.

*Pozn.: Rozdělení a princip funkce generátoru je osvětlena v části návrhu MVE pro Oparenský mlýn.*

#### 2.2.2.3 Silnoproudá zařízení

Slouží k přenosu, transformaci, spínání a jištění vyrobené el. energie včetně zajištění vlastní spotřeby MVE [8]. Přenos výkonu z objektu zajišťuje přípojka venkovního, nebo kabelového vedení[8]. Požadovanou velikost výstupního napětí zajišťuje transformátor [3].

#### 2.2.2.4 Přívod a odvod vody

Vodní elektrárna by bez vody nemohla existovat. Možná nejdůležitější část VE je přívod a odvod vody. Přívodní část může být tvořena dvěma možnými konstrukcemi[6]:

- Přívodní kanál – nejčastěji venkovní otevřená stavba. Tento typ přívodu je využíván turbínami rovnotlakého typu. Příkladem může být akvadukt, či mlýnský náhon.
- Tlakové potrubí – uzavřené potrubí, ve kterém je voda pod určitým tlakem. Může být umístěno nad, či pod zemí. Hlavní výhodou zvyšování celkového spádu elektrárny. Kladem je též izolovanost od vnějších nečistot.

Některé typy elektráren kombinují obě možnosti. Nejdříve je voda vedena beztlakovým přívodním kanálem, přecházejícím v tlakové potrubí. Přechodnou částí bývá zpravidla vodní nádrž [6], jejíž velikost závisí na typu VE.

- Průtočná VE – přechodová nádrž je malá a slouží pouze k přechodu kanálu na potrubí.
- Akumulační VE – nádrž též slouží pro uchovávání energie vody.
- Přečerpávací VE – speciální typ akumulčních VE. Nejčastěji akumulují vodu v denních cyklech.

Odvod vody bývá nejčastěji zajištěn beztlakovým vodním kanálem [6].

### **2.2.3 Domáci vodní elektrárny**

Knižní literatura týkající se tématu domácích vodních elektráren je velmi nedostatkovým sortimentem. I přes to, že je v našich zemích nepřehledné množství míst s potenciálem jejich výstavby, je tento směr považován spíše za domácí kutilství, kterým se zabývají převážně jen webové stránky typu Abeceda malých vodních pohonů[15], či Malá voda [16].

### 3 Popis objektu v současném stavu

Objektem realizace projektu Ad Fontes se stal Oparenský mlýn. Jedná se o stavbu vodního mlýna, nyní vlastněnou Asociací TOM a využívanou pro rekreaci a v dnešní době i k vzdělávání. Může zde být ubytováno až 32 osob. Mlýn se nachází nedaleko obce Oparno v okrese Litoměřice v Libereckém kraji v těsné blízkosti soutoku Milešovského a Chotiměřského potoka.

Jeho nejstarší částí je pozdně renesanční mlýnice, z níž se kromě původního zdiva dochovala i renesanční okenní mříž. Ostatní budovy vznikly kolem roku 1830. Po nabytí mlýna do vlastnictví Asociace TOM v létě roku 2007 byl mlýn zrekonstruován a 11. června 2011 představen veřejnosti. Další zajímavostí je unikátní kořenová čistička odpadních vod[17].

**Obr. 8.**Pohled na Oparenský mlýn[17]



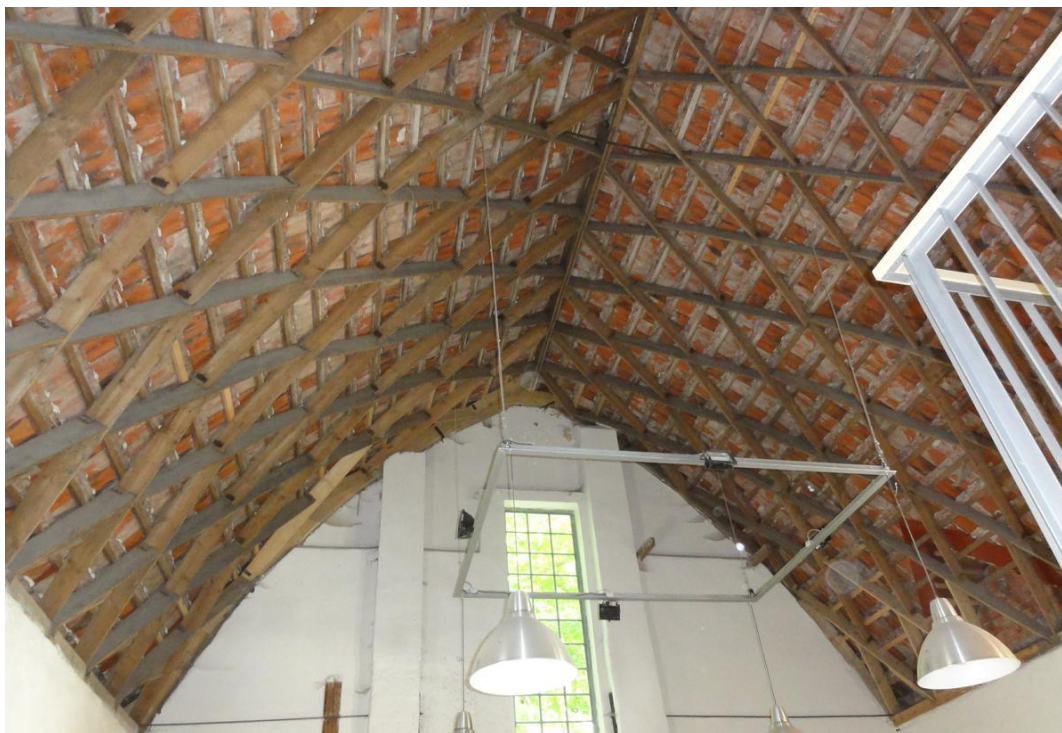
#### 3.1 Budovy

Areál mlýna tvoří celkem pět budov. Obytné stavení (objekt č. 1), mlýnice (objekt č. 2), menší obytný domek (objekt č. 3), stodola (objekt č. 4) a správcovský dům (Technický a ubytovací objekt).

Objekty č. 1 a 4 slouží k ubytování hostů.

Objekt č. 2 tvoří historická mlýnice s unikátní střešní konstrukcí, tvořenou lamelovým krovem.

**Obr. 9. Unikátní lamelový krov mlýnice[17]**



Objekt č. 3 je malý soběstačný obytný domek.

Technický a ubytovací objekt je správcovským domem, kde trvale žije rodina správce Oparenského mlýna[17].

## 3.2 Náhon

### 3.2.1 Obecný popis

O přívod vody k technologii se stará mlýnský náhon, který byl zbudován odbočkou na 5,121. říčním kilometru Milešovského potoka, do kterého se odpadní voda opět na jeho 4,866. říčním kilometru vrací. V roce 2014, v rámci projektu protipovodňových opatření pro Oparenský mlýn byl náhon zrekonstruován do současné podoby[18].

Náhon lze rozdělit na několik částí

- Nad mlýnským kolem
  - Rozdělovací objekt na Milešovském potoce
  - Koryto náhonu
  - Malá vodní nádrž pro akumulaci
  - Zakrytá část náhonu ústící na mlýnský vantrok

- Za mlýnským kolem
  - Původní zakrytý profil náhonu
  - Potrubí ústící do Milešovského potoka

Pro profil nad rozdělovacím objektem byla Českým hydrometeorologickým ústavem v Ústí nad Labem vydána následující hydrologická data (kopie originálního spisu se nachází v příloze 9)[19]:

Vodní tok	Milešovský potok
Plocha povodí A	29,12 km <sup>2</sup>
Dlouhodobá průměrná roční výška srážek na povodí P <sub>a</sub>	584 mm
Dlouhodobý průměrný průtok Q <sub>a</sub>	112 l·s <sup>-1</sup>

#### M-denní průtoky Q<sub>Md</sub>

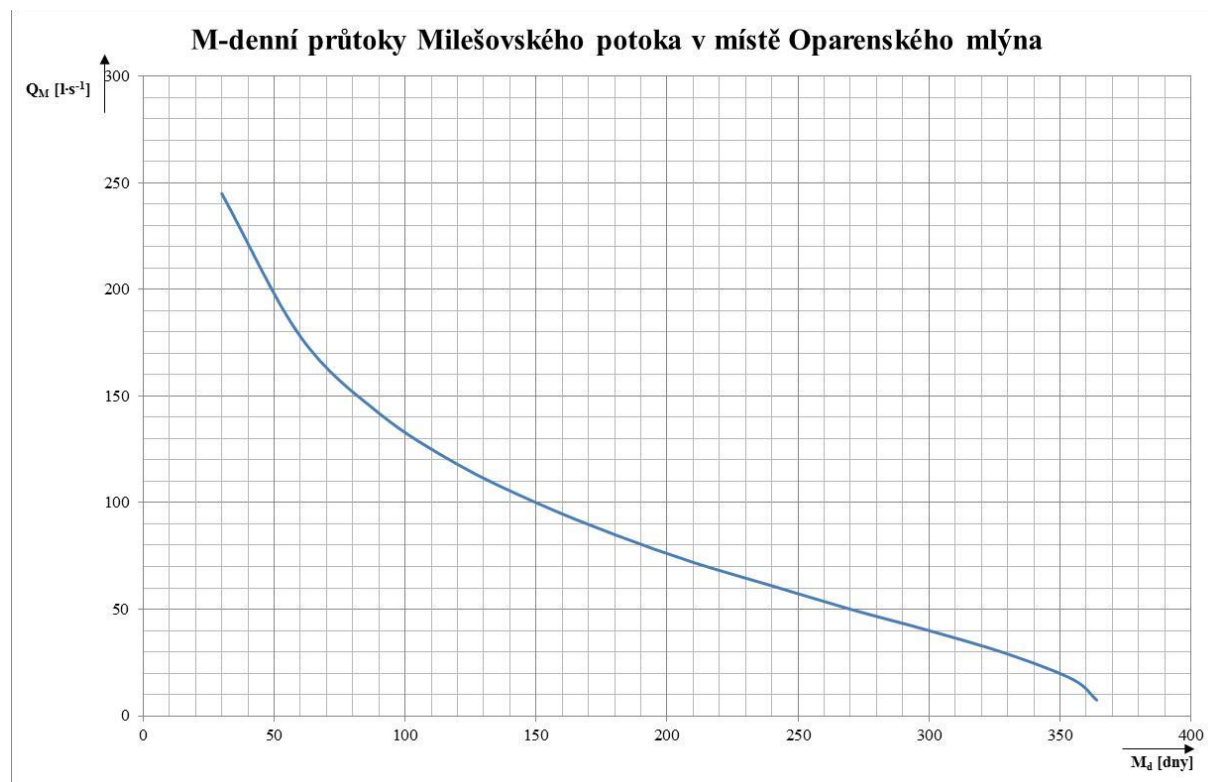
M <sub>d</sub> [dny]	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364	Třída
Q <sub>M</sub> [l·s <sup>-1</sup> ]	245	178	142	118	100	85	72	61	50	40	29	17	7,4	IV

#### N-leté průtoky Q<sub>N</sub>

N [let]	1	2	5	10	20	50	100	Třída
Q <sub>N</sub> [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	6,36	9,54	15,5	21,5	26,2	35,7	43,7	IV

**Graf 1. M – denní průtoky Milešovského potoka v místě Oparenského mlýna (autor BP)**

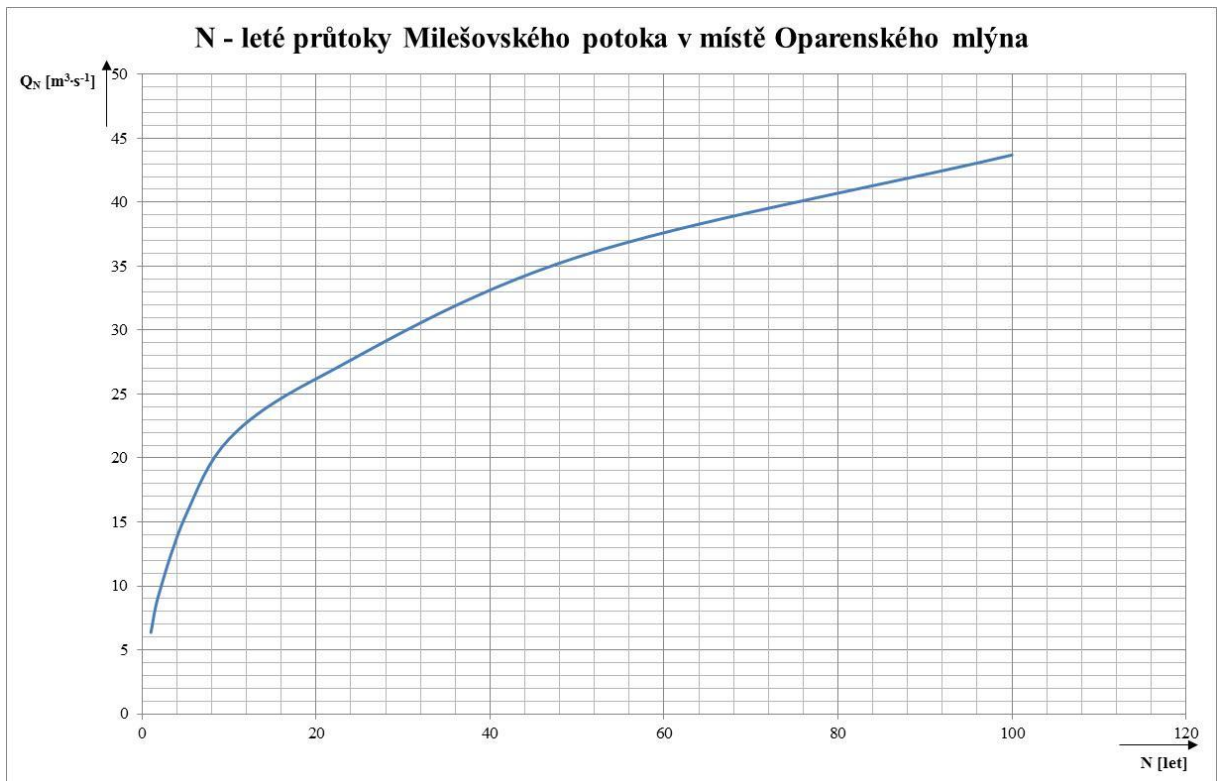
*Pozn.: Nazýváno též jako „čára trvání“*





**Graf 2. N – leté průtoky Milešovského potoka v místě Oparenského mlýna (autor BP)**

*Pozn.: Uvádí časové cykly jednotlivých průtoků (průtok jednou za N let) – opak M – denních průtoků*



**Obr. 10. Rozdělovací objekt mlýnského náhonu (autor BP)**



**Obr. 11.**Koryto mlýnského náhonu (autor BP)



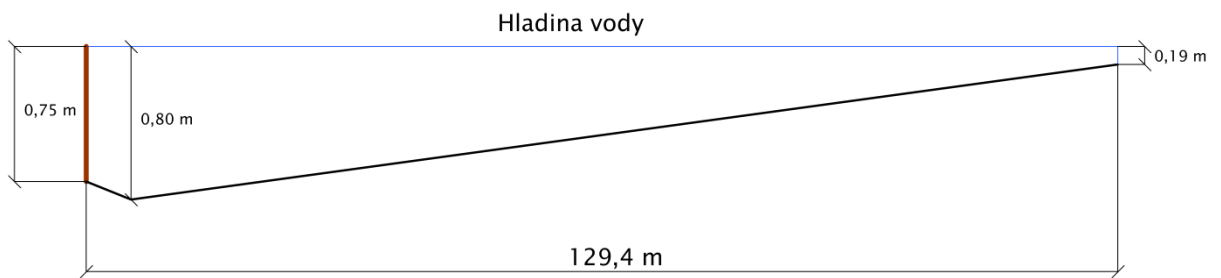
### 3.2.2 Akumulační nádrž

Mlýnský náhon disponuje malou akumulací nádrží. Celkový objem nádrže není uveden v žádné nalezené dokumentaci pro Oparenský mlýn. Její velikost byla dopočítána z projektových výkresů rekonstrukce protipovodňových opatření (dále jen PPO)[18] v kombinaci s funkcí měření délky a obsahu označeného místa, kterou poskytují mapy.cz[20].

**Tab. 1.**Hodnoty pro výpočet objemu nádrže(autor BP)

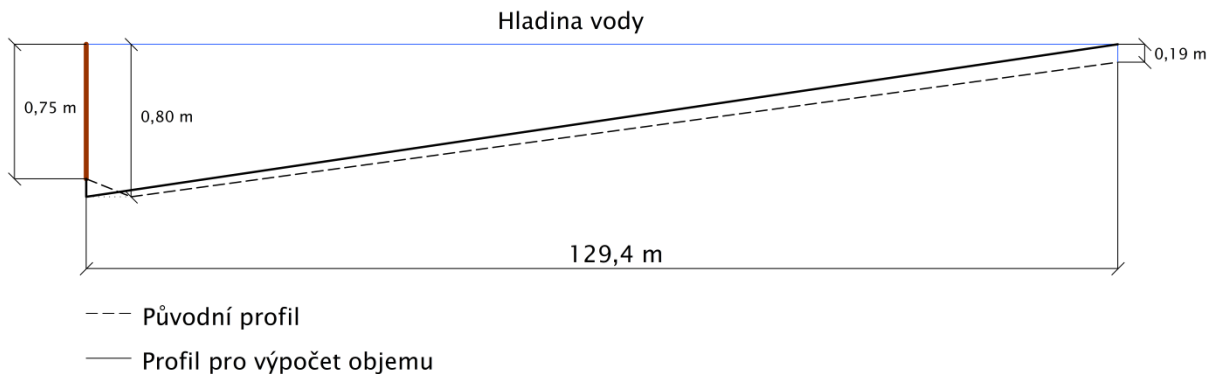
Název	Znak	Hodnota	Jednotka	Poznámka
Hrazení stavidla - horní hrana	-	243,35	m n. m.	Z výkresů
Výška stavidla	$h_{st}$	0,75	m	
Maximální hloubka nádrže	$h_{max}$	0,8	m	
Dno rozdělovacího objektu	-	243,16	m n. m.	
Délka náhonu	$l_n$	129,4	m	
Povrch náhonu	$S_n$	540	$m^2$	pomocí mapy.cz

**Obr. 12. Podélný řez mlýnského náhonu (autor BP)**



Pro zjednodušení výpočtů byl podélný řez upraven do podoby trojúhelníka. Dalším zjednodušujícím předpokladem je konstantní plocha povrchu náhonu v celé jeho hloubce. Velikost nádrže je z výše uvedených důvodů pouze orientační. Odchylka několika litrů zde nehraje významnou roli.

**Obr. 13. Upravený podélný řez mlýnského náhonu (autor BP)**



- **Výpočet objemu mlýnského náhonu**

Po zjednodušení rozměrů pro výpočty má nádrž s náhonem tvar klínu, jehož objem se vypočítá podle vzorce.

$$V = \frac{1}{2} \cdot S_p \cdot v$$

V tomto případě:

$$V_n = \frac{1}{2} \cdot S_n \cdot h_{max} = \frac{1}{2} \cdot 540 \cdot 0,8 = 216 \text{ [m}^3\text{]}$$

**Obr. 14.** Akumulační nádrž mlýnského náhonu (autor BP)



**Obr. 15.** Stavidlo nádrže mlýnského náhonu (autor BP)



### **3.2.3 Mlýnské kolo**

Součástí náhonu je dřevěné mlýnské kolo, zbudované pro demonstrativní a výukové účely. Voda je na kolo přiváděna shora pomocí dřevěných vantroků.

**Obr. 16.** Mlýnské kolo (autor BP)



### 3.3 Spotřeba elektrické energie

Oparenský mlýn disponuje třífázovým přípojovacím bodem 230/400V, osazeným 3 fázovým jističem s charakteristikou B o velikosti 3 x25 A, který zajišťuje dostatečné pokrytí aktuální spotřeby elektrické energie objektu.

Na základě knihy hostů, ve které se udává celková spotřeba el. energie za pobyt je možné sledovat přibližnou denní spotřebu mlýna. I přes to, že daný způsob je pro dané účely nepřesný (denní spotřeba správcovského domu je odhadnuta jako 1/365 jeho celkové spotřeby), dávají nám sebraná data alespoň přibližné povědomí o průběhu denních spotřeb.

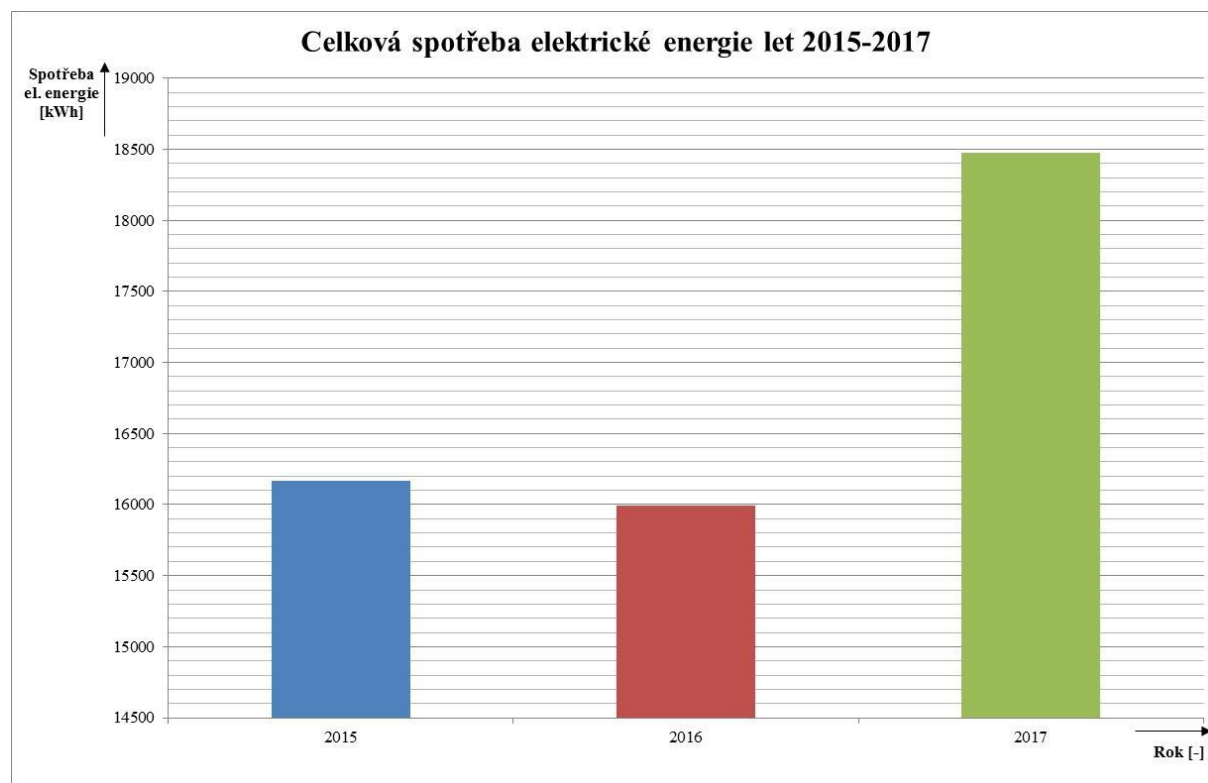
Pro vývoj spotřeby bylo sledováno období let 2015-2017.

**Tab. 2. Základní data spotřeby elektrické energie objektu(2015 –2017)(autor BP)**

Rok	2015	2016	2017
Celková spotřeba el. energie [kWh]	16 164,25	16 011,63	18 475,00
Celková spotřeba el. energie hostů [kWh]	7 915,25	6 287,01	9 061,65
Celková spotřeba el. energie objektu správce [kWh]	8 249,00	9 724,62	9 413,35
Průměrná denní spotřeba el. energie [kWh]	44,29	43,70	50,62
Průměrná denní spotřeba el. energie objektu správce [kWh]	22,60	26,57	25,79
Obsazenost areálu [dny]	207	171	203

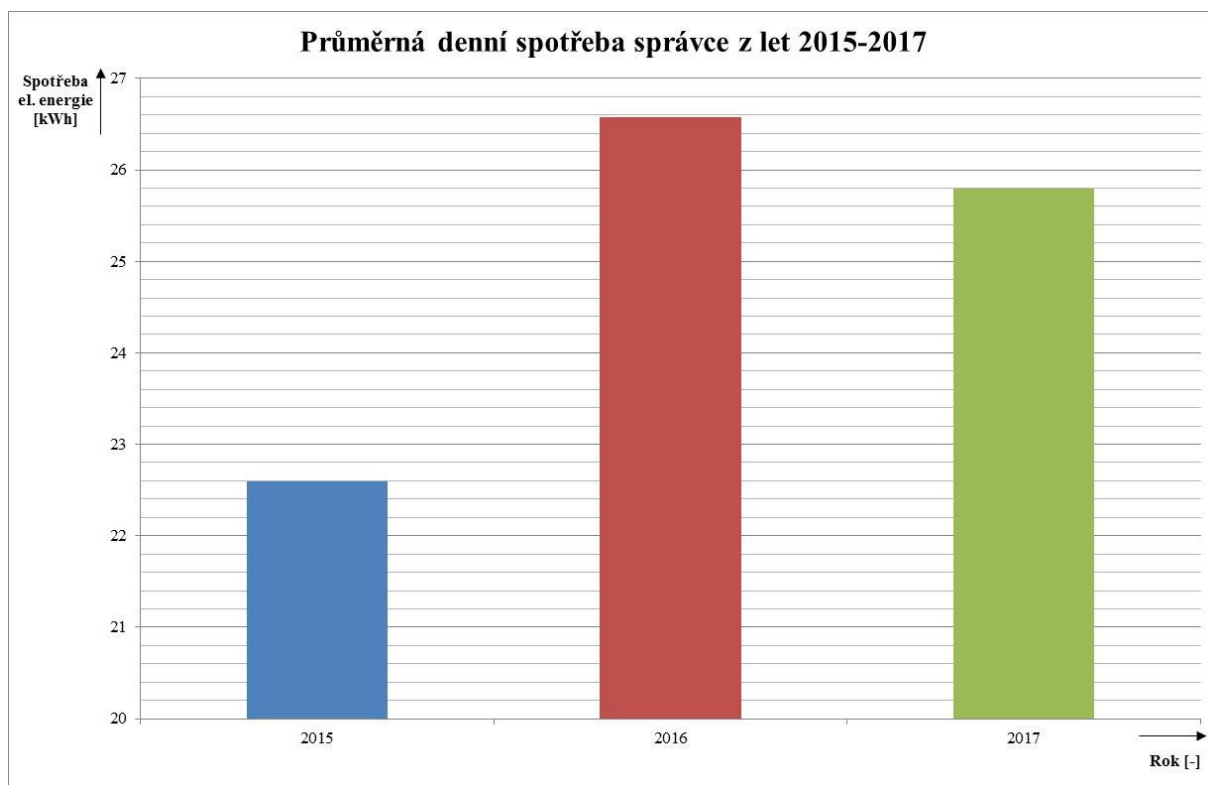
### Graf 3. Celková roční spotřeba el. energie Oparenského mlýna v letech 2015 – 2017

(autor BP)

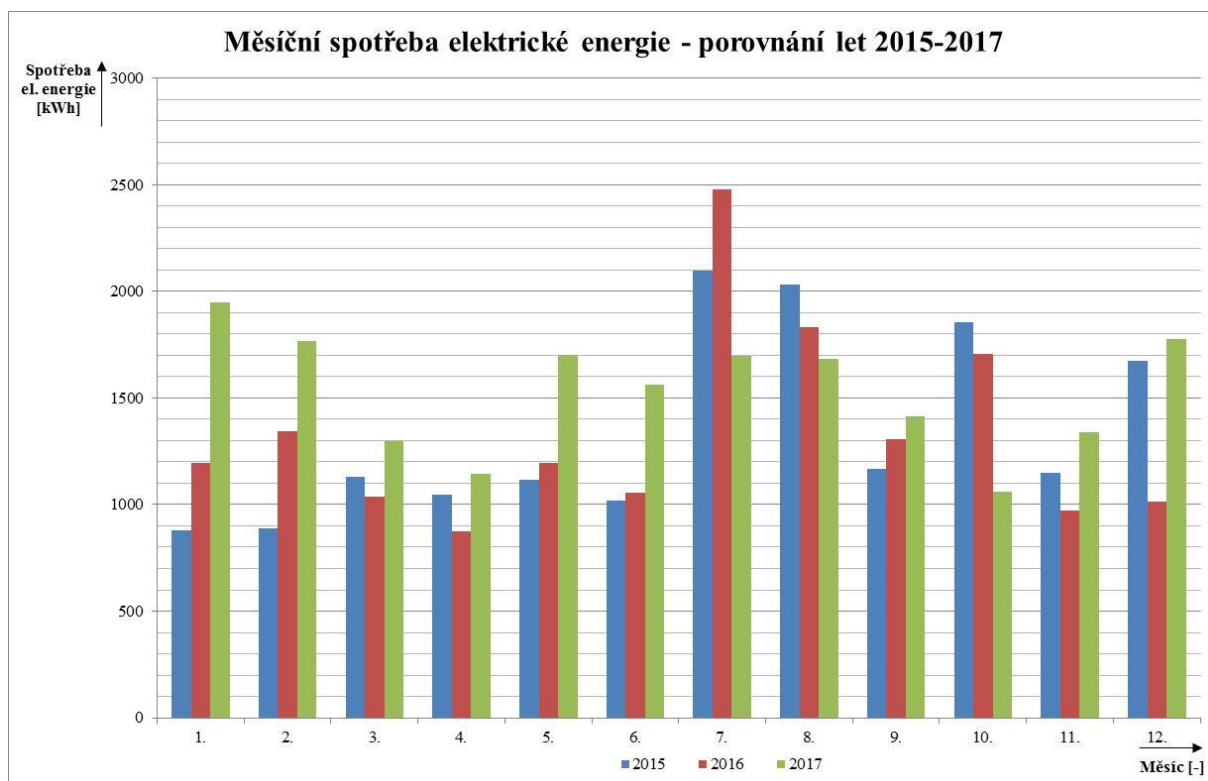


Průměrná denní spotřeba celého objektu je vypočítána z celkové roční spotřeby. Zajímavým vývojem si prošla průměrná denní spotřeba domu správce, která se v roce 2016 zvýšila z původních 22,60 kWh/den na 26,57 kWh/den, což odpovídá nárůstu spotřeby o 17,6 %. V roce 2017 hodnota klesla na 25,79 kWh/den je souhlasná s poklesem o 2,9 %. Z celkové spotřeby elektrické energie vidíme, že největší vliv na proměnlivost má nepravidelná návštěvnost mlýna. Ačkoliv díky rezervačnímu systému pro objekty vlastněné Asociací TOM lze účast a množství návštěvníků částečně předvídat, jejich konečná spotřeba elektrické energie během pobytu je neovlivnitelná, protože každý návštěvník má jiné požadavky na komfort a finanční náročnost pobytu. Prvním příkladem může být absolutní šetření s průměrnou denní spotřebou 1,65 kWh/osobu. Druhým extrémem je denní spotřeba 31,2 kWh/osobu.

**Graf 4. Průměrná denní spotřeba el. energie správcovského objektu Oparenského mlýna v letech 2015-2017 (autor BP)**



**Graf 5. Porovnání měsíčních spotřeb el. energie Oparenského mlýna z let 2015-2017 (autor BP)**



Graf porovnání měsíčních spotřeb let 2015-2017 ukazuje vývoj v jednotlivých měsících a letech. Průměrně nejmenší odběr byl v prvních jarních měsících. Právým opakem s průměrně nejvyšší spotřebou jsou měsíce v období letních prázdnin, kdy je objekt vytížen nejvíce z celého roku, následkem čehož (i přes vyšší teplotu vzduchu) se zvýší spotřeba elektrické energie. V zimních měsících je sice mlýn méně vytížen, spotřeba energie však roste díky nutnosti svícení po delší denní dobu a využívání přímotopů pro zajištění obyvatelnosti některých částí objektu, například obytná místnost nad světnicí s kamny v objektu č. 1.

Grafy denních a měsíčních spotřeb elektrické energie z let 2015-2017 jsou přiloženy jako příloha 1-6.



## 4 Legislativní požadavky na povolení stavby

V České republice není možné postavit, či půdorysně upravit trvale umístěnou stavbu, ať už se jedná o kompletní rekonstrukci domu, či postavení nové budovy, bez příslušných povolení. Stejně, jako má každá stavba své technické specifikace, má i seznam potřebných povolení, založených na znění zákonů spjatých s daným tématem, pro možnost její realizace.

V případě stavby MVE, či v našem případě domácí VE lze povolovací proces rozdělit na tři základní body[21].

- Územní rozhodnutí
- Stavební povolení
- Povolení k nakládání s vodami

Po realizaci následuje

- Zkušební provoz
- Povolení užívání stavby

Poslední dva body jsou společné pro všechna energetická díla.

Probíhající proces se pro vyhodnocení povolení opírá o tři základní právní předpisy[21].

- Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů[22].
- Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů[23].
- Vyhláška č 432/2001 Sb., o dokladech žádosti o rozhodnutí, nebo vyjádření a o náležitostech povolení, souhlasů a vyjádření vodoprávního úřadu[24].

V případě MVE pro Oparenský mlýn se jedná o stavbu vodního díla dle §55 odstavce 1 písmena g) vodního zákona - stavby k využití vodní energie a energetického potenciálu kdedle §15 vodního zákona zabývajícího se stavebními povoleními k vodním dílům je *„k provedení vodních děl, k jejich změnám a změnám jejich užívání, jakož i k jejich zrušení je třeba povolení vodoprávního úřadu“*[22].

MVE, jakožto vodní dílo sloužící k zacházení s vodami, musí disponovat patřičným povolením k jejich nakládání a to konkrétně v souladu s §8 odstavce 1 písmena a) bod 3 vodního zákona – k využívání energetického potenciálu povrchových vod[22]. Dle §15 vodního zákona, může být patřičné povolení k provedení vodního díla vydáno jen v případě, že je povoleno odpovídající nakládání s vodami dle §8 vodního zákona, případně se tato obě dvě povolení vydávají dle §9 odstavce 5 vodního zákona současně[22].

Výhodou zvoleného objektu je již existující vodní náhon, který bude využit v nezměněném stavu. Celý koncept návrhu je uzpůsoben stávajícím stavebním podmínkám, a pro jeho realizaci nebude potřeba zbudování nových staveb. Díky těmto kritériím je možné z povoloovacího procesu vynechat část územního rozhodnutí. Pro realizaci MVE je tedy nutné získat pouze stavební povolení a povolení k nakládání s vodami. Obě tato povolení projednává vodoprávní úřad nejčastěji současně (§9 odst. 5)[22]. Oparenský mlýn již disponuje rozhodnutím o povolení k nakládání s vodami vydaném v roce 7. 1. 2013[25], u kterého je nutné požádat pouze o jeho rozšíření dle §8 odstavec 1 písmeno a) bod 3 vodního zákona – k využívání energetického potenciálu povrchových vod[22].

Doklady nezbytné pro stavební řízení a vydání povolení k nakládání s povrchovými vodami předkládá žadatel vodoprávnímu úřadu spolu s žádostí na předepsaném formuláři. Seznam potřebných dokladů je uveden v příloze 7. Pro uvedení v textu byly z důvodu jejich obsahu vybrány dva body z požadavků pro stavební řízení (body č. 10 a 11) a jeden bod z části vydání povolení k nakládání s povrchovými vodami (bod č. 7).

- Doklady pro stavební řízení
  - Stanovisko správce povodí. (bod č. 10)
  - Vyjádření příslušného správce vodního toku, pokud se žádost o stavební povolení týká vodního díla souvisejícího s tímto vodním tokem. (bod č. 11)[21].

K oběma bodům vydávázávazná stanoviska Povodí Ohře, pod které tok Milešovského potoka spadá. Správce povodí si pro stanovení svého rozhodnutí vyžádal vytvoření nového manipulačního řádu pro návrh MVE Oparenský mlýn, jehož návrhse nachází v příloze 8.

- Doklady pro vydání povolení k nakládání s povrchovými vodami
  - Údaje o průtocích vody ve vodním toku ( $Q_{330}$  denní,  $Q_{355}$  denní,  $Q_{364}$  denní a  $Q_a$  dlouhodobý průměrný), pokud se žádost o povolení týká vodního toku a požadované nakládání s vodami může mít za následek snížení průtoku vodního toku. (bod č. 7)[21].

Průtoky byly na základě žádosti vypracovány Českým hydrometeorologickým ústavem pobočka Ústí nad Labem. Tabulka s průtoky se nachází v části 3.2.2, kopie originálního hospisu v příloze 9.

## 5 Technické řešení

### 5.1 Vodní energie

#### 5.1.1 Vhodný zdroj

Prvním zásadním aspektem pro konstrukci elektrárny je výběr vhodného zdroje točivé mechanické energie, využívané generátorem pro následnou transformaci na energii elektrickou.

První možností je využití historicky umístěného mlýnského kola, které je i po přezkoumání různých alternativních variant zdrojů mechanické energie pro tamní spád a průtok efektivním řešením.

Pro demonstrativní a výukové účely již bylo v objektu mlýna instalováno dřevěné mlýnské kolo typu korečník na horní vodu, které bude po nezbytných úpravách využito i pro účely MVE.

**Tab. 3. Rozměry mlýnského kola [26]**

Název	Znak	Hodnota	Jednotka
Šířka korečku	B	0,6	m
Vnější průměr kola	D	3,3	m
Vnitřní průměr kola	d	2,61	m
Otáčky za minutu	n	8-10	ot/min
Počet lopatek kola	lop	36	ks

#### 5.1.2 Instalovaný výkon

- **Potenciální výkon**

Pro velikost instalovaného výkonu vodního zdroje můžeme vycházet ze základního vzorce pro hydroenergetický potenciál vody.

$$P_{pot} = Q \cdot H \cdot \rho \cdot g$$

- **Stálý průtok vody**

Oparenský mlýn se nachází v oblasti velmi nestálých průtoků, které jsou ovlivňovány tamními srážkami a místy jejich výskytu. Způsob, jakým je průtok vody po dešti ovlivněn určuje rozdíl jen několika kilometrů mezi místy dopadajících srážek.

V místě mlýna se srážky projevují dvěma způsoby.

- Dlouhodobé zvýšení průtoku

Dochází k pozvolnému nárůstu průtoku do přibližně 1,5 násobku aktuálního běžného průtoku. Časově se pohybuje v rámci desítky hodin až jednotek dní. Tento jev je v místním případě méně častý.

- Krátkodobé zvýšení průtoku

Situace, při které dochází k náhlému zvýšení průtoku vody, jehož hodnota může překročit i dvojnásobek aktuální běžné hodnoty, je pro místo Oparenského mlýna častější. Obvykle je limitována jednotkami hodin[26].

Jelikož je pro zpracování energie vody zvoleno tradicionalistické řešení využití mlýnského kola, jehož výhodou je schopnost zpracování nepravidelných výkyvů průtoku, bude celý koncept MVE dimenzován pro maximální výkon na hřídeli kola. K jeho stanovení bude využito tabulky základních údajů korečnicku na horní vodu.

**Obr.17. Tabulka pro konstrukci korečnicku na horní vodu[27]**

*Pozn.: Označené stávající kolo*

H [m]	D [m]	d [m]	h <sub>1</sub> [m]	s [m]	lop. [ks]	n [ot./min.]	Q <sub>1</sub> [litr./sec.]	P <sub>1</sub> [W]
1,6	1,31	0,91	0,24	0,037	24	14,6	60	691
1,8	1,51	1,11	0,24	0,037	24	12,7	60	778
2	1,71	1,27	0,24	0,040	28	11,2	66	950
2,2	1,91	1,47	0,24	0,040	28	10	66	1 045
2,4	2,00	1,56	0,35	0,040	28	11,4	79	1 369
2,6	2,14	1,62	0,41	0,048	30	11,6	101	1 898
2,8	2,34	1,82	0,41	0,048	32	10,6	101	2 044
3	2,54	2,02	0,41	0,048	32	9,8	101	2 190
3,2	2,74	2,22	0,41	0,048	36	9,1	101	2 336
3,4	2,94	2,42	0,41	0,048	36	8,4	101	2 482
3,6	3,08	2,48	0,47	0,055	36	8,7	1,26	3 266
3,8	3,21	2,61	0,54	0,055	38	8,9	135	3 694
4	3,41	2,81	0,54	0,055	40	8,4	135	3 888
4,2	3,61	3,01	0,54	0,055	42	7,9	135	4 082
4,4	3,81	3,21	0,54	0,055	44	7,5	135	4 277
4,6	4,01	3,41	0,54	0,055	46	7,2	135	4 471
4,8	4,21	3,61	0,54	0,055	48	6,8	135	4 666
5	4,41	3,81	0,54	0,055	48	6,5	135	4 860
5,2	4,53	3,83	0,62	0,064	46	6,7	168	6 290
5,4	4,61	3,91	0,74	0,064	46	7,3	184	7 144
5,6	4,81	4,11	0,74	0,064	48	6,9	184	7 409
5,8	5,01	4,31	0,74	0,064	48	6,7	184	7 673
6	5,21	4,51	0,74	0,064	48	6,4	184	7 938
6,5	5,71	5,01	0,74	0,064	56	5,9	184	8 600
7	6,21	5,51	0,74	0,064	60	5,4	184	9 261
7,5	6,58	5,88	0,87	0,064	64	5,5	200	10 773
8	6,99	6,29	0,96	0,064	68	5,5	210	12 096
8,5	7,49	6,79	0,96	0,064	72	5,1	210	12 852
9	7,99	7,29	0,96	0,064	76	4,8	210	13 608
9,5	8,49	7,79	0,96	0,064	80	4,5	210	14 364
10	8,99	8,29	0,96	0,064	84	4,3	210	15 120

- $Q_1$  – jmenovitý průtok přes kolo široké 1 m
- $P_1$  – jmenovitý výkon na hřídeli kola širokého 1 m

Požadovaný průtok pro maximální výkon na hřídeli dostaneme ze vzorce:

$$Q = Q_1 \cdot B$$

$$Q = 135 \cdot 0,6 = 81 [l \cdot s^{-1}]$$

Pro zjednodušený výpočet bude uvažován průtok  $80 l \cdot s^{-1}$ .

Průtok pro předpokládaný skutečný výkon a vyrobenou elektrickou energii lze spočítat z velikosti akumulární nádrže a z časových dat měření správce objektu, zjištěných v průměrný bezesrážkový den.

**Tab. 4. Měření času cyklu s vypočtenými styčnými hodnotami[26],(autor BP)**

Název	Znak	Hodnota	Jednotka	Poznámka
Čas vypouštění nádrže při otevřeném nátoku	$t_{\text{vyp}}$	2	h	Změřeno
Čas napouštění nádrže	$t_{\text{nap}}$	6	h	
Objem nádrže	$V_n$	216 000	l	Vypočteno
		216	$\text{m}^3$	
Průtok vody na korečnicku	$Q$	40	$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$	
Objem vody na korečnick během vypouštění nádrže	$V_{\text{vyp}}$	288 000	l	
		288	$\text{m}^3$	
Průtok vody na náhonu nádrže	$Q_h$	10	$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$	

Povinností každé VE je udržování minimálního zůstatkového průtoku v korytě využívaného toku. Pro Milešovský potok v místě odběru vody do náhonu je tato veličina stanovena na hodnotu  $60,3 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ [18](dle hydrologických údajů ČHMÚ Ústí n.L.  $Q_{240d} = 61 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , uvedeno v části 3.2.1, či v příloze 9). Je zajišťován automaticky trvale zvýšenou úrovní spodní hrany vtokového otvoru do náhonu (243,20 m n.m.) o 0,04 m oproti přepadovému prahu balvanitého skluzu rozdělovacího objektu (243,16 m n.m.)[18]. Pro návrh a využitelné objemy vody na provoz MVE, není minimální zůstatkový průtok omezujícím faktorem z důvodu využívání akumulací nádrže jako mezistupně. Na rozdíl od zvýšení průtoku se jeho pokles projeví pouze prodloužením doby napouštění nádrže.

- **Spád**

Spád je pevně daný výškou mlýnského kola  $H = 3,74 \text{ m}$ .

- **Hustota vody**

Hustota vody je danou konstantou  $\rho = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

- **Tíhové zrychlení**

V našich zeměpisných šířkách je tíhové zrychlení udáváno na  $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

**Tab. 5. Hodnoty pro výpočty mechanického výkonu na hřídeli kola (autor BP)**

Název	Znak	Hodnota	Jednotka	Poznámka	
Hustota vody	$\rho$	1000	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	Konstanta	
Tíhové zrychlení	$g$	9,81	$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$		
Spád	$H$	3,74	$\text{m}$	Vypočteno	
Průtok vody	Maximální	$Q_m$	80		$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$
			0,08		$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
	Předpokládaný skutečný	$Q_{sk}$	40		$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$
			0,04		$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$

### 5.1.2.1 Maximální výkon

Jak již bylo zmíněno, z důvodu nepředvídatelnosti průtoku budou komponenty MVE dimenzovány pro maximální průtok a tedy i výkon.

- **Vypočtený teoretický mechanický výkon**

$$P_{pot} = 0,08 \cdot 3,74 \cdot 9,81 \cdot 1000 = 2935,152 \text{ [W]}$$

- **Mechanický výkon na hřídeli kola**

Při použití vodního kola typu „korečník na horní vodu“ se uvádí koeficient pro výkon na hřídeli  $k = 0,75$  [28].

Mechanický výkon na hřídeli bude:

$$P_{mech1} = P_{pot} \cdot k = 2935,152 \cdot 0,75 = 2201,364 \text{ [W]}$$

Při uvažování parametrů z tabulky pro Korečník na horní vodu (obr 14) bude mechanický výkon na hřídeli:

$$P_{mech2} = B \cdot P_1 = \frac{Q}{Q_1} \cdot P_1 = \frac{80}{135} \cdot 3694 = 2189,04 \text{ [W]}$$

Z výpočtů je zřejmé, že výsledky výpočtu mechanického výkonu se dle použitého vzorce liší jen o 12,324 W, což je téměř zanedbatelný rozdíl, přesto pro další výpočty bude z důvodu možných ztrát uvažován menší výkon  $P_{mech2}$ .

### 5.1.2.2 Skutečný výkon

Pro představu skutečně vyrobené energie a následného určení případné návratnosti systému je potřeba vypočítat skutečný výkon na hřídeli kola. Pro jeho zjištění bude použito vzorce dle tabulky pro korečník na horní vodu (obr 14).

$$P_{mechsk} = \frac{Q}{Q_1} \cdot P_1 = \frac{40}{135} \cdot 3694 = 1094,52 \text{ [W]}$$

### 5.1.3 Mechanické převody

Při výběru generátoru bylo nutné vzít v úvahu nízké otáčky vodního kola, které se pohybují mezi 8 a 10 ot/min, což je komplikace, protože i jmenovité otáčky pomaluběžného alternátoru se pohybují od desítek po stovky za minutu. Problém řeší využití mechanických převodů, které na druhou stranu způsobují značné energetické ztráty.

Práce se v rámci projektu Ad fontes zabývá pouze elektrickou částí návrhu MVE. Typ a provedení mechanických převodů byl stanoven projektantem mechanických částí, který zvolil řešení vhodné k tradicionalistické realizaci přeměny mechanické energie na elektrickou pomocí mlýnského kola.

Mechanické převody budou realizovány ve dvou stupních. První stupeň využije k převodu otáček systému dřevěných palců. Druhý stupeň bude řešen pomocí plochých, či ozubených řemenů.

Dle dostupných zdrojů[29] jsou ztráty na jednom převodu zhotoveném pomocí dřevěných palců  $P_{Zpa} = 109 \text{ W}$ . Na převodech z plochého syntetického řemene  $P_{Zř} = 66 \text{ W}$ .

Celkové ztráty na mechanických převodech tedy budou:

$$P_{Zcelk} = P_{Zpa} + P_{Zř}$$

$$P_{Zcelk} = 109 + 66 = 175 \text{ W}$$

Mechanický výkon na hřídeli generátoru bude:

$$P_{mechg} = P_{mech2} - P_{Zcelk}$$

$$P_{mechg} = 2189,04 - 175 = 2014,04 \text{ W}$$

**Tab. 6. Hodnoty pro výpočet mechanického výkonu na hřídeli generátoru**

(autor BP)

Název	Značka	Hodnota	Jednotka	
Mechanický výkon na hřídeli kola	Maximální	$P_{mech}$	2189,04	W
	Skutečný	$P_{mechsk}$	1094,52	W
Mechanické ztráty na palečném převodu	$P_{Zpa}$	109	W	
Mechanické ztráty na převodu řemenem	$P_{Zř}$	66	W	
Celkový počet převodů	-	2	ks	
Celkové mechanické ztráty na převodech	$P_{Zpcelk}$	175	W	
Mechanický výkon na hřídeli generátoru	Maximální	$P_{mechg}$	2014,04	W
	Skutečný	$P_{mechgsk}$	919,52	W



**Obr.18. Demonstrace převodu pomocí dřevěných palců [30]**



#### **5.1.4 Generátor**

Existuje mnoho typů generátorů elektrické energie. Dle typu vyrobené elektrické energie a způsobu její výroby je můžeme rozdělitna:

- Alternátory
  - Asynchronní
  - Synchronní
- Dynama.

Typ vhodného generátoru závisí na výkonu na hřídeli a na způsobu provedení MVE. Jeho účinnost pak určuje celkovou vyrobenou elektrickou energii.

Nejjednodušším, nejlevnějším a nejrozšířenějším generátorem je asynchronní stroj s kotvou nakrátko v generátorickém režimu. Nevýhodou daného typu je, že jeho využití pro autonomní MVE je velmi komplikované.

V našem případě, kdy je generátor, stejně jako ostatní komponenty, dimenzován pro maximální mechanický výkon na hřídeli mlýnského kola, který po odečtení ztrát na mechanických převodech činí 2014,04 W, připadají v úvahu dva zdroje:

- Malý synchronní alternátor

- Dynamo.

Výhodou synchronního alternátoru je jeho účinnost, která se pohybuje až kolem 80% [29]. Hlavní nevýhodou, která je umocněná využitím akumulátorů coby ústředního členu celého návrhu, je výstupní střídavé napětí a následná nutnost jeho usměrnění a úpravy úrovně vhodné pro parametry akumulátorů.

Druhým uvažovaným typem generátoru je dynamo, jehož hlavní výhodou vůči střídavému alternátoru tkví ve výrobě stejnosměrné elektrické energie. Jeho účinnost dosahuje, podobně jako synchronního stroje, až 80% [29].

Oba typy generátorů potřebují ke své správné činnosti magnetické pole, které vytvoří tzv. buzení. Jeho typ a vlastnosti má každý generátor jiný.

Známe dva základní typy buzení:

- Permanentní magnety
- Buzení vnějším zdrojem.

Každý z těchto typů má výhody i nevýhody. Primárními výhodami permanentních magnetů je velmi jednoduchá konstrukce stroje, nezávislost na externím zdroji budícího proudu a schopnost práce i ve značně prašném prostředí, nevýhodou obtížné řízení velikosti buzení. Druhý typ je přesným opakem. Existuje několik druhů zapojení buzení. Stroje určené primárně k výrobě elektrické energie využívají především konstrukce s cizím buzením.

V případě využití typu buzení vnějším zdrojem by bylo bráno napětí z výstupu akumulátorů a jeho velikost řízena vlastním řídicím členem.

Stroj bude usazen ve stylizované boudě, umístěné na vnější zdi objektu č. 2 (příloha 10), chránící ho před vnějšími vlivy. Z důvodu přítomnosti výukových programů a nutnosti obsluhy demonstrativní části, která bude zbudována jako součást přístavku, je nutné dodržovat meze bezpečných napětí, která se dělí v souladu s ČSN 33 2000-4-41 ed. 2 dle členění prostorů a způsobu dotyku [31].

**Tab. 7. Bezpečná jmenovitá napětí s ohledem na členění prostorů a na způsob dotyku [31]**

Prostory	Při dotyku částí (při obsluze)	Nejvyšší bezpečná malá napětí živých částí [V]	
		Střídavá	Stejnoseměrná
Normální i nebezpečné	živých	25	60
	krytů	50	120
Zvláště nebezpečné	živých	-	-
	krytů	12	25 (30)

Pro potřebu této práce bylo uvažováno dle ČSN 33 2000-5-51 ed. 3 [32] s vnějšími vlivy teplota okolí, výskyt vody, výskyt rostlin nebo plísní, dotyk osob s potenciálem země. Z posouzení klasifikace těchto vlivů dle ČSN 33 2000-4-41 [31] vyplývá, že z hlediska nebezpečí úrazu el. proudem se jedná o prostor nebezpečný.

- „*Prostory nebezpečné – prostory, kde působením vnějších vlivů je buď přechodné, nebo stálé nebezpečí elektrického úrazu*“ [33].

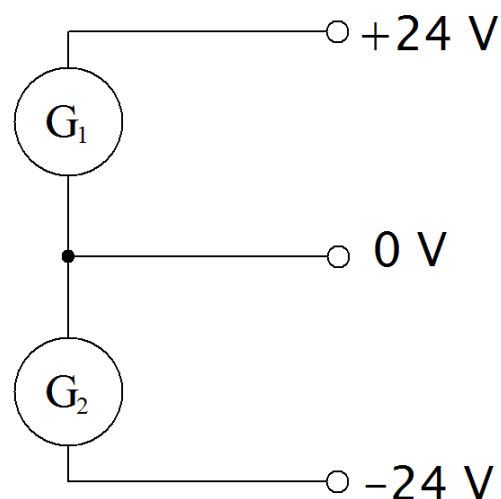
Při obsluze bude docházet nejvýše k dotyku částí krytů. Napětíové hladiny generátoru jsou omezeny na  $50 V_{stř}$ , nebo  $120V_{ss}$ .

Uvedené stanovení nenahrazuje protokol o určení vnějších vlivů, který je potřeba před samotnou realizací vypracovat.

Původním plánem bylo využití stejnosměrného zdroje napětí o velikosti 48V. Po prozkoumání trhu však vyšlo najevo, že pro požadované parametry (výkon, napětí, otáčky) je tento typ generátoru velmi špatně dostupný. Velmi důležitou roli sehrála velikost otáček, která se, z důvodů tradicionalistického řešení pomocí mlýnského kola a nutnosti mechanických převodů, pohybuje pouze kolem 1000 ot/min.

Po konzultaci s vedoucím práce bylo navrženo řešení sériového zapojení dvou 24V generátorů se společným nulovým potenciálem uprostřed. Celkové napětí tedy bude požadovaných 48 V.

**Obr.19. Zapojení dvou 24V generátorů (autor BP)**



Díky rozhodnutí bylo hledání dostupného generátoru mírně zjednodušeno. Nejčastější výsledky poskytovaly webové obchody typu Aliexpress a Ebay, jejichž hlavní nevýhodou je nedostupnost kvalitních dat o daném generátoru.

Cílem bylo nalézt generátor s výstupním napětím 24 V, výkonem 1000 W a otáčkami pohybujícími se kolem 1000 ot/min. Ideálním výběrem by byl stejnosměrný generátor, případně alternátor s již zabudovaným regulátorem nabíjení akumulátorů, tomu by odpovídal například autoalternátor pro nákladní vozy. Jeho nepřekonatelná nevýhoda je velikost otáček pohybujících se nad našimi možnostmi cca 1000 ot/min[34]. Dostupnost stejnosměrného generátoru pro požadované napětí byla také neuspokojivá.

Finálním vybraným generátorem se stal ssynchronní alternátor s permanentními neodymovými magnety, původně určený pro větrné elektrárny vertikálního typu[35].

**Tab. 8: Parametry generátoru[35]**

Název	Značka	Hodnota	Jednotka
Nominální výkon	$P_G$	1000	W
Maximální výkon	$P_{Gmax}$	1200	W
Výstupní napětí	$U_G$	24	V
Výstupní proud	$I_G$	41,7	A
Maximální výstupní proud	$I_{Gmax}$	50	A
Hmotnost	$m_G$	11	kg
Minimální životnost	-	15	let

Nevýhodou tohoto typu generátoru je střídavá forma výstupních veličin a absence regulátoru dobíjení akumulátorů, který bude muset být opatřen jako samostatný komponent MVE.

### 5.1.5 Elektrická energie na výstupu generátoru

Pro výpočet celkového množství vyrobené energie je nutné započítat účinnost využitého generátoru. Vybraným typem je ssynchronní alternátor s permanentními magnety. Jeho předpokládaná účinnost je 80% [29].

#### 5.1.5.1 Maximální elektrický výkon

$$P_{el} = P_{mechg} \cdot \mu_g = 2014,04 \cdot 0,80 = 1611,232 [W]$$

#### 5.1.5.2 Předpokládaný elektrický výkon

$$P_{elsk} = P_{mechgsk} \cdot \mu_g = 919,52 \cdot 0,80 = 735,616 [W]$$

## 5.2 Další komponenty

### 5.2.1 Regulátor dobíjení akumulátorů

Dalším úskalím je nutnost správného dobíjení akumulátorů. Kdybychom nechali generátoru „volný průběh“ pro dodávání elektrické energie do akumulátorů, vedlo by to k jejich neefektivnímu až žádnému nabíjení a k jejich rapidnímu snížení životnosti. Dalším úskalím jsou samotné generátory. Jejich účinnost s odchýlením od ideálních otáček pro generátorický režim rapidně klesá, je nutné je na dané hodnotě udržovat. Oba problémy lze vyřešit pomocí regulátoru dobíjení akumulátorů[36].

Zde významně pomohl rozvoj fotovoltaiky, která nabízí nepřeberné množství regulátorů dobíjení[37]. Z dostupných typů je jedinou možnou volbou využití regulátoru typu Maximum Power Point Tracking (přeloženo jako sledování bodu maximálního výkonu, dále jen MPPT), který pracuje na principu změny zatěžování zdroje při konstantním napětí na výstupu. Při zvýšení otáček turbíny je generátor zatížen, při jejich snížení naopak odlehčen. Jejich výhodou je vysoká účinnost, která dosahuje obvykle až 95 % [36].

Roli také hraje nutnost usměrnění střídavých veličin na výstupu generátoru. Je tedy nutné vybrat odpovídající regulátor. Nevýhodou solárních regulátorů je stejnosměrná forma vstupního napětí[37]. Vhodným typem regulátoru využívaného větrnými elektrárnami, tedy i vhodného pro vybraný generátor, je hybridní větrný regulátor pro 1000 W 24-48V s charakteristikou MPPT. Jeho účinnost je 90% [38].

Elektrický výkon dodávaný do akumulátorů bude:

- Maximální elektrický výkon

$$P_{elak} = P_{el} \cdot \mu_{reg} = 1611,232 \cdot 0,9 = 1450,11 [W]$$

- Předpokládaný skutečný elektrický výkon

$$P_{elaksk} = P_{elsk} \cdot \mu_{reg} = 735,616 \cdot 0,9 = 662,05 [W]$$

### 5.2.2 Akumulátory

Jedním ze základních a nezbytných komponentů pro zvolené řešení malé vodní elektrárny jsou akumulátory, určené k úschově vyrobené elektrické energie. Není mnoho dostupných koncepcí malých vodních elektráren využívajících úschovu energie v akumulátorech. Základem se staly koncepty návrhů fotovoltaických elektráren (FVE) a jejich využití úschovy elektrické energie. Existuje mnoho druhů akumulátorů, ne všechny však vyhovují našim požadavkům a zároveň respektují nutná omezení. Prvním kritériem omezení je prostor pro jejich umístění. V Oparenském mlýně jsme velmi limitováni dostupnými

prostory. Jediným možným místem pro jejich umístění je malý uzavřený sklepní prostor o rozměrech cca 4·3 m. Z těchto omezení vyplývá, že akumulátory musejí být uzpůsobeny málo větraným prostorům, v bezúdržbovém provedení. Fotovoltaické elektrárny využívají zejména tzv. olovené trakční akumulátory, které se dále dělí na [39]:

- Startovací akumulátory (autobaterie)
- Trakční akumulátor se zaplavenými elektrodami
- Trakční akumulátor v provedení Valve Regulated Lead Acid (volně přeloženo jako ventilem řízené olovené kyselinové, dále jen VRLA)
  - Gelový akumulátor
  - Absorbed Glass Mat (volně přeloženo jako savé skelné podložky, dále jen AGM) akumulátor

Startovací akumulátory můžeme ihned vyloučit z důvodů jejich nevhodných vlastností a malé životnosti [39]. Specifikace našeho prostoru určeného pro umístění akumulátorů vylučuje i využití trakčních akumulátorů se zaplavenými elektrodami, které nejsou hermeticky uzavřené a ze kterých se při nabíjení uvolňuje vodík. Může též dojít k úniku tekutého elektrolytu [39]. Z tradičních akumulátorů využívaných FVE, připadají v úvahu jen trakční akumulátory v provedení VRLA, které se dále dělí na gelové a AGM akumulátory. Výhodou typu AGM je jejich schopnost podávat vysoký výkon i při nízkých teplotách, asi o 10% menší hmotnost a schopnost dodat až o 30% vyšší okamžitý výkon. Výhodou gelových akumulátorů je jejich delší životnost [39]. Kromě článků na bázi olova jsou k dostání Lithium-iontové (dále jen Li-Ion) akumulátory, které se vyznačují relativně vysokým (500 - 1500) počtem vybíjecích cyklů a nízkým samovybíjením [40]. Relativní novinkou jsou akumulátory typu Lithium-železo-fosfátový (dále jen LiFePO<sub>4</sub>), které předstihují Li-Ion jak v počtu vybíjecích cyklů, tak dobou životnosti. Akumulátory typu LiFePO<sub>4</sub> jsou navrženy jako bezúdržbové, jejich, na první pohled značnou, nevýhodou je jejich vyšší cena [41]. Z olovených akumulátorů bychom jako nejvhodnějšího zástupce volili trakční akumulátor v provedení VRLA typu AGM, jeho jediným protějškem u bezolovnatých akumulátorů by byl i za svou vysokou cenu akumulátor typu LiFePO<sub>4</sub>.

Ačkoliv výrobce akumulátorů typu VRLA uvádí jejich životnost na 8-10 let, při nahlédnutí do datasheetu výrobku zjistíme, že tato doba odpovídá užívání akumulátorů při využití maximálně 20% jejich dostupné kapacity. Pokud bychom chtěli využívat plánovaných 80%, snížila by se životnost na méně, než dva roky. Akumulátory typu LiFePO<sub>4</sub> jsou schopné si udržet udanou životnost 8 let i při opakovaném hloubkovém vybíjení o 80% své kapacity [41].

### 5.2.2.1 Výpočet celkové ceny akumulátorů

Stejně jako všechny komponenty MVE, tak i velikost akumulátorů je dimenzována na maximální výkon na hřídeli mlýnského kola. Pro výpočet kapacity akumulátorů byla uvažována denní vyrobená elektrická energie v cyklech změřených správcem objektu.

**Tab. 9. Hodnoty pro výpočet kapacity akumulátorů (autor BP)**

Název	Znak	Hodnota	Jednotka	Poznámka
Čas vypouštění nádrže při otevřeném nátoku	$t_{\text{vyp}}$	2	h	Změřeno
Čas napouštění nádrže	$t_{\text{nap}}$	6	h	
Celkový čas cyklu	$t_{\text{celk}}$	8	h	Vypočteno
Počet cyklů za den	-	3	-	
Čas výroby elektrické energie	$t$	6	h	
Mechanický výkon na hřídeli kola	$P_{\text{mech}}$	2 189,04	W	
Elektrický výkon na vstupu akumulátorů	$P_{\text{el}}$	1 450,11	W	
Denní vyrobená elektrická energie	$E$	8 700,66	Wh	

Jelikož se parametry akumulátorů udávají v Ah, je nutné je přepočítat do Wh, které pak můžeme porovnat s vyrobenou elektrickou energií.

Jako vztažný časový úsek jsem uvažoval 8 let, což je udávaná životnost akumulátoru LiFePo4 a akumulátoru VRLA při využití 20% kapacity.

- **Typ AGM**

Pro výpočet jsem uvažoval bezúdržbový záložní akumulátor – baterie VRLA – AGM 200Ah/12V od výrobce Global Leader Power s cenou 11 156 Kč/ks včetně DPH.

**Přepočet na Wh**

$$200 \cdot 12 = 2400 [Wh]$$

**a. Využití 20% kapacity**

Při využívání pouhých 20% kapacity akumulátorů je jejich životnost udávaných 8 let.

$$20 \% \approx 8\,700,66 Wh$$

$$100\% \approx 43\,503,3 Wh$$

**Počet akumulátorů**

$$\frac{43\,503,3}{2400} = 18,126 \approx 20 [ks]$$

*Uvažován 48 V systém*

### Celková cena s DPH

$$20 \cdot 11\,156 = 223\,120 \text{ [Kč]}$$

### b. Využití 80% kapacity

Při využívání 80% kapacity akumulátorů se životnost sníží z udávaných 8 let na pouhé 2 roky.

$$80 \% \approx 8\,700,66 \text{ Wh}$$

$$100\% \approx 10\,875,825 \text{ Wh}$$

### Počet akumulátorů

$$\frac{10\,875,825}{2400} = 4,53 \approx 5 \text{ [ks]}$$

Je-li uvažován 48V systém, a napětí akumulátorů pouhých 12V, je nezbytné, aby celkový počet akumulátorů byl celočíselně dělitelný čtyřmi. Počet akumulátorů se zvýší na 8 kusů s celkovou kapacitou 19 200 kWh.

### Cena s DPH na 2 roky

$$8 \cdot 11\,156 = 89\,248 \text{ [Kč]}$$

### Celková cena s DPH

$$89\,248 \cdot 4 = 356\,992 \text{ [Kč]}$$

Z výpočtů vyplývá, že při využití akumulátorů typu VRLA se vyplatí využívat jen 20 % jejich celkové kapacity s délkou života udávaných 8 let.

### • Typ LiFePO<sub>4</sub>

Pro výpočet jsem uvažoval akumulátor LiFePo<sub>4</sub> 90Ah/12V od výrobce Winston Battery s cenou 13 070 Kč/ks včetně DPH.

### Přepočet na Wh

$$90 \cdot 12 = 1080 \text{ [Wh]}$$

### Výpočet celkové kapacity akumulátorů

$$80 \% \approx 8700,66 \text{ Wh}$$

$$100\% \approx 10\,875,825 \text{ Wh}$$

### Počet akumulátorů

$$\frac{10\,875,825}{1080} = 10,07 \approx 11 \text{ [ks]}$$

Pro využití 48V systému je nutné opatřit 12 kusů akumulátorů. Celková kapacita akumulátorů bude:

$$E_{ak} = 12 \cdot 1080 = 12\,960 \text{ [Wh]}$$



### **Celková cena s DPH**

$$12 \cdot 13\,070 = 156\,840 \text{ [Kč]}$$

#### **5.2.2.2 Konečný výběr typu akumulátorů**

Z vypočtených hodnot vyplývá, že ač jsou akumulátory typu LiFePO<sub>4</sub> na první pohled dražší a s menší kapacitou, jejich stabilnější parametry zajistí, že ve výsledném porovnání vycházejí o 66 280 Kč levněji (223 120 Kč – 156 840 Kč). Další výhodou je jejich celkově menší počet, což je pro nás výhodné zejména z hlediska zapojení a umístění.

Pro realizaci projektu bude využito 12 akumulátorů typu LiFePO<sub>4</sub> s parametry 12V/90Ah za celkovou cenu 156 840 Kč s DPH[42].

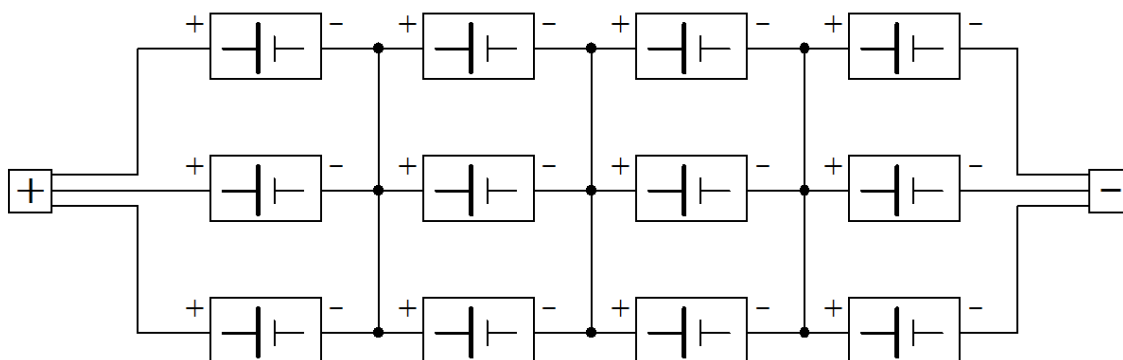
#### **5.2.3 Balancér pro akumulátory**

Vybrané akumulátory typu LiFePO<sub>4</sub> 12V/90Ah jsou složeny z vnitřních článků s napětím 3,2 V, které jsou přesně vybírány podle kapacity[42]. Neplatíto ovšem pro větší soustavu daných baterií. Problém nastává při zvyšování požadovaného napětí od akumulátorů, při jejich sériovém zapojení. Celková kapacita akumulátorů pak odpovídá kapacitě nejmenšího z nich[43]. Dalším problémem je, že zbylé články se snaží ho dobíjet na stejnou úroveň, což vede k přebíjení a následné degradaci zapojení a ztráty výkonu[39].

Nejčastější využívané hladiny stejnosměrného napětí jsou 12 V, 24 V a 48 V, které se pak dále pomocí střídače transformují na střídavý typ. Výhodou využití hladiny 12 V by byla úspora za nepořízený balancér. Obrovskou nevýhodou však je enormní proud tekoucí mezi akumulátory a střídačem, který by překročil i 1 kA.

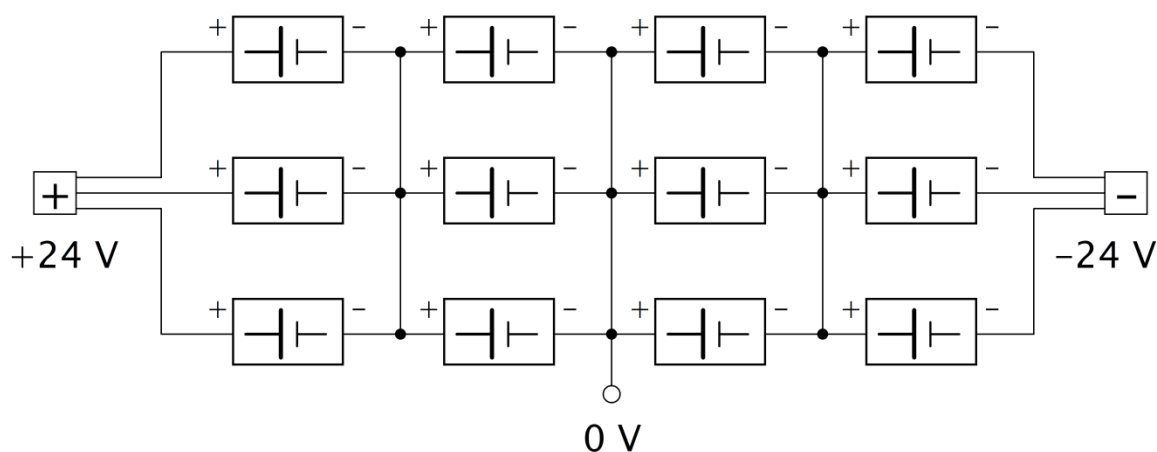
Proto bylo pro projekt MVE navrženo zapojení akumulátorů na napěťovou hladinu 48 V, což odpovídá, při využití navrhovaných 12 kusů akumulátorů, sérioparalelní kombinaci tří paralelních čtveřic článků v sérii.

**Obr.20.Schéma zapojení akumulátorů (autor BP)**



Při využití návrhu dvou 24 V generátorů projde zapojení akumulátorů mírnou změnou. Jeho podoba bude následující:

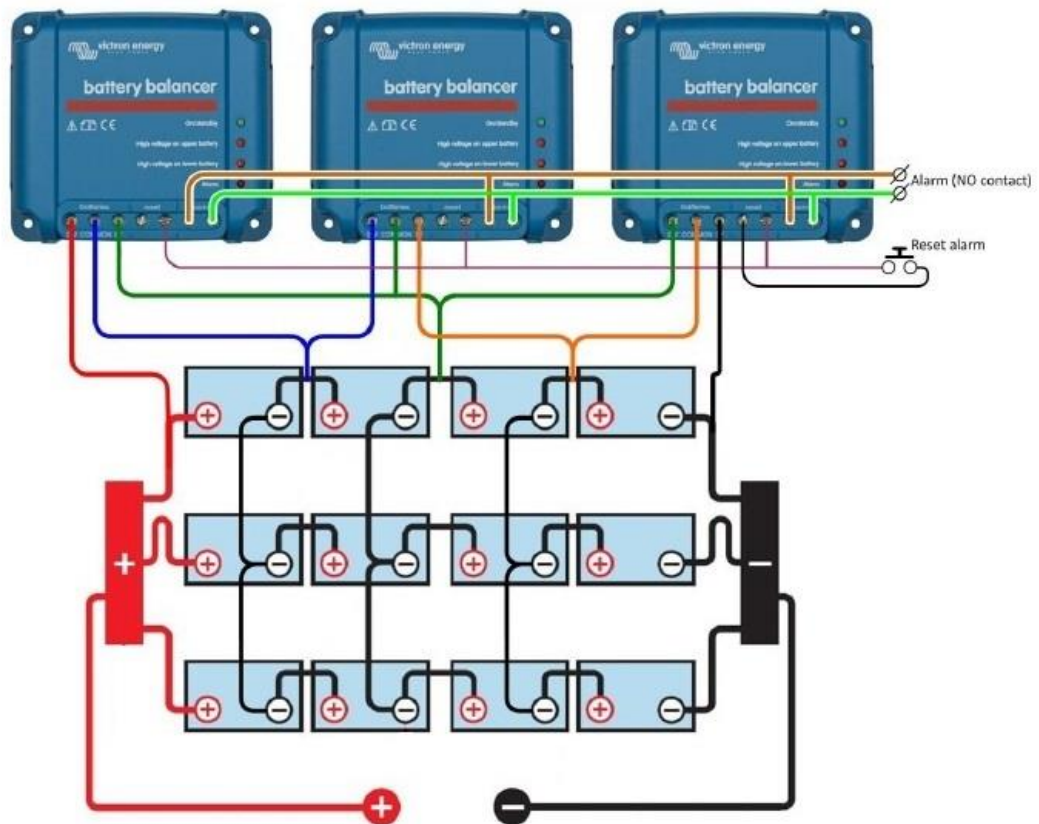
**Obr.21.Schéma zapojení akumulátorů pro dva 24V generátory(autor BP)**



Vhodným typem balancéru je napěťový balancér od firmy VictronEnergy, který porovnává napětí baterií a dokáže přesměrovat nabíjecí proud tak, aby byl konečný stav nabití všech baterií shodný. Dle technické dokumentace výrobce bude nutné pro napěťovou hladinu 48 V pořídit 3 stejné balancéry[44].

**Obr. 22. Schéma zapojení akumulátorové kombinace (dále AK) a balancérů (převzato z datasheetu výrobce) [45]**

*Pozn.: upraveno pro vybranou kombinaci akumulátorů*



#### 5.2.4 Měníč napětí (střídač)

Měníč napětí slouží k přeměně vstupního stejnosměrného napětí na výstupní střídavé napětí. Důležitým parametrem při výběru měniče je tvar výstupního napětí. Dostupné jsou měniče s čistým nebo modifikovaným sinusovým průběhem. Měníče s čistým sinusovým průběhem se používají pro napájení citlivých a přesných elektrických zařízení, jako jsou například měřicí a lékařské přístroje. Zde by stačil i měnič s modifikovaným sinusovým průběhem. K dispozici jsou třífázové, jednofázové nebo jednofázové měniče s možností propojení do třífázové sítě. Vstupní napětí střídače je dáno připojovanými částmi systému, tedy napětím sérioparalelní kombinace akumulátorů (48 V).

Objekt Oparenského mlýna je vybaven třífázovým přívodems fázovým napětím o efektivní hodnotě 230 V s frekvencí 50 Hza disponuje hlavním jističem o velikosti 3 x 25 A charakteristiky typu B[46]. Objekt sám má relativně velkou spotřebu, kterou výroba, při místních podmínkách nemůže nikdy pokrýt. Jedinou možností je napájet jen část objektu. Nejrozumnějším výběrem je část objektu správce, u níž se změny spotřeby, v důsledku

trvalého obydlení, mění oproti zbytku objektu pozvolna. Ačkoliv je i daná část domu napojena na třífázovou soustavu, nedisponuje žádnými spotřebiči využívající tuto možnost. S ohledem na výstupní výkon bylo zvoleno řešení pomocí jednofázového střídače. Energetické zapojení obvodů využívající druhou a třetí fázi přívodu z distribuční soustavy (dále DS) bude řešeno jejich propojením. Jediným možným úskalím při přepínání mezi AK a DS je využívání stolních počítačů, které se v objektu nenachází.

Pro výběr konkrétního střídače bylo vycházeno z uvedených parametrů:

**Tab. 10. Parametry pro měnič napětí(autor BP)**

Název	Znak	Hodnota	Jednotka	Poznámka	
Vstupní napětí	$U_{vst}$	48	V	DC	
Výstupní napětí	$U_{výst}$	230	V	AC	
Denní spotřeba správce	$W_{celk}$	26	kWh	rok 2017	
Hodinová spotřeba správce	kontinuální	$P_{kont}$	1,083		kW
	8 hodin spánku	P	1,625		kW

Hlavním omezujícím faktorem při výběru byla velikost vstupního napětí, která velmi zúžila možný výběr. Nejdostupnější měniče napětí s požadovanými vstupními a výstupními parametry poskytují 2 výrobci, VictronEnergy a MeanWell dodávající měniče s čistě sinusovým průběhem v následujících řadách výkonu.

**Tab. 11.Řady výkonů měničů[47]**

Victron Energy		MeanWell	
Výkon	Jednotka	Výkon	Jednotka
250	VA	400	W
375	VA	700	W
500	VA	1000	W
800	VA	1500	W
1200	VA	3000	W
3000	VA	5000	W
5000	VA		

Po zahrnutí jeho požadované velikosti přicházely v úvahu pouze měniče s charakteristikou 3000 VA od VictronEnergy a 3000 W odMeanWell se špičkovým výkonem 6000 W, nebo vyšší.

Posledním omezujícím kritériem byla špičková spotřeba, která může díky kombinaci využití sklokeramické varné desky a jiných spotřebičů lehce překročit maximální hodnotu daného střídače a tím ho přetížit.

Byl vybrán měnič Phoenix 48V/5000VA od firmy VictronEnergy s parametry:

**Tab. 12. Parametry vybraného měniče[48]**

<b>Phoenix 48V/5000VA od firmy Victron Energy</b>		
Trvalý výstupní výkon	při 25°C	5 000 VA
Trvalý činný výkon	při 25°C	4 500 W
	při 40 °C	4 000 W
Špičkový činný výkon		10 000 W
Rozsah vstupního napětí		38 - 66 V
Výstupní napětí		230 V ± 2 %
Frekvence výstupního napětí		50 Hz ± 0,1 %
Maximální účinnost		95%
Hmotnost		30 kg

Důvody upřednostnění typu od VictronEnergy před typem od MeanWell:

- Vyšší účinnost
- Menší zkreslení
- Výstup pomocí přímo připojeného kabelu
- Výrobce s lepšími recenzemi
- Možnost zapojení do 3 fázového provedení
- Jen zanedbatelně vyšší cena
- Bateriový balancér od stejného výrobce

### 5.2.5 Pohon stavidla

Nezbytnou součástí pro automatizovaný provoz MVE je komponenta ovládání otevření stavidla. Celý koncept je postaven na základě výroby elektrické energie v cyklech daných časem napouštění a vypouštění akumulární nádrže mlýna, při maximálním průtoku na mlýnské kolo. Pohon bude tvořen jednoduchým motorem s koncovými dorazy.

Elektromotorů je, stejně jako generátorů, několik druhů. Dle základních parametrů je dělíme na:

- Stejnoseměrné
- Střídavé
  - Asynchronní
  - Synchronní

Princip jejich funkce je přesně opačný, než generátorů. Procházející elektrický proud vytvoří silové magnetické pole, to roztáčí hřídel motoru. Střídavé motory využívají točivého elektromagnetického pole, které vytváří souměrná třífázová elektrická soustava. Stejnoseměrné motory obsahují součást nazvanou komutátor, zajišťující vzájemnou polohu jednotlivých sil potřebných k roztočení hřídele motoru.

Pro manipulaci se stavidlem byl zvolen stejnosměrný motor s napájecím napětím 48V a to hned z několika důvodů. Prvním důvodem je, že celý koncept MVE bude celkově soběstačný a bude schopen provozu stejnosměrným zajištěným napájením i při výpadku dodávky elektrické energie z distribuční sítě. Následujícím požadavkem je funkce nouzového zastavení výroby elektrické energie při přírodních katastrofách a při výpadku DS.

Na první pohled se za výhodnější řešení nabízí využití malého třífázového asynchronního motoru, což je při navrhovaném konceptu s jednofázovým střídačem velmi komplikované. Další výhodou využití stejnosměrného 48V motoru je přímé napojení na akumulátory, ze kterých si může odebrat požadovanou energii navzdory dosažení povolené spodní hranice jejich vybití.

Parametry vybraného elektromotoru určeného k manipulaci se stavidlem jsou 48V/1000W, maximální proud 26,7 A. Jedná se o typ motoru využívaný elektrickými čtyřkolkami a koloběžkami[49].

Jelikož je pohon stavidla napájený z akumulátorů, není možné využít plných 80% jejich kapacity. Rezervu nutnou k napájení stavidlového motoru lze určit z jeho spotřeby.

- Výkon motoru

$$P_{MS} = 1000 \text{ W}$$

- Spotřeba motoru

$$1 \text{ h} \approx 1000 \text{ Wh} = 1 \text{ kWh}$$

- Doba manipulace se stavidlem

Předpokládaná doba otevírání a zavírání stavidla je 1 minuta. Celková doba manipulace se stavidlem 2 minuty.

- Celková spotřeba pohonu

$$1h \approx 1000 Wh$$

$$2 \text{ min} \approx 33,3 Wh$$

- Procentuální rezerva akumulátorů

$$12\,960 Wh \approx 100 \%$$

$$33,3 Wh \approx 0,26 \%$$

Dle výpočtů stačí pro manipulaci se stavidlem pouhých 0,26% celkové kapacity akumulátorů. Z důvodů možnosti neočekávaných vnějších vlivů je vhodné potřebnou kapacitu naddimenzovat. Energie určená pro manipulaci se stavidlem bude stanovena jako 1% celkové kapacity akumulátorů, což odpovídá 129,60 Wh. Uvedená rezerva bohatě vystačí pro několikanásobnou změnu polohy stavidla.

Nevýhodou tohoto řešení je snížení energie dostupné pro spotřebu objektu na „pouhých“ 79 % kapacity akumulátorů. Zápor však plně vynahrazuje soběstačnost systému a možnost výroby či nouzové manipulace při výpadku dodávky elektrické energie z distribuční sítě.

#### **5.2.6 Dimenzování přívodního kabelu z akumulátorů do hlavní domovní skříně(HDS)**

Důležitou součástí celého systému je přívodní kabel od akumulátorů do HDS. Jelikož musí překonat značnou vzdálenost, je třeba vybrat správný kabel s dostatečnými parametry. Kabel byl vybírán v době, kdy se počítalo s původním návrhem třífázového střídače. Bylo to z čistě praktických důvodů. Oparenský mlýn procházel na podzim 2017 částečnou rekonstrukcí v důsledku napojování přívodu pitné vody z obce Chotiměř. Bylo tedy rozhodnuto využít rozkopaného náměstíčka mlýna a kabel uložit již v té době. Následná změna konceptu na jednofázové řešení neměla na vybraný kabel žádný omezující vliv. Pro vhodný výběr bylo vycházeno z těchto parametrů:

**Tab. 13. Hodnoty pro výpočty dimenzování přívodního kabelu (autor BP)**







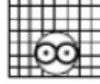
Název	Znak	Hodnota	Jednotka	Poznámka
Rezistivita mědi	$\rho_{Cu}$	$1,75 \cdot 10^{-8}$	$\Omega \cdot m$	Konstanta
Délka kabelu	l	30	m	Vzdálenost od akumulátorů k HDS
Maximální jmenovitý proud	$I_a$	32	A	Jističová hodnota
		<b>Vysvětlení</b>		
Typ jističe	B	keficient pro výpočet $Z_s$ k = 5		
Způsob uložení kabelu	D1	Vícežilový kabel uložený v trubce v zemi		

Z tabulky maximálních proudů byl na základě způsobu uložení zvolen kabel o průřezu  $4 \text{ mm}^2$ , jehož maximální povolený proud při dvou zatížených vodičích a způsobu uložení kabelu D1, je 37 A. Kabel tedy vyhovuje proudově. Další podmínkou je maximální úbytek napětí.

Způsob uložení vodičů typu D1 znamená: „*Vícežilové kabely v trubkách v zemi. Kabely zatažené do plastových, kameninových nebo kovových trubek o průměru 100 mm, které jsou v přímém kontaktu s půdou o měrném kontaktu s půdou o měrném tepelném odporu  $2,5 \text{ K} \cdot \text{m} \cdot \text{W}^{-1}$  v hloubce 0,7 m.*“ [50].



Obr. 23. Tabulka maximálních proudů pro měděné kabely s dvěma zatíženými vodiči dle ČSN 33 2000-5-52 ed. 2 [50]

Jmenovitý průřez vodičů mm <sup>2</sup>	Způsoby uložení podle tabulky B.52.1						
	A1	A2	B1	B2	C	D1	D2
							
1	2	3	4	5	6	7	8
Měď							
1,5	14,5	14	17,5	16,5	19,5	22	22
2,5	19,5	18,5	24	23	27	29	28
4	26	25	32	30	36	37	38
6	34	32	41	38	46	46	48
10	46	43	57	52	63	60	64
16	61	57	76	69	85	78	83
25	80	75	101	90	112	99	110
35	99	92	125	111	138	119	132
50	119	110	151	133	168	140	156
70	151	139	192	168	213	173	192
95	182	167	232	201	258	204	230
120	210	192	269	232	299	231	261
150	240	219	300	258	344	261	293
185	273	248	341	294	392	292	331
240	321	291	400	344	461	336	382
300	367	334	458	394	530	379	427

- **Odpor kabelu**

$$R = \frac{\rho_{Cu} \cdot l_v}{S} = \frac{\rho_{Cu} \cdot 2 \cdot l}{S} = \frac{1,75 \cdot 10^{-8} \cdot 2 \cdot 30}{4 \cdot 10^{-6}} = 0,2625 [\Omega]$$

- **Úbytek napětí**

$$\Delta U_v = R \cdot I_a = 0,2625 \cdot 32 = 8,4 [V]$$

Výstup z MVE lze dle rozdělení druhů sítí klasifikovat jako distribuční síť, pro kterou platí dle normy ČSN EN 50160 ed. 3 maximální povolená tolerance napětí  $\pm 10\%$ . [51]

$$U_{10\%} = 230 \cdot 0,1 = 23 [V]$$

Pro zjištění maximálního poklesu napětí je nutné započítat toleranci použitého střídače 230V $\pm 2\%$ .

$$\Delta U_{st} = 230 \cdot 0,02 = 4,6$$

Celkový maximální pokles napětí bude:

$$\Delta U = \Delta U_v + \Delta U_{st} = 8,4 + 4,6 = 13 [V]$$

Z výsledků je vidět, že:

$$\Delta U < U_{10\%}$$

Úbytek napětí je tedy v toleranci a vybraný kabel nám splnil další podmínku funkce.

Posledním ověřením správnosti výběru kabelu je výpočet maximální impedance kabelu, která slouží pro následnou správnou vybavovací funkci jističe.

Dle ČSN 33 2000-4-41[31] je vzorec pro výpočet impedance smyčky:

$$Z_{sv} = \frac{0,8 \cdot U_0}{1,5 \cdot I_n \cdot k(I)} = \frac{0,8 \cdot 230}{1,5 \cdot 32 \cdot 5} = 0,7\overline{66}[\Omega]$$

- $Z_{sv}$  – vypočtená impedance smyčky
- $U_0$  – jmenovité napětí
- $I_n$  – jmenovitý proud jističe
- $k(I)$  – koeficient jističe dle jeho charakteristiky
  - pro výpočet se vždy uvažuje horní hranice rozsahu

**Tab. 14. Rozsahy okamžitého vypínání jističů[52]**

Typ	Rozsah
B	nad $3 I_n$ do $5 I_n$ včetně
C	nad $5 I_n$ do $10 I_n$ včetně
D	nad $10 I_n$ do $20 I_n$ včetně

Pro správnou funkci jističe musí platit:

$$R < Z_{sv}$$
$$0,2625 \Omega < 0,7\overline{66} \Omega$$

Vybraný kabel splňuje i tuto podmínku a je tedy vhodný pro použití.

### 5.2.7 Plovákový spínač

Významným komponentem pro automatizovaný provoz MVE v navrhovaném konceptu je plovákový spínač hlídající maximální a minimální hladinu vody v akumulární nádrži. Díky této detekci je umožněn cyklický provoz výroby závislý pouze na rychlosti přítoku vody do náhonu. Cykly výroby budou nepravidelné v závislosti na aktuálním průtoku Milešovského potoka. Výhodou však bude využití maximálního možného objemu přitékající vody.

Jedná se o typ plovákového spínače s dvěma koncovými kontakty a nastavitelnou výškou maximální a minimální hladiny. Kontakt pro maximální hladinu má funkci spínací, pro minimální naopak rozpínací. Komponent má vyvedení pro 3 žilový vodič.

**Obr. 24. Plovákový hladinový spínač od firmy Hennlich typ 230 - 290 (převzato ze stránek výrobce)[53]**



### **5.2.8 Stykače**

Stykače v návrhu zastupují 3 různé funkce. První funkcí je přepínání mezi odběrem energie z akumulátorů a distribuční sítě, která bude zajištěna kombinací dvou třífázových stykačů opačného typu, se jmenovitým proudem 3 x 25A, umístěných v HDS a napojených na jeden řídicí okruh. Ačkoliv je přívodní kabel mezi střídačem a HDS dimenzován až na 3 x 32A, je díky rozdělení proudu před stykačem do jednotlivých fází možné využít stykač o velikosti 3 x 25A.

Druhou funkcí je ovládání pohonu stavidla, jenž bude zajištěna dvěma jednofázovými, dvoupólovými stykači, které se budou nacházet v rozvaděči umístěném v technické místnosti. Pro spínání motoru jakož to induktivní zátěže je pro 48V systém nutné, dle tabulky technických parametrů stykačů Moeller řady Z-SCH od výrobní značky Eaton[54], ke spínání 25A velikost stykače o jmenovitého proudu 63A.

Poslední funkci, odpojení generátorů od zbytku MVE při stisknutí tlačítka Central STOP, určenému k celkovému odstavení elektrárny, zajišťují dva stejné třífázové stykače. Umístění těchto komponentů bude též v technické místnosti. Aby mohly správně splňovat požadovanou funkci, musí se nacházet mezi generátorem a zvoleným regulátorem. Všechny stykače jsou voleny od firmy Eaton, jež se i dnes řadí mezi špičkové výrobce jisticích a spínacích prvků.

**Tab. 15. Nejdůležitější parametry zvolených stykačů [55]**

Parametr	3 fázový spínací		3 fázový rozpínací	1 fázový spínací
Jmenovitý provozní proud	63 A		25 A	63 A
Jmenovité ovládací napětí	230 V			
Druh ovládacího napětí	AC			
Počet spínacích kontaktů	4	4	0	2
Počet rozpojovacích kontaktů	0	0	4	0

**Obr. 25. Schéma funkce třífázových stykačů (autor BP)**

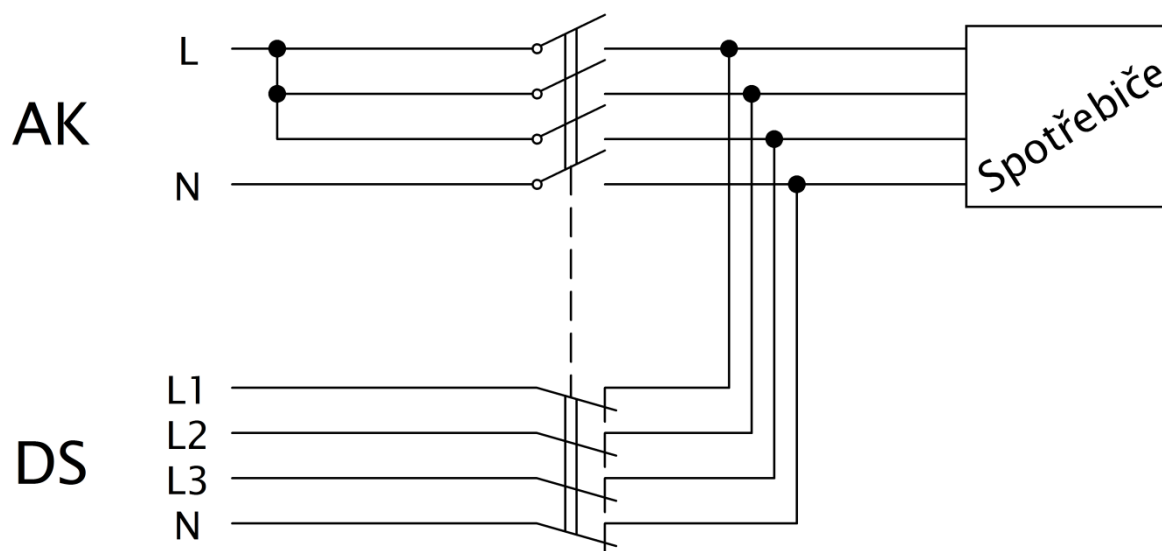
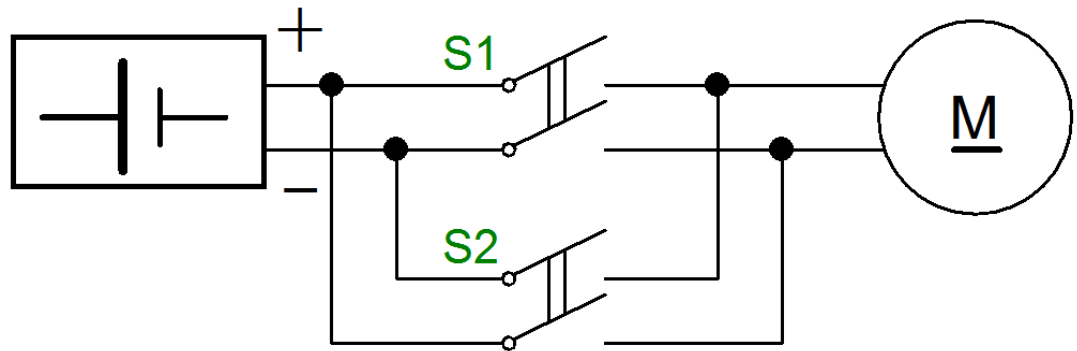


Schéma znázorňuje pouze principiální funkci přepínání mezi AK a DS. Pro zajištění správné funkčnosti bez rizika hazardních stavů (energetické propojení DS s AK a nesprávný směr proudu při napájení z AK) při provozu bude kombinace doplněna nezbytnými prvky typu:

- Zpoždovací člen pro spínací stykač zajišťující odpojení DS před připojením AK

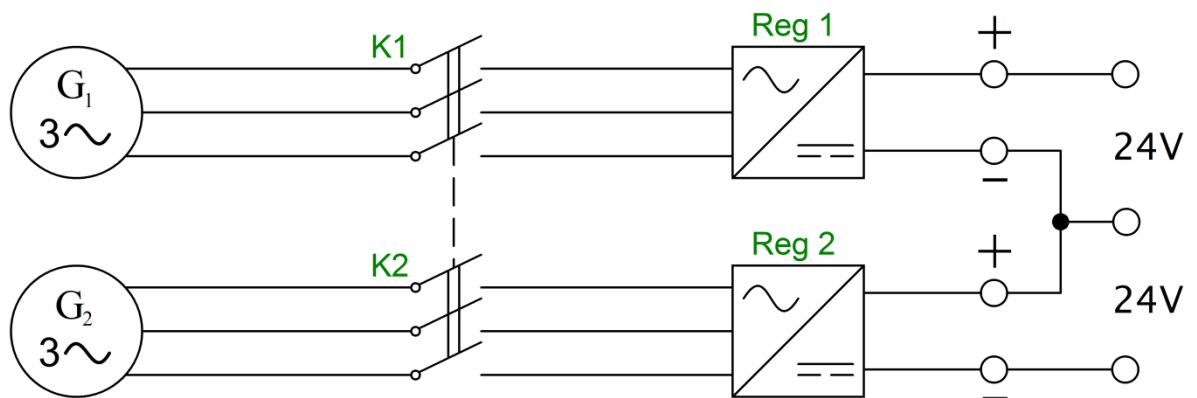
- Diody na jednotlivých fázích zabraňující toku proudu mezi jednotlivými fázemi a v případě poruchy zpoždřovacího členu zamezení toku z DS směrem střídače.

**Obr. 26.**Schéma funkce jednofázových stykačů (autor BP)



**Obr. 27.**Schéma funkce třífázových stykačů pro generátor (autor BP)

*S naznačením propojení před akumulátory*



### 5.3 Propojení a řízení provozu MVE

Každý dříve uvedený komponent je pro domácí vodní elektrárnu tohoto typu nezbytný. Bez jejich propojení a řízení provozu výroby elektrické energie by však byla řeč stále jen o jednotlivých strojích a přístrojích, nemohli bychom však hovořit o malé vodní elektrárně.

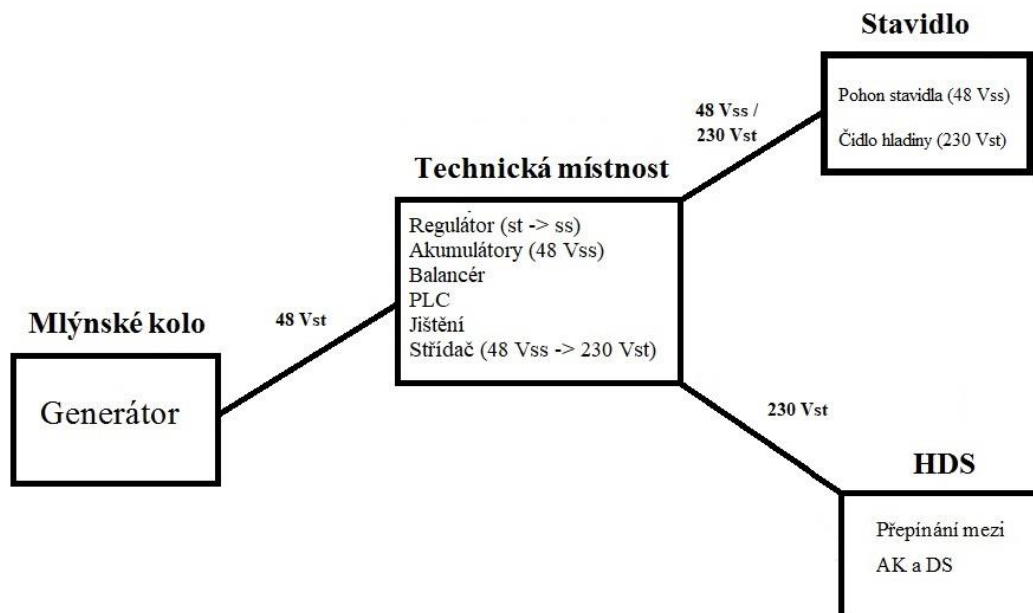
#### 5.3.1 Propojení jednotlivých komponentů

Nevýhodou elektrické energie je způsob jejího přenosu, ke kterému je zapotřebí kabelů. Pro správnou funkčnost je třeba správně propojit všechny komponenty vhodně dimenzovanými vodiči. V ideálním případě by se všechny komponenty nacházely na jednom místě, to je však z technických důvodů nereálné.

V případě MVE pro Oparenský mlýn lze všechny využití komponenty umístit na čtyři různá místa

**Obr. 28. Schéma funkce třífázových stykačů pro generátor (autor BP)**

*S popsanými napěťovými hladinami*



Označení využitých míst v objektu je v příloze 10.

Hlavní přívodní kabel od akumulátorů do HDS byl vybrán a dimenzován již dříve. Zbylé propojovací vodiče byly vybírány podle typu vývodů jednotlivých komponentů a dimenzovány na daný proud, protékající vodičem. K tomuto výběru byla využita tabulka maximálních proudů. Všechny kabely byly voleny typu CYKY – nejpoužívanější typ kabelu s měděným jádrem.

**Tab. 16. Označení typu kabelu**

C	Jádro vodiče je z mědi
Y	PVC izolace vodiče
K	Pevný vodič
Y	PVC plášť kabelu

- **Kabel generátoru**

Vybraný generátor má 3 fázový výstup střídavého napětí o jmenovité hodnotě 48V. Dle specifikací udávaných výrobcem je jmenovitý proud 41,7 A s maximální hodnotou 50 A[35]. Na první pohled je tedy vidět nutnost vodičů o velkém průřezu. Kabel bude umístěn ve zděné stěně, což nejlépe odpovídá způsobu uložení C: „Jednožilové nebo vícežilové kabely na

dřevěné stěně. Kabel je namontován na dřevěné stěně tak, aby mezera mezi kabelem a povrchem stěny byla menší než 0,3 násobek průměru kabelu. Jestliže je kabel upevněn na zděné stěně nebo je v takové stěně zabudován, může být dovolený proud vyšší. Tato otázka se studuje. “[50].

Dle požadovaných specifikací byl na základě tabulky maximálních proudů (obr23) vybrán kabel s označením CYKY-O 3x10. Páté písmeno (O) značí, že se kabel skládá ze tří fázových vodičů. Dle měření vzdálenosti bude třeba 16 m tohoto kabelu.

- **Kabel pohonu stavidla**

Pohon stavidla bude připojen 2 žilovým kabelem typu CYKY-O. Jedná se o typ kabelu s dvěma fázovými vodiči, který je zvolen z důvodu využití reverzace pohonu. Dle specifikací motoru je maximální proud 26,7 A. Při uložení typu D1 tomu dle tabulky maximálních proudů (obr 23) odpovídá průřez vodiče 2,5 mm<sup>2</sup>. Pro napájení pohonu stavidla byl zvolen kabel CYKY-O 2x2,5 s délkou 25 m.

- **Hladinové čidlo**

Hladinové čidlo má výstup pro 3 žilový kabel. Jelikož se v podstatě nejedná o spotřebič, bude proud protékající vodičem velmi malý. Stav, kdy poteče proud všemi vodiči kabelu, nemůže nastat díky konstrukci plovákového čidla, která tuto možnost vylučuje. Pro jeho napojení byl zvolen kabel CYKY-O 3x1,5. Jedná se stejný typ kabelu využitý mezi generátorem a regulátorem, jehož průřez je pouhých 1,5 mm<sup>2</sup>.

- **Koncové dorazy**

Dle konceptu návrhu MVE bude mít stavidlo pouze dva trvalé stavy a přechod mezi nimi bez možnosti regulace. Pro zastavení motoru stavidla v daných polohách budou využity dva koncové spínače propojené se zbytkem komponentů pomocí kabelů typu CYKY 2x1,5. V tomto případě bude v kabelu zastoupena i žíla nulového vodiče značená světle modrou barvou.

- **Řízení přepínání spotřeby**

Tato funkce je zastoupena v místě HDS, do které již vede jeden přívodní kabel, jehož dvě nevyužité žíly, které zbyly v důsledku rozhodnutí jednofázového střídače, lze použít. Ačkoliv v porovnání s protékajícím proudem bude jejich průřez značně předimenzovaný, jedná se o řešení vyhýbající se opětovnému kopání v oblasti mlýnského náměstíčka.

### **5.3.2 Vlastní spotřeba MVE**

Jako každá reálná elektrárna, má i navrhovaný koncept svou vlastní spotřebu, která je dána spotřebou všech komponentů. Jelikož je navrhovaná MVE koncipována jako čistě soběstačná, bude její vlastní spotřeba napájena z akumulátorů. Velikost rezervy pro vlastní spotřebu byla stanovena na 5% celkové kapacity akumulátorů, což odpovídá velikosti 648 Wh.

### **5.3.3 Řízení provozu MVE**

Koncepce toku el. energie je následující. Ústředním komponentem jsou akumulátory, přes které teče veškerá vyrobená energie. Návrh vychází z předpokladu, že odběr Oparenského mlýna je daleko větší, než běžné množství vyrobené energie. Pro pokrytí spotřeby celého objektu alespoň v jistém čase je tedy potřeba vyrobenou energii akumulovat. Energie pro spotřebu objektu je odebírána z akumulátorů, jsou-li nabitý na více, než 25% své kapacity. Dobíjení akumulátorů je řízeno plovákovým spínačem umístěným u ústí nádrže, který detekuje minimální a maximální hladinu v nádrži. V případě, že jsou akumulátory plně nabitý, nádrž se neotevře a přebytečná voda je odváděna pomocným vantrokem.

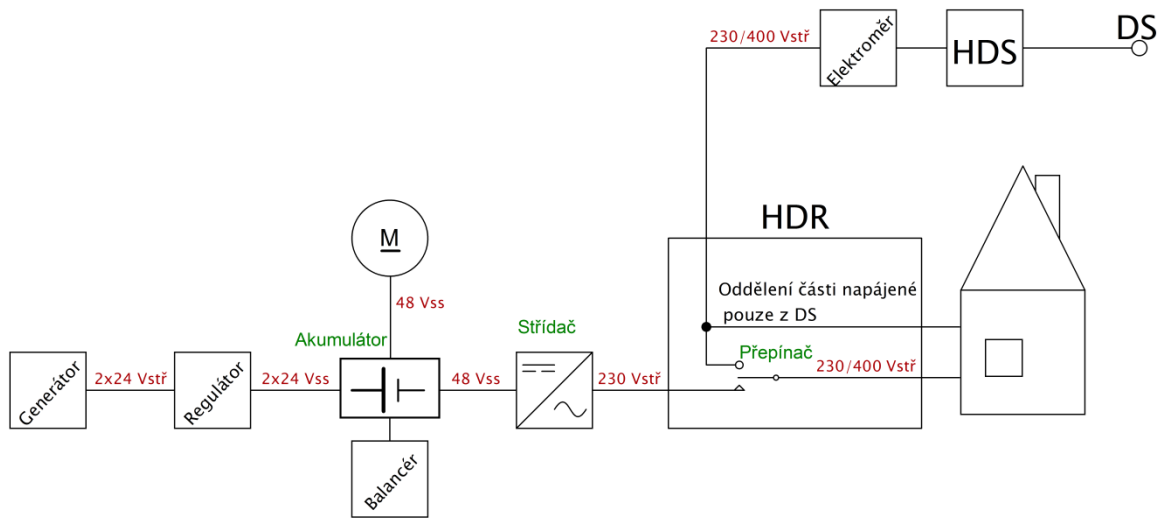
Propojení jednotlivých komponent celého systému je naznačeno v blokovém schématu (obr 29). Vybrané komponenty mají kompatibilní vstupy/výstupy, a většinou i celou řadu logických vstupů a výstupů určených pro řízení. Řídicí systém bude tvořen programovatelným logickým automatem (dále jen PLC), připojeným ke všem podstatným prvkům systému. Hlavní funkcí PLC by bylo řízení toku energie. Nabité akumulátory by sloužily jako zdroj elektrické energie pro mlýn. V případě jejich vybití by PLC přepnul zdroj elektrické energie, kterým by se následně stala distribuční soustava.

Idea konstrukce celého systému tkví v jednoduchosti řešení automatizace provozu MVE, pro jehož řízení stačí jediný PLC typu Easy. Návrh liniového schématu řídicího obvodu MVE je na obrázku 30.

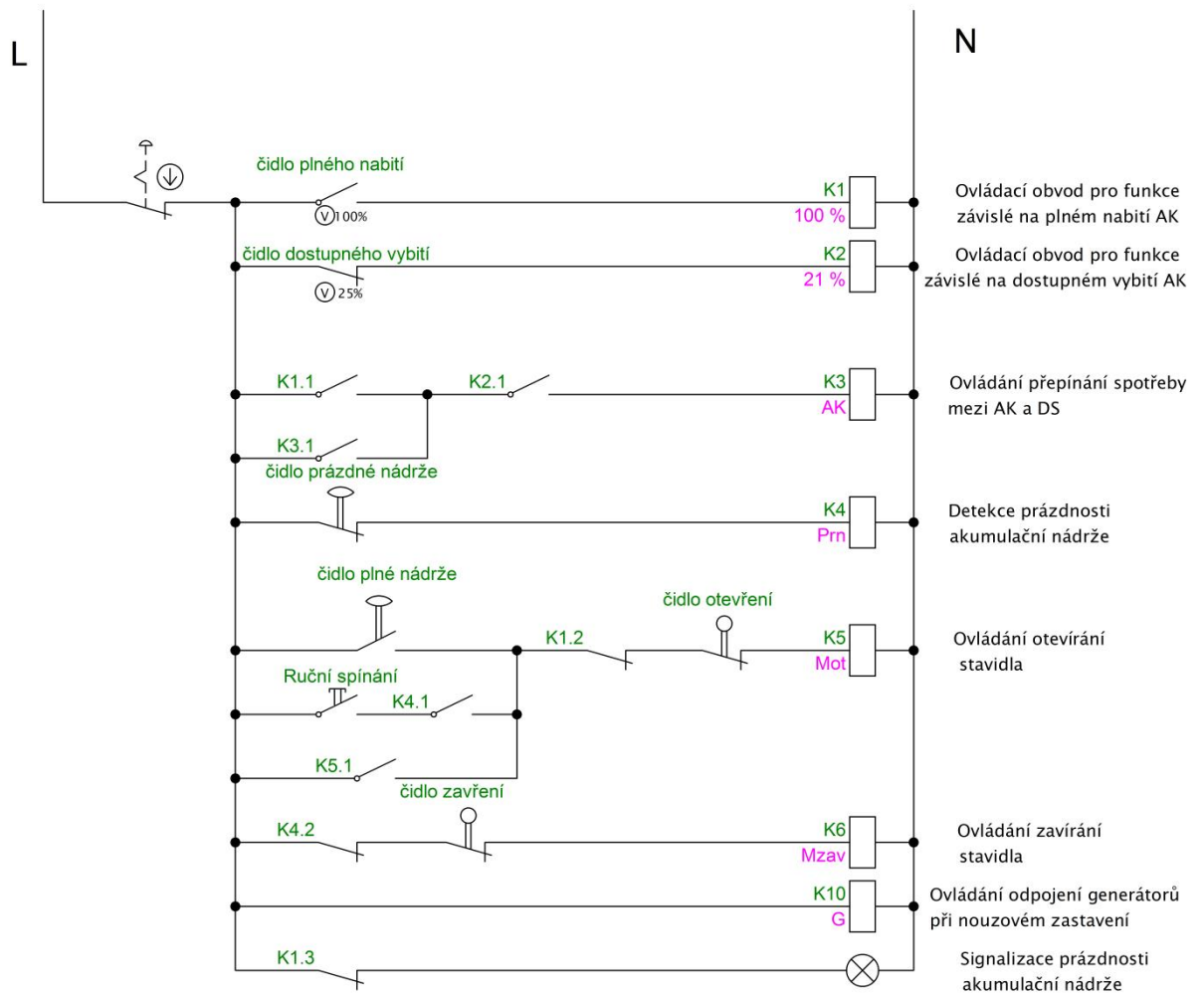


**Obr.29. Blokové schéma propojení jednotlivých komponentů (autor BP)**

*S označením napěťových hladin*



**Obr.30. Liniové schéma řídicího obvodu (autor BP)**



## 5.4 Jištění MVE

Stejně jako každý jiný zdroj elektrické energie, tak i navrhovaný koncept MVE musí mít své jištění dané platnými normami. Obecně pro MVE připojené k DS platí typy ochrany vycházející z obecných pravidel provozovatele distribuční soustavy [56]:

- Nadproudové
  - Okamžité
  - Časově závislé
- Napěťové
  - Přepětí
  - Podpětí
- Kmitočtové ochrany
- Ochrany zajišťující správné přifázování na DS
- Zpětno wattové ochrany
- Tepelná ochrana vinutí generátorů

Pro MVE autonomního typu je možné některé z nich zanedbat.

Při uvažování komponentů pro jištění bylo nutné se zabývat pouze nadproudovými ochranami a ochranami proti bleskovým přepětím na výstupu MVE. Kmitočtové ochrany a ochrany proti přepětí jsou zabudované ve střídači s výstupními parametry napětí 230 V s tolerancí  $\pm 2\%$  a frekvence 50 Hz s povolenou odchylkou  $\pm 0,1\%$ . Díky konceptu autonomní MVE nejsou ochrany zajišťující správné přifázování na DS nutné. Zpětno wattové ochrany jsou zajištěny regulátorem dobíjení akumulátorů. Tepelné modely chránění generátorů v něm bývají zabudovány již při výrobě [56].

Základní proudové jištění obstarávají pojistky (majoritně v dřívějších dobách), či jističe, případně jejich sériová kombinace. Ochrana před důsledky atmosférického přepětí zajišťuje svodič přepětí.

- **Jističe**

Jistič je druhým zástupcem skupiny přístrojů určených k ochraně navazujících elektrických komponentů. Jedná se v podstatě o automatizovaný vypínač s aktivací při nadměrném proudu. Zajišťuje ochranu před déle trvajícím nadproudem i zkratovým proudem.

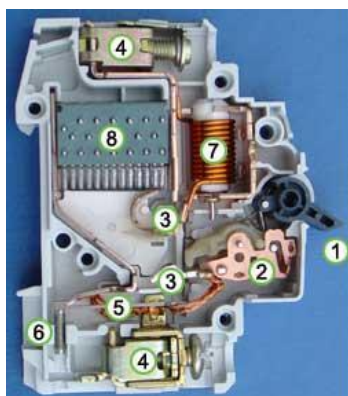
Velkou výhodou oproti pojistkám je nedestruktivní typ vypínání. Díky tomu jej lze po poklesu přetížení, nebo odstranění zkratu opět sepnout.

Vypínání proudového přetížení zajišťuje bimetalová spoušť. Při průchodu zvýšeného proudu se pásek ohřívá. Změna polohy jeho volného konce vyvolá vybavení spínacího kontaktu jističe.

Vybavení jističe při zkratovém proudu zajišťuje spoušť na principu elektromagnetu. V případě průchodu zkratového proudu, který je několikanásobně vyšší, než jmenovitý proud (závisí na typu jističe), způsobí elektromagnet rozepnutí kontaktu.

Nezbytnou součástí konstrukce jističe je zhášecí komora zajišťující zánik elektrického oblouku jeho prodloužením do neudržitelné délky.

**Obr.31.Řez jednofázovým jističem[57]**



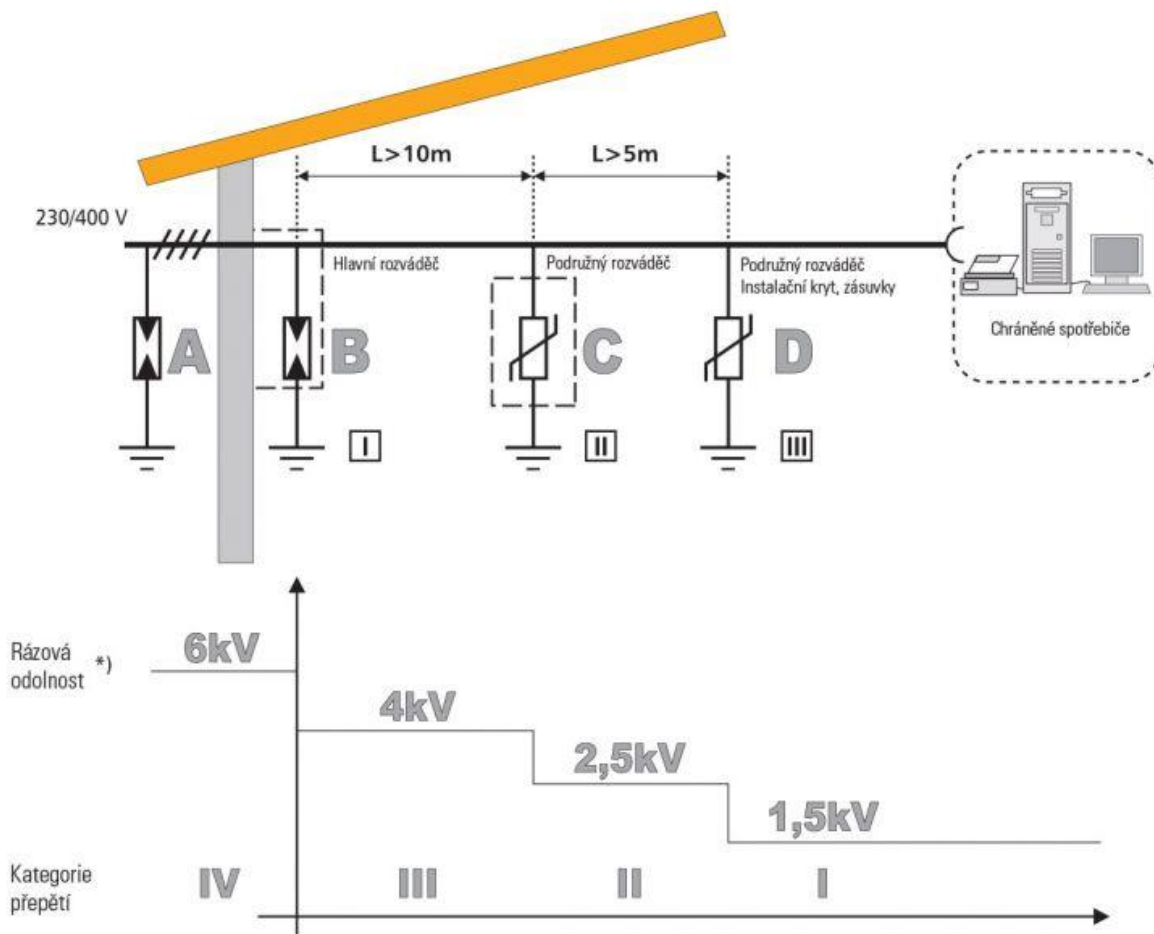
- 1 - ovládací páčka
- 2 - aretační mechanismus
- 3 - kontakty
- 4 - přívodní šroubová svorka
- 5 - bimetalový člen pro vybavení přetížením
- 6 - regulační prvek nastavení citlivosti (u běžných domovních jističů nebývá přítomen)
- 7 - elektromagnetická zkratová spoušť pro vybavení zkratem
- 8 - zhášecí komora

Vypínací charakteristiky jednotlivých typů jističů jsou umístěny v příloze 11.

- **Ochrana před důsledky atmosférického přepětí**

Je zastoupena přístrojem nazvaným svodič přepětí sloužící pro ochranu elektrických zařízení před účinky krátkodobých přepětí. Ta se vyskytují především v důsledku atmosférických výbojů a spínacích pochodů v průmyslových zařízeních. Pro účinnou ochranu zařízení se svodiče přepětí řadí do kaskády, každý dimenzovaný na jinou hladinu přepětí (viz. Obr 32).

**Obr.32.Kaskádní zapojení svodičů přepětí[58]**



Existují též doplňkové ochrany. Mezi nejpoužívanější patří proudový chránič. Ochrany jsou instalovány až v rámci samotných koncových rozvodů.

Výhodou navrhovaného konceptu v rámci jištění je jeho naprostá autonomnost vůči DS, není nutné počítat závislost jištění na jejím přívodu. Místa jištění budou pouze jejich vnitřních komponentů a na výstupu.

#### 5.4.1 Vývod MVE

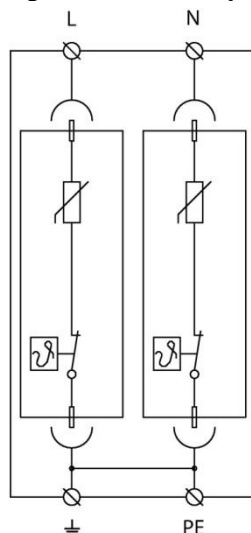
Přívodní kabel je dimenzován na maximální proud 32A. Primárním zdrojem protékajícího proudu bude střídač, který je schopný při špičkovém výkonu 10 000 W dodat až 43,48 A.

Jako vhodné řešení jištění na výstupu MVE byla zvolena kombinace jističe a přepět'ové ochrany.

Proudové ochrany byly vybírány dle proudu určeného přívodním kabelem. Standardní jistič typu B se jmenovitým proudem 32A zajišťuje odpojení při zkratu i nadproudu.

Ochrana proti atmosférickému přepětí na výstupu MVE bude zajištěna dvoupólovým varistorovým svodičem bleskových proudů s třídou ochrany B-C.

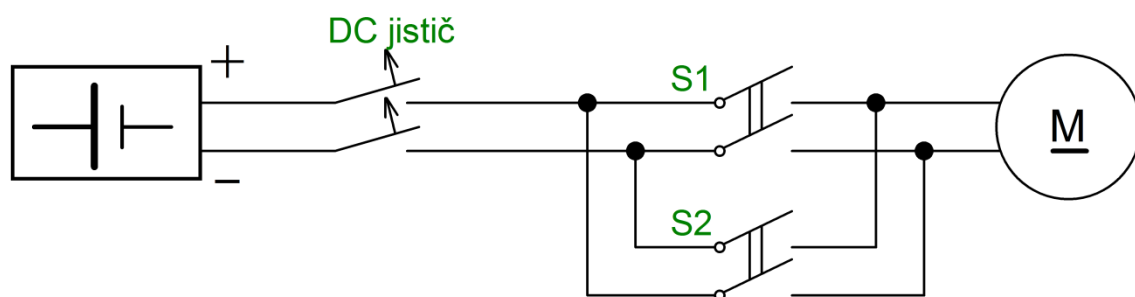
**Obr.33.Vnitřní schéma využití přepět'ové ochrany[59]**



#### 5.4.2 Pohon stavidla

Ačkoliv je pohon stavidla součástí celého návrhu, jedná se v podstatě o spotřebič umístěný na výstupu MVE. Pro jeho správné připojení musí být využito jištění, které bude zajištěno stejnosměrným, dvoupólovým jističem o velikosti 25A jmenovitého proudu. [60] Jelikož se jedná o DC komponent, je třeba při zapojování dodržet správnou polaritu, což by mohl být při nutnosti její změny z důvodu opačného chodu motoru problém. S přihlédnutím k těmto omezením bude tato komponenta umístěna před stykačovou kombinací zajišťující připojení motoru stavidla.

**Obr. 34.Zapojení pohonu stavidla s DC jističem(autor BP)**



### 5.4.3 Řídicí obvody

Každá cívka stykače se v zásadě chová jako spotřebič, je tedy nutné, pro jejich vlastní ochranu i bezpečnost zbylých komponentů MVE, aby byly jištěny. Navrhovaný koncept využívá k automatizovanému chodu tří oddělených kombinací stykačů, celkem tedy šest.

- Přepínání spotřeby mezi AK a DS – 2 stykače
- Automatizace stavidla – 2 stykače
- Odpojení generátorů – 2 stykače

Stykače, stejně jako většina zbylých komponentů MVE jsou napájeny napětím 230V, které poskytuje výstup střídače. V rámci automatizace provozu může být najednou sepnuto maximálně 5 stykačů. Všechny stykače budou jištěny jedním jednofázovým 6A jističem typu B. Stejný typ jističe bude využit pro jištění napájení řídicího PLC.

## 5.5 Uzemnění MVE

Každá elektrárna, jakožto nezávislý, pevně umístěný zdroj elektrické energie, musí obsahovat komponenty pro její uzemnění. Jelikož navrhovaná MVE je autonomního typu, nelze využít uzemnění z přívodu DS, je nutné využít místní zemnění.

Objekt Oparenského mlýna nedisponuje soustavou hromosvodů, jejichž součástí jsou zemniče. Pro uzemnění MVE bude vytvořen nový strojený zemnič, který bude napojen na hlavní uzel zemnění v rozvodné skříni elektrárny umístěné v technické místnosti (všechny neživé části budou spojeny se zemnicí soustavou MVE). Zemnicí systém bude, stejně jako zbylé části MVE, proveden v souladu s platnými ČSN.

## 6 Finanční rozvaha

Každý realizovaný projekt musí mít své nacenění a finanční stránku navrhované problematiky. V případě projektu Ad Fontes, malá vodní elektrárna pro vlastní spotřebu se jedná o jeho celkové náklady včetně rozlišení cen za jednotlivé komponenty a práce, využití zdroje financování a přibližný výpočet možné návratnosti systému.

### 6.1 Náklady na komponenty a související práce

Primárními náklady realizace návrhu MVE jsou její komponenty, kromě kterých je nutné do nákladů na realizaci MVE zahrnout finanční rezervu pro práce na její zprovoznění. Tabulka kompletního nacenění jednotlivých částí se nachází v příloze 12.

**Tab. 17. Zjednodušené nacenění (autor BP)**

Komponent	Cena bez DPH	Cena s DPH	Poznámka	
Dřevěné palce	160 000 Kč	193 600 Kč	Včetně práce	
Převodový systém	60 000 Kč	72 600 Kč		
Generátor	1 000 €	1 200 €	Přepočtový koeficient je 25,41 (dle ČNB 23.4.2018)	
	25 410 Kč	30 492 Kč		
Regulátor dobíjení akumulátorů	1 128 €	1 354 €		
	28 662 Kč	34 405 Kč		
Akumulátory	131 124 Kč	156 840 Kč		
Balancér pro akumulátory	4 908 Kč	5 937 Kč		
Sledování stavu baterie	7 438 Kč	9 000 Kč		
Střídač	37 931 Kč	45 897 Kč		
Motor pro stavidlo	1 479 Kč	1 790 Kč		
Plovákový spínač	1 810 Kč	2 190 Kč		
Řídicí systém (PLC)	7 430 Kč	8 990 Kč		
Propojovací komponenty	6 749 Kč	8 166 Kč		
Rozvaděč	1 027 Kč	1 243 Kč		
Ovládací komponenty	7 357 Kč	8 904 Kč		
Jištění	3 498 Kč	4 233 Kč		
Výuková část	1 514 Kč	1 850 Kč		
Komponenty pro instalaci	10 663 Kč	12 902 Kč		Instalační trubky a lišty
Práce	40 000 Kč	48 400 Kč		Návrh realizace, přípravné práce, instalace komponentů
Zakrytí strojů	20 000 Kč	24 200 Kč		Materiál + práce
<b>Celkem</b>	<b>557 000 Kč</b>	<b>671 639 Kč</b>		

Část „Náklady na komponenty a související práce“ slouží především k zorientování se v hladinových výškách cen jednotlivých komponentů. Tabulková položka „Komponenty pro instalaci“ obsahuje, z důvodů jejich nereálné předvídatelnosti, i mírnou finanční rezervu, která se může měnit v závislosti na konkrétních cenách především elektroinstalačních komponentů (propojovací komponenty, rozvaděč, ovládací komponenty, jištění), jejichž hodnota byla stanovena na základě maloobchodní ceny z katalogu obchodu Elkov elektro[61].

## **6.2 Zdroje financování**

Návrh malé vodní elektrárny na Oparenském mlýně patří pod hlavičku projektu Ad Fontes zabývající se podporou přeshraniční spolupráce mezi Českou Republikou a Svobodným státem Sasko, a jako jeho součást je tedy plně financován z jeho zdrojů. Asociace TOM jakož to lead partner celého projektu dostala přiděleno 263 302,31 € rozdělených v poměru 85% z Evropských Strukturálních Fondů, 5% ze státního rozpočtu ČR a 10% z vlastních zdrojů Asociace TOM. V přepočtu dle aktuálního směnného kurzu 25,41Kč/€ (dle ČNB ke dni 23. 4. 2018) se jedná o 6 690 511,697 Kč[2].

Původní doslova odhad ceny MVE byl jen 507 500 Kč bez DPH. Tato cena vzrostla primárně díky úpravě mlýnského kola, která byla prvotně stanovena o 70 000 Kč nižší.

Ačkoliv je projekt MVE jen malou součástí velkého programu Ad Fontes, tak i přes navýšení jeho finální ceny bude bez omezení financován z těchto zdrojů.



## 7 Výsledky a diskuse

### 7.1 Vyrobená elektrická energie

Vyrobenou elektrickou energii lze rozdělit na dva typy

- Elektrická energie vyrobená generátorem
- Využitelná elektrická energie pro spotřebu

Dále lze využít kritérium dělení dle předpokladu výroby

- Předpokládaná maximální vyrobená elektrická energie
- Předpokládaná skutečná vyrobená elektrická energie

Pro výpočet kapacity akumulátorů byla nezbytná maximální elektrická energie vyrobená generátorem, pro možnosti jejího využití je nutné kalkulovat s elektrickou energií na výstupu střídače. Pro vlastní spotřebu MVE bude počítáno s využitelnou rezervou 5% kapacity akumulátorů. Pro možnost spotřeby objektem napojeným na AK bude využito 75%. To znamená, že z každých vyrobených 10 368 Wh  $\approx$  80% kapacity baterií bude pro spotřebu domu využito 9 720 Wh  $\approx$  75% kapacity. Při přepočtu na teoretickou účinnost lze říct, že akumulátory mají z pohledu využitelné spotřeby elektrické energie účinnost 93,75%. Díky tomuto vyjádření lze spočítat celkovou účinnost elektrické části navrhovaného systému MVE.

$$\mu = \mu_g \cdot \mu_{reg} \cdot \mu_{ak} \cdot \mu_{inv}$$

$$\mu = 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,9375 \cdot 0,95 = 0,64125 \approx 64,13 \%$$

Pro výpočet množství vyrobené elektrické energie bude uvažován pevný čas cyklu akumulární nádrže, 2 h výroba, 6 h napouštění. Celkový čas výroby el. energie bude 6 h/den  $\approx$  2 190 h/rok.

- **Předpokládaná roční maximální využitelná energie**

$$E_{elvm} = P_{mechg} \cdot t \cdot \mu$$

$$E_{elvm} = 2014,04 \cdot 2190 \cdot 0,6413 = 2\,828\,612,436 \text{ [Wh]} = 2\,828,612 \text{ [kWh]}$$

- **Předpokládaná roční skutečná využitelná energie**

$$E_{elvs} = P_{mechg} \cdot t \cdot \mu$$

$$E_{elvs} = 919,52 \cdot 2190 \cdot 0,6413 = 1\,291\,417,105 \text{ [Wh]} = 1\,291,417 \text{ [kWh]}$$

Pro lepší představu o využití vlastní elektrické energie bude na výstup MVE instalován čítač Wh.

## 7.2 Finanční návratnost projektu

Finanční přínos realizace MVE nespočívá jen v ušetření za spotřebu elektrické energie z DS, ale také ve zhodnocení celého objektu a přispění k jeho využitelnosti návštěvníky, ať už se jedná o častější obsazenost vícedenními pobyty, či kratšími výukovými programy.

Z důvodů komplexního financování MVE z hlediska výdajů a nepředvídatelnosti příjmů závislých na počtu návštěv, nelze přesně vypočítat případnou finanční návratnost návrhu vůči reálným nákladům MVE. Zajímavým porovnáním je ale finanční návratnost výroby vůči částce překročené nad původní odhad celkových nákladů projektu MVE, za jakou dobu bude vyrovnána částka 49 500 Kč bez DPH penězi ušetřenými na spotřebě elektrické energie z DS a zda to bude v době její životnosti. I přes daná zjednodušení bude čas doby návratnosti pouze velmi orientační z důvodu nepředvídatelnosti výroby a pohybu cen energií na trhu.

Pro náš účel byl vytvořen modelový příklad doby návratnosti za předpokladu vyrobeného množství elektrické energie 1 291,417 kWh/rok, průměrné současné ceny 4 Kč/kWh a trvalé míry inflace 2 %.

Tabulka hodnot finančních toků je v příloze 10

**Vzorce pro výpočet:**[62]

- **Cena za kWh**

$$Cena_t = Cena_{t-1} \cdot Inlace \text{ [Kč]}$$

- **Příjmy**

$$Příjmy_t = Vyrobeno_t \cdot Cena_t \text{ [Kč]}$$

- “Příjmy“ jsou ve skutečnosti cenou nezaplacenou za nespotřebovanou energii z DS

- **Roční CF – představuje tok peněz**

$$CF_t = Příjmy_t - Výdaje_t \text{ [Kč]}$$

- $CF_t < 0$  → výdaje jsou vyšší než příjmy – platí se
- $CF_t > 0$  → příjmy jsou vyšší než výdaje – vydělává se

- **Současná prostá návratová hodnota**

$$SPNH_t = CF_t + SPNH_{t-1} \text{ [Kč]}$$

- Rozumí se hodnota oproti stavu před počáteční investicí

- **Diskontovaný roční CF**

$$DCF_t = \frac{CF_t}{(1+r)^t} [Kč]$$

- $r$  – diskontní sazba
- Diskontovaný CF vyjadřuje tok peněz s ohledem na možná rizika. Velikost diskontní míry byla, pro MVE jako méně rizikový zdroj příjmů, uvažována  $r = 5\%$  po celou dobu hodnocení investice.

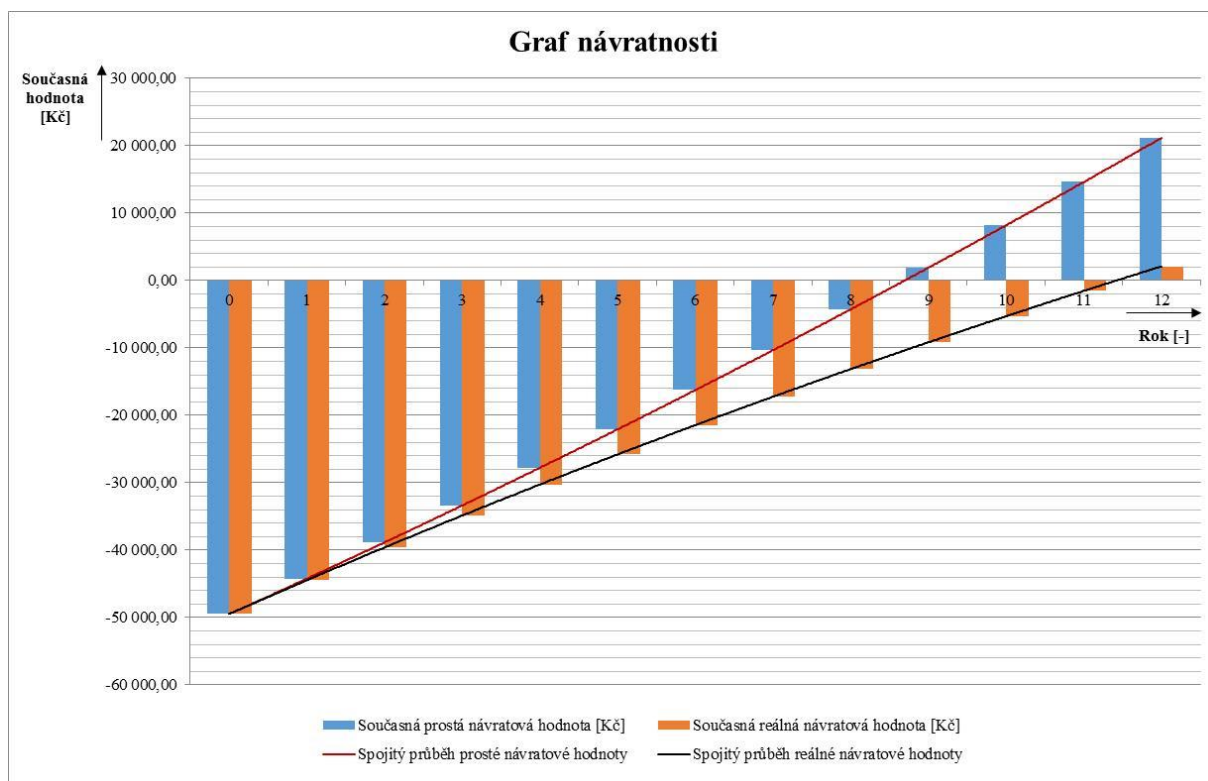
- **Současná reálná návratová hodnota**

$$SRNH_t = DCF_t + SRNH_{t-1}$$

- Rozumí se hodnota oproti stavu před počáteční investicí

Doba návratnosti je počet let, za které se splatí původní investice. V tomto případě se jedná o částku 49 500 Kč bez DPH.

**Graf6. Doba návratnosti finanční investice (autor BP)**



Z výpočtu, podloženého tabulkou v příloze 13, vyplývá, že doba návratnosti prostým výpočtem je v devátém roce provozu a výpočtem pro reálnou hodnotu v roce dvanáctém.

### **7.2.1 Výhodnost investice**

Z modelového výpočtu návratnosti vyplývá, že za minimální dobu životnosti MVE, kterou stanovují akumulátory s minimální životností 8 let se investice z pouhého ušetření za elektrickou energii z DS nezaplatí. Realizace MVE v navrhovaném konceptu je možná pouze díky financování z projektu Ad Fontes, jehož primárním cílem je vzdělávání. V případě realizace za účelem pouhého snížení nákladů na spotřebu objektu placeného z vlastních zdrojů by byl návrh pro stávající podmínky finančně nereálný.

## 8 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vypracování technického návrhu malé vodní elektrárny pro Oparenský mlýn. Popis objektu v současném stavu, legislativní požadavky na povolení stavby, technické řešení a finanční rozvaha byly dílčími cíli projektu.

Pomocí základní koncepce elektrárny autonomního typu byl zpracován komplexní návrh domácí vodní elektrárny včetně popisu vhodných komponentů a jejich konkrétního výběru. Tímto byl cíl celkové koncepce technického návrhu splněn.

Faktem je, že odborná literatura týkající se tématu domácích vodních elektráren je velmi nedostatkovým sortimentem.

Závěrem lze konstatovat, že především z těchto důvodů trpí trh závažným nedostatkem komponentů dimenzovaných k tomuto účelu.

## Seznam použité literatury

- [1] HUŠEK, Lukáš. *Program spolupráce: Česká republika - Svobodný stát Sasko 2014-2020: Projektová žádost*. 2017.
- [2] HUŠEK, Lukáš. *Informace o projektu* [online]. 23.4.2018 11:33. b.r. [cit. 2018-05-12]. Emailová komunikace.
- [3] WAGNER, Hermann-Josef a Jyortirmay MATHUR. *Introduction to hydro energy systems basics, technology and operation*. 1., st Edition. Berlin: Springer, 2011. ISBN 978-364-2207-082.
- [4] MELICHAR, Jan. *Malé vodní turbíny*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN 80-010-1403-7.
- [5] ŠKORPIL, Jan a Milan KASÁRNÍK. *Obnovitelné zdroje energie I.: Vodní elektrárny*. 2. vyd. přeprac. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-708-2675-4.
- [6] PANDEY, Bikash a Ajoy KARKI. *Hydroelectric energy: renewable energy and the environment*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017. ISBN 978-1-4398-1167-2.
- [7] LAIKA, Viktor. *Historické mezníky. Abeceda malých vodních pohonů* [online]. b.r. [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/uvod/stoleti.htm>
- [8] MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [9] HOLATA, Miroslav, Pavel GABRIEL, ed. *Malé vodní elektrárny: projektování a provoz*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0828-4.
- [10] ČSN 75 0120. *Vodní hospodářství: Terminologie hydrotechniky*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2009, 166 s.
- [11] NEPLATNÁ. ČSN 75 0128. *Vodní hospodářství: Názvosloví využití vodní energie*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1988.
- [12] ČSN 08 5000. *Názvosloví vodních turbín, akumulčních čerpadel, čerpadlových turbín a regulátorů vodních turbín*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1985, 36 s.
- [13] LAIKA, Viktor. *Bankiho turbína. Abeceda malých vodních pohonů* [online]. b.r. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/banki.htm>
- [14] *Cross-flow turbine. Academic Dictionaries and Encyclopedias* [online]. © Academic, 2017 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://enacademic.com/dic.nsf/enwiki/11590409>
- [15] LAIKA, Viktor. *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. b.r. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/>
- [16] *Malá voda: Stránky o využití malých vodních toků k výrobě elektrické energie*. [online]. © Malavoda, 2014 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.malavoda.cz/>
- [17] *Oparenský mlýn. Asociace TOM* [online]. 2002-2018 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <http://chalupy.a-tom.cz/chalupa/33-oparensky-mlyn>
- [18] MADĚRA, Jaromír. *PPO Oparenský mlýn: Manipulační a provozní řád*. [Interní dokument Asociace TOM]. Děčín, 2014.
- [19] KOUTECKÝ, Vít. *Hydrologické údaje povrchových vod: Milešovský potok. Ústí nad Labem: Český hydrometeorologický ústav, 2018.*

- [20] *Mapy.cz* [online]. © Seznam.cz, a.s., 2014 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <https://mapy.cz/>
- [21] VELICHOVÁ, Václava. *Základ k legislativním požadavkům pro stavbu malé vodní elektrárny*. [Nepublikovaný dokument]. Lovosice, 2018.
- [22] ČESKO. Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). In: *Sbírka zákonů České republiky*. Česká republika, 2001, částka 98. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>
- [23] ČESKO. Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). In: *Sbírka zákonů České republiky*. Česká republika, 2006, částka 63. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-183>
- [24] ČESKO. Ministerstvo zemědělství. Vyhláška č. 432/2001 Sb., o dokladech žádosti o rozhodnutí, nebo vyjádření a o náležitostech povolení, souhlasů a vyjádření vodoprávního úřadu. In: *Sbírka zákonů České republiky*. Česká republika, 2001, částka 162. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-432>
- [25] ČESKO. *Rozhodnutí o povolení k jinému nakládání s povrchovými vodami: Oparenský mlýn*. In: . Lovosice: Městský úřad Lovosice: odbor životního prostředí, 2013.
- [26] PODROUŽEK, Kamil. *Informace o Oparenském mlýně: Průtoky vody*. Oparno, 2017. Ústní sdělení.
- [27] LAIKA, Viktor. Korečnick na horní vodu. *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. b.r. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/vodnikolaHD/korecnikHD.htm>
- [28] LAIKA, Viktor. Výkon vodního motoru. *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. b.r. [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/sikovneruce/jaky-je-vykon.htm>
- [29] LAIKA, Viktor. Jaké jsou ztráty?. *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. b.r. [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/sikovneruce/co-ztraty.htm>
- [30] VESELÝ, Petr. Kuželov. *Povětrník: větrné mlýny v českých zemích* [online]. 2012 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://povetrnik-cz.svethostingu-tmp.cz/rs/view.php?cisloclanku=2006010401>
- [31] ČSN 33 2000-4-41. *Elektrické instalace nízkého napětí: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti, Ochrana před úrazem elektrickým proudem*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2007, 52 s. ed. 2.
- [32] ČSN 33 2000-5-51. *Elektrické instalace nízkého napětí: Výběr a stavba elektrických zařízení - Všeobecné předpisy*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2010, 60 s. ed. 3.
- [33] ČSN 33 2000-4-41. *Elektrické instalace nízkého napětí: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti, Ochrana před úrazem elektrickým proudem*. ZMĚNA Z1. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2010. ed. 2.
- [34] LAIKA, Viktor. Autoalternátor. *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. b.r. [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/sikovneruce/autoalternator.htm>
- [35] SOLARISS S.R.O. Generator pre VE 1000w 24v. SOLARISS S.R.O. *Solariss: Energia z prírody, energia pre Vás* [online]. b.r. [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <http://www.solariss.sk/Generator-pre-VE-1000w-24v-d457.htm?tab=description>. E-shop.
- [36] HNILICA, Pavel. 6.Jaký solární regulátor použít - 6.díl ze seriálu článků: Solární regulátor a MPPT měnič. *Deramax: Český výrobce elektroniky* [online]. Valašské meziříčí, b.r. [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://www.deramax.cz/6-jaky-solarni-regulator-pouzit-6-dil-ze-serialu-clanku>
- [37] Regulátor dobíjení akumulátorů TriStar MPPT 60. *Malá voda: Stránky o využití malých vodních toků k výrobě elektrické energie*. [online]. © Malavoda, 2014, 14.11.2017 [cit.

- 2018-05-14]. Dostupné z: <http://www.malavoda.cz/regulator.htm>
- [38] SOLARISS S.R.O. Hybridny veterny regulator 1000w 24-48v. SOLARISS S.R.O. *Solariss: Energia z prírody, energia pre Vás* [online]. b.r. [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <http://www.solariss.sk/Hybridny-veterny-regulator-1000w-24-48v-d590.htm?tab=description>. E-shop.
- [39] HNILICA, Pavel. 7.Jaké akumulátory použít - 7.díl ze seriálu článků: Jaké akumulátory (trakční baterie) budeme potřebovat pro solární ostrovní systém. *Deramax: Český výrobce elektroniky* [online]. Valašské meziříčí, b.r. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://www.deramax.cz/7-jake-akumulatory-pouzit-7-dil-ze-serialu-clanku>
- [40] Li-ion baterie: principy, provoz, rady (1.část). *Cnews.cz* [online]. © Mladá fronta a.s., b.r. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://www.cnews.cz/li-ion-baterie-principy-provoz-rady-1-cast/>
- [41] RICHTER, Pavel. Malý fotovoltaický ostrovní systém: Akumulátor a úschova energie. *PavelRichter: Občasník/myšlenky/projekty* [online]. 2007 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://pavelrichter.net/2012/04/maly-fotovoltaicky-ostrovní-system-akumulator-a-uschova-energie/>
- [42] Baterie LiFePo 12V 19Ah LIFEP04. *Eskutr: Prodej, servis, tuning* [online]. b.r. [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <http://eskutr.cz/cs/lifepo4-bateriove-packy-12v-bez-pcm/273-baterie-lifepo-12v-40ah-wb-lp12v40ah.html>. E-shop.
- [43] Řazení, spojování a označování aku .... *RCK* [online]. © RCK [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://www.hranol.cz/view.php?cisloclanku=2011030003>
- [44] NEOSOLAR S.R.O. Bateriový balancér Victron Energy. NEOSOLAR S.R.O. *Neosolar: Energie a úsporné technologie* [online]. © Neosolar, 2018 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://eshop.neosolar.cz/bateriovy-balancer-victron-energy>. E-shop.
- [45] *Victron Battery Balancer: Datasheet*. Holandsko: © Victron Energy B.V., b.r. Dostupné také z: [https://eshop.neosolar.cz/images\\_content/949/3437-O-datasheet-battery-balancer-en.pdf](https://eshop.neosolar.cz/images_content/949/3437-O-datasheet-battery-balancer-en.pdf)
- [46] KIKAL, Václav. *Přípojka NN pro dům čp. 29 Oparenském údolí - na stavební parcele č. 37, k.ú. Oparno: Situace*. [Interní dokument Asociace TOM]. Roudnice nad Labem, 2010.
- [47] Měniče napětí 48V na 230V. *Mulač* [online]. Plzeň, b.r. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://www.mulac.cz/menice-napeti/48v-230v/>. E-shop.
- [48] Phoenix Inverter 48/5000, měnič napětí sinus, DC/AC. *Mulač* [online]. Plzeň, b.r. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://www.mulac.cz/menice-napeti/48v-230v/phoenix-inverter-485000-menic-napeti-sinus-ph485000.htm>. E-shop.
- [49] Elektromotor 1000W 48V. *Minibike Shop - náhradní díly* [online]. Volyně: © Minibike-Shop.cz, b.r. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://www.minibike-shop.cz/1425-motor-1000w-48v.html>. E-shop.
- [50] ČSN 33 2000-5-52. *Elektrické instalace nízkého napětí: Výběr a stavba elektrických zařízení - Elektrická vedení*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2012. ed. 2.
- [51] ČSN EN 50160. *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2011. ed. 3.
- [52] ČSN EN 60898-1. *Elektrická příslušenství - Jističe pro nadproudové jištění domovních a podobných instalací: Jističe pro střídavý provoz (AC)*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2003.
- [53] HENNLICH S.R.O. Plovákové spínače hladiny - přímé: Plovákový spínač typ 230 - 290. HENNLICH S.R.O. *Hennlich - řešení pro průmysl* [online]. Litoměřice: © Hennlich,



- 2018 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/produkty/prvky-pro-mereni-a-regulaci-hladinove-spinace-plovakove-spinace-hladiny-prime-3579/plovakovy-spinac-typ-230-290.html>
- [54] *Instalační stykače Z-SCH: Technické údaje*. Moeller: Eaton, b.r. Dostupné také z: <https://www.esvit.cz/upload/files/000008e150/z-sch-technicke-parametry.pdf>
- [55] ELKOV ELEKTRO A.S. Stykače instalační. ELKOV ELEKTRO A.S. *Elkov elektro: velkoobchod elektomateriálem a svítidly* [online]. Brno, b.r. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://eshop.elkov.cz/kategorie/stykace-instalacni>. E-shop.
- [56] KLOBUŠNÍK, Lubomír. Jištění MVE: Odpověď na dotaz. *EFEKT: Informační portál Ministerstva průmyslu a obchodu o podpoře energetických úspor a využití obnovitelných zdrojů energie* [online]. © MPO, 2008 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/cz/ekis/i-ekis/92722>
- [57] MORAVEC, Jan. Elektrické ochrany v soustavách nízkého napětí – 2. díl: Jistič. *O Energetice* [online]. © OM Solutions s.r.o., b.r. [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/elektricke-ochrany-v-soustavach-nizkeho-napeti-jistic/>
- [58] Svodiče přepětí. *Eaton: CZ* [online]. © Eaton Elektrotechnika, 2015 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://eatonelektrotechnika.cz/cz/svodice.html>
- [59] ELKOV ELEKTRO A.S. Saltek svodič FLP-12,5 V/2 TYP 1+2 12,5KA/30KA 230VAC 2PÓL. ELKOV ELEKTRO A.S. *Elkov elektro: velkoobchod elektomateriálem a svítidly* [online]. b.r. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://eshop.elkov.cz/produkty/saltek-svodic-flp-12-5-v-2-typ-1-2-12-5ka-30ka-230vac-2pol>. E-shop.
- [60] NEOSOLAR S.R.O. DC jistič 25A. NEOSOLAR S.R.O. *Neosolar: Energie a úsporné technologie* [online]. © Neosolar, 2018 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://eshop.neosolar.cz/dc-jistic-25a>. E-shop.
- [61] ELKOV ELEKTRO A.S. *Elkov elektro: velkoobchod elektomateriálem a svítidly* [online]. b.r. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://www.elkov.cz>. E-shop.
- [62] KLEIN, Vít. Přednášky pro předmět Týmový projekt na ČVUT FEL. *Powerwiki* [online]. b.r. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://www.powerwiki.cz/wiki/TP1B>. Přístupné jen zaměstnancům a studentům ČVUT FEL.
- [63] *Dokumentace Oparenský mlýn: Výkresy stavby*. [Interní dokument Asociace TOM]. Roztoky u Prahy, 2010.
- [64] ŠTĚPÁN, František. Jističe určené pro laickou obsluhu. *Elektrika.cz* [online]. b.r. [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/jistice-urcene-pro-laickou-obsluhu>

## Přehled grafů

- Graf 1.** M – denní průtoky Milešovského potoka v místě Oparenského mlýna (autor BP)
- Graf 2.** N – leté průtoky Milešovského potoka v místě Oparenského mlýna (autor BP)
- Graf 3.** Celková roční spotřeba el. energie Oparenského mlýna v letech 2015 – 2017 (autor BP)
- Graf 4.** Průměrná denní spotřeba el. energie správcovského objektu Oparenského mlýna v letech 2015-2017 (autor BP)
- Graf 5.** Porovnání měsíčních spotřeb el. energie Oparenského mlýna z let 2015-2017 (autor BP)
- Graf 6.** Doba návratnosti finanční investice (autor BP)

## Přehled obrázků

- Obr. 1.** Cyklus vody v přírodě[3]
- Obr. 2.** Výroba elektrické energie ve vodních elektrárnách do roku 1990[4]
- Obr. 3.** Základní varianty řešení MVE[4]
- Obr. 4.** Účinnost PVE[3]
- Obr. 5.** Typická derivační elektrárna[6]
- Obr. 6.** Oblasti použití základních typů turbín[8]
- Obr. 7.** Principiální schéma Bánkiho turbíny[14]
- Obr. 8.** Pohled na Oparenský mlýn[17]
- Obr. 9.** Unikátní lamelový krov mlýnice[17]
- Obr. 10.** Rozdělovací objekt mlýnského náhonu (autor BP)
- Obr. 11.** Koryto mlýnského náhonu (autor BP)
- Obr. 12.** Podélný řez mlýnského náhonu (autor BP)
- Obr. 13.** Upravený podélný řez mlýnského náhonu (autor BP)
- Obr. 14.** Akumulační nádrž mlýnského náhonu (autor BP)
- Obr. 15.** Stavidlo nádrže mlýnského náhonu (autor BP)
- Obr. 16.** Mlýnské kolo (autor BP)
- Obr. 17.** Tabulka pro konstrukci Korečnicku na horní vodu[27]
- Obr. 18.** Demonstrace převodu pomocí dřevěných palců[30]
- Obr. 19.** Zapojení dvou 24V generátorů (autor BP)
- Obr. 20.** Schéma zapojení akumulátorů (autor BP)

- Obr.21.** Schéma zapojení akumulátorů pro dva 24V generátory (autor BP)
- Obr. 22.** Schéma zapojení akumulátorové kombinace (dále AK) a balancérů (převzato z datasheetu výrobce)[45]
- Obr. 23.** Tabulka maximálních proudů pro měděné kabely s dvěma zatíženými vodiči dle ČSN 33 2000-5-52 ed. 2[50]
- Obr. 24.** Plovákový hladinový spínač od firmy Hennlich typ 230 - 290 (převzato ze stránek výrobce)[53]
- Obr. 25.** Schéma funkce třífázových stykačů(autor BP)
- Obr. 26.** Schéma funkce jednofázových stykačů(autor BP)
- Obr. 27.** Schéma funkce třífázových stykačů pro generátor(autor BP)
- Obr. 28.** Schématické rozdělení pracovních míst(autor BP)
- Obr. 29.** Blokové schéma propojení jednotlivých komponentů (autor BP)
- Obr.30.** Liniové schéma řídicího obvodu (autor BP)
- Obr.31.** Řez jednofázovým jističem[57]
- Obr. 32.** Kaskádní zapojení svodičů přepětí[58]
- Obr. 33.** Vnitřní schéma využití přepětíové ochrany[59]
- Obr. 34.** Zapojení pohonu stavidla s DC jističem(autor BP)

## **Přehled tabulek**

- Tab. 1.** Hodnoty pro výpočet objemu nádrže (autor BP)
- Tab. 2.** Základní data spotřeby elektrické energie objektu (2015 – 2017) (autor BP)
- Tab. 3.** Rozměry mlýnského kola[26]
- Tab. 4.** Měření času cyklu s vypočtenými styčnými hodnotami [26], (autor BP)
- Tab. 5.** Hodnoty pro výpočty mechanického výkonu na hřídeli kola (autor BP)
- Tab. 6.** Hodnoty pro výpočet mechanického výkonu na hřídeli generátoru (autor BP)
- Tab. 7.** Bezpečná jmenovitá napětí s ohledem na členění prostorů a na způsob dotyku [31]
- Tab. 8.** Parametry generátoru[35]
- Tab. 9.** Hodnoty pro výpočet kapacity akumulátorů(autor BP)
- Tab. 10.** Parametry pro měnič napětí(autor BP)
- Tab. 11.** Řady výkonů měničů[47]
- Tab. 12.** Parametry vybraného měniče[48]
- Tab. 13.** Hodnoty pro výpočty dimenzování přívodního kabelu (autor BP)

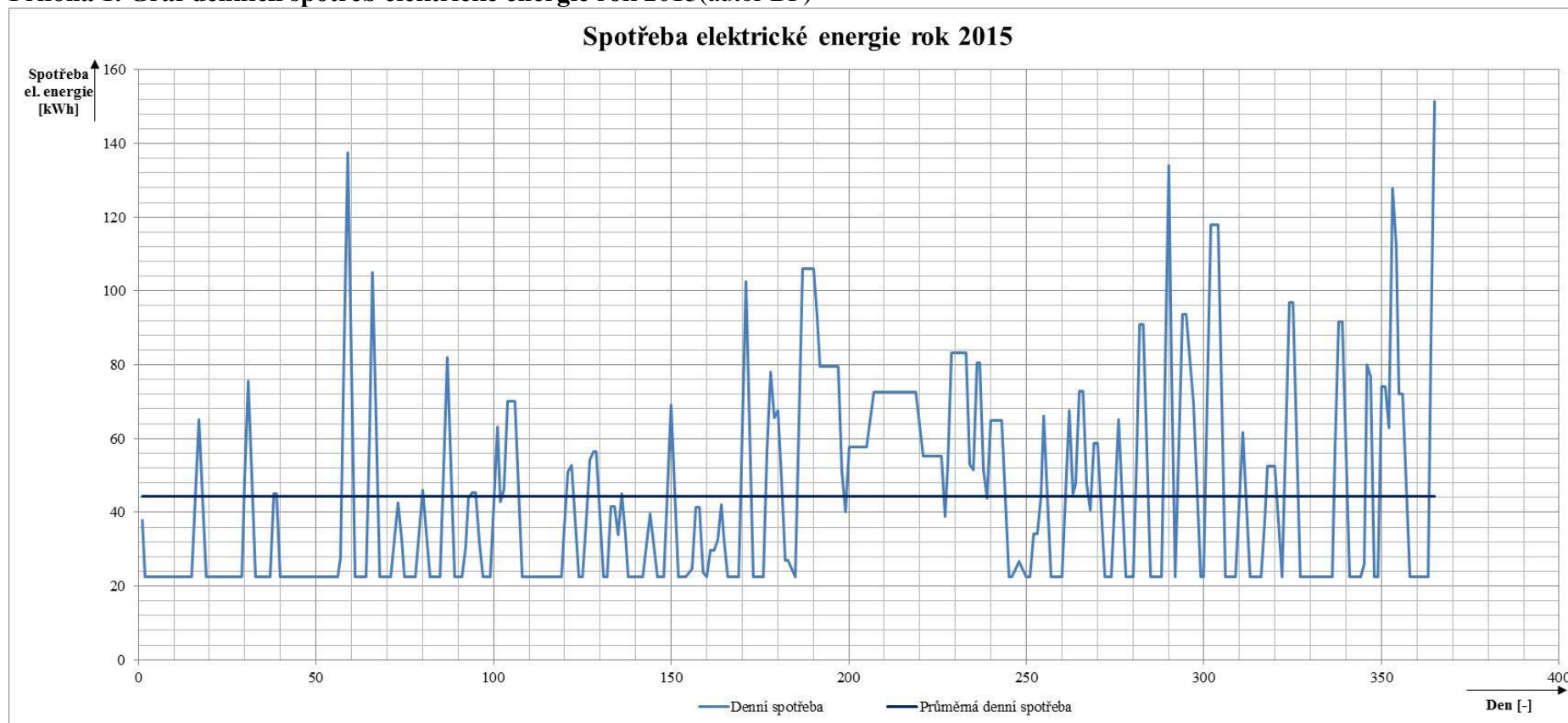
- Tab. 14.** Rozsahy okamžitého vypínání jističů[52]  
**Tab. 15.** Nejdůležitější parametry zvolených stykačů[55]  
**Tab. 16.** Označení typu kabelu  
**Tab. 17.** Zjednodušené nacenění (autor BP)

## **Seznam příloh**

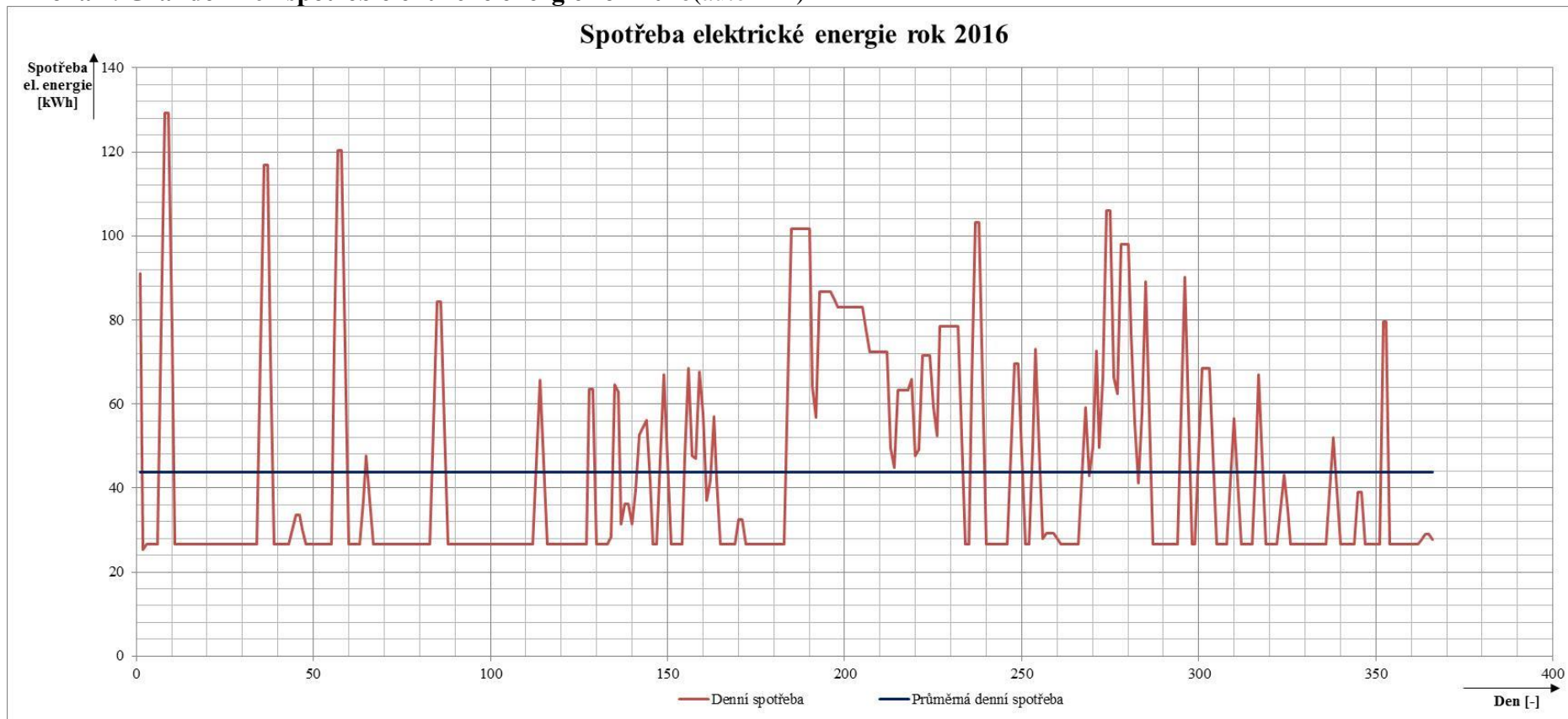
- Příloha 1.** Graf denních spotřeb elektrické energie rok 2015 (autor BP)  
**Příloha 2.** Graf denních spotřeb elektrické energie rok 2016 (autor BP)  
**Příloha 3.** Graf denních spotřeb elektrické energie rok 2017 (autor BP)  
**Příloha 4.** Graf měsíčních spotřeb elektrické energie rok 2015 (autor BP)  
**Příloha 5.** Graf měsíčních spotřeb elektrické energie rok 2016 (autor BP)  
**Příloha 6.** Graf měsíčních spotřeb elektrické energie rok 2017 (autor BP)  
**Příloha 7.** Seznam potřebných dokladů pro povolovací proces[21]  
**Příloha 8.** Manipulační řád pro MVE Oparenský mlýn (autor BP)  
**Příloha 9.** Hydrologická data milešovského potoka[19]  
**Příloha 10.** Snímek části výkresu z technické dokumentace s označením využitých míst[63]  
**Příloha 11.** Vypínací charakteristiky jističů[64]  
**Příloha 12.** Tabulka nacenění jednotlivých komponentů (autor BP)  
**Příloha 13.** Tabulka hodnot finančních toků (autor BP)

# Přílohy

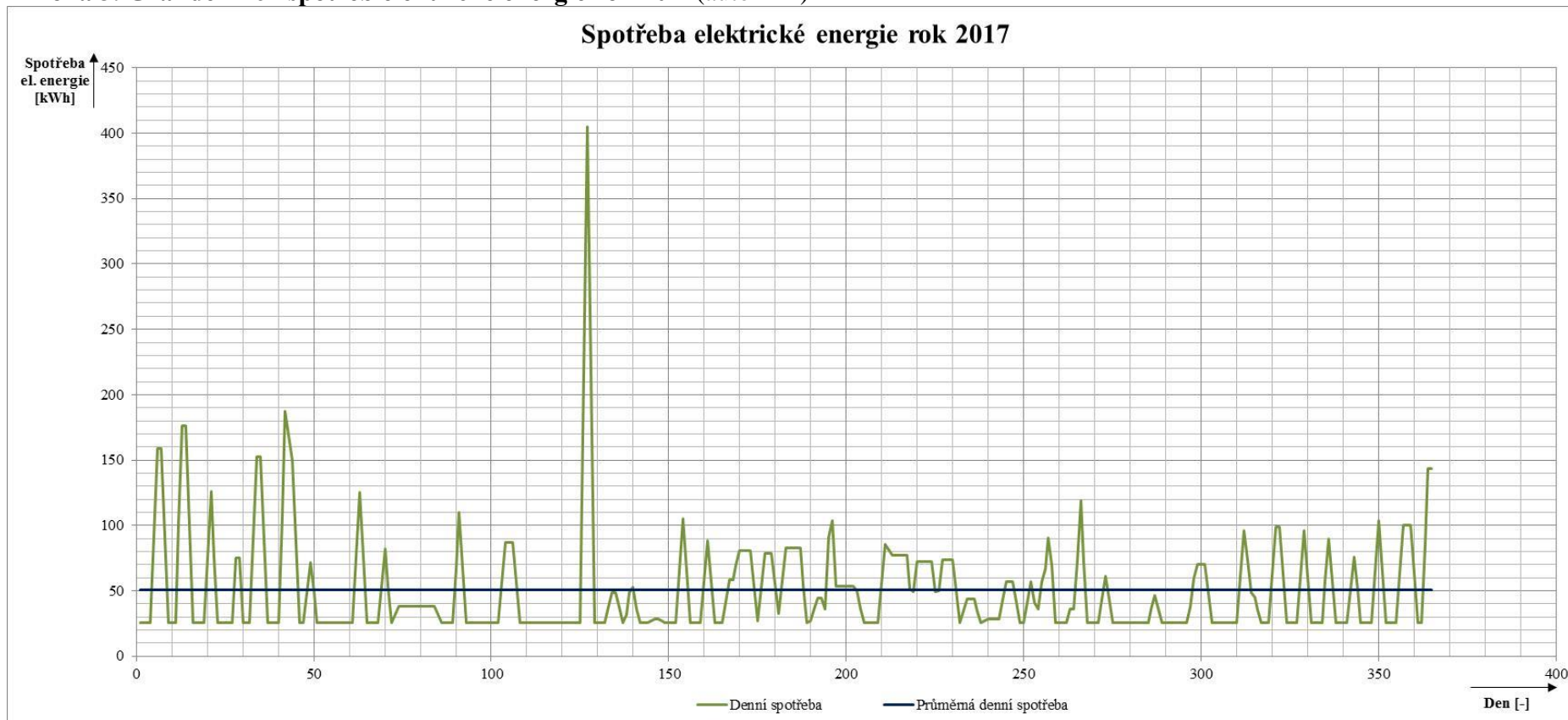
Příloha 1. Graf denních spotřeb elektrické energie rok 2015(autor BP)



**Příloha 2. Graf denních spotřeb elektrické energie rok 2016 (autor BP)**



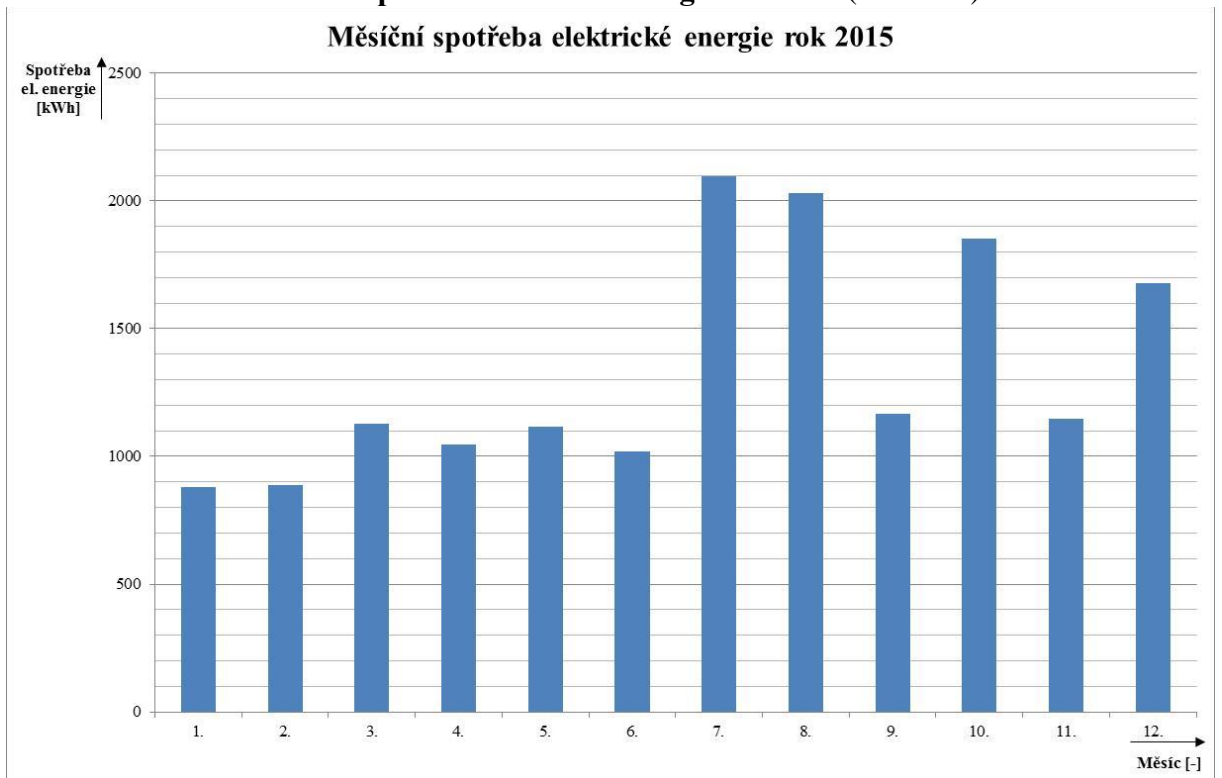
**Příloha 3. Graf denních spotřeb elektrické energie rok 2017(autor BP)**



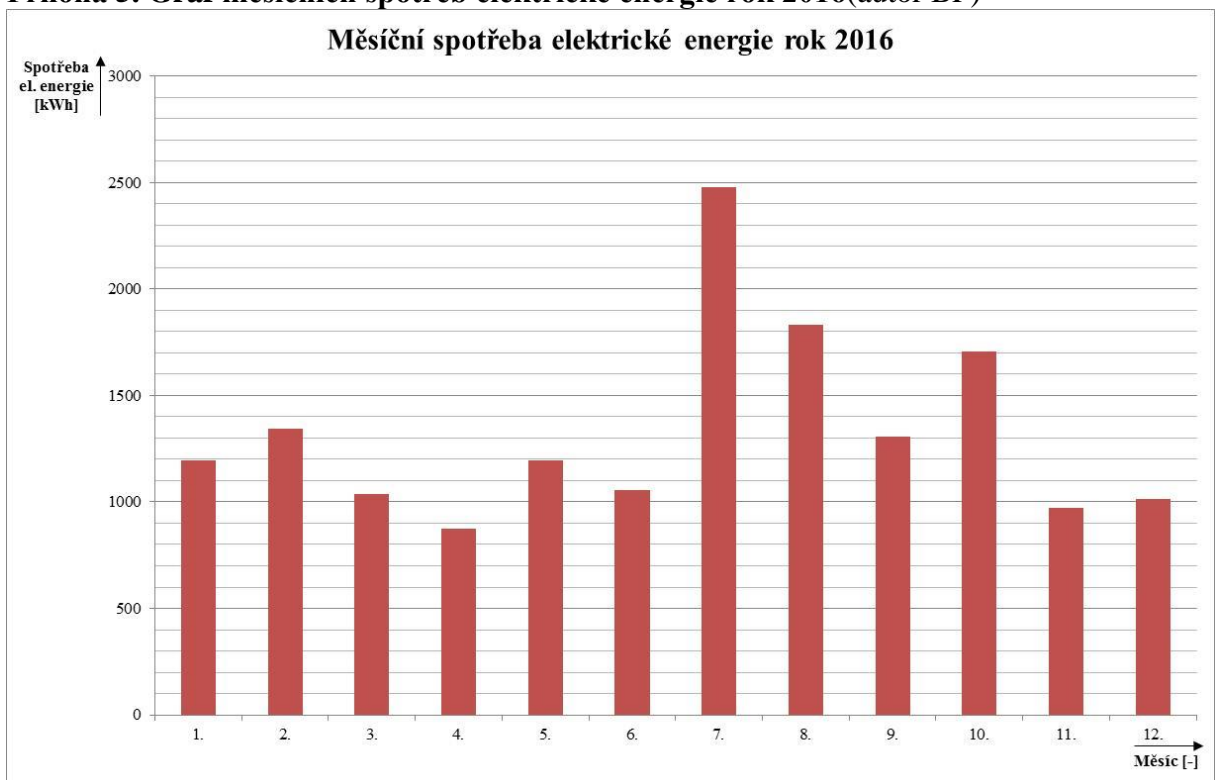




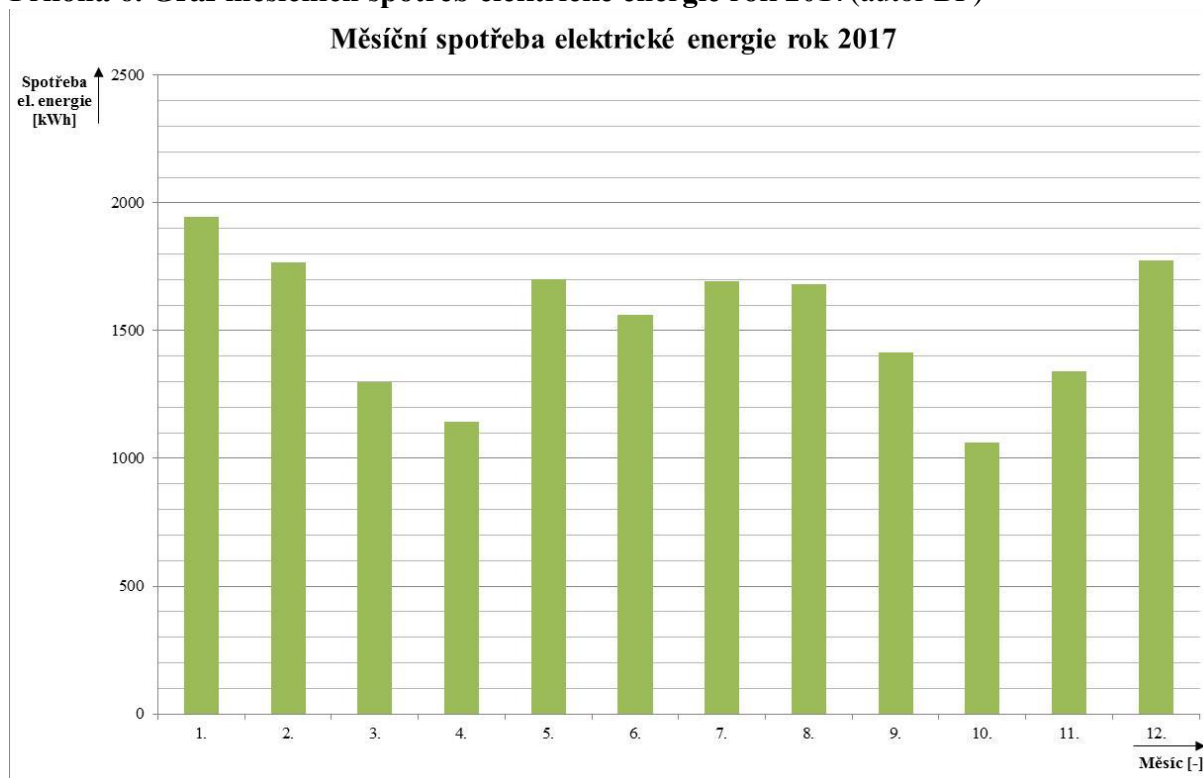
**Příloha 4. Graf měsíčních spotřeb elektrické energie rok 2015 (autor BP)**



**Příloha 5. Graf měsíčních spotřeb elektrické energie rok 2016 (autor BP)**



## Příloha 6. Graf měsíčních spotřeb elektrické energie rok 2017 (autor BP)



## Příloha 7. Seznam potřebných dokladů pro povolovací proces [21]

### Doklady pro stavební řízení:

1. Územní rozhodnutí.
2. Souhlas stavebního úřadu příslušného k vydání územního rozhodnutí, který ověřuje dodržení jeho podmínek.
3. Doklad prokazující vlastnické právo k pozemku, pokud vodoprávní úřad nemůže existenci takového práva ověřit v katastru nemovitostí. Případně souhlas vlastníka dotčeného pozemku.
4. Projektová dokumentace stavby ve dvou vyhotoveních
5. Plán kontrolních prohlídek stavby.
6. Údaje o splnění požadavků dotčených orgánů.
7. Doklady o jednání s účastníky řízení (byla-li předem vedena).
8. Závazná stanoviska dotčených orgánů, pokud mohou být veřejné zájmy, které tyto orgány podle zvláštního právního předpisu hájí, provedením stavby dotčeny.
9. Stanoviska vlastníků veřejné dopravní a technické infrastruktury.
10. Stanovisko správce povodí.
11. Vyjádření příslušného správce vodního toku, pokud se žádost o stavební povolení týká vodního díla souvisejícího s tímto vodním tokem.

## **Doklady pro vydání povolení k nakládání s povrchovými vodami**

1. situaci širších vztahů nakládání s vodami a jeho okolí, schematicky zakreslenou do mapového podkladu zpravidla v měřítku 1 : 10 000 až 1 : 50 000,
2. rozhodnutí, stanoviska, vyjádření, souhlasy, posouzení, popřípadě jiná opatření dotčených orgánů, týkající se dané věci, pokud to po žadateli vyžadují zvláštní právní předpisy),
3. kopii katastrální mapy území, jehož se povolení týká, včetně zakreslení místa nakládání s vodami a v případě vzdouvání též s vyznačením rozsahu a délky vzduť,
4. stanovisko správce povodí k požadovanému nakládání s vodami, včetně ověření orientační polohy místa nakládání s vodami v souřadnicích X, Y určených v souřadnicovém systému Jednotné trigonometrické sítě katastrální v návaznosti na evidenci vodních toků,
5. vyjádření příslušného správce vodního toku k požadovanému nakládání s vodami, pokud se žádost o povolení týká tohoto vodního toku,
6. doklad, jímž prokáže právo k pozemkům a stavbám vzdouváním vody dotčeným, nejedná-li se o vzdouvání vody ve vodním díle,
7. údaje o průtocích vody ve vodním toku (Q330 denní, Q355 denní, Q364 denní a Qa dlouhodobý průměrný), pokud se žádost o povolení týká vodního toku a požadované nakládání s vodami může mít za následek snížení průtoku vodního toku,
8. výčet a druh chráněných území a ochranných pásem stanovených podle zvláštních právních předpisů, pokud by mohly být nakládáním s vodami dotčeny

**Příloha 8. Manipulační řád pro MVE Oparenskýmlýn (autor BP)**

*Pozn.: Jedná se o pouhý návrh manipulačního řádu. Uveden bez úvodní části a příloh.*

# **MANIPULAČNÍ ŘÁD**

## **PRO**

### **MVE V OPARENSKÉM MLÝNĚ**

**O B S A H :**

#### **A. TECHNICKÉ ÚDAJE**

**A.1 – Účel a využití**

**A.2 – Hydrologické poměry**

**A.3 – Funkce a technické parametry**

#### **B. PODKLADY PRO VYPRACOVÁNÍ MANIPULAČNÍHO ŘÁDU**

#### **C. MANIPULACE S VODOU**

**C.1 – Směrodatné průtoky**

**C.2 – Přehled manipulačních míst**

**C.3 – Manipulace v běžném provozu**

**C.4 – Manipulace za povodní**

#### **D. MIMOŘÁDNÉ UDÁLOSTI A BEZPEČNOSTNÍ OPATŘENÍ**

## **A. TECHNICKÉ ÚDAJE**

### **A.1 – Účel a využití**

Účel: MVE pro vzdělávací účely

### **A.2 – Hydrologické poměry**

Objekty Oparenského mlýna jejichž součástí je MVE využívající stávající náhon s akumulacním rybníkem, rekonstruovaný v rámci projektu PPO pro Oparenský mlýn, se nacházejí v těsné blízkosti Milešovského potoka v prostoru soutoku s Chotiměřským potokem. Pro profil nad tímto soutokem byla pro potřebu vypracování projektu MVE Českým hydrometeorologickým ústavem v Ústí nad Labem vydána následující hydrologická data:

Plocha povodí A: 29,12 km<sup>2</sup>  
Dlouhodobá průměrná roční výška srážek P<sub>a</sub>: 584 mm  
Dlouhodobý průměrný roční průtok Q<sub>a</sub>: 112 l·s<sup>-1</sup>

M-denní průtoky Q<sub>Md</sub>

M	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364	Třída
l·s <sup>-1</sup>	245	178	142	118	100	85	72	61	50	40	29	17	7,4	IV.

N-leté průtoky Q<sub>N</sub>

N	1	2	5	10	20	50	100	Třída
m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	6,36	9,54	15,5	21,5	26,2	35,7	43,7	IV.

*Hydrologické údaje ČHMÚ Ústí n. L. jsou doloženy jako příloha manipulačního řádu*

### **A.3 – Funkce a technické parametry**

Koncepcí technického řešení je vybudování automatizované MVE, určené pro vzdělávací účely, využívající stávající vodní náhon zbudovaný v rámci PPO.

Stavba „MVE Oparenský mlýn“ bude zrealizována v následujícím rozsahu a členění na objekty:

#### **SO 1 – Mlýnský náhon**

Pro realizaci MVE bude využito stávajícího mlýnského náhonu v jeho nezměněné podobě. Velikost náhonu byla vzhledem k nedostatečným podkladům stanovena na 216 m<sup>3</sup>.

## SO 2 – Mlýnské kolo

Stávající mlýnské kolo (rozměry uvedeny v tabulce níže) bude doplněno palečným kolem určeným pro převod otáček do rychla přisazeným po obvodu vně loukotí mlýnského kola směrem k návodní zdi mlýnice.

Tabulka rozměrů mlýnského kola

Název	Znak	Hodnota	Jednotka
Šířka korečku	B	0,6	m
Vnější průměr kola	D	3,3	m
Vnitřní průměr kola	d	2,61	m
Otáčky za minutu	n	8-10	ot/min
Počet lopatek kola	lop	36	ks

## SO 3 – Generátor

Generátor jakožto zdroj elektrické energie bude umístěn na stejné návodní zdi mlýnice objektu Oparenského mlýna jako mlýnské kolo, se kterým bude spojen pomocí ocelové ojnice s pastorkem, přenášejícími točivý moment z palečného kola umístěného na mlýnském kole.

Typ generátoru je 24 V střídavý asynchronní alternátor s buzením neodymovými magnety. Vybraný typ motoru splňuje podmínky bezpečných jmenovitých napětí s ohledem na členění prostorů a způsobu dotyku. Budou využity dva generátory se společným nulovým potenciálem uprostřed, které budou spojeny až v místě stejnosměrného typu napětí, meze velikosti bezpečných jmenovitých napětí s ohledem na členění prostorů a způsobu dotyku tedy nebudou překročeny

Pro ochranu generátoru bude v daném místě zbudována stylová zastřešená bedněná skříň s demonstrativní stěnou pro výukové účely, sloužící k indikaci a regulaci provozu.

*Pozn.: Bezpečná jmenovitá napětí jsou uvedena v tabulce, která je spolu s klasifikací umístění prostoru umístěna v příloze.*

## SO 4 – Stavidlo náhonu

Systém stavidla náhonu bude doplněn o motor určený k automatizaci provozu MVE. Motor bude umístěn ve stylové bedněné skříni, sloužící k ochraně motoru před přírodními vlivy. Pohon stavidla bude typu 48V stejnosměrný motor. Vybraný typ motoru splňuje podmínky bezpečných jmenovitých napětí s ohledem na členění prostorů a způsobu dotyku. Se stavidlem bude motor spojen pomocí rozpínatelné spojky. Automatizovaná funkce bude zajišťována snímačem maximální a minimální hladiny stávající akumulární nádrže.

*Pozn.: Bezpečná jmenovitá napětí jsou uvedena v tabulce, která je spolu s klasifikací umístění prostoru umístěna v příloze.*

### SO 5 – Terénní úpravy

Všechny stavební úpravy jsou navrhovány v souladu se stávajícím PPO. Jejich instalace nevyžaduje zásadních stavebních a terénních úprav a jako takové zasahují do vzhledu krajiny jen minimálně.

### SO 6 – Výkon MVE

Při průtoku  $80 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  na korečník bude na jeho hřídeli výkon  $P_{\text{mech}} = 2189,04 \text{ W}$ . Po odečtení ztrát mechanickými převody, účinností generátoru a použitého regulátoru  $P_{\text{el}} = 1505,98 \text{ W}$

## **B. PODKLADY PRO VYPRACOVÁNÍ MANIPULAČNÍHO ŘÁDU**

- Stávající Manipulační řád pro stavbu „PPO Oparenský mlýn“ – Jaromír Maděra, Děčín 03.2014
- Koncepce bakalářské práce „Ad Fontes, malá vodní elektrárna pro vlastní spotřebu“ – Zbyněk Svoboda 2018
- ČSN 33 2000-4-41. *Elektrické instalace nízkého napětí: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti, Ochrana před úrazem elektrickým proudem*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2007, 52 s. ed. 2.

## **C. MANIPULACE S VODOU**

### **C.1 – Směrodatné průtoky**

#### Minimální zůstatkový průtok

Minimální zůstatkový průtok je stanoven jako objem  $60,3 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  (dle hydrologických údajů ČHMÚ Ústí n.L.  $Q_{240d} = 61 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Tento průtok je v korytě Milešovského potoka v profilu odběru vody do náhonu zajišťován automaticky trvale zvýšenou úrovní spodní hrany vtokového otvoru do náhonu (243,20 m n.m.) o 0,04 m oproti přepadovému prahu balvanitého skluzu rozdělovacího objektu (243,16 m n.m.).

#### Průtok vody na kolo

Pro maximální energetické využití stávajícího korečníku na horní vodu bude využito průtoku  $80 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  využívaného v časových cyklech. Při zavřeném náhonu pokryje akumulární nádrž spotřebu vody po dobu 45 min. Délka cyklů je závislá na aktuálním průtoku Milešovského potoka a objemu přítoku vody do náhonu.

### Další směrodatné průtoky

Jelikož se pro účel výstavby neprovádí žádné terénní práce ovlivňující podobu mlýnského náhonu, ostatní směrodatné průtoky zůstávají neměnné.

- Kapacita vtoku do otevřeného náhonu km 0,2632:  $0,561 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- Kapacita přepadu přes stavidlo náhonu km 0,1338:  $0,222 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- Kapacita vtoku do zakrytého náhonu km 0,1338:  $1,009 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- Kapacita potrubí DN 600 km 0,0000 – 0,0461:  $1,252 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

*Podrobněji popsány v MŘ PPO pro Oparenský mlýn*

### **C.2 – Přehled manipulačních míst**

V rámci celé stavby MVE jsou stanovena následující manipulační místa:

Manipulační místo A: hrazení odběrného otvoru vtoku do náhonu (ručně osazované dřevěné dluže do vodícího rámu z U profilů)

Manipulační místo B: hrazení vtoku zakrytého profilu náhonu (automaticky ovládané dřevěné stavidlo na závitové tyči s možností manuálního ovládnání)

Manipulační místo E: hrazení vantroků (manuálně ovládaná dřevěná stavidla na závitových tyčích) – určené k odklonu protékající vody mimo mlýnské kolo.

Manipulační místo F: technická místnost vybavená tlačítkem Central STOP – určené k odpojení zbudované MVE

### **C.3 – Manipulace v běžném provozu**

#### Zajištění manipulace

- Veškerá manipulace s vodou v běžném provozu MVE bude zajišťována automaticky pomocí řídicího PLC.
- V případě potřeby bude zajištěna možnost odpojení pohonu stavidla rybníka a následná manipulace bude zajištěna obsluhou – tj. osoba odpovědná za manipulaci

#### Zajištění minimálního zůstatkového průtoku

- Minimální zůstatkový průtok v korytě Milešovského potoka je automaticky zajištěn konstrukcí rozdělovacího objektu – není potřeba žádné manipulace



### Zajištění přítoku vody do náhonu

- Manipulační místo A – dlužová stěna rozdělovacího objektu je zcela vyhrazena
- Manipulační místo B – stavidlo na vtoku do zakryté části náhonu je vyhrazeno do výšky určené nastavením pohonu stavidla pro maximální využitelný průtok pro výrobu elektrické energie

### Odstavení přítoku vody do náhonu

- Manipulační místo A – dlužová stěna rozdělovacího objektu je zahrazena
- Manipulační místo B – stavidlo na vtoku do zakryté části náhonu je zahrazeno

### Běžný provoz

- V případě běžného provozu je manipulace zajištěna automatizovanou funkcí otvírání a zavírání stavidla rybníku náhonu řízeným jeho naplněním. Bude tak docházet k cyklickému opakování akumulace vody a tím i potenciální energie pro výrobu elektrické energie vybudovanou MVE.
- V čase výroby elektrické energie bude voda odčerpávána rychlostí  $80 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ .
- Voda, využitá k pohánění mlýnského kola, odebíraná v místě rozdělovacího objektu (5,121 ř. km Milešovského potoka) bude vrácena v časové závislosti v místě vyústění náhonu do potoka (4,866 ř. km Milešivského potoka) v celkovém nezmenšeném množství.

## **C.4 – Manipulace za povodní**

### Zajištění manipulace

- Veškerou manipulaci s vodou za povodní zajišťuje obsluha – tj. osoba odpovědná za manipulaci

### Zahájení manipulace

- Manipulaci je doporučeno zahájit při meteorologické předpovědi dlouhodobých nebo přívalových srážek a to v dostatečném časovém předstihu nebo též před plánovanou dlouhodobější nepřítomností osoby odpovědné za manipulaci v objektu mlýna (dovolená apod.)

### Manipulace za povodní

- Manipulační místo A – dlužová stěna rozdělovacího objektu je zcela zahrazena (náhon je bez přítoku vody z Milešovského potoka)
- Manipulační místo B – stavidlo na vtoku do zakryté části náhonu je zcela vyhrazeno (průtok vody pod stavidlem)
- Manipulační místo F – MVE je odpojena pomocí tlačítka Central STOP

## **D. MIMOŘÁDNÉ UDÁLOSTI A BEZPEČNOSTNÍ**

### **OPATŘENÍ**

Za mimořádnou událost se považují:

- Živelné pohromy (katastrofální povodně, zemětřesení apod.)
- Havarijní ohrožení jakosti vody
- Ohrožení života nebo zdraví lidí
- Ekologické katastrofy a velké průmyslové havárie
- Výpadek dodávky el. energie z distribuční sítě

Při mimořádných událostech obsluha zajišťuje následující činnosti:

- Sleduje všechny jevy rozhodné pro ohrožení provozu a bezpečnosti MVE
- Informuje o nebezpečí příslušné orgány tzn. Hasičský záchranný sbor České republiky
- Provádí zabezpečovací práce na vodním díle
- Zabezpečuje dokumentování průběhu funkcí a stavů MVE
- V případě nutnosti zajistí odstavení MVE pomocí zbudovaného tlačítka Central STOP
- Po odeznění události provádí prohlídku komponentů MVE, zjišťuje rozsah a výši škod, posuzuje účelnost provedených opatření a poskytuje příslušným orgánům zprávu o události.
  - V případě nutnosti je povolán odborník na problematiku stavu MVE (platí i pro následující bod)
- Odstraňuje škody způsobené událostí na vodním díle

## Příloha 9. Hydrologická data milešovského potoka[19]



ČESKÝ  
HYDROMETEOROLOGICKÝ  
ÚSTAV

POBOČKA ÚSTÍ NAD LABEM

VÁŠ DOPIS ZN:  
DORUČEN DNE: 19.03.2018

ODDĚLENÍ: hydrologie  
VYŘIZUJE: Ing. Vít Koutecký  
TELEFON: 472 706 018  
EMAIL: vit.koutecky@chmi.cz

DATUM: 18.04.2018  
Číslo ev.:  
Číslo jednací:  
Spisová zn.: ZN/CHMI/541/915/2018

Zbyněk Svoboda  
U Mrázovky 1950/16  
150 00 Praha 5

### HYDROLOGICKÉ ÚDAJE POVRCHOVÝCH VOD

Na Vaši žádost Vám zasíláme požadované základní hydrologické údaje podle ČSN 75 1400 pro:

Vodní tok	Milešovský potok
Číslo hydrologického pořadí	1-13-05-0120-0-00
Profil	nad soutokem s Dobkovickým potokem
Souřadnice v S JTSK	x = -765115,0 m                      y = -988723,0 m
Plocha povodí $A^a)$	29,12                                      km <sup>2</sup>

Dlouhodobá průměrná roční výška srážek na povodí $P_a$	584	mm	
Dlouhodobý průměrný průtok $Q_a$	112	l.s <sup>-1</sup>	Třída IV

M-denní průtoky $Q_{Md}^{b)}$													l.s <sup>-1</sup>	
30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364	Tř.	
245	178	142	118	100	85	72	61	50	40	29	17	7,4	IV	

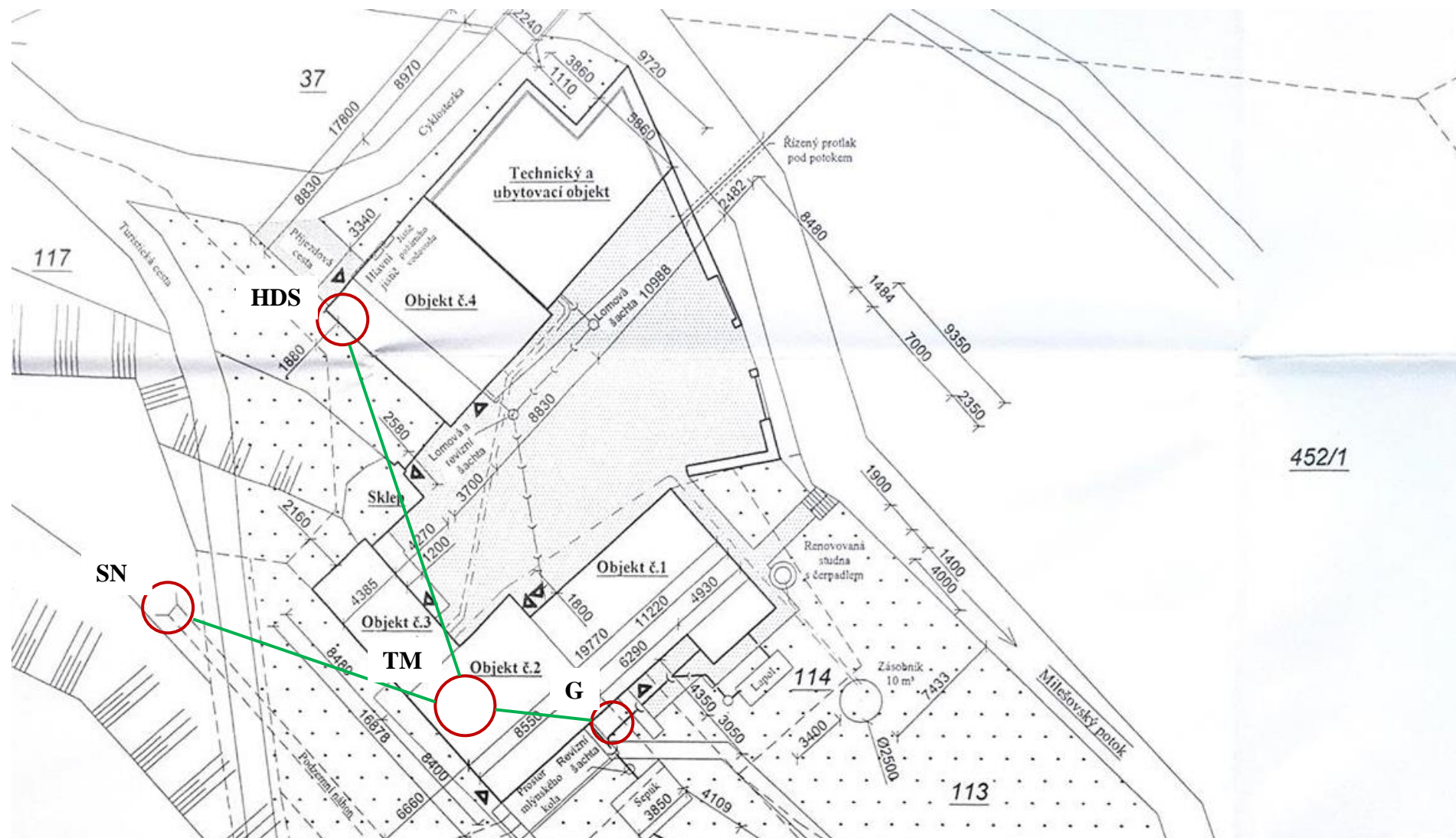
N-leté průtoky $Q_N$								m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	
1	2	5	10	20	50	100	Třída		
6,36	9,54	15,5	21,5	26,2	35,7	43,7	IV		

Kočkovská 2699/18, poštovní schránka 2, 400 11 Ústí nad Labem – Kočkov  
tel.: 472 706 027, fax: 472 706 024, e-mail: sekretariat-ul@chmi.cz

IČ: 00020699, DIČ: CZ00020699, ř. ú.: 54132041/0710  
www.chmi.cz, www.chmuul.org

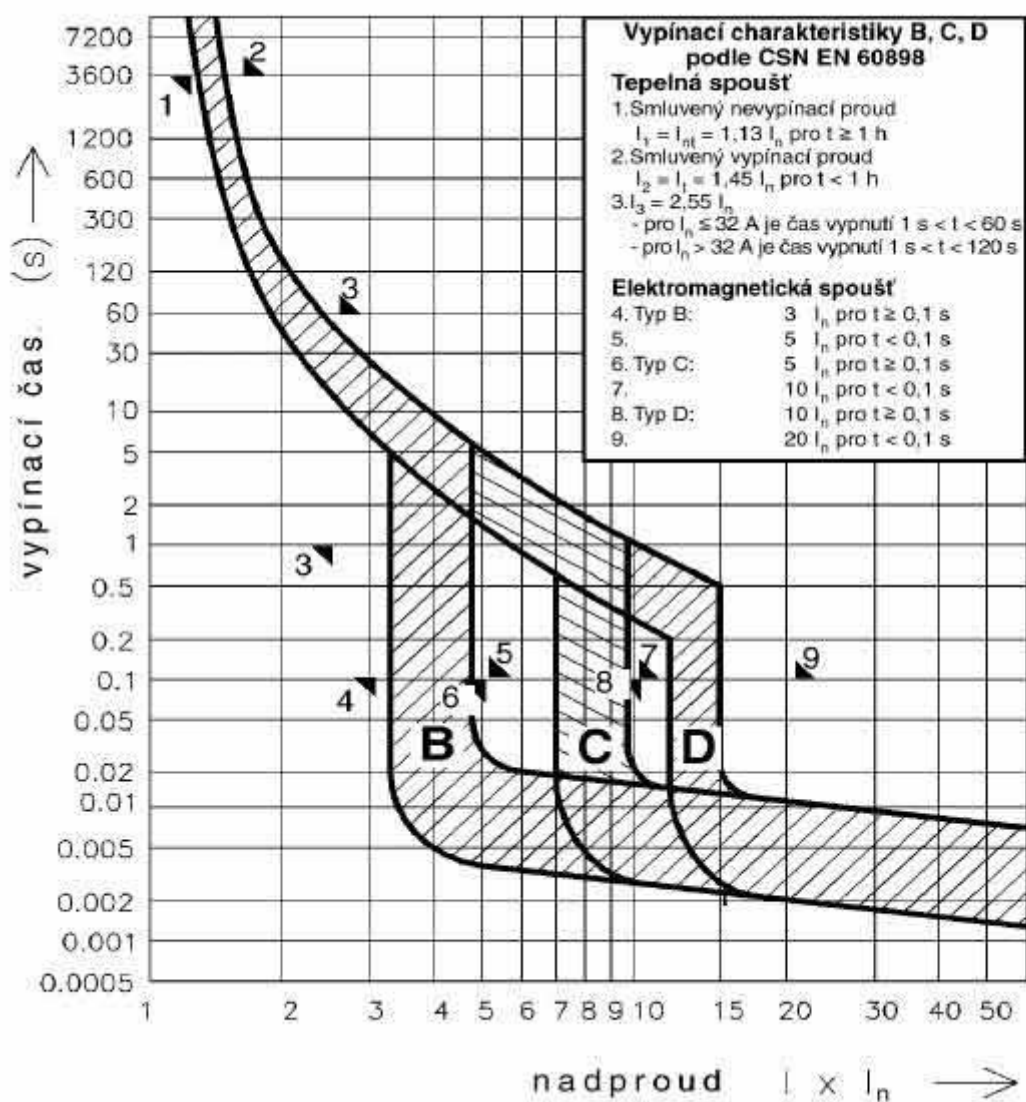


Příloha 10. Snímek části výkresu z technické dokumentace s označením využitých míst [63]





Příloha 11. Vypínací charakteristiky jističů [64]







**Příloha 12. Tabulka nacenění jednotlivých komponentů(autor BP)**

Komponent	Typ/Dodavatel	počet ks	cena za Ks bez DPH	cena za Ks s DPH	cena celkem bez DPH	cena celkem s DPH	Poznámka
Úprava mlýnského kola	Dřevěné palce	1	160 000 Kč	193 600 Kč	160 000 Kč	193 600 Kč	Materiál + práce
Převodový systém	Syntetický řemen	1	60 000 Kč	72 600 Kč	60 000 Kč	72 600 Kč	
Generátor	24V/1000W AC	2	€ 500	€ 600	€ 1 000	€ 1 200	Přepočtový koeficient je 25,41 (dle ČNB 23.4.2018)
			12 705 Kč	15 246 Kč	25 410 Kč	30 492 Kč	
Regulátor dobíjení akumulátorů	24 V/1000W (při objednávce nutno volit napětí a typ MPPT)	2	€ 564	€ 677	€ 1 128	€ 1 354	
			14 331 Kč	17 203 Kč	28 662 Kč	34 405 Kč	
Akumulátory	LiFePO <sub>4</sub> (16 418 Wh)	12	10 927 Kč	13 070 Kč	131 124 Kč	156 840 Kč	
Balancér pro akumulátory	firma Victron energy	3	1 636 Kč	1 979 Kč	4 908 Kč	5 937 Kč	
Sledování stavu baterie	firma MW-KW	1	7 438 Kč	9 000 Kč	7 438 Kč	9 000 Kč	
Střídač	firma Victron energy - 1f	1	37 931 Kč	45 897 Kč	37 931 Kč	45 897 Kč	
Motor pro stavidlo	48V/1000W	1	1 479 Kč	1 790 Kč	1 479 Kč	1 790 Kč	
Plovákový spínač	1 zap, 1 vyp kontakt	1	1 810 Kč	2 190 Kč	1 810 Kč	2 190 Kč	
Řídicí systém (PLC)	Easy-MINI-Box-AC (DC)	1	7 430 Kč	8 990 Kč	7 430 Kč	8 990 Kč	
Kabely	2x2,5 (25m)	30	19 Kč	23 Kč	560 Kč	677 Kč	kabel k ss motoru stavidla
	O3X1,5 (30m)	40	13 Kč	16 Kč	540 Kč	653 Kč	Plovákové čidlo
	O3X10 (2x16m)	40	111 Kč	135 Kč	4 447 Kč	5 381 Kč	kabel od generátoru k AK
	J5x4 (30m)	0	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	Již umístěn
Propojení akumulátorů	propojovací konektory LFP	15	80 Kč	97 Kč	1 202 Kč	1 455 Kč	
Rozvaděč	3 řadý na omítku	1	1 027 Kč	1 243 Kč	1 027 Kč	1 243 Kč	
Stykače	230/400V 25A 3f spínací	1	487 Kč	590 Kč	487 Kč	590 Kč	Přepínání mezi vlastní spotřebou a distribuční soustavou
	230/400V 25A 3f rozpnací	1	555 Kč	672 Kč	555 Kč	672 Kč	
	230 V 63A 3f spínací pro DC	2	1 430 Kč	1 731 Kč	2 860 Kč	3 462 Kč	Spínání motoru stavidla
	230/400V 63A 3f spínací	2	1 727 Kč	2 090 Kč	3 454 Kč	4 180 Kč	Odpojení generátorů
Jističe	32 A 1f stř.	1	144 Kč	174 Kč	144 Kč	174 Kč	Výstup z MVE na spotřebu
	6 A 1f stř	2	108 Kč	131 Kč	216 Kč	262 Kč	Napájení PLC + Stykače
	25 A 2 póly ss.	1	735 Kč	889 Kč	735 Kč	889 Kč	Jištění pohonu stavidla
Přepětová ochrana	FLP-12,5 V/2	1	2 403 Kč	2 908 Kč	2 403 Kč	2 908 Kč	Výstup z MVE na spotřebu
Demonstrativní přístroje	Voltmetr 25V	2	371 Kč	449 Kč	742 Kč	898 Kč	
	Ampérmetr 50 A	2	386 Kč	476 Kč	772 Kč	952 Kč	
Komponenty pro instalaci	Trubky, lišty, čidla dorazu....				10 663 Kč	12 902 Kč	
Práce			40000	48400	40 000 Kč	48 400 Kč	
Zakrytí strojů					20 000 Kč	24 200 Kč	Generátory + motor
<b>Celkem</b>					<b>557 000 Kč</b>	<b>671 639 Kč</b>	

**Příloha 13. Tabulka hodnot finančních toků (autor BP)**

Diskont [%]	5,00												
Inflace [%]	2,00												
Cena za kWh [Kč]	4,00	4,08	4,16	4,24	4,33	4,42	4,50	4,59	4,69	4,78	4,88	4,97	5,07
Rok	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Roční vyrobená elektrická energie [kWh]	0,00	1 291,42	1 291,42	1 291,42	1 291,42	1 291,42	1 291,42	1 291,42	1 291,42	1 291,42	1 291,42	1 291,42	1 291,42
Příjmy [Kč]	0,00	5 268,98	5 374,36	5 481,85	5 591,49	5 703,31	5 817,38	5 933,73	6 052,40	6 173,45	6 296,92	6 422,86	6 551,32
Výdaje [Kč]	49 500,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CF roční [Kč]	-49 500,00	5 268,98	5 374,36	5 481,85	5 591,49	5 703,31	5 817,38	5 933,73	6 052,40	6 173,45	6 296,92	6 422,86	6 551,32
Současná prostá návratová hodnota [Kč]	-49 500,00	-44 231,02	-38 856,66	-33 374,81	-27 783,32	-22 080,01	-16 262,63	-10 328,90	-4 276,50	1 896,96	8 193,88	14 616,73	21 168,05
Diskontovaný CF roční [Kč]	-49 500,00	5 018,08	4 874,70	4 735,43	4 600,13	4 468,70	4 341,02	4 216,99	4 096,50	3 979,46	3 865,76	3 755,31	3 648,02
Současná reálná návratová hodnota [Kč]	-49 500,00	-44 481,92	-39 607,22	-34 871,79	-30 271,66	-25 802,97	-21 461,95	-17 244,96	-13 148,45	-9 168,99	-5 303,23	-1 547,92	2 100,10