

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Zhodnocení provozu a optimalizace MVE Radešov

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Stanislav VOČADLO**
Osobní číslo: **E10B0189P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Zhodnocení provozu a optimalizace MVE Radešov**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Popište MVE Radešov, zejména technické parametry. Uveďte způsob připojení elektrárny k el. soustavě. Stanovte hydroenergetický potenciál lokality.
2. Posuďte vliv rozdělení průtoku vodním dílem na jeho rentabilitu a environmentální aspekty. (Asanační průtok, zůstatkový průtok, voda do rybích přechodů)
3. Zhodnoťte dosavadní provoz elektrárny. Sestavte přehled výroby v minulých letech. Zhodnoťte také způsoby využití křivky m - denních průtoků osazenou technologií. Uvažujte hledisko využití instalovaného výkonu.
4. Navrhněte možné optimalizace pro dosažení většího výkonu.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

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

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Jindra

Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2012

Termín odevzdání bakalářské práce: 7. června 2013


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




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

V Plzni dne 15. října 2012

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce se zabývá zhodnocením provozu a optimalizací malé vodní elektrárny v Radešově. Cílem je popsat tuto derivační elektrárnu, zhodnotit vliv elektrárny na životní prostředí, určit hydroenergetický potenciál lokality a navrhnout řešení pro navýšení výroby elektrické energie.

Klíčová slova

Vodní elektrárna, energie, hydroenergetický potenciál, derivační, obnovitelné zdroje, Radešov, spád, průtok, účinnost, hlnost turbíny, legislativa, životní prostředí, rybí přechod, kvalita vody, optimalizace.

Abstract

This thesis deals with the evaluation of operation and optimalization of small hydroelectric power station in Radešov. The aim is to describe this derivative power station, assess the impact of it on the environment, identify the hydroenergetic potential of the locality and suggest solutions for increasing the performance.

Keywords

Small hydro-power plant, power, hydroelectric power potential, derivative, renewableenergy, Radešov, head of water, flow rate, maximum usable flow, legislativ, the enviroment, fish passage, water quality, optimization .

Prohlášení

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

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

.....
podpis

V Plzni dne 29.5.2013

Stanislav Vočadlo

Poděkování

Rád bych poděkoval panu Ing. Petru Jindrovi za cenné připomínky a metodické vedení práce a panu Ing. Svatopluku Bernáškovvi za konzultace a poskytnutí veškerých informací o jeho elektrárně.

Obsah

Obsah	7
Úvod.....	9
1 Vodní elektrárny	10
1.1 Obecně.....	10
1.2 Typy vodních elektráren.....	10
1.3 Historie a statistika	11
1.4 Vodní turbíny	11
2 Vodní dílo Radešov.....	13
2.1 Jez a odběrné zařízení	13
2.2 Náhon, česle a jalový přepad.....	14
2.3 Objekt elektrárny.....	15
2.3.1 Storek.....	16
2.3.2 Hydrohrom	17
2.4 Odpadní kanál	17
2.5 Historie provozu a připojení k síti.....	18
3 Legislativa a životní prostředí.....	19
3.1 Minimální zůstatkový průtok (MZP)	20
3.1.1 Vodní právo díla.....	21
3.2 Rybí přechod	21
3.3 Kvalita vody	22
4 Hydroenergetický potenciál	23
4.1.1 Teoretický potenciál	23
4.1.2 Reálně využitelný potenciál	24
4.2 Algoritmus využití m-křivky osazenou technologií.....	27
4.3 Přehled výroby v minulých letech.....	27
5 Optimalizace	29
5.1 Provedené	29
5.1.1 Instalace turbíny Hydrohrom.....	29
5.1.2 Vyhřívání česel.....	29
5.2 Proveditelné.....	30
5.2.1 Přívodní kanál.....	30
5.2.2 Savka	33
5.2.3 Odpadní kanál.....	34
5.3 Závěrečná bilance.....	35
Závěr	36
Seznam použité literatury a informačních zdrojů	37
Seznam příloh	39
Přílohy.....	1

Seznam použitých zkratk

HP	hydroenergetický potenciál
MVE	malá vodní elektrárna
MZP	minimální zůstatkový průtok
NPV	nakládání s povrchovými vodami
Q_{xx}	průtok překročený po dobu xx dní v roce
RP	rybí přechod
VE	vodní elektrárna
ZČE	Západočeská energetika a.s.

Úvod

Předkládaná práce se zabývá zhodnocením provozu a návrhy k navýšení výkonu malé vodní elektrárny v Radešově.

Práce je rozdělena do pěti částí. První část zachycuje historický vývoj malých vodních děl v České republice a řadí MVE mezi účinné lokální zdroje elektrické energie. Druhá část popisuje jednotlivé funkční celky konkrétního vodního díla. Dále je v práci nastíněna historie a vývoj integrace elektrárny k elektrické síti. Třetí část je věnována vlivu elektrárny na životní prostředí, jsou zde uvedené dvě provedené studie na toto téma a je zde průřez legislativou týkající se MVE. Ve čtvrté části určí hydroenergetický potenciál lokality a sestavují výrobu v minulých letech. Poslední část se zabývá návrhem konkrétních kroků, které by vedly k navýšení výroby elektrické energie.

1 Vodní elektrárny

1.1 Obecně

Vodní elektrárny přeměňují, zjednodušeně řečeno, potenciální energii vody na elektrickou energii. Princip této přeměny spočívá v tom, že voda prochází přes vodní motor neboli turbínu, kde předává svoji potenciální (mechanickou) energii a na turbíně tak vzniká mechanický moment. Tento mechanický moment převádíme na hřídel elektrického generátoru, který vyrábí elektrickou energii.

Jelikož voda nabývá potenciální energii tím způsobem, že se vypaří nad pevninou (malým vodním cyklem) nebo nad oceánem (velkým vodním cyklem) a dopadne na zemský povrch v určité nadmořské výšce, je zdrojem této energie Slunce. Ve Slunci jsou tímto zdrojem termonukleární reakce mnoha podob a následným přenašečem jsou fotony. S trochou nadsázky tak můžeme říci, že využíváme nekonečnou energii naší hvězdy. Obecně se vodní energie řadí mezi obnovitelné zdroje.

Pokud se zaměříme na vodní energii z hlediska využitelnosti v České republice, zjistíme, že přírodní podmínky zde nejsou pro výrobu elektrické energie pomocí vodních elektráren ideální. Většina vodních toků v ČR má malý spád nebo jsou nedostatečně objemné. I tak tvoří vodní energie z hlediska energetického mixu podstatnou složku. Tím nemyslím celkové množství vyrobené elektrické energie, kde se podíl VE pohybuje kolem 3% [1], ale schopnost vodních elektráren rychle najíždět do plného výkonu a tak reagovat na aktuální poptávku po elektrické energii nebo naopak v případě přebytku v síti odebírat elektrickou energii. Tuto nenahraditelnou schopnost velmi efektivně a rychle ukládat velké množství energie mají přečerpávací elektrárny, které při přebytku el. energie v síti čerpají vodu do své nádrže nad zdrojem vody a následně při špičce dodávají elektrinu zpátky do sítě.

1.2 Typy vodních elektráren

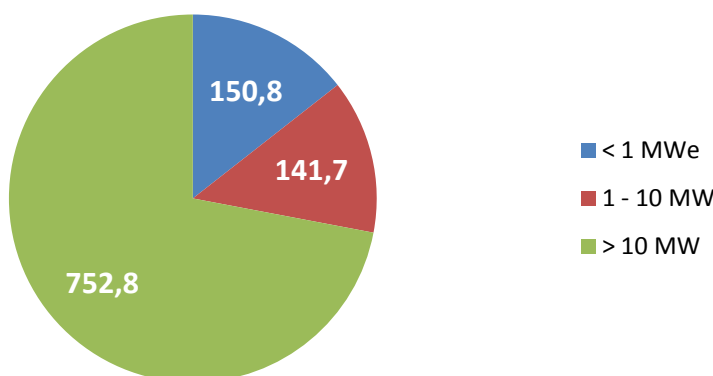
Existuje velké množství druhů a typů vodních elektráren. Vodní elektrárny můžeme dělit podle spádu, podle umístění strojovny a zvolené turbíny. Vodní elektrárny můžeme dále dělit v závislosti na časovém způsobu využívání vody na akumulární a průtočné. Podle terénní úpravy pro dosažení požadovaného spádu dělíme na jezové, přehradové, derivační atd.

Dále můžeme dělit elektrárny podle instalovaného výkonu. Největší vodní elektrárnou v ČR (vyjma přečerpávacích) je Orlík s instalovaným výkonem 364 MW. Malými vodními elektrárnami (MVE) myslíme díla do instalovaného výkonu 10 MW. [3]

1.3 Historie a statistika

Počátkem 20. století bylo v Československu na 17 tisíc elektráren a dalších vodních děl využívajících vodní energii. V době normalizace však byla většina děl zastavena, neboť představovala konkurenci centrálně řízenému socialistickému hospodářství. Počátkem 80. let bylo v ČR asi 135 MVE a během asi dvaceti let vzrostl tento počet na 1050. [3] V současné době počet MVE dosahuje zhruba 1450 (Příloha B).

Celkový instalovaný výkon VE v ČR dosahuje 1 055 MW (včetně přečerpávacích pak 2200 MW).[1] Rozložení instalovaného výkonu podle velikosti zdroje znázorňuje následující graf. Zdálo by se, že celkový instalovaný výkon MVE vzhledem k jejich počtu je pomíjivý. Výhoda těchto malých zdrojů však spočívá v tom, že se nejedná o soustředěný zdroj a elektřinu tak není třeba přenášet na velké vzdálenosti, což snižuje namáhání i ztráty v přenosové a distribuční soustavě. Většina MVE sloužila jako první zdroj el. energie blízkým městům či vesnicím a tak i dnes z velké části dodává elektrickou energii přímo ve své lokalitě na opravdu velmi krátké vzdálenosti.



Graf 1 Celkový instalovaný výkon (MW). [4]

1.4 Vodní turbíny

Princip každé VE spočívá v odebrání energie vodě a přeměně této energie na energii elektrickou. Tím se dostáváme k nejdůležitější části VE a tím je vodní motor.

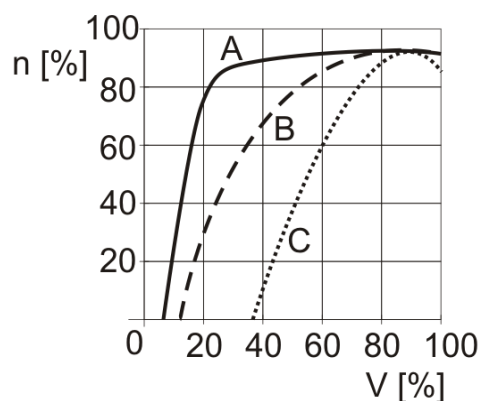
Pokud se podíváme do historického vývoje vodních motorů, počínaje vodními koly, která sloužila k čerpání vody, a konče nejmodernějšími Kaplanovými turbínami, zjistíme, že se jedná především o vývoj účinnosti. Stejně tak jako účinnost kotle na černé uhlí v tepelné elektrárně udává první součinitel účinnosti celkové přeměny chemické energie na elektrickou,

tak vodní turbína je prvním součinitelem a zároveň zdaleka největším prvkem vystupujícím v celkové účinnosti přeměny vodní energie.

Pokud se navrhuje turbína, tak základní problematickou veličinou se stává předpokládaný jmenovitý průtok. U velkých akumuláčních vodních elektráren je jmenovitý průtok v zásadě konstantní. Ovšem na malých vodních tocích je situace naprosto opačná. Řeka nabízí v závislosti na ročním období a především na aktuálním počasí velmi široký rozsah průtoků a tak bylo třeba vyvinout turbínu, která bude mít co největší účinnost v širokém spektru průtoků.

Milníkem se v tomto problému stal patent Viktora Kaplana (1920). Tento rakouský inženýr dospěl při optimalizacích Francisových turbín k myšlence natáčet k lopatkám rozváděcího kola i lopatky kola oběžného.

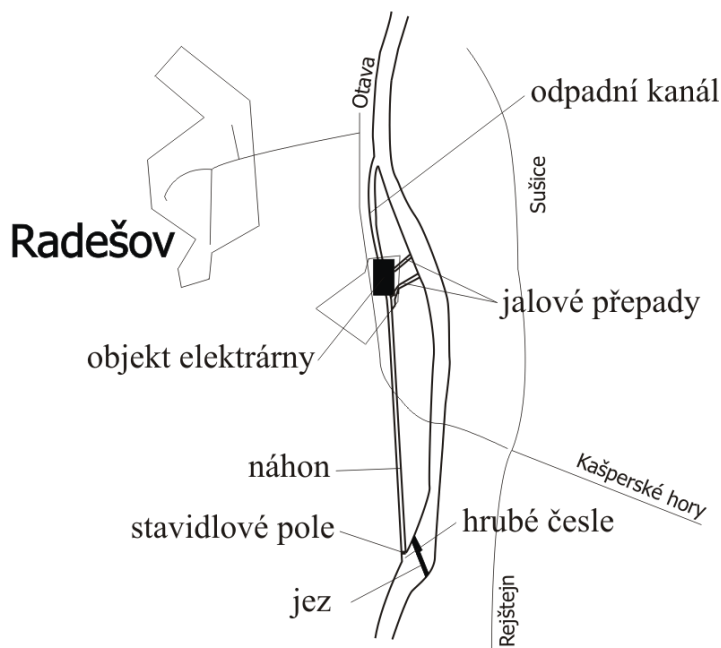
Jak je patrné z následujícího demonstrativního obrázku (Obr. 1), Kaplanova turbína (A) má velmi vysokou účinnost již při velmi nízkém průtoku V oproti Francisově turbíně (B). Křivka (C) znázorňuje průběh účinnosti Kaplanovy turbínu bez natáčení lopatek oběžného kola. [8]



Obr. 1 Schéma závislosti účinnosti turbíny na průtoku. [8]

2 Vodní dílo Radešov

MVE Radešov je derivační elektárna na řece Otavě. Voda je k elektrárně přivedena náhonem, ve kterém hladina po celé délce dosahuje zhruba stejné nadmořské výšky. Takto je na konci přivaděče dosaženo spádu přibližně 5,5 m. Ovlivněná délka toku činí asi 0,6 km. Elektárna dosahuje maximálního mechanického výkonu kolem 270-290 kW pomocí dvou Kaplanových turbín.



Obr. 2 Schéma vodního díla [5]

2.1 Jez a odběrné zařízení

Pevný jez vodního díla MVE Radešov se nachází na 106,5 říčním kilometru Otavy. Na šířku měří asi 54 m, s levým říčním břehem svírá úhel 60° a má spád přibližně 1,4 m. Spád na jezu není jen kvůli navýšení celkového spádu na elektrárně, ale především kvůli zadržení a uklidnění vody, která je následně odváděna na turbíny. Jez je dřevěné konstrukce prokládané kamenem a byl postaven již kolem roku 1860. (Příloha A)

Kolem let 1954-1956 byla provedena částečná rekonstrukce zajímkováním levé části jezu ocelovými štětovnicemi zapuštěnými do hloubky 3,5 m. Ovšem v této době byla plánována v místě obce Radešov velká údolní přehrada, a tak na jezu proběhly pouze nutné opravy.

V současné době je jez v téměř v nezměněném stavu od zmíněných let 1954-56 a přes starší půlku jezu na pravé straně je položena železobetonová skořepina o síle 10 cm.

V posledních letech se na jezu provedly pouze malé opravy (seřiznutí štětovic na stejnou výšku) a v současné době je jez v uspokojivém provozuschopném stavu.

Odběrné zařízení je tvořeno dřevěným stavidlovým polem 3 x 2,7 m. Výška stavidlového pole je 1,44 m a celková šířka dosahuje 8,6 m. Jednotlivá stavidla jsou dřevěná a jejich zdvih je ovládán ručně. Ovládání probíhá ze stavidlové lávky, která je opatřena zábradlím a stříškou. Před vtokem je dále situována ledová ochrana neboli hrubá česla o rozteči 1,8 m.

2.2 Náhon, česle a jalový přepad

Za odběrným zařízením se nachází náhon. Jedná se o otevřený kanál dlouhý 380 m a zděný kamenem *na sucho*. Takto zděný kanál má výhodu v tom, že bez problémů odolává různým dilatacím a nepraská – o čemž svědčí i fakt, že v téměř nezměněné podobě slouží již přes 130 let. Kanál je v čelním průřezu lichoběžník s téměř kolmými stěnami a jeho průtoková kapacita se pohybuje někde v rozsahu 3-8 m³/s podle vodních stavů v řece a hladiny v nadjezí. Náhon nebyl nikdy ve větší míře rekonstruován či ve větší míře upravován. Průměrná šířka náhonu dosahuje asi 5-7 m.

Jalové přepady jsou na díle dva. Jedná se o vybetonované stěny náhonu s přepadovou hranou v šířce kolem 30 cm a s výškou asi 25 cm pod úroveň okolního břehu. Za těmito stěnami pokračují betonové kanály, které ústí do řeky. Tvar a kapacita těchto kanálů jsou dimenzovány tak, aby ochránily budovu a strojovny elektrárny před velkou vodou.

První přepad, který je využíván pouze jako bezpečnostní, má délku 16,5 m a je situován v náhonu před samotnou budovou elektrárny. Druhý přepad o délce 5,6 m je umístěn přímo v budově elektrárny a slouží i jako odvod pro hrubé nečistoty, které plavou při hladině.

Česle jsou před kašnami turbín situovány dvoje. Hrubé česle (ledolamy) se nacházejí již před odběrným zařízením, mají rozteč 1,8 m a zbavují vodu největších nečistot, jako jsou ledové kry, větve, stromy atd. a jsou čištěny z vody ručně.

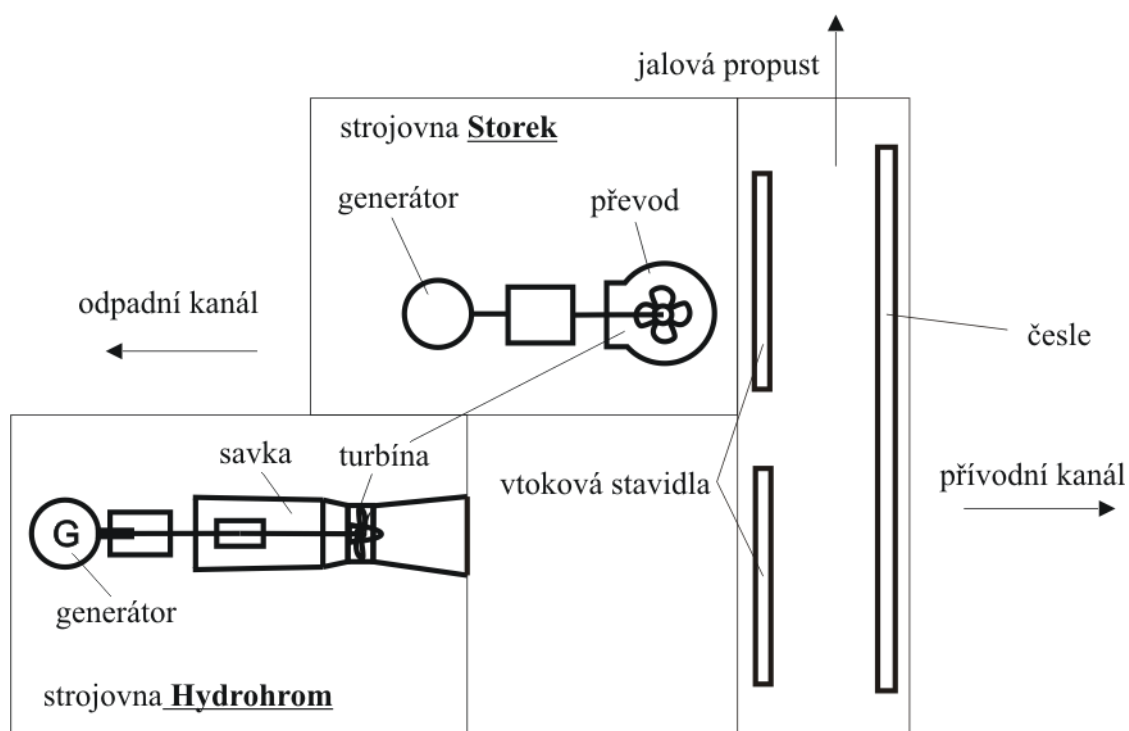
Jemné česle o rozteči 35 mm se nacházejí těsně před rozdělením náhonu do obou kašen již v objektu budovy elektrárny, jsou čištěny strojně a jsou částečně vyhřívány. V zimním období, kdy voda obsahuje vnitrovodní led, se tak zabraňuje zamrznutí česlic a následnému zastavení výroby elektrické energie. V době před privatizací tato technologie nebyla využívána a to i navzdory tomu, že již původními vlastníky (1930) využívána byla.

2.3 Objekt elektrárny

Objekt elektrárny je původní s menšími stavebními úpravami a skládá se ze tří částí:

- prostor česel, stavidel vtoků a jalové propusti
- strojovna Storek
- strojovna Hydrohrom

Obr. 3 znázorňuje půdorysné uspořádání obou strojoven MVE. Na první pohled nerovnoměrné geometrické uspořádání strojoven po délce toku je dáno odlišným typem a uspořádáním turbín.



Obr. 3 Schéma objektu elektrárny [5]

Náhon se v objektu elektrárny za česlemi rozděluje do dvou zatopených komor neboli kašen. Obě kašny jsou samostatně uzavíratelné vtokovými stavidly ovládanými elektropohonem.

Voda v kašně pokračuje do prostoru rozváděcích lopat turbíny, kde je optimálně směřována pomocí rozváděcích lopat tak, aby s co největší efektivitou roztáčela oběžné kolo a odevzdala tak svoji energii.

Voda za oběžnými koly dále pokračuje savkou a s nízkou průtokovou rychlostí, ideálně do 1 m/s, vytéká do odpadního kanálu.

Za savkou se nachází vývařiště. Je to prostor za savkou, kde dochází vlivem narážení vody do „hluchého prostoru“ k odevzdání zbytkové energie a uklidnění vody. Samozřejmě cílem je, aby voda veškerou svou energii odevzdala na turbíně.

2.3.1 Storek

Starší turbínou vodního díla (plným označením J. G. Storek KT 135) je vertikální kašnová Kaplanova turbína (Obr. 4) vyrobená v roce 1930. Firma Ignác Storek Brno byla vůbec prvním vlastníkem patentu na výrobu Kaplanových turbín na světě a vzhledem k tomu, že prvních 36 Kaplanových turbín bylo pouze testovacích, jedná se v případě turbíny KT 135 o 99. prakticky využívanou turbínu na světě. [14] Turbína má plně nastavitelné rozváděcí lopatky i lopatky oběžného kola a pohání horizontálně umístěný synchronní generátor pomocí lomeného převodu 1000:333. (Příloha D)

parametry turbíny:

jmenovitý spád: 4,25 m

jmenovitý průtok: 3,3 m/s

průměr oběžného kola: 850 mm

jmenovitý výkon: 154 koní (113 267 W)

jmenovité otáčky: 333 ot/min

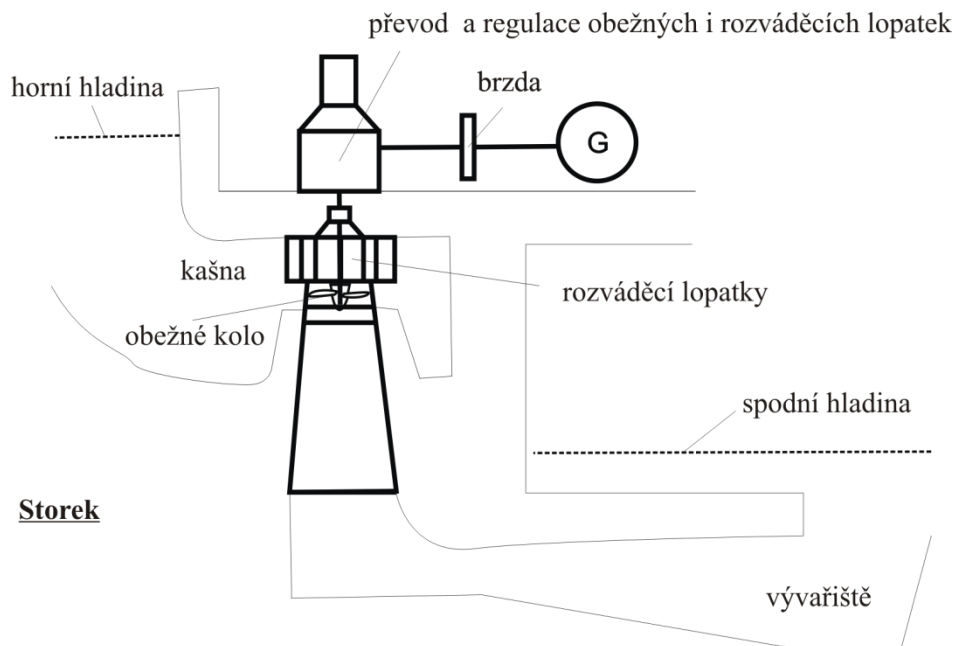
parametry generátoru:

synchronní

instalovaný výkon: 200 kVA

jmenovité otáčky: 1000 ot/min

jmenovité napětí: 230/400 (NN)



Obr. 4 Schéma turbíny Storek. [5]

2.3.2 Hydrohrom

Druhou turbínou vodního díla je přímoproudá Kaplanova turbína od firmy Hydrohrom s.r.o. plným názvem Hydrohrom OK 860. Hřídel turbíny je pomocí plochého řemene spřažena s asynchronním generátorem umístěným nad turbínou. Turbína je pravotočivá s automatickým natáčením rozváděcích i oběžných lopat podle hladinové regulace.

parametry turbíny:

jmenovitý spád: 4,25 m

jmenovitý průtok: 3,5 m/s

průměr oběžného kola: 860 mm

jmenovitý výkon: 132 kW

jmenovité otáčky: 360 ot/min

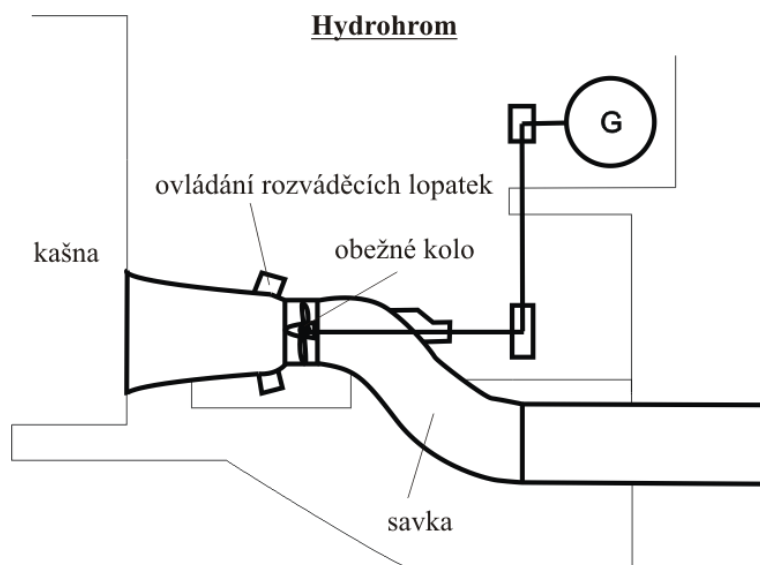
parametry generátoru:

asynchronní

instalovaný výkon: 132 kW

jmenovité otáčky: 750 ot/min

jmenovité napětí: 230/400 (NN)



Obr. 5 Schéma turbíny hydrohrom. [5]

2.4 Odpadní kanál

Odpadní kanál vodního díla má délku 160 m a v mírném srpovitém tvaru se napojuje do říčního koryta. Po povodni v roce 2002 je v místech těsně za elektrárnou rozšířený a nově opevněný. Přibližně od 50. metru za elektrárnou pak pokračuje přírodním korytem. Šířka odpadního kanálu se pohybuje kolem 8 m a přibližně na 100. metru od elektrárny je vytvořena umělá peřej.

2.5 Historie provozu a připojení k síti

Rodina Greifenganenových ze saského města Shlettau zakoupila v místě dnešního objektu elektrárny roku 1869 starou papírnu s hospodářskými budovami a polnostmi od města Kašperské Hory. Prosperující výroba papíru si vyžádala zakoupení nových strojů. Veškeré strojní zařízení továrny bylo poháněno třemi vodními turbínami. Velkým neštěstím byl požár celé továrny 4. 3. 1917, který vznikl neopatrným zacházením s petrolejovou lampou. Než se dostavili hasiči, shořela celá továrna včetně zásob dřeva i hotových výrobků.

Na počátku roku 1918 koupili vyhořelý objekt bratři Kondorferové z Aše. Byla zřízena tkalcovna, niťárna, barvírna látek a výroba beden. Dále se stávající vodní dílo využívalo pro výrobu elektrické energie.

Celé strojní zařízení se muselo rekonstruovat. Použily se dvě Girardovy turbíny. Menší turbínu s hltností $4,11 \text{ m}^3/\text{s}$ a větší s hltností $4,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Tyto turbíny poháněly dvě stejnosměrná dynama. Dále u elektrárny byla dílna na výrobu součástek pro rozvod stejnosměrného proudu.

Po smrti bratrů získal veškerý majetek podnikatel Scheinost z Dlouhé Vsi. Ten roku 1926 prodal nabyté statky městu Kašperské hory. Město se rozhodlo pro přestavbu díla a vypsallo poptávkové řízení, na které došlo 7 nabídek. Při jednání dne 23. května 1929 byla vybrána nabídka firmy Storek Brno. Dvě ze tří stávajících turbín byly nahrazeny Kaplanovo turbínou. Stavební práce provedla firma Schmidt z Vimperku za 11 995 Kč a tesařský podnik J.Berna si vyúčtoval 16 000 Kč. Podnik Brown-Boveri, jehož stroj se osvědčil na Čenkově pile, dodal generátor s výstupním napětím 3kV za 22 000 Kč. Místní transformátor 3/0,4 kV byl zakoupen u AEG za 11 300 Kč. Ke kolaudaci došlo v roce 1930, kdy bylo již postaveno nové přívodní vedení 3kV v délce 4,5 km z Radešova do Kašperských Hor. Tam v malé spínací stanici bylo napojeno ke stávající lince 3kV z elektrárny Čenkovy pily. Rovněž přímo v Radešově byla postavena budova rozvodny, kde byl transformátor 3/0,4 kV s rozvaděčem nízkého napětí východním a západním směrem. Těmito linkami byly napájeny obce Opolenec, Kundračice, Hartmanice, Pavlínov, Rejštejn a dalších šest obcí.

Tento způsob provozu přetrval až do poválečných let, kdy byla na elektrárně Vydra vybudována rozvodna 22kV s příslušným vedením na Kašperské Hory, a tak byla oblast připojena na síť 22kV. Vedení 22kV pokračovalo až do elektrárny Radešova, kde byl osazen transformátor 22/0,4 kV, takže vyrobená energie z generátoru 3kV se dostávala do sítě 22kV přes dva transformátory, 3/0,4 kV a 0,4/22 kV. Určitého zjednodušení se dosáhlo výměnou generátoru za stroj Škoda-papcel, rekonstruovaný v roce 1952.

V poválečných letech přechází na základě Benešových dekretů, vlastnictví této elektrárny na firmu ENERGO TRUST-Most, rozvodný závod Plzeň, později ZČE.

Koncem 50. let byla pro zjednodušení obsluhy dodána poloautomatika Orgrez (system Czech, a.s Pardubice). Ve stávající budově u elektrárny byla zařízena malá stanice 22kV s vývody: Kašperské hory, Hartmanice, trafo 200 kVA pro generátor (0,4/22kV) a trafo 30 kVA pro distribuční síť NN.

K 1. 10. 1973 došlo k dalšímu zjednodušení. Vedení 22 kV směr Kašperské Hory a Hartmanice byla propojena mimo rozvodnu, byla vystavěná stožárová stanice 200kVA a budova rozvodny byla zbourána. V té době byla navíc dosluhující Girardova turbína nahrazena dvěma násoskovitými turbínami značky Metaz. Turbíny byly vybaveny asynchronními generátory 30 a 40kW. [5]

V roce 1996 byla elektrárna zprivatizována.

3 Legislativa a životní prostředí

Vodní elektrárna jakožto vodní dílo, které vyrábí energii, má v krajině nezanedbatelné rozměry a tedy vliv na životní prostředí. Hlavním ovlivňovaným subjektem je samozřejmě řeka.

Stavbou, provozem, rekonstrukcí, revizí a dalšími činnostmi spojenými s MVE se zabývají nařízení vlády, vyhlášky a další legislativní sborníky jako například *Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)*. [10]

Výňatek:

Oddíl 1

Povolení

§8

(1) Povolení k nakládání s povrchovými nebo podzemními vodami je třeba, jde-li o povrchové vody a nejde-li při tom o obecné nakládání s nimi,

- 1) k jejich odběru.
- 2) k jejich vzdouvání, popřípadě akumulaci.
- 3) k využívání jejich *energetického potenciálu*.
- 4) k užívání těchto vod pro chov ryb nebo vodní drůbeže, popřípadě jiných vodních živočichů, za účelem podnikání.
- 5) k jinému nakládání s nimi.

§9

(1) Povolení k nakládání s vodami se vydává na *časově omezenou dobu*. V povolení k nakládání s vodami se stanoví účel, rozsah, povinnosti a popřípadě podmínky, za kterých se toto povolení vydává. Podkladem vydání povolení k nakládání s podzemními vodami je vyjádření osoby s odbornou způsobilostí, pokud vodoprávní úřad ve výjimečných případech nerozhodne jinak.

3.1 Minimální zůstatkový průtok (MZP)

Jedná se o průtok, který je nutno zachovat v původním řečišti. Tento průtok se dá stanovit v naší lokalitě *odhadem* jako Q_{355} ($2,3 \text{ m}^3/\text{s}$, viz Tabulka 1). Tento průtok pak přesně stanovuje příslušný vodohospodářský úřad pro každou novou lokalitu zvlášť (podle pokynů v nařízení vlády viz. *Zákon č. 254/2001 Sb.* Díl 4. § 36 odst. 1,2,3).

Současný metodický pokyn (ZP16/98) se řídí následující tabulkou 1, ve které se stanovuje minimální zůstatkový průtok v závislosti na velikosti průtoku Q_{355} .

Průtok Q_{355}	Minimální zůstatkový průtok
menší než $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$	Q_{330}
$0,05\text{--}0,5 \text{ m}^3/\text{s}$	$(Q_{330} + Q_{355}) \cdot 0,5$
$0,51\text{--}5,0 \text{ m}^3/\text{s}$	Q_{355}
větší než $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$	$(Q_{355} + Q_{364}) \cdot 0,5$

Tabulka 1 Určení minimálního zůstatkového průtoku podle ZP16/98 (Mrázková tabulka). [13]

Tato tabulka je považována za zastaralou a Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka v Praze pracuje na nové metodice určování minimálních zůstatkových průtoků. Nová metodika by měla při posuzování dané lokality zohlednit i sezonní a regionální aspekty hydrologických poměrů. [13]

Definice MZP (nebo v případě MVE Radešov průtoku odebíraného) je klíčovým faktorem pro návrh základních parametrů vodní elektrárny:

- volba množství, typu, hltnosti strojů a jejich algoritmu spolupráce (viz 4.2)
- volba geometrických rozměrů a konfigurací jezového tělesa
- volba geometrických rozměrů vodotečí pro přivádění a odvádění pohonné vody
- volba výškového uspořádání celého díla
- volba regulačních mechanismů pro zabezpečení povoleného nakládání s vodami

Povolení k nakládání s povrchovými vodami (zůstatkový průtok) nemuselo být dříve časově omezeno (to změnil *Zákon č. 254/2001 Sb.* §9, dřívější zákony to neukládaly) a vydávalo se například na dobu životnosti díla (*Zemský zákon vodní* ze dne 28. srpna 1870

čís. 71 z.z. o užívání, vedení a hrazení vod. Dále zákon ze dne 23. března 1955 č. 11 Sb. a zákon 138 ze dne 31. října 1973).

Pokud je tedy u hotového a provozovaného vodního díla požadován zpětný zásah do povolení k nakládání s vodami (mění se povolený odběr/zůstatkový průtok), jedná se o retroaktivitu, při které jsou nutné stavební změny pro vyhovění novým parametrům (zvětšení) zůstatkového průtoku a tím dochází ke zhoršení využití hydroenergetického potenciálu nejen ve smyslu snížení celkového využitého objemu vody, ale i znehodnocením vzájemného optimálního nastavení všech prvků vystupujících při výrobě el. energie (viz jednotlivé body při návrhu). [5]

3.1.1 Vodní právo díla

Vodní právo pro elektrárnu v Radešově je historicky dochované z roku 1860 (viz Příloha H).¹ Ve vodoprávní kolaudaci pro novou turbínu z roku 1930 je prodloužen povolený odběr vody z řeky ve výši 8,31 m³/s (navýšen o 0,8 m³/s po dobu 60 let). Z toho však vyplývá, že MZP není nijak přímo definován.

V současné době je hladinová automatika nastavena tak, aby v řece byl udržen MZP 1,6 m³/s. To odpovídá průtoku Q_{364} (viz Příloha I). Dále je ve spolupráci s povodím sledován obsah kyslíku a další důležité parametry toku pro zachování ekologické biodiverzity v řece pod jezem (periodicita měření a vyhodnocení je 2 - 3 roky).

3.2 Rybí přechod

Velice důležitou součástí vodního díla na výrobu elektrické energie tvoří jez. Jez však obecně v říčním korytu představuje migrační překážku pro vodní živočichy, nejčastěji ryby. Provozovatelé vodních elektráren se tak dostávají do rozepře s vodohospodáři, rybáři a úředníky. [9]

Moderně zrenovované nebo rekonstruované jezy se již poměrně často navrhují s rybími přechody, ale vesměs všechny v minulosti postavené jezy nebyly zbudovány s RP. Navíc pokud má jez dobrý technický stav, není důvod podnikat nákladnou investici na jeho rekonstrukci. Situaci komplikuje i fakt, že jezy jsou ve vlastnictví jak soukromníků, tak veřejné správy. Neexistuje tedy nějaký způsob jak vynutit rekonstrukci a stavbu RP na všech jezích daného toku, což však značně snižuje efektivitu takto případně osamocené stavby.

¹ Tento povolený odběr byl stanoven již na základě zemského práva v roce 1860 (František Josef I.).

Projektem stavby RP při rekonstrukci jezů na řece Otavě se zabývá studie vyhotovená firmou Vodohospodářský rozvoj a výstavba, A.S. pro Povodí Vltavy, státní podnik. [15]

Studie má tyto části:

1. Průvodní zpráva
2. Katalog opatření
3. Textová část
4. Katalog příčných překážek

Situace pro jez MVE v Radešově je zde katalogizována takto [15] [16]:

Lokalizace: 200078767 - Otava - 106.558 ř.km.

Identifikace: 200058106 - Radešov

Majitel: jiný (soukromý)

Stávající RP: není

Navržený RP: balvanitý skluz

Umístění RP: v části jezu

Hodnocení: zahájení jednání

Proveditelnost: stupeň III (není možné realizovat v nejbližší době)

Investiční náklady: 1 000 000 Kč

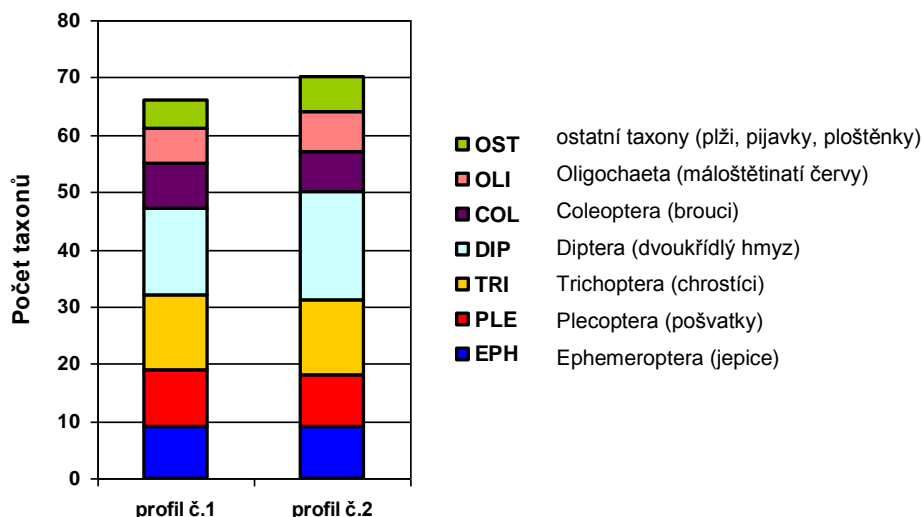
Dále je přiložená zpráva [17], ve které se mimo jiné uvádí, že jez je částečně průchodný, zejména při vyšších průtocích pravděpodobně bez problémů. Zmiňuje se vhodnost řešení RP jako balvanitého skluzu, aby jez byl průchodný i při nižších průtocích. Jako problematický je zde také diskutován aktuální stav NPV.

3.3 Kvalita vody

Hojnost výskytu bentosu (fauna a flóra obývající dno a břeh řeky) v daném místě toku v moderním pojetí odráží kvalitu vody. Za tímto účelem si nechal majitel vypracovat zprávy s názvem Posouzení vlivu MVE Radešov na makrozoobentos řeky Otavy (1998, 2009, 2011) [11] provedené státním podnikem Povodí Vltavy a Vodohospodářskou laboratoří České Budějovice. (předpona makrozoo znamená, že se jedná o vodní živočichy, jejichž velikost přesahuje 1 mm)

Metodika spočívá v odebrání vzorků makrozoobentosu na dvou profilech toku (1. nad odběrným zařízením a 2. pod odběrným zařízením) metodou Perla (ČSN EN 27828, ČSN 75 7701). Mimo jiné se na obou profilech zkoumaly i fyzikálně-chemické vlastnosti vody.

Ze všech zpráv vyplývá, že nízké průtoky v překlenutém korytu řeky ($1,6 \text{ m}^3/\text{s}$) nijak neovlivňují kvantitu ani kvalitu biologického oživení. Paradoxně se překlenutý úsek jeví jako druhově více pestrý (Obr. 6).



Obr. 6 Srovnání počtu taxonů v jednotlivých skupinách makrozoobentosu nad (profil č. 1) a pod (profil č. 2) náhonem do MVE v odběru ze 6.10.2011.

4 Hydroenergetický potenciál

Pokud se navrhuje nová elektrárna, zjišťuje se hydroenergetický potenciál (dále HP) v dané lokalitě. V přeneseném slova smyslu se jedná o odhad celkové energie, kterou je schopna řeka poskytnout v průměrném roce.

4.1.1 Teoretický potenciál

Abych spočítal energii, kterou je schopna dodávat řeka ročně v dané lokalitě, použil jsem vzorec pro polohovou energii:

$$E_p = m g h \quad (1)$$

Za výšku h dosadíme spád 5,5 m a tíhové zrychlení g zvolme pro naši zeměpisnou šířku $9,81 \text{ m/s}^2$. Za hmotnost (2) dosadíme celkovou hmotnost vody, která proteče v dané lokalitě za 1 rok. Tuto hodnotu zjistíme tak, že průměrný průtok vynásobíme počtem sekund v roce a vynásobíme hustotou vody. Průměrnou hodnotu průtoku vyčteme z hydrologických dat (Příloha I). V našem případě tedy $Q = 9,05 \text{ m}^3/\text{s}$. Hustotu vody zvolme 1000 kg/m^3 .

Dosadíme:

$$m = Q \rho t \quad (2)$$

$$m = 9,05 \cdot 1000 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 2,8557 \cdot 10^{11} \text{ kg}$$

Následným dosazením do původního vzorce (1) pak:

$$E_p = 2,8557 \cdot 10^{11} \cdot 9,81 \cdot 5,5 = 1,54 \cdot 10^{13} \text{ J} \cong 4280 \text{ MWh}$$

V praxi tato hodnota o ničem nevyovídá. Pro návrh turbíny je vhodnější zjistit, v jaké výkonové hladině se řeka pohybuje (při zamýšleném spádu).

Výkon je energie za jednotku času. Využitou hmotnost za jednotku času dostaneme součinem hustoty vody a průtoku (4).

$$P = \frac{E_p}{t} = m g h \quad (3)$$

$$m = \rho \cdot Q \quad (4)$$

$$P = 9,05 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 5,5 \cong 497 \text{ kW}$$

Výkon, který nám vyšel, už dává bližší představu o dimenzi elektrárny. Nicméně z obou těchto výpočtů stále není patrné, jaký je skutečný HP.

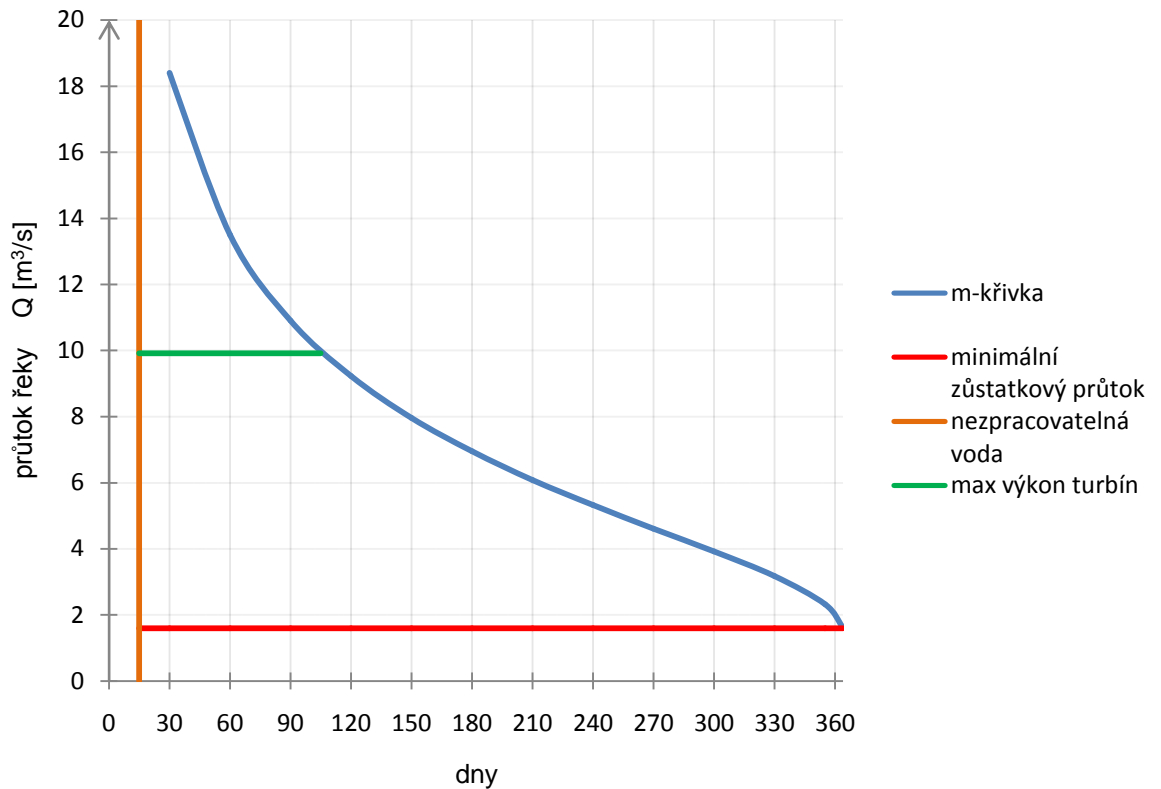
4.1.2 Reálně využitelný potenciál

Problematika určení reálně využitelného HP dané lokality je velmi složitá. Oba výše zmíněné výpočty vycházejí z průměrného průtoku a spádu. Je však třeba uvažovat daleko více proměnných, než jen tyto dvě. Hlavním důvodem je fakt, že řeka nemá konstantní průtok.

Pro znázornění průtoku v řece se používá tzv. m-křivka. Jedná se o křivku, která spojuje hodnoty po sobě jdoucích denních průtoků seřazených od nejvyššího po nejnižší v daném roce, vychází ze čtyřicetiletého průměru a ve skutečnosti má tedy pro každý rok jiný tvar. Na následující stránce můžeme vidět průběh této křivky pro lokalitu MVE Radešov. Limitující faktory HP jsem vynesl pro názornost přímo do grafu.

První limitující faktor je MZP 1,6 m³/s (červená přímka – minimální zůstatkový průtok). Dalším faktorem je maximální hlnost obou turbín (zelená přímka – max výkon turbín). Tato hlnost se pohybuje kolem 8,3 m³/s, takže pokud průtok v řece přesáhne hodnoty 9,9 m³/s, tak by elektrárna měla vyrábět na plný výkon. V grafu protíná toto omezení m-křivku ve 105. dni.

Neopominutelným omezujícím faktorem je kvalita vody při povodních (oranžová přímka – nezpracovatelná voda). Pokud je nadměrný stav vody ($Q \approx 40 - 60 \text{ m}^3/\text{s}$ a více), tak je voda vysoce znečištěná a téměř ji nelze zpracovat. Voda nese kousky listí, větvi a dalších větších nečistot, které zanášejí jemné česle a rozváděcí i oběžné lopaty turbín. Z tohoto důvodu se výroba v případě povodně úplně zastavuje nebo velmi výrazně omezuje.



Graf 2 M-křivka [5]

Těmito třemi limitujícími přímkami a m-křivkou ohraničená plocha v grafu pak jistým způsobem představuje celkový reálný průtok, který elektrárna za rok může přeměnit na energii. Abych spočítal tuto plochu, křivku m denních průtoků jsem aproximoval logaritmou:

$$y = -6,32 \ln(x) + 39,77 \quad (5)$$

Dále jsem si plochu rozdělil na 2 části. V první část této plochy, kde se plocha vyskytuje pod logaritmou, jsem spočítal obsah pomocí určitého integrálu (S_{1a}) a odečetl obdélník ohraničený zůstatkovým průtokem (S_{1b}):

$$S_{1a} = \int_{105}^{364} -6,32 \ln(x) + 39,77 \, dx = [x (46,09 - 6,32 \log(x))]_{105}^{364} = 1459,9$$

$$S_{1b} = 1,6 \cdot (364 - 105) = 1,6 \cdot 259 = 414,4$$

plocha S_1 pak : $S_1 = S_{1a} - S_{1b} = 1459,9 - 414,4 = 1045,5$

druhou část tvoří obdélník: $S_2 = (105 - 15) \cdot 8,31 = 747,9$

celková plocha: $S = S_1 + S_2 = 1045,5 + 747,9 = 1793,4$

Pokud tuto plochu vydělíme počtem dní v roce, dostaneme průměrný denně reálně využitelný průtok turbínami:

$$Q = \frac{1793,4}{365} = 4,914 \text{ m}^3/\text{s} \quad (6)$$

Následně podle vzorců (2) a (1) počítám výsledný reálně využitelný energetický potenciál.

$$m = Q \rho t = 4,914 \cdot 1000 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 1,550 \cdot 10^{11} \text{ kg}$$

$$Ep = m g h = 1,550 \cdot 10^{11} \cdot 9,81 \cdot 5,5 = 8,363 \cdot 10^{12} \text{ J} \cong 2\,323 \text{ MWh}$$

Pokud budeme uvažovat, že elektrárna má průměrnou účinnost v celém rozsahu průtoků 75%, bude reálná energie dodaná do sítě:

$$E = Ep \cdot 0,75 = 2\,323 \cdot 0,75 = 1742 \text{ MWh}$$

Toto číslo již můžeme považovat za zpřesněný odhad reálně využitelného energetického potenciálu pro danou lokalitu se stanoveným spádem, zůstatkovým průtokem $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$, osazením turbínami s maximální hltností $8,31 \text{ m}^3/\text{s}$ a účinností strojoven 75%.

Ke stanovení všech výše uvedených energií s exaktní přesností brání několik skutečností. Pokud pomíneme přesnost veličin jako spád a účinnost strojoven, tak nejdůležitějším faktorem je tvar m-křivky.

Křivka sleduje statistiku denních průtoků za posledních 40 let. Nicméně v posledních letech se změnil působením kůrovce krajinný ráz povodí Otavy a z krajiny se tak voda stéká s větší derivací (ztráta akumulční schopnosti). Podobný trend lze pozorovat i v extrémnosti chování počasí, kdy jsou častější hojné srážky prokládané dny sucha (rozloženost srážek). Tyto dva hlavní faktory ovlivňují tvar m-křivky a z pohledu hydroenergetického využití negativním způsobem. Dochází ke zmenšení průtoků v oblasti malých průtoků a zvyšují se extrémní průtoky. To má za následek snížení reálně využitelného energetického potenciálu.

4.2 Algoritmus využití m-křivky osazenou technologií

Jelikož Otava v místě elektrárny nabízí možné reálně využitelné průtoky řádově od 0,2 do 50 m³/s je velice problematické navrhnout turbínu, která by tento průtok efektivně obsáhla. Pokud si zvolíme reálný rozsah využitelných průtoků 0,2 - 8,3 m³/s, tak by, i při takto v uvozovkách malém rozsahu, bylo problematické vyrobit turbínu s použitelnou účinností v celém rozsahu.

Z tohoto důvodu se elektrárny osazují několika paralelními turbínami, které jsou otevírány podle průtoku postupně, aby byl co největší rozsah průtoků využit s co nejvyšší účinností.

Na grafu v Příloze J můžeme vidět křivku označenou *účinnost MVE*, která popisuje účinnost přeměny vodní energie na energii přiváděnou do sítě v závislosti na průtoku (tato křivka je zjištěna pouze pro strojovnu Hydrohrom). Jak lze z grafu vyčíst, účinnost se pohybuje od 65% do 83% v závislosti na otevření turbíny. Ačkoliv pro turbínu Storek není tento průběh přesně vyšetřen, lze odhadovat, že bude velmi podobný. Z konstrukce turbíny Storek lze dále odhadovat, že bude dosahovat vyšší účinnost při větším otevření a naopak menší při nižším otevření než turbína Hydrohrom. Algoritmus spolupráce obou turbín pak vychází z těchto účinností.

Při malých průtocích pracuje pouze turbína Hydrohrom. Pokud se otevření této turbíny dostane na 73% a průtok má tendenci stále růst, spustí se fázování generátoru turbíny Storek s postupným otevřením 40%. Hydrohrom se mezitím přivře také na 40%. Další postup řídí hladinová regulace turbíny Hydrohrom PID regulátorem.

Pokud se průtok stále zvyšuje a Hydrohrom dosáhne otevření 65%, dá příkaz Storkovi, aby se přiotevřel o 10%, sám se přizavře na 50% a opět sleduje hladinu. Tento postup s posouváním Storka o 10% a oscilací Hydrohromu kolem optima se opakuje až do jejich efektivních maximálních otevření 82% pro Hydrohrom a 83% pro Storka.

Osazení elektrárny stávajícími turbínami je v zásadě optimální. Turbína Hydrohrom pracuje s vyšší účinností již při malých průtocích. Turbína Storek má menší plochu oběžných lopat a lze předpokládat, že její účinnost bude vyšší při větších průtocích. Společně tak vcelku efektivně pokryjí celý rozsah průtoků.

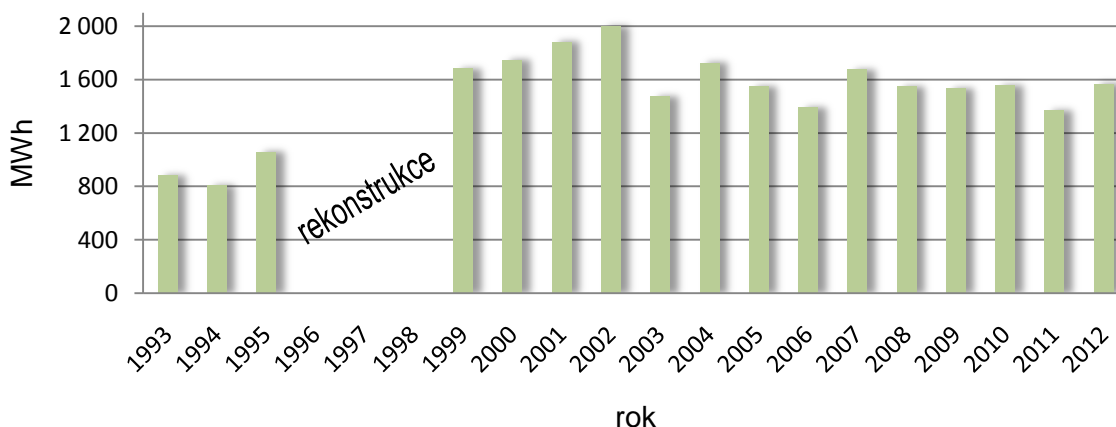
4.3 Přehled výroby v minulých letech

Od vzniku vodního díla do roku přibližně 1930 nemůžou existovat záznamy přehledu výroby za jednotlivé roky, protože výroba pokrývala pouze aktuální spotřebu manufaktur.

V roce 1930 byla nainstalována nová turbína Storek. Ta ovšem pokrývala s ostatním soustrojím jen spotřebu Kašperských Hor a přilehlých obcí a to přibližně až do roku 1950. V tomto roce byla elektrárna připojena do sítě.

Od začátku 50. let dodávala elektrárna do sítě elektrickou energii již kontinuálně tedy nezávisle na aktuální spotřebě okolních aglomerací. Záznamy z této doby se mi taktéž nepodařilo získat. Můžeme se však navzdory tomu, že elektrárna neprodělala až do roku 1996 větší modernizaci, domnívat, že se roční výroba pohybovala kolem posledních mnou získaných dat, kdy ještě elektrárnu vlastnil ZČE, a sice 700-900 MWh ročně.

Na Grafu 3 můžeme vidět přehled výroby v letech 1993-2012. V letech 1993-95 byla elektrárna ještě ve vlastnictví ZČE. V roce 1996 byla zprivatizována. V letech 1996, 1997 a 1998 probíhala modernizace elektrárny a tyto roky tedy nemají uvedenou roční výrobu,



Graf 3 Přehled výroby 1993-2012 [5]

neboť data jsou velmi zkreslená a bez relevantní vypovídající hodnoty.

Nainstalováním nové turbíny Hydrohrom byl zvednut celkový mechanický výkon elektrárny o 60 až 70kW. Roční výroba od roku 1999 v porovnání s roky před rokem 1996 však nedosahuje vyšších hodnot jen díky osazení jedné z kašen novou turbínou, ale hlavně díky dalším optimalizacím (viz kapitola 5 Optimalizace).

Novodobý provoz elektrárny přivedl do sítě za posledních 14 let průměrně 1 621 MWh ročně. Pokud uvažujeme posledních 10 let, kde nepočítáme s velmi vodnými roky 1999-2002, tak dostaneme hodnotu 1539 MWh ročně. Z takto málo dat bohužel nelze statisticky přesněji určit předpokládanou skutečnou průměrnou hodnotu. Nicméně výroba kolem 1550 MWh znamená navýšení výroby na skoro dvojnásobek před privatizací.

5 Optimalizace

Proces přeměny vodní energie na energii elektrickou je podmíněn celou řadou faktorů, které se navzájem ovlivňují, a ačkoliv má elektrárna na svém spádu potenciál k výrobě kolem 2300 MWh ročně (při daném spádu), musíme počítat s účinností jednotlivých dílčích prvků, které se účastní tohoto děje (ostatně jako u každé jiné elektrárny). Úkolem je tedy optimalizovat všechny dílčí procesy a kroky při této přeměně tak, aby dosahovaly co nejvyšší účinnosti.

Pokud se podívám na úsek této přeměny směrem od turbíny na svorky u transformátoru, tak technické možnosti dílčích zařízení (turbíny, generátor, převody etc.) jsou optimalizovány již z výroby. V nedávné době byl položen nový elektrický kabel od generátorů k transformátoru s trasou, která zkrátila jeho délku, a byl dimenzován na minimální jouleovy ztráty. Další věci ovlivňující chod strojovny, jako hladinová automatika a její algoritmus, jsou nastaveny v zásadě optimálně. Celkový technický stav strojovny (včetně regulace) tak poskytuje velmi malý prostor pro navýšení výroby elektrické energie.

Daleko větší prostor vidím v optimalizacích (stavebních řešeních), které souvisí s nakládáním s vodou a časovému rozsahu využití průtoku. Abychom lépe porozuměli této věči, pojďme si představit největší dílčí optimalizace, které již od privatizace proběhly, a i ty které by proběhnout ještě mohly.

5.1 Provedené

5.1.1 Instalace turbíny Hydrohrom

Krátce po zprivatizování elektrárny bylo novým majitelem shledáno, že turbíny Metaz jsou nevyhovující ve smyslu optimálního využití m-křivky denních průtoků. Jak již bylo zmíněno (4.3 odst. 4.), byla nainstalována nová turbína Hydrohrom, která dosahuje většího mechanického výkonu navýšením hlnosti. Tím se zvětšila využitá plocha pod m-křivkou směrem k maximálnímu využitelnému průtoku $9,9 \text{ m}^3/\text{s}$ ($8,31 \text{ m}^3/\text{s}$).

Spolu s tímto byla nainstalována nová regulace a řídicí technika a výsledován optimální algoritmus pro spolupráci obou turbín (viz 4.2).

5.1.2 Vyhřívání česel

Jedním z velkých problémů vodních elektráren položených ve vyšších nadmořských výškách, kde řeka nezamrzá, je zimní období, kdy voda unáší vnitrovodní led, který se zachytává na jemných česlech, která ta pak zamrznou. U níže položených elektráren, kde řeku

pokryje led, stačí překlenout toto krátké přechodné období a na zamrzlé řece (schované pod ledem) k efektu zamrzání česel nedochází.

Ačkoliv zařízení na vyhřívání bylo na elektrárně z části dochované, kvůli časově náročné a technicky složité obsluze a dalším blíže nespecifikovaným důvodům, nebylo v provozu. (na obhajobu je nutno dodat, že podobné zařízení nebylo v té době v provozu nikde v České Republice)

Po technické stránce je, zjednodušeně řečeno, vyhřívání řešeno přiváděním vysokého proudu třífázově do třech polí česel pomocí nízkého napětí.

Pokud budeme uvažovat, že elektrárna nebyla v provozu průměrně od půlky prosince do začátku března, tedy 75 dní, a průměrný výkon elektrárny byl v zimním období kolem 65 kW (50-80kW), bude ztracená energie představovat přibližně:

$$E = 65000 \cdot 75 \cdot 24 = 117 \text{ MWh}$$

Toto číslo představuje kolem 7% z celkového reálného hydroenergetického potenciálu (1742MWh).

Druhotným produktem nezamrzání elektrárny je fakt, že nevzniká potřeba elektrárnu „rozmrázovat“. To má vliv na dlouhodobý technický stav obou strojoven (především elektroniky, stavidel atd.).

5.2 Proveditelné

Předešlé dvě optimalizace byly na elektrárně provedeny po privatizaci časně z důvodu jednoduchého a jasného navýšení výkonu a z důvodu jisté návratnosti.

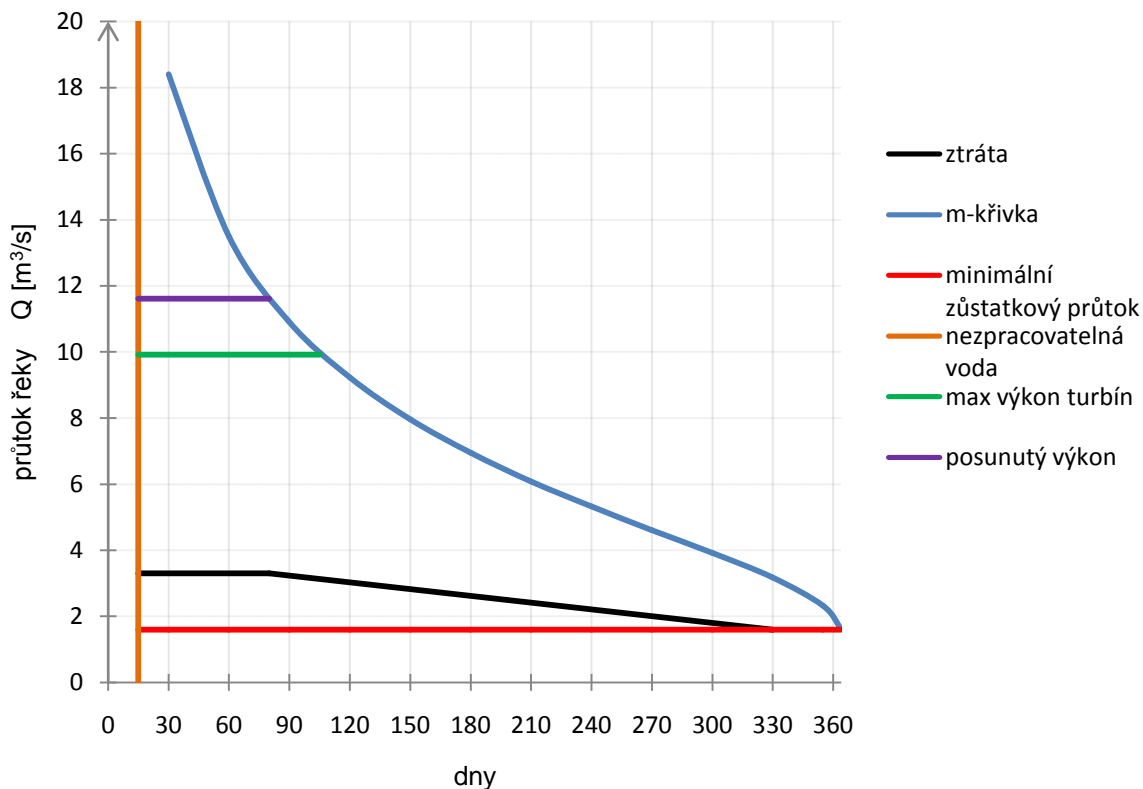
Následující uvedené optimalizace by zvýšily výkon elektrárny především v oblasti nakládání s vodou, avšak nebyly provedeny, buď pro svou a nejistou dlouhou návratnost, nebo v jejich provedení brání složité získání stavebního povolení. (viz 3.2)

5.2.1 Přívodní kanál

Původně bylo vodní dílo postaveno pro pohon papírenských strojů a tak bylo cílem pokrýt jejich výkon. Dnes však požadujeme maximální využití hydroenergetického potenciálu a z tohoto hlediska má náhon potažmo jez jistý konfigurační neduh.

U moderně postavené VE, s regulací na jezu, je do koryta řeky pod jezem pouštěn zůstatkový průtok až do chvíle, kdy průtok v náhonu dosáhne maximálních hltností turbín. Teprve poté je přebytečný průtok směřován do koryta. Na vodním díle v Radešově však kanál nedosahuje při normální hladině na jezu, kdy protéká zůstatkový průtok 1,6 m³/s, kapacity 8,3 m³/s. Tento problém je způsoben hydrodynamickým odporem kanálu, kdy se pro

zvýšení průtoku kanálem musí zvýšit rozdíl hladin mezi hladinou na jezu a v elektrárně, a hladina v kanálu se velmi významně odchyľuje od nivelety (odchyľení je dáno hydrodynamickým odporem).



Graf 4 M-křivka s uvažovanými ztrátami. [5]

Zopakujme, že kapacita kanálu je ovlivněna výškou hladiny na jezu. Jez však nedisponuje klapkou nebo nějakou podobnou regulací, která by navyšovala hladinu a zároveň udržovala stanovený MZP. Hladina na jezu při vyšších průtocích řeky uměle zvyšuje kapacitu kanálu. Zvýšením hladiny na jezu však vrostе i zůstatkový průtok. A zde dochází k myšlené ztrátě. Pro zvýšení kapacity kanálu, používáme většího zůstatkového průtoku než je hodnota MZP.

Na Grafu 4, identickém jako Graf 2 ze stránky 26, jsem přidal dvě křivky, které názorně popisují tento jev. Černý obrazec s názvem *ztráty* demonstruje, že aby kapacita kanálu dosáhla plných $8,3 \text{ m}^3/\text{s}$, musí přes jez přetékat již $3,3 \text{ m}^3/\text{s}$ (ty samozřejmě zvednou hladinu), což je určitým způsobem vypočítaná hodnota. Z pozorování lze dále usoudit, že k tomuto fenoménu dochází již při Q_{330} a do svého maxima $3,3 \text{ m}^3/\text{s}$ má pravděpodobně lineární průběh. Fialová křivka s názvem *posunutý výkon*, pak respektuje hodnotu průtoku řeky ($3,3+8,3 \text{ m}^3/\text{s}$) při dosažení maximální kapacity kanálu $8,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

Výsledná ohraničená plocha představuje skutečné využití HP z pohledu průtoku. Abych zjistil, kolik procent průtoku je takto zmařeno, vypočetl jsem plochu nově ohraničené oblasti obdobným způsobem jako v 4.1.2.

Křivku jsem tentokrát proložil logaritmou:

$$y = -6,32 \ln(x) + 39,68 \quad (7)$$

Dále jsem plochu opět rozdělil na 2 části. V první část této plochy, kde se plocha vyskytuje pod logaritmou, jsem spočítal obsah pomocí určitého integrálu (S_{1a}) a odečetl obdélník ohraničený zůstatkovým průtokem (S_{1b}):

$$S_{1a} = \int_{80}^{364} -6,32 \ln(x) + 39,68 \, dx = [x (46 - 6,68 \log(x))]_{80}^{364} = 1713,3$$

$$S_{1b} = 1,6 \cdot (364 - 80) = 1,6 \cdot 284 = 454,4$$

plocha S_1 pak $S_1 = S_{1a} - S_{1b} = 1713,27 - 454,4 = 1258,9$

druhou část tvoří obdélník $S_2 = (80 - 15) \cdot 10,01 = 650,7$

celková plocha $S = S_1 + S_2 = 1258,87 + 650,65 = 1909,5$

Od této plochy je však třeba odečíst zmíněnou ztrátu:

$$Z = (3,3 - 1,6) \cdot (80 - 15) + \frac{(3,3 - 1,6) \cdot (330 - 80)}{2} = 323$$

Výsledná plocha představuje:

$$S - Z = 1909,5 - 323 = 1586,6$$

Výsledný skutečný průměrný denně využitelný průtok:

$$Q = \frac{1586,6}{365} = 4,347 \, m^3/s$$

Podle vzorců (2) a (1) výsledný skutečný HP:

$$m = Q \rho t = 4,347 \cdot 1000 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 1,3709 \cdot 10^{11} \, kg$$

$$Ep = m g h = 1,3709 \cdot 10^{11} \cdot 9,81 \cdot 5,5 = 7,4 \cdot 10^{12} \, J \cong 2 \, 055 \, MWh$$

Při takto konfigurovaném kanálu má tedy elektrárna při průměrné účinnosti strojoven 75% skutečný potenciál dodat do sítě:

$$E = 2055 \cdot 0,75 = 1541 \, MWh$$

Tato energie relativně přesně odpovídá průměrné roční výrobě za posledních 10 let (1539MWh) a je přibližně o 5% menší ve srovnání s průměrnou hodnotou, kdy uvažujeme posledních 14 let (1621MWh).

Jelikož hodnota 3,3 m³/s je pouze nepřesný odhad, provedl jsem výpočty, kde jsem dosazoval průtoky blízké tomuto s cílem zjistit, jak ovlivňuje velikost ztrátového průtoku procentuální ztráty na reálném využitelném HP.

$Q_{\text{zůstatkový}} = (Q_{\text{MZP}} + \text{ztrátový}) \text{ [m}^3/\text{s]}$	ztráta [%]	využitá energie [MWh]
1,6 = (1,6 + 0) – chtěný stav	0	1742
2,8 = (1,6 + 1,2)	8,5	1 594
2,9 = (1,6 + 1,3)	9,1	1 584
3,0 = (1,6 + 1,4)	9,7	1 573
3,1 = (1,6 + 1,5)	10,3	1 562
3,2 = (1,6 + 1,6)	10,9	1 552
3,3 = (1,6 + 1,7) – aktuální stav	11,5	1 541
3,4 = (1,6 + 1,8)	12,1	1 531
3,5 = (1,6 + 1,9)	12,6	1 522

Tabulka 2 Ztráty na hydroenergetickém potenciálu v závislosti na velikosti ztrátového průtoku.

Jak je patrné z této tabulky (Tabulka 2), zůstatkový průtok se při dosažení kapacity kanálu 8,3 m³/s pohybuje opravdu kolem 3,3 m³/s. To však není podstatné zjištění. Důležitějším faktem je, že z celkového reálně využitelného potenciálu tvoří tato ztráta přibližně 11,5%.

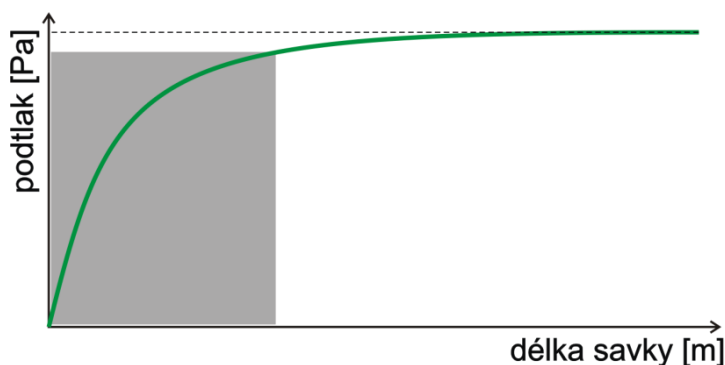
Řešit tento problém můžeme dvěma způsoby. Zmodernizujeme jez a přidáme klapku, která bude regulovat hladinu a udržovat MZP na konstantní hodnotě. Druhý způsob, kterým můžeme tento problém z velké části zmírnit nebo zcela odbourat, je optimalizovat hydrodynamický odpor náhonu na minimum. To znamená kombinaci prohloubení, napřímení a rozšíření (zvětšení průřezu).

5.2.2 Savka

Trychtýřovitý tvar savky způsobuje, že za turbínou vzniká podtlak resp. imaginární spád. (voda teče větším průřezem pomaleji, ale má ještě setrvačnost => vytváří za sebou podtlak - Bernoulliho rovnice). Dále savka navyšuje spád o svoji výšku (oběžné lopaty – hladina odpadního kanálu).

U nově zrekonstruovaných elektráren se staré turbíny často osazují novými delšími savkami, které snižují výtokovou rychlost (zvyšují podtlak) a v rámci stavebních možností navyšují spád.

V případě MVE Radešov bychom mohli uvažovat novou savku na turbíně Storek. Tato výměna by však při velikosti stavebního zásahu byla velice drahá a je diskutovatelná skutečná velikost navýšení výkonu (imaginárního spádu). Bylo by třeba pro znatelné navýšení



Obr. 7 Dosažený podtlak v závislosti na délce savky [5]

výkonu, instalovat velmi dlouhou savku. Na tomto náčrtu (Obr. 7) demonstřují průběh zvýšení výkonu v závislosti na délce savky. Šedá oblast přibližně představuje oblast, kde se ještě vyplatí savku prodloužit.

5.2.3 Odpadní kanál

Důležitou částí vodního díla z hlediska velikosti dosaženého spádu je stav odpadního kanálu. Pokud není odpadní kanál dostatečně dimenzovaný a udržovaný, zhoršuje odtékání vody od elektrárny a to má za následek snížení spádu. Pokud tedy odpadní kanál klade velký hydrodynamický odpor, tak se při velkých průtocích turbínami zvyšuje hladina pod elektrárnou a tím se snižuje spád a to především v době, kdy má elektrárna největší potenciál vyrábět energii.

V praxi při maximálním průtoku elektrárnou a velkým průtokem v řece ($Q > 40 \text{ m}^3/\text{s}$) dochází ke zvýšení hladiny v odpadním kanálu až o půl metru.

Jak můžeme vidět na Příloze L, kanál se v místě, kde ústí do řeky, stáčí prudce doprava a je v tomto místě navíc zúžený. Optimalizace by tedy spočívala v narovnání a rozšíření jeho delty.

Lze předpokládat, že touto úpravou se nejen z velké části odbourá problém zvyšování hladiny v odpadním kanále při nadprůměrných průtocích, ale pravděpodobně dojde i k trvalému navýšení spádu.²

² Navýšením spádu dojde i k mírnému navýšení hltnosti turbín. Jelikož je však vodním právem povolen odběr $8,3 \text{ m}^3/\text{s}$, tak tuto skutečnost zanedbávám.

To jak by se zvýšil spád, bude záležet na rozsahu stavební úpravy (lze odhadovat navýšení až o 0,5 m). Zvýšený HP se dá odhadem spočítat takto:

$$E = 1742 \cdot \frac{6}{5,5} = 1900 \text{ MWh}$$

5.3 Závěrečná bilance

V následující tabulce (Tabulka 3) shrnuji vypočítané hydroenergetické potenciály. Aktuálním cílem elektrárny je se co nejvíce přiblížit k maximální hodnotě reálně využitelného potenciálu kolem 2300 MWh. Pokud správně odhaduji, že účinnost strojoven je průměrně 75%, tak se snažíme přiblížit k číslu kolem 1750 MWh.

hydroenergetický potenciál	hydroenergetický potenciál [MWh]	při účinnosti strojoven 75% [MWh]
teoretický	4280	-
reálně využitelný ³	2323	1742
skutečný (pro 3,3 m ³ /s) ⁴	2055	1 541
reálně využitelný (po optimalizaci odpadního kanálu i náhonu)	2534	1900

Tabulka 3 Shrnutí potenciálů.

Elektrárna však v současné době vyrábí kolem 1550 MWh ročně. Lze tedy odhadovat, že můžeme optimalizovat rezervu kolem 200MWh. Tuto rezervu tvoří majoritně nedokonalá konfigurace náhonu/jezu.

Dále pokud se úpravou odpadního kanálu trvale navýší spád, dojde k celkovému navýšení reálně využitelného energetického potenciálu zhruba o 150 MWh. Pokud by se tedy provedly obě dvě výše zmíněné optimalizace (náhon, odpadní kanál) došlo by pravděpodobně k celkovému navýšení roční výroby až o 350MWh.

V této tabulce (Tabulka 4) jsou shrnuty návrhy optimalizací, odhady jejich cen a odhadované roční výnosy při současně ceně výkupu elektrické energie.

optimalizace	Snížení hydrodynamického odporu náhonu na minimum (napřímení, prohloubení, rozšíření)	Snížení hydrodynamického odporu odpadního kanálu na minimum (narovnání a rozšíření ústí kanálu do řeky)
navýšení výroby	až o 200 MWh	až o 150 MWh
cena realizace	1-2 mil. Kč	1-2 mil Kč
roční výnos (2,5 Kč /kWh)	až 500 000 Kč	až 375 000 Kč

Tabulka 4 Orientační finanční úvaha.

³ Dosažitelný optimalizací náhonu.

⁴ Hodnota zůstatkového průtoku, kdy kanál dosahuje plné kapacity (8,3 m³/s).

Závěr

Vodní dílo v Radešově bylo zbudováno na začátku druhé poloviny 19. století. Úkolem této stavby bylo pohánět papírenské stroje. Účelu vzniku odpovídá, z moderního hlediska, ne zcela vhodné umístění budovy strojoven. Dnes požadujeme při stavbě nové elektrárny maximální hydroenergetický potenciál. Pokud by se elektrárna budovala nyní, bylo by vhodnější umístit strojovny co nejbližší k ústí odpadního kanálu. Při zásobování turbín stejným množstvím vody bychom tak díky větší dosažené derivaci dosáhli vyššího výkonu.

Elektrárna byla po privatizaci v roce 1996 převzata v relativně zanedbaném stavu. Nový majitel instaloval novou turbínu s moderními prvky řízení, zprovoznil vyhřívání česel a provedl další optimalizace, které vedly k navýšení roční výroby zhruba o 50%.

Další možnosti, jak navýšit výkon elektrárny, spočívají v minimalizaci hydrodynamického odporu náhonu (5.2.1), a v navýšení celkového spádu na elektrárně pomocí minimalizace hydrodynamického odporu odpadního kanálu (5.2.3). Obě tyto stavební úpravy podmiňují roční navýšení výroby o cca 350 MWh. Důvodem, proč k těmto nepopíratelně rentabilním úpravám dosud nedošlo, je složité získání stavebního povolení, mimo jiné i kvůli tomu, že se elektrárna nachází na samém okraji CHKO Šumava.

Vodní elektrárny jsou považovány za zcela čistý, obnovitelný a ekologický zdroj elektrické energie. Derivační vodní elektrárny ale velmi zásadním způsobem ovlivňují charakter části řeky tím, že více než polovina veškeré vody putuje nepřirozeným způsobem přes elektrárnu.

Pomineme-li fakt, že jezové těleso při malých průtocích znemožňuje migraci ryb a dalších vodních živočichů, zůstává v očích ekologů větším problémem velikost MZP (podle současné metodiky se aktuální hodnota 1,6 m³/s pohybuje pouze kolem 50% pravděpodobně vymezené hodnoty v případě nového díla v této lokalitě). Studie četnosti výskytu makrozoobentosu v zůstatkovém korytu však nevypovídají o zhoršení biodiverzity při MZP 1,6 m³/s.

Z mého pohledu není snaha zpětně zasahovat do starých vodních práv zcela racionální. Vodní dílo v Radešově se dá s nadsázkou považovat za kulturně-historickou památku. Stavba dominuje v krajině již 150 let a je s přírodou sžitá. Nicméně v tomto směru vidím v současnosti velký prostor pro diskusi, jakým způsobem dotovat (podporovat) a jak nastavovat mantinely pro obnovitelné zdroje elektrické energie.

Seznam použité literatury a informačních zdrojů

- [1] Energetický regulační úřad. *Roční zpráva 2011* [online] [cit. 2012-01-29] Dostupné z: http://www.eru.cz/user_data/files/statistika_elektro/rocni_zprava/2011/Rocni_zprava_ES_CR_FINAL.pdf
- [2] GABRIEL, Pavel, ČIHÁK, František, KALANDRA, Petr, *Malé vodní elektrárny*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1998. 321 s. ISBN 80-01-01812-1.
- [3] Ministerstvo životního prostředí ČR. *Malé vodní elektrárny* [online] [cit. 2012-01-30] Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/male_vodni_elektrarny
- [4] BUKAČ, Petr. *Malá vodní elektrárna: Kolik elektřiny vyrobí? Vyplatí se?* [online] [cit. 2012-03-19] Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/vodni-energie/mala-vo-dnielektrarn-akolik-elektřiny-vyrobi-vyplati-se.aspx>
- [5] Vlastní zdroj.
- [6] Energetický regulační úřad. *Roční zpráva 2011* [online] [cit. 2012-02-10] Dostupné z: http://www.eru.cz/user_data/files/licence/info_o_drzitelich/OZE/VE.pdf
- [7] MAPY.CZ [online] [cit. 2012-03-19] Dostupné z: <http://mapy.cz/#x=13.501973&y=49.160119&z=12>
- [8] ŠKORPÍK, Jiří. *Vodní turbíny a turbočerpadla* [online] [cit. 2012-03-12] Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/vodni-turbiny-a-turbocerpadla.html>
- [9] *Malé vodní elektrárny a životní prostředí* [online] [cit. 2012-04-16] Dostupné z: <http://www.calla.cz/data/energetika/ostatni/VodaaZP.pdf>
- [10] Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů, *Zákon č. 254/2001 Sb.* [online] [cit. 2012-03-22] Dostupné z: http://www.spvez.cz/pages/predpisy_oze_003.htm
- [11] POTUŽÁK, Jan. *Posouzení vlivu MVE Radešov na makrozoobentos řeky Otavy 2011*. Povodí Vltavy, státní podnik, Vodohospodářská laboratoř České Budějovice, 2011
- [12] Atlas zařízení využívajících obnovitelné zdroje *Dobová fotografie elektrárny* [online] [cit. 2012-05-02] Dostupné z: <http://calla.ecn.cz/atlas/detail.php?kat=3&id=684>
- [13] BALVÍN, Pavel. *Vodohospodářské techniko-ekonomické informace* [online] [cit. 2012-04-08] Dostupné z: http://www.vuv.cz/fileadmin/user_upload/pdf/vtei/2011/vtei_4-2011.pdf
- [14] Storek – kniha zakázek a instalovaných výkonů (jediný exemplář)

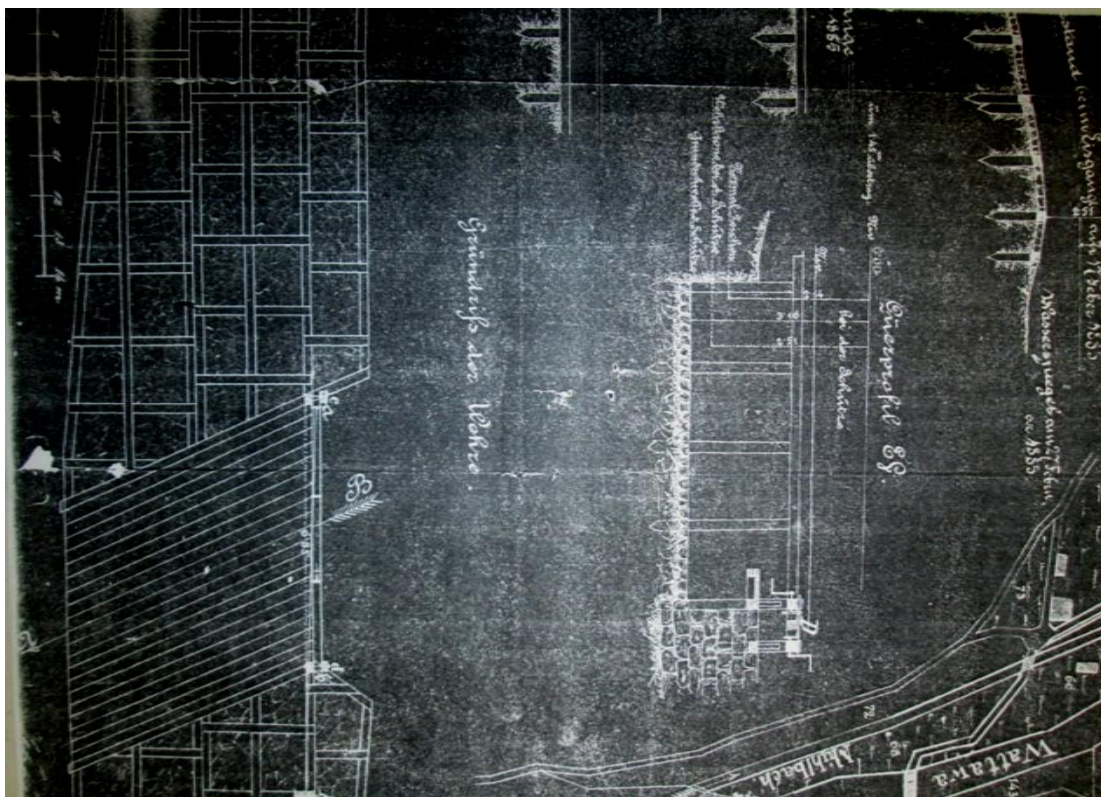
- [15] *Studie proveditelnosti zprůchodnění migračních překážek na vodních tocích v povodí Vltavy* [online] [cit.2012-04-016] Dostupné z: <http://www.vrv.cz/vltava-migrace>
- [16] *Studie proveditelnosti zprůchodnění migračních překážek na vodních tocích v povodí Vltavy Hodnocení - OTAVA* [online] [cit.2012-04-016]
Dostupné z: http://www.vrv.cz/vltavamigrace/projekt/3_TEXTOVA_CAST/3_textova_cast_Otava.pdf
- [17] *Studie proveditelnosti zprůchodnění migračních překážek na vodních tocích v povodí Vltavy - Radešov* [online] [cit.2012-04-016] Dostupné z: <http://www.vrv.cz/vltava-migrace/pdf/200058106.pdf>

Seznam příloh

A	Výkres jezu a jez při průtoku $\approx 40 \text{ m}^3/\text{s}$	1
B	Vývoj instalovaného počtu elektráren $<1 \text{ MW}$	2
C	Mapa umístění vodního díla	2
D	Turbína storek	3
E	Turbína Hydrohrom	4
F	Kanál jalového přepadu, vyhřívání	5
G	Mapa sítě v místě elektrárny	6
H	Vodní zákon (výňatek z Vodoprávní kolaudace pro novou turbínu 1930)	7
I	Hydrologická data	8
J	Účinnost vodní elektrárny (strojovna Hydrohrom)	9
K	Asynchronní generátor (Hydrohrom), stavidlové pole	10
L	Odpadní kanál a náhon	11
M	Aproximace m-křivky	12
O	Dobová fotografie elektrárny (vlevo náhon, vpravo jalový přepad)	12

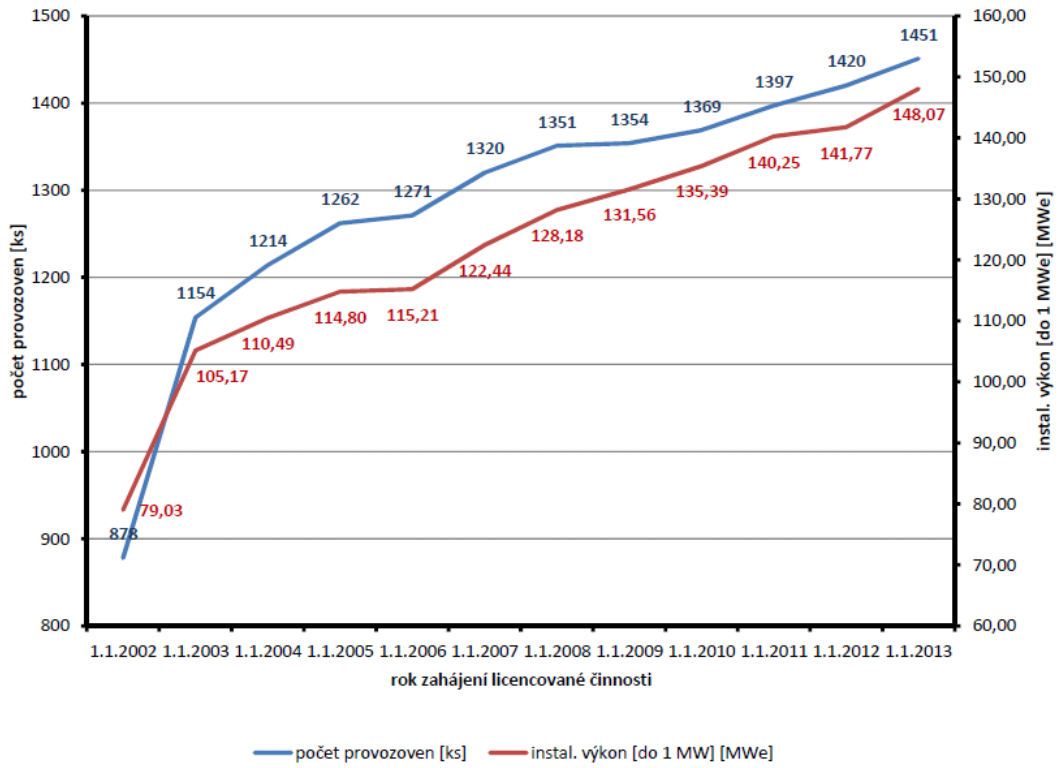
Přílohy

Příloha A Výkres jezu a jez při průtoku $\approx 40\text{m}^3/\text{s}$ [5]

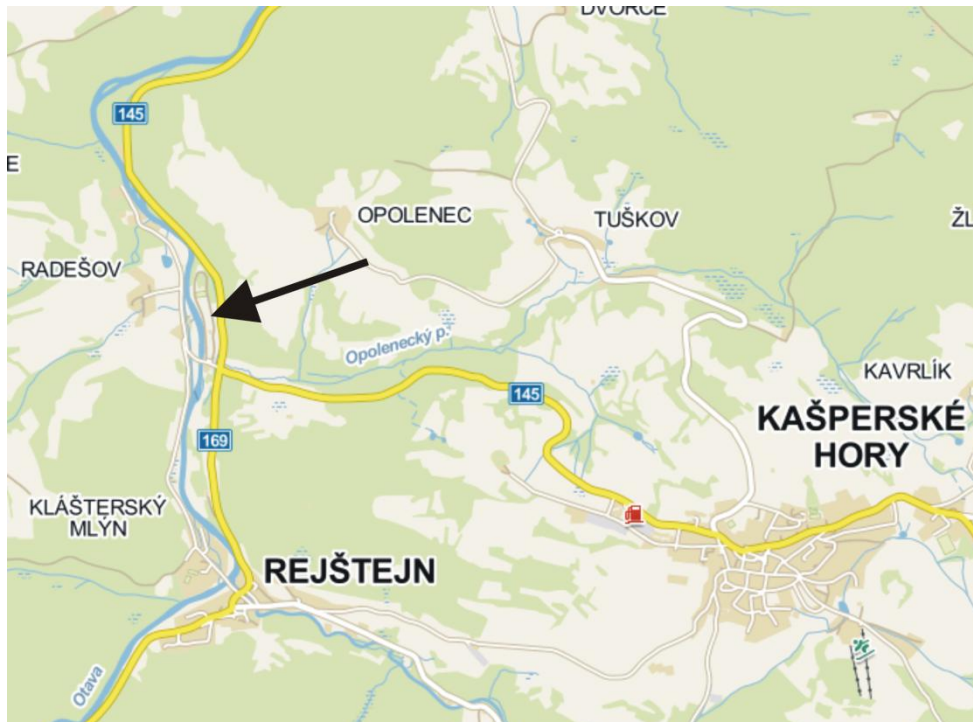


Příloha B Vývoj instalovaného počtu elektráren (<1 MW) [6]

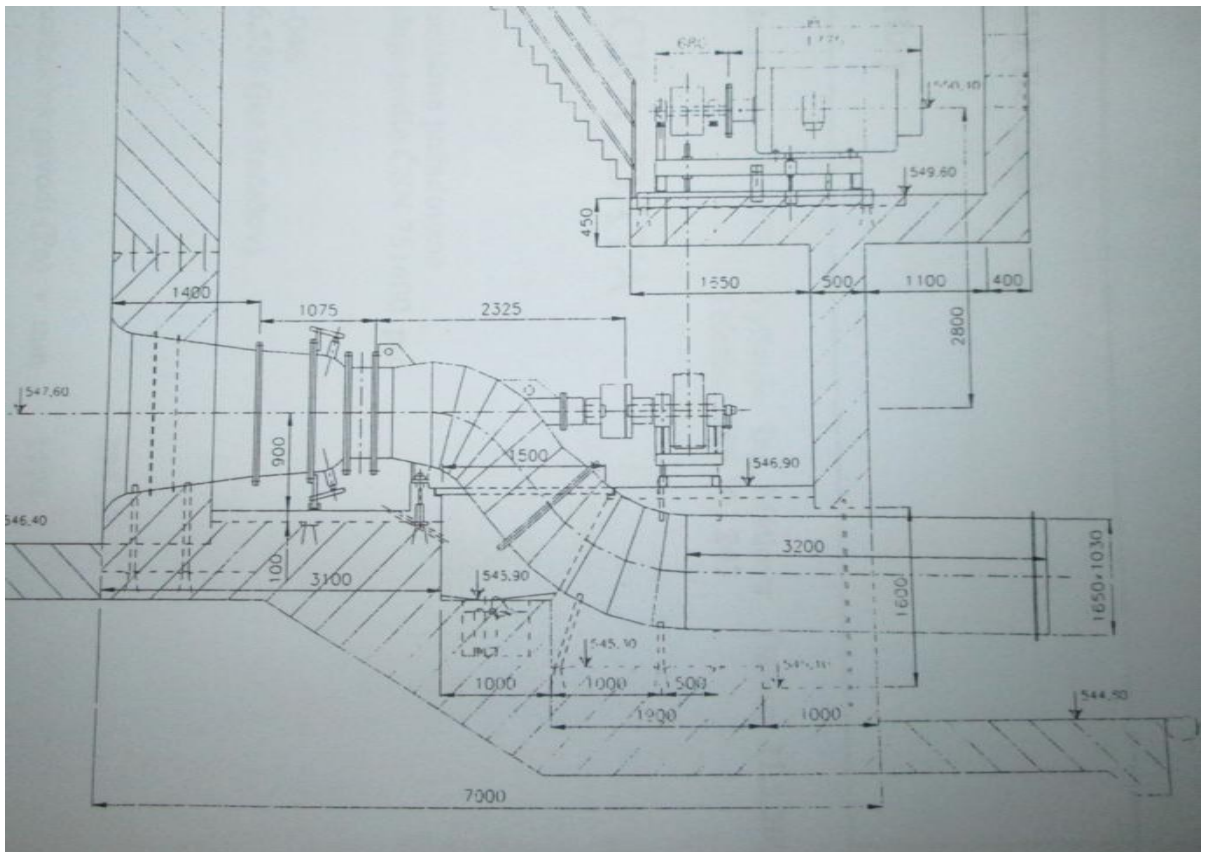
Vodní elektrárny (instal. výkon do 1 [MWe]), stav k 1.1.2013



Příloha C Mapa umístění vodního díla [7]



Příloha E Turbína Hydrohrom [5]



Příloha F Kanál jalového přepadu, vyhřívání [5]



Příloha H Vodní zákon (výňatek z Vodoprávní kolaudace pro novou turbínu 1930) [5]

- 6 -

bíny určeno, poněvadž scházejí všechny podklady. Jenom pro první starou turbínu mohlo být množství protékající vody, jak výše udáno, určeno 4.11 m³/vteř při užitečném spádu 4.25 m.

V konsensu ze dne 17. února 1930 jest udáno, že třetí turbína s průměrem oběžného kola 2.24 m sloužila jako reserva a že druhá turbína o průměru oběžného kola 0.665 m byla používána k pohonu vodního díla s první turbínou. Obě turbíny pohonné vyrobily vodní sílu okrouhle 300 HP, kdežto turbína rezervní pouze 26 HP, nemohla proto býti rezervní turbína menší než menší turbína pohonná, jedná se tedy očiividně ve výměru z roku 1930 o záměnu turbíny druhé a třetí. Poněvadž menší první turbína může propustiti 4.11 m³/vteř při spádu 4.25 m, musela druhá pohonná turbína podle konsensu třetí / spotřebovati při větších rozměrech větší množství vody. Vezme-li se toto množství vody 4.2 m³/vteř, činila by spotřeba vody obou sta-

- 7 -

rych pohonných turbín 8.31 m³/vteř, což dlužno považovati za původní vodní oprávnění hydroelektrárny v Radešově, pro užitečný spád 4.25 m.


Vzhledem k tomu, že nová turbína spotřebojuje při tomtéž spádu 9.11 m³ za vteř, spotřebojuje se proti původnímu starému oprávnění o 0.8 m³/vteř vody více, která jest tedy novým vodním oprávněním.

Vyhovuje původnímu dožádání městské obce Kašperské Hory z 21. července 1929, č. 2566/29, uděluji jí dle §§ 17, 18, 19, 76 a 86. zákona o právu vodním z 28. srpna 1870, č. 71 z. z. vodoprávní povolení k využití množství vody 0.8 m³/vteř na spádu 4.25 m v elektrárně v Radešově novou turbínou Kaplanovou za těchto podmínek :

1. / Povolení se uděluje na dobu 60 let od doby pravoplatnosti kolaudačního výměru.

2. / V případě částečného neb úplného vyvlast-

Příloha I Hydrologická data [5]


ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV
 pobočka ČHMÚ České Budějovice
 A. Staška 32, 370 07

Ing. Svatopluk Bernášek
Radešov 27

341 92 Kašperské Hory

Váš dopis značky: Ing. Bernášek Naše značka: 264/09 Vyřizuje: Ing. Mátlová Datum: 21.5.2009
 Telefon: 386 102 243

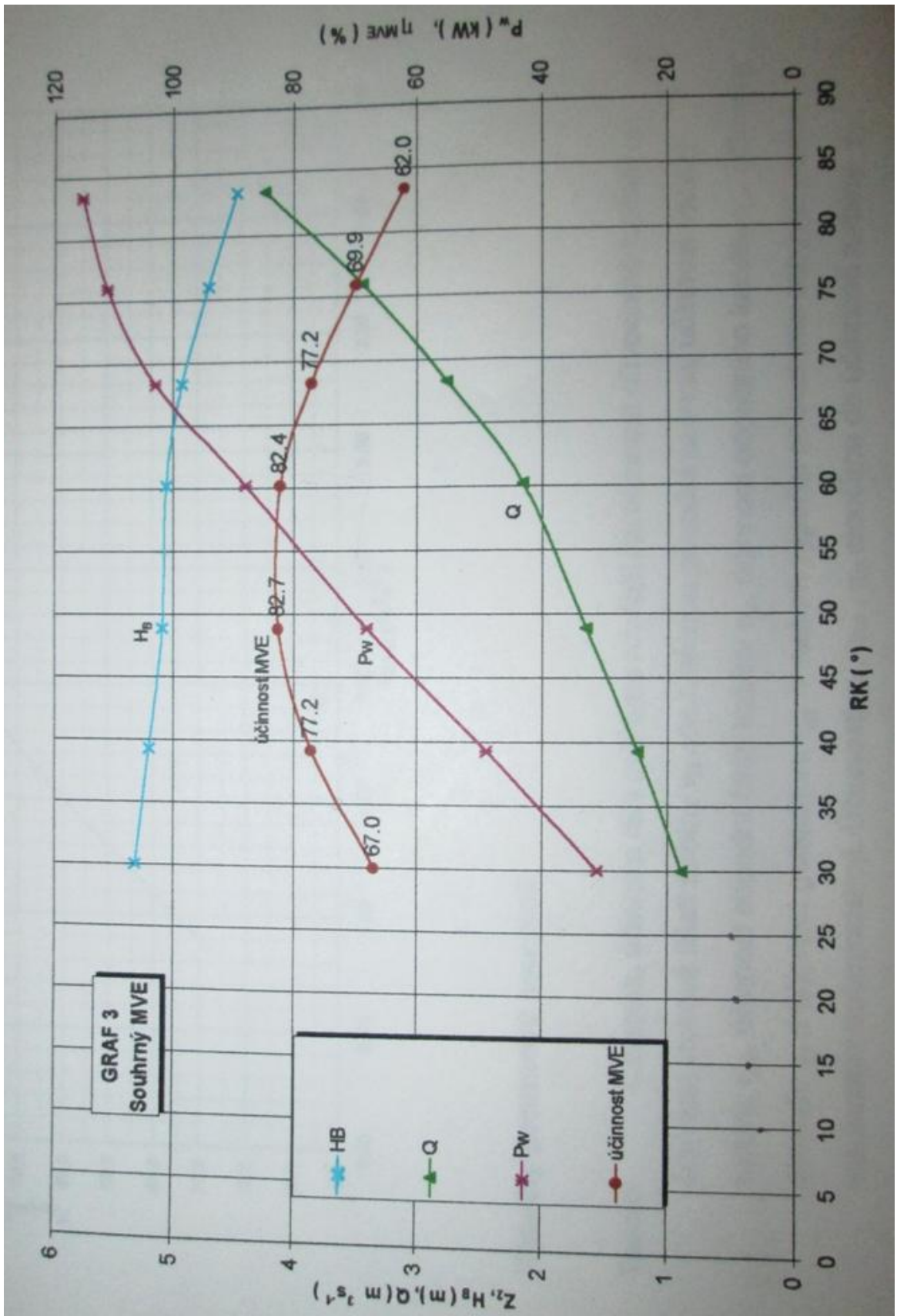
Věc: **HYDROLOGICKÁ DATA**

Na Vaši žádost ze dne 15.5.2009 Vám zasíláme požadované základní hydrologické údaje podle ČSN 751400 pro

vodní tok: Otava
 číslo hydrologického pořadí: 1-08-01-046
 v profilu: ř.km 106.558 (jez Radešov)

1. Plocha povodí (A) v km ²	390.37												
2. Dlouhodobá průměrná roční výška srážek na povodí (Pa) v mm	1174												
3. Dlouhodobý průměrný průtok (Qa) v m ³ .s ⁻¹ (třída III.)	9.05												
4. M-denní průtoky (Q _{Md}) v m ³ .s ⁻¹ (třída III.)													
M	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q _M	18.4	13.5	10.9	9.23	7.96	6.95	6.08	5.32	4.61	3.92	3.17	2.32	1.61
5. N-leté průtoky (Q _N) v m ³ .s ⁻¹ (třída -)													
N	1	2	5	10	20	50	100						
Q _N													

Příloha J Účinnost vodní elektrárny (strojovna Hydrohrom) [5]



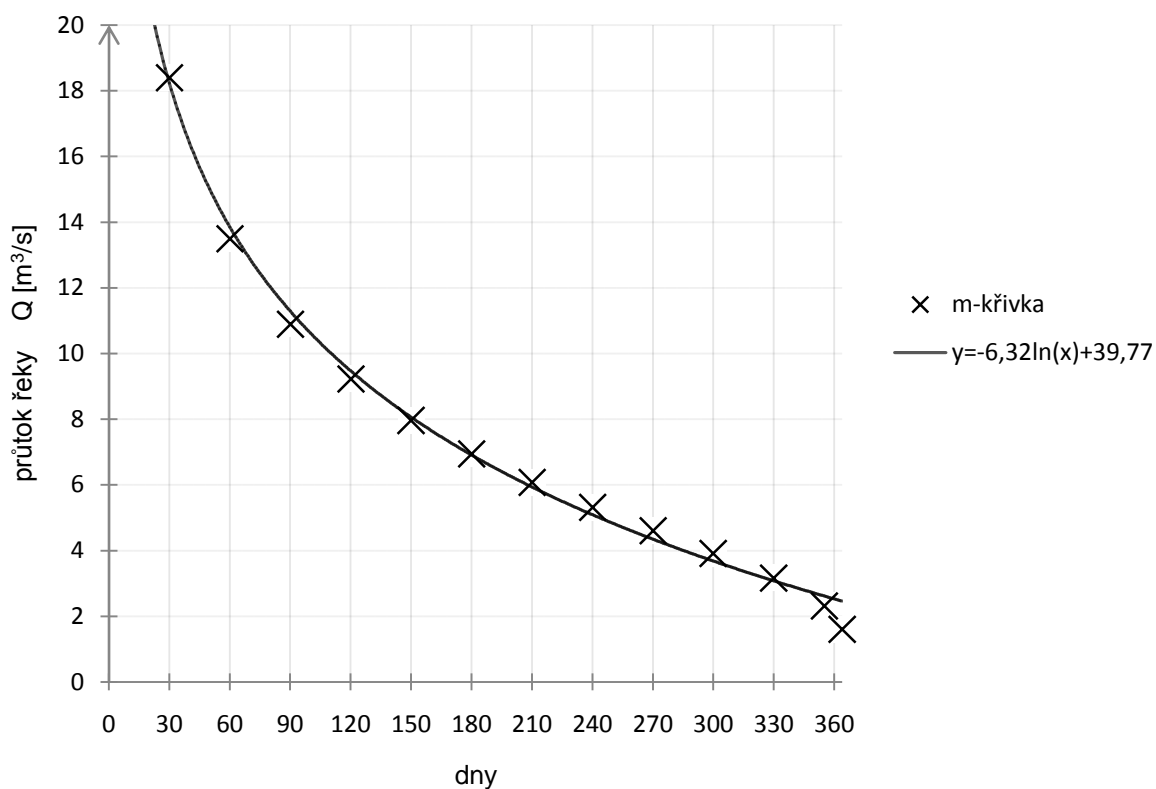
Příloha L Asynchronní generátor (Hydrohrom), stavidlové pole [5]



Příloha M Odpadní kanál a náhon [5]



Příloha N Aproximace m-křivky [5]



Příloha O Dobová fotografie elektrárny (vlevo náhon, vpravo jalový přepad) [12]

