

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

## **Diplomová práce**

**Malá vodní elektrárna Nová Ves**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří PEROUTKA**  
Osobní číslo: **E12N0109P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Technická ekologie**  
Název tématu: **Malá vodní elektrárna Nová Ves**  
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Uveďte problematiku výstavby MVE obecně a v ČR.
2. Popište uspořádání a technologické zařízení MVE Nová Ves.
3. Analyzujte provoz MVE Nová Ves a případní možnosti zvýšení energetického zisku.
4. Proveďte energetické, ekonomické a ekologické hodnocení MVE Nová Ves.

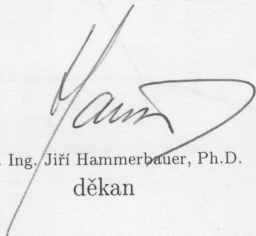


Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

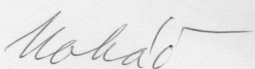
1. Škorpil, J., Kasářík M.: Obnovitelné zdroje energie I - Vodní elektrárny, ZČU, 2009
2. Bednář, J.: Malé vodní elektrárny, SNTL, Praha, 1989

Vedoucí diplomové práce: Prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: 14. října 2013  
Termín odevzdání diplomové práce: 12. května 2014

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

## Anotace:

Tato diplomová práce „Malá vodní elektrárna Nová Ves“ zpracovává základní informace o MVE včetně energetických bilancí. Hlavním úkolem je stanovit kvalitu a efektivitu rekonstrukce a posoudit zda splnila svůj účel.

### *Klíčová slova:*

*malá vodní elektrárna, energetická bilance, ztráty, výroba, vodní energie, spád, průtok, povodí*

## Annotation:

This dissertation thesis „Small water plant Nová Ves“ working an basic information about a MVE included energy balance. The main ask is a calculate efficiency and quality of the reconstruction. And the goal is to answer if the reconstruction carry out the main aim.

### *Keywords:*

*small hydraulic power station, energy, energy budget, loss, water-power, height, flow rate*



## Obsah

Úvod .....	9
<b>1. VÝSTAVBA MALÝCH VODNÍCH ELEKTRÁREN .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 Historie vodních elektráren .....</b>	<b>11</b>
1.2.1 Rozdělení vodních elektráren.....	13
1.3 Typy vodních turbín .....	14
1.3.1 Peltonova turbína (Pelton 1880).....	14
1.3.2 Bánkiho turbína (Banki 1919).....	15
1.3.4 Kaplanova turbína (prof. Kaplan 1919).....	16
<b>2. MALÁ VODNÍ ELEKTRÁRNA NOVÁ VES .....</b>	<b>20</b>
2.1 O objektu .....	20
2.2 Charakteristika lokality .....	22
2.3 Instalovaná technologie.....	22
2.4 Hydrologická specifikace .....	24
2.5 Energetické vstupy a výstupy.....	26
2.6 Zhodnocení výchozího stavu.....	27
2.7 Prodej elektrické energie v letech 2003–2014 .....	28
<b>3. Navrhovaná opatření.....</b>	<b>30</b>
3.1 Varianta 1 .....	30
3.1.1 Stavební část.....	30
3.1.2 Technologická část .....	31
3.2 Varianta 2 .....	32
3.2 Výroba elektrické energie .....	33
3.3 Ekonomické vyhodnocení .....	34
3.4 Prostá doba návratnosti .....	35
3.5 Ekonomická analýza .....	35
3.6 Celkový potenciál úspor energie .....	37
3.7 Návrh optimální varianty .....	37
<b>4. Ekologické hodnocení.....</b>	<b>41</b>
<b>Závěr:.....</b>	<b>44</b>

**BIBLIOGRAFIE..... 46**

**Přílohy:..... 47**

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne:

Bc. Jiří Peroutka

.....

## **Poděkování**

Děkuji panu Prof. Ing. Janu Škorpilovi, CSc. za odborné vedení práce a poskytování užitečných rad. Dále děkuji firmě Hydrohrom s.r.o. a Hydroka s.r.o. za poskytnutá data a možnost spolupráce na tomto projektu. Jmenovitě pak děkuji panu Pavlu Vamberovi a Ing. Josefu Kašparovi. Mé díky také patří paní Bc. Denise Koubové za redigování textu.

## Úvod

Již v dávných dobách lidé využívali elektřinu. Zprvu se jednalo pouze o přírodní dostupné zdroje jako je vítr, voda, sluneční energie či biomasa. Tyto přírodní zdroje však měly malý potenciál a dalo se z nich získat pouze malé procento užitečné energie.

V našich tuzemských podmínkách musíme pohlížet na vodní energii jako na velmi cenný, doplňkový zdroj elektrické energie. Náš technicky využitelný hydroenergetický potenciál a jeho současné využití odpovídá asi 3% celkové vyrobené energie. V rámci obnovitelných zdrojů se jedná o 54%. Tato hodnota se neustále snižuje v důsledku boomu výstavby solárních elektráren.

Základem výroby elektrické energie je přeměna potenciální energie vody na kinetickou a následně díky převodům na užitečný druh energie. Ale to jsem trochu předběhl, protože takto se využívala už ve středověku. Aniž by si to lidé uvědomili využívali vodní energii k plavbám na lodích, přepravě materiálu jako bylo dřevo nebo kámen (například ke stavbě pyramid pomocí řeky Nil a to již v roce 2700 př. n. l.). Poté byla ve středověku využívána energie prostřednictvím mlýnů či hamrů na provoz zařízení sloužících k mletí obilí či pro provoz vodního trkače.<sup>1</sup> Z historických pramenů víme, že ve 2. století př. n. l. v Ilyrii<sup>2</sup> byla poprvé zkonstruována vodní kola. Tehdy byl poprvé zkrocen vodní živel, jehož síla byla využívána na jediném pevném stanovišti.

Vědomosti týkající se architektury vodních děl byly zprvu tajemstvím mnišských řádů, které postupně navyšovaly jejich efektivitu (měnil se tvar lopatek, přívod vody, převody atd.). Největší boom nastal až v 18. st., kdy se s vodními díly začalo prakticky experimentovat. Výsledkem bylo velké navýšení účinnosti.

Další významné milníky nastaly ve století devatenáctém během průmyslové revoluce. Z těchto let pochází neznámější typy turbín jako je Kaplanova (1919), Francisova (1826) a Peltonova (1880).

Jedná se pouze o krátké shrnutí dramatické a dlouhé historie využití vodní energie. Dále bych chtěl charakterizovat cíle diplomové práce. Za hranice státu každoročně odchází nevyužitá vodní energie v hodnotě více než 4,7 mil. MWh<sup>3</sup> a to i přes neustálé zlepšování a poměrně dynamický vývoj vodních děl. Nejdříve bych rád specifikoval problematiku výstavby malých vodních elektráren, dále pouze MVE. Tato část se bude zabývat problémem úbytku vody v tocích

<sup>1</sup> Vodní trkač - vodní čerpadlo z počátku 18. století, které bylo poháněné vodou. Vynálezcem byl Joseph Montgolfier.

<sup>2</sup> Ilyrie - západní část Balkánského poloostrova.

<sup>3</sup> PAŽOUT, F.: *Malé vodní elektrárny*. Díl 1, Ekonomika předpisy, Praha: SNTL, 1987, 504 s.

(klimatické změny), nedostatkem vhodných míst pro výstavbu (postupem času dochází k úbytku vhodných lokalit pro výstavbu MVE) a v neposlední řadě bych rád zmínil rozšířený legislativní problém, který v dnešní době znevýhodňuje nové výstavby.

Poté se budu věnovat konkrétním uspořádáním zařízení v MVE Nová Ves, která se nachází v lokalitě Jeseníků. Historicky se jedná o zajímavý objekt, jelikož vznikl již za první republiky roku 1921 a sloužil pro provoz místní řetězárny. V jejích útrokách se nacházely dvě turbíny typu Francis. V průběhu druhé světové války elektrárna (potažmo řetězárna) připadla do rukou Němců. V průběhu normalizace elektrárna opět změnila svého majitele a byla znárodněna. Po revoluci v roce 1989 připadla opět svému původnímu majiteli, respektive jeho potomkům, a v roce 2003 elektrárnu koupil nový současný majitel. Mezi lety 2012–2013 došlo ke kompletní výměně zařízení – včetně turbín.

Další bod bude zaměřen na kompletní analýzu provozu MVE Nová Ves a případné další možnosti na zvýšení energetického zisku.

V poslední části této diplomové práce se zaměřím na provedení hodnocení z hlediska energetického, ekonomického a v neposlední řadě ekologického.

Informace a data jsem získal ve spolupráci s firmami Hydrohrom s.r.o. (společnost zabývající se výrobou vodních turbín a stavbou vodních elektráren) a firmou Hydroka s.r.o. (společnost zabývající se projektováním vodních turbín a vodních elektráren). Obě společnosti spolu úzce spolupracují a pro společnost Hydrohrom s.r.o. jsem nějaký čas pracoval.

# 1. VÝSTAVBA MALÝCH VODNÍCH ELEKTRÁREN

## 1.1 Historie vodních elektráren

Vývoj vodních děl sahá již do dávné historie naší planety (po dobu více než 22 století lze sledovat vývoj vodních motorů). Největšího rozkvětu dosáhl v 18. století, kdy podle dostupných pramenů bylo jen v Evropě 50 000 až 60 000 vodních děl. Největší procento těchto mlýnů bylo ve Francii, ale i v dalších částech evropského kontinentu.

Již v roce 1046 byla na Jadranu kola poháněná přílivem a odlivem.

Avšak vodní díla nepoháněla pouze mlýny, jejich využití nebylo tak úzké. Tyto primitivní zdroje energie sloužily i k pohonu dalších pracovních strojů a podpůrných prostředků k výrobě.

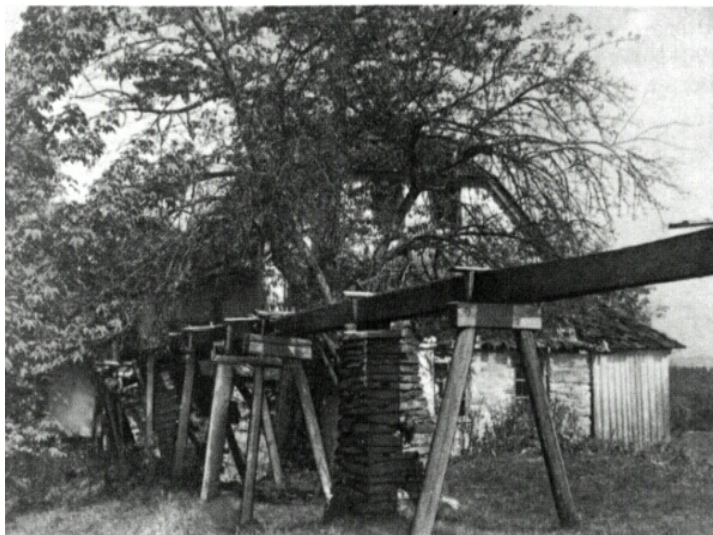
Mlýny ale nedosahovaly takových

výkonů jako současné vodní elektrárny i jejich rozměry se do jisté míry lišily. Kupříkladu průměr kola se obvykle pohyboval okolo 18 m a výkon byl mezi 5–8 koňských sil (3 677–5884 [W]).

V této době se při realizacích vodních kol začala používat teorie, experimenty a zkoumání proudění a modelování.

Prudký nárůst vodních mlýnů na řekách však musel být nějak regulován. Vznikla pevná regulace vodních toků (v roce 1553 vstoupil v platnost Mlýnský řád Ferdinanda I., z něhož se postupně vyvinul Říšský vodní zákon č. 93/1869), která všem provozovatelům vodních mlýnů ukládala dobu, po kterou mohl být mlýn v provozu a omezovala velikost celého zařízení. Opatření vedlo k tomu, že vlastníci byli nuceni své mlýny technicky zdokonalit, aby dosáhli stejného výkonu za stejný čas. Proto na přelomu 19. století vznikly první typy moderních turbín s vysokou účinností, které stále nalézají využití i u současných turbín.

Po vynalezení a zavedení parního stroje začala být vodní díla vytlačována. Koncem 19. století docházelo k postupné elektrifikaci a kromě fosilních paliv si investoři vzpomněli i na vodní



Obrázek 1 – Mlýn na Zadově byl postaven roku 1777 Tujnzbden Veberen. Měl vodní kolo o velikosti 6 m s výkonem 5,7 koňských sil.  
Zdroj: PAŽOUT, F. : *Malé vodní elektrárny. Díl 1.*



mlýny. Od malých vodních elektráren, které poháněly jen malý elektrický generátor, začala vzrůstat výkonnost strojů.

Jedním z významných kroků pro rozvoj a výrobu vodních turbín byla továrna Josef Prokop a synové, založená roku 1870 v Pardubicích. Její produktivitu je možné dohledat. V roce 1929 vyrobila 1 300 turbín a regulátorů. Firma byla natolik úspěšná, že několik let poté stoupla na první místo ve výrobě vodních turbín typu Francis a své produkty vyvážela do všech států Evropy a dokonce i do některých asijských zemí.

K prvnímu zrychlení tempa ve využívání vodní energie došlo po roce 1919, kdy vstoupil v platnost zákon č. 438/1919 (elektrizační zákon) o podpoře soustavné elektrizace. Tento zákon podporoval výstavbu MVE.

První věrohodná a publikovaná data zabývající se hydroenergetickým potenciálem na našem území pochází z roku 1925 (v knize Dr. techn. Václava Pošíka Hospodaření s energií výrobní i přebytkovou).

Zajímavá byla také cena. „Například turbína o výkonu 7,58 kW, včetně přívodního potrubí a komplexního kovového vodního stavidla, v roce 1939 stála 26 280 korun, samostatná turbína pak 23 480 korun. Dodací doba výrobce (akciové strojírný a slévárny Union České Budějovice) byla 10 až 14 týdnů.

Po druhé světové válce a nástupu komunismu bylo v období 1945 až 1979 znárodněno přes 40% vodních elektráren. Většina zdrojů přešla do držení JZD.

Co se týče výroby elektrické energie na našem území z pohledu legislativního, tak prvním velmi významným usnesením byl zákon č. 304/1979. V zákonu byly přijaty zásady pro kompletní řešení dané problematiky a dále se jím dlouhodobě řídil další rozvoj malých vodních elektráren na našem území.

## 1.2 Vodní turbíny

Jádrem vodní elektrárny je turbína. Právě ona odebírá vodě energii. Jak jsem již psal výše, dnešní moderní vodní turbíny jsou opravdu málo podobné prvním typům historických vodních kol. Výkony těchto moderních turbín mohou dosahovat vysokých hodnot (až 700 MW), to je v porovnání s prvními vodními koly (6 kW) obrovský pokrok.

### 1.2.1 Rozdělení vodních elektráren

Členění vodních elektráren je velice dobře popsáno v mnoha publikacích. Vodní elektrárny se dají dělit podle řady kritérií: výkonu, umístění strojovny, řízení provozu, provozovatele a zapojení. Podle ČSN 75 0128 se vodní elektrárny třídí dle:

Velikosti

- velké - s instalovaným výkonem nad 200 MW
- střední - s instalovaným výkonem od 10 MW do 200 MW
- malé - s instalovaným výkonem do 10 MW

Získaného spádu:

- přehradové (spád vytvořen přehradou)
- zdržové (spád vytvořen jezem)
- derivační (využívá umělé vedení vody mimo vodní tok pomocí beztlakového nebo tlakového derivačního přivaděče např. kanál, škola, potrubí)
- přehradně derivační (kombinace)

Tlaku:

- nízkotlaké - využívají spád do 20m
- středotlaké - využívají spád nad 20m do 100m
- vysokotlaké - využívají spád nad 100m

Způsobu provozu:

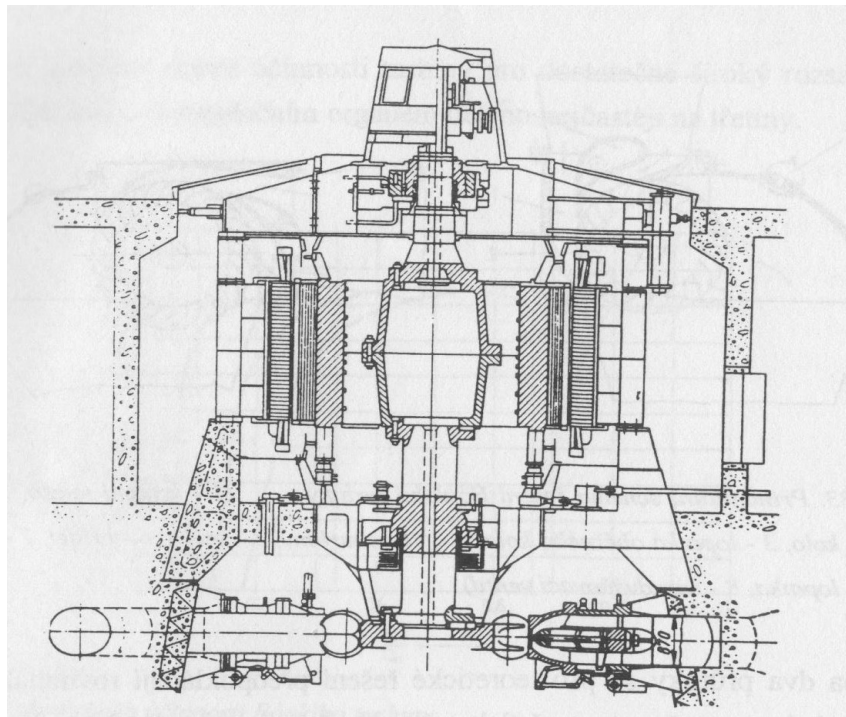
- průtočné - neovlivňují výrazně přirozený průtok toku
- akumulární - řízený odběr vody z akumulární nádrže vytvářející spád

### 1.3 Typy vodních turbín

V současnosti se používá několik typů turbín např. rovnotlaké turbíny jako Pelton a Bánki nebo přetlakové jako Francis, Kaplan.

#### 1.3.1 Peltonova turbína (Pelton 1880)

Peltonova turbína je jednou ze základních a nejstarších rovnotlakých turbín. Vstup vody má na oběžné kolo tangenciálně pomocí jedné nebo více dýz. V těchto dýzách dochází k přeměně energie vody. Z tlakové energie se přeměňuje na kinetickou energii vodního paprsku. Tento paprsek naráží na oběžné lopatky, které mají tvar korečku s dělicím břitem. Z oběžného kola voda dále padá (volně) na spodní hladinu. Regulace výkonu u turbíny typu Pelton se provádí zavíráním nebo otvíráním otvoru dýzy (pohyb regulační jehly). Tyto dva průtoky se při teoretickém řešení uvažují jako rovnotlaké, avšak první průtok lze považovat za přetlakový. Voda obsahuje na vstupu do oběžného kola určitou (minimální) hodnotu tlakové energie. Tato energie se při prvním průtoku využívá.

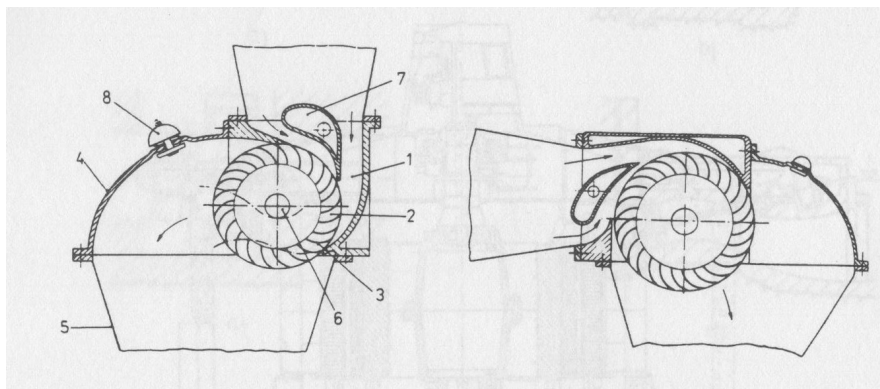


Obrázek 2 – Peltonova turbína. Zdroj: ŠKORPIL – J., KAŠARNÍK, M.:  
*Obnovitelné zdroje energie I.*, 2. vyd., přeprac., Plzeň: ZCU, str. 35

### 1.3.2 Bánkiho turbína (Banki 1919)

Tento typ turbín je velice oblíbený pro svou jednoduchost (= nízká cena) u malých vodních elektrárn. Jedná se o specifický typ rovnotlakých vodních turbín. Energetická účinnost je u Bánkiho turbíny 70–80%. „Oběžné kolo s horizontální osou má pevné lopatky mezi kruhovými deskami. Průtok vody oběžným kolem je dvojnásobný. Nejprve ze vstupního tělesa přes oběžné lopatky do středu oběžného kola a potom opět přes oběžné lopatky do výstupního tělesa spojeného s výstupní částí turbíny. Jde tedy nejprve o dostředivý a poté odstředivý průtok.“<sup>4</sup>

Zajímavostí této turbíny je, že je to jediný druh vodní turbíny, kterou je možno zhotovit i amatérsky a přitom dosáhnout dobré účinnosti.

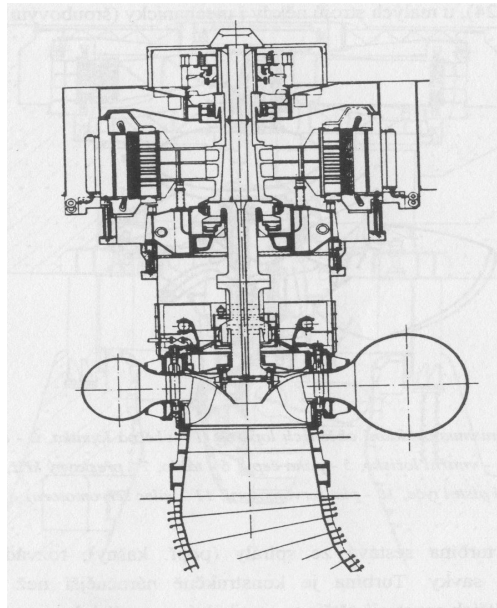


Obrázek 3 – Bánkiho turbína. Zdroj: ŠKORPIL, J. – KASARNIK, M.: *Obnovitelné zdroje energie I.*, 2. vyd., přeprac., Plzeň: ZČU, str. 36

### 1.3.3 Francisova turbína (Francis 1849)

Francisova turbína je nejdéle využívaný typ moderních turbín. Je určena pro spád zhruba do 500 m. Turbína je radiálně-axiální. Oběžné kolo Francisovy turbíny může být ve dvou variantách: s horizontální nebo vertikální hřídelí. Oběžné kolo má lopatky pevně spojené s věncem a kotoučem kola. Regulačním orgánem je rozvaděč s natáčivými rozváděcími lopatkami (návrh 1868 J. Flink) ovládanými regulátorem, pomocí něhož můžeme regulovat nebo dokonce uzavřít přívod vody. Uspořádání je vertikální nebo horizontální. Přívod vody je obvykle realizován spirálovým uspořádáním. U menších výkonů kašnovým nebo také kotlovým. Voda potom vystupuje přímo do savky. Často je Francisova turbína využívána i v reverzibilním stavu (čerpádkové turbíny).

<sup>4</sup> ŠKORPIL, J. – KASARNIK, M.: *Obnovitelné zdroje energie I.*, 2. vyd., přeprac., Plzeň: ZČU, str. 36.



Obrázek 4 – Francisova turbína. Zdroj: ŠKORPIL, J. – KASARNIK, M.: *Obnovitelné zdroje energie I.*, 2. vyd., přeprac., Plzeň: ZČU, str. 30.

### 1.3.4 Kaplanova turbína (prof. Kaplan 1919)

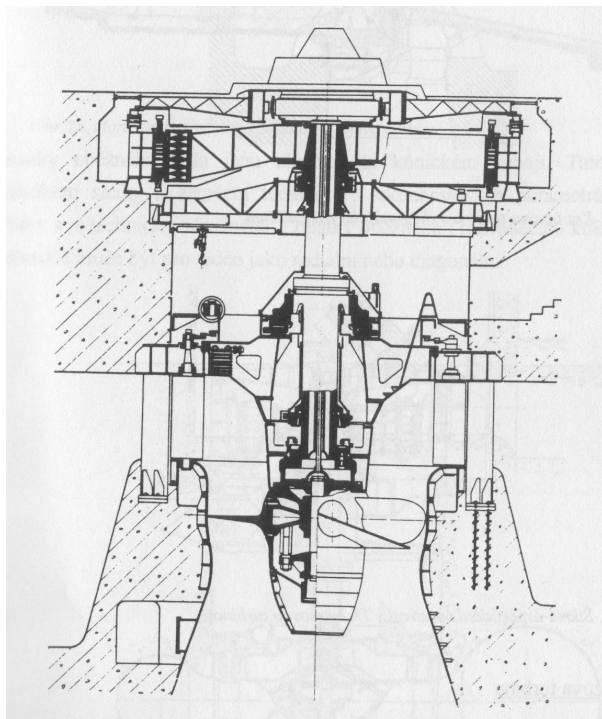
Jedná se o přetlakovou axiální turbínu. Tento typ vznikl zdokonalením vrtulové turbíny. Hlavní zdokonalení spočívalo v současném natáčení rozváděcí a oběžné lopatky při regulaci turbíny. Díky zdokonalení lze dosáhnout vysoké účinnosti turbíny, a to v širokém rozmezí průtokových poměrů. Této velmi dobré možnosti regulace se využívá především v místech, kde není možné zajistit stálý průtok nebo spád.

Kaplanova turbína dosahuje vyšší účinnost než Francisova turbína. Tato vyšší účinnost je ale vykoupena výraznější složitostí a cenou.

„Oběžné kolo Kaplanovy turbíny má lopatky prostřednictvím čepů otočně upevněny na náboji na konci hřídele. Osa čepů lopatky s osou náboje svírá úhel  $90^\circ$ . V mohutném náboji je uloženo zařízení pro otáčení lopatek poháněných hydraulicky, u malých strojů někdy i mechanicky.

Kaplanova turbína sestává ze spirály, rozváděcího kola, oběžného kola a savky. Uspořádání je u větších soustrojí většinou vertikální, u menších horizontální nebo se šikmou osou, což je výhodné z hlediska stavebního uspořádání.“<sup>5</sup>

<sup>5</sup> ŠKORPIL, J. – KASARNIK, M.: *Obnovitelné zdroje energie I.*, 2. vyd., přeprac., Plzeň: ZČU, str. 30.



**Obrázek 5 – Obrázek 4 Kaplanova turbína. Zdroj: ŠKORPIL, J. – KASARNIK, M.: *Obnovitelné zdroje energie I*, 2. vyd., přeprac., Plzeň: ZČU, s. 30.**

## 1.4 Problematika výstavby MVE v ČR

V případě zájmu o výstavbu MVE je třeba dodržet určité postupy a jednat v souladu s platnou formou zákona. Jednoduše a přehledně bych uvedenou problematiku rozdělil do dvanácti po sobě jdoucích bodů.

1. Je nutné pro námi zvolenou lokalitu zajistit, zda je pro naše záměry k dispozici a „volná“, tj. zda není obsazena jiným subjektem, nebo jestli se u ní nevyskytují jiné „vyšší zájmy“ jako například (okresní úřad, útvar ŽP atd.).
2. Musí se zajistit, jestli je možný odkup požadovaných pozemků, nebo jestli lze zajistit dlouhodobý pronájem (okresní úřad, útvar výstavby).
3. Je potřeba opatřit si technicko-ekonomické posouzení svého záměru (projektant, poradenské středisko EKIS nebo ČEZ, a.s.).
4. Dále si na katastrálním úřadu musíme opatřit mapovou dokumentaci – snímky z pozemkové mapy.
5. Z vodohospodářského hlediska je nutné požádat správce vodního toku povodí o souhlas.
6. Dále je potřeba požádat u rozvodné energetické společnosti o souhlas a podmínky připojení MVE na veřejnou distribuční síť.
7. V dalším kroku musíme zajít na okresní úřad, útvar výstavby a útvar životního prostředí a získat stanovisko z hlediska územního plánu a požádat jej o zahájení územního a vodohospodářského řízení.
8. Nyní je potřeba zadat projektantovi vypracování projektové dokumentace.
9. Po vyhotovení veškeré projektové dokumentace je nutné s těmito dokumenty dojít na okresní stavební úřad a požádat jej o stavební povolení.
10. Nyní je čas objednat u dodavatelské firmy technologická zařízení (soustrojí, turbíny atd.) pro výstavbu MVE.
11. Po předešlé dohodě s dodavatelem technologie se zadají stavební práce.
12. Posledním krokem je získání licence u Energetického regulačního úřadu „Výrobce elektrické energie“.



## 1.5 Výkupní ceny elektřiny v ČR

27. listopadu 2013 vyšlo cenové rozhodnutí ERÚ č. 4/2013, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie.

Tabulka 1 – Výkupní ceny a roční zelené bonusy na elektřinu pro malé vodní elektrárny. Zdroj: Energetický regulační úřad

Druh podporovaného zdroje	Datum uvedení výroby do provozu		Jednotarifní pásmo provozování		Dvoutarifní pásmo provozování	
	od	do	Výkupní ceny	Zelené bonusy	Zelené bonusy	
					VT	NT
Malá vodní elektrárna	-	31. 12. 2004	1 949	949	1 500	952
	1. 1. 2005	31. 12. 2013	2 499	1 499	2 270	1 408
	1. 1. 2014	31. 12. 2014	2 549	1 629	-	-
Rekonstruována malá vodní elektrárna	-	31. 12. 2013	2 499	1 499	2 060	1 219
	1. 1. 2014	31. 12. 2014	2 499	1 679	-	-
Malá vodní elektrárna v nových lokalitách	1. 1. 2006	31. 12. 2007	2 831	2 011	2 600	1 666
	1. 1. 2008	31. 12. 2009	2 997	2 177	2 600	1 915
	1. 1. 2010	31. 12. 2010	3 257	2 437	2 600	2 305
	1. 1. 2011	31. 12. 2011	3 184	2 364	2 600	2 197
	1. 1. 2012	31. 12. 2012	3 319	2 499	2 600	2 399
	1. 1. 2013	31. 12. 2013	3 295	2 475	2 600	2 362
	1. 1. 2014	31. 12. 2014	3 230	2 410	-	-

Dle zákona č. 180/2005 sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů) je jasně řečeno: „*Úřad stanoví vždy na kalendářní rok dopředu výkupní ceny za elektřinu z obnovitelných zdrojů samostatně pro jednotlivé druhy obnovitelných zdrojů a zelené bonusy.*“

## 2. MALÁ VODNÍ ELEKTRÁRNA NOVÁ VES

### 2.1 O objektu

Jak jsem v úvodu psal MVE Nová ves byla v provozu nejméně od roku 1921, kdy byly ve strojovně instalovány dvě Francisovy turbíny fy Voith, které měly celkovou hltnost  $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . A byly v tomto stavu provozovány do roku 2012 – tudíž neuvěřitelných 91 let bez větších zásahů do soustrojí.

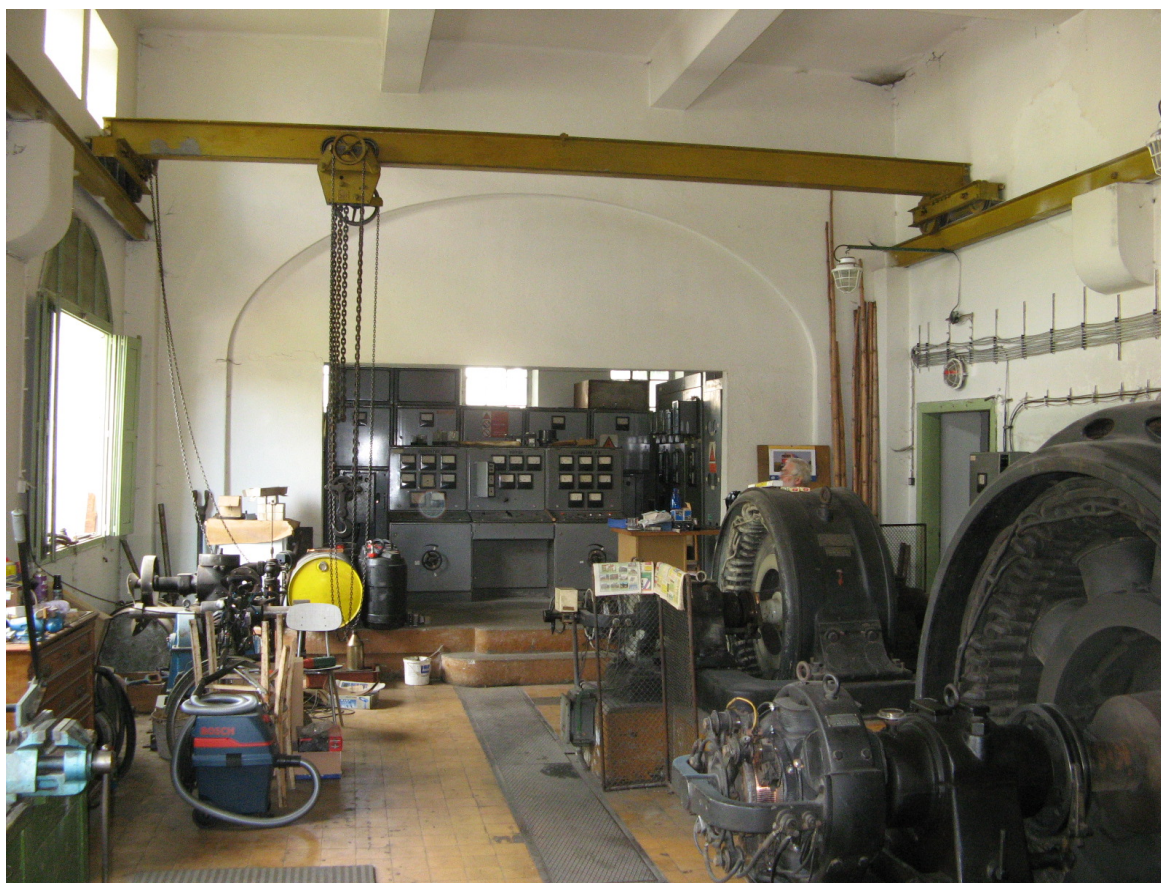
Ale vzhledem k tomu, že parametry celého soustrojí se stále zhoršovaly, bylo nutné provést revitalizaci celého objektu včetně soustrojí. Tato rekonstrukce byla započata v červnu roku 2012 a byla dokončena následující rok 2013 v říjnu (kdy došlo k uvedení do provozu).

Elektrárna je situována v těsné blízkosti česko-polských hranic v malé vesnici Nová Ves. Objekt se nachází ve vzdálenosti zhruba 100 km severně od Olomouce. Viz Obrázek 6 – Situování MVE



Obrázek 6 – Situování MVE





Obrázek 7 – Původní elektrorozvaděče.



Obrázek 8 – Nové elektrorozvaděče.

## 2.2 Charakteristika lokality

Jedná se o průtočnou derivační malou vodní elektrárnu využívající potenciál průtoků řeky Bělá na stávajícím jezu v ř. km 15,818, přičemž pevný stávající jez je taktéž ve vlastnictví majitele objektu. Jez je vyroben z kamenného zdiva a jeho součástí jsou vysoká křídla (kamenné zdi). Šířka jezu v koruně je 15,5 m. Náhon je dlouhý 1 060 m.

Vlastní budova MVE je taktéž původní stavbou z roku 1921. Jedná se o dvoupodlažní objekt, který má průmyslové rysy. V prvním podlaží je umístěna strojovna se dvěma soustrojemi, rozvodna a nezbytné obslužné plochy. V druhém podlaží se nachází prostor česlí, vtoky do kašen, prostor pro obsluhu a trafostanice.

Výtok včetně odpadního kanálu je dlouhý 120 m.

## 2.3 Instalovaná technologie

Ve strojovně byla instalována 2 turbosoustrojí s horizontálními kašnovými Francisovými turbínami (fa. Voith). Turbíny byly přímo spojené se synchronními generátory o jednotkovém instalovaném výkonu 275 kW, resp. 150 kW. Více viz Tabulka 2.

Tabulka 2 - Technické parametry turbosoustrojí.

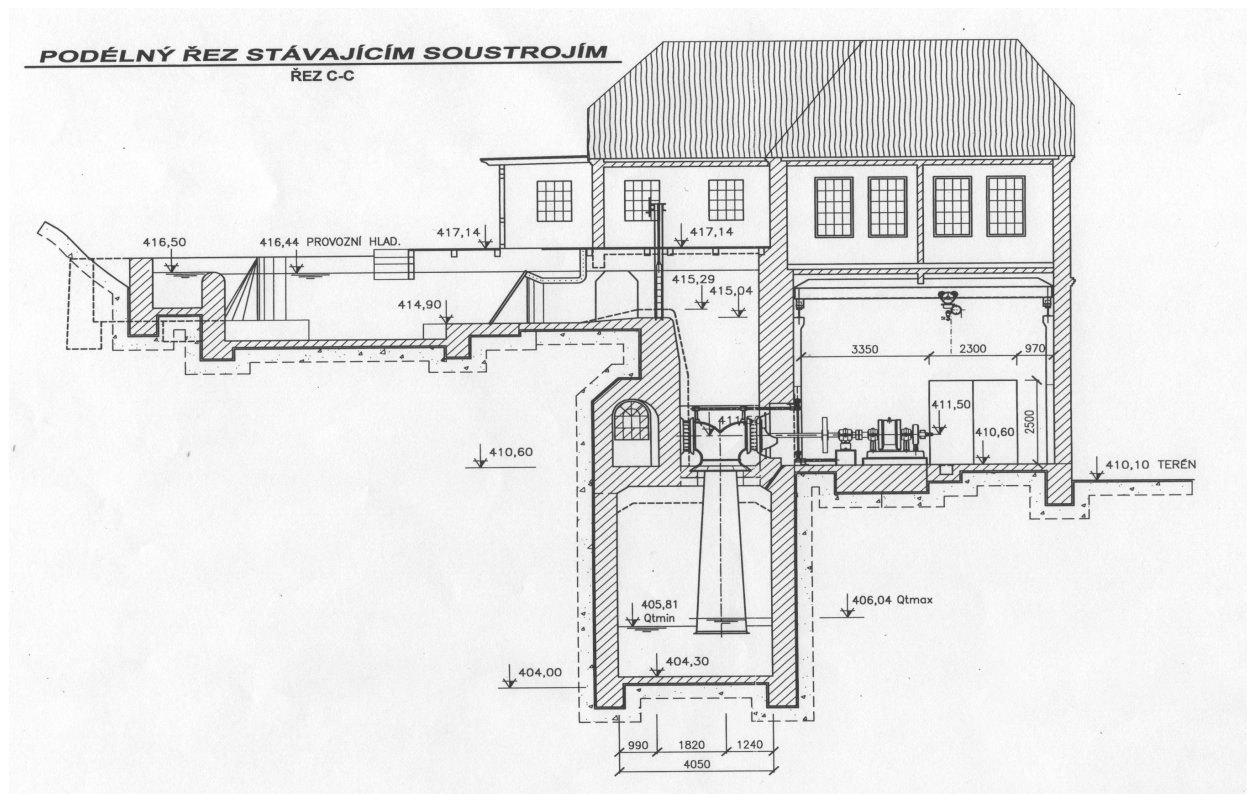
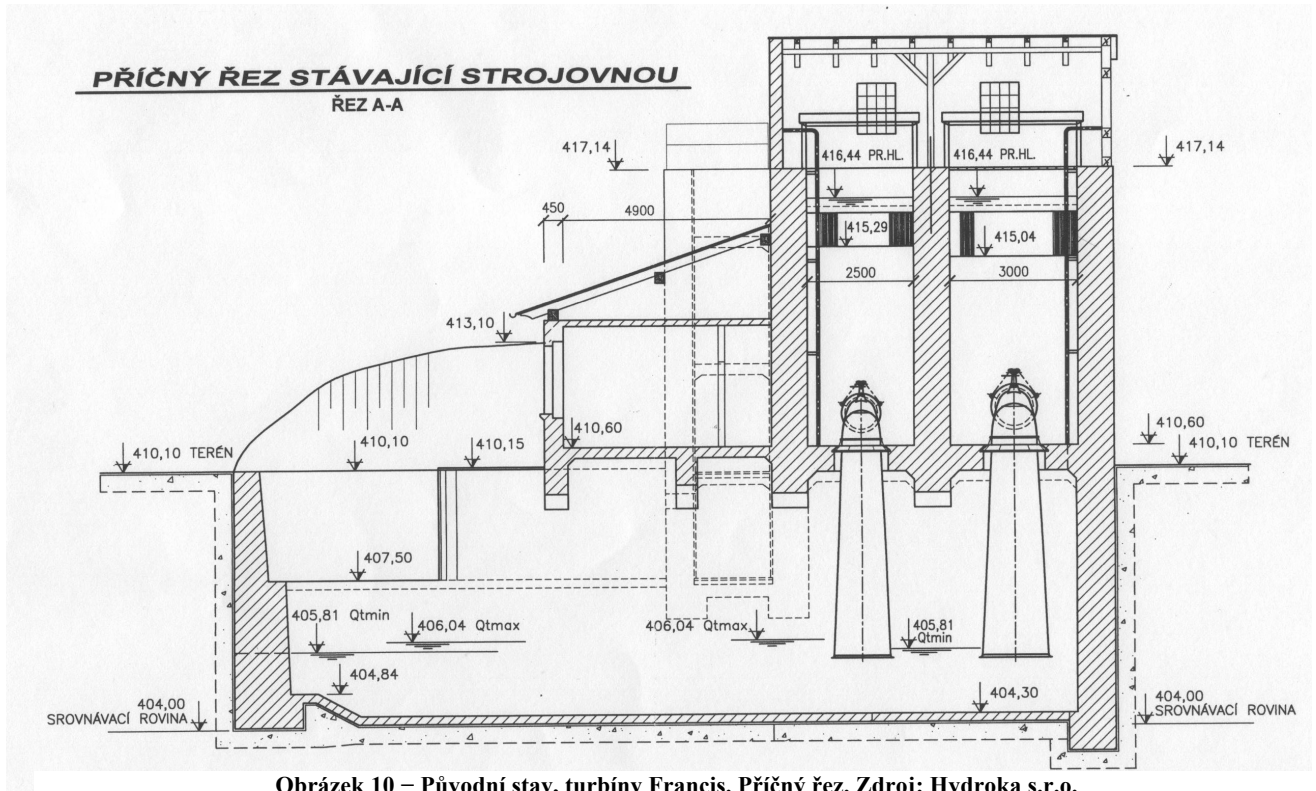
	TG1	TG2	
<b>Typ turbíny</b>	Francis	Francis	
<b>Průměr oběžného kola</b>	600	325	[mm]
<b>Čistý spád na turbíně</b>	10,4-10,55	10,4-10,55	[m]
<b>Navrhovaný spád <math>H_u</math></b>	10,55	10,55	[m]
<b>Navrhovaný průtok 1 turbínou</b>	2,7	2,7	[m <sup>3</sup> /s]
<b>Převod</b>	přímý	přímý	
<b>Typ generátoru</b>	synchronní	synchronní	
<b>Instal. el. výkon generátoru</b>	275	150	[kW]
<b>Instal. el. výkon generátoru celkem</b>	425		[kW]

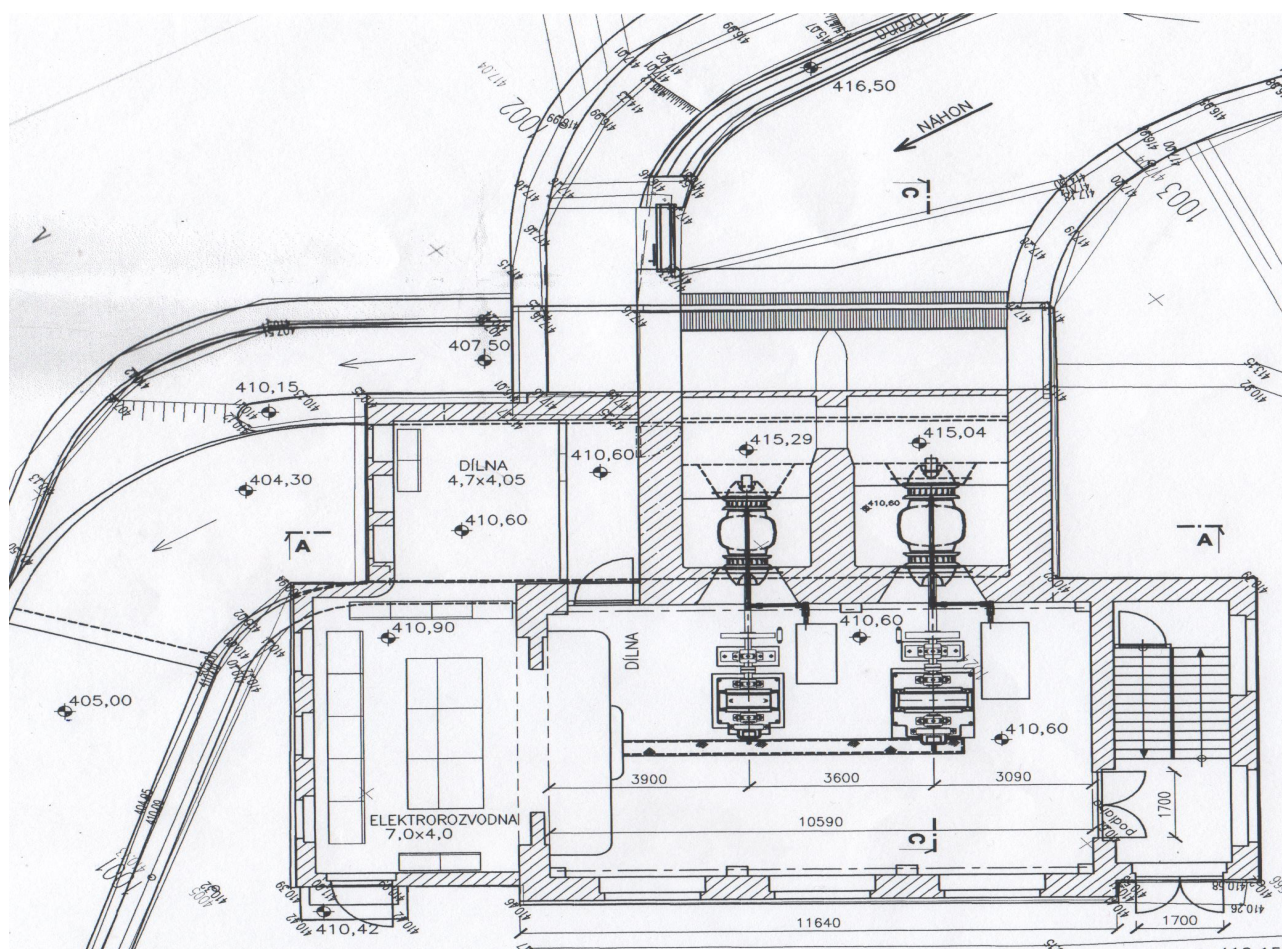
Soustrojí nebyla vybavena automatickými systémy najíždění a odstavování, neměla automatický fázovač. Byla instalována pouze automatická hladinová regulace a signalizace poruch.

Výkon z generátorů byl vyveden do společné rozvodny 3 kV. Z té pak přes vlastní transformátor (400 kVA) do distribuční sítě 22 kV (ČEZ Distribuce, a.s.).

Vyrobená elektřina byla dále prodávána společností ČEZ a.s. s uplatněním zelených bonusů.







Obrázek 11 – Původní stav turbíny Francis. Půdorys. Zdroj: Hydroka s.r.o.

## 2.4 Hydrologická specifikace

Tabulka 3 – Hydrologické podklady

Tok	Bělá	
Číslo hydrologického pořadí	2-04-04-0870	
Profil	15,818	[km]
Plocha povodí	175,13	[km <sup>2</sup> ]
Průměrný dlouhodobý roční průtok QA	3,51	[m <sup>3</sup> /s]

Povolení okresního národního výboru v Šumperku, Odbor vodního a lesního hospodářství a zemědělství, č. j. Voda 543/R-106/84-No-235 stanovil dne 5. 4. 2004 maximální povolené množství vody užívané k výrobě elektrické energie 4,5 m<sup>3</sup>/s, v toku tak bude zachován trvalý průtok 1,0 m<sup>3</sup>/s.

Postup výpočet hrubého odhadu maximální roční výroby elektrické energie pro MVE. Čistý spád na turbíně je:

$$H = 10,5 \text{ m}$$

$$Q_n = 4,5 \text{ [m}^3/\text{s]} \text{ (na obou turbínách)}$$

$$\eta = 0,91 \text{ (konstantní)}$$

$$Q_{\max} = 4,5 \text{ [m}^3/\text{s]} \text{ (maximální hlnost turbíny)}$$

$$Q_{\min} = 0,4 \text{ [m}^3/\text{s]} \text{ (průtok, při kterém se turbína odstavuje z provozu)}$$

$$\eta_g = 0,92$$

$$\rho = 1000 \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}] \text{ (měrná hmotnost vody)}$$

Řešení: „Základní hydrologické údaje toku v dané lokalitě lze získat z křivky překročení průměrných denních průtoků  $Q_{Md} = f(M)$ . Z této křivky se po odečtení nutného asanačního průtoku  $Q_s$ , určí průtok využitelný v elektrárně  $Q_v = Q_{Md} - Q_s$  (maximální možný odběr), viz obrázek 5. Průtok turbínou je označen  $Q$ .

Počet provozních hodin  $h$  se stanoví podle počtu dní  $M$ , ve kterých může turbína se zvoleným relačním rozsahem pracovat. Výpočtové a vypočtené hodnoty se stanoví do tabulky.<sup>6</sup>

$$\text{Výkon turbíny: } P = P_t \cdot \eta = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot \eta$$

$$\text{Výkon generátoru: } P_G = P \cdot \eta_G$$

$$\text{Vyrobená el. energie: } N = P_G \cdot h$$

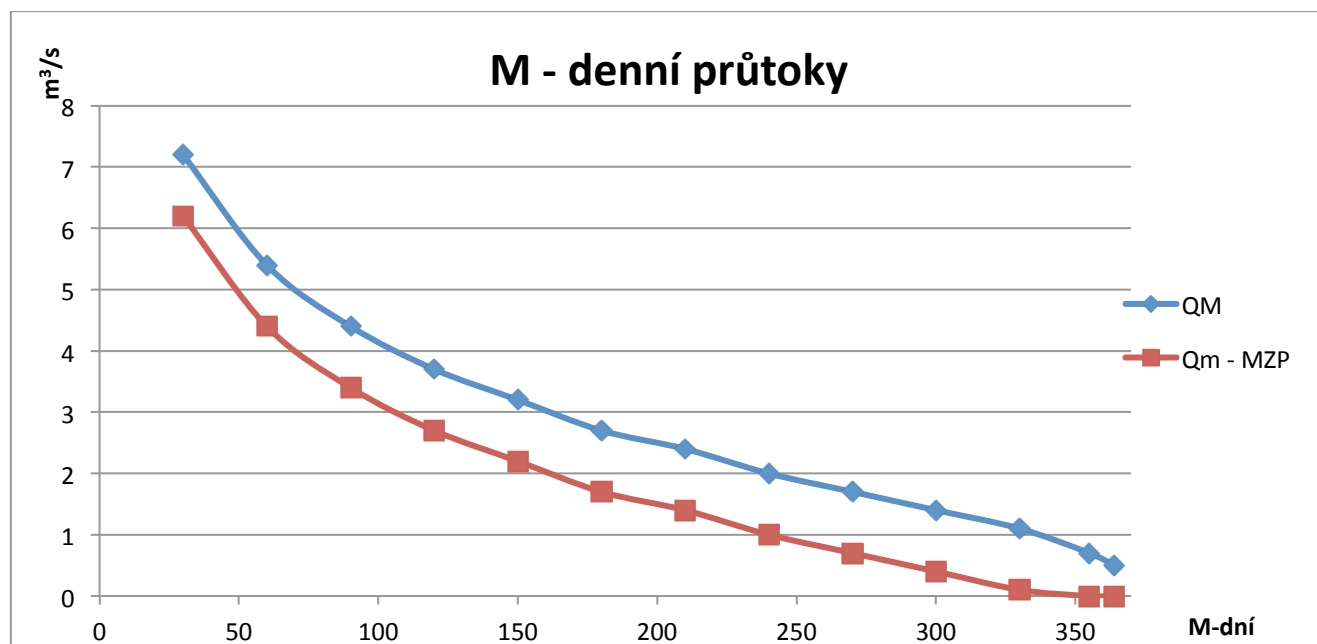
Tabulka 4 – M – denní průtoky

M dní	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364	
QM	7,2	5,4	4,4	3,7	3,2	2,7	2,4	2	1,7	1,4	1,1	0,7	0,5	[m <sup>3</sup> /s]
QS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Q	6,2	4,4	3,4	2,7	2,2	1,7	1,4	1	0,7	0,4	0,1	0,00	0,00	[m <sup>3</sup> /s]
P	421,8	412,4	318	253	206	154	131	94	65	37,5	0	0	0	[kW]
PE	303,7	303,1	229	182	148	114,5	94,3	67,7	46,8	27	0	0	0	[kW]

Teoretická roční výroba elektrické energie: **1516 kWh**

<sup>6</sup> MELICHAR, J. – VOJTEK, J. – BLÁHA, J.: *Malé vodní turbíny.*, Praha: ČVUT, 1998, str. 46.





Obrázek 12 – Křivka m denních průtoků.

## 2.5 Energetické vstupy a výstupy

Z hydrologických údajů byl vypočten hydroenergetický potenciál toku v dané lokalitě, reprezentovaný mechanickou energií vodního toku při spádu 10-4-10,6 m (údaj je snížený o MZP) a představující současné energetické vstupy pro lokalitu celkem.

Tabulka 5 – Tabulka energetických vstupů

	[kWh]	GJ
<b>Hydroenergetický potenciál toku</b>	1 824,481	6568
<b>Využití toku</b>	865,268	3 115

Výkupní cena byla uvažována v cenové úrovni r. 2012 tj. 2 499 Kč/MWh. Elektřina je prodávána obchodníkovi s elektřinou ČEZ, a.s.

## 2.6 Zhodnocení výchozího stavu

Elektrárna využívá energetický potenciál řeky Bělá na stávajícím jezu v ř. km 15,818. Ve strojovně byla instalována od roku 1921 dvě turbosoustrojí s Francisovými turbínami (fa. Voith). Turbíny byly přímo spojené se synchronními generátory o celkovém instalovaném výkonu 425 kW, viz Tabulka 2.

Obě turbosoustrojí by byly v současné době schopny provozu. Hrozilo by však značné riziko náhlé poruchy či havárie.

Soustrojí nebyla vybavena automatickými systémy najíždění a odstavení, neměla automatický fázovač. Byla instalována pouze automatická hladinová regulace a signalizace poruch.

Výkon z generátorů byl vyveden přes vlastní transformátor (400 kVA) do distribuční sítě 22 kV ČEZ Distribuce, a.s.. Elektřina byla prodávána zmíněnému obchodníkovi s uplatněním zelených bonusů.

Tabulka 6 – Bilance výroby energie se stávajícím zdroji

Ukazatel	Hodnota	Jednotka
Instalovaný el. výkon	425	[kW]
Dosažitelný el. výkon	270	[kW]
Výroba elektřiny	865 546	[kWh/r]
Prodej elektřiny	865 268	[kWh/r]
Vlastní spotřeba elektřiny	278	[kWh/r]
Spotřeba prim. energie na výrobu elektřiny	1 698 869	[kWh/r]
	6 116	[GJ/r]

Vhledem k účinnosti bylo účelné a žádoucí přistoupit k rekonstrukci stávající elektrárny s cílem zlepšit její parametry a hlavně efektivnost. Současně by měla být zajištěna dlouhodobá spolehlivost a bezporuchovost bezobslužného provozu MVE.

Vzhledem ke stáří MVW musí rekonstrukce zahrnovat kompletní výměnu technologických zařízení.

Tabulka 7 – Základní technické ukazatele současného stavu MVE.

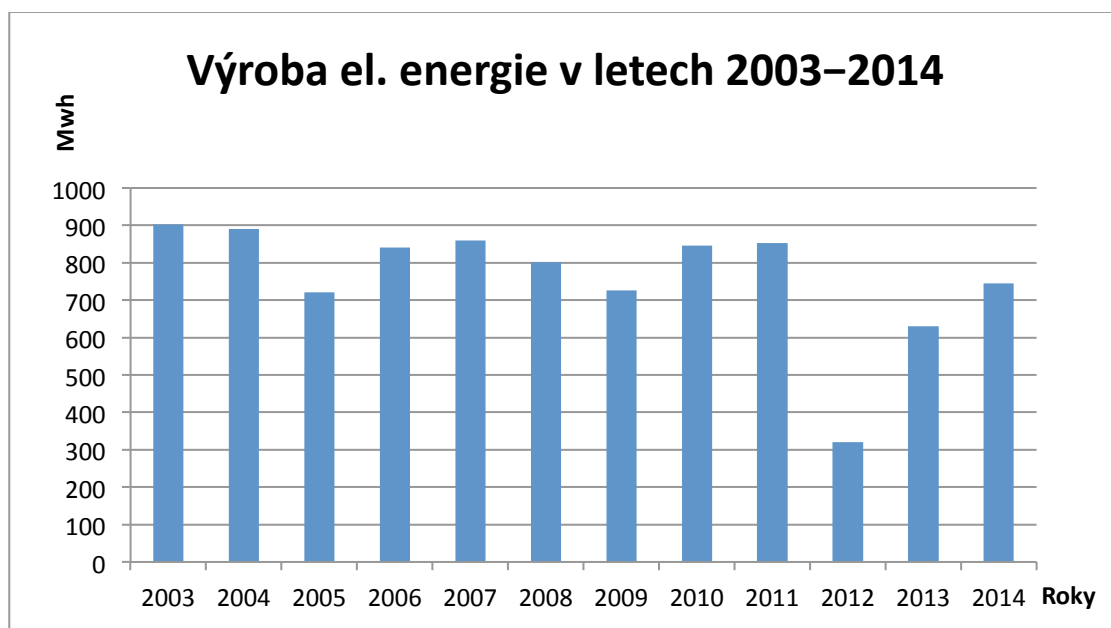
Ukazatel	Hodnota	Jednotka
Roční energetická účinnost MVE	50,9	[%]
Roční využití instalovaného výkonu	2 037	[hod/r]
Roční využití dosažitelného výkonu	3 206	[hod/r]

## 2.7 Prodej elektrické energie v letech 2003–2014

Současný majitel, který se podílí na rekonstrukci, vlastní malou vodní elektrárnu Nová Ves od roku 2003. Proto následující Tabulka 10 a graf znázorňují výrobu elektrické energie od roku 2003 po současnost. V obrázku 8 je vidět pokles výroby el. energie v roce 2012. V tomto roce došlo pozastavení výroby a k praktické části rekonstrukce, která byla dokončena následující rok, kdy se opět začalo s výrobou elektrické energie.

Tabulka 8 - Prodej elektrické energie v letech 2003–2014. Zdroj: majitel objektu.

Roky	MWh
2003	902
2004	890
2005	720
2006	840
2007	860
2008	802
2009	726
2010	846
2011	853
2012	320
2013	630
2014	745



Obrázek 13 - Výroba elektrické energie v jednotlivých letech

### 3. Navrhovaná opatření

Vzhledem k lokalitě, povaze stavby a hydropotenciálu připadají v úvahu dvě možné varianty rekonstrukce MVE, lišící se typem použitých turbosoustrojí za nahrazující původní dožitá turbosoustrojí:

**Varianta 1** - Instalovaný výkon 379 kW (dosažitelný 367 kW) → odpovídá předloženému projektu rekonstrukce MVE s instalací 2 nových turbosoustrojí Kaplan.

**Varianta 2** - Instalovaný výkon 379 kW (dosažitelný 316 kW) → odpovídá možnosti rekonstrukce MVE s instalací 2 nových turbosoustrojí Francis (prostá obnova stávající technologie).

#### 3.1 Varianta 1

##### 3.1.1 Stavební část

Tato varianta uvažuje o rekonstrukci derivační MVE spojenou s instalací 2 ks nových turbosoustrojí Kaplan o jednotkovém výkonu 243, resp. 136 kW<sub>el</sub>.

Konstrukčně bude zejména provedena stavební úprava stávajícího objektu strojovny. V profilu původního výtoku od savek (v místě pod stávající dílnou) bude proveden nový prostor strojovny, kde budou umístěny 2 turbíny. Po demontáži staré technologie bude upravena strojovna pro montáž nové technologie. Bourací práce ve spodní části MVE budou spočívat ve vybourání zabetonovaných kruhů savek ve stropě, rozšíření a začistění těchto otvorů, příp. vybourání mělkých drážek v obvodových zdech výtoku pro napojení nových betonových konstrukcí zdi nového prostoru strojovny. Bude vybourána podlaha stávající dílny, pod kterou bude nová strojovna.

V prostoru stávající budovy, kde jsou v současnosti elektrorozvodna (7 x 4 m), dílna na výtoku savek (4,7 x 4,1 m) a výtok savek stávajících turbín Francis bude po rekonstrukci provozní místnost s rozvaděči soustrojí a trafostanicí (půdorys 7 x 4 m) a nová strojovna šířky 4 m se suterénním prostorem a galerií vstupu.

V místě výtoku stávajících turbín Francis bude „základová“ deska nové strojovny (nad stávajícím betonovým dnem výtoku). V přední části bude základní blok nových turbín Kaplan. Boční zdi nové strojovny budou tvořeny stávajícími bočními zdmi výtoku. Přední zeď strojovny bude nová a profilovaná pro vhodný nátok vody do turbíny. Celková délka spodní části nové strojovny bude 5,7 m + část u vtokových kusů, šířka bude 4 m.

V nové samostatné místnosti (2 x 2,6 m) bude umístěná nová trafostanice. Obvodové zdi místnosti budou vyžděny z cihel, strop bude ze stropních desek.

Výtok v místě nových savek bude v malém rozsahu plochy a v malé hloubce prohlouben.

Dále bude provedena případná oprava jezu, vtokového objektu, náhonu a odpadního kanálu.

### 3.1.2 Technologická část

Projekt předpokládá instalaci 2 nových turbosoustrojí různé velikosti s přímoproudými S turbínami Kaplan o průměru oběžného kola 750 mm a 600 mm o celkovém instalovaném výkonu 379 kW<sub>el.</sub> místo stávajících turbosoustrojí Francis.

Vtok na turbíny bude chráněn stávajícími jemnými česlemi, ve výhledu s automatickým čistícím strojem.

Tabulka 9 – Parametry nových turbosoustrojí

Typ turbíny	Kaplan horizontální		Jednotky
Počet TG	1	1	[-]
Průměr oběžného kola	750	600	[mm]
Regulace lopatek	RK, OK	RK, OK	[-]
Čistý spád na turbíně m	10,4-10,6	10,4-10,6	[m]
Návrhový průtok 2 turbínou Hu = 10,5 m	2,95	1,65	[m <sup>3</sup> /s]
Průtok turbínami v souběhu Hu=10,5 m	4,5		[m <sup>3</sup> /s]
Minimální průtok turbínou	0,4	0,1	[m <sup>3</sup> /s]
Převod	přímo	přímo	[-]
Typ generátoru	asynchronní	asynchronní	[-]
Instalovaný el. výkon generátoru	243	136	[kW]
Účinnost turbíny v optimu	91	91	[%]

Účinnost nových použitých turbín bude v optimálním provozu cca 91%.

To znamená, že energetická účinnost turbín vyhovuje podmínkám „Programu státní podpory úspor energie a vyššího využití obnovitelných zdrojů energie“, kde je pro nové turbíny stanovena minimální účinnost 85%. Je proto přijatelná i pro projekt v rámci „Operačního programu průmyslu a inovace“.

MVE bude vybavena všemi typy předepsaných elektrických ochran a ASŘ umožňujícím bezobslužný provoz elektrárny (s pochůzkovou službou), vč. automatického najetí po odstavení. Průtok vody turbínami bude řízen hladinovou regulací tak, aby byla zachována konstantní hladina v nadjezí.

Vyvedení elektrického výkonu generátoru bude provedeno přes nově instalované vlastní trafo 22/0,4 kV (630 kVA) umístěné v prostorách MVE.

Vyrobená elektrická energie bude prodávána do VN distribuční sítě ČEZ Distribuce a.s..

### **3.2 Varianta 2**

Tato varianta uvažuje pouze s prostou výměnou technologie původních turbín Francis (fa. Voith) o jednotkovém instalovaném výkonu 275kW, resp. 150kW. Tyto turbíny by byly nahrazeny novými o instalovaném výkonu 379kW (dosažitelný 316kW).

Nespornou výhodou této varianty by byla menší náročnost ekonomického vkladu cca o 1,4 milionu méně než u varianty 1 (viz Tabulka 15 – Prostá doba návratnosti). Tento rozdíl vznikl vzhledem k faktu, že nebylo potřeba vybudovat nové prostory pro turbíny (na rozdíl od varianty 1).

Naopak nevýhodou jsou nižší zisky přibližně o 200 tisíc ročně. Doba návratnosti se u obou turbín liší jen minimálně 7,1 roku u varianty jedna a 7,2 u varianty 2 (taktéž viz Tabulka 15 – Prostá doba návratnosti).

Vzhledem k těmto okolnostem se majitel logicky rozhodl pro variantu 1, která mu vynesou vyšší zisk i přes vyšší počáteční náklady. Proto nebylo potřeba variantu 2 více popisovat.



### 3.2 Výroba elektrické energie

Tabulka 10 – Výroba elektrické energie v běžném roce pro variantu 1

DNY	Počet dní	$Q_M$ m <sup>3</sup> /s	$Q_T$ m <sup>3</sup> /s	$H_u$ m	$\eta_T$	$P_T$ kW	$\eta_{př}$	$\eta_g$	$P_g$ kW	$E_g$ kWh
15–45	30	7,21	4,5	10,4	0,86	394,8	1	0,93	367,2	264 380
45–75	30	5,4	4,4	10,4	0,88	395	1	0,93	367,4	264 517
75–105	30	4,41	3,41	10,45	0,9	314,6	1	0,93	292,6	210 668
105–135	30	3,73	2,7,	10,5	0,91	255,9	1	0,93	238,0	171 348
135–165	30	3,21	2,21	10,5	0,91	207,2	1	0,93	192,7	138 710
165–195	30	2,79	1,79	10,55	0,9	166,7	1	0,92	153,4	110 443
195–225	30	2,42	1,42	10,55	0,9	132,3	1	0,92	121,7	87 614
225–255	30	2,09	1,09	10,55	0,88	99,3	1	0,90	89,3	64 329
255–285	30	1,79	0,79	10,55	0,85	69,5	1	0,90	62,5	45 034
285–315	30	1,48	0,48	10,55	0,82	40,7	1	0,88	35,8	25 810
315–345	30	1,16	0,16	10,6	0,75	12,5	1	0,75	9,4	6 738
<b>Celkem</b>	<b>330</b>								<b>Výroba elektřiny [kWh/r]</b>	<b>1 389 590</b>

Tabulka 11 – Výroba elektrické energie v běžném roce pro variantu 2

DNY	Počet dní	$Q_M$ m <sup>3</sup> /s	$Q_T$ m <sup>3</sup> /s	$H_u$ m	$\eta_T$	$P_T$ kW	$\eta_{př}$	$\eta_g$	$P_g$ kW	$E_g$ kWh
15–45	30	7,21	4,50	10,40	0,82	376,5	1	0,93	350,1	252 083
45–75	30	5,40	4,40	10,40	0,83	372,6	1	0,93	346,5	249 487
75–105	30	4,41	3,41	10,45	0,84	293,6	1	0,93	273,1	196 623
105–135	30	3,73	2,7,	10,50	0,84	236,2	1	0,93	219,7	158 167
135–165	30	3,21	2,21	10,50	0,84	191,2	1	0,93	177,8	128 040
165–195	30	2,79	1,79	10,55	0,84	155,6	1	0,92	143,2	103 080
195–225	30	2,42	1,42	10,55	0,83	122	1	0,92	112,2	80 799
225–255	30	2,09	1,09	10,55	0,80	90,2	1	0,90	81,2	58 481
255–285	30	1,79	0,79	10,55	0,75	61,3	1	0,90	55,2	39 736
285–315	30	1,48	0,48	10,55	0,70	34,8	1	0,88	30,6	22 033
315–345	30	1,16	0,16	10,60	0,65	10,8	1	0,75	8,1	5 840
<b>Celkem</b>	<b>330</b>								<b>Výroba elektřiny [kWh/r]</b>	<b>1 294 370</b>

Roční výroba elektřiny v průměrném vodném roce činí:

→ **Varianta 1 – 1 390 MWh/rok**

→ **Varianta 2 – 1 284 MWh/rok**

### 3.3 Ekonomické vyhodnocení

Tabulka 12 – Roční provozní Cash-Flow projektu

Ukazatel	Varianta 1	Varianta 2	Jednotka
Prodej elektřiny	1 390	1 284	Mwh/r
Výkupní cena elektřiny	2 499	2 499	Kč/MWh
Tržby za prodej elektřiny	3 473	3 208	tis.Kč/r
Provozní náklady	200	200	tis.Kč/r
<b>Roční Cash-Flow projektu (bez DPH)</b>	<b>3 273</b>	<b>3 146</b>	tis.Kč/r

Výkupní cena z MVE je kalkulována s využitím zelených bonusů s tím, že současná výkupní cena silové elektřiny od obchodníka ČEZ a.s. činí pro r. 2013 2 499 Kč/MWh.

Tabulka 13 – Investiční náklady

Ukazatel	Varianta 1	Varianta 2	Jednotka
<b>Investiční náklady celkem (bez DPH) z toho:</b>	<b>14 500</b>	<b>13 100</b>	tis.Kč
<b>Stavební</b>	<b>6 700</b>	<b>1 900</b>	tis.Kč
<b>Technologie z toho:</b>	<b>7 800</b>	<b>11 200</b>	tis.Kč
<i>Nové TG</i>	6 100	9 500	tis.Kč
<i>Ostatní strojní</i>	500	1 200	tis.Kč
<i>el. část, vyvedení výkonu</i>	1 200	500	tis.Kč

Tabulka 14 – Rozbor ročních úspor

Název Opatření	Pořizovací náklady	Roční úspory				
		Úspora energie (prodej elektřiny)	Úspora osobních výdajů	Úspora výdajů na opravy	Úspora celkem	
Varianta 1	14 500	1 884	2 515	-100	-160	2 055
Varianta 2	13 100	1 541	2 269	-100	-160	1 809
Jednotka	tis.Kč	GJ/r	tis.Kč	tis.Kč	tis.Kč	tis.Kč

### 3.4 Prostá doba návratnosti

Tabulka 15 – Prostá doba návratnosti

	Varianta 1	Varianta 2	
Investiční náklady	14 500	13 100	tis. Kč
Roční Cash-Flow projektu	2 055	1 809	tis. Kč
Prostá doba návratnosti	7,1	7,2	roky

### 3.5 Ekonomická analýza

Pro každou uvedenou variantu byly vypočteny základní ukazatele ekonomické efektivity ve smyslu vyhlášky č. 2013/2001 Sb.

Čistá současná hodnota (NPV)

$$NVP = \sum_{t=1}^{T\check{z}} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IN \text{ rov. 1}$$

Přičemž:

CF<sub>t</sub> - Cash-Flow projektu v roce t

r - diskont

t - hodnocené období (1 až n let)

T<sub>ž</sub> - doba ekonomické životnosti projektu

Vnitřní výnosové procento (IRR)

$$IN - \sum_{t=1}^{T\check{z}} \frac{CF_t}{(1+r)^t} = 0 \text{ platí } IRR = r$$

Jako kritéria ekonomické efektivity byly použity hodnoty NPV (čistá současná hodnota) a IRR (vnitřní výnosové procento) za dobu 15 let, při hodnotě diskontu 4% a při stálých cenách. Současně byly vypočteny hodnoty kumulovaného diskontovaného hotovostního toku (Cash-Flow), včetně reálné doby návratnosti projektu.

Tabulka 16 – Zhodnocení

	Varianta 1	Varianta 2	
<b>NPV</b>	8 350	7 011	tis. Kč
<b>IRR</b>	11,3	10,9	%
<b>Reálná doba návratnosti</b>	8,4	8,7	roky

Soustrojí nejsou vybavena automatickými systémy najíždění a odstavování, nemají automatický fázovač. Je instalována pouze automatická hladinová regulace a signalizace poruch.

Výkon z generátorů je vyveden do společné rozvodny 3 kV. Z té pak přes vlastní transformátor (400 kVA) do distribuční sítě 22 kV ČEZ Distribuce, a.s. Vyrobená elektřina je prodávána obchodníkovi s elektřinou ČEZ a.s. s uplatněním zelených bonusů.

Je účelné přistoupit k zásadní rekonstrukci stávající elektrárny s cílem zlepšit její parametry a efektivnost. Současně by měla být zajištěna dlouhodobá spolehlivost a bezporuchovost bezobslužného provozu MVE.

### 3.6 Celkový potenciál úspor energie

Hydroenergetický potenciál lokality činí: 6 586 GJ/r (1 824 MWh/r). Technický potenciál úspor, respektive výroby energie z obnovitelného zdroje, činí (při 75% účinnosti energetických přeměn) v dané lokalitě cca 4 926 GJ/r.

### 3.7 Návrh optimální varianty

Optimální variantou je varianta 1 - rekonstrukce derivační MVE na řece Bělá. Tato rekonstrukce spočívá zejména v instalaci 2 ks nových turbosoustrojí Kaplan o výkonu 243 a 136 kW<sub>el.</sub> (náhradou za 2 původní turbosoustrojí Francis).

Stavebně byla zejména uskutečněna úprava stávajícího objektu strojovny. V profilu původního výtoku od savek bude proveden nový prostor strojovny, kde budou umístěny 2 turbíny. Po demontáži staré technologie byla upravena strojovna pro montáž nové technologie.

V prostoru stávající budovy byla po rekonstrukci vybudována provozní místnost s rozvaděči soustrojí a trafostanicí a nová strojovna se suterénním prostorem a galerií vstupu. Dále byla provedena případná oprava jezu, vtokového objektu a náhonu odpadního kanálu.

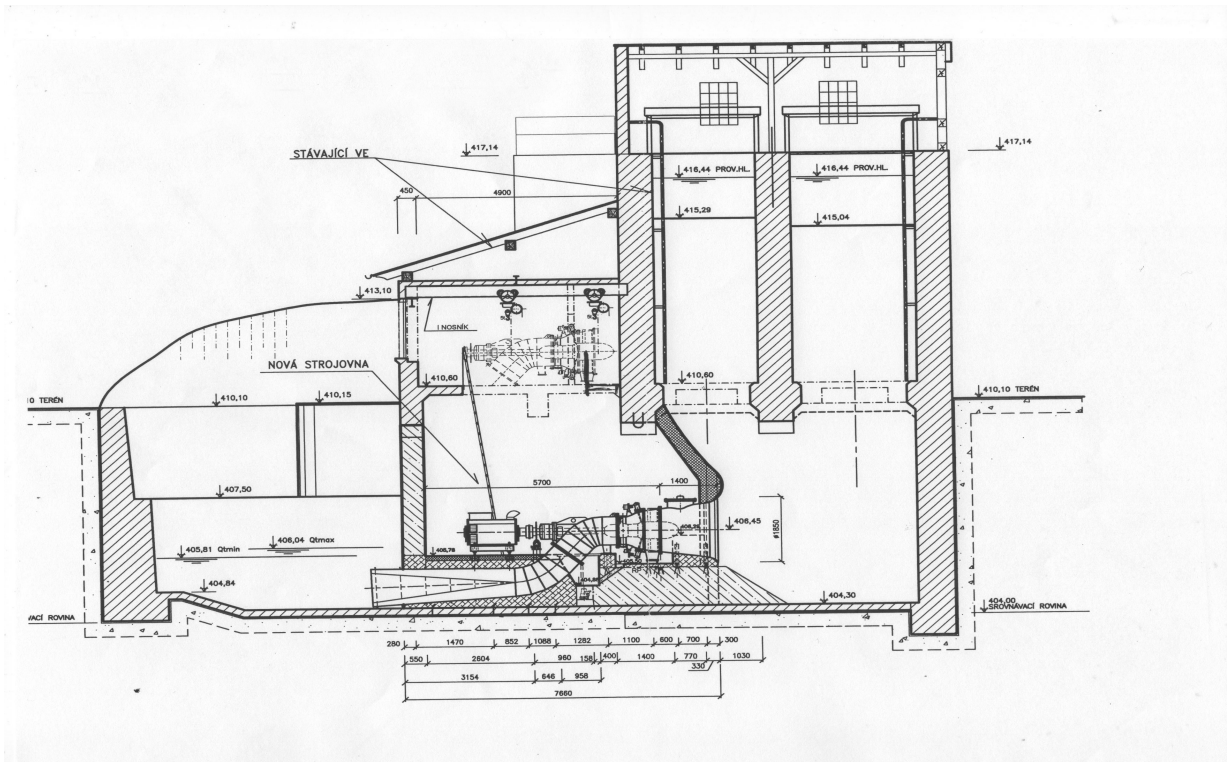
Projekt předpokládá instalaci 2 nových turbosoustrojí různé velikosti s přímoproudými S turbínami Kaplan o průměru oběžného kola 750 mm a 600 mm o celkovém instalovaném výkonu 379 kW<sub>el.</sub> místo stávajících turbosoustrojí Francis. Vtok na turbíny je ochráněn stávajícími jemnými česlemi, ve výhledu s automatickým čistícím strojem.

MVE byla vybavena všemi typy předepsaných elektrických ochran a ASŘ umožňující bezobslužný provoz elektrárny (s pochůzkovou službou), včetně automatického najetí po odstavení. Průtok vody turbínami bude řízen hladinovou regulací tak, aby byla zachována konstantní hladina v nadjezí.

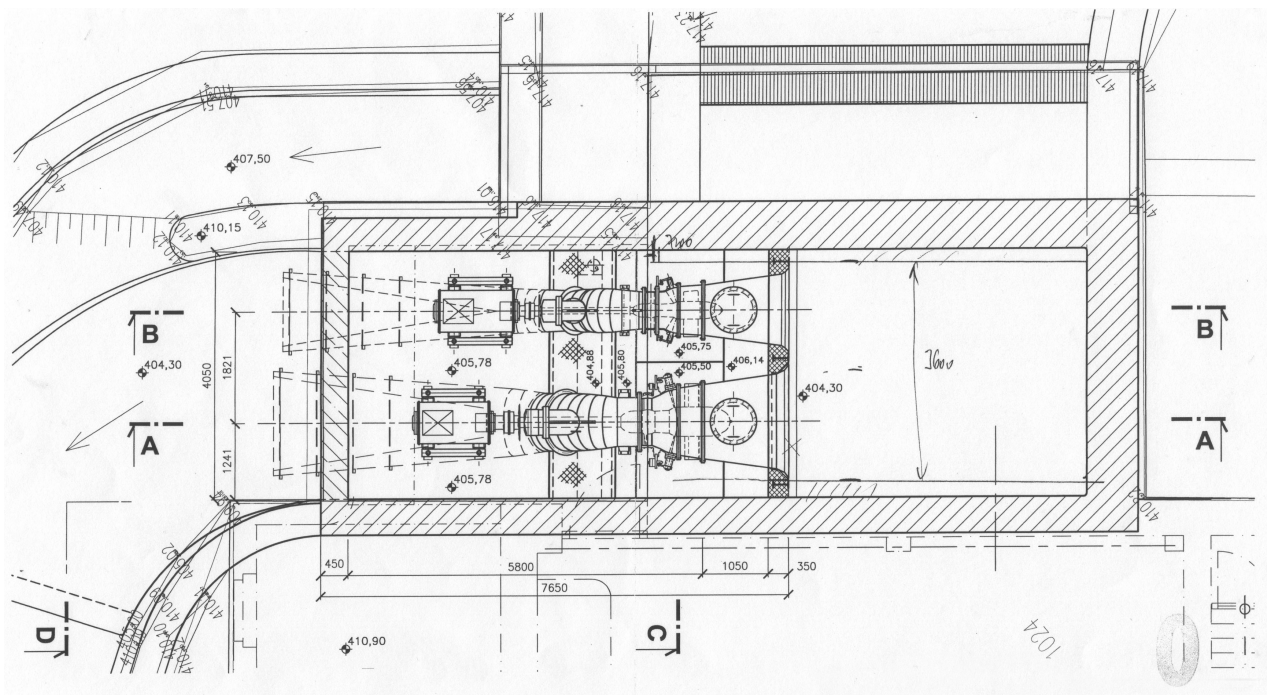
Tabulka 17 – Přehled základních parametrů doporučené varianty

Parametry	Varianta 1 = Optimální varianta	
Instalovaný elektrický výkon	379	kW
Dosažitelný elektrický výkon	367	kW
Potenciál energ. úspor - výroba elektřiny celkem	1 390	MWh/r
Roční využití instalovaného výkonu	3 666	hod/r
Roční využití dosažitelného výkonu	3 782	hod/r
Investiční náklady	14 500	tis. Kč
Investiční náklady/instalovaný výkon	38,3	tis. Kč/kW
Investiční náklady/dosažitelný výkon	40	tis. Kč/kW
Cash-Flow projektu (přírůstek)	2 055	tis. Kč/r
Prostá doba návratnosti	7,1	roky
NPV (15 let)	8 350	tis. Kč
IRR	11,3	%
Snížení emisí CO <sub>2</sub>	612	t/r

Realizací optimální Varianty 1 došlo k využití celkového hydroenergetického potenciálu toku v dané lokalitě 6 568 GJ/r ve výši 3 115 GJ/r, tj. téměř ze 76%. Dosavadní využití ve stávající MVE bylo cca z 47%.



Obrázek 15 – Nový stav, soustrojí Kaplan, podélný řez soustrojím. Zdroj: Hydroka s.r.o.



Obrázek 14 – Nový stav, Turbíny Kaplan. Půdorys - strojovna. Zdroj: Hydroka s.r.o.





Obrázek 17 – Staré savky (Francis)



Obrázek 16 – Nové Savky (Kaplan)



## 4. Ekologické hodnocení

V této části se budu zabývat výrobou elektrické energie v MVE a údaje budu porovnávat s klasickou hnědouhelnou elektrárnou. Nebudu sem zahrnovat množství emisí potřebných na výrobu a stavbu MVE.

Z doložených dat jsou známy hodnoty výroby MVE Nová Ves, která je v provozu od roku 1921. Z tabulek vychází, že průměrná výroba elektrické energie za použití 2 vodních turbín Voith (Qt 2,7 +1,18) je cca 850 000 kWh (po rekonstrukci hodnota stoupla na cca 1 400 000 kWh).

Tabulka 18 uvádí množství vyprodukovaných emisí z tradiční hnědouhelné elektrárny.

**Tabulka 18 – Množství emisí na 1kWh z hnědouhelné elektrárny. Zdroj: Prof. Ing. Škorpil, CSc., FEL ZČU Plzeň.**

Hnědé uhlí	Tuhé látky	SO <sub>2</sub>	NOX	CO	CO <sub>2</sub>
Emise [g/kWh]	3	5,3	7,7	0,7	1213

Vezmeme-li v potaz, že MVE je v provozu od roku 1921 tedy 93 let, tak za celé své funkční období teoreticky ušetřila: 76 641 [t/kWh] CO<sub>2</sub> oproti hnědouhelné elektrárně.

Výpočet: Množství CO<sub>2</sub>=(průměrná vyrobená energie za rok) x čas x emise = 700 000 x 93 x 1213 = cca 76 614 [t/90let].

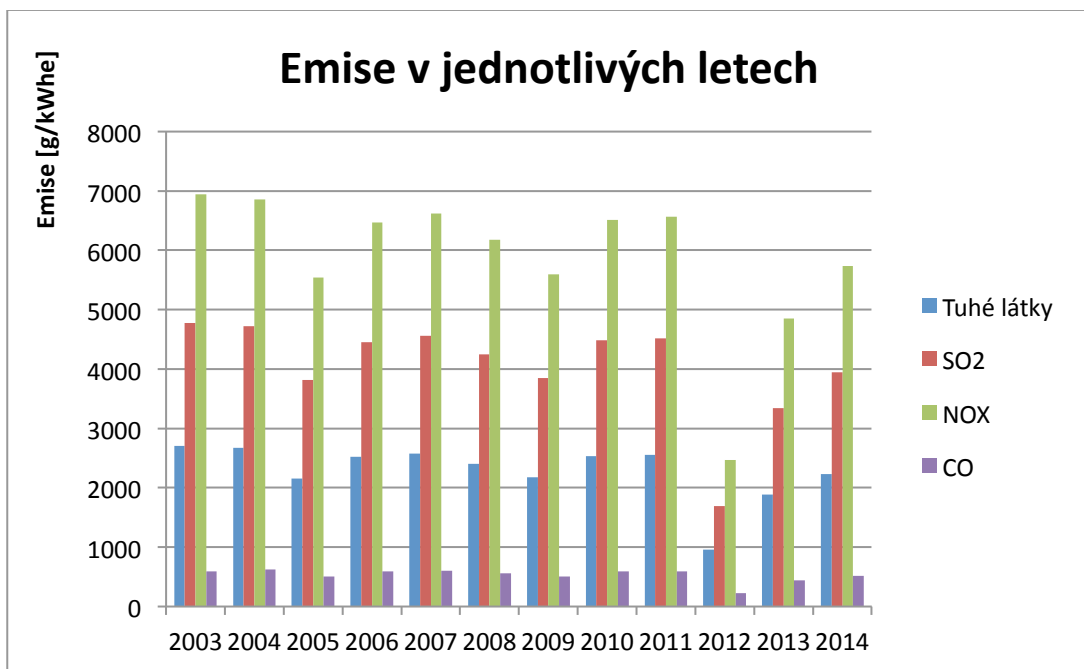
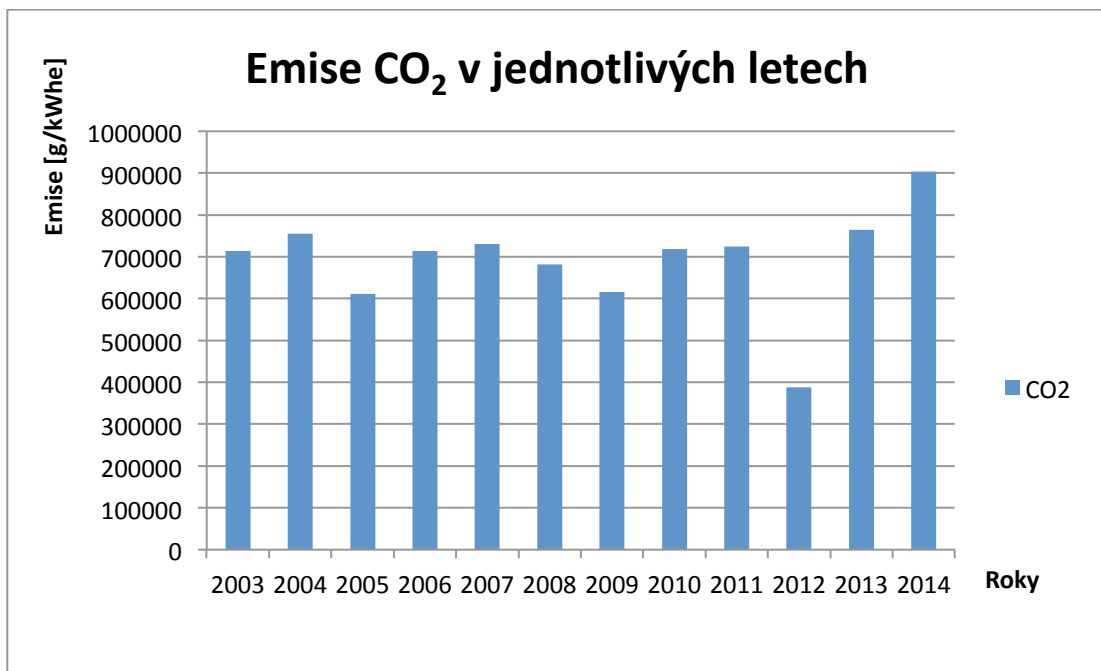
Bohužel přesná data týkající se výroby elektrické energie v jednotlivých letech nebo dokonce obdobích není k dispozici. Jak již bylo výše napsáno současný majitel zakoupil elektrárnu v roce 2003. A přesná data mi byla poskytnuta právě od tohoto období.

**Tabulka 19 – Teoretické množství ušetřených emisí za období 90 let.**

Hnědé uhlí	Tuhé látky	SO <sub>2</sub>	NOX	CO	CO <sub>2</sub>
Emise [t/90let]	1,9	3,3	7,9	0,4	76 614

Jak jsem již naznačil uvedená Tabulka 20 je čistě teoretická, jelikož nemůžu přesně doložit potřebná data.

O něco relevantnější jsou informace v obrázku 18 a 19, který popisuje množství emisí, které by vznikly kdyby vyrobená energie nebyla z MVE, ale z hnědouhelné elektrárny.

Obrázek 18 – Emise tuhých látek, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO v jednotlivých letechObrázek 19 – Emise CO<sub>2</sub> v jednotlivých letech

Tabulka 20 – Množství vyrobené energie a emisí v jednotlivých letech

Roky	MWh	Tuhé látky [g]	SO <sub>2</sub> [g]	NOX [g]	CO [g]	CO <sub>2</sub> [g]
2003	902	2 706	4 781	6 945	588	713 244
2004	890	2 670	4 717	6 853	623	755 699
2005	720	2 160	3 816	5 544	504	611 352
2006	840	2 520	4 452	6 468	588	713 244
2007	860	2 580	4 558	6 622	602	730 226
2008	802	2 406	4 251	6 175	561	680 978
2009	726	2 178	3 848	5 590	508	616 447
2010	846	2 538	4 484	6 514	592	718 339
2011	853	2 559	4 521	6 568	597	724 282
2012 <sup>7</sup>	320	960	1 696	2 464	224	388 160
2013 <sup>8</sup>	630	1 890	3 339	4 851	441	764 190
2014 <sup>9</sup>	745	2 235	3 949	5 737	522	903 485

Nejpřesnější informace o vyrobené energii v jednotlivých letech a množství emisí uvádí tabulka 21. Tato tabulka uvádí i informace o elektrárně po rekonstrukci, kde je vidět nárůst získané elektrické energie v roce 2013–2014.

<sup>7</sup> Z důvodu rekonstrukce jsou hodnoty za období leden – červen 2012.

<sup>8</sup> Z důvodu rekonstrukce jsou hodnoty za období říjen – prosinec 2013.

<sup>9</sup> Poslední hodnoty jsou k datu 15. 4. 2014

## Závěr:

V prvním bodě své práce „Malá vodní elektrárna Nová Ves“, jsem se zaměřil na rozdělení vodních turbín podle jednotlivých parametrů. Dále jsem se lehce dotkl možných variant vodních turbín u malých vodních elektráren. Jmenovitě to byly turbíny typu: Kaplan, Pelton, Banki a Francis.

Další bod byl zaměřen na problematiku výstavby MVE. V tomto bodě byly vysvětleny jednotlivé kroky, postupy a jednání v souladu s platnými zákony ČR. Byly zde rozvedeny kroky od zajištění vhodné lokality, po vytvoření projektové dokumentace až po poslední krok, získání licence u Energetického regulačního úřadu: „Výrobce elektrické energie“.

Dále jsem se zaměřil na konkrétní objekt tj. MVE Nová Ves. Následující, informace a data jsem získal ve spolupráci s firmami Hydrohrom s.r.o. (společnost zabývající se výrobou vodních turbín a stavbou vodních elektráren) a firmou Hydroka s.r.o. (společnost zabývající se projektováním vodních turbín a vodních elektráren).

Popisoval jsem lokalitu, povodí i jednotlivé technologie. Elektrárna byla v takřka nepřetržitém provozu od roku 1921 a byly na ní instalovány dvě turbíny typu fy. Voith s celkovou hltností  $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Účinnost těchto turbín postupně klesala, až se dostala na hodnotu 50,9%. Což po tolika letech není úplně nízká hodnota.

V potaz přicházely dvě konstrukční varianty. U varianty 1 se počítalo s výrobou dvou nových turbosoustruj typu Kaplan. Mimo jiné do ní byly zahrnuty i bourací práce. V prostoru stávající budovy, kde jsou v současnosti elektrorozvodna ( $7 \times 4 \text{ m}$ ), dílna na výtoku savek ( $4,7 \times 4,1 \text{ m}$ ) a výtok savek stávajících turbín Francis, byla po rekonstrukci provozní místnost s rozvaděči soustruj a trafostanicí (půdorys  $7 \times 4 \text{ m}$ ) a nová strojovna šířky 4 m se suterénním prostorem a galerií vstupu.

Varianta 2 počítala jen s prostou obnovou technologie, tj. dvě turbosoustruj typu Francis.

Rozdíly mezi jednotlivými variantami nebyly pouze v ceně: 14,5 milionu pro variantu 1 a 13,1 milionu pro variantu 2. Cena u varianty 1 je vyšší zejména kvůli zmíněným stavebním pracím. Odlišnosti byly i ve vyrobené potažmo prodané energii, která činila 1390 MWh/r pro variantu 1 a 1293 MWh/r pro variantu 2. Prostá doba návratnosti se u varianty 1 pohybovalo okolo 7,1 roku a u varianty 2 7,2 roku. Přičemž předpokládaná doba návratnosti byla 8,4 (varianta 1) a 8,7 (varianta 2).

Roční Cash-Flow projektu se tak předpokládal 2 055 000 u varianty 1 a 1 809 000 u varianty 2.

Optimální varianta byla vzhledem ke všem zmíněným podrobnostem varianta 1, více viz Tabulka 17 – Přehled základních parametrů doporučené varianty. Tato varianta byla také realizována.

Rekonstrukce byla započata v červnu roku 2012 a byla dokončena následující rok 2013. Tudíž už jsou k dispozici reálná a užitečná data poukazující rozdíl před rekonstrukcí a po ní. Například hodnota vyrobené energie se před rekonstrukcí pohybovala okolo 800 MWh/r. Současná hodnota je přibližně 1 400 MWh/r.

V poslední části své práce jsem se zabýval ekologickým hodnocením. Srovnání probíhalo s klasickou hnědouhelnou elektrárnou. Emisní hodnoty se nacházejí v tabulce 19. Látky, kterými jsem se zabýval byly: tuhé látky, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO a CO<sub>2</sub>.

Teoreticky jsem také dopočítával velikost emisí CO<sub>2</sub>, které nebyly vypuštěny do ovzduší během 90 let provozu MVE.

Dále jsem k výpočtům používal více relevantní data, která mi byla poskytnuta majitelem objektu. Na obrázku 18 a 19 jsou zobrazena data emisí za posledních deset let.

Jelikož rekonstrukce proběhla na přelomu let 2012 a 2013 jsou již k dispozici data, která by nám poskytla plnohodnotné informace o výrobě elektrické energie v průběhu celého roku viz Tabulka 20. Jaký bude průběh vývoje výroby elektrické energie nelze přesně říct, ale z grafů a všech dat se dá usoudit, že investice do rekonstrukce byl dobrý krok a za pár let bude MVE jen v zelených číslech.

## BIBLIOGRAFIE

### *Literatura:*

- [1] PAŽOUT, F.: *Malé vodní elektrárny*. Díl 1, *Ekonomika předpisy.*, Praha: SNTL, 1987, 504 s.
- [2] BEDNAŘ, J.: *Malé vodní elektrárny*. Díl 2., *Turbíny.*, Praha: SNTL, 1989, 237 s.
- [3] QUASHING, V. *Obnovitelné zdroje energie.*, Praha, 2010, 296 s.
- [4] PRAVEC, M.: *Problematika minimálních zůstatkových průtoků z pohledu ochrany vodních ekosystémů*, prezentace PowerPoint, 2009.
- [5] GABRIEL, P. - ČIHÁK, F. - KALNDRA, P.: *Malé vodní elektrárny*, Praha: ČVUT, 1998, 321 s.
- [6] MELICHAR, J. - VOJTEK, J. - BLÁHA, J.: *Malé vodní turbíny.*, Praha: ČVUT, 1998, 299 s.
- [7] ŠKORPIL, J. - KASÁRNIK, M.: *Obnovitelné zdroje energie I.*, 2. vyd., přeprac., Plzeň: ZČU, 1998, 126 s.

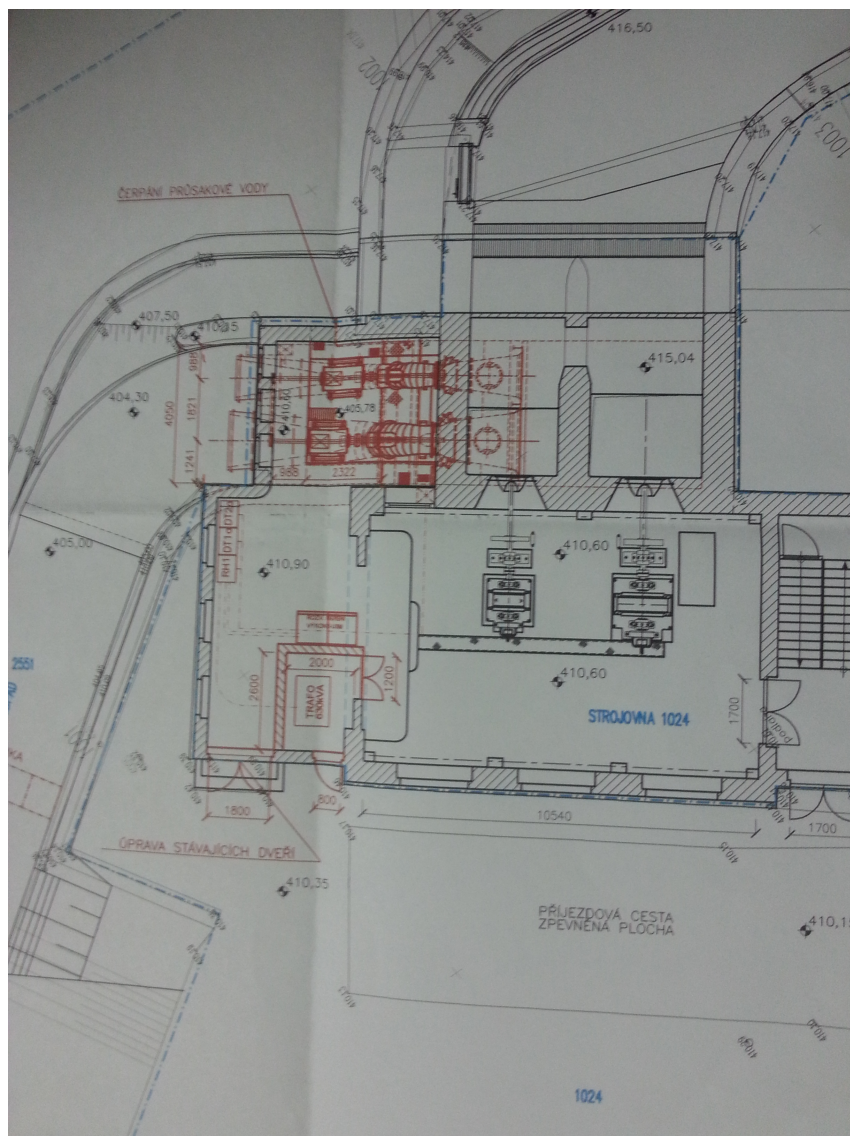
### *Legislativní Dokumenty a normy:*

- [8] Vyhláška 2013/2001 Sb.
- [9] ERÚ č. 5/2012 - stanovuje ceny regulovaných služeb souvisejících s dodávkou elektřiny
- [10] Zákon č. 180/2012 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie

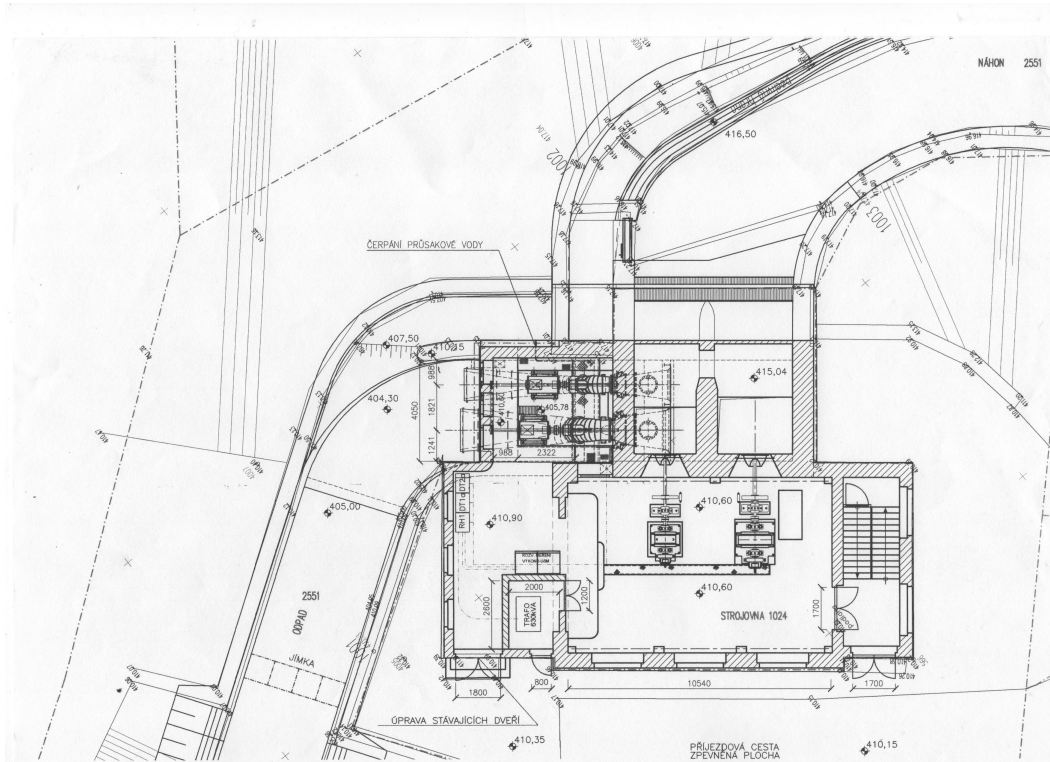
### *Internet:*

- [11] *Elektrárny: Historie vodních elektráren*, © 2010 [cit. 24. 2. 2013]. Dostupné z: <http://www.elektrarny.xf.cz/historie.php>.
- [12] *Energetický regulační úřad: Zprávy o provozu elektroenergetické soustavy*, © 2009 [cit. 5. 1. 2014]. Dostupné z: <http://www.eru.cz>.
- [13] *Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů: Vodní elektrárny*, [cit. 22. 1. 2014]. Dostupné z: <http://www.spvez.cz/pages/voda.htm>.
- [14] *Calla - sdružení pro záchranu vodního prostředí: Malé vodní elektrárny a životní prostředí*, © 2000 Calla [cit. 20. 1. 2014]. Dostupné z: <http://calla.cz/data/energetika/ostatni/VodaaZP.pdf>.

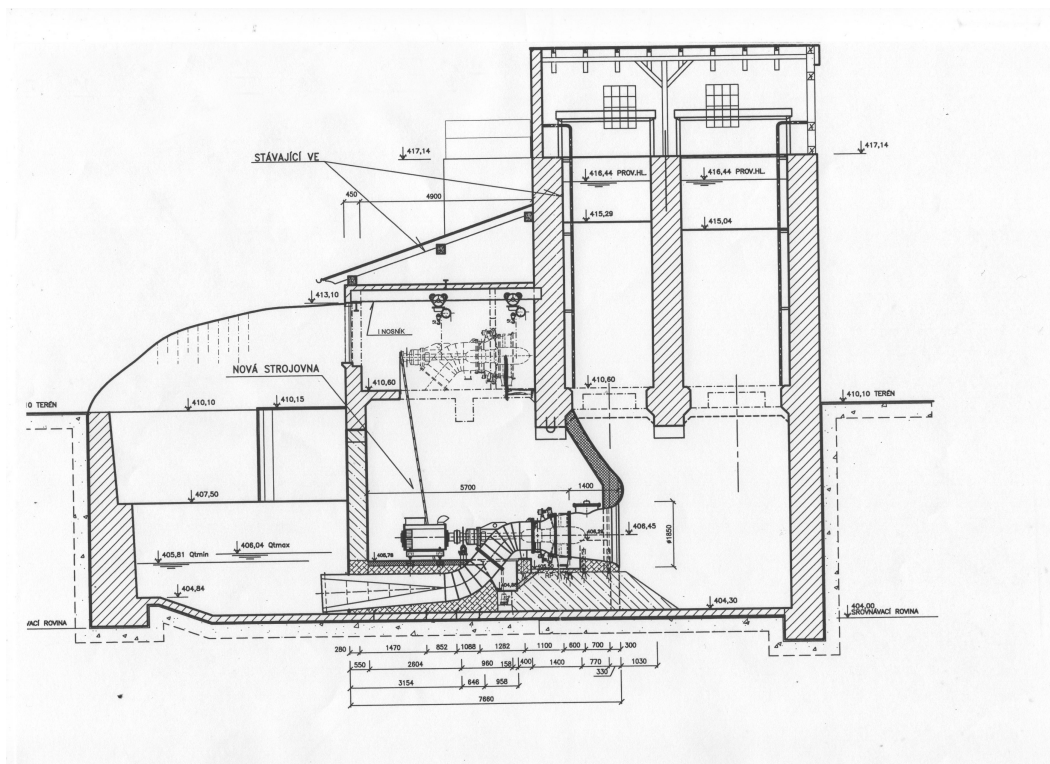
## Přílohy:



Obrázek 20 – Návrh umístění nových turbín Kaplan. Zdroj: Hydroka s.r.o.

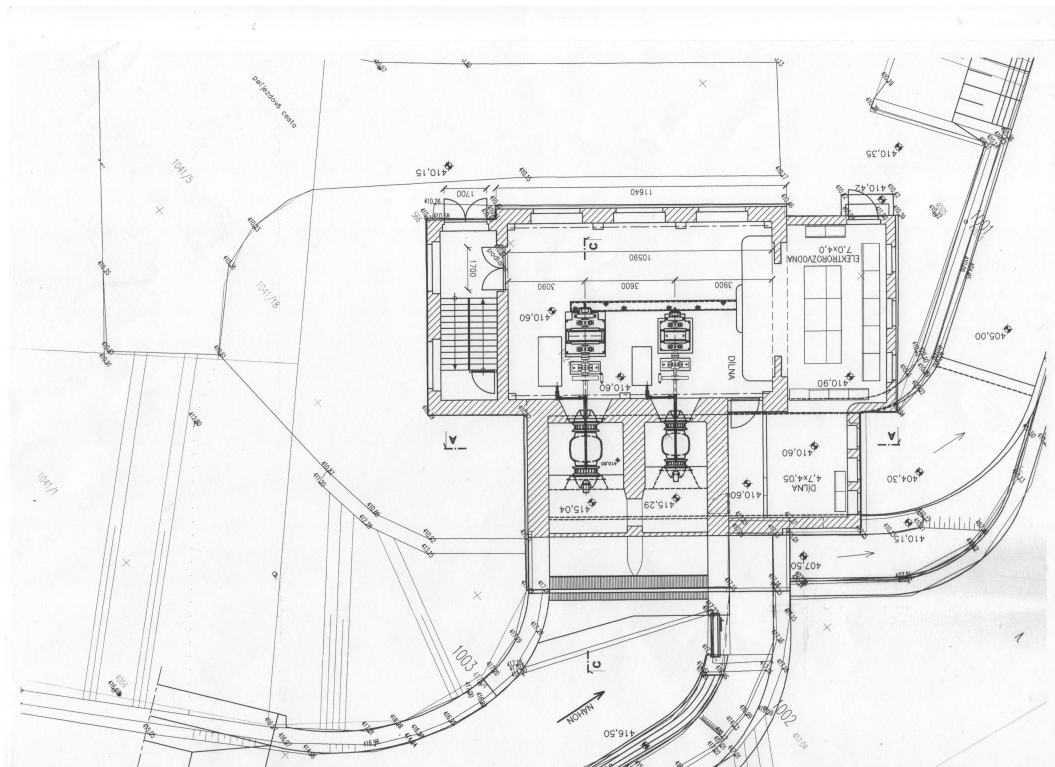


Obrázek 21 – Původní stav, Turbíny Francis. Půdorys. Zdroj: Hydroka s.r.o.



Obrázek 22 – Nový stav, Turbíny Kaplan, podélný řez. Zdroj: Hydroka s.r.o.





Obrázek 23 – Původní stav, turbíny Francis, Zdroj: Hydroka s.r.o.