

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

*Návrh rekonstrukce malé vodní elektrárny Hubálov
na řece Jizeře*

**vedoucí práce: Prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.
autor: Bc. Petr Hybler**

2013

Návrh rekonstrukce malé vodní elektrárny Hubálov na řece Jizeře

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá využíváním obnovitelných zdrojů energie, resp. energií vodních toků. I zde ale platí, že každý, kdo chce do obnovitelných zdrojů investovat, by měl generovat zisk. Diplomová práce proto shrnuje problematiku ekonomického řešení a výhodnosti jednotlivých variant rekonstrukce a modernizace MVE Hubálov. V práci ale najdete krom finančních dopadů také základní legislativu platnou v České republice a dále také vývoj vodního díla až po shrnutí aktuálního stavu.

Klíčová slova

Malá vodní elektrárna, obnovitelné zdroje, investiční projekt

**Analysis for reconstruction of small hydropower plant
Hubálov on the river Jizera**

Annotation

The diploma thesis is focused on the topic of the renewable sources of the energy, especially energy coming from the watercourses. Every renewable energy investor should generate a profit, therefore the thesis summarizes the issues of efficient and advantageous variants of reconstruction of the small water power plant Hubálov. Beside the financial effects also the legal procedures valid in the Czech Republic are listed. Finally the historical development of the plant is described up to date.

Key words

Small hydropower plant, renewable resources, investment project

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 1. 5. 2013

Bc. Petr Hybler

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval panu Prof. Ing. Jan Škorpilovi, CSc. za konzultace, užitečné rady a pomoc při vedení mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině a přátelům za psychickou podporu.

1 Obsah

1	OBSAH	7
2	ÚVOD	8
	SEZNAM ZKRATEK	9
3	ZÁKLADNÍ POSTUPY PŘI VÝSTAVBĚ A PROVOZU MVE	10
3.1	ZÁKLADNÍ POSTUPY PŘI VÝSTAVBĚ	10
3.2	PROVOZ	12
3.3	PROVOZ VE ZVLÁŠTNÍCH PODMÍNKÁCH	13
4	POPIS STÁVAJÍCÍHO STAVU A ANALÝZA PROVOZU	15
4.1	HYDROLOGICKÉ PODMÍNKY	16
4.2	VODOPRÁVNÍ ROZHODNUTÍ	16
4.3	HISTORIE VODNÍHO DÍLA	18
4.4	NOVODOBÁ HISTORIE	21
4.5	POSOUZENÍ STAVU VODNÍHO DÍLA PŘED REKONSTRUKCÍ.....	27
4.5.1	STÁVAJÍCÍ VÝROBA	28
4.5.2	MODELOVÁ VÝROBA PŮVODNÍHO STAVU	28
4.6	POPIS STÁVAJÍCÍHO STAVU	29
4.6.1	OVĚŘENÍ ÚČINNOSTI TURBÍN	29
4.6.2	ČISTÍCÍ STROJ ČESLÍ	32
4.6.3	TG1	36
4.6.4	TG2	39
4.6.5	SYSTÉM KONTROLY ŘÍZENÍ	43
4.6.6	MODELOVÁ VÝROBA PO REKONSTRUKCI TG1 + TG2	45
4.6.7	VYČÍSLENÍ NÁKLADŮ NA REKONSTRUKCI:	46
4.6.8	VÝPOČET PROSTÉ NÁVRATNOSTI.....	47
5	NÁVRH ROZŠÍŘENÍ MVE HUBÁLOV	48
5.1	VARIANTA 1 – NAHRAZENÍ TG1	48
5.2	VARIANTA 2 – NAHRAZENÍ TG1 I TG2	49
5.3	GEOLOGICKÝ PRŮZKUM	51
5.4	VARIANTA 3 – VÝSTAVBA TG3	52
6	ZHODNOCENÍ	55
6.1	ENERGETICKÝ PŘÍNOS JEDNOTLIVÝCH VARIANT.....	55
6.2	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	55
6.3	ZHODNOCENÍ INVESTIČNÍHO ZÁMĚRU.....	55
6.4	EKOLOGICKÉ PŘÍNOSY JEDNOTLIVÝCH VARIANT	56
7	ZÁVĚR	59
8	POUŽITÁ LITERATURA	61

2 Úvod

Rozhodnutí o investicích v rámci rekonstrukce či modernizace je prioritou pro mnoho nejen výrobních podniků. Výjimkou není ani MVE Hubálov, kde v roce 2012 došlo k nezbytným opravám a rekonstrukci přestárlé turbíny TG1. Ta totiž nepracovala na maximum svého potenciálu. Efektivnost investice najdete v předložené práci. Je nutné ale podotknout, že šlo o nezbytné opravy a úpravy, které vedly nejen ke zvýšení efektivnosti vodního díla, ale také k částečné samoobslužnosti.

Pro mnoho majitelů je zdaleka nejzajímavějším parametrem doba návratnosti investice v rámci modernizace. Není tedy na místě zabývat se velmi složitými dynamickými metodami hodnocení investic. Doba návratnosti investičního projektu je s ohledem na životnost investice pro naše účely zcela dostačující [2].

S realizací jedné z variant bezesporu souvisí také legislativní rámec pro dané období a možnost získat dotace. I toto téma je nosným pilířem mé práce. Dotace obnovitelných zdrojů se mění neuvěřitelnou rychlostí. Nechvalně známé investice do solární energie má negativní vliv nejen na investory do jiných zdrojů obnovitelných energií, ale samozřejmě také na širokou veřejnost. Uvědomit bychom si ale měli, že třebaže je využití energie vodních toků spíše doplňkovou výrobou, jedná se o zdroj, který může být využíván celoplošně, bez větších rizik. Jedinou nevýhodou se zdají být vysoké počáteční investice a netransparentnost dotačního systému.

Je tedy více než jasné, že rekonstrukce a případná modernizace daného vodního díla má krom finančních dopadů na majitele také nefinanční důsledky [5]. Ostatně i Česká republika se zavázala ke stále se zvyšujícímu podílu obnovitelných zdrojů na celkové spotřebě energií u nás. Proto každý zdroj, ať je sebemenší, se podílí na plnění těchto mezistátních dohod.

V době dokončování této práce je elektrárna po rekonstrukci. Je tedy ta vhodná doba pro hodnocení finančních i nefinančních, zejména ekologických dopadů. K její modernizaci se vzhledem k nejistým výsledkům zatím nepřistoupilo. Pro ucelený pohled v práci najdete nejen současný stav, ale také historii této rodinné elektrárny, která pracuje bez větších výpadků již od roku 1904.

Seznam zkratek

ČEPS, a.s.	Česká energetická přenosová společnost, a.s.
ČEZ, a.s.	České energetické závody, a.s.
ČR	Česká republika
E.ON, a.s.	Energetická společnost, a.s.
CNC	Computer Numeric Control - Číslicové řízení počítačem
ČAR	Čerpací agregát regulátoru
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČSČ	Čistící stroj česlí
ERÚ	Energetický regulační úřad
EU	Evropská unie
GHE, GmbH	Global Hydro Energy, GmbH
IP	Internet Protocol - Internetový protokol
MVE	Malá vodní elektrárna
OK	Oběžné kolo
OTE, a.s.	Operátor trhu s elektřinou, a.s.
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PLC	Programmable Logic Controller - Programovatelný logický automat
PRE, a.s.	Pražská energetika, a.s.
RK	Rozvodové kolo
SCADA	Supervisory control and data acquisition - Dispečerské řízení a sběr dat
SKŘ	Systém kontroly řízení
STE, a.s.	Středočeská energetika, a.s.
TG1	Turbína číslo 1
TG2	Turbína číslo 2
TG3	Turbína číslo 3
ÚPMZ	Ústředí pro mechanizaci zemědělství
VD	Vodní dílo
VNC	Virtual Network Computing - Vzdálené připojení

3 Základní postupy při výstavbě a provozu MVE [1]

V dnešní době je díky legislativní nejistotě v podobě připravovaného zákona č. 165/2012 Sb., který plánuje zastavit provozní podporu pro obnovitelné zdroje energie od roku 2014, velmi problematické uvažovat o stavbě nových vodních děl. Náklady na výstavbu nových vodních elektráren jsou vyšší než u ostatních zdrojů a tím je budování a obnova MVE v dnešní době závislá na podpoře ze strany státu.

3.1 Základní postupy při výstavbě

Základním právním předpisem pro v oblasti výstavby MVE je zákon č. 50/1976 Sb., o územním plánování a stavebním pořádku (stavební zákon) ve znění pozdějších vyhlášek a zákonů. Vyhláška č. 570/2002 Sb., o územněplánovacích podkladech a územněplánovací dokumentaci stanovuje zásady pro vypracování projektové dokumentace. Projektová dokumentace je potřebná pro realizaci staveb a k získání všech stanovisek, která jsou pro výstavbu nutná. Jednotlivá stanoviska se získávají projednáváním a následným vyjádřením příslušného orgánu nebo organizace, které jsou ve smyslu stavebního zákona účastníky. V první fázi jde o získání územního rozhodnutí v územním řízení a v druhé fázi jde o získání stavebního povolení ve stavebním řízení.

Mezi nejdůležitější projednání pro následná stanoviska patří tato:

- vodoprávní projednání na příslušném podniku spravujícím povodí,
- projednání podmínek výstavby a provozu se schvalovacím orgánem státní správy,
- projednání na energetických rozvodných závodech,
- výstavbu je také potřeba projednat se zástupci obcí, jejichž katastry jsou dotčené výstavbou.

Základní podmínkou pro realizaci, je získání pozemku pro výstavbu. To je možné buď koupí, nebo dlouhodobým pronájmem. Dokumentaci k územnímu rozhodnutí a projektovou dokumentaci ke stavebnímu povolení vyhotovují oprávnění inženýři nebo architekti, kteří jsou zapsáni v příslušných registrech. Projektová dokumentace se dělí na projektové podklady a dokumentaci k územnímu rozhodnutí, pro získání územního rozhodnutí a projektovou dokumentaci ke stavebnímu povolení, na jejímž základě může být uděleno stavební povolení.

Projektové podklady

Podklady k vydání územního rozhodnutí musí obsahovat následující:

- jméno, příjmení a adresu navrhovatele,
- předmět územního rozhodnutí se stručnou charakteristikou území a jeho stávajícího využití,
- seznam všech známých účastníků územního řízení,
- druhy a parcelní čísla pozemků podle katastru nemovitostí s uvedením vlastnických a jiných práv, kterých se územní rozhodnutí týká,
- parcelní čísla sousedních pozemků a staveb,
- údaje o splněných podmínkách určených dotčenými orgány státní správy, jestliže byly obstarány před podáním návrhu.

K návrhu se přikládají tyto dokumenty:

- situační výkres současného stavu s vyznačeným předmětem územního rozhodnutí a jeho vlivu na okolí,
- dokumentaci pro územního rozhodnutí vypracovanou oprávněnou osobou,
- rozhodnutí, stanoviska, vyjádření a souhlasy, posouzení nebo jiná opatření dotčených orgánů státní správy a obce,
- závěrečné stanovisko o posouzení vlivu stavby na nebo činností na životní prostředí nebo rozhodnutí ze zjišťovacího řízení pokud bylo vydáno,
- doklady o jednání s účastníky územního řízení, pokud se konala před podáním návrhu.

Kladné územní rozhodnutí je podkladem k vypracování dokumentace pro stavební povolení a podání žádosti o stavební povolení. Žádost obsahuje:

- jméno, příjmení (název) a adresu (sídlo) stavebníka,
- druh, účel a místo stavby,
- parcelní čísla a druhy stavebních pozemků,
- jméno, příjmení (název) a adresu (sídlo) projektanta,
- údaj o tom, zda se stavba uskutečňuje zhotovitelem svépomocí,
- základní údaje o stavbě, jejím členění a technickém nebo výrobním zařízení, budoucím provozu a jejím vlivu na životní prostředí a zdraví lidí a souvisejících opatřeních,
- seznam účastníků stavebního řízení, kteří jsou stavebníkovi známí.

K žádosti se přikládají tyto dokumenty:

- dokumenty, kterými se stavebník prokazuje, že je vlastníkem pozemku nebo stavby, nebo že má k pozemku či stavbě jiné právo, které ho opravňuje zřídit na pozemku požadovanou stavbu nebo vykonat změnu stavby,
- projektová dokumentace stavby vypracovaná oprávněnou osobou,
- rozhodnutí stanoviska, vyjádření, souhlasy, posouzení nebo jiná opatření dotčených orgánů státní správy a obce,
- doklady o jednání s účastníky stavebního řízení, pokud se konala před podáním žádosti,
- kopie obecného závazného nařízení o schválení územního plánu zóny, pokud se nevyžaduje územní rozhodnutí,
- jde-li o stavbu prováděnou svépomocí, vyhlášení stavebního dozoru nebo kvalifikované osoby, že bude zabezpečovat odborné vedení uskutečňované stavby.

Na základě výše zmíněných požadavků je zřejmé, že výstavba nových vodních děl není jednoduchou záležitostí, zvláště pokud se jedná o stavbu na zelené louce. Elektrárny vznikající na starších nepoužívaných lokalitách mají výhodu v podobě historického využívání vodní energie v dané lokalitě a tím lepší pozici pro vyjednávání s příslušnými orgány státní správy.

Obecně lze říci, že pokud projekt získá územní rozhodnutí, získání stavebního povolení již není takovou překážkou. Je to dáno tím, že hlavní schvalovací procesy proběhnou již během územního rozhodnutí a stavební povolení je vydáváno na základě původních vyjádření.

3.2 Provoz

Provoz malých vodních elektráren jakožto vodohospodářských děl se řídí příslušnými manipulačními a provozními řády.

Manipulační řád je souhrn směrnic, předpisů a zásad, které vycházejí z vodohospodářského a stavebního povolení. Upravuje nakládání s povrchovými vodami z hlediska účelného a hospodárného využití vody na vodním díle, ochrany vodního díla a životního prostředí.

Provozní řád stanovuje základní postupy a podmínky pro uvedení MVE do provozu. Dále pak podmínky pro bezpečný a bezporuchový provoz zařízení. Provozní řád vychází z manipulačního řádu a dokumentace výrobců technologických celků vodního díla.

3.3 Provoz ve zvláštních podmínkách

Kromě běžných bezproblémových stavů nastávají na vodních dílech i mimořádné stavy, kdy dochází ke snížení užitkovosti, případně k jejich úplnému odstavení. Mezi tyto stavy řadíme provoz při nízkých a vysokých průtocích a při zimní provoz.

Provoz při nízkých průtocích je omezen minimální hltností nejmenšího z osazených soustrojí. Pokud dojde ke snížení průtoku pod tuto úroveň je MVE odstavena až do opětovného zvýšení průtoku.

Při zvýšených průtocích dochází k postupnému snižování spádu a tím i výkonu MVE. V důsledku zvýšeného proudění v řečišti se zvětšuje i množství nečistot, které se usazují na hrubých i jemných česlích vodních děl. U povodňových stavů dochází na většině nízkospádových elektráren k odstavení do opadnutí povodní. Problémem jsou nánosy, které se během odstávky hromadí v náhonech i odpadech MVE. V některých lokalitách mohou tyto usazeniny omezit nebo zastavit provoz vodního díla na několik dní až do jejich odstranění.



Obr. 1: Zatopené jezové těleso při stoleté vodě v roce 2002 (zdroj: archiv majitele)

Zimní provoz sebou nese z výše zmíněných stavů velká rizika. Ledové jevy způsobují na většině vodních děl značné problémy. Ty se projevují jednak při tvorbě ledu, kdy nejprve vzniká ledová tříšť, která zacpává jemné česle a následně může namrznat na rozvaděčích turbín. Důsledkem zamrzlého rozvaděče může dojít k tomu, že brzda turbíny nebude schopna ubrzdit aktuální výkon turbíny. Většinou není brzda konstruována na jmenovitý výkon soustrojí, ale řádově desítky procent jmenovitého výkonu, může tak dojít až k poškození soustrojí. Po zamrznutí se voda pod ledem oteplí a tak se provoz vrátí opět do bezproblémového stavu. Další velké problémy nastávají při tání. Následkem je rozlámání ledové vrstvy a její kumulaci v náhonech a přivaděčích (viz Obr. 2). Většina problémů je řešitelná na základě zkušeností obsluhy a příslušně nastavené automatiky vodního díla.



Obr. 2: Nahromaděné kry na řece Jizeře v roce 2004 (zdroj: archiv majitele)

4.1 Hydrologické podmínky [4]

Základní hydrologické údaje pro tok Jizera v profilu jez Hubálov poskytl Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ), Pobočka Praha, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4 - Komořany, dopisem čj. 421/07/V ze dne 10. 5. 2007. Údaje byly vypracovány pro období 1931 – 1980. Data jsou převzata z platného manipulačního řádu vodního díla (VD) Hubálov. ČHMÚ neprovádělo aktualizaci dat pro tento profil z měřených hodnot v posledních letech. Povodí Labe nemá v tomto profilu osazeno měřící zařízení s trvalým záznamem a bližší data tak nejsou dostupná.

Hydrologické číslo povodí	1-05-02-031
Plocha povodí	1157,435 km ²
Průměrná dlouhodobá roční výška srážek	964 mm
Průměrný dlouhodobý roční průtok	19,804 m ³ /s

4.2 Vodoprávní rozhodnutí

Krajský úřad Mladá Boleslav, referát životního prostředí, v roce 1994 vydal rozhodnutí k odběru vody z řeky Jizery za účelem výroby elektrické energie v maximálním množství 14,00 m³/s. Povolení k nakládání s vodami vydal i státnímu podniku Povodí Labe. Spočívá ve vzdouvání povrchové vody v řece Jizeře pevným jezem se šterkovou propustí na úroveň jeho přelivné hrany a v provádění průplachu jezové zdrže šterkovou propustí za zvýšených vodních stavů nad 12 m³/s. Toto povolení bylo vydáno na dobu neurčitou.

Pevný jez:

Pevný šikmý jez skříňové konstrukce s kamennou výplní a betonovým pokryvem přelivné plochy se nachází na řece Jizeře v ř. km 64,433. Jez má celkovou délku 93,60 m a je rozdělen na dvě pole. Levé pole je nižší, s přelivnou hranou na kótě 227,29 m n. m. o délce 47,00 m. Pravé má přelivnou hranu na kótě 227,64 m n. m. a délku 46,60 m. Jezové těleso je široké 10,30 m na kótě 227,14 m n. m. Před pravým polem je zaražena štětová stěna Larsen. Hradící výška jezu je 1,56 m u pravého pole a 1,21 m u levého pole. Na levém břehu je jezové těleso zavázáno do skalnatého masivu tvořícího břeh řeky. Pravý břeh tvoří betonový pilíř šterkové propusti. Vzhledem ke skalnímu podloží pod jezem není u jezu vybudován vývar.

Štěrková propust:

Štěrková propust je u pravého břehu. Od tělesa jezu je oddělena betonovým pilířem dlouhým 8,10 m a širokým 1,30 m. Světlá šířka propusti je 3,00 m. Pohyblivé hrazení tvoří dvě tabule za sebou. Každá tabule je samostatně manipulovatelná s vlastním pohybovacím mechanismem. Maximální hrazená výška je 2,95 m. Doba úplného vyhrazení tabulí je 20 minut. Dosedací práh tabulí je na kótě 224,77 m n. m.

Vtokový objekt:

Betonový vtokový objekt je 10,50 – 12,00 m široký. Začíná 1,20 m širokou lávkou s nornou stěnou, která odvádí plovoucí nečistoty z nátoky elektrárny před štěrkovou propust. Spodní hrana norné stěny má kótu 226,90 m n. m. (50 cm pod provozní hladinou nad jezem).

Malá vodní elektrárna:

Malá vodní elektrárna je situována na pravém břehu u jezu. Jedná se o průtočnou nízkotlakou elektrárnu zpracovávající přirozené průtoky Jizery. Těsně před česlicemi je u dna kruhová proplachovací výpust opatřená jednoduchým dřevěným stavítkem. Od česlic až k elektrárně je přes přivaděč vybudováno betonové plato. V malé vodní elektrárně jsou instalovány dvě Francisovy turbíny ve vertikálním uspořádání. Vtok k turbínám lze zahradit vtokovými stavidly. Ovládání levého stavidla je ze strojovny elektrárny pomocí elektromotoru, pravého ručně z plata před budovou elektrárny.

Turbíny pracují při spádu 1,50 – 2,20 m. Levá (TG1) má maximální hltnost $6,8 \text{ m}^3/\text{s}$, pravá (TG2) $7,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Minimální průtočné množství levé turbíny je $2,7 \text{ m}^3/\text{s}$, pravé $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$. Výkon se z turbíny TG1 se převádí palečnicovým kolem na řemenici a plochým řemenem na generátor do vedlejší místnosti strojovny. Z turbíny TG2 je výkon převáděn prostřednictvím soukolí s ozubeným převodem přímo na hřídel generátoru.

4.3 Historie vodního díla [3]

První zmínka o vodním díle jako takovém sahá do roku 1703, kdy se v místní kronice objevuje informace o prodeji mlýna z vlastnictví hrabě Morzina do užívání mlynáři Janu Jiřímu Štandlovi za sumu 140 zlatých rýnských.

Další informace už sahají blíže do novodobé historie a to na přelom 19. a 20. století, kdy bylo v kronice poznamenáno, že vodní dílo bylo převedeno do vlastnictví Josefu Johnovi. Ten vodní dílo převzal ještě jako mlýn (viz. Obr. 4). Později přistavěl další prostory za účelem vybudování tkalcovny a v roce 1904 původní vodní kolo nahradil Francisovou turbínou, která zásobovala tkalcovnu mechanickou energii přímo z hřídele turbíny. Elektrickou energii zprvu využíval pouze v malé míře a to především na osvětlení. Později byl mechanický pohon z hřídele nahrazen účinnějšími elektromotory.



Obr. 4: Mlýn ve vlastnictví Josefa Johna (*zdroj: fotodokumentace majitele*)

Tkalcovna fungovala pod vedením Josefa Johna až do roku 1912, kdy po jeho smrti převzal podnik jeho syn Jaroslav (viz Obr. 5). Ten pokračoval do roku 1925. V tomto roce došlo ke změně majitele a tkalcovna byla prodána německému živnostníkovi Antonínu Hopovi z Jablonce, který zrušil původní výrobu a započal s výrobou skla, skleněných předmětů a pro potřebu sklárny zde byly umístěné brousící stroje. Do dnešní doby se zachovalo několik předmětů z tohoto období a to především skleněné vázy.



Obr. 5: Tkalcovna (zdroj: fotodokumentace majitele)

V roce 1935 továrnu koupil vnuk Josefa Johna Ing. Břetislav Hybler a pronajal část prostor firmě J. Saidl, která se zabývala výrobou štump a klobouků a druhou část si pronajal Václav Sedbaur, který pokračoval ve výrobě skla. Výroba pokračovala až do roku 1943.

Díky možnosti zvýšení výkonu došlo v roce 1939 k přístavění druhé Francisovy turbíny (viz Obr. 6) a to již modernější konstrukce. Tato turbína měla zásobovat elektrickou energií nově zřízený elektrotechnický závod, kde se pod vedením Ing. Hyblera vyráběla například dynamo. Za zmínku stojí, že zde bylo vyvinuto dynamo, které svítilo i při chůzi a na tento výrobek byl udělen patent.

Po roce 1948 došlo ke znárodnění podniku a pan Ing. Hybler byl poslán do pracovního tábora v Jáchymově. Továrnu převzalo Ústředí pro mechanizaci zemědělství (ÚPMZ). Byly zde vytvořeny učebny pro dorostence, kteří zde byli školeni na traktoristy. Po zrušení ÚPMZ přešel majetek pod správu Krajského národního výboru v Liberci. Ten pokračoval ve výchově mládeže a započal zde s výchovou opravářů zemědělských strojů. Později se opravná změnila na Střední odbornou školu zemědělskou, která je zde provozována dodnes pod názvem Střední odborné učiliště Hubálov.

Turbíny, které patřily k továrně, přešly po znárodnění do správy Středočeských energetických závodů (STE), později do Východočeských a poté zpátky do správy STE.

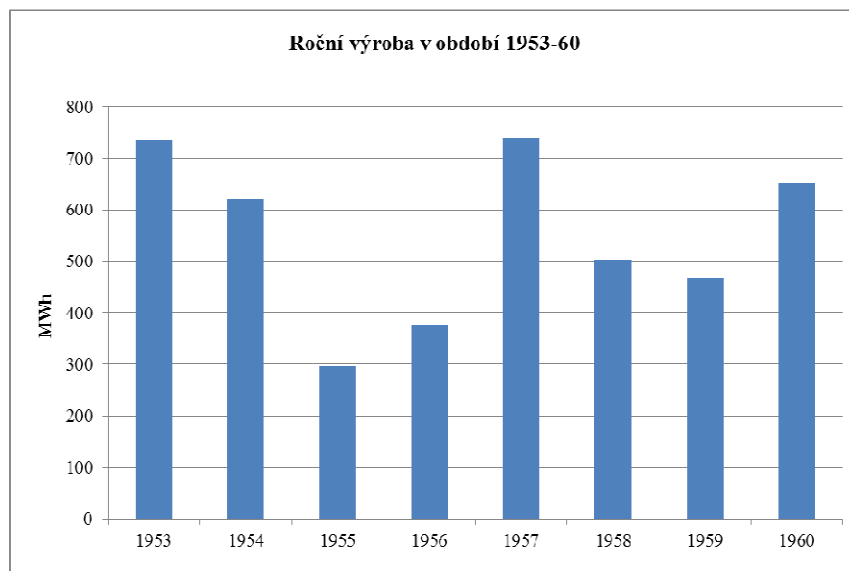
Z dob okupačních a pozdějších se příliš informací nezachovalo. Jedna z mála věcí, které se z těchto dob zachovaly, je dokument z roku 1961, který zmiňuje mimo parametrů elektrárny i roční výrobu z let 1953 až 1960 (viz Graf 1). Z těchto údajů si lze udělat obrázek o tom, v jakých podmínkách bylo dílo obhospodařováno a to hlavně s ohledem na to, že pod správnou STE byli zaměstnáni čtyři lidé a elektrárna byla

Návrh rekonstrukce malé vodní elektrárny Hubálov na řece Jizeře

obsluhována na třísměnný provoz. Pro porovnání dnešní průměrná výroba se pohybuje na úrovni 1GW, při stejném technologickém zázemí a ve své podstatě téměř bez obsluhy.



Obr. 6: Výstavba nové Francisovy turbíny (zdroj: fotodokumentace majitele)



Graf 1: Roční výroba MVE Hubálov (zdroj: autor)

4.4 Novodobá historie [3]

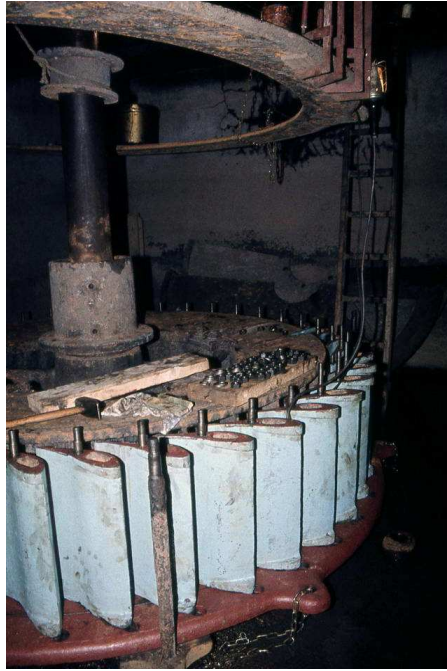
V roce 1992 získal v restituci po svém otci elektrárnu zpět pan Břetislav Hybler, čímž byla započata nová éra tohoto vodního díla. Dílo bylo předáno z rukou středočeské energetiky v dosti zuboženém stavu (viz Obr. 7). Starší turbína (TG1) nebyla v provozuschopném stavu, novější turbína (TG2) byla provozuschopná, ale bylo třeba provést generální opravu, která započala v okamžiku, kdy byla zprovozněna TG1. Objekt elektrárny byl v žalostném stavu, střecha zatékala a hrozilo sesunutí opěrné zdi přilehlé k elektrárně. Okolní pozemky byly zarostlé.



Obr. 7: Stav vodního díla po předání z rukou Středočeské energetiky (zdroj: *fotodokumentace majitele*)

V roce 1992 byla demontována TG1, což zahrnovalo kompletní odbahnění kašnového prostoru a prostoru před stavidly, vyjmutí vodícího kruhu a rozváděcích lopatek. Lopatky byly opatřeny ochranným nátěrem a byly vráceny zpět na své místo (viz. Obr. 8).

Dále bylo zahájeno znovuosazení palečného kola dřevěnými zuby (viz. Obr. 9), které přenáší krouticí moment z axiálního směru na radiální. Důvodem znovuoobnovení dřevěných zubů bylo to, že turbína má poměrně nízké otáčky, a proto při poptání převodovky na značný krouticí moment vyšlo jako jediné rozumné řešení použití starší převodovky z lokomotivy. Toto řešení však nebylo ideální z hlediska instalace. Proto došlo k rozhodnutí obnovit palečné kolo v jeho původní podobě, která fungovala téměř sto let.



Obr. 8: Obnovené rozváděcí lopatky (zdroj: fotodokumentace majitele)



Obr. 9: Osazování palečného kola habrovými zuby (zdroj: fotodokumentace majitele)

Problémem však bylo nalezení firmy, která by toto řešení byla schopná realizovat, protože se jedná o velmi individuální ruční práci. Palečné kolo totiž není odlito symetricky a tak je každý zub originálem. Nakonec se podařilo nalézt firmu z blízkého Mnichova Hradiště, která se úkolu zhostila. Na této zakázce si vybuodovala potřebné zkušenosti a v budoucnu se podílela na několika podobných rekonstrukcích. Zuby jsou vyrobeny z habrového dřeva, které bylo vybráno hlavně kvůli skloubení vysoké pevnosti s houževnatostí. Každý zub byl na místě opracováván z připravených šablon.

Návrh rekonstrukce malé vodní elektrárny Hubálov na řece Jizeře

V prosinci téhož roku bylo zastaveno podemílání prostoru pod jalovou propustí těžkým záhozem (viz Obr. 10).



Obr. 10: Zastavení podemílání těžkým záhozem (zdroj: fotodokumentace majitele)

Do března roku 1993 pokračovala instalace dřevěných zubů. Po dokončení byla dokončena dřevěná podlaha. Následně bylo palečné kolo uvedeno do provozu schopného stavu. V průběhu května téhož roku začaly práce na elektroinstalaci a ovládacím systému (viz Obr. 11). Na konci měsíce byl zahájen zkušební provoz a po drobných úpravách byla TG1 v plném provozu.



Obr. 11: Práce na nové elektroinstalaci (zdroj: fotodokumentace majitele)

V průběhu následujícího roku bylo provedeno vyčištění odpadního kanálu elektrárny. Odpadní kanál byl upraven tak, aby voda mohla protékat přímo, čímž došlo k zvýšením

Návrh rekonstrukce malé vodní elektrárny Hubálov na řece Jizeře

průtoku a tím ke zvětšení spádu, což ve svém důsledku zvýšilo výkon elektrárny (viz Obr. 12). Dalším kladem bylo omezení zacpávání odpadního kanálu při povodních. Došlo také k výměně části elektroinstalace a generální opravě na TG2. Rekonstrukce pokračovala estetickými úpravami, kdy byla opravena střecha a fasáda.



Obr. 12: Narovnání odpadu (zdroj: *fotodokumentace majitele*)

Roky 1995-1999:

V tomto období se elektrárna dostala do stabilizovaného provozu a obě turbíny běžely bez větších závad. Závady jako zadření ložisek nebo prasknutí rozváděcí tyče byly řešeny průběžně a vždy běžela alespoň jedna turbína. V roce 1998 byla vybudována opěrná zeď, která zastavila sesouvání břehu (viz Obr. 13).



Obr. 13: Stavba nové opěrné zdi (zdroj: *fotodokumentace majitele*)

Rok 2000:

V březnu roku 2000 došlo díky velmi prudkému oteplení k povodním. Průtok dosáhl nad hranici stoleté vody, byla zatopena strojovna i s oběma generátory, část elektroinstalace a došlo k podemletí prostoru za elektrárnou do hloubky dvou metrů (viz Obr. 14). Po opadnutí vody se započalo s postupným vysoušením generátorů. Generátor TG1 lze díky jeho velikosti a snadné instalaci lehce demontovat a proto byl odvezen do sušicí pece. Zde byla vyměněna ložiska a došlo k novému pogumování řemenice. Generátor TG2 se podařilo po měsíčním vysoušení uvést do chodu. V létě byla dokončena úprava vymletého prostoru za elektrárnou. Prostor byl srovnán, vybetonován a byla položena dlažba, která zabraňuje opakování této události.



Obr. 14: Vymletý prostor za elektrárnou (zdroj: fotodokumentace majitele)

Rok 2002:

Tento rok způsobily velké letní deště další velkou povodeň, která opět zatopila strojovnu. Nejprve se zdálo, že zařízení neutrpělo žádnou větší újmu. Po měsíci došlo v důsledku zvlhnutí izolace při povodích k proražení izolace generátoru TG1, generátor vyhořel a musel být převinut.

Rok 2004:

V únoru toho roku se stala shodou nešťastných události rozsáhlá havárie. Došlo k výbuchu kompenzačního kondenzátoru, který způsobil vznícení hydraulického oleje. Po vzplanutí se požár rozšířil do kabelového kanálu (viz Obr. 15). Požár zničil hlavní přívodní kabely k oběma turbínám a provoz elektrárny byl na dobu tří měsíců přerušen.

Návrh rekonstrukce malé vodní elektrárny Hubálov na řece Jizeře

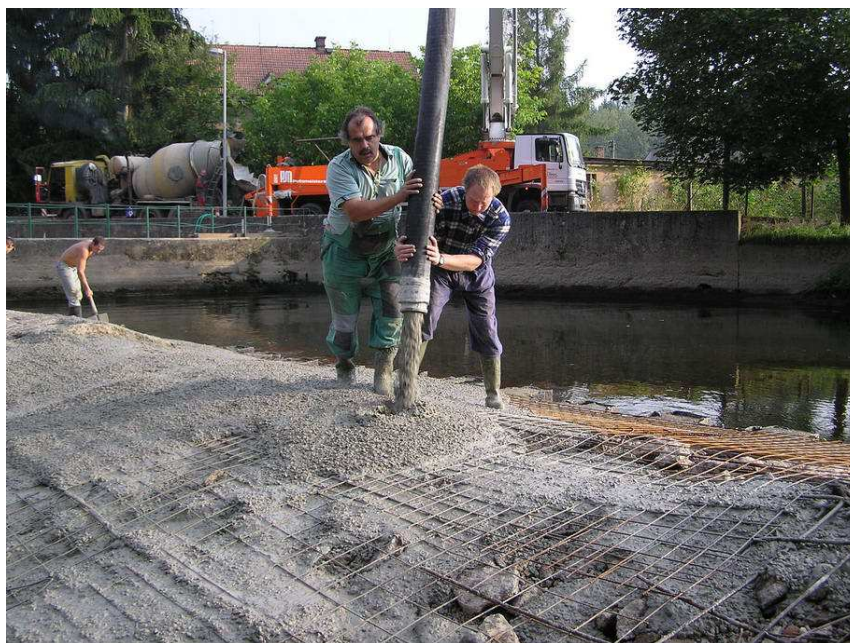
Následovala oprava hydrauliky a kompenzačního rozvaděče, které byly nahrazeny novými.



Obr. 15: Kompenzační rozvaděč po požáru (zdroj: fotodokumentace majitele)

Rok 2006:

V důsledku velké vody byl poškozen jez, došlo k nadzvednutí a následně k rozlomení několika betonových desek. Jakožto majitel jezu, hradilo opravu Povodí Labe, a.s. (viz Obr. 16).



Obr. 16: Betonování nové svrchní desky jezu (zdroj: fotodokumentace majitele)

Rok 2008:

Během léta tohoto roku proběhla rekonstrukce na vyšší výkupní cenu za kWh. Ovládací systém byl úspěšně odladěn a předán. Díky novému ovládacímu systému je možné elektrárnu sledovat pomocí mobilního telefonu a systém při případných problémech informuje obsluhu pomocí SMS zpráv. Systém je také vybaven kvalitní hladinovou regulací, která napomáhá k lepšímu využití vody během letního období a stabilizuje rovnoměrný průtok korytem řeky. Jednou z největších výhod je možnost automatického fázování synchronního generátoru u TG2. Do té doby bylo fázování prováděno ručně pomocí dvou žárovek. Dnes je systém schopen vyhodnocovat množství vody a podle toho odstavovat nebo přifázovávat jednotlivé turbíny, čímž velice usnadnil obsluhu tohoto díla.

4.5 Posouzení stavu vodního díla před rekonstrukcí

Po částečné rekonstrukci v roce 2008 bylo dílo ve stabilizovaném stavu, díky novému řídicímu systému, který je založen na průmyslovém automatu, došlo k výraznému zvýšení bezpečnosti provozu z pohledu sledovaných parametrů. Jsou snímány teploty na všech namáhaných ložiscích, otáčky a všechny elektrické veličiny nutné pro bezpečný provoz. Díky nové hladinové regulaci s přesností jednoho milimetru došlo k výraznému zefektivnění zpracování přirozených průtoků.

Čištění spláví bylo prováděno ručně a to pomocí hrábí. Toto řešení bylo časově náročné a neefektivní. Při vyšších průtočných stavech docházelo k situaci, že nebylo možné splávi odstraňovat v dostatečném časovém intervalu a postupně se tak soustrojí musela odstavovat i za stavů, kdy byl rozdíl hladin ve využitelném spektru. Splávi bylo dopravováno zpět do řeky částečně uzavřeným kanálem. Uzavřená část byla problematická z důvodů občasného zacpání a tím k vyřazení odtokového kanálu z provozu do opadnutí vody.

TG1 byla, co se týče převodového ústrojí, v pořádku. Významným problémem byla velká hystereze v regulaci turbíny. Ta dosahovala až čtyřiceti procent, z tohoto důvodů nebylo možné regulovat TG1 pomocí hladinové regulace. K tomuto účelu se používalo pouze druhé soustrojí.

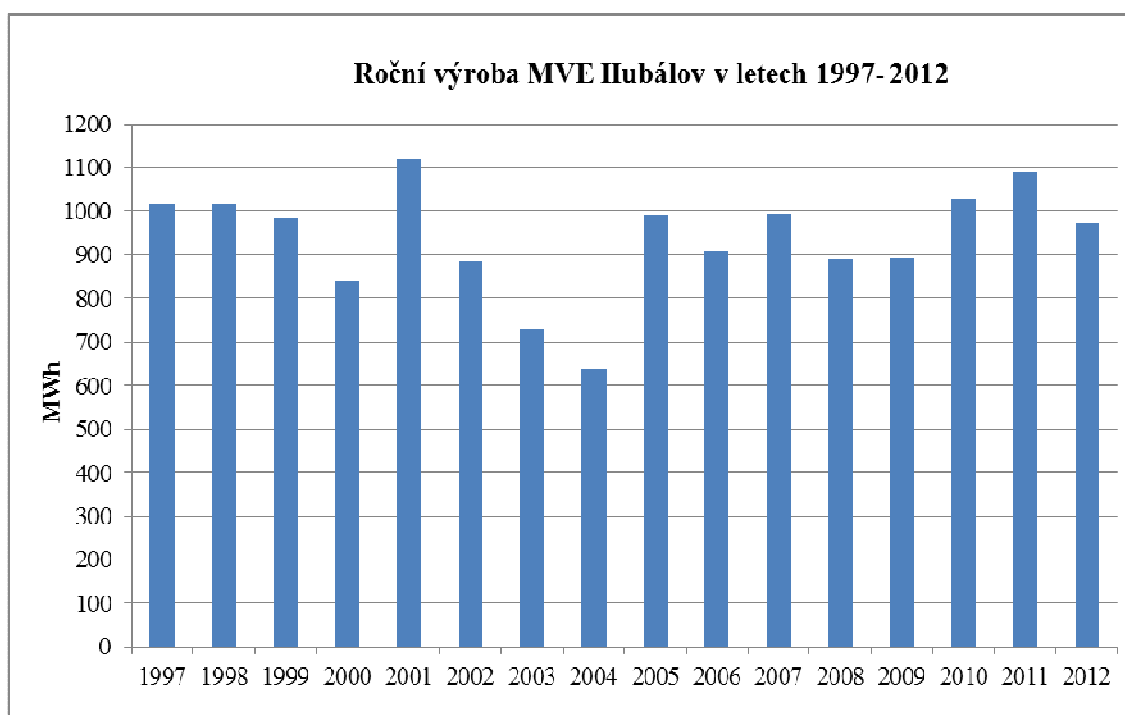
Druhé soustrojí, z roku 1939, bylo v turbínové části v pořádku. Regulace byla citlivá v řádu jednoho procenta rozsahu. V neuspokojivém stavu bylo převodové ústrojí. Nerovnoměrný kužel hřídele způsoboval kývání ozubeného kola a tím proměnnou

zubovou vůli v rozsahu 4 mm. Následkem tohoto kývání docházelo ke zvýšenému poškozování zubů a pastorku převodového ústrojí.

Stavebně bylo vodní dílo v pořádku. Kvalita betonu v zatopených částech vodního díla byla vyšší u původního soustrojí z roku 1904.

4.5.1 Stávající výroba

Na grafu č. 2 je vidět historie výroby od roku 1997 do roku 2012. Poklesy výroby jsou dány buď trvalou odstávkou z důvodů zatopení soustrojí po extrémních povodňových stavech nebo z důvodů oprav či havárií. Průměrná roční hodnota výroby za dané období je 938 MWh.



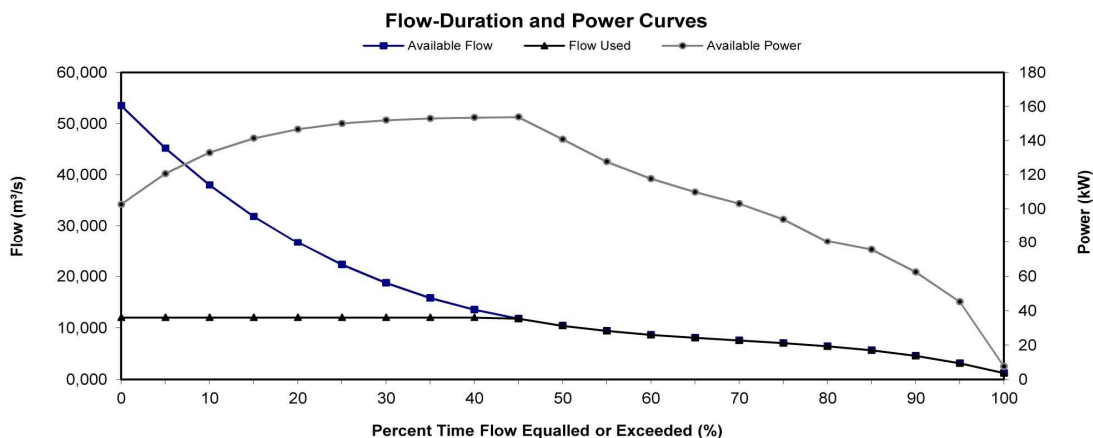
Graf 2: Historie výroby v letech 1997-2012 (zdroj: autor)

4.5.2 Modelová výroba původního stavu

Na základě informací o obou soustrojích, dané lokalitě a průtokové křivky jsem pomocí softwaru RETScreen namodeloval původní stav před rekonstrukcí. Výsledky jsou vidět na obrázku č. 17. Na výstupu ze softwaru jsou vidět tři křivky. Modrou barvou je vyznačena průtoková křivka získaná od Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Černou barvou je vyobrazena využívaná hltlost obou soustrojí. Šedá barva znázorňuje dosahovaný výkon během roku, zlom křivky v sušší části roku reflektuje horší účinnost soustrojí TG1 vůči TG2. Klesající výkon se zvyšujícím se průtokem je

dán postupným snižováním spádu v důsledku stoupající hladiny spodní vody. Z výsledků vyplývá roční výroba 973 MW a dosahovaný souběhový výkon 154 kW. Tento model slouží i pro ověření funkčnosti daného modelu s tím, že se model ukázal jako odpovídající s vysokou přesností.

Annual Energy Production		Estimate	Notes/Range
Small hydro plant capacity	kW	154	
	MW	0,154	
Small hydro plant capacity factor	%	72%	40% to 95%
Renewable energy delivered	MWh	973	
	GJ	3 504	



Obr. 17: Výsledky softwaru RETScreen pro původní stav

4.6 Popis stávajícího stavu

Od roku 2010 se po vážné nemoci mého otce Břetislava Hyblera starám o vodní dílo sám. Za cíl jsem si dal zefektivnit provoz vodního díla do té úrovně, aby byl částečně samoobslužný a bylo využito maximálního potenciálu jak turbín, tak dané lokality.

4.6.1 Ověření účinnosti turbín

Jediným vodítkem pro určení aktuálního stavu turbín byly historické záznamy o denních výkonech a přehledová tabulka s původními katalogovými hodnotami.

Pro získání platných dat pro výpočet účinnosti bylo třeba získat údaje o průtoku turbín a provést výškopisné šetření. O měření průtoku v aktuálním profilu odpadu elektrárny byla požádána pražská pobočka ČHMÚ. Od velkých povodní v roce 2002 se jednotlivé pobočky začaly vybavovat přesnými ultrazvukovými průtokoměry. Využití těchto měřících člunů je možné po dohodě s danou pobočkou. Dne 24. 5. 2010 bylo provedeno měření průtoku, které bylo doplněno výškopisným šetřením pro určení spádových podmínek. Dále byl zaznamenán maximální dosažený výkon jednotlivých

Návrh rekonstrukce malé vodní elektrárny Hubálov na řece Jizeře

soustrojí v souběhu i samostatném provozu pro každou turbínu. Výsledky těchto měření jsou uvedeny v tabulkách.

Soustrojí	TG1	TG2
Umístění	levá	pravá
Hltnost	2,7-6,8 m ³ /s	2,9-7,2 m ³ /s
Rok výroby turbíny	1904	1939
Otáčky turbíny	32,5	75
Použitý převod	1:22	1:6,67
Výrobce generátoru	SVED Liberec ČSSR	J. Sousedík a.s. Vsetín
Generátor	asynchronní	synchronní
Výkon generátoru	82 kW	112 kW
Otáčky generátoru	720/min	500/ min

Tab. 1: Přehled katalogových hodnot

číslo	místo	čas	průtok (m ³ /s)	± nejistota (m ³ /s)
1	Celá řeka pod soutokem	10:40	21,6	0,86
2	Řeka pod jezem, turbíny v provozu	11:00	10,9	0,38
3	Kanál pod MVE – TG1,TG2 v provozu	11:20	10,3	0,36
4	Kanál pod MVE – TG1 v provozu	11:45	5,9	0,24
5	Řeka pod jezem, turbíny vypnuty	13:00	20,0	0,90

Tab. 2: Měření průtoku

měřicí místo \ čas	10:00	11:20	12:15
Hladina uprostřed jezu	227,59	227,60	-
Hladina před nornou stěnou	227,58	227,61	-
Hladina před česlemi	227,56	227,60	227,68
Hladina za česlemi	227,46	227,50	-
Hladina na výtoku z turbín	225,27	225,14	225,08
Hladina na vyústění odpadního kanálu	225,18	225,10	-
Hrubý spád	2,32	2,46	2,60
Čistý spád	2,19	2,36	-
Ztráta v odpadním kanále	0,09	0,04	-
Provoz soustrojí	TG1+TG2	TG1	odstaveno

Tab. 3: Výškopisné šetření

Soustrojí	výkon (kW)
TG1	78
TG2	96
TG1 + TG2	150

Tab. 4: Přehled dosažených výkonů

Z naměřených hodnot vyplynula data potřebná pro výpočet účinností. Měření průtoku ukázalo, že při ideálních spádových poměrech v lokalitě nedosahovala ani jedna z turbín své jmenovité hltnosti. Ztráta na norné stěně se pohybuje v řádu centimetrů. Jako výrazná se ukázala ztráta na jemných česlích. U TG1 i u TG2 byla naměřena hodnota deset centimetrů. Tato ztráta ve svém důsledku snižuje čistý spád dostupný pro turbíny a tím i jejich výkony.

Výpočet účinností soustrojí:

$$\mu = \frac{P}{0,0981 \cdot Q \cdot H}$$

0,0981 – tíhové zrychlení

μ – celková účinnost

P – výkon ve wattech

Q – hltnost v litrech za sekundu

H – čistý spád

TG1

$$\mu = \frac{P}{0,0981 \cdot Q \cdot H} = \frac{78000}{0,0981 \cdot 5900 \cdot 2,38} = 56,6\%$$

TG2

Průtok TG2 při samostatném chodu nebyl měřen z důvodů velkého sanačního průtoku TG1. Orientační hodnota byla stanovena jako rozdíl hodnoty při souběhu a při provozu TG1 v samostatném chodu. Tato hodnota byla navýšena s přihlédnutím k vyššímu spádu při odstavení TG1 na 5 m³/s při spádu 2,4 m.

$$\mu = \frac{P}{0,0981 \cdot Q \cdot H} = \frac{96000}{0,0981 \cdot 5200 \cdot 2,4} = 78,4\%$$

TG1 + TG2

$$\mu = \frac{P}{0,0981 \cdot Q \cdot H} = \frac{150000}{0,0981 \cdot 10300 \cdot 2,19} = 67,8\%$$

Z výsledků jednotlivých účinností je patrný diametrální rozdíl mezi účinnostmi TG1 a TG2. Rozdíl přes dvacet procent byl dán jak starší pomaloběžnou konstrukcí, tak špatným stavem turbíny TG1.

4.6.2 Čistící stroj česlí

Vzhledem k fyzické náročnosti ručního čištění, snížené efektivitě při podzimních spadech listí a zvýšených průtocích spojených s velkým množstvím spláví jsem se rozhodl investovat do čistícího stroje česlí (ČSČ). Požadavky byly sestaveny na základě vlastních zkušeností s touto lokalitou a velkou měrou také zkušenostmi ostatních provozovatelů MVE. Na základě poptávkového řízení byl vybrán Ing. Michal Němec, který byl to řešení schopen dodat.



Obr. 17: Původní stav česlovny (zdroj: autor)

Požadavky:

- dva nezávislé hrabací stroje,
- povrchová úprava žárovým zinkováním,
- dva hydraulické agregáty,
- typ ČSČ rameno na rameni,
- ozubená lišta,
- řízení spuštění na rozdíl hladin a časovou periodu,
- zachování stávajícího žlabu splachovaného vodou,
- umístění hydraulických agregátů a systému řízení nad hladinu stoleté vody,
- možnost ručního ovládaní.

Dva stroje jsou alternativou k jednomu stroji s pojezdem. Pojezdové řešení je pro tuto

lokalitu nevhodné z důvodů velmi vysoké koncentrace nečistot ve vodě během povodňových stavů. To by ve svém důsledku znamenalo prodloužení čistícího intervalu a tím ke zvýšenému zacpávání česlí.

Povrchová úprava žárovým zinkováním patří dnes ke standardům v povrchové úpravě kovů pro venkovní použití. Vyšší pořizovací cena je vynahrazena dlouhodobě bezúdržbovým povrchem.

Nezávislý hydraulický agregát pro každý stroj zvlášť je výhodné řešení hlavně z důvodů spolehlivosti a nezávislého nastavení pracovních tlaků pro každý stroj zvlášť.

Typ čistícího stroje rameno na rameni je vhodný pro svůj pracovní rozsah a torzní tuhost. Stroj je osazen dvěma dvojicemi hydraulických válců. Jedna dvojice zajišťuje zdvih a spouštění obou ramen. Druhá dvojice zajišťuje odklonění a přítlak ramene se stírací lištou vůči poli jemných česlí.

System stírání nečistot pomocí zubů, které přímo zapadají do jemných česlí je náročnější z pohledu přesnosti roztečí česlového pole. Nabízí však výrazně vyšší stírací schopnost oproti kartáčovému provedení. Aby se zabránilo kontaktu kovu s kovem, je lišta osazena plastovými pásky, které zabraňují odírání česlí.

System řízení byl navržen tak, aby mohl být sloučen s původním průmyslovým automatem (PLC) značky KOYO. System byl posílen na vyšší výkonovou řadu a rozšířen o další digitální a analogové vstupy tak, aby byla zajištěna dostatečná rezerva do budoucna. Díky měření hladiny v obou kašnách a hladiny před česlemi má system aktuální informace o rozdílu hladin před a za česlemi. Při dosažení nastavené difference je čistící cyklus spuštěn.

Silový rozvaděč a hydraulické agregáty jsou umístěny uvnitř objektu MVE nad hladinou stoleté vody. Tato dispozice zaručuje rychlé znovuoobnovení provozu i po extrémních povodních. Dané řešení je výhodné i z pohledu teploty provozní kapaliny hydraulického agregátu. Tím, že jsou agregáty umístěny v temperovaném prostoru, nedochází k takovým teplotním změnám pracovního media, jako kdyby byly agregáty umístěny vně objektu. Při nízkých teplotách dochází k výraznému zvýšení viskozity hydraulického oleje a tím i ke změně rychlosti průtoku přes škrtící ventily, to má za následek změnu rychlostí a provozních tlaků.

Ruční ovládání je zajištěno pomocí mobilního ovladače. Pomocí pák je možno manipulovat se stroji individuálně dle potřeby obsluhy. Díky tomu je stroj využíván i pro manipulaci s kmeny, pařezy a dalšími objemnými nečistotami, které se dostanou až do prostoru česlí.



Obr. 18: Aktuální stav česlovny (zdroj: autor)

Česle:

Původní česlová pole byla odstraněna. Jako náhrada byla vyrobena nová - pozinkovaná. U pole TG1 byla zachována průlina o rozteči 35 mm z důvodů malého průtočného profilu mezi lopatkami turbíny. Při navýšení rozteče by docházelo k usazování větších nečistot na lopatkách a tím ke snížení hltnosti turbíny. U nátoky TG2 byla díky větší vzdálenosti mezi lopatami zvýšena průlina na 45 mm. Oběma rozměrům byla přizpůsobena stírací lišta.

Úprava odtokového kanálu:

Řešení dopravy shrabků bylo v této lokalitě vyřešeno při stavbě elektrárny pomocí odtokového kanálu, kdy jsou shrabky dopravovány zpět do řeky. Toto řešení je v dnešní době nahrazováno dopravníkem, dopravník je však problematický z hlediska údržby, zamrzání a náchylnosti na poškození při transportu nepředvídatelných předmětů. Proto jsem se rozhodl zachovat stávající žlab s dílčími modifikacemi.

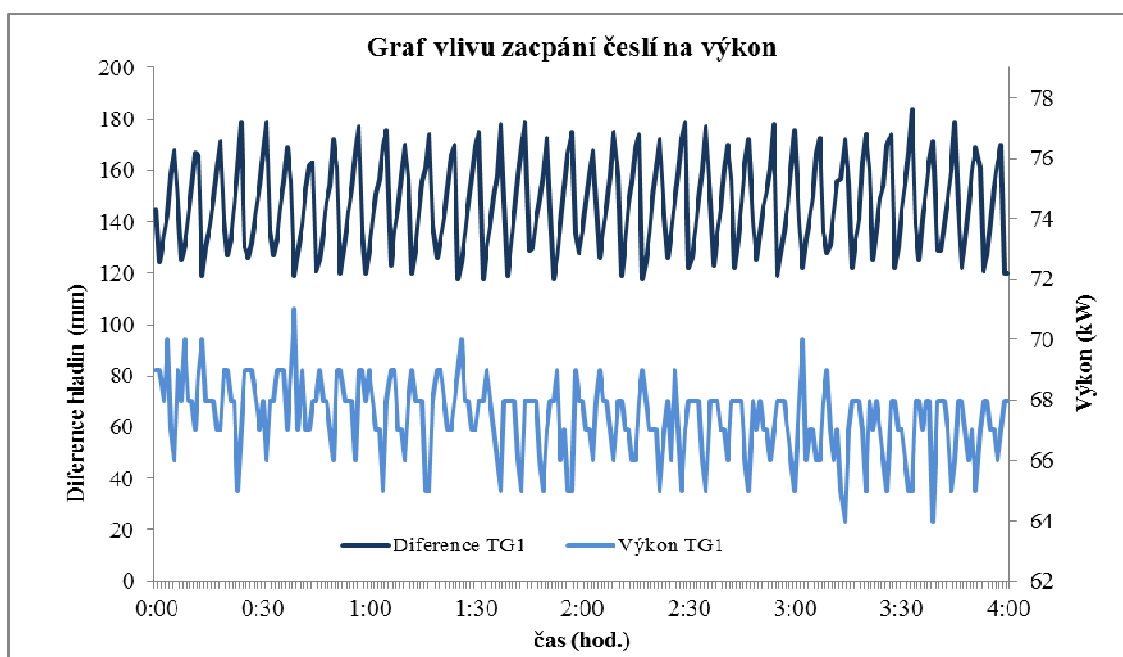
Žlab byl veden v délce šesti metrů uzavřenou rourou o nedostačujícím průměru do prostoru pod jalovou propustí. Toto řešení bylo nahrazeno otevřením uzavřené části kanálu, čímž došlo k výraznému zprůchodnění. Původní pevnost byla zajištěna pomocí traverzových výztuží. Žlab je nyní zakryt demontovatelnými pozinkovanými rošty.

Tímto byl odstraněn problém s nemožností odstranění uvízlých předmětů.

Dalším dílčím problémem byl nedostatek vody ve žlabu pro splachování během nízkých stavů vody při podzimním spadu listí. Žlab je zanořen pod hladinu a je využíváno vody vytlačené zpět do prostoru kanálu. To je ideální pro vyšší stavy hladiny během jarních povodní, ale bylo téměř nefunkční pro období podzimu. Tento nedostatek byl vyřešen umístěním nuceného oběhu vody. Voda je čerpána z kašny TG2 a dopravována v nezámrazné hloubce do žlabu. Spínání čerpadla je napojeno do systému kontroly řízení (SKŘ) a je spínáno po dokončení čistícího cyklu. Při vyšších stavech hladiny před česlemi se čerpadlo nespouští. Všechny parametry, jako je doba spuštění a hladiny pro spínání, jsou parametrizovatelné v SKŘ.

Srovnání stavů před a po instalaci hrabacích strojů:

Hlavním přínosem instalace je nezávislost na lidské práci, ČSČ vyčistí česle v přesně definované době tak, aby nedocházelo k výraznějšímu vlivu difference česlí na výkon. Díky velké síle a rychlosti hydraulického systému si stroje poradí i s velkými náporů nečistot během povodní. Na grafu č. 3 bych rád demonstroval množství nečistot během zvýšených průtoků. Je zde zaznamenán běžný stav v řádu čtyřnásobku průměrného průtoku v časovém rozmezí čtyř hodin. Čistící cyklus byl spuštěn každých šest minut, pokles výkonu o čtyři kilowaty je způsoben ztrátou čistého spádu a tím i potenciální energie vody. Je zřejmé, že při délce ručního čistění v délce desítek minut by nebylo v lidských silách udržet elektrárnu v chodu.



Graf 3: Závislost výkonu na zacpání česlí (zdroj: autor)

4.6.3 TG1

Výsledky měření účinnosti této turbíny byly výrazně pod hodnotou, která by byla dlouhodobě únosná. Možným řešením bylo turbínu demontovat a nahradit TG1 moderní Kaplanovou turbínou nebo přezkoumat možné důvody nízké účinnosti a pokusit se soustrojí zachovat v původním cenném historickém stavu.

Při pohledové prohlídce jsem zjistil tři dílčí nedostatky ovlivňující výsledný výkon a účinnost. Na první pohled bylo zřejmé, že i při největším otevření turbína není otevřena na své reálné maximum. V odpadovém kanálu byla voda výrazně okysličená, což byl důsledek přisávání vzduchu přes kryt radiálního ložiska turbíny. Třetím nedostatkem byla nezanedbatelná mezera mezi oběžným kolem a komorou turbíny. V tomto místě protékala voda bez odevzdání energie oběžnému kolu.

Pro zjištění možného výkonu po otevření turbíny jsem posunul rozváděcí mez směrem nahoru a měřil jsem výkon na svorkách generátoru. Tímto zásahem jsem docílil zvýšení výkonu z původní souběžové hodnoty 65 kW na 75 kW. Na základě tohoto měření jsem dospěl k závěru, že turbínu má cenu zachovat. Očekávaný nárůst výkonu po rekonstrukci byl srovnatelný s výkonem novější TG2. Dalším důvodem pro zachování soustrojí byla jeho životnost. Po kontrole opotřebení ozubení a celkovém stavu oběžného kola bylo zřejmé, že i po sto letech provozu nejeví turbína známky výrazného poškození. Oprava byla naplánovaná na sušší letní období tak, aby byla ztráta na celkové výrobě co nejmenší.

Cíle rekonstrukce:

- dosažení maximálního možného otevření rozvaděče,
- zajistit plynulou regulaci (0-100%),
- výměna veškerého spojovacího materiálu za nerezový,
- odstranění přisávání vzduchu do turbíny,
- vyvločkování mezery mezi oběžným kolem a komorou,
- kontrola a dotažení zubového převodu.

V létě roku 2010 se započalo s opravou. Po rozebrání jednotlivých částí turbíny byly jednotlivé části rozvozeny po jednotlivých firmách. Během dvou měsíců byly jednotlivé části zpět. Mezi tím byly vyrobeny nové osy lopatek a nové čepy (viz Obr. 19).



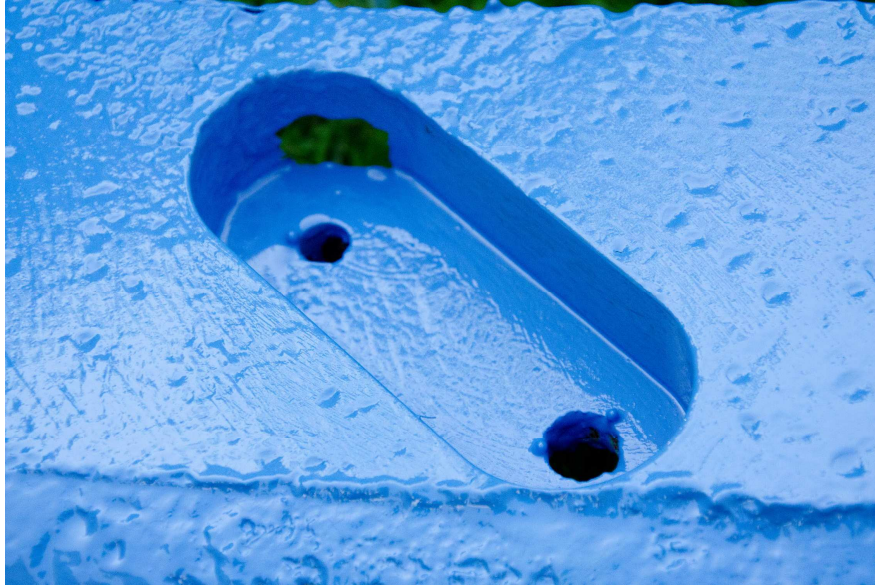
Obr. 19: Lopatky osazené novými čepy (zdroj: autor)

Na Obr. 20 je vidět rozváděcí kruh po obrobení všech drážek. Drážky byly prodlouženy na maximální konstrukční mez a rozšířeny na nový čistý rozměr. Tomuto rozměru se pak přizpůsobily do drážky zapadající čepy. Obrábění bylo provedeno na obráběcím centru (CNC) s přesností setin milimetru, to zaručovalo plynulý chod regulace.



Obr. 20: Rozváděcí kruh TG1 (zdroj: autor)

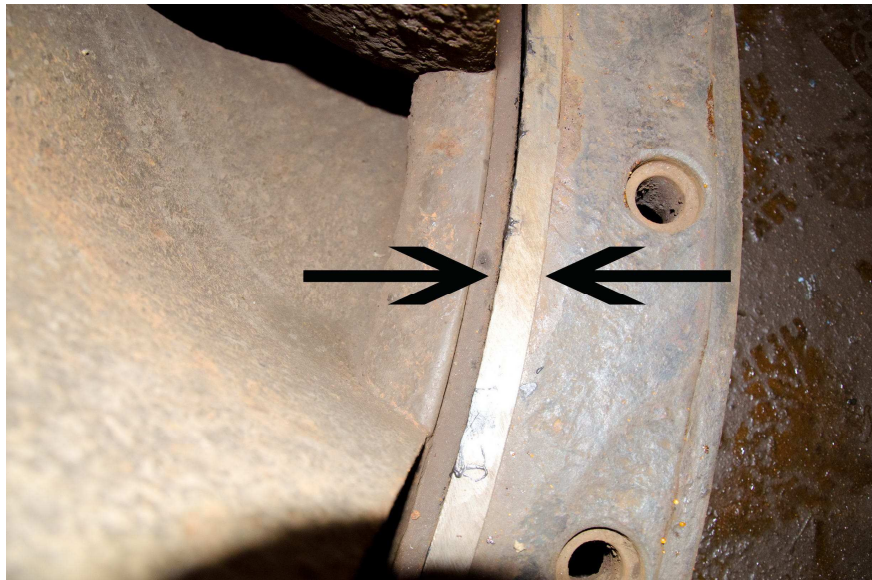
Na detailu (viz Obr. 21) je vidět přefrézovaná drážka s nově vyvrtanými otvory. Smyslem těchto otvorů je odvod nečistot, jako je písek a bahno z drážky. Tím je zamezeno možné vylomení čepu.



Obr. 21: Detail drážky rozváděcího kruhu (zdroj: autor)

Odstranění přisávání vzduchu bylo odstraněno demontáží krytu hřídele, který byl veden nad provozní hladinu. Účelem tohoto krytu bylo zamezení vniknutí nečistot do radiálního ložiska turbíny. Proto byl vytvořen nový těsnící segment, který je již umístěn pod hladinou, a tak nemůže docházet k přístupu vzduchu.

Na obrázku č. 22 je vidět drážka mezi komorou a oběžným kolem po vyvločkování. Otvory po kotvení byly zaplněny epoxidovou pryskyřicí.



Obr. 22: Detail vyvločkované drážky (zdroj: autor)

Pro zajištění nového regulačního rozsahu, který měl výrazně delší chod než původní, bylo třeba navrhnout nový regulační mechanismus nebo upravit stávající. Po konzultaci

s odborníkem Ing. Michalem Němcem se ukázalo, že je možné zachovat stávající systém regulace. Po dílčí úpravě se chod regulace prodloužil na požadovanou mez a jedinou změnou byly nižší pákové síly závaží. Proto se v poměru, kterým se upravila původní regulace, navýšila i hmotnost závaží, které zajišťuje zavření turbíny při odstavení.

Habrové zuby převodového ústrojí byly zkontrolovány a dotaženy, otlak po patnácti letech provozu nebyl patrný. To svědčí o tom, jak je celé soustrojí naddimenzované.

Na podzim roku 2011 byla turbína připravena k prvním zkouškám. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 5.

		Maximální dosažený výkon TG1 (kW)
Před rekonstrukcí	samostatný provoz	78
	souběh TG1 + TG2	65
Po rekonstrukci	samostatný provoz	96
	souběh TG1 + TG2	84

Tab. 5: Srovnání stavů před a po rekonstrukci

Z výsledků vyplývá, že se pomocí dílčích úprav se povedlo zvýšit dosažitelný výkon u samostatného chodu o 23 %. U souběhu se výkon zvýšil o 29 %.

4.6.4 TG2

Soustrojí TG2 se dle výpočtu účinnosti ukázalo jako velmi účinné. Celková účinnost okolo 80% je v pásmu, kde by se dle literatury měla Francisova turbína nacházet. Jako zřetelný se ukázal rozdíl hladin mezi hladinou před česlemi a kašnou turbíny. Při prozkoumání stavu jsem zjistil, že hradící stavidlo, které je umístěno vně elektrárny a slouží pro provozní zahrazení, je i při běžných průtocích zanořeno deset centimetrů pod hladinu. Se zvyšujícími se stavy hladiny se toto zanoření dále zvětšovalo. Vzhledem k tomu, že šlo o pevnou překážku, kterou voda vtékající do turbíny musela obtékat, docházelo zde k deformaci proudění a k nezanedbatelné ztrátě na spádu v řádu centimetrů. Tento problém jsem vyřešil posunutím ovládacího mechanismu stavidel o 50 cm směrem nahoru, čímž se zabránilo obtékání stavidel i při vyšších stavech hladiny během jarního tání.

Svůj vliv na výsledné snížení ztráty měla i zvětšená průlina česlí. Oproti původním 35 mm byla zvětšena na 45 mm, nové česle mají oproti původním zrezlým

větší průchodnost. Výsledné ztráty se těmito kroky podařilo snížit o hodnoty uvedené v tabulce. Nárůst výkonu u samostatného chodu činí 5% a u souběhu 4%.

		Diference hladin (mm)	Maximální výkon TG2 (kW)
Před úpravami	samostatný provoz	100	96
	souběh TG1+TG2	70	85
Po úpravách	samostatný provoz	65	101
	souběh TG1+TG2	45	88

Tab. 6: Srovnání stavů před a po úpravě

Generální oprava TG2:

Po výměně hlavního axiálního ložiska turbíny při plánované odstávce se ukázalo, že je kužel nesoucí talířové kolo převodovky natolik poškozen, že turbína není schopna dalšího provozu. Tato situace vyústila v nutnost rozebrání celého soustrojí a generální opravu.

První varianta spočívala v zachování spodní části turbíny a nahrazení kompletní sestavy vrchní části. Horní sestava zahrnuje převodové ústrojí, brzdu a nový generátor. Vzhledem ke stávajícímu osazení TG2 synchronním generátorem by tato varianta obnášela i výměnu elektroinstalace, řízení turbíny a nutnost kompenzace nového asynchronního generátoru. Hlavním problémem této varianty se ukázala čekací lhůta na výrobu nové převodovky. Ta při poptání dosahovala až jednoho roku.

Na základě konzultace s plzeňskou firmou Wikov Gear s.r.o. se ukázalo, že převodové ústrojí je v provozovatelném stavu po dílčí opravě. Na základě této skutečnosti se rozhodlo o variantě se zachováním stávající sestavy se setrvačником a synchronním generátorem. Pro tuto opravu byly stanoveny tyto cíle.

Cíle opravy:

- oprava stávající převodovky,
- rozdělení stávající hřídele na dvě části a osazení pevné spojky,
- vyrobení nové vrchní části hřídele spolu s novým kuzelem,
- výměna veškerého spojovacího materiálu za nerezový,
- oprava radiálního ložiska turbíny,
- nanesení nové povrchové úpravy na zanořené části,
- pokusit se o zvýšení hltnosti větším otevřením rozvaděče.

Oprava stávající převodovky firmou Wikov Gear s.r.o. spočívala v obnovení náběžných hran ozubení převodovky a následném zaškrabaní zubů. Jedná se o zdlouhavou ruční práci, kdy se na styčné plochy zubů nanáší barva. Podle otisků barvy se jednotlivé zuby zabrušují tak, aby došlo k dosednutí celé plochy zubů pastorku na příslušné plochy zubů převodovky. Výsledkem je tichý chod a rovnoměrné rozložení momentu. Naopak poškozené zuby pastorku byly odlehčeny odbroušením tak, aby dané místo nebylo zatíženo žádnou silou. Odlehčení vylomených zubů bylo možné díky tomu, že jsou v záběru vždy dva a tři čtvrtě zubu. Při odlehčení se tak síla rozdělí na zbývající nepoškozené zuby.

Důvodem rozdělení hřídele na dva kusy byla problematická manipulace ve stávající stavbě elektrárny a v hlavní míře možnost výměny pouze horního dílu hřídele při budoucí výměně vrchní sestavy elektrárny. Životnost stávající převodovky byla stanovena na přibližně patnáct let. Největším úskalím je při každé manipulaci s hřídelí její demontáž z turbíny. Stejně tak tomu bylo i při této opravě. Zajišťovací klín, který stabilizuje turbínu v radiálním směru, se podařilo vysunout až pomocí skloubení mohutného vyrážače, třiceti tunové hydraulické panenky a roztažení turbíny pomocí autogenu. Po demontáži hřídele z turbíny bylo zadáno obrobení spodního dílu a výroba horní části hřídele spolu s novým kuželem. Talíř převodovky byl vyvločkován na kužel nové hřídele. Na obou koncích hřídelí byly vyfrézovány příslušné drážky pro zajištění pevné spojky. Spojka byla vyrobena z výkovku a nikoli ze svařence, který má násobně nižší pevnost.

Původní spojovací materiál byl nahrazen nerezovým. Osy lopatek byly osazeny mazáním tak, aby bylo možné pomocí ruční mazací pumpy pravidelně mazat kluzné plochy mezi pevnými osami a pohyblivými lopatami turbíny.

Oprava radiálního ložiska turbíny spočívala ve výměně plastových segmentů mazaných vodou za nové. Ložisko se opět zatěsnilo po špatných zkušenostech s kalnou vodou a tím k vydírání kluzných segmentů. Nyní je ložisko naplněno mazacím tukem a je průběžně domazáváno.

Díky demontáži celé spodní části turbíny bylo možné turbínu i komoru opískovat a nanést krycí nátěr. Pro povrchovou úpravu jednotlivých částí byla vybrána firma Pekrmetax, tato firma má dlouholeté zkušenosti s povrchovými úpravami vodních turbín, přivaděčů a všeobecně vodních děl. Na základě doporučení byly vybrány nátěrové hmoty od dánské firmy Hempel. Na obrázku č. 23 je vidět turbína s komorou

Návrh rekonstrukce malé vodní elektrárny Hubálov na řece Jizeře

po opískování a probíhající nánášce základní vrstvy. Nátěrový systém je založen na epoxid-dehtové bázi a skládá se ze dvou vrstev. Výsledná černá vrstva obsahuje dehet kvůli pružnosti výsledného povrchu a tím větší odolnosti. Garantovaná životnost nátěru je minimálně 15 let.



Obr. 23: TG2 po opískování (zdroj: autor)

Lopatky turbíny byly odvezeny k povrchové úpravě přímo na lakovnu firmy. Na první pohled se zdálo, že jsou lopaty v pořádku. Původní barva byla stále viditelná. Po opískování se zjistilo, že původní nátěr korozi nezastavil a pouze ji uzavřel uvnitř, koroze tak probíhala dál. Povrch byl velmi hrubý a tak by mohlo docházet k deformaci proudění na oběžné kolo turbíny. Povrch se proto vykytoval epoxidovou pryskyřicí a přebrousil do původního tvaru. Následně se provedl dvouvrstvý nátěr povrchové hmoty. Výsledek je vidět na obrázku č. 24.



Obr. 24: Lopatky TG2 po povrchové úpravě (zdroj: autor)

4.6.5 Systém kontroly řízení

Modernizace v roce 2008 zahrnovala i výměnu původního analogového systému za nový systém řízení pomocí PLC automatu. Tento systém však nebyl výkonově navržen na další rozšíření, jak co se týče výpočetního výkonu, tak počtem volných vstupů a výstupů. Díky nutnosti řízení ČSČ a možnému budoucímu rozšíření MVE jsem se rozhodl nechat systém přepracovat dle aktuálních požadavků. Systém je nyní postaven na platformě PLC Direct LOGIC DL 205 od firmy KOYO a je osazen nejvyšším modelem procesoru DL-260. Toto řešení zaručuje dostatečný výkon i pro případné budoucí rozšíření. Dalším požadavkem byl vzdálený přístup do systému MVE. Na základě vlastní představy jsem sestavil následující seznam požadavků.

Požadavky:

- dostupnost napříč platformami,
- nízký datový tok,
- možnost dálkového řízení a změny parametrů,
- archivace a zobrazování všech parametrů,
- bezpečnost.

Jedním z možných řešení byla výměna dotykového displeje za nový, který umožňuje přístup pomocí VNC protokolu. Toto řešení však nesplňovalo požadavky na datový tok, dostupnost, archivaci a zobrazování dat. Další variantou, která je dnes nejvíce rozšířena, je použití systému SCADA. Toto řešení například při využití softwaru Reliance bylo zavrženo pro svou cenovou politiku a nízkou variabilitu. Finální rozhodnutí padlo na řešení pomocí HTML serveru.

Popis aktuálního systému:

Systém je založen na běžné x86 platformě s operačním systémem Windows XP. Na míru byla naprogramována aplikace, která vyčítá jednotlivé parametry z PLC a ukládá je do relačního databázového systému s využitím jazyka SQL. Data uložená v jednotlivých databázích jsou distribuována pomocí webového serveru. Problém se zápisem dat do PLC je vyřešen pomocí dílčích podprogramů, které dle požadavku zapíší požadované parametry zpět do PLC. Tím, že je počítač, který se o tyto úlohy stará, umístěn na vnitřní síti elektrárny, nedochází k problémům se spojením mezi počítačem

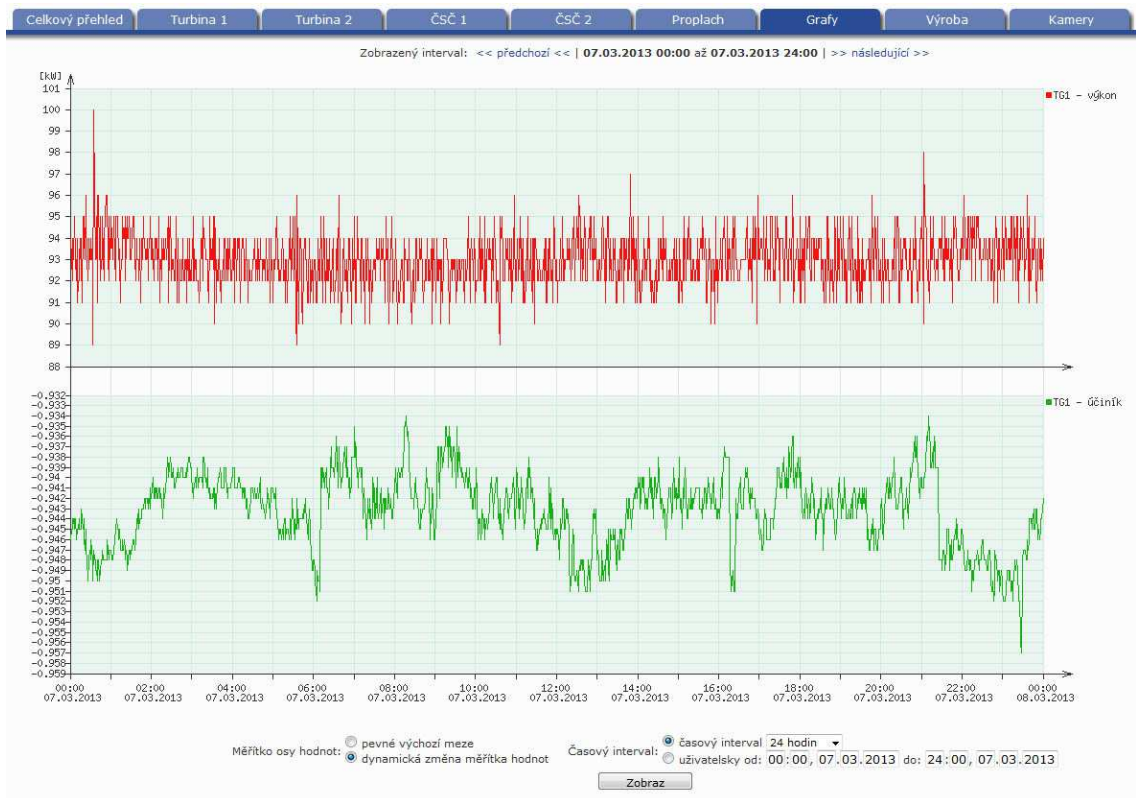
Návrh rekonstrukce malé vodní elektrárny Hubálov na řece Jizeře

a PLC automatem elektrárny. Výhodou webového rozhraní je nízká datová náročnost přenosu a zobrazení je možné z jakéhokoliv počítače či mobilního telefonu připojeného k internetu z běžného webového prohlížeče. Na obrázku č. 25 je vidět ukázka systému.



Obr. 25: Ukázka systému pro dálkovou správu

Grafy se dají zobrazovat pro libovolné parametry, které jsou ukládány do relačních databází. Časové měřítko je možné libovolně měnit a pro přehlednost je měřítko osy y dynamické (viz Obr. 26).



Obr. 26: Ukázka zobrazení dat v grafech

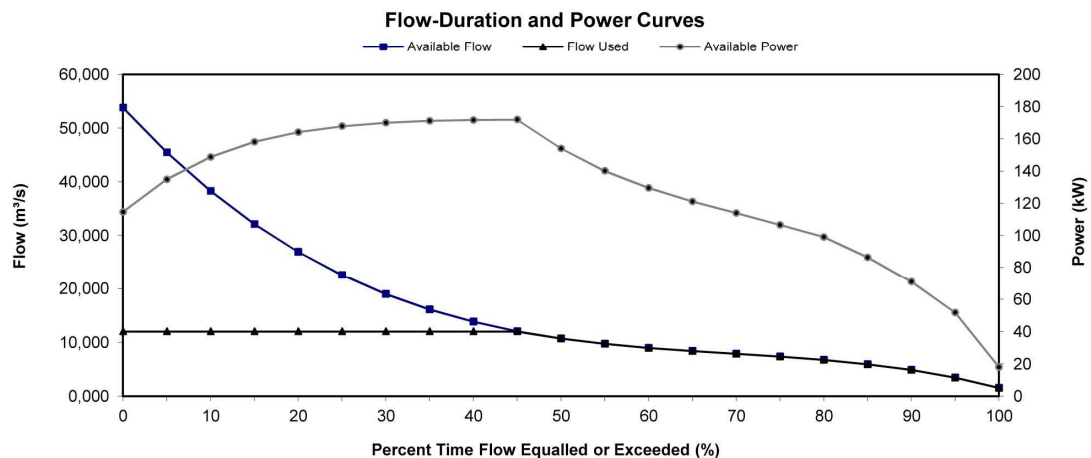
Kamerový systém:

Pro úplný dálkový přehled o vodním díle jsem nainstaloval několik kamer s trvalým záznamem. Pro jednoduchost a variabilitu jsem vybral řešení pomocí IP kamer, které jsou přístupné z internetu. Vnitřní kamery jsou vybaveny zvukovým záznamem a tak lze dálkově přes zvukový projev jednotlivých turbín zjistit, zda jsou soustrojí v pořádku. Ve spojení kamerového systému s dálkovou správou lze odstraňovat některé problémy i vzdáleně. Toto řešení nabízí oproti původní variantě výrazně vyšší bezpečnost chodu elektrárny s možností analýzy nasbíraných dat a v neposlední řadě velký komfort pro obsluhu.

4.6.6 Modelová výroba po rekonstrukci TG1 + TG2

Tento model reflektuje výsledky zvýšení hltnosti TG1, mírně zvýšené účinnosti u TG1 i TG2, osazení hrabacích ČSČ a nových česlí. Oproti původnímu stavu se tak podařilo zvýšit dosažitelný výkon o 18 kW a roční výrobu o 119 MW. Výsledky jsou vidět na obrázku č. 27.

Annual Energy Production		Estimate	Notes/Range
Small hydro plant capacity	kW	172	
	MW	0,172	
Small hydro plant capacity factor	%	73%	40% to 95%
Renewable energy delivered	MWh	1 092	
	GJ	3 933	



Obr. 27: Výsledky softwaru RETScreen pro stav po rekonstrukci

4.6.7 Vyčíslení nákladů na rekonstrukci:

Náklady na dílčí rekonstrukce jsou uvedeny v tabulce č. 7. U TG1 byla dodávka řešena pomocí smlouvy o dílo. Po zkušenostech z první generální opravy jsem se rozhodl u TG2 volit cestu bez generálního dodavatele, jednotlivé práce a materiál jsem poptával zvlášť. Tímto způsobem se i při velkém rozsahu prací podařilo zachovat příznivou cenu opravy.

Jemné česle	300 000 Kč
Čistící stroje česlí	1 500 000 Kč
Úprava odtokového žlabu	200 000 Kč
Úprava SKŘ	100 000 Kč
Generální oprava TG1	600 000 Kč
Generální oprava TG2	800 000 Kč
Celkem	3 500 000 Kč

Tab. 7: Náklady za jednotlivé části rekonstrukce

4.6.8 Výpočet prosté návratnosti

Z tabulky č. 8 vyplývá, že prostá návratnost u provedených práci je dvanáct let při uvažování výkupní ceny 2499 Kč za MWh (cena stanovená Energetickým regulačním úřadem pro rok 2013), nárůstu výroby o 119 MWh a celkových nákladech 3,5 mil. Kč. Vyčíslení návratnosti této investice je spíše z informativního, než finančního charakteru. Čistící stroje česlí a generální oprava TG2 byly ve své podstatě nutností. U ČSČ pro neúnosnou fyzickou námahu při čištění a neefektivitu při vyšších stavech vody. U TG2 pro poškození nosného kuželu hřídele, který neumožňoval další provoz soustrojí.

Nárůst výroby	119	MW
Náklady	3 500 000	Kč
Prostá návratnost	12	let

Tab. 8: Výpočet prosté návratnosti

5 Návrh rozšíření MVE Hubálov

Vzhledem k dostupnému průměrnému průtoku okolo 20 m³/s a stávající hltnosti okolo 12 m³/s je v této lokalitě potenciál k navýšení využívaného průtočného množství. Na základě této myšlenky bych rád nastínil několik možných variant v několika cenových relacích. Pro výpočty jsem používal veřejně dostupný software kanadského ministerstva životního prostředí RETScreen. Modely jsou založeny na průtokové křivce uvedené v tabulce č. 9, kterou poskytl Český hydrometeorologický ústav. Údaje byly vypracovány pro období 1931-80. Data jsou převzata z platného manipulačního řádu pro vodní dílo Hubálov.

M	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Qm	44,6	30,4	23,4	18,9	15,7	13,2	11,2	9,53	8,04	6,69	5,37	4,06	3,21

Tab. 9: Průtoková křivka pro VD Hubálov

Pozn.: M-denní průtoky reprezentované parametrem Qm v m³/s

5.1 Varianta 1 – nahrazení TG1

Tato varianta uvažuje náhradu původního soustrojí TG1 za moderní Kaplanovu přímoproudou plně regulovatelnou turbínu s navrhovanou hltností 8,5 m³/s – 10 m³/s.

Při zvolení hltnosti 8,5 m³/s a tím rozměru oběžného kola okolo 1500 mm by byla savka turbíny ukotvena nad stávající základovou desku TG1. U varianty s větší hltností by muselo dojít k rizikovému bourání pod základovou desku. Na základě poptávkového řízení a doporučení byla pro případnou výměnu zvolena turbína od rakouské firmy Global Hydro Energy (GHE) viz tabulka č. 10.

Parametry navrhované turbíny:

Nominální průtok	8,5 m ³ /s
Minimální průtok	1,7 m ³ /s
Průměr OK	cca 1500 mm
Rozsah pracovních spádů	1,8 - 2,5 m
Otáčky turbíny	cca 176/min
Převod	řemenový 176/750
Asynchronní generátor	400 V / 180 kW

Tab. 10: Parametry vybrané turbíny

Předpokládané náklady:

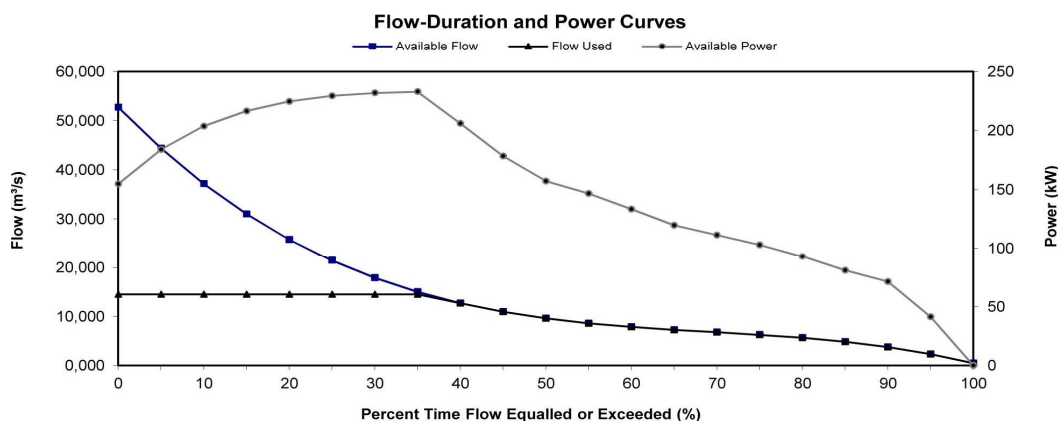
Turbína TG1	7 100 000 Kč
Řemenový převod TG1	775 000 Kč
Asynchronní generátor TG1	550 000 Kč
ČAR regulátoru	425 000 Kč
Stavební část TG1	3 000 000 Kč
Úpravy elektročásti	250 000 Kč
Dokumentace	1 000 000 Kč
Celkem	13 100 000 Kč

Tab. 11: Ceny dle poptávkových řízení

Modelová výroba:

Model počítá s účinností turbíny dodanou výrobcem v kombinaci se stávající účinností TG2 (viz Obr. 28). V optimu by nová turbína dosahovala účinnosti přes 90 %.

Annual Energy Production		Estimate	Notes/Range
Small hydro plant capacity	kW	233	
	MW	0,233	
Small hydro plant capacity factor	%	63%	40% to 95%
Renewable energy delivered	MWh	1 281	
	GJ	4 610	



Obr. 28: Výsledky softwaru RETScreen pro stav s novou přímoproudou turbínou a původní TG2

5.2 Varianta 2 – nahrazení TG1 i TG2

Pro představu o maximální možné využitelnosti této lokality jsem namodeloval i variantu s výměnou obou stávajících soustrojí. Tato maximalistická varianta počítá s nahrazením za dvě přímoproudé Kaplanovy turbíny s hlností 10 m³/s. Tím by došlo k maximálnímu využití energetického potenciálu této lokality. Pro model byly zvoleny opět plně regulovatelné přímoproudé turbíny od rakouského výrobce GHE (viz Tab. 12). Výsledky modelu jsou vidět na obrázku č. 29.

Parametry navrhovaný turbín:

Nominální průtok	10 m ³ /s
Minimální průtok	2 m ³ /s
Průměr OK	cca 1650 mm
Rozsah pracovních spádů	1,7 - 2,5 m
Otáčky turbíny	cca 163/min
Převod	řemenový 163/750
Asynchronní generátor	400 V / 210 kW

Tab. 12: Parametry vybrané turbíny

Předpokládané náklady na jedno soustrojí:

Turbína	7 450 000 Kč
Řemenový převod	790 000 Kč
Asynchronní generátor	575 000 Kč
ČAR regulátoru	425 000 Kč
Stavební část	3 450 000 Kč
Elektročást	150 000 Kč
Celkem	12 840 000 Kč

Tab. 13: Ceny dle poptávkových řízení

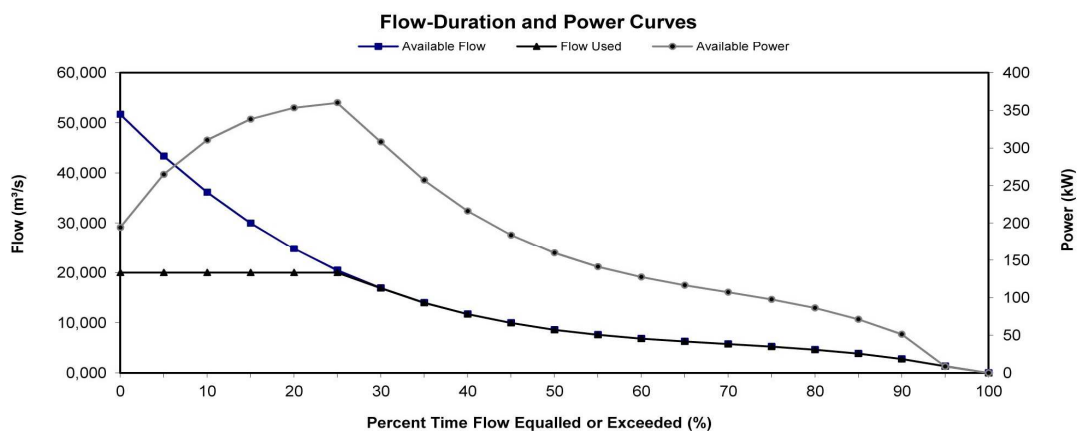
Celkové náklady:

Strojně - technologická část	25 680 000 Kč
Dokumentace	2 000 000 Kč
Náklady celkem	27 680 000 Kč

Tab. 14: Celkové náklady na výměnu obou soustrojí

Modelová výroba:

Annual Energy Production	Estimate	Notes/Range
Small hydro plant capacity	362 kW	
	0,362 MW	
Small hydro plant capacity factor	49%	40% to 95%
Renewable energy delivered	1 539 MWh	
	5 539 GJ	



Obr. 29: Výsledky softwaru RETScreen pro stav po výměně obou turbín

5.3 Geologický průzkum

Pro zjištění geologických podmínek a tloušťek betonových konstrukcí byl zadán geologický průzkum. Průzkum provedla firma ARCADIS Geotechnika a.s. s následujícími výsledky.

Byly provedeny dva vrty s tím, že jílovcové ani jiné pevné podloží nebylo nalezeno ani v hloubce 6 m pod základovou deskou vtoku. Jádra byla tvořena betonem ze základové desky, kamenným blokem pískovce, křemennými valouny o velikosti do 7 cm a nečistotami. Z těchto jader (viz Obr. 30) byly dva vzorky betonu ze základové desky vtoku a dna savky předány do laboratoře ke zjištění pevnosti v prostém tlaku.



Obr. 30: Vytažená jádra z obou vrtů (zdroj: autor)

Tím, že nebylo nalezeno pevné podloží, se výše zmíněné varianty ukázali jako velmi složitě realizovatelné. Muselo by dojít k problematickému hrazení pomocí larsenových stěn a i tak by byl velký problém s odvodněním při zakládání nové desky. Cena stavebních prací by se tak mohla výrazně prodražit. Z toho důvodu se varianty s výměnou stávajících soustrojí zavrhly pro velkou rizikovost a nepředvídatelnost v nákladové části.

U turbíny jsou regulovatelné pouze lopatky oběžného kola. Rozváděcí lopatky jsou pevné a nastavené na optimální účinnost při daném otevření OK. Uzavření turbíny je vyřešeno pomocí deskového rychlouzávěru, který v případě nutnosti zahradí vtok elektrárny. V tabulce č. 15 jsou parametry zaslané výrobcem.

Nominální průtok	5,13 m ³ /s
Průměr oběžného kola	1200 mm
Otáčky turbíny	260/min
Převod	Řemenový 216/750
Asynchronní generátor	400 V / 90 kW
Výkon turbíny	92,9 kW
Výkon na svorkách generátoru	82,1 kW

Tab. 15: Parametry turbíny HH 1000 SSK při spádu 2,2 m

V tabulce č. 16 jsou vypsány ceny za dílčí strojní prvky a stavební část. Strojní část obsahuje vtok s provozním uzávěrem, turbínu, hydraulickou regulaci, řemenový převod a savku. Stávající elektro část je na tuto variantu připravena. Cena tak obsahuje pouze silový rozvaděč s příslušnými ochranami a kompenzací asynchronního generátoru.

Strojní část TG3	3 400 000 Kč
Doprava, montáže, zkoušky	400 000 Kč
Asynchronní generátor TG3	260 000 Kč
Stavební část TG3	3 500 000 Kč
Úpravy elektročásti	150 000 Kč
Dokumentace	300 000 Kč
Celkem	8 010 000 Kč

Tab. 16: Náklady na stavbu TG3

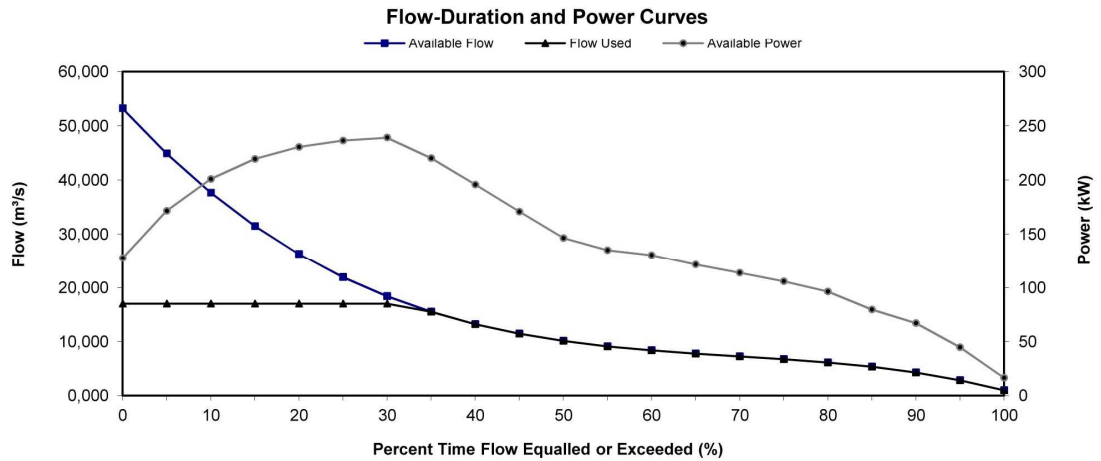
Postup výstavby:

Stavba by probíhala za stávající nosnou zdí elektrárny, čímž by došlo k výraznému snížení průsaku do prostorů stavby oproti původním variantám. Tímto by byla stavební jímka oddělena od stávajícího vtoku i odpadu elektrárny. Došlo by k vybetonování přívodního kanálu a strojovny elektrárny. Až poté by došlo k demolici stávající opěrné stěny, zahrazení odpadu a vybetonování odtokové části. Největší úskalí je napojení budoucího přívodního kanálu na stávající opěrnou zeď s následným proříznutím vstupního profilu. Tato část byla konzultována s odbornou stavební firmou s pozitivním výsledkem.

Modelová výroba:

Na základě účinnostní křivky zaslané výrobcem jsem namodeloval stávající stav navýšený o TG3. V úvahu jsem bral zvýšené hydraulické ztráty na vtoku a mírné zvýšení ztráty v odpadním kanálu. Výsledky modelu jsou uvedeny v obrázku č. 32.

Annual Energy Production		Estimate	Notes/Range
Small hydro plant capacity	kW	240	
	MW	0,240	
Small hydro plant capacity factor	%	60%	40% to 95%
Renewable energy delivered	MWh	1 263	
	GJ	4 546	



Obr. 32: Výsledky softwaru RETScreen pro rozšíření stávající elektrárny o TG3

6 Zhodnocení

V jednotlivých podkapitolách je zobrazeno zhodnocení z hlediska energetického, ekonomického a ekologického pro všechny varianty popsané v této práci.

6.1 Energetický přínos jednotlivých variant

Na základě výsledků jednotlivých modelů jsou v tabulce č. 17 uvedeny nárůsty výroby pro jednotlivé varianty. Dle výsledků se jeví rekonstrukce jako velmi úspěšná. Navýšila původní výrobu o 12 %. Varianta rozšíření o TG3 by navýšila výrobu o dalších 16 %.

	Výroba		Nárůst výroby	
Původní stav	973	MW	0	MW
Stav po rekonstrukci	1092	MW	119	MW
V-1 nahrazení TG1	1281	MW	189	MW
V-2 nahrazení TG1 i TG2	1539	MW	447	MW
V-3 výstavba TG3	1263	MW	171	MW

Tab. 17: Energetický přínos jednotlivých variant

6.2 Ekonomické zhodnocení

Výkupní cena pro rekonstruovanou vodní elektrárnu byla pro rok 2013 stanovena Energetickým regulačním úřadem na 2499 Kč za MWh. Na základě této částky je v tabulce č. 18 vyčíslená prostá návratnost jednotlivých variant.

	Nárůst výroby		Náklady		Prostá návratnost
V-1 nahrazení TG1	189	MW	13 100 000	Kč	28 let
V-2 nahrazení TG1 i TG2	447	MW	27 680 000	Kč	25 let
V-3 výstavba TG3	171	MW	8 010 000	Kč	19 let

Tab. 18: Tabulka s výpočtem prostých návratností jednotlivých variant

6.3 Zhodnocení investičního záměru

Na základě výše zmíněných skutečností byla jako jediná proveditelná varianta označena varianta č. 3. Následně byla podána registrační žádost pro poskytnutí dotace z operačního programu Eko-energie. Konkrétně její třetí výzvy. Maximální podpora pro MVE byla stanovena na maximálně 30 % uznatelných nákladů. V lednu roku 2013 byla žádost schválena.

V důsledku nejistoty v odvětví obnovitelných zdrojů, které vznikly na popud nepřiměřených výkupních cen za fotovoltaickou energii, byla v cenovém rozhodnutí Energetického regulačního úřadu pro rok 2013 stanovena trvalá procentní srážka pro dotované projekty. Výše srážky byla pro projekty s dotační podporou mezi 20 a 30 % včetně stanovena na 14 %. Tato srážka ve svém důsledku znamená, že se prvotní získaná dotace státu vrací zpět po dobu přibližně 15 let. Po této době však srážka dle stávajícího znění platí dál. Tím pádem dojde k trvalému znehodnocení investice.

V reakci na toto rozhodnutí byla žádost o poskytnutí dotace stažena. Následně musel být stažen i celý investiční záměr z důvodů připravovaného zákona o obnovitelných zdrojích, který uvažuje zastavení provozní podpory pro všechny obnovitelné zdroje od 1. 1. 2014.

6.4 Ekologické přínosy jednotlivých variant

Většina investičních projektů má krom finančních, také nefinanční dopady. Jeden z nejvýznamnějších je samozřejmě ekologický. Jakékoliv zvýšení produkce energií z obnovitelných zdrojů je přínosné nejen z ekologického hlediska. Dalším parametrem je bezesporu také zavázání se ČR zvýšit procento, kterým se na výrobě elektrické energie podílejí právě obnovitelné zdroje. Jejich hlavní ekologické přínosy najdete níže. Dle dostupné literatury ušetří jedna KWh vyrobená v MVE asi 1,5 kg uhlí pro tepelné elektrárny [1]. Pokud toto množství stáhneme na všechny vodní elektrárny u nás, nemusí se v tepelných elektrárnách spálit více než 3mil. tun energetického hnědého uhlí (emisní vyčíslení najdete v tabulce níže). Jistě mi dáte za pravdu, že to není málo. Pokud ale budeme uvažovat potenciál vodních toků, mohlo by se toto množství bez problémů ztrojnásobit. I to je jeden z důvodů, proč se proti provozu stávajících a výstavě nových MVE nestaví ani veřejnost, ani profesionální ekologové. Jako první bychom se měli zaměřit na lokality k výrobě elektrické energie doslova předurčené. Jde o lokality, kde již vznikl jez z jiných důvodů a není tedy problém s dostatečným spádem, rybími přechody, výtahy či náhradními trasami a podobně.

Obnovitelné zdroje mají následující přínosy pro životní prostředí:

- OZE nahrazují spalování fosilních paliv, což se projevuje snižováním spotřeby primárních zdrojů jako je ropa, uhlí nebo zemní plyn a tím přispívají ke

snižování vypouštěného množství emisí,

- diverzifikace zdrojů s menším záborem půdy (devastace prostředí povrchovou i podzemní těžbou),
- téměř nulová produkce odpadů,
- decentralní výroba v místě spotřeby.

Vyčíslení snížení emisí [6]

Z logiky věci vyplývá, že čím je větší výroba elektrické energie z OZE, tím menší je nutnost spalování fosilních paliv a následně tak dochází ke snižování emisí.

Snížení emisí jednotlivých variant je porovnáváno vůči způsobu získávání elektřiny, který je v ČR nejrozšířenější, a to spalování hnědého uhlí. V tabulce č. 19 je uvedeno snížení jednotlivých emisí při uvažování 65 % odsíření SO₂ a tuhé látky při 98 % odlučivosti filtrů elektrárny.

Emise	Tuhé látky (kg/MWh)	SO ₂ (kg/MWh)	NO _x (kg/MWh)	CO (kg/MWh)	CO ₂ (kg/MWh)
Energetické uhlí	3,000	5,300	7,700	0,650	1213,0
Původní stav	973	MWh			
Emise	Tuhé látky (kg)	SO ₂ (kg)	NO _x (kg)	CO (kg)	CO ₂ (kg)
Snížení emisí	2919	5156,9	7492,1	632,45	1180249
Stav po rekonstrukci	119	MWh			
Emise	Tuhé látky (kg)	SO ₂ (kg)	NO _x (kg)	CO (kg)	CO ₂ (kg)
Nárůst snížení emisí	357	630,7	916,3	77,35	144347
V-1 nahrazení TG1	189	MWh			
Emise	Tuhé látky (kg)	SO ₂ (kg)	NO _x (kg)	CO (kg)	CO ₂ (kg)
Nárůst snížení emisí	567	1001,7	1455,3	122,85	229257
V-2 nahrazení TG1 i TG2	447	MWh			
Emise	Tuhé látky (kg)	SO ₂ (kg)	NO _x (kg)	CO (kg)	CO ₂ (kg)
Nárůst snížení emisí	1341	2369,1	3441,9	290,55	542211
V-3 výstavba TG3	171	MWh			
Emise	Tuhé látky (kg)	SO ₂ (kg)	NO _x (kg)	CO (kg)	CO ₂ (kg)
Nárůst snížení emisí	513	906,3	1316,7	111,15	207423

Tab. 19: Vyčíslení snížení emisí pro jednotlivé varianty

Přínos malých vodních elektráren

Výhody malých vodních děl z energetického hlediska jsem již zmínil. Jejich ekologický přínos je ale potřeba vyzdvihnout snad ještě více. Zejména jde o stavby, které jen velmi málo ovlivní okolí i tok jako takový. Na rozdíl od větších vodních elektráren neovlivňují mikroklima dané lokality. V neposlední řadě musíme zmínit také možnost regulace toku v období sucha i během povodní. Velmi významným se zdá být také odstraňování biologicky aktivních nečistot, zejména listí v období podzimu. Nově vystavěné MVE totiž musí řešit problém těchto odpadů, což se děje většinou v rámci kompostovacích kójí. I pokud se přeci jen vyskytnou nějaká negativa související s výstavou a provozem MVE, jsou pozitiva výroby ekologicky čisté elektrické energie vždy v přesahu, o čemž svědčí i všeobecné mínění obyvatelstva i odborníků. MVE jsou tedy zdaleka nejšetrnější pro životní prostředí a představují nevyčerpatelný zdroj výroby elektrické energie bez znečištění oxidy dusíku, síry, těžkými kovy nebo dokonce perzistentními polutanty.

MVE mají dlouhou životnost. O tom svědčí i fakt, že MVE Hubálov pracuje bez větších problémů již od roku 1904. Tím se dostáváme k problematice bezpečnosti výroby, která je u MVE opravdu velmi vysoká (zejména oproti jaderným elektrárnám), stejně jako nezávislost na dopravě surovin.

Další z nefinančních dopadů MVE je bezesporu příjemné pracovní prostředí a téměř bezobslužný provoz. Místní obyvatelstvo jistě ocení možnost letní rekreace na jezu.

7 Závěr

V diplomové práci jsem se zabýval problematikou rekonstrukce a provozu MVE Hubálov. Nastínil jsem historický vývoj této elektrárny, zpracoval jsem návrhy pro rekonstrukce a vyhodnotil jejich přínosy z hlediska energetického, ekonomického a ekologického.

Vodní dílo MVE Hubálov slouží k výrobě ekologicky čisté elektrické energie. Z výsledků vyplývá, že vodní elektrárna pracuje bez větších problémů již od roku 1904. I přesto bylo nutné zamyslet se nad nutnými opravami, rekonstrukcemi, či modernizací. Všechny typy investic jsou popsány v předložené diplomové práci. Pro mnoho majitelů a investorů je nejdůležitějším parametrem doba návratnosti. Ta se odvíjí od životnosti investice, celkových nákladů a budoucích příjmů. Ty bohužel můžeme v dnešní době jen odhadovat. Legislativní změny můžeme totiž očekávat v podstatě kdykoliv. Pro naše účely bylo zbytečné uvažovat cenu půjčených peněz, inflaci a podobně. Celá investice totiž byla pořízena z rezerv majitele. Zejména nyní, kdy jsou odborníci i široká veřejnost poněkud znechuceni machinacemi v oboru obnovitelných zdrojů-resp. fotovoltaiky, je podnikání v tomto směru jemně řečeno problematické. Je tedy více než jisté, že investici do nové vodní elektrárny si každý investor musí hodně dobře rozmyslet. Pokud již MVE stojí, je třeba ji co nejefektivněji využívat, aby dosahovala co nejvyšších dodávek elektrické energie a tím i největších zisků.

Zmínit ale musíme také případné dotace, které jsou nejen administrativně velmi náročné, ale také ne až tak výhodné. To vše nutí stávající majitele vodních děl k tomu, aby se uchýlili jen a pouze k nutným opravám. Ostatně tato varianta se zdá být nejschůdnější i pro vodní dílo MVE Hubálov na řece Jizeře. Z celkových propočtů vyplývá, že suma za opravy turbín a rekonstrukci (nový sw, hrabací stroje, generální opravy TG1 a TG2) se vrátí za 12 let.

V kapitole hodnocení efektivnosti investic a ziskovosti jsem ověřil výhodnost a v neposlední řadě také realizovatelnost jednotlivých variant. Použity byly nedynamické metody, které jsou pro naše účely naprosto dostatečné. Uvažovány byly varianty, kdy mohla být modernizována turbína 1 a 2 nebo dokonce v rámci rozšíření přidána i turbína číslo 3, která by pomohla využít zejména jarních měsíců, kdy dochází k největšímu průtoku, který momentálně nemůže být využíván. Nakonec byla ale investice do třetí turbíny natolik finančně náročná (třebaže bylo požádáno o dotaci), že se od této varianty upustilo. Dalším problémem bylo nestálé podloží. To udělalo

nereálné varianty č. 1 a č. 2.

Ani výměna jedné, druhé nebo obou turbín nevychází z ekonomického hlediska nejlépe. Došlo tedy k nutným opravám a zvýšení samoobslužnosti díky hrabacím strojům a novému softwaru řízení. I tak ale musíme do analýzy zahrnout i nepeněžní dopady. Zejména ušetřený čas a ekologické hledisko. Zvýšení výroby elektrické energie z OZE přispívá k našemu závazku Evropské Unii. Na druhou stranu je potřeba zmínit také faktory, které by mohli návratnost na jakoukoliv modernizaci oddálit. Na chod MVE může mít vliv spousta faktorů, především zatopení podobně jako v roce 2002, sucho atd.

8 Použitá literatura

- [1] DUŠIŠKA, P., GABRIEL, P., HODÁK, T., ČIHÁK, F., ŠULEK, P.: *Malé vodní elektrárny*. Jaga group, Bratislava 2003. ISBN 80-88905-45-1. 173 s.
- [2] FOTR, J.: *Investiční rozhodování*. Oeconomica, Praha 2008. ISBN 978-80-245-1335-3.
- [3] HYBLER, P.: *Bakalářská práce – Ekonomické aspekty provozu malé vodní elektrárny*. Plzeň 2009. 48 s.
- [4] KARLÍKOVÁ, J.: *Manipulační řád pro pevný jez se štěrkovou propustí a malou vodní elektrárnou Hubálov na řece Jizeře v ř. km 64,433*. Hradec Králové 2007. 27s.
- [5] ŘÍHA, J.: *Hodnocení vlivu investic na životní prostředí: vícekriteriální analýza a EIA*. Academia, Praha 1995. ISBN 8020002421. 348 s.
- [6] SRDEČNÝ, K., TRUXA, J.: *Obnovitelné zdroje energie v jižních Čechách a Horním Rakousku*. EkoWATT, Praha 2000.