

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

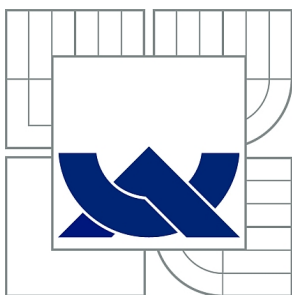
PŘESTAVBA MLÝNA NA MALOU VODNÍ ELEKTRÁRNU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

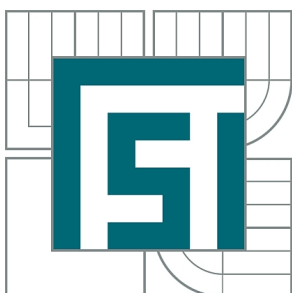
LUBOMÍR VAŠEK

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

PŘESTAVBA MLÝNA NA MALOU VODNÍ ELEKTRÁRNU

ADAPTATION OF THE WATER MILL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

LUBOMÍR VAŠEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MARTIN HUDEC

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Lubomír Vašek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Přestavba mlýna na malou vodní elektrárnu

v anglickém jazyce:

Adaptation of the water mill

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Stručný výčet užitečných funkcí a strojového vybavení původního mlýna doplnit popisem parametrů hydrodynamického stroje a jeho částí. Je vhodné pro zpracování na existující lokalitě.

Cíle bakalářské práce:

Seznámení se strojovým vybavením vodních elektráren malých výkonů. Základní představa o funkci, údržbě a renovaci malého vodního díla.

Seznam odborné literatury:

Gabriel, P. - Čihák, F. - Kalandra, P.: Malé vodní elektrárny, Praha, 1998.

Melichar, J. - Vojtek, J. - Bláha, J.: Malé vodní turbíny (konstrukce a provoz), Praha, 1998.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Hudec

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 27.10.2009

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Zpracovaná bakalářská práce popisuje adaptaci mlýna v Liboši na malou vodní elektrárnu. Jsou v ní shrnuty a objasněny základní principy, funkce a význam jednotlivých zařízení. Práce by měla především věci neznalému čtenáři poskytnout ucelený popis MVE a částečně ho zasvětit do problematiky s ní spojené.

Klíčová slova

Malá vodní elektrárna
Přestavba
Oběžné kolo
Turbína
Hladinová regulace

Abstract

This bachelor thesis deals with adaptation of a water mill in Liboš to a small hydro power plant. Basic principles, functions and significance of each device are summarized and explained there. The thesis should provide a coherent description of SHPP to a reader who is unfamiliar with the topic and initiate him into the problems partly.

Key words

Small hydro power plant
Adaptation
Turbine rotor
Turbine
Water level control

Bibliografická citace

VAŠEK, L. *Přestavba mlýna na malou vodní elektrárnu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 48 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Hudec.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Přestavba mlýna na malou vodní elektrárnu“ vypracoval samostatně podle svých znalostí a s použitím odborné literatury a zdrojů uvedených v seznamu, jenž je součástí této práce.

V Brně dne:

.....

Vašek Lubomír

Poděkování

Děkuji panu Ing. Martinu Hudcovi vedoucímu mojí bakalářské za kontrolu a vedení při jejím vypracování, za jeho čas a ochotu.

Dále děkuji mému otci panu Pavlu Vaškovi, že mě již od raného dětství zasvěcoval do provozu, funkce a technické stránky věci MVE Liboš a taktéž vyjadřuji vděk mojí rodině za podporu při studiích VUT FSI v Brně.

Obsah

| | |
|---|----|
| 1 Úvod | 9 |
| 2 Válcový vodní mlýn v Liboši | 10 |
| 2.1 Historie mlýna | 10 |
| 2.2 Uspořádání, strojové vybavení mlýna, provoz | 10 |
| 2.3 Zánik mlýna v Liboši | 11 |
| 3 MVE Liboš | 11 |
| 3.1 Lokalita MVE | 11 |
| 3.1.1 Jez Liboš | 12 |
| 3.1.2 Náhon | 13 |
| 3.1.3 Objekt MVE | 14 |
| 4 Přestavba mlýna v Liboši na MVE | 14 |
| 4.1 Soustrojí | 15 |
| 4.1.1 Francisova turbína | 15 |
| 4.1.1.1 Popis a význam částí, princip funkce | 15 |
| 4.1.1.2 Generální oprava | 19 |
| 4.1.1.2.1 Rozdělení stroje, zjištěný skutečný technický stav | 20 |
| 4.1.1.2.2 Oprava, výroba nových částí | 21 |
| 4.1.1.2.3 Montáž, seřízení | 23 |
| 4.1.2 Převody a generátory | 24 |
| 4.1.2.1 Převod palečnicovým kolem a klínovými řemeny | 24 |
| 4.1.2.2 Převodovka s kuželovým soukolím a převod klínovými řemeny | 26 |
| 4.1.2.3 Převod plochým řemenem | 28 |
| 4.1.3 Mechanismus regulace turbíny | 30 |
| 4.2 Elektroinstalace | 31 |
| 4.2.1. Elektrický rozvaděč, automatika řízení | 31 |
| 4.2.1.1 Hladinová regulace | 32 |
| 4.2.2 Odběrné místo | 34 |
| 4.3 Ostatní stavebně hydraulická a technologická zařízení | 34 |
| 4.3.1 Česle | 34 |
| 4.3.2 Čisticí zařízení | 35 |
| 4.3.3 Stavidlové uzávěry, bezpečnostní přepad | 35 |
| 5 Provoz MVE Liboš | 36 |
| 6 Neuskutečněná instalace svařovaného oběžného kola | 37 |
| 7 Plánovaná přestavba MVE Liboš | 38 |
| 8 Závěr | 41 |
| Seznam citací | 42 |
| Seznam zkratk a symbolů | 43 |
| Přílohy | 44 |

1 Úvod

Bakalářská práce na téma *Přestavba mlýna na malou vodní elektrárnu* je vyhotovena jako celková deskripce konkrétního vodního díla MVE Liboš na náhonu řeky Oskavy. Popisuje historii využívání instalované Francisovy turbíny pro pohon mlýna a dále pro pohon malé vodní elektrárny. Uvedený text je z majoritní části tvořen ze zkušeností a znalostí získaných z provozu MVE Liboš.

Práce se snaží popsat jednotlivá zařízení vodní elektrárny nejen z pohledu funkčního, ale v několika kapitolách uvádí i nástin popisu konstrukčního.

Podstatná textová část je věnována popisu generální opravy před zprovozněním MVE. Zde je poukazováno na složitost postupu demontáže neudržovaného hydrodynamického stroje, vady vznikající při provozu vodní turbíny, náročnost rekonstrukčních prací na turbosoustrojích a preciznost provádění montáže a seřizování.

Další rozsáhlou kapitolu tvoří realizované převody. Lze ji chápat i jako výklad vývoje MVE z pohledu dosahovaného výkonu a použitých technologií.

Část, kterou zejména v dnešní době nelze opomíjet je elektroinstalace a do ní spadající automatika řízení provozu. Prvky automatického řízení dnešní MVE posunují ve vyspělosti o úroveň výše. Špičkově navržený automatický systém může z MVE činit zařízení takřka bezobslužné.

Malé vodní elektrárny jsou řazeny mezi nevyčerpatelné a ekologicky čisté zdroje elektrické energie. Svým existováním rozhodně výrazným způsobem neovlivňuje ráz krajiny, zvláště pak ty, které jsou vybudovány v prostorách bývalých mlýnů, hamrů, pil, a jiných objektů dříve poháněných silou vody. U takových objektů se vesměs modernizuje především technologická část s minimálními stavebními úpravami.

Největšího rozmachu zažívaly MVE po roce 1989, vzhledem k legislativním změnám umožňujícím soukromé podnikání. Výstavby, popř. obnovy děl probíhaly zejména v lokalitách s již soustředěným spádem. Současná situace je však zcela odlišná. Nové lokality vznikají jen ojediněle za nemalých finančních investic, vhodná místa pro zřízení MVE jsou již obsazena. Výstavba MVE v současné době stagnuje a vývoj je z velké části směřován cestou modernizací stávajících vodních děl.

2 Válcový vodní mlýn v Liboši

2.1 Historie mlýna

První zmínka o založení mlýna v Liboši na náhonu řeky Oskavy pochází z r. 1601. Mlýn byl jedním ze dvou mlýnů na Šternbersku patřících pod správu kláštera Hradisko v Olomouci. Dědičným majitelem byl mlynář Tobiáš, který roku 1601 mlýn i se všemi pozemky prodal. Od tohoto roku až do současnosti se vystřídalo ve funkci majitele popřípadě i mlynáře 18 majitelů. V roce 1903, kdy je vlastníkem Jan Rýdl, započala celková rekonstrukce a přestavba mlýna, modernizace mlecích strojů a souběžně s ní také modernizace vodního pohonu, kdy zastaralé vodní kolo bylo nahrazeno zcela novou Francisovou turbínou.

V srpnu 1949 koupil mlýn i s hospodářskými budovami můj pradědeček, pan mlynář Josef Vašek. Dříve vlastnil elektrický mlýn v Popovicích v okrese Uherské Hradiště. Z vyprávění však vím, že po vodou poháněném mlýně toužil. Bohužel si svého splněného snu dlouho neužil. Na jaře 1950 zemřel. V 1953 byl mlýn i s veškerým strojním zařízením znárodněn a v roce 1959 byl začleněn do majetkové podstaty Olomouckých mlýnů a pekáren. Mlýn ztratil svůj význam v 1963, kdy přešel do rukou JZD Štěpánov. V období socialismu zůstala většina technologie mlýna nečinná, až na kamenné šrotovací zařízení, kterým se šrotovalo pro občany a JZD. Budova i vodní dílo chátraly a podléhaly času.

Od roku 1985 byl mlýn pronajímán panům Koutnému a Dorušákovi. Ti provedli prvotní strojní úpravy, které umožnili vyrábět elektrickou energii a klasifikovat strojně-technologickou část s Francisovou turbínou jako MVE. Strojními úpravami míním zrušení původního převodu palečnicovým kolem na transmisní hřídel a realizace nového převodování mezi turbínovou hřídelí a generátorem.

Na žádost Josefa Vaška mladšího (syna mlynáře) byl roku 1987 mlýn vrácen za podmínky, že nebude po státu požadovat jakoukoliv náhradu za zdevastovaný majetek. Na rodinnou tradici a navrácení se do cechu mlynářského však už nikdo nepomýšlel. Zcela znehodnocené a zanedbané mlecí, třídící a loupací stroje nebyly provozuschopné.

Rokem 1987 započala přestavba hlavní budovy mlýna na obytné prostory. V období listopad 1987 až duben 1988 proběhla celková generální oprava zde dříve instalované Francisovy turbíny, upravení převodování, instalace hydraulického ovládání rozvaděče turbíny a čistícího zařízení. Dále došlo ke stavebním úpravám aby MVE splňovala požadavky na bezpečný provoz. V návaznosti na GO došlo k vodoprávnímu řízení a zprovoznění jako MVE. Generální opravu provedli můj děda a otec.

2.2 Uspořádání, strojové vybavení mlýna, provoz

Mlecí proces ve válcovém mlýně je systematicky rozdělen mezi mnoho po sobě pracujících strojů, které jsou vždy určeny pouze pro určitou operaci. Libošský mlýn byla dvoupatrová budova. Vícepatrová provedení byla obvyklá, aby se co nejvíce ušetřila doprava produktů, které se mezi stroji pohybovali samospádem. Zavedením jednooperačních speciálních mlýnských strojů se zvýšila jednak kapacita provozovny tak i výsledná kvalita mlýnských produktů.

Pohon mlýnských strojů byl realizován pomocí transmisních hřídelí a kožených řemenů. Hlavní hnací motor, Francisova turbína o tehdejší výkonu 14 kW poháněla přes palečnicový převod transmisi – podkolí, která procházela podélně celým přízemím mlýna. Podkolí bylo

spojeno dále se záložním elektrickým motorem. Ten poháněl mlýn v obdobích nedostatku vody v náhonu. Tato hřídel byla cca po každých dvou metrech uložena v kluzných ložiskových domcích na zděných pilířích. Ložiska byla opatřena mosaznou vložkou vylitou cínovou kompozicí a byla naplněna olejem. Dle potřeby, respektive umístění rozličného mlýnského stroje byly na hřideli osazeny půlené litinové, nebo dřevěné řemenice, které je skrze řemenový převod v prvním patře poháněly. Od podkolí vedl dlouhý a silný řemen až do druhého patra. Zde byla na trámové střeše pomocí ložiskových věšáků umístěna další, menší transmise, zvaná podstřeší. Úkolem podstřeší bylo pohánět korečkové dopravníky a vysévací stroje, které stály pod ní. Na transmisních hřidelích se v závislosti na vzdálenosti od hlavního pohonu, resp. od spojky zmenšovali průměry, tak jak ubývalo krouticího momentu. Zařazování a vyřazování mlýnských strojů na transmisi bylo prováděno za chodu, tzv. nahazováním řemene.

Všechny mlýnské stroje byly konstruovány na danou hodnotu vstupních otáček. Dodržením těchto ideálních otáček bylo dosahováno nejlepší jakosti výsledných produktů a produktivity práce. Různých vstupních otáček bylo docíleno jednoduchým převodováním, přes plochý kožený řemen a upnutou půlenou řemenici na transmisi.

Transmisní otáčky bylo proto nutno udržovat na konstantní hodnotě – $n_t = 180 \text{ min}^{-1}$. Palečnicový převod byl v poměru – $i = n_t/n = 0,5$, kde n označuje provozní otáčky turbínové hřídele ($n = 90 \text{ min}^{-1}$). Dochovaný protokol o měření na brzdě z roku 1904 turbíny však udávají provozní otáčky turbíny $n = 130 \text{ min}^{-1}$. Odpověď, proč navržené otáčky turbíny nebyly dodrženy, není k dohledání.

Pokud bylo k transmisi připojeno/odpojeno některé z válcových zařízení, vyžadovala si tato situace opět synchronizaci otáček, které poklesly/narostly. Regulace turbíny byla ruční, obsluhoval ji mlynář. Regulační mechanismus až k samotnému rozváděcímu kruhu turbíny se skládal z kliky, kuželového převodu, pohybového šroubu, kulisového mechanismu, regulační hřídele se srdcem a přestavných táhel. Mlynář musel mít s regulací zkušenosti a cvik, aby minimalizoval čas, kdy mlecí stroje nefungují ideálně.

2.3 Zánik mlýna v Liboši

Libošský mlýn byl na tehdejší dobu mlýnem se standardním vybavením. Zdárně přežil období první republiky, tedy obstál v tvrdé konkurenci zřizovaných parních velkomlýnů a jejich rozšiřujícího se teritoria (způsobené rozmachem železnic a silniční dopravy). Po projití krušným obdobím nacistické okupace se majitelé mlýna těšili opětovného poválečného rozvoje. Bohužel však velmi krátce. Nástup socialismu znamenal pro mlýn začátek konce soukromého mlynářského řemesla.

3 MVE Liboš

3.1 Lokalita MVE

MVE je vybudována na dřívě mlýnském náhonu, jedná se o derivační nízkotlakou vodní elektrárnu, s jezovou zdrží u začátku derivace na řece Oskavě, která je levým přítokem Moravy a spadá do správy Povodí Moravy, s.p. Nejbližší okolí, soutoky, přítoky a větvení

souvisejících řečišť je vyobrazeno na situačním náčrtku (Příloha č. 1). Lokalita MVE se skládá ze tří prvků – jezu, náhonu a výrobního objektu MVE.

3.1.1 Jez Liboš

Jez v Liboši (obr. 1) s možnou korekcí odtoku byl zřízen na k.ú. obce Štěpánov v roce 1923 v souvislosti spojenými s regulací toku Oskavy. Novým jezem bylo nahrazeno dřívější jednoduché dřevěné vzdouvací zařízení, které již nesplňovalo potřebné technické parametry.



Obr. 1 Jez Liboš

Jedná se o stavidlový jez s ručním ovládním o třech polích, pozičně umístěný vzhledem k toku Oskavy kolmo, ke kterému náleží vtokový objekt do levobřežního náhonu MVE. Jez je umístěn na toku v 7,748 km dle technickoprovozní evidence. Provozní hladina je udržována na kótě 224,890 m.n.m.

K tomu, aby byl umožněn do náhonu odběr potřebného množství vody z řeky Oskavy, bylo nezbytně nutné na toku zřídit tento jez s odběrnými stavidly. Hlavní funkcí jezu je vzdouvání, akumulace vody a stabilizace koryta toku Oskavy.

Toto vodní dílo je úzce spjato s MVE Liboš a to nejen z důvodu přivádění vody do náhonu. Obsluha MVE má přednostní oprávnění od Povodí Moravy k vyhrazování, popřípadě spouštění jednotlivých regulačních stavidel. Tato spolupráce se velmi osvědčila hlavně v dobách jarního tání, nebo při povodňových stavech. Proč? Je to jednoduché. Vzdálenost mezi jezem a MVE můžeme považovat za zanedbatelnou. Hladina nadjezí s hladinou před vodní elektrárnou spolu „komunikují“. Tuto situaci lze přirovnat ke spojeným nádobám. Proto když se hladina v nadjezí toku začne nečekaně zvedat, projeví se to v zápětí na provozní hladině u MVE, která je překročena, a obsluha MVE může takřka ihned učinit vhodná opatření na jezu.

Hydrologické poměry

Minimální průtoky:

- Minimální průtok pod jezem Liboš je $MQ = 0,420 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Minimální průtok v levobřežním náhonu je $MQ_{\text{náh}} = 0,100 \text{ m}^3/\text{s}$.

Základní hydrologická data pro tok Oskava:

- Profil: Oskava - jez Liboš
- Plocha povodí - 381,06 km²
- Specifický odtok - 6,51 l/s/km²
- průměrná dlouhodobá roční výška srážek na povodí - 707 mm
- průměrný dlouhodobý roční průtok - 2,51 m³/s [1]

Tab. 1 m-denní průtoky v m³/s [1]

| | | | | | | | |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Q _{Md} m ³ /s | 30 | 90 | 180 | 270 | 330 | 355 | 364 |
| Liboš | 5,46 | 2,80 | 1,61 | 0,88 | 0,54 | 0,33 | 0,22 |

Tab. 2 n-leté průtoky v m³/s [1]

| | | | | | | | |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Q _N m ³ /s | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| Liboš | 18,1 | 25,7 | 37,1 | 46,4 | 56,3 | 70,3 | 81,7 |

3.1.2 Náhon

Přivaděč - mlýnský náhon je řešen jako otevřené koryto s průtočným profilem ve tvaru lichoběžníka. Nejedná se o přivaděč uměle vytvořený, jde o jedno z více ramen Oskavy, která vznikala v minulosti přirozeným způsobem. Z historických katastrálních map je to zřejmé. I přes tuto skutečnost je vodoteč na vodní elektrárnu vodohospodářské dílo, které není na stávajících vodohospodářských mapách označeno pod žádným názvem a je tedy chápáno jako dílo umělé. Z valné části se jedná o vodoteč nezpevněnou. Začíná u stavidel těsně nad jezem, která jsou zřízena na levém břehu řeky. Náhon protéká východním směrem polní tratí a po cca 0,4 km obcí Liboš. Ve vzdálenosti 1,1 km od jezu je umístěna MVE. Od VE se výrazně stáčí jižním směrem a v 0,64 km pod obcí se vlévá do potoka Říčí a po dalších 0,6 km se potokem Říčí voda vrací zpět do hlavního toku Oskavy.

Náhon nevede vodu pouze na VE, ale je využit také pro hospodářské účely. Při jeho levém břehu se nachází závlahová stanice ZD Štěpánov, kde odběr nepřesahuje 0,060 m³/s a dále je voda z toku využita ČRS MO Olomouc. Jedná se o dva odběry pro chovné rybníky v Liboši. Odběr zajišťuje doplňování výparu z vodních ploch a plynulou výměnu vody. Je odhadován na 0,1 m³/s.

Celková délka náhonu činí 2,17 km. Průměrná šířka náhonu je 6,0 m. Hloubka náhonu se pohybuje v rozmezí od 0,5 do 2,0 m. Maximální průtočné množství v kritickém místě náhonu je 2,5 m³/s.

3.1.3 Objekt MVE

Objekt MVE – zakrytá strojovna (obr. 2) je vyřešena přístavkem ke zdi mlýna po pravé straně levobřežního náhonu. Půdorysné rozměry jsou (d x š) 5 x 4,1 m. Celková šíře náhonu před strojovnou činí 6,7 m. Spodní a vrchní stavba strojovny přímo přebírá funkci hradícího objektu. Součástí MVE je také značka výšky provozní hladiny. Ta je tvořena zabetonovaným ocelovým hřebem, který je umístěn v pobřežní betonové zdi při severním rohu mlýna. Provozní hladina je odvozena od výšky vrchní hrany hamového hřebu 224,730 m.n.m. (výškový systém Jadran) a je konstantě držena u jeho spodní hrany. Maximální horní tolerance hladiny, kdy voda v žádném místě náhonu nevybřežuje je 224,730 + 12 cm. Břehy náhonu před provozovnou jsou do vzdálenosti cca 15 m proti směru proudu tvořeny betonovými zídkami.



Obr. 2 Pohled na MVE Liboš

Ve vnitřních prostorech strojovny, hlavního výrobního objektu vodního díla je umístěn výrobní agregát, tj. Francisova turbína a generátor dále zařízení pro regulaci, kašnové stavidlo a elektrický rozvaděč s nezbytnou elektroinstalací.

Vodní dílo je vybaveno bezpečnostním přepadovým kanálem, jalovým stavidlem s výpustí, hrubými a jemnými česlemi pro zachycování naplavenin a čisticím zařízením.

4 Přestavba mlýna v Liboši na MVE

Když mlýn ztratil svůj význam, způsob využití hydroenergetického potenciálu toku byl zřejmý. Vhodnou nabízející se alternativou bylo zřídit výrobu elektrické energie – MVE.

Skutečnost realizací malých vodních elektráren se pro jejich majitele stala lukrativní záležitostí a to ve spojitosti se státem podporovaným povinným výkupem elektrické energie, nehledě na to, že se jedná o nevyčerpatelný zdroj čisté, ekologické energie, nezatěžující svými vedlejšími produkty ovzduší a neprodukující odpad, jako je tomu v případě tepelných a jaderných elektráren.

Adaptace mlýna v Liboši nebyla nikterak složitá. Výstavba výrobního objektu pro realizaci MVE odpadla. Bylo využito již dříve zbudovaného díla. Betonářské a drobné stavební práce byly nutné pouze při opravách částí stavby nacházejících se pod vodou a dále při výstavbě bezpečnostního přepadového kanálu.

Přestavba se tedy nejvíce konala v prostorách technologické části, strojovny mlýna s Francisovou turbínou. Znovu nalezení uplatnění Francisovy turbíny spočívalo ve zrušení spojení mezi turbínovou hřídelí a transmisní hřídelí, dříve pohánějící zařízení mlýna. Na místo toho bylo nutno realizovat spojení turbínové hřídele s generátorem.

V dalších oddílech této kapitoly budou popsána jednotlivá zařízení MVE Liboš, jejich zprovoznování, generální oprava, změny a inovace.

4.1 Soustrojí

Vodní soustrojí u malých vodních elektráren lze považovat za subsystém tvořený vodním strojem, generátorem a převodem dorychla.

4.1.1 Francisova turbína

Pohonem MVE Liboš je jedna kašnová, levotočivá, vertikální turbína typ Francis (Obr. 3). Výrobce turbíny byla společnost Kolben a spol., Praha-Vysočany. Vzhledem k finanční náročnosti a nulovému vstupnímu kapitálu nebylo myslitelné pořídit nové turbosoustrojí a osadit jím MVE. Původní Francisova turbína zůstala zachována.

Základními parametry turbíny je spád $H = 2,3 - 2,5$ m. Ten se mění v závislosti na průtoku. Při maximálním průtoku nestačí voda odpadní částí náhonu odtékat, což se projeví zvýšením spodní hladiny. Maximální hltnost turbíny $Q_{\max} = 2,2$ m³/s. Provozní otáčky $n = 100$ min⁻¹. Průměr oběžného kola měřený v části věnce $D = 1100$ mm. Maximální dosahovaný výkon na svorkách generátoru $P_{\max} = 25$ kW.



Obr. 3 Francisova turbína – MVE Liboš

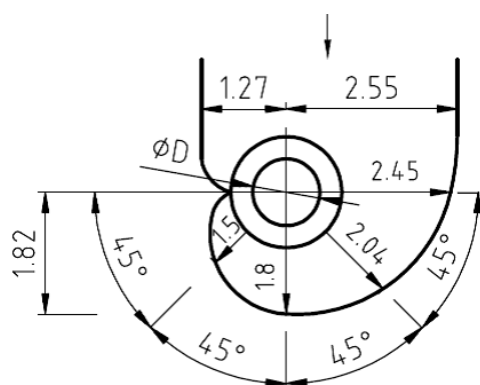
4.1.1.1 Popis a význam částí, princip funkce

Kašna

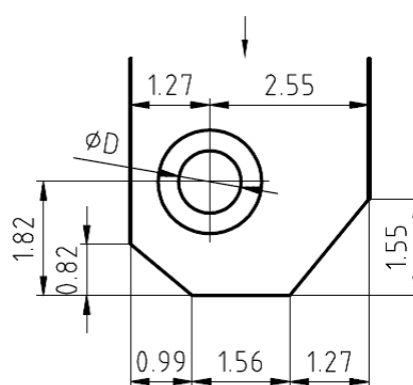
Turbína je umístěna nesymetricky v otevřené betonové kašně, která má v půdorysu spirální tvar. Šířka vtoku do kašny $b = 2,7$ m, hloubka vody v kašně $h = 1,2$ m. Kašna turbíny je

v nejnižším bodě vybavena zátkou pro vypouštění vody, která nemůže odtéci oběžným kolem (kanály oběžného kola jsou nad podlahou kašny). Zátka je používána v případech, kdy potřebujeme suché prostředí pro montáž, kontrolu, údržbu a čištění stroje.

Kašna u reakčních turbín slouží k přívodu vody a zásobování oběžného kola vodou po celém obvodu. Hlavním úkolem přívodu je zajistit rovnoměrnost tohoto zásobování při co největší prostorové úspornosti konstrukce. Kašny mohou být otevřené nebo zakryté. Zkušenosti s kašnovým uspořádáním vtoku na turbínu svědčí o důležitosti hydraulicky vhodného řešení především v půdorysu. Turbíny se zásadně v kašně umísťují nesymetricky a špatně protékané kouty se vyplňují. Pokud by byla turbína umístěna symetricky, nevyhne se nepříznivému proudění a patrně ani periodické tvorbě vertikálních vírů, schopných strhávat vzduch k oběžnému kolu. Nejvhodnější uspořádání je spirálová kašna (obr. 4), které je schopna zajistit příznivý charakter proudění v celé oblasti vtoku na turbínu. Alternativním řešením může být i kašna, která se tvarem spirály přibližně podobá (obr. 5). [2]



Obr. 4 Spirálová kašna turbíny (rozměry jsou násobky průměru D oběžného kola) [2]



Obr. 5 Kašna turbíny (rozměry jsou násobky průměru D oběžného kola) [2]

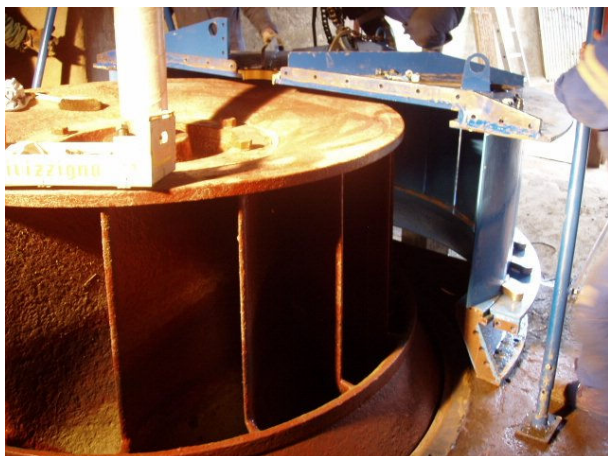
Rozváděcí kolo, kuželová savka

Rozváděcí ústrojí je jedna z nejdůležitějších částí turbíny. Rozvaděč přivádí vodu k oběžnému kolu určitou rychlostí a směrem. Rozvaděčem se reguluje množství vody protékající turbínou.

Rozvaděč se skládá z horního a dolního víka rozváděcího kola, rozváděcích lopat a natáčecího ústrojí. [3]

U turbín větších průměrů se často můžeme setkat s rozvaděči půlenými (obr. 6). Taková konstrukce je výhodná zejména kvůli montáži a manipulaci s jednotlivými částmi. Kruhy jsou pak spojeny v jeden celek šrouby.

Dolní (nosné) víko, je uchyceno šrouby na pozední těleso turbíny zabetonované ve dně kašny. Pozední těleso je z druhé strany spojeno šrouby s jednoduchou kuželovou savkou. Na dolním víku je položen regulační kruh. Horní a dolní víka jsou spojena osazenými svorníky z nerezové oceli, na nichž je otočně uloženo 18 rozváděcích litinových lopatek. Horní víko je navíc sešroubováno čtyřmi šrouby vycházejícími z pozedního tělesa. Natáčení rozváděcích lopatek je umožněno bronzovými tahélky regulačního kruhu, který je ovládán táhly spojenými s regulačním srdcem (obr. 7). To je uchyceno na regulačním hřídeli. Regulační hřídel je uložen v ložiskovém domečku se silonovou vložkou zabetonovaném u dna kašny a je spojen s ovládacím mechanismem.



Obr. 6 Půlený rozvaděč Francisovy turbíny
(MVE Hynkov, Olomouc) [4]



Obr. 7 Regulační srdce s táhly,
regulační tyč

Oběžné kolo, hřídel

Oběžné kolo se skládá z vnějšího věnce, náboje a mezi nimi umístěných lopat. Dle vzhledu a konstrukce se jedná o kolo s rychloběžným profilem. Oběžné kolo má celkem 17 plechových lopatek, které jsou zalaty do věnce a náboje z šedé litiny. Na věnci i náboji je vytvořena válcová těsnicí plocha, která spolu s odpovídajícími plochami na víku a dolním lopatkovém kruhu tvoří těsnící spáru, snižující objemové ztráty na únosné minimum. Náboj oběžného kola je opatřen odlehčovacími otvory, které spojují prostor mezi víkem a savkou a zabezpečují snížení axiálního zatížení oběžného kola částečným vyrovnáním tlaků.

Přenos krouticího momentu z oběžného kola na hřídel je uskutečněn pomocí dvou per přesazených vůči sobě o 180° . Zajištění oběžného kola proti pohybu dolů je vyřešeno zápichem v hřídeli, do kterého je vložen dělený kuželový kroužek.

Hřídel od oběžného kola dále prochází vodícím segmentovým ložiskem, před vodním prostředím je chráněn půleným válcovým krytem. Utěsnění hřídele je provedeno ucpávkou v dolním segmentovém ložisku a vylitým hovézím lojem.

Ložiska

Turbínový hřídel je uložen celkem ve třech ložiscích – vodící segmentové ložisko, střední radiální ložisko a horní radiálně-axiální ložisko. Jedná se o ložiska kluzná s výstelkami z cínové kompozice.

Domek vodícího segmentového ložiska (obr. 8) je přišroubován k hornímu víku turbíny. V domku jsou umístěny tři segmenty po 120° , které se seřizují celkem šesti šrouby. Na jeden segment připadají dva seřizovací šrouby. V prostoru mezi segmenty je natlačena již zmiňovaná ucpávka (lojová šňůra) a zbytek prostoru vyplňuje hovézí lůj, který zajišťuje mimo jiné i mazání.



Obr. 8 Segmentové ložisko

Střední radiální pánvové ložisko (obr. 9) plnilo svoji funkci při provozu turbíny s palečnicovým kolem. Nyní má význam pouze ve smyslu vedení hřídele. Ložiskový domek je připevněn k zabetonované traverze. Seřizování se provádí podkládacími broušenými plechy.



Obr. 9 Střední radiální ložisko

Axiální část, horního radiálně-axiální ložiska (obr. 10), zachycuje axiální zatížení celého stroje tedy hydraulický tah, vlastní hmotnost rotoru turbíny s hřídelem. Skládá se ze dvou mezikruhových kluzných ploch. Rotující kotouč – běhoun je vyroben z oceli, je nalisován na unášecí hlavě a pojištěn dvěma kolíky. Unášecí hlava musí přenést veškeré zatížení z hřídele do ložiska. Je pevně s hřídelem spojena dvěma pery, pro přenos krouticího momentu. Přes koncový závit na hřídeli je unášecí hlava maticí k hřídeli přitažena. Zajištění matice proti povolení je vyřešeno pojistným šroubem. Kluzná plocha ložiska je opět z cínové kompozice. Axiální ložisko běhá v olejové lázni. Seřízení se provádí pomocí stavěcích šroubů, které umožňují naklápění celého radiálně-axiálního ložiska.

Radiální část ložiska se skládá z plné kompozicové výstelky. Ta je vylita v přírubové pánvi, která je šrouby přitažena k axiálnímu ložisku.



Obr. 10 Radiálně axiální ložisko

Princip činnosti

Turbína je umístěna na dně turbínové kašny naplněné vodou. Její hřídel vede svisle vzhůru do strojovny. Voda vniká z kašny do regulovatelných rozváděcích lopatek po celém obvodu turbíny. Při průtoku rozváděcími lopatkami získává rychlost a směr potřebný pro vstup do oběžného kola. V zakřivených mezilopátkových kanálech oběžného kola voda mění směr i rychlost a tím předává svoji energii. Po výtoku z oběžného kola se voda odvádí do odpadního kanálu. Protože je turbína z důvodů snadné údržby a oprav nad spodní hladinou, je voda odváděna sací troubou. Nepracuje-li turbína při jmenovitém průtoku, dochází za oběžným kolem k rotaci vodního sloupce v savce, proto má kruhový, případně mírně oválný průřez. Voda při průchodu kuželovitě se rozšiřující savkou snižuje svoji rychlost, což s hmotností celého vodního sloupce v ní vytváří podtlak přenášející se na odtokovou stranu oběžného kola. Díky sacímu efektu využívá turbína celý spád H , ačkoli je oběžné kolo nad hladinou vývařiště. [5]

4.1.1.2 Generální oprava

Turbína se sice dochovala kompletní, nicméně stáří stroje a deficit údržbových prací se nutně projevil na celkovém zbídačeném stavu. Další skutečnost, která měla vliv na funkční stav, byli předchozí uživatelé. Zvláště ti, co se pokoušeli o provoz MVE. Svými neodbornými zásahy napáchali škody, které rozhodně GO neusnadnily. Při jejich neúspěšných pokusech při zprovoznění turbíny došlo k ulomení závitu turbínové hřídele, který drží unášecí hlavu ložiska a zachycuje axiální sílu. Nebýt palečnicového kola, uchyceného pod axiálním ložiskem, utrhla by se turbínová hřídel i s oběžným kolem a spadla do prostoru vývařiště. Palečnicové kolo se při této havárii zarazilo o radiální ložisko a zabránilo tak pádu a patrně i zničení oběžného kola. Následné opravení a uvedení do chodu již nebylo v jejich silách. Nefunkční stroj se dočkal renesance až po převzetí objektu právoplatným majitelem.

4.1.1.2.1 Rozdělení stroje, zjištěný skutečný technický stav

Již v začátcích opravy bylo jasné, že demontáž částí nacházejících se pod vodnou bude komplikovaná vlivem rozsáhlé koroze na částech stroje.

Demontáž stroje začala uvázáním a zavěšením poškozeného hřídele na kladku. Následovalo stažení palečnicového kola z hřídele. Palečnicové kolo bylo na hřídeli uloženo suvně. Přenos krouticího momentu a zajištění polohy kola byl vyřešen klínem s nosem. Palečnicové kolo bylo umístěno mezi středním radiálním a radiálně-axiálním ložiskem. Po vyražení klínu se hřídele i s oběžným kolem spustila do prostoru vývařiče. Během spouštění bylo sejmuto palečnicové kolo. Následovala demontáž radiálně-axiálního ložiska, středního radiálního ložiska, sejmutí krycí dělené příruby a stažení segmentového radiálního ložiska. Segmentové ložisko je vybaveno celkem šesti seřizovacími šrouby. Ty je nutno před jeho stažením povolit. Segmentové ložisko se skládalo ze tří dřevěných segmentů. Pokračovalo se sejmutím horního víka rozváděcího kola. Nejprve se povolily čtyři šrouby vycházející z pozedního tělesa turbíny. Dále se museli povolit matice na svornících rozváděcích lopatek. Po demontáži horního víka bylo možno vydělat přestavný (regulační) kruh. Z něj byla předem sundána ovládací táhla. Dalším krokem bylo sundání rozváděcích lopatek a demontáž svorníků z dolního kruhu. Mnoho rozváděcích lopatek mělo svorníky uvnitř zarezavělé, příčinou bylo nedostatečné (žádného) mazání, což zabraňovalo jednoduchému sejmutí lopatky. Bylo proto nutno svorníky u dolního víka uřezat. V případě, že lopatka šla ze svorníku stáhnout, pak se stalo, že samotný svorník nešel vyšroubovat. Při tomto problému se využívalo kyslíko-acetilénového plamene a dolní kruh v místě svorníku nahříval. Díky tepelné roztažnosti se podařilo našroubované čepy dostat ven.

Dále se demontovalo dolní víko turbíny a prodloužení kuželové savky z pozedního tělesa turbíny.

Poslední fází bylo vylisování turbínového hřídele z oběžného kola. Opět byl náboj oběžného kola nahříván plamenem a pomocí vyrobeného přípravku se podařilo hřídel vylisovat.

Po demontáži, zjištění skutečného stavu turbíny a poradě s několika turbináři nebyl důvod nevyužít Francisovu turbínu pro pohon MVE.

Technický stav hlavních částí turbíny byl následující:

- Oběžné kolo – rozpadající se náběhové hrany, povrch lopatek byl od koroze hrbolatý, několik lopatek mělo prorezné otvory. Vnější průměry náboje a věnce kola opět výrazně poškozen korozí. V jednom úseku OK viditelně vyběhané. Poškozená, volná díra na turbínový hřídel.
- Turbínový hřídel – zničen, ulomený horní závit zajišťující proti axiálnímu posunutí
- Rozváděcí kolo – horní i dolní víko vyběhané od oběžného kola. Dolní víko mělo poškozené závity pro svorníky rozváděcích lopatek. Mnoho lopatek rozvaděče mělo uvnitř zarezavěné svorníky.
- Segmentové ložisko – vyběhané dřevěné segmenty
- Střední radiální a radiál-axiální ložisko – vydřené kompozicové vložky

4.1.1.2.2 Oprava, výroba nových částí

Oběžné kolo, hřídel

Oběžné kolo se v první fázi nechalo otryskat. Po této proceduře se zviditelnily další vady, především prorezavělé díry na lopatkách kola. Tyto díry se zavařily a následně dohladka přebrousily. Oprava náběhových hran byla zdlouhavější. Poškozené hrany se vybrousily do pravidelných tvarů. Tyto tvary se postupně stříhaly z ocelového plechu a navařovaly se do chybějících míst.

Oprava díry pro turbínový hřídel spočívala ve zvětšení, vysoustružení díry o 2 mm. Tato oprava již nebyla prováděna svépomocí, ale za spolupráce firmy UNEX Uničov, na karuselovém soustruhu. Drážky pro pera se nechali bez úpravy, pera se při montáži obrousila.

Hřídel se vyrobil celkově většího průměru, délkové rozměry zůstaly zachovány. S přihlédnutím do budoucnosti se ve spodní části hřídele (na čele) vyrobil závit M24 pro snazší montáž a demontáž hřídele z oběžného kola. Kluzné plochy hřídele pro ložiska se opracovaly broušením.

Obrobení a opracování hřídele provedla firma Štěrkovny a pískovny Olomouc.

Oběžné kolo bylo s novým hřídelem složeno a následovala další oprava OK – renovace vnějších vyběhaných a zkorodovaných průměrů náboje a věnce kola. Této opravě nejprve předcházelo osoustružení poškozených ploch, dolního a horního víka rozvaděče, ve kterých běhá OK. Celek (hřídel s oběžným kolem) se za turbínový hřídel nakrátko upnul do soustruhu a osoustružily se poškozené průměry náboje a věnce. Na osoustružené plochy se postupně tvarovala a navařovala plochá ocel 30x10. Navařování ploché oceli si vyžádalo použití speciálních elektrod na litinu. Věnc i náboj OK jsou ze šedé litiny. Svařování šedé litiny s ocelí je dosti problematické, mnohdy nemožné.

Nově navařené plochy se obrobily na konečné průměry tak, aby vůle mezi věncem /nábojem oběžného kola v dolním/horním víku byla maximálně 0,5 mm.

Vyvažování

Neznámou, již při rozdělení stroje bylo, proč jsou nadměrně opotřebena (vydřena) víka rozvaděče. Dávalo se to za vinu nedostatečné údržbě segmentového ložiska. Hlavní příčinou však byla nevyváženost oběžného kola.

Aby vodní turbína měla při provozu klidný chod, musí být rotující části dobře vyváženy. Vyvažováním se zvětší bezpečnost chodu, podstatně se zmenší opotřebenění ložisek a v nich ztráty třením, zmenší se namáhání hřídele, základů a zeslabí se nepříjemný hluk. Při výrobě vodních turbín se uplatňuje statické vyvažování. Je většinou postačující, ale především dobře proveditelné.

Statická nerovnováha nastává, nesouhlasí-li osa geometrie s osou těžiště. Rozdílná poloha těžiště je způsobena několika příčinami: nepřesnost odlitků, nestejněměrná hustota materiálu odlitku, nepřesnost obrábění.[6]

Vyvážení provedla firma Sigma Lutín na statické vyvažovačce. Na oběžné kolo se neumíst'ovaly přivažky, ale vyvažovalo se pomocí odfrézování přebytečné hmoty. Z oběžného kola tak celkem ubylo 14 kg materiálu, který způsoboval nevyváhu a nadměrné opotřebenění.

Oprava rozváděcího kola

Než začaly všechny renovační práce, hlavní části rozvaděče byly zbaveny rzi – otryskány. Na horním a dolním víku se zvětšily průměry v návaznosti na změnách provedených na oběžném kole. Na dolním víku se obnovily závity pro svorníky rozváděcích lopatek.

Další částí bylo vytažení svorníků z rozváděcích lopatek. Při této činnosti se využilo hydraulického lisu. Svorníky byly v lopatkách natolik zarezavělé, že jednoduché vysunutí nebylo možné. Při vylisování svorníku se snažilo předejít praskání lopatky v místě, kudy procházel. Proto se jednotlivé lopatky před vylisováním čepu nahřívaly plamenem, aby vlivem tepelné roztažnosti došlo ke zvětšení průměru díry a utržení vnitřní vrstvy rzi, která se jinak v prostoru mezi svorníkem a dírou hromadila a mohla být příčinou následného prasknutí lopatky.

Svorníky byly nepoužitelné, nechali se vyrobit nové, z nerezové oceli. Dále se do svorníků vyvrtaly mazací díry a našroubovaly maznice, které umožnily jednoduché mazání rozváděcích lopatek. Každá maznice svorníku je zakryta silonovou zátkou (obr. 11).



Obr. 11 Pohled na zavičkované svorníky, rozváděcí lopatky, bronzová tahélka

Do regulačního kruhu i do rozváděcích lopatek se vyrobily nové nerezové čepy pro regulační tahélka. Tahélka se také vyrobila nová, bronzová. Na natáčecím ústrojí se dále provedla výměna čepů a ložisek ovládacích táhel a regulačního srdce.

Oprava ložisek

Axiální část horního radiálně-axiálního ložiska nebylo třeba opravovat, neměla žádné vady.

Oprava horního a spodního radiálního ložiska byla nutná kvůli viditelné ovalitě. Ložiskové výstelky se přesoustružily na větší průměry, přizpůsobily se tak průměru hřídele. Přesoustružení bylo možné jen díky nadměrně silné vrstvě původního kompozitového kovu.

Pro dolní vodící segmentové ložisko se odlily nové segmenty z cínové kompozice, kterými se nahradily dřívější dřevěné.

Poslední fází generální opravy byl nátěr oběžného kola a částí kola rozváděcího – lopatek, regulačního kruhu, horního a dolního víka. V době první generální opravy, před zprovozněním MVE, sortiment barev a tmelů zdaleka nepokrýval požadavky. Sehnat kvalitní a k tomuto účelu určené nátěrové a tmelící hmoty bylo nemožné. Jako alternativa se použilo

běžně dostupných syntetických barev, aplikovaných v několika vrstvách. Rozhodně se tím stroji neuškodilo, ale zásadním problémem je již zmiňovaná vhodnost.

V prostředí, kde pracuje vodní turbína, je trvanlivost těchto nátěrů velice krátká. Asi po 2 letech provozu bylo nutno opět provést regenerační nátěr oběžného kola a rozváděcích lopatek.

4.1.1.2.3 Montáž, seřízení

Opětnému instalování stroje do kašny předcházelo skládání „nasucho“. To spočívalo v částečném složení rozváděcího kola. Hlavním důvodem provádění této operace byl fakt, že rozváděcí kolo nebylo možno již dříve zcela zavřít. Rozváděcí lopatky na několika místech na sebe nedoléhaly, nešlo tak zamezit přívodu vody na oběžné kolo a zastavit turbínu. Dělat tuto práci v kašně, kde není dostatek prostoru pro manipulaci, by bylo nepohodlné a fyzicky náročné, proto se prováděla v dílně. Na dolní víko se našroubovaly svorníky, umístil se přestavný kruh s tahélky a nasunovali se jednotlivé rozváděcí lopatky. Záměnou jednotlivých lopatek a odbušování ploch se docílilo co nejdokonalejšího zavření rozváděče. Dané části nachystaného montážního celku se označili raznicemi a byly nachystány pro složení uvnitř kašny.

Montáž začala spuštěním oběžného kola do prostoru vývařiště a následným natažením hřídele do náboje oběžného kola. Využilo se zhotoveného závitu M24 v čele hřídele, přípravku a řetězového kladkostroje. Hřídel se vytáhnul z náboje tak, až bylo možno do jeho zápichu vložit půlený kuželový kroužek, který se zajistil v drážce drátem. Ke zpětnému natlačení hřídele i s kuzelem do náboje se použil hydraulický zvedák a k tomuto účelu určený přípravek, uchycený do vyrovnávacích tlakových otvorů oběžného kola.

Další částí byla montáž rozváděcího kruhu. Spodní víko se pevně přišroubovalo k tělesu turbíny. Umístil se regulační kruh s našroubovanými čepy pro bronzová tahélka. Na našroubované svorníky se nasunovaly rozváděcí lopatky, které se opět nerezovými čepy propojily s tahélky. Regulační kruh se spojil táhly s ovládacím srdcem a ovládacím hřídelem. Závisle na sobě se zvedal hřídel a nasunul se na něj horní kruh, segmentové ložisko a zajistilo se palečnicové kolo. Pak se hřídel protáhl radiálně axiálním ložiskem a maticí se pouze zajistil proti axiálnímu pohybu k unášecí hlavě. Tímto okamžikem skončila hlavní část montáže a přistoupilo se k přesnému seřízení stroje.

Ke svislému ustavení hřídele se využilo dvanácti seřizovacích šroubů (po obvodu radiálně-axiálního ložiska). Hřídel se při ustavování neustále měřil na několika místech a polohách rámovou vodní váhou s přesností 0,01 mm/1 m. Přesné svislé ustavení se výrazně podílí na životnosti a opotřebením kluzných ploch axiálního ložiska. Svislé ustavení hřídele se provádělo za současného vystředění oběžného kola v kole rozváděcím, přičemž vůle (0,5 mm) musela být po celém obvodu naprosto stejná. Měřila se spároměrkami. Při středění muselo nutně dojít i k preciznímu výškovému ustavení oběžného kola tak, aby vstupní hrana náboje oběžného kola byla ve stejné rovině jako spodní plocha horního víka oběžného kola. Korekce výšky nastavení oběžného kola se provedla dotažením, nebo povolením horní matice zajišťující rotor proti axiálnímu posunutí. Po dosažení ideálních parametrů se horní matice zajistila stavěcím šroubem a finálně se přitáhlo horní víko ke svorníkům a šroubům pozedního tělesa. Následovalo seřízení dolního vodícího ložiska, utěsnění prostoru mezi segmenty ložiska lojovou šňůrou a ustavení středního radiálního ložiska. Segmenty vodícího ložiska musí doléhat na hřídel stejnou měrou. Příliš velké dotažení některého ze segmentu by

způsobilo vyosení oběžného kola v rozváděcím kruhu, což je nežádoucí. Proto po této činnosti byly opět měřením překontrolovány vůle.

V samotném závěru montáže se připevnila kónická savka v prostoru vývařistiště a na turbínový hřídel se umístil půlený válcový kryt, do kterého se nalil rozpuštěný hovězí lůj plnicí funkci ucpávky.

Při montáži se bral zřetel na ekologicky šetrné a nezávadné provedení. Všechny spojovací materiály, výstupní závity, přechody a rozhraní dílů se ošetřil rozpuštěným hovězím lojem. Svorníky lopatek, tahélka a další kluzně uložené části stroje byly potírány ekologicky rozložitelným mazacím tukem.

4.1.2 Převody a generátory

Velmi důležitou část technologického zařízení MVE tvoří přenos výkonu turbíny na generátor. Zatímco u velkých soustrojí nejsou zpravidla s tímto přenosem potíže, situace se většinou řeší přímým spojením turbíny s hřídelem generátoru pevnou spojkou, u malých soustrojí je tomu právě naopak. U MVE není z hlediska ekonomického vhodné používat speciální synchronní generátory s velkým počtem pólových dvojic, které by mohly být přímo spojeny s turbínou. Naopak velkým rozšířením a oblibou asynchronních generátorů s relativně vysokými synchronními otáčkami je téměř znemožněné přímé spojení turbíny a generátoru bez převodu dorychla. U nás se konkrétně nabízejí generátory s maximálním počtem pólů 12, to při používané frekvenci 50Hz vede k synchronním otáčkám 500 min^{-1} . Z tohoto důvodu lze tedy realizaci převodu dorychla očekávat u naprosté většiny MVE.

Na převody výkonu MVE jsou kladeny vysoké požadavky. Požaduje se od nich provozní spolehlivost, dlouhá životnost, vysoká účinnost, nízká hlučnost, minimální nároky na prostor, nízké pořizovací náklady a minimální nároky na údržbu.

Běžně používané převody pro MVE lze dělit na:

- Ozubená soukolí
- Řemenové převody
- Lanové převody
- Řetězové převody [7]

Na MVE v Liboši bylo od prvního zprovoznění až do dnešní doby realizováno několik převodů pro přenos výkonu turbíny na generátor. Tyto varianty konstrukčního provedení poslouží ke srovnání výhod a nevýhod a dále k porovnání dosahovaného výkonu. Ten nám podá informaci o výkonových ztrátách, ke kterým v převodech docházelo. Jednotlivá konstrukční řešení od počátečního až po současné budou níže rozebrána.

4.1.2.1 Převod palečnicovým kolem a klínovými řemeny

Převodové uspořádání s palečnicovým kolem (obr. 12) bylo realizováno v zárodku vzniku a v prvních letech fungování MVE. Celý převod se skládal ze dvojího převodování, primárního převodu palečnicovým kolem a sekundárního řemenového převodu. Primární převod se nikterak nelišil od doby, kdy síla turbíny uváděla v chod mlýnské stroje.

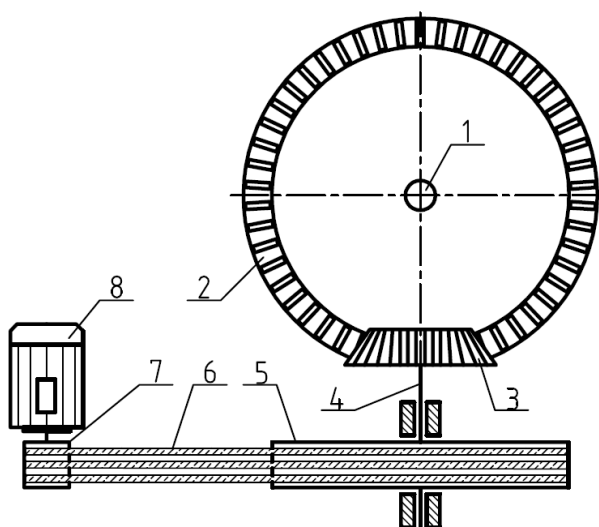
Palečnicové kolo (průměr 1350 mm, 100 zubů) se skládá z tzv. zvonového kola (název odvozen od tvaru) s nábojem a dřevěných zubů (palců). Na hřídel bylo připevněno klínem,

naraženým zespodu. Palečnicové kolo bylo uloženo mezi dvěma radiálními ložisky a otočeno zuby nahoru. Takto vyřešený konstrukční uzel měl několik výhod a to jednoduché mazání zubů, minimální skapávání maziva z kola a dále příznivé namáhání turbínové hřídele. Před uvedením MVE do chodu si i tato část vyžádala renovaci, a sice opravu poškozených dřevěných zubů. Zuby byly vyrobeny z tvrdého habrového dřeva. Každý zub byl natlučen do drážky v kole a zajištěn z opačné strany čepem (dřevěným, kovovým) proti vypadení. Jelikož zvonové kolo bylo hrubým a nikterak přesným odlitkem, rozteče drážek pro zuby se lišily. Po umístění všech zubů bylo nutné provést přesná ruční dotvarování, aby chod kola se spoluzabírajícím kuželovým pastorkem (průměr 680 mm, 50 zubů) byl co nejlepší.

Kuželový pastorek byl naklínován na původní transmisní hřídel, který se pouze zkrátil. Ložiskové uspořádání i ložiska zůstala původní (kroužkomazná kluzná ložiska s olejovou vanou).

Sekundární řemenový převod tvořila velké řemenice (průměr 1000 mm) nalisovaná a slícovaná přes pero na zkrácený transmisní hřídel. Dřívější funkcí řemenice byl přenos kroticího momentu ze záložního motoru. Dále se převod skládal ze tří klínových řemenů a řemenice generátoru (průměr 350 mm).

Generátorem byl asynchronní motor ($P = 17 \text{ kW}$, $n_n = 600 \text{ min}^{-1}$) provozovaný v generátorickém chodu. Provozní otáčky turbíny po tomto převodování dosáhly hodnoty $n = 105 \text{ min}^{-1}$.



Obr. 12 Převod palečnicovým kolem a klínovými řemeny
 1 – turbínový hřídel, 2 – palečnicové kolo, 3 – kuželové kolo,
 4 – zkrácený transmisní hřídel, 5 – velké řemenice, 6 – klínové řemeny,
 7 – malá řemenice, 8 – generátor.

Největší výhodou tohoto převodování byla bezesporu nízká pořizovací cena, kdy se pouze koupil generátor, klínové řemeny a vyrobila se malá řemenice. Svoji zástavbou však dosahovalo značných rozměrů, rozhodně se nedá mluvit o kompaktnosti celku, která je od dnešních převodů MVE požadována. Dlouhou životnost a relativně snadnou opravu primárního převodu nelze zpochybnit. V literatuře se mimo jiné můžeme dočíst, že převod pomocí dřevěných zubů se vyznačuje tichým chodem. S tímto tvrzením lze souhlasit pouze částečně a to v případě, že byly zuby nové a dostatečně namazány. Jako mazivo se používalo směsi rozpuštěného hovězího loje s lněnou fermeží a grafitem. Když turbína byla provozována při nízkém výkonu ($1/3P_{\max}$) tichost takto ošetřeného soukolí vydržela

maximálně 2 – 3 dny. Poté byl slyšet typický „klatot“ převodu. Při provozu na maximální výkon se tichost vytratila během půldne. Palce kola vyžadovali častou kontrolu spojenou se seřizením a korekcí tvaru zubu, kvůli nestejným opotřebením. Nestejně opotřebením souviselo s různou skladbou dřevní hmoty jednotlivých zubů.

Dosahovaný výkon na svorkách generátoru v době provozu uvedeného převodu nepřekročil 18 kW.

4.1.2.2 Převodovka s kuželovým soukolím a převod klínovými řemeny

Po pěti letech provozu MVE s palečnicovým kolem se rozhodlo nahradit tento převod převodovkou s kuželovým soukolím spolu s řemenovým převodem (obr. 13). Důvodem byly velké nároky na prostor předešlého převodování, ustavičný hluk převodu, dále fakt, že palečnicové kolo bylo opravdu archaickým prvkem. Dalším problémem byly vibrace od palečnicového kola přenášející se skrze základy budovy do obytné části mlýna.

Byla pořízena převodová skříň od ZTS Sabinov, typové označení TSA 031 351 s vodorovným výstupním hřídelem a s převodovým číslem $i_p = 4,5$. Instalaci převodové skříně předcházela přestavba, resp. nadstavení turbínového hřídele a umístění rámu pro skříň. Prodloužení hřídele bylo vyřešeno jednoduše – vyrobením nového přírubového běhounu axiálního ložiska, který bude zajišťovat přenos krouticího momentu. Běhoun se dále spojil šesti šrouby s přírubovým nábojem pro obroučovou pružnou spojku (Periflex). Výstupní náboj s dvěma drážkami pro pero byl nalisován přímo na vstupní hřídel převodovky. Dělená pryžová obruč je přitažena na náboje přitlačnými prstenci.

Zařazení této pružné spojky do konstrukce bylo nutné a vhodné, protože vykompenzovala nedostatky, jako např. úhlové výchylky, vyosení a axiální posunutí hřídele turbíny od hřídele převodovky (přesněji jejich nábojů).

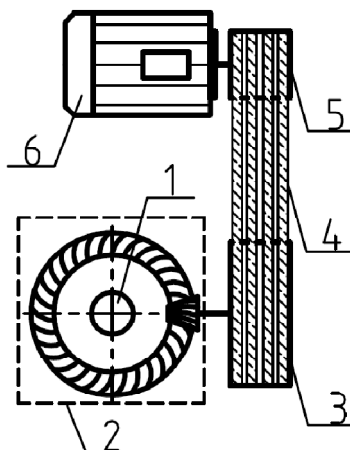
Provozním otáčkám turbíny ($n = 105 \text{ min}^{-1}$) byl pak přizpůsoben řemenový převod, kdy velká řemenice měla průměr 450 mm a malá 350 mm, jejich spojení zajišťovaly čtyři klínové řemeny. Osová vzdálenost výstupního hřídele převodovky a hřídele generátoru $a_w = 1200 \text{ mm}$.

Tato přestavba převodového systému minimalizovala prostorové nároky. Celé soustrojí bylo soustředěno do jediné místnosti, resp. pouze do hlavní strojovny MVE. Chod převodovky byl sotva slyšitelný. Nevýhodou uvedeného řešení byla především olejová náplň (cca 25 l), kde hrozilo nebezpečí úniku do toku v případě havárie, dále nutnost chladiče a tedy i čerpadla v chladicím okruhu. Výměňkový chladič byl vyřešen jako pozohýbaná měděná trubka do tvaru vlnovce, byl umístěn v kašně, kde předával teplo proudící vodě.

Po opětovném spuštění turbíny se projevil nárůst výkonu o necelé 2 kW. Tolik výkonu přišlo nazmar v předchozích převodech. MVE se tak dostala svým maximálním výkonem na hranici 20 kW.

Vůbec maximální výkon, který soustrojí s převodovkou vyrobilo, byl 22 kW. Tento výkon začal být dosahován počátkem roku 2005, kdy se provedlo odbagrování naplavenin pod MVE. Dosáhlo se tak lepšího odtoku vody od MVE, tím pádem i snížení spodní hladiny a v celkovém důsledku nárůstu spádu při maximálním průtoku. Dále je možno část získaného výkonu připisovat renovaci povrchu rozváděcích lopatek a oběžného kola. Rozváděcí lopatky stejně tak oběžné kolo se zbavily starých nátěrů, přebrousily, dohladka vytmelily sklolaminátovým tmelem a byly natřeny dvousložkovou polyuretanovou barvou, která vytvořila sklovitě hladký povrch.

Ve zmíněném roce se taktéž pořídil nový generátor s parametry $P = 22 \text{ kW}$, $n_n = 750 \text{ min}^{-1}$. Dřívější 17-ti kW generátor byl přetěžován, to se projevovalo přílišným zahříváním a hrozilo zničení vinutí.



Obr. 13 Převodovka s kuželovým soukolím a převod klínovými řemeny
 1 – turbínový hřídel, 2 – převodová skříň, 3 – velké řemenice,
 4 – klínové řemeny, 5 – malá řemenice velké řemenice, 6 – generátor.

Soustrojí s převodovkou fungovalo téměř do konce roku 2009, v prosinci vypovědělo službu. Po šestnácti letech neustálého provozu převodovky došlo k nevratnému poškození, k lomu zubu kuželového ozubení pastorku (obr. 14). Problém se zprvu řešil objednáním nových soukolí do skříně. Avšak po zjištění, že převodovka pro MVE byla vyrobena jako atypický kus, pro který nejsou komponenty běžně k dostání a musely by se na zakázku vyrobit, z tohoto úmyslu sešlo. Cena nového talířového kola a pastorku byla odhadnuta zástupcem ZTS Sabinov v ČR, firmou ZPV Group na 80 000 Kč s dodací lhůtou 3 měsíců.

Tato kolize stojí za další změnou na převodech MVE, za předěláním na plochý řemenový převod.



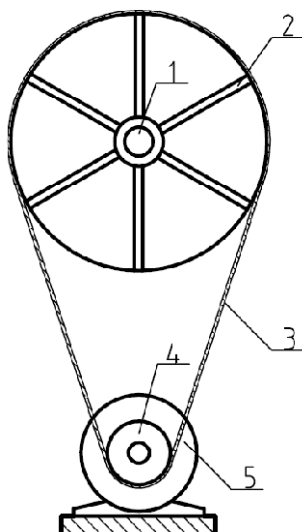
Obr. 14 Poškozené ozubení kuželového pastorku

4.1.2.3 Převod plochým řemenem

Dočasná přestavba na plochý řemenový převod (obr. 15, 16) se v důsledku stala nejefektivnějším a nejjednodušším převodováním mezi turbínovým hřídelem a generátorem.

Využilo se uschované půlené litinové řemenice (průměr 1500 mm), která za doby mlýna fungovala v transmisním rozvodu.

Velká půlená řemenice je přitažena k nosnému hřídeli a navíc ještě slícována perem. Hřídel je uložen celkem ve třech ložiskových domcích, dvou radiálních a jednom axiálním. Radiální kuličková ložiska zachycují tah řemene, axiální kuželíkové ložisko slouží pouze pro vynesení hmotnosti řemenice. Řemenice s hřídelem a ložisky je připevněna čtyřmi šrouby ke svařované konstrukci. Stavěcí šrouby axiálního ložiska se opírají o dřívější nosnou konstrukci převodovky. Hřídel řemenice je s turbínovým hřídelem spojen skrze pružnou spojku periflex. Malá řemenice (průměr 205 mm) je nalisována na hřídeli generátoru ($P = 22 \text{ kW}$, $n_n = 750 \text{ min}^{-1}$). Plochý syntetický řemen pod označením GTI 280, šířky $t = 150 \text{ mm}$ a rozvinuté délky $l = 10,2 \text{ m}$ dodala firma REKO s.r.o. Osová vzdálenost řemenic $a_w = 3,7 \text{ m}$. Pro vlastní generátor se zhotovila nosná konstrukce (obr. 17) se suportem, který kromě fixování generátoru také umožňuje napínání řemene. K seřízení předpětí v řemeni jsou určeny dva tažné šrouby M32 připevněné ke spodním lyžím suportu.



Obr. 15 Převod plochým řemenem
1 – turbínový hřídel, 2 – velká půlená řemenice, 3 – plochý řemen,
4 – malá řemenice, 5 – generátor

Adaptace plochého řemenového převodu překvapila svojí výbornou účinností v porovnání s předcházejícím převodem. Maximální výkon vzrostl o $\Delta P = 3 \text{ kW}$. MVE Liboš od začátku roku 2010 je schopna při maximálním průtoku $Q_{\max} = 2,2 \text{ m}^3/\text{s}$ a spádu $H = 2,3 \text{ m}$ dosahovat maximálního výkonu na svorkách generátoru $P_{\max} = 25 \text{ kW}$. Další pozitiva plochého řemenového převodu jsou – tichý chod, dlouhá životnost, minimální nároky na údržbu směřované pouze na občasné napnutí řemene popř. jeho očištění. Omezením při řešení převodu plochým hnacím řemenem byl hlavně prostor. Z důvodu malého úhlu opásání nemohl být celý převod instalován jen do hlavní strojovny. Vyhovujícího úhlu pásání bylo dosaženo až při osově vzdálenosti $a_w = 3,7 \text{ m}$. Musel se zhotovit průraz do vedlejší místnosti, kudy nyní řemen vede. Dále se ve vedlejší místnosti vybetonoval fundament pro rám generátoru. Dodržení úhlu opásání malé řemenice a prostorové nároky s tím

spojené (osová vzdálenost a_w) jsou obecně při realizaci převodů plochými hnacími řemeny na MVE největším problémem a omezením. Zvláště pak při nízkých otáčkách turbínového hřídele.



Obr. 16 Uložení velké řemenice



Obr. 17 Nosná konstrukce

Výpočet úhlu opásání plochého řemenového převodu

Úhel opásání je důležitý parametr pro řádný chod řemenového převodu. Pro přenos velkých výkonů a rázovitého pohonu je nutno dodržet opásání minimálně $150^\circ - 160^\circ$. Zvýšení úhlu opásání můžeme dosáhnout zvětšením osové vzdálenosti, nebo použitím přítlačné kladky. Konstrukci s přítlačnou kladkou je lépe se vyhnout a pokud možno použít jen v krajních případech, kdy nelze najít vhodnější řešení. Přibývá další člen v převodovém systému, který opět vyžaduje svoji údržbu a dělá konstrukci komplikovanější.

$$\alpha_1 = 180^\circ - \frac{60 \cdot (D_1 - D_2)}{a_w}$$

$$\alpha_2 = 360^\circ - \alpha_1$$

Přičemž: α_1, α_2 – úhel opásání malé, velké řemenice; D_1, D_2 – průměr malé, velké řemenice; a_w – osová vzdálenost [8]

Postup při napínání řemene na provozní předpětí

Obecně platí pravidlo, že řemen má být napnut dvojnásobnou silou oproti vypočtenému napětí v řemeni. Avšak tento parametr je obtížně měřitelný, proto se používá pravidlo délkového předpětí řemeni v rozmezí 1,5 – 2 % délky, podle charakteru a přenosu krouticího momentu. V praxi je aplikace pravidla 1,5 – 2 % následující: Řemen se napne pouze do vyrovnání průhybu, následně se na řemeni vyznačí úsečka např. délky 1000 mm. Potom se řemen napíná, současně se měří i délka naznačených mezí. Po dosažení protažení 1,5 – 2 % původní délky je řemen správně napnut a prokluzování řemene je za předpokladu správného navržení vyloučeno. [8]

4.1.3 Mechanismus regulace turbíny

Vnitřní regulační mechanismus turbíny (v kašně) znázorněn na obr. 7 je spojen regulační tyčí (jdoucí z regulačního srdce) s regulačním ramenem (ve strojovně). Regulační rameno je součástí akční části regulace - kulisového mechanismu s pákou a protizávažím (obr. 18, 19) Kulisový mechanismus je funkčně spojen seřizovacím šroubem s ovládacím členem. Dřívější ovládací člen (klika se soukolím a pohybovým šroubem), byl nahrazen hydraulickým mechanismem s protizávažím při zprovoznění díla jako MVE. Hlavní části mechanismu jsou závaží, páka, seřizovací šroub s levo-pravým závitem, hydraulický obvod (obr. 20), koncový spínač. Hydraulický obvod sestává z kompaktního čerpadlového agregátu, elektromagnetického ventilu a vlastního akčního členu, jednočinného lineárního hydromotoru (též válec, pístnice).

Otevírání lopatek rozváděcího kola se děje při pohybu páky se závažím směrem vzhůru, tzn. čerpadlo je v chodu a tlačí olej do hydraulického válce. Z páky se síla dále přenáší skrze seřizovací šroub na kulisový mechanismus, kde dojde k přeměně translačního pohybu na rotaci, přesněji k otočení regulační tyče, což v důsledku způsobí natočení přestavného kruhu a otevření rozvaděče. Při plném otevření rozvaděče, nám koncový ventil vyřadí z činnosti čerpadlo.



Obr. 18 Kulisový mechanismus



Obr. 19 Mechanismus s protizávažím

K zavření rozvaděče ve své podstatě slouží protizávaží. Elektromagnetický ventil je vyřazen (odepnut), hydraulický olej je z pracovního prostoru pístu vytlačěn a vrací se zpět do nádržky čerpadla. Jelikož je rychlost zavírání daleko vyšší, než otevírání (hmotnost protizávaží) musel být do zpětné větve hydraulického obvodu nutně zařazen škrťací ventil. Tím se jednoduše seřídí rychlost zavírání. Závaží je taktéž zdrojem energie pro nouzové zavírání rozvaděče, při výpadku proudu, kdy by při odřazování motoru za plného otevření turbíny došlo k náhlému nárůstu otáček soustrojí. Takový nárůst otáček by mohl způsobit poškození stroje. Závaží zavěšené na páce nebo laně je jednoduché a u MVE se považuje za velice spolehlivou záležitost – „gravitace funguje stále“.



Obr. 20 Hydraulický obvod

Regulace turbíny MVE Liboš je od roku 2005 řízena zcela automaticky. Dříve se regulace prováděla ručně. Výhodami automatické regulace je bezesporu časová úspora obsluhy elektrárny, dále okamžitá, přesná a plynulá reakce na změnu hladiny, se kterou souvisí maximální využití hydroenergetického potenciálu. Základní princip automatické (hladinové) regulace bude popsán v kapitole 4.2.1.1 Hladinová regulace.

4.2 Elektroinstalace

4.2.1. Elektrický rozvaděč, automatika řízení

Na obr. 21 je vyobrazen elektrický rozvaděč, instalovaný na MVE Liboš v roce 2005.

Elektrický rozvaděč se skládá z části silové a ovládací - z bloků, fungujících v návaznosti, ty tvoří vlastní automatiku řízení provozu MVE. Základními prvky rozvaděče jsou bloky napěťové a frekvenční ochrany, automatický fázovací blok, blok s digitálním wattmetrem, kompenzace účiníku ($\cos \varphi$) a hladinovou regulací.



Obr. 21 Elektrický rozvaděč

Funkci jednotlivých bloků lze ve stručnosti popsat:

- Napěťová ochrana – slouží k monitorování napětí sítě, do které jsou zapojeny energetické zdroje. Jedná se o relé, které s jistou citlivostí reaguje na změny velikostí napětí sítě a případným odepnutím chrání elektroinstalaci provozovny.
- Frekvenční ochrana – slouží k monitorování frekvence sítě, do které jsou zapojeny energetické zdroje. Dojde-li ke změně frekvence na jinou hodnotu, než je nastavený rozsah, dochází k rozepnutí výstupního relé. Frekvenční i napěťová ochrana je samovybavovací, tj. dojde-li k obnově původních hodnot v nastaveném rozsahu, výstupní relé sepne a plní původní funkci.
- Automatický fázovací blok – slouží k monitorování otáček asynchronního generátoru. Při dosažení synchronní rychlosti dochází k sepnutí relé a připojení generátoru k síti.
- Blok s digitálním wattmetrem – monitoruje výkon energetického zdroje (generátoru) a odepíná ho od sítě v nezatíženém stavu, při přechodu výkonu mezi dodávkovým a odběrovým kvadrantem.
- Kompenzace účinníku – funguje ve spojení s kondenzátory, které mění fázový posun napětí a proudu. Slouží k dodržení povolené tolerance jalových toků při výrobě, které jsou jinak peněžně sankcionovány. [9]
- Blok hladinové regulace – princip hladinové regulace spočívá v řízení akčních členů regulace turbíny odděleně pro směr otvárací a zavírací ovládacími povely výstupních kontaktů relé.

4.2.1.1 Hladinová regulace

Provoz MVE z pohledu využívání vody je v dnešní době v ČR upraven předpisy, které prostřednictvím správy povodí a odbory životního prostředí určují provozovateli podmínky chodu vodního díla. Stanovují kóty hladin, za kterých může být vodní elektrárna provozována, kdy musí být odstavena a jaký minimální sanační průtok musí být dodržen.

Předpisy na provozovatele MVE kladou výrazně vyšší nároky, než tomu bylo v minulosti. Požadavky na udržování hladiny jsou většinou přísnější, než možnosti stávající technologie MVE. V takovém případě nezbyvá, než technologii upravit, vhodně zmodernizovat, nebo zcela změnit tak, aby požadavkům vyhovovala.

Funkce dobře pracující automatizace (hladinové regulace) se odvíjí od správného měření hladiny v náhonu. Na tomto údaji totiž závisí chování celé MVE. Měření hladiny je základní údaj a na snímače jsou kladeny poměrně vysoké nároky. Vyhodnocení a zpracování výstupu se již dle stupně automatizace liší, ale i sebelepší řídicí systém nezvládne správně regulovat MVE se snímačem zamrzlým, zaneseným splavím a vodním porostem.

Rozdělení používaných snímačů:

- Mechanické plovákové
- Elektrické s tyčovými sondami
- Kapacitní
- Ultrazvukové
- Tlakové [10]

Hladina vody na MVE Liboš je snímána celkem dvěma tlakovými čidly. Čidlo (obr. 22) měří tlak vodního sloupce pomocí tenzometrického snímače uloženého v měřící hlavici. Je umístěno v plastové chráničce (trubce). Otvor pro vodiče čidla zároveň slouží k přivedení okolního tlaku vzduchu.



Obr. 22 Tlakové čidlo hladinové regulace

Se vzrůstající hladinou vzrůstá i výstupní napětí, je přesně lineární k výšce hladiny, to je vyhodnoceno automatikou a akční člen regulace otevírá rozváděcí kolo turbíny. S poklesem hladiny dochází k ději reverznímu, kdy akční člen (regulační mechanismus) přivírá rozvaděč. Uvedený pokles a nárůst hladiny by nás mohl uvést v nesrozumitelnost, že hladina neustále kolísá. Není tomu tak, hladina je udržována na stanovené provozní výšce a její pokles a nárůst je kompenzován otvíráním a zavíráním rozvaděče turbíny, tedy zvyšováním (snižováním) průtoku turbínou.

Zmiňované první čidlo je umístěno v prostoru za hrubými česly. Druhé tlakové čidlo je instalováno ve vtoku do kašny, za jemnými česly. Hodnoty čidel, resp. jejich diferenci zpracovává komparátor, který v případě, že diference nabude hodnoty vyšší než je povolená hranici (jemné česle jsou ucpány) uvede do chodu čistící zařízení.

I přesto, že je hladinová regulace plně automatizována, stále zůstává zachována možnost provozu MVE v ručním režimu. K tomuto ovládání a například k plánovanému vyřazení stroje z provozu slouží obslužný panel s tlačítky (obr. 23).



Obr. 23 Obslužný panel

4.2.2 Odběrné místo

Odběrné místo MVE Liboš je umístěno ve zdi přiléhající budovy bývalého mlýna. Je zde namontován multifunkční statický elektroměr. Ten umožňuje široké uplatnění při měření a vyhodnocení odběru a dodávky, zaznamenává činné a jalové složky elektrické energie v obou směrech toku (odběr-dodávka).

4.3 Ostatní stavebně hydraulická a technologická zařízení

4.3.1 Česle

Česle jsou nezbytnou součástí všech odběrných objektů hydrotechnických a hydroenergetických děl. Jejich úkolem je zamezit vnikání nečistot a předmětů do těchto děl, které by jinak mohli komplikovat, nebo ohrožovat provoz.

Hlavním úkolem česlí je tedy zabránit ucpání, nebo zhoršení prostupnosti vody kanály rozvaděče a oběžného kola a dále chránit obtékané části systému před mechanickým poškozením. [11]

MVE Liboš je stejně jako většina podobných MVE vybavena česly (obr. 24), které se rozlišují podle funkčních požadavků na česle hrubé a jemné. Oba druhy se od sebe liší funkcí, konstrukčním provedením i uspořádáním. Hrubé česle se vyskytují v oblasti beztlakového vtoku, naopak česle jemné se nachází v bezprostřední části vstupního profilu tlakového vtoku.



Obr. 24 Uspořádání česlí

Hrubé česle jsou zřízeny z důvodu ochrany technologického zařízení elektrárny před hmotným splavím, jako jsou například ledové kry, plovoucí stromy, klády, pařezy apod. Hrubé česle jsou tvořeny mříží z vertikálně uspořádaných česlic, které jdou od dnového prahu až nad hladinu. Jednotlivé česlice nejsou nic jiného, než tenkostěnné trubky o vnějším průměru 45 mm, vzdálené od sebe 150 mm. Česlice jsou u dna nastrčeny na hrotech, horní části drží v okách, které jsou přivařena k rámu, resp. lávce pro obsluhu.

Jemné česle jsou nedílnou součástí odběrného objektu. Jsou zabudovány v těsné blízkosti vstupního tlakového profilu. Slouží k zamezení vstupu jemnějších splavenin do kašny, které se nezachytily o hrubé česle. Česle jako celek jsou vytvořeny celkem čtyřmi sekcemi, které je

možno v případě nutné opravy vyjmout. Každý díl (sekce) je tvořen z několika sešroubovaných česlic z pásové oceli o rozměrech příčného průřezu 60 x 6. Světlost česlí je cca 30 mm, je zaručena distančními trubičkami. Světlost se volí menší, než je nejužší protékající kanál turbíny (mezilopatkový prostor rozvaděče, oběžného kola), aby se tyto prostory neucpaly splavím. Jemné česle jsou na rozdíl od hrubých mírně skloněny po směru proudu, od vodorovné roviny asi na 70°.

4.3.2 Čisticí zařízení

Jde o strojně technologické zařízení, určené pro automatické odstranění splavenin zachycených na jemných česlicích. Na MVE se všeobecně vyskytuje několik konstrukčních typů čisticích zařízení (hrabačky) a lze je dělit dle druhu pohonu stírací lopaty na řetězové, lanové a v poslední době často se uplatňující ramenové čisticí stroje s hydraulickým pohonem.

MVE Liboš je vybavena řetězovou hrabačkou (obr. 25). Konstrukční základ vznikl modifikací dílů řetězového dopravníku, dříve používaného v zemědělství. Hrabačka má celkem dvě lopaty, které vyhrnují splaveniny na ohoz za jemné česlice. Pryžové lopaty uchycené na řetězech jsou vybaveny silonovými válečky, které běhají ve vedení a zajišťují tak doléhání lopat na česle. Hrabačka je poháněna elektromotorem s mechanickou převodovkou.



Obr. 25 Řetězový hrabací stroj

Nyní hrabačka funguje ve vazbě s automatikou řízení MVE. Dříve bylo možno v době nepřítomnosti spínat hrabačku časovým spínačem. Dle aktuální situace na toku, tzn. dle množství splavenin se na časovém spínači nastavil interval samočinného spouštění a délka hrabacího cyklu.

4.3.3 Stavidlové uzávěry, bezpečnostní přepad

Zastavit průtok soustrojím a bezpečně oddělit prostor zatápný vodou (kašnu), umožňuje provozní stavidlo umístěné ve strojovně. Umístění stavidla i jeho hlavní části jsou stále původní od první instalace Francisovy turbíny. Manipulace se stavidlem je ruční, přes klikou poháněný šnekový mechanismus se zvedá (spouští) žebřík spojený s tělem stavidla.

Druhé stavidlo, zvané jalové slouží k vypouštění vody z náhonu v době, kdy je turbína odstavena. Může jít o odstavení chtěné, kdy je například na soustrojí prováděna údržba, popř. odstavení nechtěné, které je způsobeno výpadkem v síti, poruchou. Jalové stavidlo je konstrukčně totožné se stavidlem provozním, rozdíl je pouze v těle stavidla. To se skládá z části ocelové a dále z dřevěných náplatků. Dřevěné náplátky slouží jako bezpečnostní prvek. V případě, že z nějakého důvodu (silná námraza, porucha mechanismu) nebude možno stavidlo vyhradit, lze přebytečnou vodu vypustit jalovým přepadem odražením a vytáhnutím náplatků stavidla.

Bezpečnostní přepad u MVE Liboš slouží ke krátkodobému odvedení vody v případě nečekané odstávky. Jde o jednoduché betonové koryto při pravém břehu před provozovnou.

5 Provoz MVE Liboš

Provoz MVE byl v dřívější době dosti časově i fyzicky náročný avšak instalací hladinové regulace se vše zlepšilo. Nyní už není potřeba tak nepřetržitého sledování a kontroly, ale přesto lidský faktor u provozu MVE nelze opomíjet.

Ve stavech kdy dojde k nečekanému odstavení stroje např. způsobeným krátkodobým výpadkem sítě, se turbína zavírá, otáčky klesají téměř až na nulovou hodnotu. Poté se zcela automaticky soustrojí rozběhne na provozní otáčky, generátor se přifází a opět začne dodávat energii do sítě. Tak může být popsán ideální stav průběhu poruchy.

Často se však stává, že vlivem nachytaného splaví (drobných větví) v oběžném kole a na částech vnitřního mechanismu regulace se rozvaděč zcela nezavře. Turbína není brzděna generátorem, dostane se tak do pásma vyšších otáček, než jsou otáčky pro přifázování. S takovým problémem si již automat neporadí. Soustrojí se nevrátí do stavu dodávky elektrické energie. Turbinou bude protékat pouze částečný průtok, zbytek se převede bezpečnostním přepadem do odpadní části náhonu. Při tomto problému je pouze v rukou obsluhy MVE učinit vhodná opatření (zpomalit otáčky turbíny, odstranit nečistoty) a navrátit tak soustrojí do výrobního režimu.

Vodní turbíně, stejně tak jako každému jinému stroji je nutno věnovat náležitou péči a správnou údržbu, aby byl zaručen bezporuchový provoz. Čas od času se provádí periodická prohlídka, která bývá obvykle naplánována. Součástí takovéto prohlídky obvykle bývá mazání svorníků rozváděcích lopatek ekologickou vazelinou, dále probíhá kontrola a seřízení segmentového ložiska popř. i kontrola ucpávky turbíny tvořené vylitým hovězím lojem.

Pokles výkonu turbíny obvykle signalizuje zanesení kanálů oběžného kola. Řešením je vyčištění kanálů. Jsou období, kdy odstraňování předmětů z oběžného kola probíhá i několikrát denně a naopak období, kdy se do kašny stroje nemusí i měsíc vkročit.

Provoz MVE Liboš je zcela odlišný v zimních měsících. Průtok vody v náhonu je dosti rychlý, proto nedochází k postupnému a plynulému zarůstání hladiny ledem, ale tvoří se ledová tříšť, se kterou jsou sváděny každoroční boje. Ledová tříšť vzniká asi při $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ a níže. Hrubé česlice ji nezachytí, ale tříšť se lepí na jemné česlice. Ty jsou kovové, promrzají a vytváří tak vhodné podmínky pro další růst krystalů ledu. Pro udržení turbíny v provozu je nutné tuto tříšť několikrát za hodinu odstraňovat hráběmi. Není výjimkou, že se tříšťi zalepí rozvaděč a turbína se odstavuje, voda se odvádí jalovou výpustí. Rozmrazení částí stroje se provádí poléváním teplou vodou.

S provozem MVE také souvisí odstraňování zachycených naplavenin. Legislativa zakazuje opětovné vracení splavenin do toku. Kromě nečistot biologicky rozložitelných se ve velké míře v toku objevují předměty z plastových hmot, skla apod. Tyto předměty jsou

obsluhou tříděny a po čase se odnáší ke kontejnerům druhotného zpracování. Splaveniny typu haluze, listí a tráva se cca jednou měsíčně, nebo dle množství odváží na určené místo, kde dochází k jejich kompostování.

6 Neuskutečněná instalace svařovaného oběžného kola

Neuskutečněné technické řešení, nyní leží v rozpracovaném stavu v prostorách strojovny. Jde o nové oběžné kolo (obr. 26, 27) pro stávající Francisovu turbínu. V této práci byl již zmiňován celkově špatný stav dochovaného oběžného kola při zprovoznování MVE. Z důvodu obav, že by mohlo během několika let provozu dojít k vylovení některé navařované lopatky oběžného kola, což by uvedlo MVE v nečinnost, se asi před 10-ti lety začalo s výrobou nového oběžného kola.

Původní oběžné kolo je vyrobeno zalitím plechových lopat do litinového věnce a náboje. Nové oběžné kolo se vyrábělo jako svařenec. Lopatky oběžného kola (obr. 28) byly nahřívány plamenem a ručně tvarovány podle šablony – kopyta z lité oceli (obr. 29).



Obr. 26 Svařované oběžné kolo



Obr. 27 Oběžné kol z vnitřní strany (náboj, otvory vyrovnávající tlak)



Obr. 28 Lopatka s PVC šablonou



Obr. 29 Lopatkové kopyto

Polotovarem pro výrobu lopatek byly výpalky z plechu (5mm). Profil tvarovacího kopyta vychází z původního profilu lopatky. Nalítím sádry do mezilopátkového kanálu se jednoduše sejmul tvar zakřivení lopatky stávajícího oběžného kola, tak se zhotovil sádrový model (obr. 30) pro zaformování a odlití kopyta. Jako šablona pro vypálení první ocelové lopatky se výborně hodila podlahová krytina z PVC. Ta se přizpůsobila tvaru plechové lopatky původního kola a z venkovní strany se obkreslil obrys. Náboj oběžného kola je z kulatiny s předsoustruženou dírou, je vevařen do dvouplášťové konstrukce tvořené ze dvou různých plechových komolých kuželů přivařených k hornímu prstenci (vnějšímu hornímu průměru OK). Otvory částečně vyrovnávající tlak v OK jsou řešeny jednoduchým provrtáním dutého pláště, vsazením a přivařením trubek. Horní i dolní prstence OK jsou taktéž vypáleny z plechu. Původní věnec OK nám vytváří vnější průměr a zároveň uzavírá bok výstupních kanálů francisova kola. V případě svařence se uzavření vytvořilo opět došablonováním pomocí PVC a nachystáním tvarových výpalků (segmentů), (obr. 31), které by se postupně navařovaly. Zpevnění největšího průměru by se provedlo navařením prstence ze stočené ocelové kulatiny.



Obr. 30 Sádrový model profilu lopatky



Obr. 31 Segment uzavírající kanál OK

Ve finále by se oběžnému kolu na svislém soustruhu přetočily vnější průměry a kuželový náboj, dále by se v náboji zhotovily drážky na pera. Oběžné kolo by se otryskalo, opatřilo vhodným nátěrem a mohlo být k dispozici v plně funkčním stavu.

K dokončení oběžného kola nedošlo a asi už nikdy nedojde. Z důvodů nezištných se s výrobou kola skončilo. Předpovědi, že původní OK již dosluhuje, byly nejméně skeptické, jelikož funguje stále. Má-li se však porovnat kvalita provedení oběžných kol, vítězem by bylo kolo svařované. Nestejnoměrné rozdělení po obvodu a rozličné natočení lopatek původního kola, ke kterým došlo při výrobě (nepřesné zaformování), se nutně musí podílet na snížení hydraulické účinnosti stroje.

7 Plánovaná přestavba MVE Liboš

Celková přestavba MVE Liboš naplánovaná na léto tohoto roku (2010). Proto byl převod plochým řemenem v kapitole 4.1.2.3 označen jako dočasný. Od prvního zprovoznění MVE bylo jasné, že komplexní přestavba bude nutná.

Všechny technické změny, zásahy a inovace u MVE Liboš jsou pouze otázkou financí. Vyrobená roční energie dosahuje 100 000 kW/h, což majiteli poskytuje spíše roční

přivýdělek. Na tuto přestavbu se prakticky myslelo už od samotných začátků fungování MVE, proto se ukládal každoroční poloviční zisk z výroby.

Celková přestavba bude spočívat v náhradě kašnové Francisovi turbíny novou Kaplanovou kašnovou turbínou. Tato náhrada by měla přispět jednoznačně k navýšení celkového ročního i okamžitého výkonu MVE. Kaplanova turbína se obecně na lokality MVE s malým spádem a s dosti se měnícím průtokem výborně hodí. Její dvojitá regulace, oběžného kola i rozvaděče, přispěje k hospodárnějšímu využití odebírané vody z náhonu.

S instalací Kaplanovy turbíny budou souviset rozsáhlé betonářské a stavební práce. Nebude osazena v původní kašně, ta svým tvarem ani umístěním dna nevyhovuje novému stroji. Po demontáži původního soustrojí se uskuteční demolice kašnové podlahy. Přílohy č. 2 a 3 nám ukazují základní rozdíl v umístění turbín, savek a tvarech kašny.

Parametry nového soustrojí

Oběžné kolo - 4 lopatky (rychlloběžný profil), $D = 820 \text{ mm}$, $n = 330 \text{ min}^{-1}$

Rozváděcí kolo - 15 rozváděcích lopatek, vybaveno předrozvaděčem s 11-ti lopatkami

Generátor - Trojfázový asynchronní motor s kotvou nakrátko SIEMENS, typ 1LG6, jmenovitý výkon $P = 37 \text{ kW}$, $n_n = 1000 \text{ min}^{-1}$

Převod - plochý řemenový převod

Savka - Monolitická betonová savka s kolenovou částí vyrobenou z plechu

V těchto dnech probíhá ustavičná příprava na plánovanou přestavbu, dále dochází k dokončování výroby částí turbíny. Již hotovou částí nového soustrojí je plechový díl savky (obr. 32). Byl posvařován z jednotlivých segmentových výpalků do finálního tvaru.



Obr. 32 Plechový díl savky



Obr. 33 Bednění savky

Z důvodu dodržení stanoveného termínu přestavby již nyní probíhá chystání bednění (obr. 33) pro dobetonování savky turbíny. Obrobený kulový prostor s předrozvaděčem (obr. 34) už pouze čeká finální nátěr, avšak jeho dovezení z výrobních prostor firmy UNEX a.s. Uničov brání špatné počasí. K natření bude použito keramikou plněného epoxidu značky LOCTITE. Samozřejmostí při přestavbě bude generální oprava čistícího mechanismu a s ní spojená výměna jemných (obr. 35) a hrubých česlí za nové.

Nutno podotknout, že turbína, resp. celé soustrojí bude vyrobeno svépomocí. Pro zpracování výkresové dokumentace a navržení stroje se podařilo kontaktovat člověka, který

má s výrobou turbín typ Kaplan zkušenosti. Je také majitelem MVE a jeho vyrobené dvě kašnové kaplanovy turbíny dosahují celkového výkonu 440 kW.



Obr. 34 Kulový prostor Kaplanovy turbíny



Obr. 35 Jemné česle

8 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo seznámení se strojovým vybavením vodních elektráren malých výkonů. Práce byla pojata poněkud specificky. Soustředil jsem se na popis konkrétních zařízení MVE Liboš, který by doufám měl být postačující k pochopení a k vytvoření si základní představy o funkci, údržbě a renovaci vodního díla.

Vývoj MVE Liboš může být v některých směrech dosti úsměvný, zvláště pro kolegy elektrárníky, kteří se dodávaným výkonem pohybují ve stovkách kW. Pokud v práci pojednávám o navyšování výkonu, každý určitě očekává nárůst podstatně vyšší, než například 3 kW. U MVE dosahujících maximálního výkonu v řádu desítek kW, je však takové navýšení považováno za úspěch a mnohdy za ním stojí spousta odvedené práce na soustrojí.

Výrobu svařovaného oběžného kola uvádím, abych demonstroval jednak lidskou zručnost a dále fakt, že spousta věcí na MVE si majitel může vyrobit sám za podstatně nižší náklady, pokud má k dispozici alespoň minimální dílenské zázemí. Svařované OK Francisovy turbíny není ničím neobvyklým. V minulosti se tak dokonce kola i sériově vyráběla. Oběžné kolo pro Francisovu turbínu na MVE Liboš bylo zprvu požadováno od renomovaného výrobce. Avšak po zjištění ceny, která se pohybovala kolem 2mil. Kč se jeho pořízení okamžitě zavrhl. návratnost nového OK by dosahovala bezmála desetiletí.

Nabízí se otázka, jakého výkonu by turbína s novým OK dosahovala. Původní kolo má výrazné nedostatky ve tvarech kanálů. Je dosti možné, že by opět o nějaké procento výkon narostl.

Na MVE Liboš, resp. na soustrojí Francisovy turbíny je stále mnoho nedořešených věcí, které by stálo za to, jen z důvodu čistě experimentálních, zlepšit a optimalizovat. Čas funkce Francisovy turbíny se ale pomalu naplňuje. Pakliže se vše dobře podaří připravit a počasí bude na naší straně, mohla by MVE Liboš být na sklonku léta 2010 osazena novou Kaplanovou turbínou.

Plánovaná přestavba bude pro mne další cennou zkušeností a už nyní se na ni těším.

Seznam citací

- [1] ČR. MANIPULAČNÍ ŘÁD pro jez Liboš. In 4-10-03-064. 2008, BRNO, s. 8-9.
- [2] HOLATA, Miroslav. *Malé vodní elektrárny : projektování a provoz*. Legerova 61, Praha 2 : Academia : Academia, 2002. Přívod vody k reakční turbíně, s. 155-156.
- [3] DRUCKMÜLLER, Miloslav. *Technologie a údržba vodních turbín*. Spálená 51, Praha 2 : Státní nakladatelství technické literatury, 1960. 178 s.
- [4] *Hynkov 3 - přestavba starého mlýna na vodní elektrárnu* [online]. 2006 [cit. 2010-05-10]. Fotografie z obnovy MVE. Dostupné z WWW: <<http://starymlyn.webgarden.cz/image/11074708>>.
- [5] *Malé vodní elektrárny* [online]. 2009 [cit. 2010-05-20]. Francisova turbína. Dostupné z WWW: <http://www.vodni-elektrarny.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=57&Itemid=70>.
- [6] *Technologie a údržba vodních turbín*. Spálená 51, Praha 2 : Státní nakladatelství technické literatury, 1960. 125 s.
- [7] HOLATA, Miloslav. *Malé vodní elektrárny : projektování a provoz*. Legerova 61, Praha 2 : Academia, 2002. 185-186 s.
- [8] KOŠTÁL, Milan. Výpočty řemenů : *Ploché hnací řemeny*. Husova 24, Jaroměř
- [9] ČIŽINSKÝ. *Elektrotechnologie : Automatika řízení*
- [10] NĚMEC, Michal Principy snímání hladiny pro automatizaci MVE : Principy měření hladiny. In *SEMINÁŘ MVE 2004*. 2004. s. 27-32.
- [11] HOLATA, Miloslav. *Malé vodní elektrárny : projektování a provoz*. Legerova 61, Praha 2 : Academia, 2002. 56-57 s.

Seznam zkratek a symbolů

| Označení | Jednotka | Název |
|----------------------|-------------------------|---|
| n_t | $[\text{min}^{-1}]$ | transmisní otáčky |
| n_n | $[\text{min}^{-1}]$ | jmenovité otáčky generátoru |
| n | $[\text{min}^{-1}]$ | otáčky hřídele turbíny |
| i | $[-]$ | převodové číslo |
| MQ | $[\text{m}^3/\text{s}]$ | minimální průtok pod jezem |
| $MQ_{\text{náh}}$ | $[\text{m}^3/\text{s}]$ | minimální průtok náhonem |
| Q_{Md} | $[\text{m}^3/\text{s}]$ | m-denní průtoky |
| Q_{N} | $[\text{m}^3/\text{s}]$ | n-leté průtoky |
| Q_{max} | $[\text{m}^3/\text{s}]$ | maximální hltnost turbíny |
| a_w | $[\text{mm}]$ | osová vzdálenost hnací a hnané řemenice |
| α_1, α_2 | $[\text{°}]$ | úhel opásání hnané, hnací řemenice |
| D_1, D_2 | $[\text{mm}]$ | průměr hnané, hnací řemenice |
| t | $[\text{mm}]$ | šířka plochého řemene |
| D | $[\text{mm}]$ | průměr oběžného kola |
| H | $[\text{m}]$ | hrubí spád |
| P_{max} | $[\text{kW}]$ | maximální výkon na svorkách generátoru |
| P | $[\text{kW}]$ | jmenovitý výkon generátoru |
| ΔP | $[\text{kW}]$ | přírůstek výkonu |
| MVE | | malá vodní elektrárna |
| GO | | generální oprava |
| OK | | oběžné kolo |
| SHPP | | small hydro power plant |

Přílohy

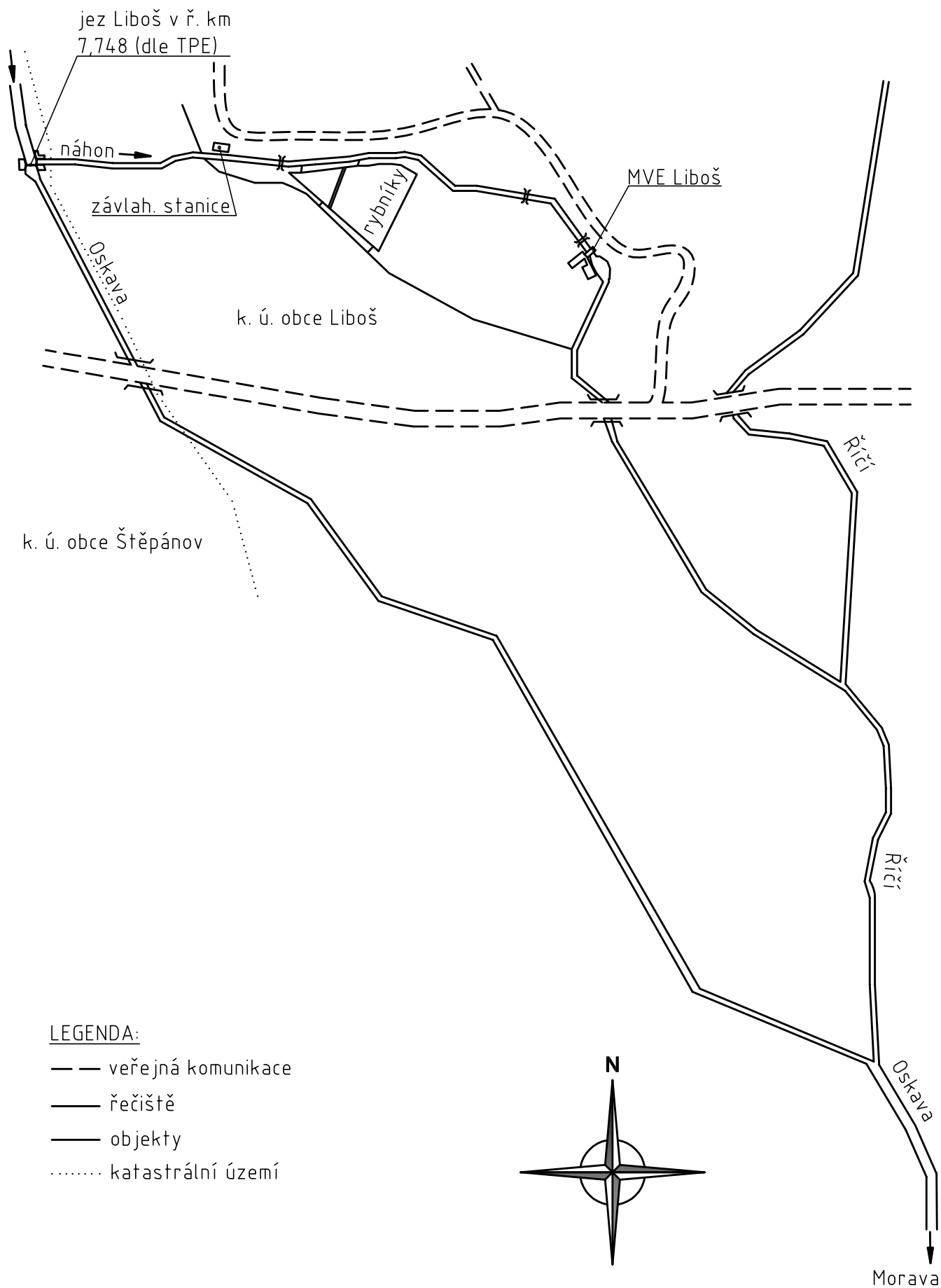
Příloha č. 1: Lokalita, situační umístění MVE Liboš

Příloha č. 2: Umístění stávající Francisovy turbíny v kašně

Příloha č. 3: Umístění nové Kaplanovy turbíny v kašně

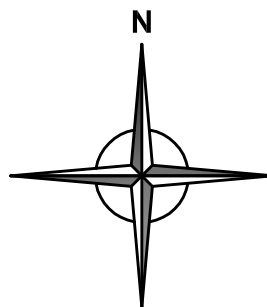
Příloha č. 4: Fotografie MVE Liboš

Příloha č. 1: lokalita, situační umístění MVE Liboš



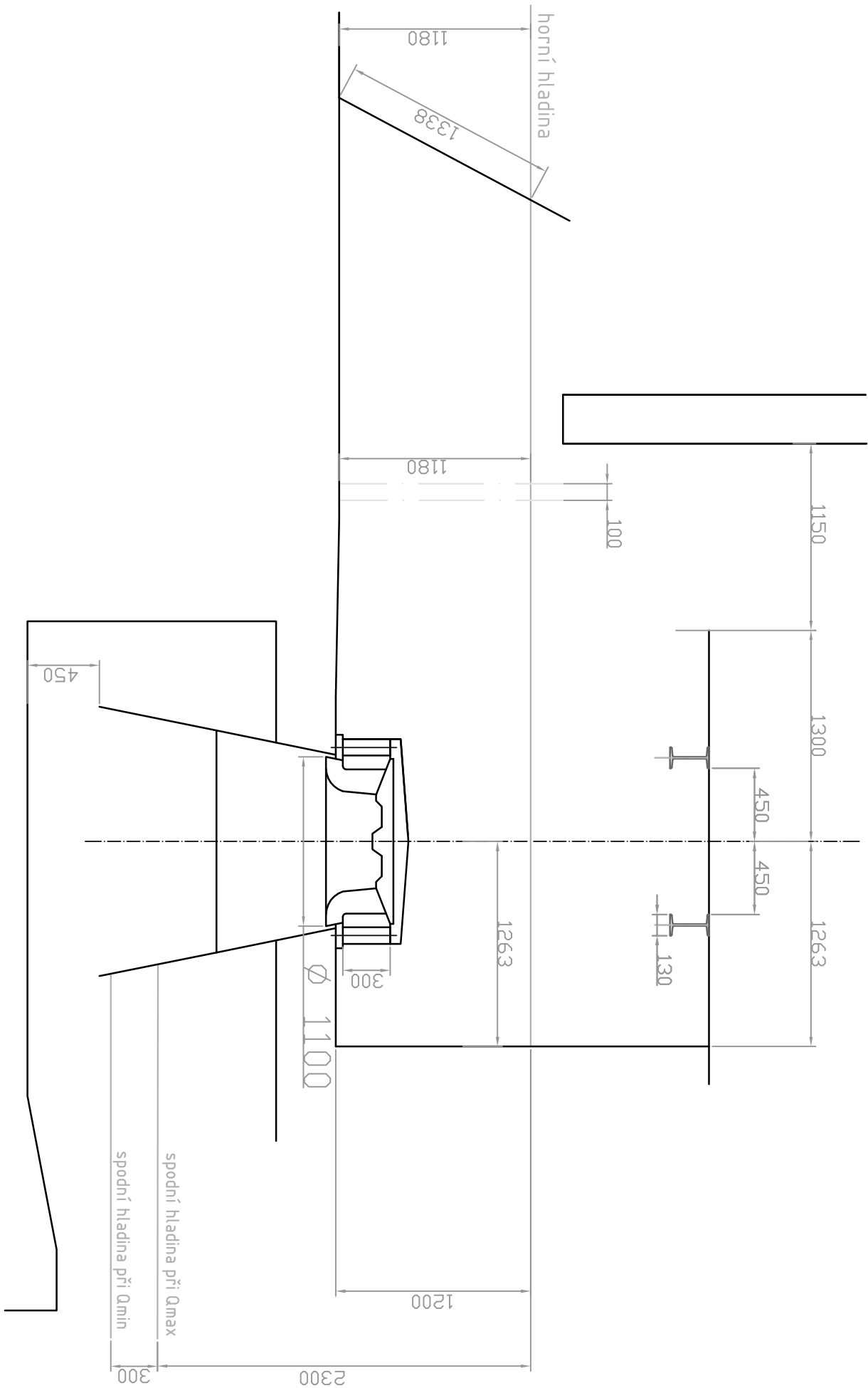
LEGENDA:

- — veřejná komunikace
- říčí
- objekty
- katastrální území

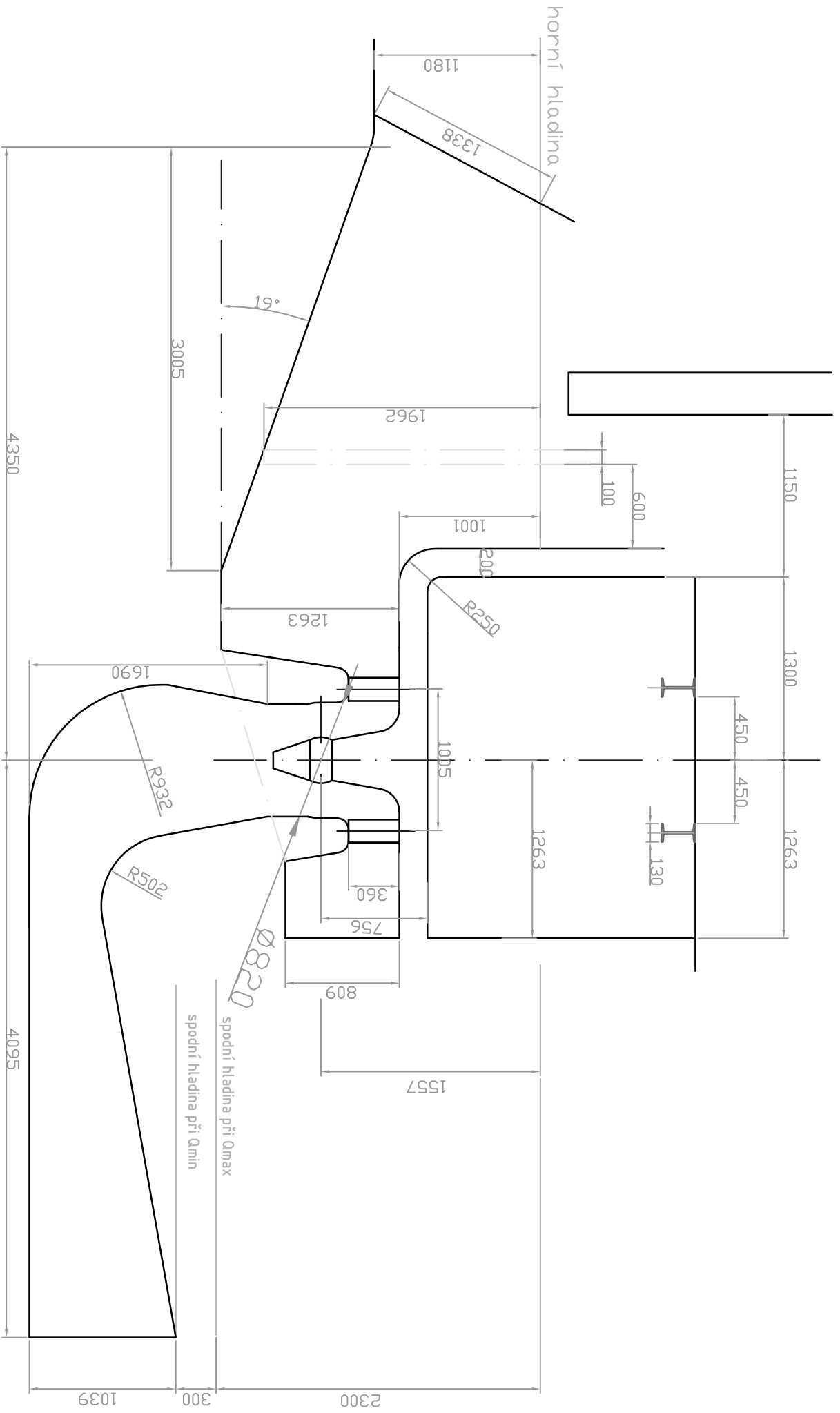


Morava

Príloha č. 2: Umístění stávající Francisovy turbíny v kašně



Príloha č. 3: Umištení nové Kaplanovy turbíny v kašně



Příloha č. 4: Fotografie MVE Liboš

