ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh rekonstrukce MVE v lokalitě Dvorec u Nepomuka

Bc. Jiří Rod **2012**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: **2011/2012**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Jiří ROD**
Osobní číslo:	**E10N0179P**
Studijní program:	**N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor:	**Technická ekologie**
Název tématu:	**Návrh rekonstrukce MVE v lokalitě Dvorec u Nepomuka**
Zadávající katedra:	**Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Zásady pro vypracování:

1. Popište danou lokalitu z hlediska hydroenergetického i stavebně technického. V popisu také uveďte způsob využití potenciálu v minulosti.
2. Stanovte vhodný způsob rekonstrukce, navrhněte typ turbíny a příslušenství.
3. Vypočítejte množství vyrobené energie a návratnost.

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

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce:	**Ing. Petr Jindra** Katedra elektroenergetiky a ekologie
Datum zadání diplomové práce:	**17. října 2011**
Termín odevzdání diplomové práce:	**11. května 2012**

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

L.S.

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

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Předkládaná diplomová práce se zabývá návrhem rekonstrukce malé vodní elektrárny v lokalitě Dvorec u Nepomuka. Jejím cílem je nalezení vhodného typu turbíny pro budoucí realizaci rekonstrukce malé vodní elektrárny. Dalším cílem práce je spočítat doby návratnosti investice pro jednotlivé návrhy řešení rekonstrukce ve zvolené lokalitě. Pro jednotlivé verze návrhů jsou uvedeny i předběžné odhady cen.

Klíčová slova

Malá vodní elektrárna, Kaplanova turbína, hydroenergetický potenciál, rekonstrukce, doba návratnosti

Abstract

This diploma thesis designs a reconstruction of a small hydroelectric power station in locality Dvorec near the town Nepomuk. Its aim is to find an appropriate type of turbine for the future reconstruction of a small hydroelectric power station. Another aim of the thesis is to calculate the payback periods of investments for each of the designed reconstructions. It also provides cost estimations for each design.

Key words

Small hydro power plant, Kaplan´s turbine, hydropower potential, reconstruction, playback period

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 11.5.2012 Bc. Jiří Rod

……..

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Petrovi Jindrovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH **8**

ÚVOD **9**

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK **10**

1 ZDROJE ENERGIE **11**

1.1 ZDROJE VODNÍ ENERGIE 13
1.2 HISTORIE VYUŽITÍ VODNÍ ENERGIE 14

2 MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY **16**

2.1 DĚLENÍ VODNÍCH ELEKTRÁREN 16
2.2 MVE V ČESKÉ REPUBLICE 19

3 SOUČASNÝ STAV LOKALITY **20**

3.1 HISTORIE 20
3.2 VODNÍ DÍLO 21
3.2.1 Jez *21*
3.2.2 Propust a náhon *22*
3.2.3 Huťský rybník a vtokový kanál *23*
3.2.4 Objekt MVE a odpad *24*

4 NÁVRH REKONSTRUKCE MVE **26**

4.1 HYDROENERGETICKÝ POTENCIÁL 26
4.2 VÝPOČET VÝKONU A VYROBENÉ ENERGIE V MVE DVOREC 29
4.3 NÁVRH TURBÍNY A PŘÍSLUŠENSTVÍ 31
4.3.1 Vtoková a odpadová část MVE *31*
4.3.2 Turbína *31*
4.3.3 Příslušenství *32*

5 VÝPOČET NÁVRATNOSTI **32**

5.1 NABÍDKA CINK HYDRO – ENERGY K.S. 32
5.2 NABÍDKA DUMAT V.O.S. 35

ZÁVĚR **37**

SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ **38**

SEZNAM PŘÍLOH **39**

PŘÍLOHY **1**

Úvod

Předkládaná práce se zabývá rekonstrukcí malé vodní elektrárny v lokalitě Dvorec u Nepomuka.

Text je rozdělen do pěti základních částí. První část se zabývá využitím energie vody v minulosti i v současnosti, ve druhé části je uvedeno rozdělení malých vodních elektráren a třetí část popisuje lokalitu, ve které by měla být realizována rekonstrukce malé vodní elektrárny. Ve čtvrté části jsou provedeny důležité výpočty k určení vhodného typu turbíny pro danou lokalitu. Dále je v této části řešen vlastní návrh turbíny a jejího příslušenství. V poslední části jsou uvedeny cenové nabídky od výrobců technologií pro malé vodní elektrárny. Pro každou nabídku je vypočtena doba návratnosti investice.

Seznam symbolů a zkratek

MVE ..... Malá vodní elektrárna

ČHMÚ……. Český hydrometrologický ústav

H……...Spád

g……Gravitační zrychlení

Q……...Průtok

Q_V…….Využitelný průtok

Q_{rt}……..Průtok turbínou při regulačním rozsahu

E_V……..Vyrobená energie

E_{teor}……Teoretická roční vyrobená energie

$K_{využ}$……..Součinitel využitelnosti instalovaného výkonu

P…….Výkon

C_{PR}…….Tržby za rok

DN…….Doba návratnosti

IN……...Investice

CF……..Cash Flow

1 Zdroje energie

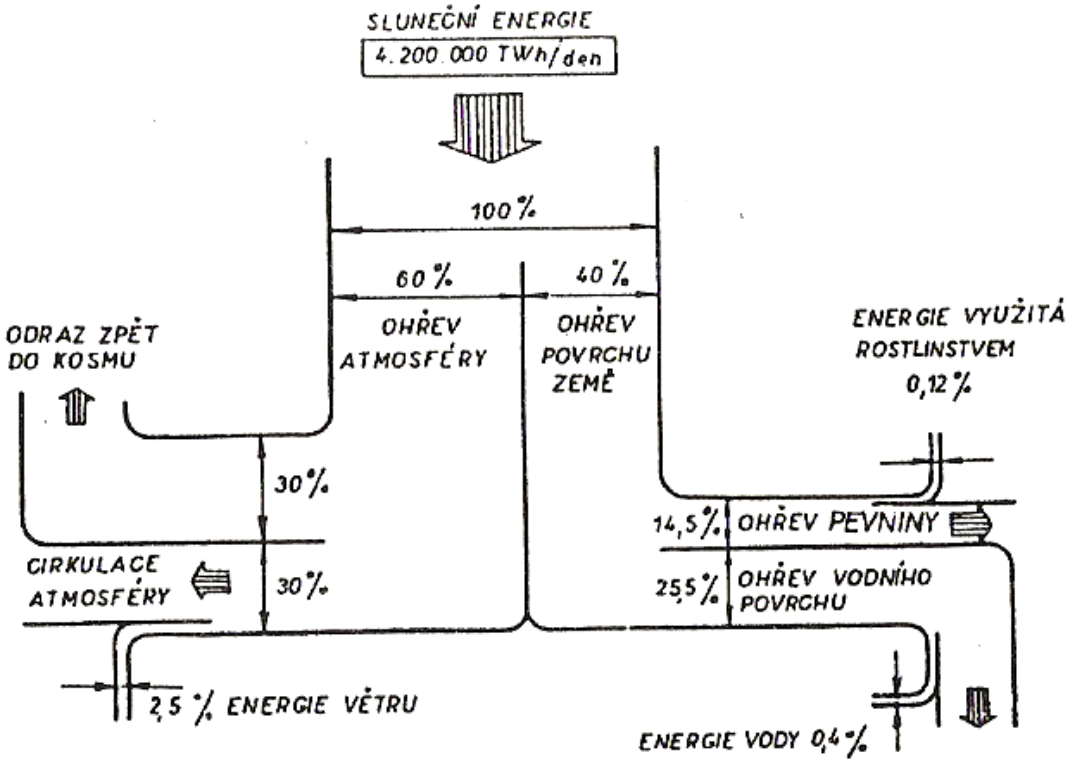
Energie, kterou lze různými způsoby využívat, se nachází na Zemi v různých formách. Mluvíme o tzv. primárních zdrojích energie, které se dají rozdělit do čtyř skupin:

- **Vyčerpatelné zdroje**
- **Stále se obnovující zdroje**
- **Nevyčerpatelné zdroje**
- **Jaderná energie**

Do vyčerpatelných zdrojů řadíme především fosilní pevná paliva, tekutá paliva a plynná paliva. Tyto zdroje energie jsou omezené. Fosilními palivy jsou nerostné suroviny, které vznikly v dávných dobách (fosilní z lat. předvěký). Lidstvu se po staletích vývoje podařilo z těchto zdrojů získat energii v různých formách, jakými jsou teplo, světlo, elektřina nebo pohon. Pokud srovnáme fosilní paliva s obnovitelnými zdroji energie, tak jejich velikou nevýhodou je nenávratnost. O budoucnosti fosilních paliv pojednává tzv. Hubbertova teorie ropného vrcholu. Tato teorie odhaduje, že celosvětové zásoby ropy budou vytěženy zhruba za 50 let. Fosilní paliva vznikla přeměnou odumřelých organismů za nepřístupu vzduchu. Jsou to suroviny jako ropa, uhlí a zemní plyn. Průmyslová revoluce, která započala už v 18. století, byla příčinou využívání fosilních paliv. Ve 20. století už člověk využíval fosilní paliva téměř ve všech oblastech civilizovaného života. Dnes, ve 21. století, se lidstvo díky neustále se rozvíjejícímu průmyslu snaží částečně nahradit fosilní paliva obnovitelnými zdroji energie. Spalováním a zpracováním fosilních paliv totiž dochází k uvolňování skleníkových plynů do atmosféry a s tím je spojeno oteplování Země. Ke snaze o minimalizaci vlivů na životní prostředí vedou jak ekologické důvody, tak i důvody ekonomické a strategické.

Mezi stále se obnovující zdroje energie bychom mohli zařadit například rostlinná paliva. Tím je myšleno zejména dřevo, jehož zásoby jsou omezeny přírodními podmínkami.

Do nevyčerpatelných zdrojů energie patří sluneční záření, vodní energie toků, tepelná energie Země, energie větru, energie přílivu a odlivu apod.. Nejmocnějším nevyčerpatelným zdrojem je sluneční energie. Energie slunečního záření je obrovská, ale současná zařízení pro její přeměnu pracují s velmi malou účinností v intervalu 10-15%. Tato zařízení jsou však velmi ekonomicky nákladná. Celkovou energetickou bilanci sluneční energie, která je dodávána na zeměkouli, ukazuje obrázek č. 1.1.



Obr. 1.1 Energetická bilance Země. Převzato z [1].

Z obrázku je možné vyčíst, že energie větru má větší podíl z energie slunečního záření než energie vody. Energie větrných proudů je tedy šestinásobně větší. Avšak tato forma energie má jednu velikou nevýhodu, která nám vadí při transformaci na elektrickou energii, a tou je nepravidelnost výskytu. Účinnost této přeměny energií je 30-33%.

Jaderná energie vzniká v reaktoru za pomoci řízeného rozpadu atomových jader. V dnešních jaderných elektrárnách se pro výrobu elektrické energie využívá pouze tepelné složky, která tvoří asi 86% z celkové energie získané při štěpné reakci. Můžeme tedy říci, že se jaderné elektrárny moc neliší od klasických parních elektráren. Jen teplo, které je nutné pro vytvoření páry, získáme v jaderném reaktoru. Jako palivo se používá buď uran U 235 nebo plutonium Pu 239. Výhřevnost těchto štěpných materiálů je přibližně $3 * 10^6$ krát větší než výhřevnost kvalitního černého uhlí. Poněvadž je na světě ještě dostatek zásob uranu, můžeme si dovolit tvrzení, že zdroje pro jadernou energii jsou časově neomezené. Problematiku jaderné energie bychom mohli považovat za velmi dobře zvládnutou, avšak je zde obrovská nevýhoda, která mluví v neprospěch této technologie. Je to vyhořelé jaderné palivo, se kterým je nutné nakládat s co největší opatrností, aby nedošlo k ohrožení lidských životů nebo ekologické katastrofě.

1.1 Zdroje vodní energie

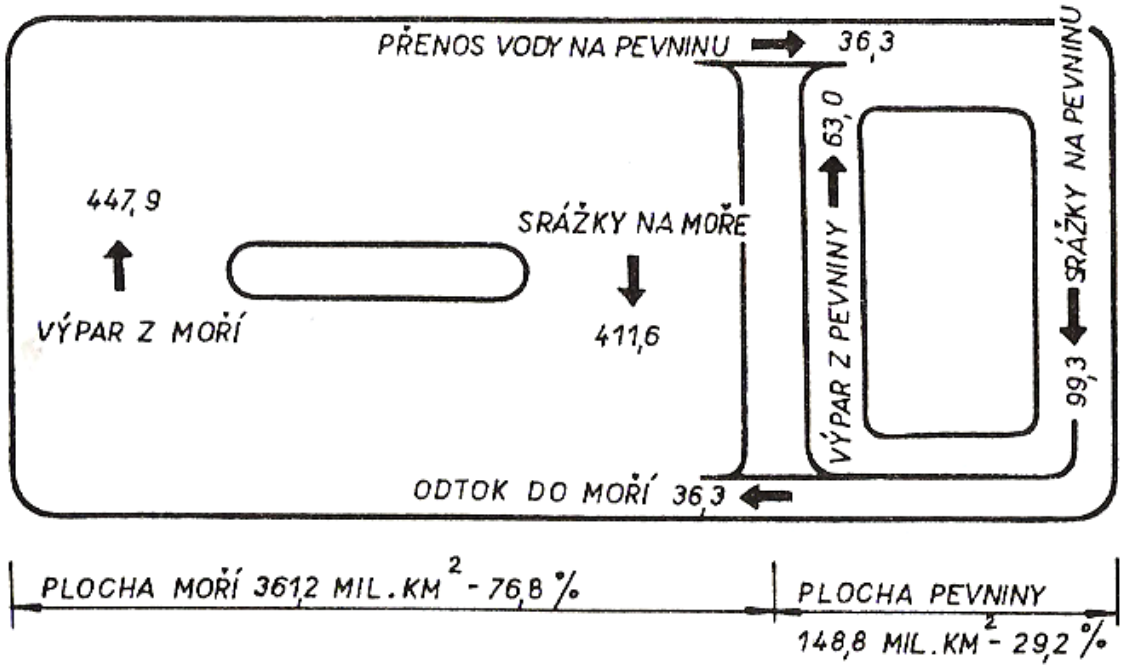
Zpracováno ze zdrojů: [1].

Voda v přírodě je nositelem energie chemické, tepelné a zejména mechanické. Atraktivita těchto tří druhů energie vody pro přeměnu na energii elektrickou je však velmi rozdílná.

Chemická forma energie vody v přírodě se projevuje především vznikem solných roztoků, které jsou jejím hlavním činitelem. Voda rozpouští každoročně asi 27.10^6 tun tuhých látek, což představuje obrovské množství tohoto druhu přírodní energie. Jejímu praktickému využití však brání malá koncentrace roztoků.

Tepelná energie vody v přírodě je technicky použitelná v zařízení, která jsou založena na principu využití tepelného spádu. Ten se vyskytuje zejména v tropických mořích, v nichž je voda na povrchu teplá +20 až +25°C a v hloubce asi 4°C. Známé je tzv. termodynamické vytápění komplexu budov v Curychu ve Švýcarsku, kde se používá tepla získaného využitím tepelného spádu curyšského jezera. Zkoumá se i možnost využití energie mořských proudů, vyvolaných rozdílem teplot vody v oceánech (např. Golfského proudu). Výzkum však zatím nevedl ke konkrétním výsledkům. Obdobně je tomu s využitím teplotního spádu mezi vodou nezamrzajících arktických řek (+1°C až +2°C) a ovzduším (-30°C až -40°C).

Mechanická energie vody je dána koloběhem vody na Zemi a jejím celkovým objemem. Koloběh vody v přírodě je jedním z neustále se obnovujících zdrojů energie. Zdrojem tohoto koloběhu je energie sluneční, proto také energie vod patří do skupiny energetických zdrojů v podstatě nevyčerpatelných. Koloběh vody na Zemi a jeho bilance je znázorněna na obrázku č. 1.2. Nejčastějším způsobem využití koloběhu vody je přeměna energie vodního toku v energii elektrickou. Výroba takové energie je ekologicky čistá a z ekonomického hlediska je tato přeměna nejvýhodnější. Ve 20. století byla tvář Země nevratně poznamenána velkými vodními díly. Tyto velkostavby nebyly ve všech případech opodstatněné, a proto se v dnešní době vracíme zpět k „malým vodám“. Z ekologického hlediska jsou malé vodní elektrárny velkým energetickým zdrojem, protože hydroenergetický potenciál menších toků je využit jen z 35%. Díky nim je možné ušetřit mnoho tuhých, plynných a kapalných paliv, jejichž spalování velice škodí životnímu prostředí.



Obr. 1.2 Bilance koloběhu vody na Zemi (v 1000 km^3). Převzato z [1].

Mechanická energie vod v přírodě zahrnuje mechanickou energii atmosférických srážek, mechanickou energii ledovců, mechanickou energii moří a oceánů a mechanickou energii vodních toků.

Skoro u všech výše zmíněných mechanických energií je buď téměř nemožné jejich využití nebo technologie, která je potřebná k jejich využívání, je velmi drahá. Můžeme si tedy dovolit říci, že energie vodních toků je v dnešní době hojně využívaná pro transformaci na energii elektrickou.

1.2 Historie využití vodní energie

Zpracováno z: [1], [3].

I přesto, že vodní energie patří k nejdéle využívaným energetickým zdrojům, byl vývoj jejího využití nerovnoměrný a měl celkem pomalý průběh. Naši předci využívali energie vodního toku již ve starověku. Nejprve sloužila voda k dopravě lidí, zboží nebo různých surovin. Později začali lidé využívat energii vody k pohonu různých mechanismů, například mlýnů, hamrů nebo čerpadel. Rozvoj techniky v této oblasti se na dlouhé období prakticky zastavil a její efektivnost se zvyšovala pouze velikostí vodních kol. Překonání tohoto stavu bylo podmíněno vynálezy, které postupně odstraňovaly některé nevýhody a těžkosti spojené s

uplatněním vodní energie. První přetlaková turbína byla sestrojena v roce 1827, Francisova turbína v roce 1847, Peltonova turbína v roce 1880 a Kaplanova turbína v roce 1918. První vodní elektrárna byla postavena v roce 1882 v Appletonu ve státě Wisconsin v USA. Další rozhodující podstatou rozvoje hydroenergetiky byl přenos elektrické energie na větší vzdálenosti, což přiblížilo zdroje vodní síly k místům spotřeby. První vodní elektrárna vyrábějící střídavý elektrický proud byla uvedena do provozu 26. srpna 1895 na Niagaře v USA. Na jejím vzniku se velkou měrou podílel Nikola Tesla. Podle jeho patentu byly do elektrárny nainstalovány turbíny i generátory. Výkon elektrárny byl 75MW a vyrobená elektřina byla přenášena do 32km vzdáleného města Buffala, kde zajišťovala především veřejné osvětlení.

Obr. 1.3 Vodní elektrárna na řece Niagaře v USA

V České republice bychom našli podobný případ. V roce 1887 byla v Písku spuštěna první veřejná elektrárna v českých zemích. Pro občany královského města zajišťovala veřejné osvětlení, které bylo zbudováno podle návrhu Františka Křižíka.

Zcela zásadní význam pro rozvoj hydroenergetiky však měla až rozvíjející se elektrizační soustava. Ta umožnila rovnoměrně využít vyrobenou energii jak z velkých, tak i z malých zdrojů a vyrovnala nedostatek způsobený závislostí na měnícím se potenciálu vodních toků

v jednotlivých ročních obdobích. Rozvinutá elektrizační soustava využívá možnosti rychlého najetí hydroagregátů v akumulačních elektrárnách při krytí zatížení ve špičkách a energie z průtočných elektráren pro pokrytí základního zatížení. K propojení izolovaně pracujících elektrizačních soustav došlo na území naší republiky až v polovině 20. století a připojení k centrálnímu evropskému energetickému systému až v 90. letech. Teprve v současné době jsou v plné míře splněny všechny rozhodující podmínky k úspěšnému využití malých vodních energetických zdrojů – byly vyvinuty moderní vodní turbíny s vysokou účinností, které jsou spolehlivé a hlavně ekologicky nezávadné. Máme moderní rozvinutou přenosovou elektrizační soustavu, která umožňuje přenos energie z kteréhokoliv zdroje přímo ke spotřebiteli. Bylo by proto chybou tento čistý, stále se obnovující zdroj energie plně nevyužít.

2 Malé vodní elektrárny

2.1 Dělení vodních elektráren

Zpracováno z: [1]

Vodní elektrárny lze dělit do různých skupin podle rozdílných kritérií. Podle normy ČSN 75 0120 se vodní elektrárny dělí podle instalovaného výkonu na:

- **Malé vodní elektrárny (MVE) s instalovaným výkonem do 10 MW**
- **Střední vodní elektrárny s instalovaným výkonem od 10 MW do 200 MW**
- **Velké vodní elektrárny s instalovaným výkonem nad 200 MW**

Malé vodní elektrárny se dále dělí na:

- **Domácí vodní elektrárny s instalovaným výkonem do 35 kW**
- **Vodní mikroelektrárny s instalovaným výkonem od 35 kW do 100 kW**
- **Vodní minielektrárny s instalovaným výkonem od 100 kW do 1000 kW**
- **Průmyslové vodní elektrárny s instalovaným výkonem od 1 MW do 10 MW**

Získaný spád je další hledisko, podle kterého je možné dělit malé vodní elektrárny na čtyři typy a to:

- **Přehradová vodní elektrárna**
- **Jezová vodní elektrárna**
- **Derivační vodní elektrárna**

U přehradové vodní elektrárny je spád vytvořen přehrazením vodního toku. Jez vytváří spád pro jezovou vodní elektrárnu. Derivační vodní elektrárna využívá soustředěného spádu, který je získán umělým vedením vody mimo vodní tok a to za pomoci tlakové nebo beztlakové derivace.

Podle charakteru pracovního režimu:

- **Průtočná vodní elektrárna**
- **Akumulační vodní elektrárna**

Průtočná vodní elektrárna neovlivňuje přirozený průtok. U akumulační elektrárny je odběr vody řízený. Akumulační nádrž vytváří spád.

Dělení vodních elektráren podle umístění strojovny:

- **Hrázová vodní elektrárna**
- **Jezová vodní elektrárna**
- **Věžová vodní elektrárna**
- **Břehová vodní elektrárna**
- **Členěná vodní elektrárna**
- **Pilířová vodní elektrárna**
- **Plovoucí vodní elektrárna**
- **Individuální vodní elektrárna**

U hrázové vodní elektrárny je strojovna zabudovaná v tělese hráze nebo je umístěna u hráze. Jezová vodní elektrárna má strojovnu umístěnou při jezu v jeho těsné blízkosti nebo přímo ve spodní stavbě. Věžová vodní elektrárna má strojovnu řešenou v objektu ve tvaru věže nebo šachty umístěné v nádrži. Břehová vodní elektrárna má umístěnou strojovnu

v břehové části jezu. Členěná vodní elektrárna má strojovnu zpravidla rozdělenou na dvě nebo více částí. Strojovna pilířové vodní elektrárny je situována v pilířích přelévané hráze nebo jezu. Plovoucí vodní elektrárna má soustrojí umístěno na pontonu nebo jiném zařízení, které plave. Individuální vodní elektrárna má strojovnu umístěnou do rekonstruovaného objektu, kterým je zpravidla bývalý mlýn, pila, atd..

Dělení vodních elektráren podle velikosti spádu:

- **Nízkotlaká vodní elektrárna (spád do 20m)**
- **Středotlaká vodní elektrárna (spád nad 20 do 100m)**
- **Vysokotlaká vodní elektrárna (spád nad 100m)**

Dělení vodních elektráren podle řízení provozu:

- **Ručně ovládané vodní elektrárny**
- **Automatizovaná vodní elektrárny**
- **Částečně automatizovaná vodní elektrárny**

Provoz vodních elektráren s ručním ovládáním je řízen výhradně obsluhou. U automatizovaných vodních elektráren je provoz řízen automaticky, kdežto u částečně automatizovaných vodních elektráren je zapotřebí jak obsluha, tak i automatika.

Tabulka 2 zobrazuje výkonový rozsah francouzských malých vodních elektráren a typ uživatelů, kteří provozují tyto MVE. V České republice je rozdělení podobné. Je tu však malý rozdíl, tyto zdroje totiž pracují většinou do sítě.

Tab. 2 Převzato z [1]

Jednotkový výkon [kW]	Typ uživatelů
1 – 35	- domácí (zejména topení)
30 – 150	- řemeslníci, drobní průmyslníci, hotely
150 – 8000	- samostatní výrobci
1000	- náhradní zdroje pro přehrady
5000 - 8000	- dodávka do veřejné sítě

2.2 MVE v České republice

Mezi 50. - 80. léty minulého století byla zrušena většina malých vodních elektráren, především díky tehdejšímu politickému a hospodářskému vývoji. Tato vodní díla sloužila jednotlivcům, podnikům nebo obcím. Náklady na údržbu a provoz těchto děl byly v porovnání se středními a velkými díly mnohonásobně vyšší. Z těchto důvodu byly tyto malé zdroje energie likvidovány. Na nově budovaných nebo rekonstruovaných jezech nebyla energie vody nijak využívána.

Podle statistických údajů bylo v Čechách a na Moravě v roce 1930 celkem 10514 malých vodních elektráren. V roce 1953 se jejich počet snížil na 4392, v roce 1966 na 450 a na konci 80. let jich bylo v provozu pouhých 109. Celkem tak bylo zrušeno více než 10000 malých (většinou jezových) vodních elektráren o úhrnném výkonu více než 100 MW a roční výrobě okolo 600 GWh. V roce 1977 činil v malých vodních elektrárnách v České republice instalovaný výkon již jen 36 MW s výrobou 97 mil.kWh/rok. Tyto zdroje se podílely na celkové výrobě vodních elektráren jen 3,3%, přičemž ve výkonech to bylo pouze 2,5%. [1]

Většina malých vodních elektráren byla zrušena jen administrativní cestou. To znamená, že nebylo demontováno soustrojí ani jiné vybavení vodního díla. Po takovém zrušení nebylo možné čerpat prostředky na údržbu, a proto docházelo k devastaci jak strojovny, tak i jezových konstrukcí a náhonů. Ve většině oblastí by dnes bylo možné opět zahájit výrobu elektrické energie, což svědčí o velké životnosti těchto děl. Tomuto kroku by však musela předcházet rekonstrukce. Výše vložených finančních prostředků by záležela na míře zchátrání objektů náležících k elektrárně.

K rozvoji a obnově MVE v České republice po roce 1989 vedla hlavně změna politického systému a také přehodnocení ekonomických teorií minulých let. Hlavními důvody, které dnes vedou k obnově malých vodních elektráren je nižší náročnost technického řešení a současné dodavatelské možnosti. V současné době je v České republice v provozu asi 1400 MVE, a přesto není využit celý dostupný hydroenergetický potenciál vodních toků. Přibližně dvě třetiny z těchto provozovaných elektráren má výkon do 100 kW a jsou v soukromém vlastnictví.

3 Současný stav lokality

Objekt, ve kterém by měla být provedena rekonstrukce malé vodní elektrárny se nachází na jihovýchodě Plzeňského kraje v obci Dvorec u Nepomuka. Přesnou polohu lokality na mapě České republiky znázorňuje obrázek v Příloze č. 1.

Budova bývalé továrny na oleje, ve které byla strojovna malé vodní elektrárny, je postavena u hráze Panského rybníka. Panský rybník spadá do povodí řeky Úslavy. Úslava je pravostranným přítokem Berounky, do které ústí v Plzni. Její délka je 94 km a odvodňuje jihovýchodní část Plzeňska. Úslava pramení v Plzeňském kraji v Plánické vrchovině u obce Číháň pod kopcem Drkolná ve výšce 695 m. n. m. Průměrný průtok korytem řeky u ústí je 3,62 m^3/s. Plocha celého povodí je 757 km^2. Úslava v minulosti napájela až 400 rybníků a dnes jich je stále přes 250.

Údolní niva Úslavy nabízí z plzeňských řek nejlepší podmínky pro přirozenou migraci rostlin a živočichů přes území města. Oblast soutoku Úslavy a Berounky pak tvoří významnou křižovatku na údolní migrační trase mezi Plzeňským a Křivoklátským bioregionem. Úslava protéká převážně zemědělsky využívanou krajinou s mnoha sídly, některými dosud bez čistíren odpadních vod, což se negativně projevuje v čistotě její vody. Kvalita vody v Úslavě je proto v základních ukazatelích hodnocena převážně ve III. třídě jakosti (znečištěná voda). To platí zejména v létě, za nižších průtoků a vyšších teplot. Kvalita vody v Úslavě se však dlouhodobě mírně zlepšuje. [2]

3.1 Historie

V první polovině 18. stol. vznikla osada nazvaná Železná huť, která vyrostla okolo železáren pod hrází Panského rybníka. První dochované zmínky o železných hutích se datují do 16. století. Osada Železná huť byla později spojena s osadou Dvorec, který byl roku 1961 připojen k městu Nepomuk. Výroba železa ve vysoké peci byla ukončena roku 1871, ale pracovní činnost připojených hamrů trvala až do roku 1885.

Na počátku 20. století byla v areálu postavena výrobna řepkového oleje. Podnik vlastnila firma bratří Eisenschimlových z Plzně. Firma dostala dne 4. září 1912 povolení k výstavbě turbíny a ostatních zařízení. Turbína byla typu Francis. Opis povolení je součástí přílohy č. 2.

Po roce 1920 byl zřízen pod hrází Panského rybníka panem Václavem Šmerákem nový mlýn, který byl postaven právě na místě továrny na výrobu řepkového oleje. Roku 1942 nechal mlynář zrekonstruovat svůj mlýn. Na místo staré Francisovy turbíny z roku 1910

nechal nainstalovat turbínu novou. Návrh nové moderní kolenové Francisovy turbíny a jejího příslušenství provedla firma Josef Prokop a synové z Pardubic. Hydrotechnický výpočet firmou byl proveden roku 1938. Mlýn pracoval s novou kolenovou Francisovou turbínou od roku 1941. Turbína poháněla všechny stroje ve mlýně, kterými byly válcové stolice, šrotovník, oddělovač, loupačka, reforma, rovinný vysévač a mísidlo na mouku. Dále pak byly ve mlýně výtahy a čistící stroje. Součástí spisu z vodoprávního kolaudačního řízení, který je součástí přílohy č. 3, byla i úmluva mezi mlynáři. Jelikož naproti budově mlýna byla i budova bývalé továrny na oleje, ve které také byla umístěna turbína, dohodl se mlynář Šmerák s ostatními mlynáři, že v provozu bude vždy jen jedna turbína. Důvodem pro tuto úmluvu byly stížnosti od mlynářů nacházejících se po proudu pod mlýnem ve Dvorci - Železné Huti. Předmětem sporu byl příliš velký odtok vody od obou turbín, který činil 1240 $l*s^{-1}$.

I když bylo mlynáři Šmerákovi ve zprávě z kolaudačního řízení povoleno užívání Francisovy turbíny na 90 let, nebyla turbína v pracovním vytížení déle než 6 let. V roce 1948 totiž dostihl mlýn stejný osud jako většinu soukromých podniků v této době. Byl znárodněn. Během 50. let se veškerá výroba ve mlýně zastavila. Do rukou původních majitelů se mlýn dostal až po změně politického režimu v roce 1989. V období těchto čtyř desetiletí celé vodní dílo postupně chátralo. Veškeré vybavení pro výrobu elektrické energie bylo nenávratně ztraceno. Turbína byla zřejmě roztavena v hutích a ostatní zařízení byla demontována a převezena do jiných provozů. Tomuto postupu se v 50. letech minulého století odborně říkalo uvedení do „neškodného stavu“.

3.2 Vodní dílo

3.2.1 Jez

Jez, ze kterého je odváděna voda náhonem k Panskému rybníku, je hlavním vzdouvacím objektem vodního díla. Nachází se zhruba na 59. říčním kilometru řeky Úslavy. Jedná se o pevný jez tvořený z lomového kamene. Koruna jezu je lomená a jeho dvě ramena svírají úhel přibližně 140°, každé rameno má délku 9 metrů. Ve vývařišti je navezen kamenný zához. Názorný pohled na jez podává obrázek č. 3.2.1.

Obr. 3.2.1 Pevný jez

3.2.2 Propust a náhon

Na levé straně pevného jezu se nacházejí dvě propusti. První propust je v provozu pouze tehdy, když probíhají na jezu opravné práce a druhá propust pouští vodu ze zdrže do náhonu Panského a Huťského rybníku. Obě propusti jsou hrazeny pomocí stavidel a jsou ovladatelná pouze ručně. Stavidla jsou konstruována z ocelových U profilů. Ocelový profil U-100 slouží jako vodící drážka pro dřevěná 120 cm široká a 230 cm dlouhá stavidla. Náhonovou propust ukazuje obrázek č. 3.2.2.

Obr. 3.2.2 Propust k náhonu

Náhon odbočuje na levém břehu jezu. Jeho celková délka je 1580 metrů. Ve vzdálenosti asi 1,32 km od propusti protéká voda skrz objekt bývalého Panského mlýna, který byl poháněn vodním kolem. Po přibližně 90 metrech dochází k rozdělení koryta náhonu na dvě. Jedna větev ústí po 170 metrech od rozdělení do Panského rybníka. Druhá větev se po 30 metrech opět dělí na dva proudy. Oba proudy jsou přibližně 110 metrů dlouhé. Jeden proud ústí do řeky Úslavy a druhý proud tvoří druhý přítok do Panského rybníku. Koryto náhonu je v celé své délce 2 až 2,5 metru široké, jeho břehy nejsou nijak zpevněny, ale jsou lemovány keři a listnatými stromy. Nejpočetnějšími zástupci listnatých stromů jsou dub zimní, topol osika a vrba jíva.

3.2.3 Huťský rybník a vtokový kanál

Panský rybník tvořil přirozenou zdrž pro bývalý mlýn. Nyní patří pod správu firmy Klatovské rybářství a.s. a je využíván k chovu ryb. V případě vypuknutí požáru slouží jako požární nádrž. Na levém břehu, přibližně 5 metrů od hráze, je propust, která slouží jak pro odvod jalové vody, tak k odvodu asanačního průtoku. Rybník je rozdělen vysokým náspem železniční tratě vedoucí z Českých Budějovic do Plzně na dvě části. Větší část se rozkládá na ploše 3,3 ha a menší část, místními obyvateli nazývaná Huťský rybník, má necelých 0,75 ha. Spojení obou částí je zajištěno 3 metry širokým kamenným viaduktem. Břehy Huťského rybníku jsou vysypány lomovým kamenem a jsou hojně porostlé listnatými stromy. Ty zde byly v minulosti vysázeny, aby plnily zpevňující funkci. Pohled na Huťský rybník, železniční násep a požární napouštěcí savku podává obrázek č. 3.2.3.

Obr. 3.2.3 Huťský rybník, pohled od hráze

Vtokový kanál je umístěn v levé polovině hráze Huťského rybníku. Kanál má obdélníkový průřez, je 100 cm vysoký a 80 cm široký. Kanál má betonový povrch po celé své délce. Pokud byl mlýn v provozu, přiváděl tento 17 metrů dlouhý kanál vodu do kašny, kde byla umístěna horizontální Francisova turbína.

Obr. 3.2.4 Vtokový kanál

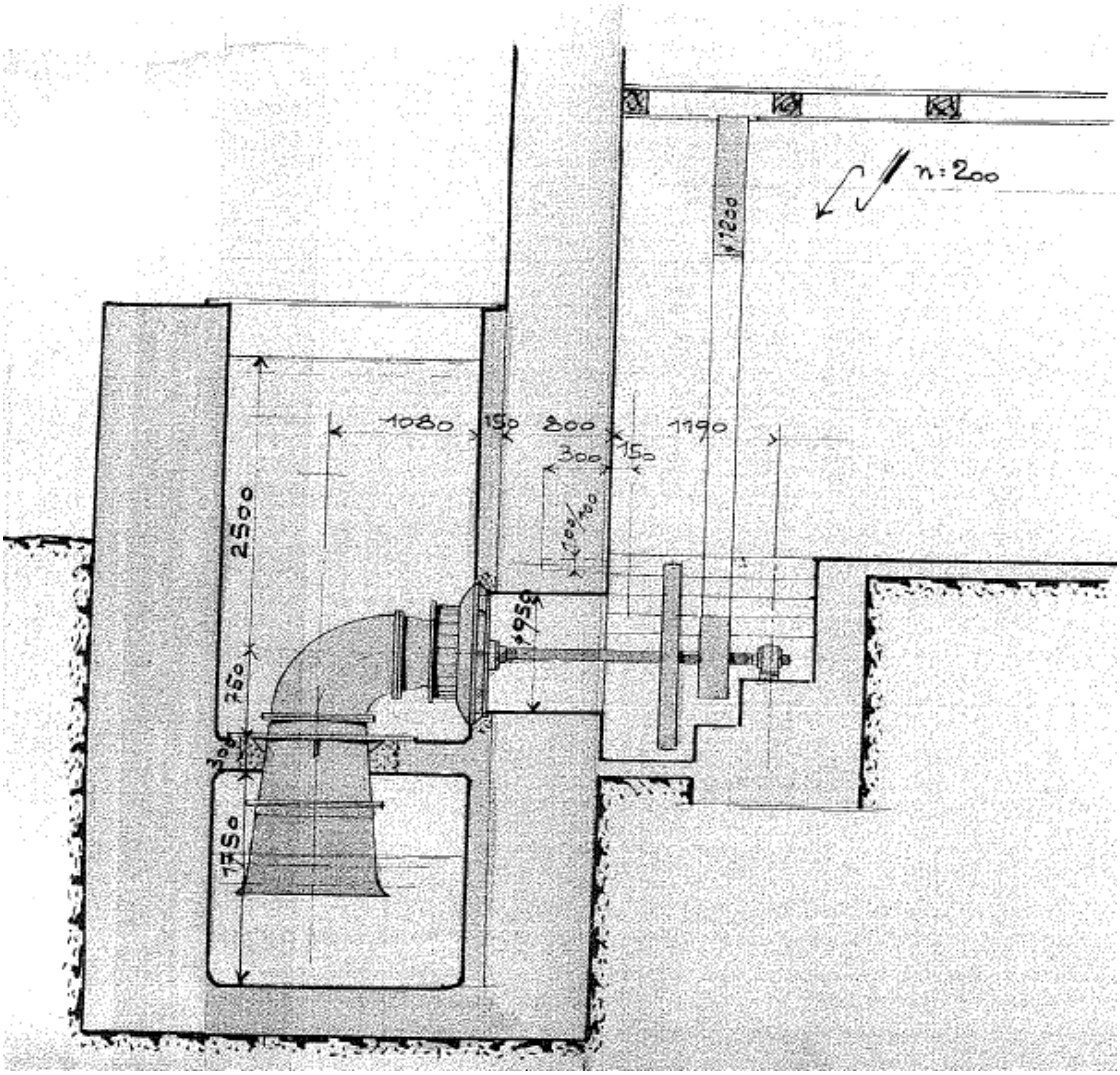
3.2.4 Objekt MVE a odpad

Objekt MVE je ze stavebního hlediska v celkem zachovalém stavu. V bývalé budově mlýna se nacházelo srdce celého vodního díla - tím byla na dně kašny uložená horizontální Francisova turbína s mokrou savkou. Řez kašnou a turbínou ukazuje obrázek č. 3.2.5. Původní výkres je součástí přílohy č. 4.

Parametry lokality a tehdy nové turbíny:

- **spád** **4,25 [m]**
- **průměr oběžného kola** **500 [mm]**
- **počet rozváděcích lopatek** **14**
- **výška rozváděcích lopatek** **185 [mm]**

- **hltnost turbíny** **640 [l * s^{-1}]**
- **otáčky** **355 [ot * min^{-1}]**
- **účinnost turbíny** **0,75 [-]**
- **výkon turbíny** **27,2 [HP] = 20,283 [kW]**



Obr. 3.2.5 Řez kašnou – původní nákres

Z obrázku je patrné, že na konci hřídele vedoucí od turbíny byla ve strojovně připevněna řemenice, která přes převod předávala energii vody asynchronnímu generátoru. Ten vyráběl elektrickou energii tolik potřebnou pro pohon všech zařízení sloužících k produkci mouky. Je velkou nevýhodou, že se nepovedlo dochovat žádnou další dokumentaci, která by se týkala například elektrotechnického vybavení strojovny.

Na vývařiště navazuje odpadní kanál, jež odváděl vodu, která předala svoji energii turbíně zpátky do koryta řeky Úslavy. Využitý proud vody se mísí s říční vodou po 120

metrech délky. Dno kanálu je prvních 50 metrů dlážděno kamenem, dále už není nijak zpevněno. Kanál se od konce dláždění plynule rozšiřuje až do maximální šíře 2,5 m.

4 Návrh rekonstrukce MVE

Jak bylo již zmíněno ve třetí kapitole, mlýn byl uveden do neškodného stavu. Jelikož není v budově žádné zařízení, které by bylo v provozu, nejedná se tedy o rekonstrukci malé vodní elektrárny, ale spíš je to snaha o její obnovení. Dnešní majitelka bývalého mlýna, vnučka mlynáře Šmeráka, se začala zajímat o opětovné uvedení do provozu v roce 2009. Pro případnou rekonstrukci MVE už má připravena všechna povolení, která úřady vyžadují. Poslední překážkou, která zatím hatí veškeré snahy majitelky, je neustálý odmítavý postoj ze strany Klatovského rybářství a.s. správce Panského a Huťského rybníku.

4.1 Hydroenergetický potenciál

Pokud chceme stanovit hydroenergetický potenciál v nějaké lokalitě, potřebujeme znát několik důležitých parametrů. Pro vodní dílo, které využívá vodní energii v této lokalitě, musí být soustředěn spád při dostatečném průtoku. Hrubý hydroenergetický potenciál povrchových toků vychází nejen z nadmořských výšek daných lokalit, ale také z průměrných průtoků. Stanovení hrubého hydroenergetického potenciálu se provede pomocí následujícího vzorce.

$$P = g * Q * H = 9{,}81 * Q * H \; [kW] \tag{4.1}$$

Pomocí vzorce (4.1) se vypočítá teoretická hodnota hydroenergetického potenciálu vodního díla v dané lokalitě. Pokud bychom dosadili do vzorce hodnoty pro zvolenou lokalitu, vyjde potenciál 39,35 kW. Skutečná hodnota hydroenergetického potenciálu však bude menší, neboť nejsou brány v úvahu ztráty, které se u reálného vodního díla vyskytují. Jako příklad těchto ztrát lze uvést ztráty v česlech, ztráty na vtoku do kašny turbíny, ztráty v odpadu a jiné.

Hodnota Q vyjadřuje průtok a je dosazována v m^3*s^{-1}. Průtokem je nazýváno množství vody, které proteče určitým profilem vodního toku za časovou jednotku.

Spád H vyjadřuje rozdíl hladin vody v nádrži nebo zdrži nad vodní elektrárnou a odpadem pod vodní elektrárnou, udáváme ho v metrech. Provozovatel smí využít jen spádu mezi místy, která jsou stanovena vodním právem. V tomto případě hovoříme o hrubém spádu

H_b, který je často označován jako celkový spád. Ten je dán rozdílem hladin nad a pod vodním dílem.

Při posuzování hydroenergetického potenciálu nám také pomůžou hydrologická data, která za úplatu poskytne Český hydrometeorologický ústav. Pro lokalitu Dvorec u Nepomuku stanovila plzeňská pobočka ČHMÚ tato data:

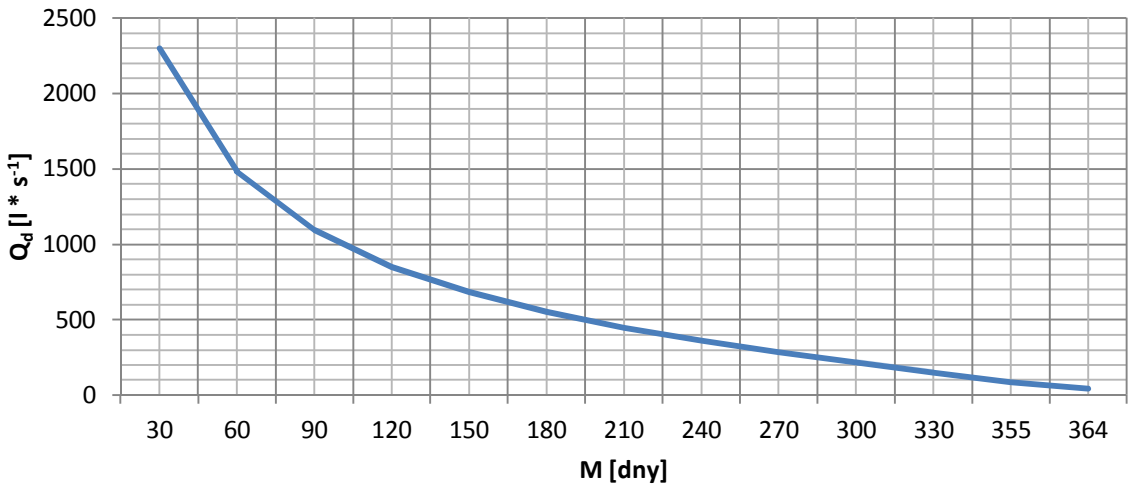
- **Tok: Úslava**
- **Profil: nad náhonem u obce Klášter; Ř km 56,5**
- **Plocha povodí v km^2: 172,27**
- **Průměrná dlouhodobá roční výška srážek v mm: 658**
- **Průměrný dlouhodobý roční průtok v l*s^{-1}: 944 třída II.**
- **M – denní průtoky[l*s^{-1}]**

Tab. 4.1 *Tabulka M-denních průtoků*

M [dny]	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q_d [ls^{-1}]	2301	1484	1095	852	683	553	449	363	287	218	152	86	42

Z tabulky 4.1 je možné vyčíst jaké průměrné průtoky za kolik dní se ve Dvorci u Nepomuka vyskytují. Z údajů uvedených v tabulce 4.1 můžeme stanovit a vypočítat důležité parametry, které jsou definovány v normě ČSN 75 1400. Pomocí těchto hodnot je možné sestrojit tzv. odtokovou křivku. Odtoková křivka pro lokalitu je zobrazena na grafu 4.1.

Graf 4.1 Odtoková křivka – MVE Dvorec



Parametry průtoků pro lokalitu Dvorec u Nepomuka:

- **Průměrný dlouhodobý roční průtok** **Q [l*s^{-1}]**
- **Asanační průtok** **$Q_{min} = Q_{330d}$ [l*s^{-1}]**
- **Návrhový průtok VE** **$Q_{VE} = Q_{Tmax} = Q_{90d}$ [l*s^{-1}]**
- **Minimální průtok turbínou** **$Q_{Tmin} = Q_{270d}$ [l*s^{-1}]**
- **Využitelný průtok** **$Q_v = Q_d - Q_{min}$ [l*s^{-1}]**

Asanační průtok se volí shodný s průměrným průtokem za 330 dní. Tento minimální průtok musí být stále zanechán v korytě řeky za účelem zlepšování kyslíkové bilance toku. Návrhový průtok Q_{VE} je podle [1] vhodné volit blízký devadesátidennímu průměrnému průtoku. Tato hodnota byla zvolena i jako maximální průtok turbínou. Z toho vyplývá, že hltnost turbíny bude zvolena podle tohoto údaje.

Podle výše zmíněných vzorců jsou vypočítány všechny hodnoty v následujících tabulkách a grafech.

Tab. 4.2 *Tabulka využitelného průtoku v MVE Dvorec*

M [dny]	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q_V [l*s^{-1}]	2139	1322	933	690	521	391	287	201	125	56	0	0	0

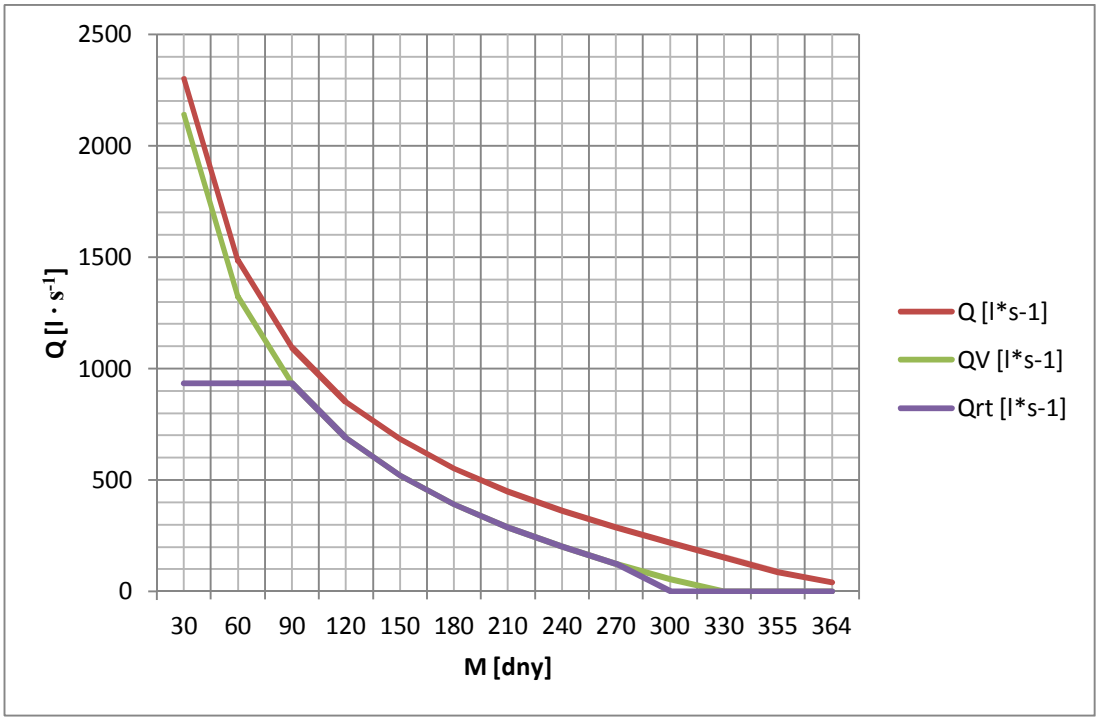
V tabulce 4.2 jsou vypočítány průměrné využitelné průtoky za stanovený počet dní pro pozorované místo. Nyní už zbývá jen porovnat využitelný průtok Q_V s předběžným regulačním rozsahem turbíny.

Tab. 4.3 *Závislost průtoku na regulačním rozsahu turbíny*

M [dny]	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q_{rt} [l*s^{-1}]	933	933	933	690	521	391	287	201	125	0	0	0	0

Tabulka 4.3 dává přehled průměrných průtoků, které budou přivedeny na lopatky turbíny. Uvedené hodnoty je nutno respektovat při stanovení vhodného druhu turbíny pro určenou oblast. Pokud bude průtok větší než $Q_{Tmax,}$ zůstane nevyužit a odteče jalovým odpadem. Pokud v opačném případě dojde k poklesu průtoku pod Q_{Tmin}, dojde o odstavení turbíny a výroba energie se v malé vodní elektrárně zastaví.

Graf 4.2 Celkový, využitelný průtok – MVE Dvorec



4.2 Výpočet výkonu a vyrobené energie v MVE Dvorec

Hydroenergetický potenciál nebo též teoretický výkon se vypočítá pomocí vztahu 4.1. Tento výpočet je velice nepřesný, neboť nejsou brány v úvahu žádné ztráty. Taková úvaha není možná. Proto pro přesnější výpočet musíme zahrnout ztráty čili účinnosti jednotlivých částí soustrojí vyrábějícího elektrickou energii. Výkon celého soustrojí stanovíme podle vzorců:

$$P_{teor} = \mathrm{g} * k * Q * H \ \ [\mathrm{kW}] \tag{4.2}$$

nebo

$$P_S = g * Q * H * \eta_T * \eta_P * \eta_G \ \ [\mathrm{kW}] \tag{4.3}$$

kde k je konstanta, která respektuje všechny ztráty a pro výpočet výkonu pro MVE se volí z rozsahu 5 až 7. Nejpřesnější výpočet výkonu celého soustrojí P_S se provede pomocí vzorce 4.3, který zahrnuje účinnost turbíny η_T, účinnost převodu η_P a účinnost generátoru η_G.

Účinnost turbíny je dána nejen typem turbíny, ale také její velikostí. Značný vliv má také konstrukční materiál. Dnešní turbíny dosahují účinnosti v rozmezí hodnot 0,8 – 0,96.

Účinnost převodu momentu hřídele turbíny na hřídel hydroalternátoru dosahuje v případě použití ozubených převodů 0,94 – 0,97. Pokud je moment přenášen pomocí řemenových převodů, dosahuje se účinnosti v rozsahu 0,92 – 0,98.

Účinnost hydroalternátorů dosahuje hodnot 0,95 – 0,98.

Pokud by MVE nepracovala v ostrovním režimu a dodávala by energii do sítě, museli bychom stanovit výkon celého vodního díla. To by znamenalo započítat do součinu ve vzorci 4.3 ztráty vlivem transformace napětí.

Za předpokladu, že elektrárna spotřebuje veškerý využitelný průtok můžeme pomocí vzorce 4.2 vypočítat vyrobenou energii jako:

$$E_V = P * t \text{ [kWh]} \tag{4.4}$$

Tab. 4.4 *Vyrobená energie v závislosti na využitelném průtoku v MVE Dvorec*

M [dny]	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q_V [l*s^{-1}]	2139	1322	933	690	521	391	287	201	125	56	0	0	0
E_V [kWh]	45817	28317	19985	14780	11160	8375	6148	4305	2678	1200	0	0	0

Tabulka 4.4 ukazuje množství vyrobené energie za jednotlivé časové období roku. Teoretickou roční vyrobenou energii získáme jako součet všech dílčích energií. Použijeme tedy vzorec 4.4 a získáme hodnotu E_{teor}= 142 764,3 kWh/rok.

$$E_{teor} = \sum E_V \text{ [kWh]} \tag{4.4}$$

Tab. 4.5 *Vyrobená energie v MVE Dvorec*

M [dny]	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q_{rt} [l*s^{-1}]	933	933	933	690	521	391	287	201	125	0	0	0	0
E_{rt} [kWh]	19985	19985	19985	14780	11160	8375	6148	4305	2678	0	0	0	0

U hodnot v tabulce 4.5 jsme použili stejný postup při výpočtu jako v předchozím příkladu. Zde jsme, ale respektovali mezní hodnoty průtoků pro provoz turbíny. Poté jsme opět obdrželi roční vyrobenou energii E_s = 107 399,9 kWh.

Když dáme hodnoty ročních energií do poměru, získáme tzv. součinitel využitelnosti instalovaného výkonu vodní elektrárny. Tuto bezrozměrnou hodnotu vypočítáme podle vztahu 4.5.

$$K_{využ} = \frac{E_S}{E_{teor}} = \frac{107399,9}{142764,3} = 0,75 \quad \text{[kWh]} \tag{4.5}$$

4.3 Návrh turbíny a příslušenství

I přes to, že se v našem případě jedná spíše o znovuobnovení činnosti bývalého vodního díla, nevyhneme se nutnosti rekonstrukce jeho některých částí. Hlavním hlediskem veškerých uvažovaných úprav na MVE bude ekonomická stránka.

4.3.1 Vtoková a odpadová část MVE

První částí, kterou je zapotřebí zrevidovat, je vtokový kanál. Na začátku kanálu, tzn. na hrázi Huťského rybníka úplně chybí hrubé česle, které zabrání větším předmětům, jakými jsou například větve nebo kusy dřeva či PET lahve, vstupu do turbíny a tím i jejímu poničení. Instalace hrubých česlí si vyžádá jen mírné stavební úpravy. Jednalo by se o zapuštění dvou až tří ocelových U-profilů do dna kanálu. Dále je třeba v této části obnovit stavidlo, které by v případě potřeby zamezilo průtoku vody do objektu MVE. Jemné česle budou součástí celkové dodávky od firmy, která bude realizovat strojní vybavení MVE.

Další úpravy budeme provádět na odtokovém kanálu. Zde bude zapotřebí upravit koryto v délce zhruba 70 metrů. Odstranit veškeré překážky jako stromy, keře atd..

Revizí musí projít také kašna, která je nyní zakryta železobetonovým panelem. Pokud nebude stav dna a stěn v pořádku, bude nutná jejich úprava, což si vyžádá další investice.

4.3.2 Turbína

Jelikož po turbíně, která sloužila ve mlýně před jeho uzavřením, zbyla jen příruba ve stěně kašny, máme možnost vybrat si několik variant řešení. Z hlediska nejmenších stavebních zásahů a úprav bych doporučil instalaci Kaplanovy turbíny v horizontálním provedení. Kaplanova turbína je přetlaková axiální turbína s velmi dobrou možností regulace. Využití pro tento typ najdeme především v místech, kde není možné zajistit stálý průtok. Od Francisovy turbíny, se liší především menším počtem lopatek. Většinou má 3 nebo 4 lopatky. Dále má jiný tvar oběžného kola. Její hlavní předností je možnost regulace náklonu lopatek u oběžného i rozváděcího kola. Mírnou nevýhodou je její vyšší cena. Důvodem k tomu je celkem velká složitost rozváděcího kola. Francisova turbína je v současnosti nasazována na vyšší spády, pro spády do 10 metrů mají jiné typy turbín lepší účinnost.

Velikost oběžného kola bychom volili buď shodnou s velikostí u předešlé Francisovy turbíny, nebo větší. Turbína by pak měla větší výkon, ale byla by zde zase nutná úprava již postavené kašny. Regulace průtoku vody do kašny bude sledována pomocí hladinového snímání. Pokud hladina vody v rybníku klesne k minimální povolené hodnotě, bude turbína odstavena z provozu.

4.3.3 Příslušenství

Pro zvolený typ turbíny bude nejvhodnější instalace asynchronního generátoru. Použijeme ho proto, že je spolehlivý, jednoduchý a má minimální nároky na údržbu. Bez nutnosti úprav lze použít jako asynchronní generátor téměř každý asynchronní elektromotor s kotvou nakrátko. Poněvadž bude generátor dodávat vyrobenou energii rovnou do sítě, není nutné ho složitě fázovat. Generátor také nevyžaduje žádnou regulaci napětí nebo frekvence. Jediným problémem tohoto stroje je, že při generátorickém režimu chodu odebírá ze sítě jalovou složku proudu. Proto je nutné řešit kompenzaci jalového výkonu stroje, aby odběr jalové složky proudu byl co nejmenší. S připojením soustrojí k síti by neměl být větší problém. V celé budově je rozveden třífázový rozvod o sdruženém napětí 400V.

Pro celé soustrojí bude vhodná automatická obsluha. To se samozřejmě projeví na vyšší pořizovací ceně, ale v dnešní době je ruční regulace a obsluha nevhodná. Řízení MVE bude možné provést jak pomocí webového rozhraní, tak pomocí GSM. Výběr technologie budeme volit podle požadavku majitele.

5 Výpočet návratnosti

5.1 Nabídka CINK Hydro – Energy k.s.

Firma CINK Hydro – Energy se zabývá návrhem a výrobou technologií pro MVE. Je jednou z mála světových společností, které disponují potřebnými vědomostmi pro uskutečnění technicky perfektně zajištěných dodávek všech významných typů turbín, jako je turbína Crossflow (průtoková), Kaplanova, Peltonova a Francisova, a to až do výkonu 3 MW na jednotku.

Firma vybrala jako nejvhodnější variantu pro lokalitu MVE Dvorec u Nepomuka svojí dvoukomorovou průtokovou turbínu s průměrem oběžného kola 500 mm a šířkou cca 1,3 metru. Součástí dodávky by v tomto případě bylo kompletní příslušenství, ocelová savka, hydraulická regulace, řemenový převod, asynchronní generátor, plně automatizovaný řídící systém a nízkonapěťový rozvaděč. Přibližný očekávaný výkon na turbíně je 31 kW, na generátoru cca 27 kW.

Průtoková turbína je radiální, mírně přetlaková turbína s tangenciálním ostřikem lopatek oběžného kola a s horizontální hřídelí. Podle specifických otáček patří k pomaloběžným turbinám. Proud vody usměrňuje rozváděcí ústrojí tak, že vstupuje lopatkovým věncem do vnitřního prostoru oběžného kola a pokračuje dále druhým průtokem lopatkovým věncem z vnitřku kola ven, do prostoru skříně turbiny. Ze skříně turbiny voda odtéká buď volně, nebo

savkou do vývaru pod turbinou. V praxi zajišťuje toto proudění vody v oběžném kole samočisticí efekt. Nečistoty, které se při vstupu vody do oběžného kola vtlačí mezi lopatky, jsou po polovině otáčky kola vytaženy odstředivou silou a protékající vodou opět ven z prostoru oběžného kola a odplaveny do vývaru. Pokud je množství vody ve vodním toku proměnlivé, je průtoková turbina stavěna jako dvoukomorová. Standardní rozdělení nátokových komor je v poměru 1:2. Užší komora zpracovává malý průtok vody a širší komora střední průtok vody. Obě komory dohromady zpracují plný průtok. Tímto rozdělením je množství vody využito v rozmezí plného průtoku až do jeho 1/6 s optimální účinností. Průtokové turbiny tímto způsobem velmi efektivně, s účinností přes 80%, využívají i velmi kolísavé průtoky řek. [6]

Nabídka obsahuje celkovou realizaci MVE. Předmětem dodávky bude:

- **Čistící stroj česlí s příslušenstvím**
- **Dvoukomorová průtoková turbína**
- **Potrubní a ocelové konstrukce**
- **Převodovka**
- **Asynchronní generátor**
- **Řídicí systém turbosoustrojí**
- **Nízko napěťový rozvaděč**
- **Hydraulické systémy**
- **Plán a projekt**
- **Montáž**

Předběžná cena realizace MVE: 1 850 000 Kč
Stavební úpravy kašny a strojovny: 200 000 Kč
Roční provozní náklady: 15 000 Kč
Celkové náklady: 2 065 000 Kč

Tab. 5.1 *Vyrobená energie v MVE Dvorec – průtoková turbína CINK*

M [dny]	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Qrt [$l*s^{-1}$]	933	933	933	690	521	391	287	201	125	0	0	0	0
E_V [kWh]	19295	19295	19295	14270	10775	8086	5935	4157	2585	0	0	0	0
P [kW]	26,80	26,80	26,80	19,82	14,96	11,23	8,24	5,77	3,59	0	0	0	0

Celková energie vyrobená za rok, podle vztahu 4.4: 103 693,8 kWh.
Výkupní cena za kWh pro rok 2012: 3,16 Kč

Výnos z produkce elektřiny MVE spočítáme podle vzorce 5.1:

$$C_{PR} = E_V * \mathrm{C_{min}} \text{ [Kč]} \tag{5.1}$$

kde

C_{pr} - jsou tržby MVE za rok [Kč]

E_v - je elektrická energie vyrobená v MVE za rok [kWh]

C_{min} – je minimální výkupní cena za dodanou el. energii [Kč/kWh]

Pokud dosadíme do vzorce 5.1, dostaneme hodnotu tržeb MVE za rok.

$$C_{PR} = 103\,693{,}8 * 3{,}16 = 327\,672 \text{ [Kč]}$$

Tato hodnota je pouze teoretická a musíme ještě brát v úvahu, že je počítáno s průměrně vodným rokem. Pokud nastane během roku období sucha a elektrárna nebude v provozu, budou roční tržby podstatně nižší.

Návratnost investice spočítáme jako podíl investované částky do rekonstrukce MVE a tzv. Cash – Flow, ve kterém jsou od celkových tržeb odečteny náklady na provoz MVE.

$$DN = \frac{IN}{CF} \text{ [roky]} \tag{5.2}$$

Dosadíme tedy do vzorce 5.2 a získáme dobu návratnosti investice.

$$DN = \frac{2050000}{327672-15000} = 6{,}56 \text{ [roku]}$$

Podle vypočítané hodnoty lze soudit, že se investované prostředky navrátí do 7 až 8 let. Dle současných standardů hodnocení investic se tedy jedná o dobrou investici, neboť průměrná doba návratnosti investice se dnes pohybuje okolo 10 let.

5.2 Nabídka DUMAT v.o.s.

Firma se zaměřuje na modernizace MVE, rekonstrukce MVE, opravy vodních turbín, převodů, instalaci nových generátorů, výrobu hrubých česel, jemných česel, strojů na čištění česel (stíracích strojů), dopravníků na odklizení shrabků, opravy a výrobu stavidel a hradidel. Při rekonstrukcích obměňují jen v tom rozsahu, jenž v porovnání s původním řešením podstatně zvyšuje užitnou hodnotu díla. Většinou jde o změny v uložení. Nahrazují uhlíkaté oceli za nerez materiály, tzn. činné plochy např. hřídelky lopatek rozváděcího kola, některý spojovací materiál apod.. Pro převody používají ploché řemeny nebo zubové řemeny. Generátory dodává firma Siemens.

Tato nabídka byla bohužel jen informativního typu. V případě zájmu vypracuje firma odborný projekt za poplatek přibližně 40 000 Kč. Pokud by se majitel MVE rozhodl pro realizaci MVE firmou Dumat, nebude mu částka za projekt účtována.

Parametry Kaplanovy turbíny GTU 475 budou následující. Velikost oběžného kola 475mm, hltnost 0,98 $m^3 * s^{-1}$, otáčky turbíny n_t 800 min^{-1}, výkon generátoru přibližně 30 kW.

Opět se bude jednat o kompletní dodávku, a jejími součástmi jsou:

- **Čistící stroj česlí s příslušenstvím** **100 000 Kč**
- **Kaplanova turbína horizontální** **850 000 Kč**
- **Asynchronní generátor** **60 000 Kč**
- **Automatický řídicí systém** **100 000 Kč**
- **Komplet elektročást** **300 000 Kč**
- **Montáž, doprava, zkoušky** **300 000 Kč**

Opět se jedná pouze o orientační ceny. U této realizace se nevyhneme drobným stavebním úpravám, které budeme muset přičíst k celkové ceně investice.

Předběžná cena realizace MVE: 1 710 000 Kč

Stavební úpravy kašny a strojovny: 100 000 Kč

Roční provozní náklady: 20 000 Kč

Tab. 5.2 *Vyrobená energie v MVE Dvorec – Kaplanova turbína – DUMAT – GTU 475*

M [dny]	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Qrt [$l*s^{-1}$]	933	933	933	690	521	391	287	201	125	0	0	0	0
E_V [kWh]	21439	21439	21439	15855	11972	8985	6595	4619	2872	0	0	0	0
P [kW]	29,78	29,78	29,78	22,02	16,63	12,48	9,16	6,41	3,99	0	0	0	0

Celková energie vyrobená za rok, podle vztahu 4.4: 115 215,3 kWh.
Výkupní cena za kWh pro rok 2012: 3,16 Kč

Nyní provedeme stejný postup výpočtu jako v předešlé podkapitole. Jako první hodnotu spočítáme celkový roční výnos z výroby elektrické energie podle vzorce 5.1.

$$C_{PR} = 115\,215{,}3 * 3{,}16 = 364\,080 \text{ [Kč]}$$

Dále už jen stanovíme dobu návratnosti investice do MVE podle vztahu 5.2.

$$DN = \frac{1810000}{364080-20000} = 5{,}26 \text{ [roku]}$$

Návratnost investice pro Kaplanovu turbínu vyšla mnohem lépe, než v případě průtokové turbíny od firmy Cink. Je to dáno tím, že generátor u Kaplanovy turbíny má větší výkon nebo také vyšší účinností Kaplanovy turbíny. Nevýhoda Kaplanovy turbíny, se kterou není při výpočtu návratnosti počítáno, spočívá v obtížnosti regulace při nízkých průtocích.

Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout vhodný typ turbíny pro malou vodní elektrárnu v lokalitě Dvorec u Nepomuka. K rekonstrukcím malých vodních elektráren nebo k jejich stavbě se dnes přistupuje stále častěji, protože se jedná o ekologicky čistý zdroj energie. V energetice se vodní elektrárny využívají k pokrytí poptávky po elektrické energii při denních špičkách. Dalším důvodem pro obnovu nebo stavbu nových malých vodních elektráren je nevyužitý hydroenergetický potenciál toků s menšími spády v České republice.

V práci je řešena vhodnost dnes vyráběných turbín pro rekonstrukci v dané lokalitě. Jako nejvíce vhodná, po spočítání teoretických hodnot vyrobené energie, se jeví Kaplanova turbína s horizontálním uspořádáním. Proto bylo osloveno celkem 6 výrobců Kaplanových turbín. Avšak jen 2 výrobci zaslali své cenové nabídky na realizaci rekonstrukce malé vodní elektrárny. Ostatní výrobci byli ochotni zpracovat návrh za poplatek nebo vůbec nereagovali. Práce tedy porovnávala jen dvě nabídky. Pokud bych měl vybrat vhodnou variantu a doporučit ji majiteli rekonstruované MVE, přiklonil bych se k nabídce firmy CINK Hydro – Energy k.s. Ačkoliv vyjde realizace této varianty dráž, bude vzhledem k výpočtu roční vyrobené energie vhodnější, neboť je schopna pojmout průtoky v rozmezí od 70 $l*s^{-1}$ až do 1000 $l*s^{-1}$. Další výhodou je, že firma CINK se zabývá výrobou průtokových turbín řadu let a dá se říci, že je v této oblasti jedničkou na českém trhu. V budoucnu by tedy neměl být problém s případnými opravami dodaného soustrojí. Větší nevýhodou tohoto řešení jsou stavební úpravy strojovny, které budou celkem náročné a z hlediska investice poměrně nákladné.

V současné době má majitel objektu jediný problém. Tím je zamítavý postoj, správce retenční nádrže (Panského a Huťského rybníku) Klatovského rybářství a.s., k obnově provozu MVE Dvorec u Nepomuka. Svoje stanovisko zdůvodňují nedostatečným přítokem vody do rybníka z náhonu, který přivádí vodu z 1,7 kilometru vzdáleného pevného jezu. Jinak veškerá povolení, která jsou nutná pro přípravu rekonstrukce, má majitel schváleny. Jediným krokem, který by vedl k posunu v této situaci, by byl zřejmě soudní spor.

Pokud v budoucnu dojde k dohodě mezi oběma stranami, bude možné začít s rekonstrukcí malé vodní elektrárny. Tato práce by pak mohla posloužit majiteli jako určitý náhled pro případnou rekonstrukci MVE.

Seznam literatury a informačních zdrojů

[1] GABRIEL, Pavel, ČIHÁK, František, KALANDRA, Petr, *Malé vodní elektrárny*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1998. 321 s. ISBN 80-01-01812-1.

[2] HAJŠMAN, Jan. *Průvodce naučnou stezkou Údolím Úslavy*. 1. vyd. Plzeň: Útvar koncepce a rozvoje města Plzně, 2011, 60 s. ISBN 978-80-260-0201-7.

[3] MELICHAR, Jan, Jan VOJTEK a Jaroslav BLÁHA. *Malé vodní turbíny*: *konstrukce a provoz*. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 1998, 299 s. ISBN 80-010-1808-3.

[4] ŠKORPIL, Jan a Milan KASÁRNÍK. *Obnovitelné zdroje energie*. Vyd. 1. Plzeň: Vydavatelství Západočeské univerzity, 1997, 101 s. ISBN 80-708-2384-4.

[5] HOLATA, Miroslav. *Malé vodní elektrárny*: *projektování a provoz*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002, 271 s. ISBN 80-200-0828-4.

[6] Cink Hydro - energy k.s. [online]. [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: http://www.cink-hydro-energy.com/cz/turbiny-ossberger?page=turbiny

[7] Vodní elektrárny. [online]. Poslední změna 1.5.2012. [Cit. 1.5.2012]. Dostupné z: http://www.spvez.cz/pages/voda.htm

[8] DUMAT v.o.s. [online]. [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: http://www.dumat.cz/ nabidka_mve.pdf

Seznam příloh

Příloha č. 1 – Poloha lokality na mapě

Příloha č. 2 – Povolení k výstavbě z roku 1912

Příloha č. 3 – Vodoprávní kolaudace turbíny

Příloha č. 4 – Nárys původní Francisovy turbíny

Příloha č. 5 – Hydrotechnický výpočet

Příloha č. 6 – Hydrologická data

Příloha č. 7 – Kaplanova turbína a dvoukomorová průtoková turbína

Přílohy

Příloha č. 1 – poloha lokality na mapě

Příloha č. 2 – povolení k výstavbě z roku 1912

OPIS.

C.k. okresní hejtmanství v Přešticích.

Č.25908. Dne 30.září 1912.

Ctěné firmě

bratří E i s e n s c h i m l o v é

v P l z n i .

/Zelenohorská továrna na oleje ve D v o r c i H u t i /.

Přihlížeje k výsledku kollaudačního řízení vykonaného dne 4.září 1912 schvaluji provedenou stavbu turbiny systemu Francisova při továrně Vaší na výrobu oleje ve Dvorci Huti jakož i zařízení čistících jam při této továrně,jelikož bylo shledáno,že zařízení tato provedena byla přesně dle schválených plánů a dle povolovacího výměru zdejšího ze dne 3.října 1910 č.j.23976,pokud se týče dle výměru ze dne 20.února 1911 č.j.4551.

Vzhledem ku přání panem zástupcem obce Dvorce Huti při řízení předneseném připomínám,že firmě Vaší nutno dbáti přísně všech opatření k zamezení požáru v továrně,by osada Železná Huť ležící při samé továrně této v případě vypuknutí požáru v továrně ohrožena nebyla.

C.k. okresní hejtman:

Příloha č. 3 – vodoprávní kolaudace turbíny

Uebersetzung - Překlad-.

Pan
Václav Š m e r á k ,
mlynář

D v o r e c , čp. 77.

Věc: Václav Šmerák, Dvorec čp. 77 - vodoprávní kolaudace turbiny.
Příl.: ∅/.

Podáním ze dne 15. května 1944 zažádal jste o vodoprávní kolaudaci Francis. turbiny povolené výměrem býv. okresního úřadu v Přešticích ze dne 29. července 1942, čj. 24.651/42.

K této žádosti provedl okresní úřad v Klatovech dne 13. září 1944 místní řízení, při němž bylo zjištěno toto:

Zřízení turbiny bylo povoleno Václavu Šmerákovi, mlynáři ve Dvorci čp. 77, výměrem okresního úřadu v Klatovech, pobočky v Přešticích, ze dne 29. července 1942, čj. 24.651/42. Komise zjistila, že podmínkám obsaženým v citovaném výměru bylo vyhověno, při čemž podmínka sub 2/ o udržování stavidel, jakož i přiváděcího a odpadového kanálu zůstává v platnosti.

Majitel mlýna čp. 16 ve Vrčení Josef Baroch, namítal při řízení, že by byl v provozování svého vodního práva v případě, že by byly obě turbiny /t.j. turbina povolená shora uvedeným výměrem ve mlýně čp. 77 a stará turbina v továrně na olej/ zároveň v chodu, poškozen a sice z toho důvodu, že by byl odtok vody od obou turbin příliš velký. Nová turbina má totiž hltnost 640 l/sec a stará turbina v továrně na olej 600 l/sec, tedy celkem 1240 l/sec, při čemž má jeho turbina hltnost jen 1050 l/sec. S ohledem na to, že má horní mlýn možnost stavení vody, znamenalo by větší množství vody pro něho jistou ztrátu vody.

Tato námitka nebyla vznesena při místním řízení konaném dne 15. června 1942, ačkoliv bylo toto řízení podle předpisu vyhlášeno a ačkoliv byl stěžovatel k tomuto řízení řádně pozván. Žadatel Václav Šmerák jest však ochoten, dodatečně vyjíti vstříc dole ležícím mlýnům a sice tak, že dobrovolně přejímá jako podmínku omezení, že nebude míti zároveň v provozu obě turbiny.

S ohledem na výsledek řízení a na návrh komise uděluji podle § 97 vodního zákona povolení k užívání hotové Francis. turbiny na 90 let.

Zároveň stanovím tento zápis do vodní knihy:

Rubr.2: Mlýn čp. 77 ve Dvorci, majitel Václav Šmerák, Dvorec čp. 77.

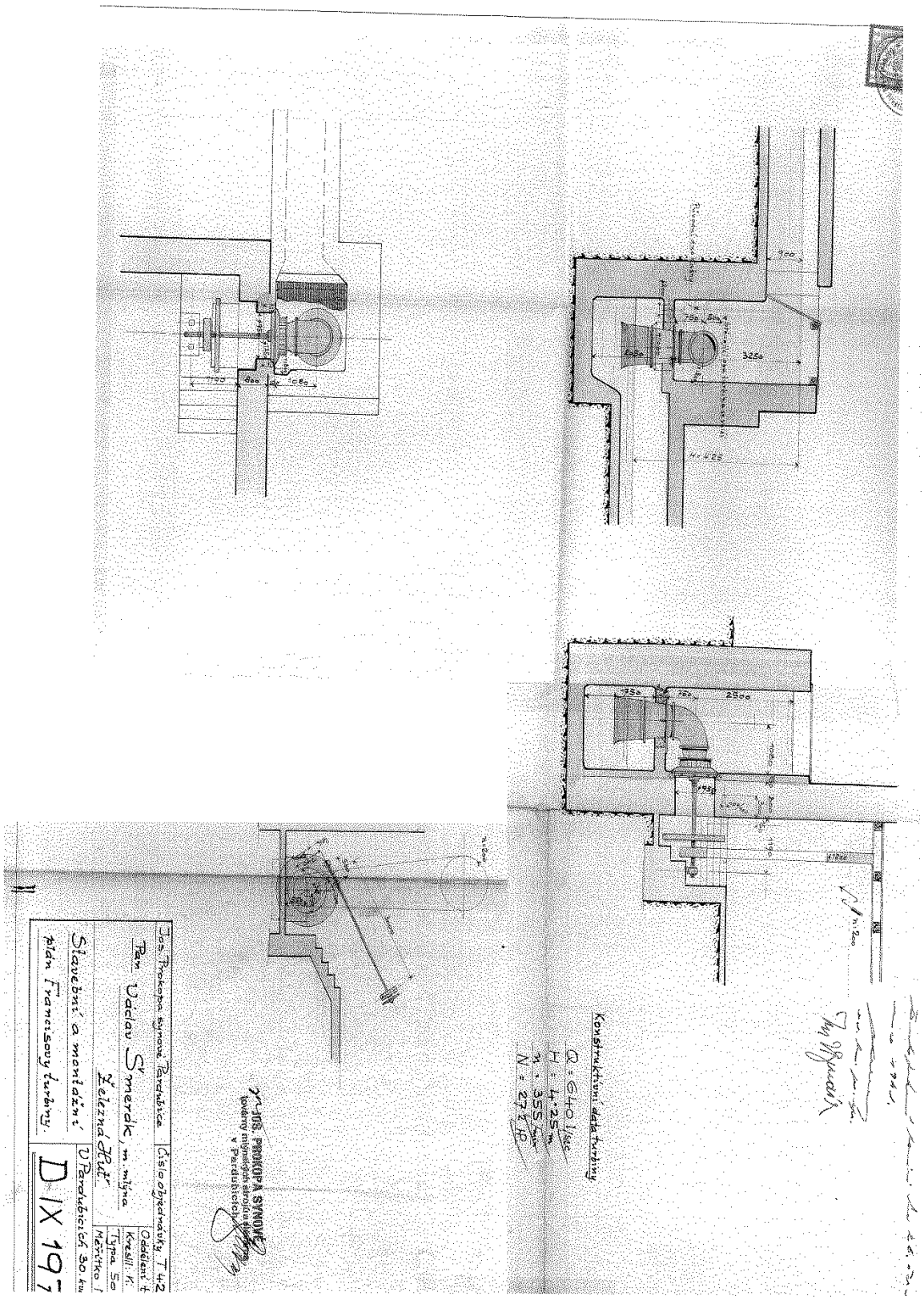
Rubr.3: K pohonu mlýna slouží Francisova turbina o hltnosti 640 l/sec, která pracuje při užitkovém spádu 4.25 m. Max. výkonnost turbiny jest 27.2 HP při koeficientu výkonnosti 0.75. Napříč hrází jest voda vedena zděným kanálem o profilu 80 x 100 cm. Lopatky jsou 1 m široké. Odpadová voda teče zpět do řeky Úslavy. Poháněcí stroje v mlýně jsou: válcová stolice 600 x 300 x 2, 700 x 300 x 1 a 700 x 220 x 1, šrotovník o prof. 40 cm. Oddělovač, loupačka, reforma /dvojitá/, rovinný vysévač a mísidlo na mouku. Kromě toho jsou tam výtahy a čistící stroje.

Rubr.4: Služebností není.

Rubr.5: Protokol sepsaný dne 15. června 1942, povolovací výměr okresního úřadu v Klatovech, pobočky v Přešticích ze dne 29. července 1942, čj. 24.651/42, Kolaudační protokol sepsaný dne 13./IX. 1944, kolaudační výměr okresního úřadu v Klatovech ze dne 18. září 1944, čj. 27.087/44 a plány

./.

Příloha č. 4 – Nárys původní Francisovy turbíny



Příloha č. 5 – Hydrotechnický výpočet

Vi./Ko.

Hydrotechnický výpočet

pro

pana Václava Š m e r á k a , majitele mlýna, Železná Huť u Nepomuk ,

kde se má vyměniti stará turbina "FRANCISOVA" z roku 1910 za novou moderní "FRANCISOVU" turbinu kolenovou, konstruovanou pro spád H = 4.25 m a má tyto rozměry :

Průměr oběžného kola . . . . . D =	500	*mm*
Počet rozváděcích lopatek . . . . . i =	14	
Největší otevření rozváděcích lopatek . . . . . a =	75	*mm*
Výška rozváděcích lopatek . . . . . b =	185	*mm*
Největší úhel posled. elementu lopatky kola rozváděcího s tangentou α =	40°	
Úhel posledního elementu lopatky kola oběžného s tangentou . . β =	166°	

Největší průtokový průřez ve výstupu vody z rozváděcího kola jest:

$F = i \times a \times b =$ 14 × 0.075 × 0.185 = 0.194 m^2

Rychlost vody v tomto průřezu jest:

$$C = \sqrt{\varepsilon\, g\, H}\ \sqrt{\frac{\sin\beta}{\sin(\beta-\alpha)\times\cos\alpha}}$$

kde ε = 0.8 a značí hydraulický stupeň účinnosti turbiny,

$g = 9{\cdot}81$ *m/sek²* a značí přirychlení zemské tíže.

Jest tedy $C = \sqrt{0.8 \times 9{\cdot}81 \times 4.25}\ \sqrt{0.393} =$ 3.63 *m* za vteřinu.

Největší množství vody, které může turbinou protéci, jest:

$$Q = \varphi \times F \times C,$$

kde φ = 0.91 a značí koeficient skutečného průtoku po odečtení ztrát při přechodu vody z kola rozváděcího do oběžného. — Jest tedy

$Q =$ 0.91 × 0.194 × 3.63 = 0.64 m^3/sec = 640 litrů za vteřinu.

Největší výkon turbiny jest:

$$N = \frac{1000 \times Q \times H \times \eta}{75}$$

kde η = 0.75 a značí účinnost vodní turbiny. 4.25

Jest tedy $N = \frac{1000 \times 0.64 \times 27.2 \times 0.75}{75} =$ 27.2 koňských sil.

V PARDUBICÍCH dne 1.června 1938.

Jos. Prokopa synové.

500. I. 1938.

Příloha č. 6 – Hydrologická data

Renata Trhlíková
Na Vinici 540
335 01 Nepomuk

ČHMÚ
pobočka Plzeň
Mozartova 41
32300 PLZEŇ

Vaše značka: Naše značka: P10531000520 Plzeň:19.7.2010

HYDROLOGICKÁ DATA

Na základě Vaší objednávky ze dne 12. 7. 2010 Vám zasíláme požadované hydrologické údaje pro

Tok: Úslava

Hydrologické číslo povodí: 1 – 10 – 05 – 013

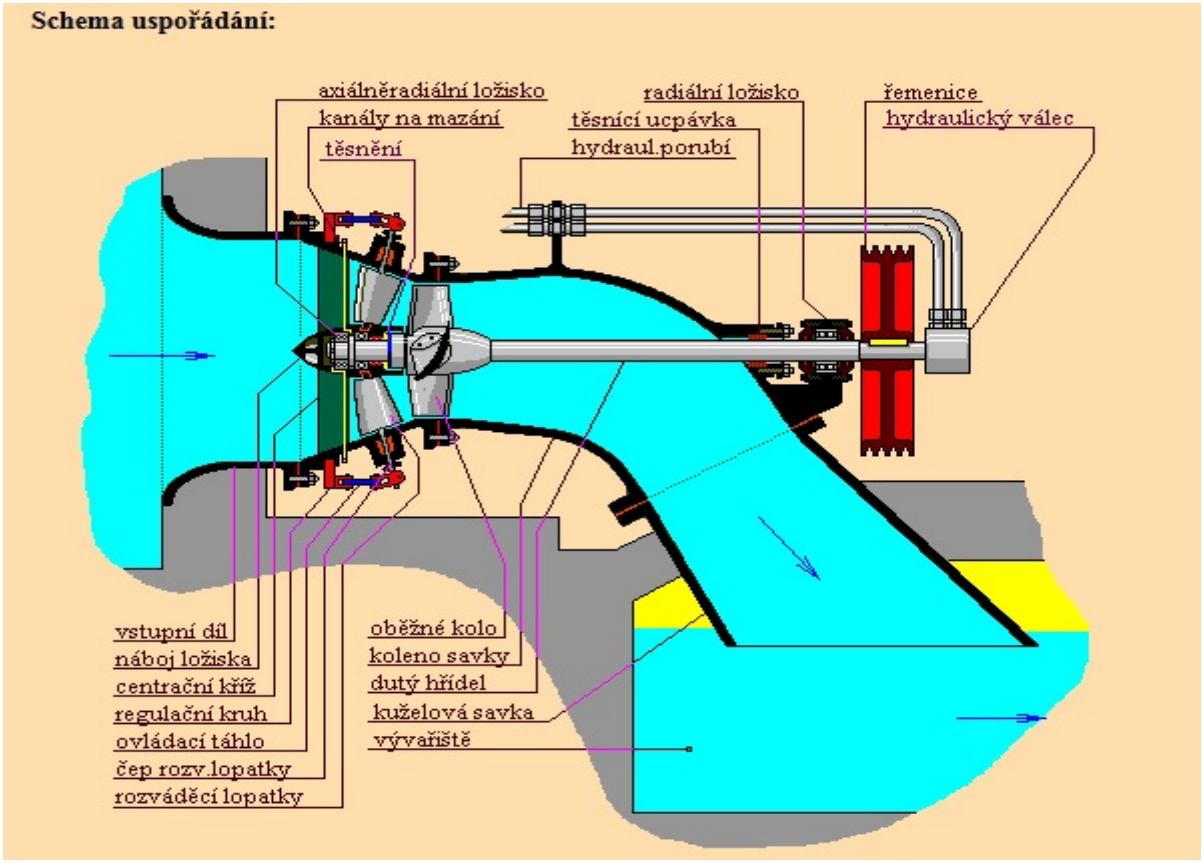
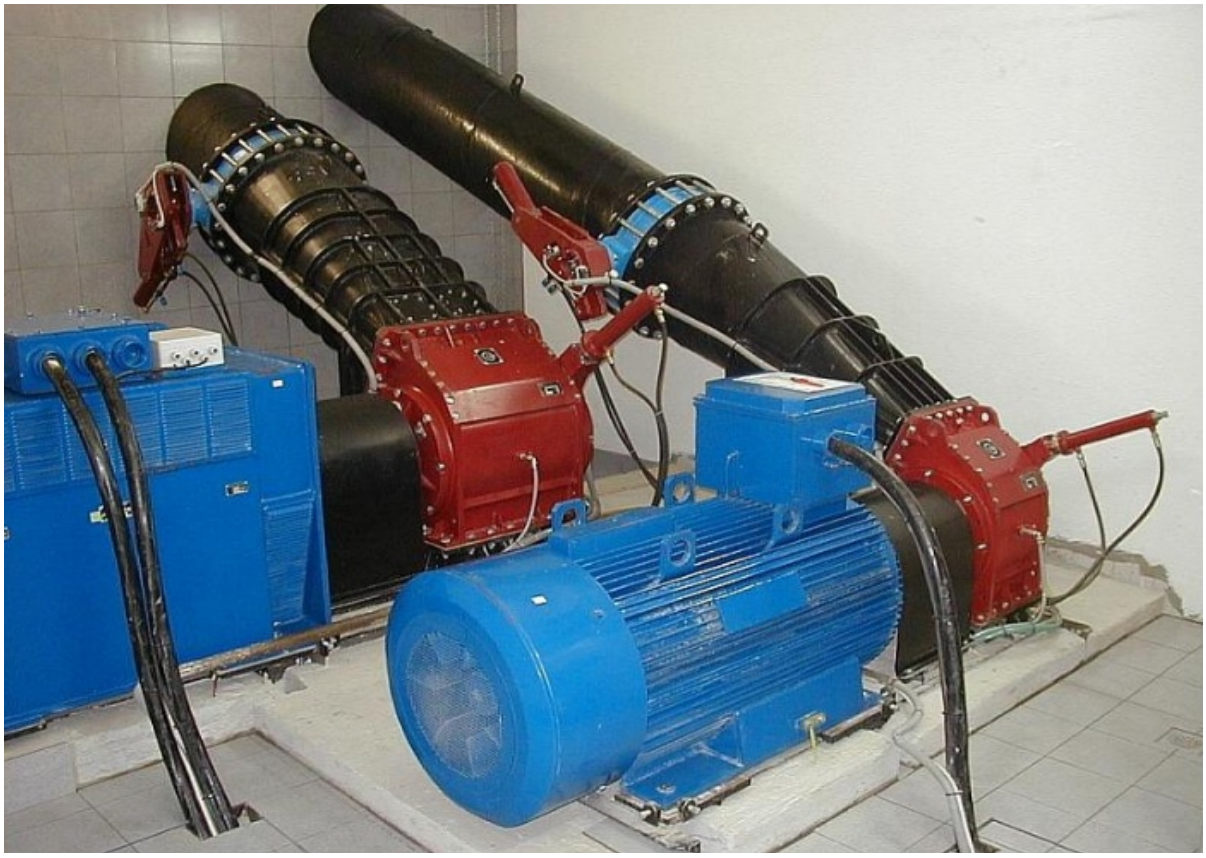
Profil: nad náhonem u obce Klášter; Ř km cca 56,5

1. Plocha povodí v km^2: 172,27

2.Průměrná dlouhodobá roční výška srážek v mm: 658

3. Průměrný dlouhodobý roční průtok v l.s^{-1} : 944 **třída: II.**

4. M-denní průtoky v l.s^{-1}

M	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364	třída
	2301	1484	1095	852	683	553	449	363	287	218	152	86	42	II.

Příloha č. 7 – Kaplanova turbína a dvoukomorová průtoková turbína