

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra mechaniky a strojnictví



Bakalářská práce

Malé vodní elektrárny – obnovitelný zdroj energie

David Soldát

© 2017 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

David Soldát

Technologická zařízení staveb

Název práce

Malé vodní elektrárny – obnovitelný zdroj energie

Název anglicky

Small hydropower plants – renewable energy source

Cíle práce

Popsat možnosti využívání vodních toků pro účely hydroenergetiky. Provést rozbor a zhodnotit stávající lokality pro stavby malých vodních elektráren. Popsat konkrétní malou vodní elektrárnu.

Metodika

Zpracovat literární rešerši. Popsat a zhodnotit vybraný vodní tok.

Doporučený rozsah práce

40 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Klíčová slova

hydroenergetika, malá vodní elektrárna, vodní turbína

Doporučené zdroje informací

Bednář, J.: Turbíny – malé vodní elektrárny, Nakladatelství Marcela Bednářová 2013, ISBN 978-80-905437-0-6

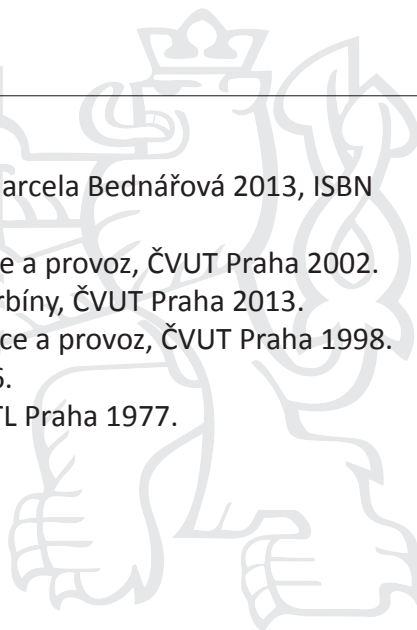
Melichar, J., Bláha, J., Brada, K.: Hydraulické stroje konstrukce a provoz, ČVUT Praha 2002.

Melichar, J.: Hydraulické a pneumatické stroje, část vodní turbíny, ČVUT Praha 2013.

Melichar, J., Vojtek, J., Bláha, J.: Malé vodní turbíny konstrukce a provoz, ČVUT Praha 1998.

Nechleba, M., Hušek, J.: Hydraulické stroje, SNTL Praha 1966.

Štoll, Č., Kratochvíl, S., Holata, M.: Využití vodní energie, SNTL Praha 1977.



Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Martin Polák, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra mechaniky a strojnictví

Elektronicky schváleno dne 17. 2. 2016

doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2016

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 08. 01. 2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Malé vodní elektrárny – obnovitelný zdroj energie vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že s odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o autorském právu, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu doc. Ing. Martinu Polákovi Ph.D. za cenné připomínky a odborné rady, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval panu Janu Mandelíkovi a Ing. Milanu Kerhartovi z MVE Kolín za jejich ochotu a vstřícnost při získávání informací a dat malé vodní elektrárny. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině za trpělivost a podporu.

Malé vodní elektrárny – obnovitelný zdroj energie

Abstrakt

Úvodní část práce je věnována možnostem využití obnovitelných zdrojů energie se zaměřením na hydroenergetiku. Jsou zde popsány různé způsoby využívání vodních toků na území České republiky. Pozornost je věnována popisu základních prvků vodních elektráren a jejich charakteristických parametrů. Následující kapitoly jsou zaměřeny na vývoj vodních motorů a popis vodních turbín, které jsou v současnosti nejvyužívanější. Další část práce se zabývá hodnocením rekonstrukce malé vodní elektrárny v Kolíně na řece Labi. Jsou zde popsány hydrotechnické podmínky vodního díla, stavební a technologické řešení hydroelektrárny. V závěru je provedeno technicko-ekonomické hodnocení rekonstrukce elektrárny realizované v letech 2011–2012.

Klíčová slova: malá vodní elektrárna, obnovitelný zdroj energie, vodní turbína, hydroenergetika.

Small hydro-power plants – renewable energy source

Abstract

The first part of the thesis is dedicated to possibilities of utilization of renewable energy sources, especially hydropower of rivers. There is also described development of different ways of utilization of this power source in the Czech Republic. This part contains description of basic elements of hydropowerplants and their specifications. Next chapters are focused on development of water engines and description of the most used water turbines in recent times. The second part of the thesis is mainly about reconstruction of small hydro power plant in Kolin and its assessment. This part describes the locality with respect to the hydro-technical conditions, construction and technological solution of hydroelectric power station. In the final part, technological and economic valuation of the reconstruction is carried out, which was made during the years 2011- 2012.

Keywords: small hydro-power plant, renewable energy source, water turbine, hydropower engineering.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Přírodní zdroje energie.....	2
2.1	Vodní energie a její využití	4
2.2	Využití vodní energie na území ČR	4
3	Vodní elektrárny	7
3.1	Obecné schéma vodní elektrárny.....	7
3.2	Základní parametry vodní elektrárny	8
4	Vodní motory	10
4.1	Historický vývoj	10
4.2	Vodní turbíny.....	12
4.2.1	Peltonova turbína	13
4.2.2	Bánkiho turbína.....	14
4.2.3	Francisova turbína.....	15
4.2.4	Kaplanova turbína.....	16
5	MVE Kolín	17
5.1	Historie	18
5.2	Činnost vodního díla.....	19
5.3	Hydroelektrárna.....	20
5.3.1	Budova MVE	22
5.3.2	Vtoková a výtoková část.....	23
5.3.3	Strojovna	23
5.4	Rekonstrukce elektrárny.....	24
5.4.1	Původní technologie.....	24
5.4.2	Průběh rekonstrukce.....	26
6	Technické zhodnocení elektrárny	27
6.1	Výpočet teoretické roční výroby elektrické energie.....	27

6.1.1	Průtok elektrárnou.....	27
6.1.2	Výpočet výkonu hydroelektrárny	29
6.1.3	Výpočet roční výroby energie.....	30
6.2	Skutečná výroba energie.....	31
6.3	Porovnání výsledků výroby energie	32
7	Ekonomické hodnocení rekonstrukce elektrárny.....	33
7.1	Výchozí předpoklady.....	33
7.1.1	Investiční náklady	33
7.1.2	Provozní náklady	34
7.1.3	Vývoj výkupní ceny energie	35
7.2	Návratnost investice	36
8	Závěr	39
9	Seznam citovaných zdrojů	40
10	Seznam obrázků.....	42
11	Seznam grafů	43
12	Seznam tabulek	43
13	Seznam zkratk	43
14	Přílohy.....	44

1 Úvod

Využívání vodní energie sahá až k počátkům lidské civilizace (mletí obilí, zavlažování atp.). Postupem času se z jednoduchých zařízení staly sofistikované stroje pracující s velmi vysokou účinností. Na počátku 20. století nastal obrovský vývoj elektrických točivých strojů a rozvoj přenosové soustavy, která umožňuje dopravit energii na velkou vzdálenost. Od té doby se využití vodní energie soustředilo zejména na výrobu elektřiny v tzv. vodních elektrárnách.

Hlavním zdrojem k pokrytí spotřeby elektrické energie v ČR tvoří uhelné a jaderné elektrárny, avšak vodní elektrárny tvoří neodmyslitelnou složku energetické soustavy. Důvodem je možnost rychlé a plynulé regulace, kterou lze efektivně vyrovnávat extrémní ve spotřebě elektrické energie. Vodní elektrárny nezatěžují životní prostředí, protože neprodukují žádné skleníkové plyny ani jiné škodliviny. Naopak, mohou mít příznivý vliv na ekosystém díky retenční schopnosti vodních nádrží. Vyznačují se nízkými náklady na provoz a při pravidelné údržbě zaručují dlouhou dobu životnosti.

2 Přírodní zdroje energie

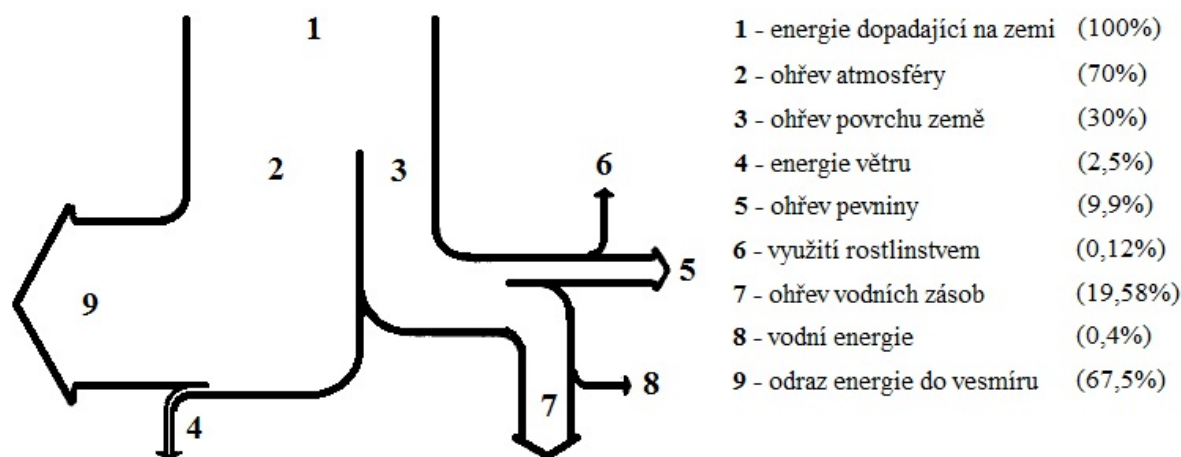
Energie vyskytující se v přírodě přímo či nepřímo využitelná se označuje jako surová energie. Vhodnou přeměnou surové energie lze získat energii využitelnou, nazývanou také energie užitková nebo zušlechtěná. Primární zdroje energie vyskytující se kolem nás tak nazýváme přírodními zdroji energie, které lze dělit do čtyř základních skupin:

- Zdroje **vyčerpateľné** – fosilní paliva ve všech třech skupenstvích (zemní plyn, ropa, uhlí apod.)
- **Stále se obnovující** zdroje – omezené přírodními podmínkami (dřevo, biomasa)
- Zdroje **jaderné energie** – vznikající např. řízeným rozpadem atomových jader
- **Nevyčerpateľné** zdroje – sluneční, energie Země, větrná a vodní energie

Technicky uspokojivé využití má zejména energie získaná z fosilních a přírodních paliv, jaderná energie a energie vodních toků. Energetický potenciál fosilních paliv je velmi vysoký, vzhledem k jeho dostupnosti a jednoduché formě zpracování. Světové zásoby uhlí se odhadují na příštích 50 až 300 let. Ropa v současnosti pokrývá asi 30% celkové spotřeby energie na světě, což ji řadí na druhou příčku nejvyužívanějších energetických zdrojů. Mimo zušlechtování ropy (získávání využitelných frakcí, které představuje cca 90% celkové spotřeby) se využívá i v řadě průmyslových odvětví jako jsou chemický, farmaceutický, elektrotechnický apod. Při regulované těžbě by zásoby ropy měly vystačit přibližně na příštích sto let.

Jaderná energie je energie, která vzniká řízeným štěpením atomových jader v reaktoru atomové elektrárny. Při štěpení jaderného paliva není spotřebován vzduch, a proto při provozu jaderné elektrárny nedochází k vypouštění skleníkových plynů. Vzniká ovšem pára (chladicí věže), která se na skleníkovém efektu podílí. Zásoby uranu jsou sice vyčerpateľné, ale jejich množství, v porovnání se spotřebou je obrovské. S přihlédnutím na jiné zdroje jaderného štěpení (thorium, plutonium) lze z praktického hlediska považovat tento zdroj za nevyčerpateľný. Nebezpečí ovšem představují havárie reaktoru s katastrofálními následky, jako tomu bylo v případě Černobylské elektrárny (rok 1986).

Nejvýznamnějším zdrojem, u něhož v posledních letech zaznamenáváme značný rozvoje využití, je energie Slunce. Jeho zářivý výkon dopadající na povrch Země má hodnotu přibližně $1\text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ (v závislosti na klimatických a geografických podmínkách). Celková bilance sluneční energie dopadající na Zemi znázorňuje obrázek 1.



Obrázek 1 Energetická bilance energie Slunce dopadající na zemský povrch (Bednář 1989)

Pro přímou přeměnu slunečního záření na elektrickou energii jsou používány fotovoltaické články. První generace fotovoltaických panelů v 90. letech 20. století umožnila využívat solární energii ke komerčním účelům. Přestože jejich účinnost byla v té době minimální (okolo 10%), koncept této technologie se neustále vyvíjí. Dnes dosahují účinnosti až 70%. Solární panely však zatím vyžadují vysoké investiční náklady. Návratnost této investice se od doby jejich životnosti často liší pouze o několik let. Negativem solárních panelů je také jejich obtížná likvidace na konci jejich životnosti.

Další zajímavou variantou využívání přírodního zdroje je geotermální energie. Ta dokonce převyšuje energetický potenciál fosilních paliv. Teplota ke středu Země roste každých sto metrů přibližně o 3°C. Množství tepla uvnitř zemského jádra se odhaduje na $2,3 \cdot 10^{15}$ TWh, což je přibližně $8 \cdot 10^7$ krát více energie, než tvoří světové zásoby uhlí. Současné využití pro širší distribuci nalézá uplatnění pouze v místech výskytu horkých pramenů vody, par a plynů. Typickým místem, kde se tato energie využívá, je například Island. Prameny horké vody a páry jsou zde hodnotným zdrojem energie, které představují zdroj velké výkony, v řádech stovek megawatt.

Energie větru nachází uplatnění především v místech, kde je možnost dodávky energie z jiného zdroje obtížně dostupná. Energie vzdušných proudů na Zemi se odhaduje na $38,5 \cdot 10^{15}$ kWh/rok. Ve srovnání s množstvím vodní energie jí sice několikrát převyšuje, avšak jistou nevýhodou jejího využívání je nepravidelnost výskytu. Přesto se problematice větrné energie věnuje stále větší pozornost. Větrné elektrárny mohou konkurovat jiným zdrojům energie zejména v oblastech, kde roční průměrné rychlosti větru jsou vyšší než $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (Dušička a kol. 2003).

2.1 Vodní energie a její využití

Voda, která se vyskytuje v přírodě, je mimo potenciální a kinetické energie také nositelkou energie tepelné a chemické. Energii vod lze podle výskytů v přírodě klasifikovat následovně:

- energie vodních srážek
- energie ledovců
- energie moří (jejím vnějším projevem jsou vlny, mořské proudy, příliv a odliv)
- energie vodních toků

Srážky mají sice velký potenciál z hlediska energie - na zemský povrch dopadá okolo 10^{14} m³/rok. Ale jejich přímé využití pro výrobu energie je nemyslitelné z důvodu malé koncentrace a velkého plošného i časového rozložení. Praktické využití pohybujících se ledovcových toků bohužel také není možné, přestože skrývá velký potenciál. Energie mořských proudů již v současnosti nachází uplatnění. Například první komerční elektrárna typu SeaGen, která využívá přílivových a povrchových mořských proudů, se nachází u Strangfordu v Severním Irsku. Svým výkonem (1,2 MW) se prezentuje jako nejvýkonnější elektrárna svého druhu na světě (Dušička a kol. 2003, Proelektrotechniky.cz 2014).

Po technické stránce má z hlediska využití energie stále největší význam energie vodních toků, která je neustále obnovovaná koloběhem vody v přírodě. Vodní toky jsou sice doplňkovým, avšak velmi cenným, nevyčerpatelným, bezodpadovým, relativně stálým a trvalým zdrojem energie. Vzhledem k současné technické vyspělosti je možné, ji měnit na elektrickou energii s velice vysokou účinností (Dušička a kol. 2003, Melichar a kol. 1998).

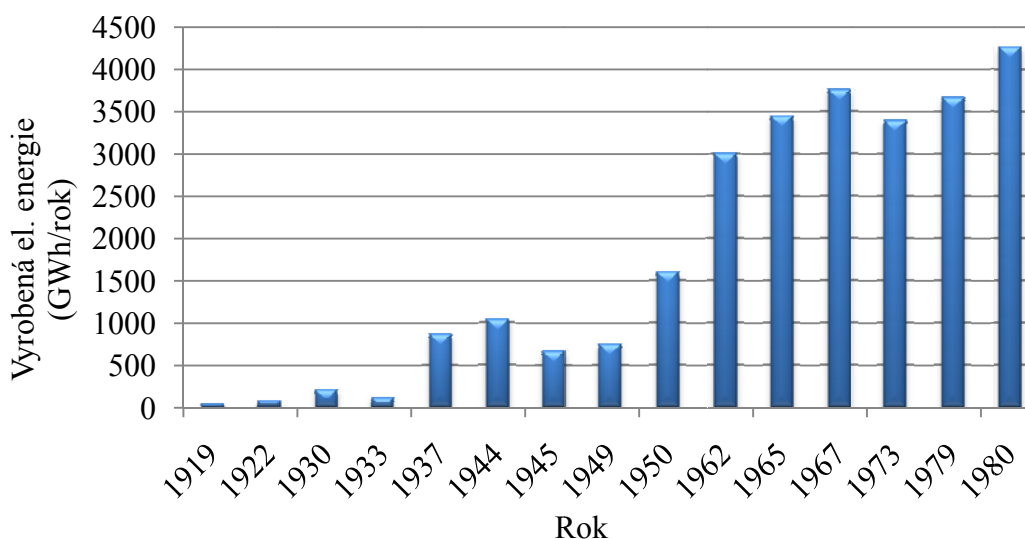
2.2 Využití vodní energie na území ČR

Na území bývalého Československa bylo ve 30. letech minulého století evidováno na 15 638 míst, kde byla využívána vodní energie k pohonu mlýnů, pil, textilek, hamrů a v neposlední řadě i výrobě elektrické energie pro tamější využití. Jejich celkový výkon byl zhruba 238 MW. V polovině 40. let téhož století bylo na tehdejším území ČSR registrováno 11 679 vodních děl s celkovým výkonem asi 200 MW (Bednář 1989, Melichar 2013, Pažout 1987)

Za počátek budování velkých vodních elektráren lze považovat rok 1936, kdy byly uvedeny do provozu vodní elektrárny Střekov na řece Labi (o výkonu 15 MW)

a Vrané na Vltavě (o výkonu 13,88 MW). Po zprovoznění přečerpávací vodní elektrárny (PVE) Štěchovice II (o výkonu 2 x 22,5 MW) roku 1947 se český průmysl zařadil svými parametry mezi světově nejrozvinutější země z hlediska využívání vodní energie. PVE Štěchovice tak položily základní kámen k výstavbě dalších přečerpávacích elektráren, které odpovídaly potřebám provozu elektrizační soustavy.

Po skončení druhé světové války nastal v hydroenergetice bezúspěšný stav. Oproti roku 1944 klesla produkce elektřiny o 35%. Na poklesu se značně podepsala zanedbávaná údržba a maximální vytíženost elektráren v průběhu války. Situace se zlepšila v následujícím období, kdy byla v průběhu let 1950 – 1962 vybudována Vltavská kaskáda, což se kladně projevilo i na zvýšené výrobě elektrické energie (viz graf 1). Od 50. let 20. století byly tedy v hydroenergetice využívány téměř výhradně velké vodní elektrárny.

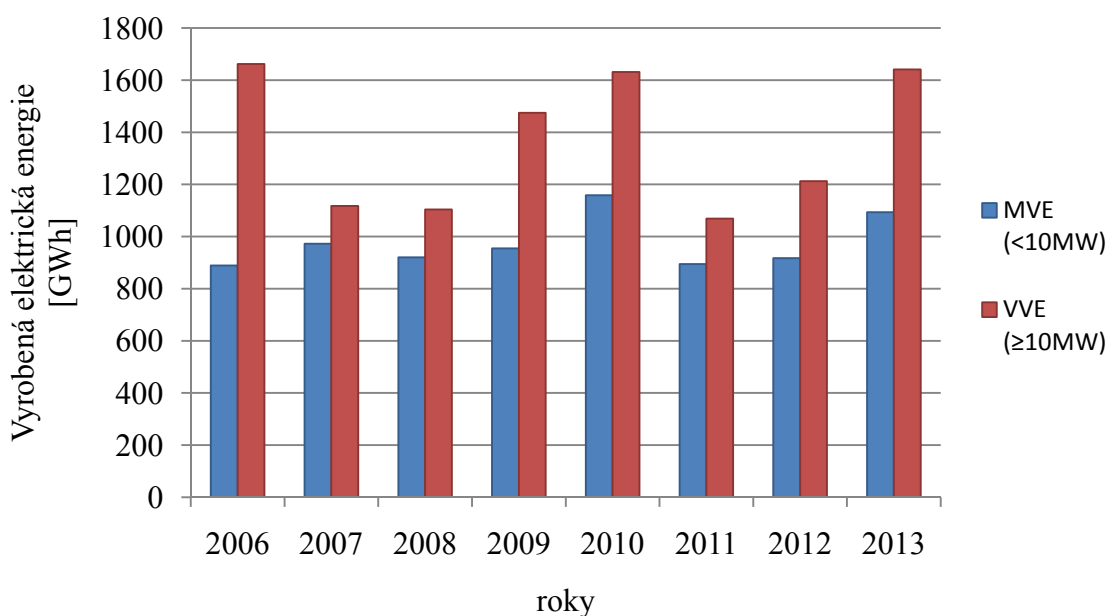


Graf 1 Celková výroba elektrické energie z VE na území Československa (data: Pažout 1987)

Díky následné celosvětové krizi a extrémnímu nárůstu cen ropy a fosilních paliv po roce 1973 se vyspělé země začaly znovu vracet k využívání alternativních zdrojů, včetně energie vodních toků. Počátkem 80. let 20. století nabyly malé vodní elektrárny i na našem území opět většího významu a koncem roku 1987 bylo v provozu již 570 MVE. Další období zvýšeného zájmu o výstavbu MVE nastalo po roce 1989, díky možnosti soukromého podnikání. V průběhu následujících desetiletí tak nastal zvýšený nárůst počtu MVE (Dušička a kol. 2003, Melichar 2013, Pažout 1987).

V současné době je v ČR okolo 1500 MVE. Přibližně 2/3 těchto elektráren jsou doposud osazeny starou technologií, která dosahuje průměrné účinnosti okolo 70 %. Proto se současný rozvoj vodní energetiky soustředí především na modernizaci stávajících MVE a navýšení účinnosti alespoň o 15-20%. Mnoho autorů uvádí, že energetický potenciál vodních toků na území ČR je z větší části (více než poloviny) nevyužitý. Podle Motlíka a kol. (2007) se celkový hydroenergetický potenciál od roku 2001 mění. To je zapříčiněno změnou hydrologických podmínek, zejména klesající hladinou v korytech řek. Díky tomu se skutečně využitelný hydroenergetický potenciál snížil z 50% na 30% teoreticky využitelného potenciálu.

Potenciál pro výstavbu velkých vodních elektráren (VVE) v ČR byl vyčerpán. V roce 2013 tyto elektrárny tvořily 70% výkonu všech vodních elektráren na území ČR. Těchto zdrojů je na našem území pouhých pár desítek. Tyto elektrárny jsou nejvhodnějším prostředkem k vyrovnání extrémních výkyvů ve spotřebě energie, a proto představují neoddělitelnou složku v každé energetické soustavě. Srovnáním výroby z MVE a VVE (viz graf 2) lze vyčíst, že trend výroby elektrické energie se liší. Zatímco u VVE a výroba kolísá, u MVE je trend relativně stálý, což dokazuje, že je snahou využít maximum potenciálu těchto zdrojů. (Melichar 2013, Motlík a kol. 2007, Bufka a Rosecký 2016).

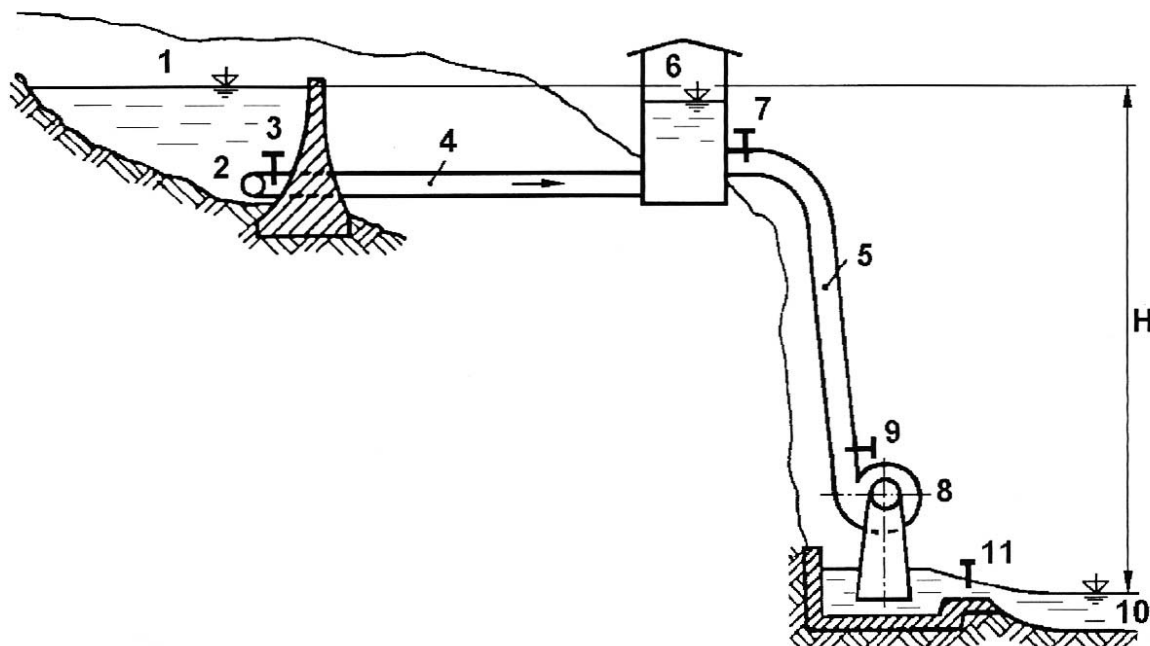


Graf 2 Výroba elektrické energie z vodních elektráren (data Bufka a Rosecký 2014)

3 Vodní elektrárny

3.1 Obecné schéma vodní elektrárny

Zařízení, ve kterém dochází k transformaci (přeměně) vodní energie na energii elektrickou, se nazývá vodní elektrárna (VE) nebo také hydrocentrála, či hydroelektrárna. Vodní elektrárna se skládá z několika hlavních částí (viz obr. 2)



*1 nadržovací objekt, 2 jímací objekt s přepadem, 3 stavidlo, 4 štola,
5 přívodní potrubí (přivaděč), 6 vodní zámek, 7 automatický rychlouzávěr, 8 turbína,
9 uzávěr, 10 odváděcí objekt, 11 uzávěr vody*

Obrázek 2 Obecné schéma hydroelektrárny (Melichar 2013)

Nadržovací objekt (1), kde dochází k akumulaci vody, může mít podobu vzduťého vodního toku, či umělého popř. přirozeného jezera. Současně může nadržovací objekt sloužit k regulaci vodní hladiny při povodních nebo pro zásobování pitnou vodou.

Jímací objekt s přepadem (2) zajišťuje odstranění nečistot a naplavenin, které by mohly poškodit turbínu. Valouny se usazují v tzv. lapači kamenů a písku, kde se využívá principu sedimentace. Plovoucí naplaveniny (listí, dřevo, led aj.) se zachytávají česlemi, které jsou obvykle konstruovány jako mříž svisle orientovaných ocelových tyčí, plochých profilů apod. Podle potřeby lokality se může vyskytovat více stupňů odstraňování nečistot. Na vstupu do přívodu vody k turbínám bývá umístěno uzavírací zařízení, např. stavidlo (3).

Přívodní objekt se skládá ze štoly (4) a přívodního potrubí (5) (přivaděč). Na vtoku přívodního potrubí je umístěn automatický rychlouzávěr (7). V případě průtočných nebo kašnových elektráren se tyto objekty na vodním díle nevyskytují. Nadržovací objekt vodního díla může v konkrétních lokalitách být od strojovny vzdálen několik desítek metrů až několik kilometrů. V případě náhlého uzavření uzávěru před turbínou (9) nastane v dlouhém přívodním potrubí tlakový ráz projevující se silným hydrodynamickým účinkem. Tyto rázy jsou eliminovány buď vodním zámekem (6), který má podobu nádrže s volnou hladinou vyrovnávající nárůst tlaku, nebo pozvolným uzavřením turbíny tak, aby se ráz vůbec neprojevil.

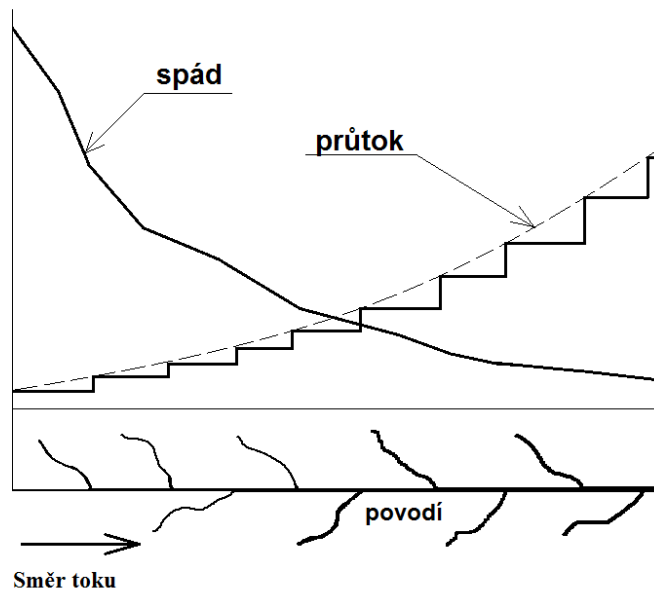
Turbína (8) se skládá ze tří základních částí: zařízení pro přívod vody k oběžnému kolu – rozvaděč, oběžné kolo a zařízení pro odvod vody z oběžného kola – sací trouba. Objekt odváděcí (10) neboli kanál spodní vody zajišťuje odvod vody z turbíny a je obvykle mnohem kratší než objekt přívodní. Kvůli instalaci turbíny bývá vybaven také uzávěrem (11) (Melichar, 2013).

Univerzální řešení vodních elektráren však nelze obecně specifikovat. Vzhledem k jedinečnosti určité lokality je i řešení každé vodní elektrárny unikátní. Tato skutečnost značně ztěžuje unifikaci klíčových částí elektrárny. Pro každou lokalitu je tedy nutné předem důkladně prošetřit konkrétní technické i ekonomické možnosti řešení vodní elektrárny.

3.2 Základní parametry vodní elektrárny

Směrodatnými parametry, od kterých se odvíjí využitelnost vodního díla je spád a průtok. Z těchto veličin lze určit výkon vodní elektrárny, množství vyráběné energie a konstrukční parametry turbíny.

Vodní toky mají různorodý charakter. Ve vyšších nadmořských výškách jsou vody rozptýlené v malých, avšak velmi početných tocích. Ty se postupně slévají do větších, vodnatějších toků. V nížinných oblastech se vody soustřeďují do velkých řečišť s poměrně nízkým spádem (viz obr. 3). Přirozeně se vyskytující skoková převýšení (vodopády, prahy) se v přírodě vyskytují jen zřídka. Řešením je umělé vytvoření spádu vybudováním vhodného vzdouvacího zařízení (přehrada, jez).



Obrázek 3 Schéma konfigurace spádů a průtoků na vodním toku (Melichar 2013)

Výškový rozdíl vodní hladiny v jímacím objektu (nádrži nebo zdrži) a v odváděcím objektu (odpadu) pod vodním dílem je tzv. hrubý spád nebo celkový spád, který je udáván v metrech. Jelikož se spád v určité lokalitě projevuje relativně malou proměnlivostí, je při návrhu vodního díla považován za konstantní parametr. Na rozdíl od přibližně stálé hodnoty spádu se průtok v čase mění. Průtokem je nazýváno množství vody protékající určitým profilem toku za jednotku času. Pro účely hydroenergetiky se tato časová proměnlivost vyjadřuje pomocí grafu, který znázorňuje závislost denních průtoků v průběhu celého roku. Ten je nazýván křivkou překročení průměrných denních průtoků (Melichar 2013).

Hodnoty průtoků v dlouhodobé časové závislosti na určitých vybraných profilech toků sleduje a shromažďuje Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ). V případech ostatních toků, zvláště těch menších, je možné využít některou z metod hydrometrických měření, například metody vodoměrného přepadu nebo hydrometrické vrtule.

Pro zachování biologické rovnováhy ekosystému v dané lokalitě je nutné v řečišti ponechat minimální stálý průtok nazývaný jako Minimální zůstatkový průtok (MZP) též označovaný termínem „sanační průtok“. Stanovení MZP vychází z pokynu Ministerstva životního prostředí. Pro výpočet parametrů vodní elektrárny, resp. turbín je proto směrodatné vycházet z možnosti skutečného využitelného průtoků (Melichar 2013, Bednář 1989).

4 Vodní motory

4.1 Historický vývoj

První zmínky o využití vodní energie pochází již ze 6. století př. n. l. , kdy Chaldejci vynalezli vlastní zavlažovací systém s dopravou vody do přírodních kanálů pomocí vodního kola. Zařízení vodního čerpadla, jehož součástí byly integrované lopatky sloužící k pohonu čerpadla, definoval třeba už ve 3. století př. n. l. Philon Byzantský. Vývoj vodních motorů lze dále sledovat od 2 století př. n. l. v Ilyrii (území dnešního Norska), kdy snad poprvé byla vyráběna vodní kola pro pohon mlýnských kamenů - vodní mlýny. Jde o první konstrukční řešení vodního kola upevněného na horizontální hřídeli. Příkladem takového uspořádání je konstrukce vodního mlýna římského stavitele Vitruvia Pollia z 1 století př. n. l. (viz obr. 4) (Pažout 1987, Zeithammer 2000).

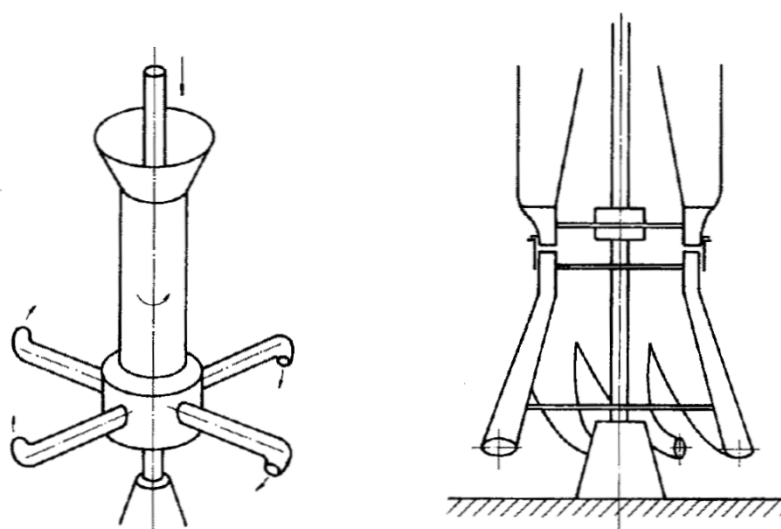


Obrázek 4 Vodní mlýn římského stavitele Vitruvia Pollia (Bednář 1989)

S úpadkem Římské říše v 5. století n. l. jsou snahy o využití vodní energie k úspoře lidských sil stále větší. V průběhu následujícího století se vodní kolo stalo univerzálním motorem pro pohon dalších strojů (hamrů, pil, hutí apod.). S větší mírou uplatnění se posouvá i vývoj vodních kol a objevují se konstrukce tzv. korečníků (14. století n. l.), což jsou vodní kola s konkávními lopatkami se svrchním nátokem.

Snaha zvýšit výkon vedla v 16. století ke konstrukci rozměrných vodních kol o průměru až 12 metrů. V následujícím století se objevují řešení využívající dynamického účinku vodního paprsku dopadající na vodní kolo. Vývoj se týkal i přenosu mechanické energie od nejkratších vzdáleností až po vzdálenosti několika desítek metrů (Bednář 1989).

V 18. století je empirický vývoj vodních kol podložen teoretickým výzkumem a experimentální činností. Přestože konstrukce těchto hydraulických strojů byla vědecky podložena (např. Smetanovy prakticky použitelné tabulky z roku 1752), vývoj vodního kola se koncem 18. století zastavil. Na řadu přichází nová řešení vodních motorů, která jsou základem konstrukce přetlakových turbín (viz obr. 5) (Zeithammer 2000, Bednář 1989).



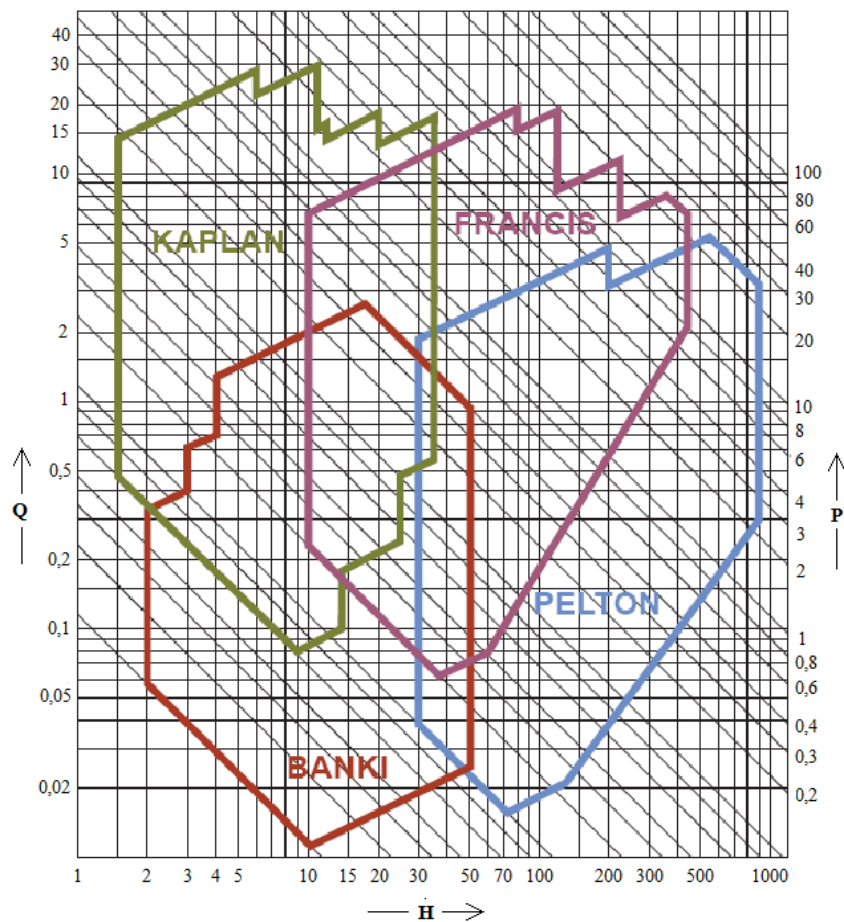
Obrázek 5 a) Segnerovo kolo - r. 1750, b) Eulerův stroj - r. 1754 (Bednář 1989)

V roce 1826 profesor Claude Burdin objevuje řešení přetlakového vodního motoru, jehož konstrukce nazývaná „Turbinens“ (víry tvořící) a je srovnatelná s dnešními konstrukcemi přetlakových turbín. Nevhodné řešení rozváděcích a oběžných lopatek, která zapříčinila nízkou účinnost stroje, vedlo Benoita Fourneyrona k vylepšení tohoto konceptu. Vytvořil tak první provozuschopnou přetlakovou vodní turbínu.

Po roce 1840 se objevují další konstrukční řešení. Snahou bylo především zdokonalení regulace a snížením měrné hmotnosti vodních turbín. V 80. letech 19. století se na území USA a Anglie objevují první vodní elektrárny budované pro účely osvětlení. Výstavba velkých vodních elektráren je spojena s řešením problému přenosu elektrické energie na delší vzdálenosti. Příkladem je velká vodní elektrárna u Niagarských vodopádů v USA, která byla postavena v letech 1896 až 1898 (Bednář 1989).

4.2 Vodní turbíny

Turbíny jsou hlavní součástí vodních elektráren sloužící k přeměně hydraulické energie na mechanickou. Pro každou lokalitu, kterou specifikujeme pomocí spádu a průtoku, se vybírá vhodný typ vodní turbíny. Přehled základních typů používaných turbín zobrazuje oblastní diagram H-Q (viz obr. 6). Současná konstrukční řešení vodních turbín lze dělit především podle způsobu přeměny energie vody v oběžném kole, a to na rovnotlaké a přetlakové.



Obrázek 6 Oblastní diagram základních typů turbín (Vodná energia 2011)

Rovnotlaké (akční) turbíny jsou stroje, ve kterých se polohová energie vody mění na kinetickou energii v rozváděcím ústrojí. Jelikož se veškerá energie vody mění v kinetickou již před oběžným kolem, je tlak vody na vstupu i výstupu oběžného kola stejný. Rovnotlaké turbíny jsou principem využití podobné konstrukcím vodních kol. Rozdíl spočívá ve způsobu předávání energie oběžnému kolu. Vodní kola využívají nárazu vody na lopatku oběžného kola. U rovnotlakých turbín se energie vodního paprsku mění na mechanickou vlivem

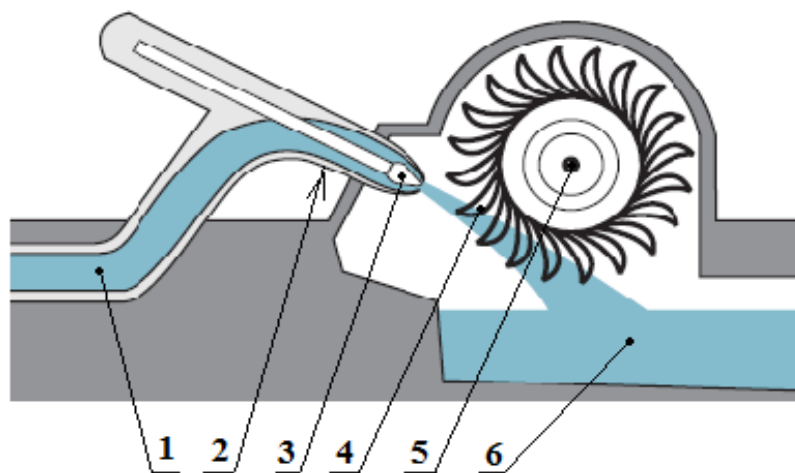
zakřivení lopatek způsobující plynulou změnu směru. Do této kategorie patří například Peltonova nebo Bánkiho turbína.

U přetlakových (reakčních) turbín se v rozváděcích kanálech mění část tlakové energie vody v kinetickou a zbývající část se mění až při průchodu vody oběžným kolem. Hydraulický tlak před vstupem do oběžného kola je vyšší než tlak na výstupu z oběžného kola. S použitím sací trouby lze využít poměrně velkou část kinetické energie i po průchodu oběžným kolem. Hlavními zástupci přetlakových strojů jsou Francisova a Kaplanova turbína (Dušička a kol. 2003, Melichar a kol. 1998).

4.2.1 Peltonova turbína

Pro využití vyšších spádů a nižších průtoků jsou nejvhodnější Peltonovy turbíny. Tuto turbínu objevil v roce 1880 americký vynálezce L. A. Pelton.

Schéma Peltonovy turbíny je na obrázku 7. Voda je přiváděna tangenciálně dýzou na oběžné kolo. V dýze se tlaková energie zcela přemění na kinetickou a voda naráží na oběžné lopatky ve tvaru korečků s dělicím břitem. Regulaci turbíny je možné provést pomocí regulační jehly integrované v dýze. Používá se též odklonu paprsku (deviátorem), event. odřezu (deflektorem), zejména při náhlé změně průtoku nebo odstavení turbíny z provozu. (Škropil a Kasárník 2000; Bláha 1992).



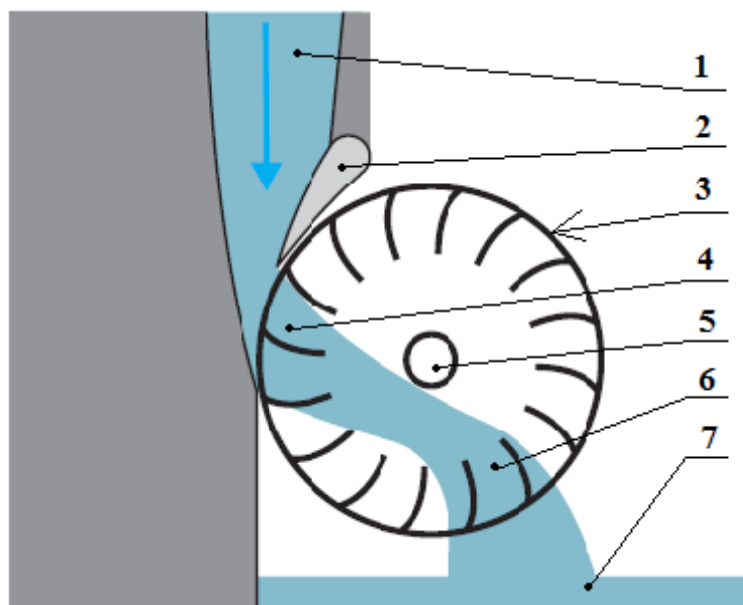
1 přivaděč, 2 dýza, 3 regulační jehla, 4 lopatka oběžného kola, 5 oběžné kolo, 6 vývodiště

Obrázek 7 Schématické uspořádání Peltonovy turbíny (Vodná energia 2011)

4.2.2 Bánkiho turbína

Jiným typem rovnotlaké turbíny, která se svou konstrukcí podobá vodním kolům, je Bánkiho turbína (viz obr. 8). První koncept turbíny navrhl v roce 1903 australský inženýr A. G. M. Mitchel, který později, v letech 1912 až 1919, vylepšil maďarský profesor Donát Bánki. Výhodou této turbíny je konstrukční jednoduchost a tím i možnost využití v MVE nejmenších výkonů.

Oběžné kolo je uloženo výhradně horizontálně (viz obr. 8). Radiální lopatky jsou nepohyblivě upevněny na obou koncích v kruhových discích. Přivaděčem obdélníkového průřezu vtéká voda nejprve přes oběžné lopatky do středu oběžného kola, kde předá přibližně 2/3 energie. Zbývá 1/3 energie je předána při výstupu vody přes lopatky ven z oběžného kola do odtokového zařízení. Jedná se tedy o turbínu s dvojnásobným průtokem. Ve vtokovém zařízení je uložen pohyblivý segment (regulační klapka), kterým lze plynule regulovat průtok nebo jej zcela uzavřít. Pro rovnoměrný a dostatečně široký rozsah průtoků se oběžné kolo i s regulačním zařízením dělí obvykle na více vtokových průřezů. (Dušička a kol. 2003, Škropil a Kasárník 2000).



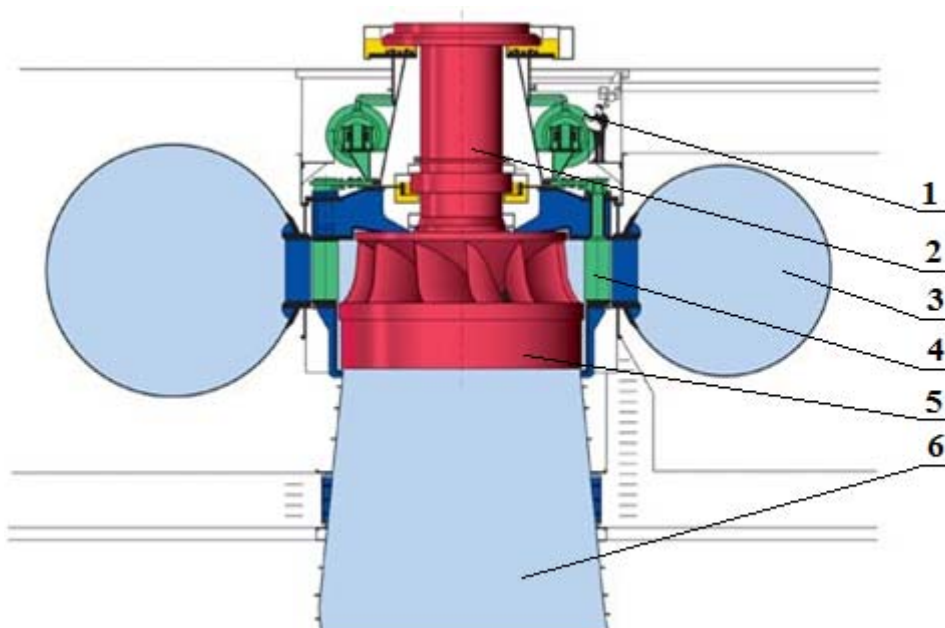
1 přivaděč, 2 regulační klapka, 3 oběžné kolo, 4 vstup vody do oběžného kola, 5 hřídel, 6 výstup vody z oběžného kola, 7 vývaršně

Obrázek 8 Schéma Bánkiho turbíny (Vodná energia 2011)

4.2.3 Francisova turbína

Dosud nejdéle využívaným a nejrozšířenějším typem vodních turbín je Francisova turbína. Poprvé byla zkonstruována v roce 1849 anglickým inženýrem J. B. Franciselem v americkém Lowellu (Massachusetts) (Škropil a Kasárník 2000).

Jedná se o turbínu přetlakovou, přičemž voda do oběžného kola vstupuje radiálně a vystupuje axiálně (viz obr 9). Oběžné kolo může být uloženo horizontálně i vertikálně. Oběžné lopatky jsou neregulovatelné. U nižších spádů je využíváno kašnového nebo kotlového provedení. Vodní díla s vyššími spády využívají turbíny se spirálními skříněmi. Voda vstupuje do oběžného kola přes rozváděcí lopatky, kterými je možno regulovat průtok a tím i výkon. Na oběžné kolo navazuje sací trouba pro zvýšení účinku přeměny energie. Podle rychloběžnosti turbíny se užívá různých tvarů oběžného kola. Analogické řešení oběžných kol je u hydrodynamických čerpadel, kde je ale průtok vody oběžným kolem opačný. Tato skutečnost se využívá u PVE, kde jsou Francisovy turbíny konstruovány jako reverzibilní stroje (Melichar 2013, Škropil a Kasárník 2000).



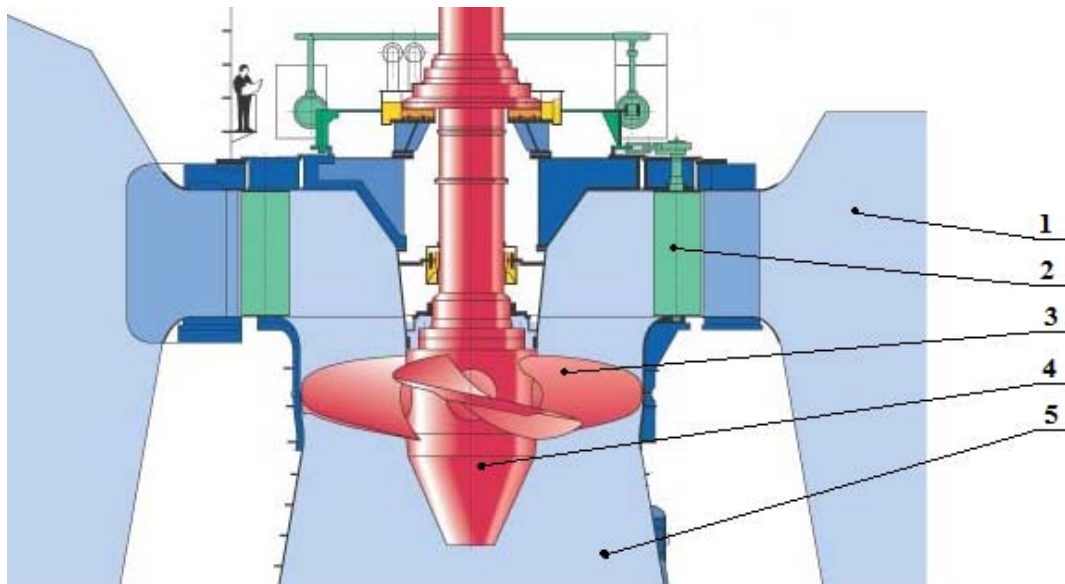
1 mechanismus natáčení rozváděcích lopatek, 2 hřídel, 3 spirální skříň, 4 rozváděcí lopatka, 5 oběžné kolo, 6 savka

Obrázek 9 Francisova turbína (Vodná energia 2011)

4.2.4 Kaplanova turbína

Kaplanova turbína je ryze axiální přetlaková turbína s charakteristickým tvarem rotoru podobným lodnímu šroubu. Je to výsledek dlouholetého experimentálního výzkumu profesora V. Kaplana, jehož hlavním cílem bylo původně zlepšit účinnost Francisovy turbíny. První patenty pochází již z roku 1912, kdy vznikla zcela nová turbína. Její převratné zdokonalení spočívalo v natáčení lopatek oběžného kola. Tím lze provést efektivnější regulaci, čímž bylo dosaženo vyšší účinnosti v širokém rozpětí průtoku.

Přívod vody k oběžnému kolu může mít dvojí podobu. Buď pomocí konvenční spirální skříně (viz obr 10), kde je voda přivedena kolmo k ose otáčení oběžného kola, nebo v přímoproudém uspořádání, kdy voda proudí ve směru osy otáčení. Náboj oběžného kola má tvar projektilu se 3 až 10 natáčivými lopatkami. Regulace natáčením oběžných lopatek je prováděna mechanismem umístěným uvnitř náboje. Na oběžné kolo plynule navazuje sací trouba turbíny. Náboj přitom zasahuje až do prostoru sací trouby, aby nedošlo k náhlé změně průtočného profilu. Hrozilo by totiž odtržení proudu vody od stěny, čímž by vzrostla hydraulická ztráta a snížila by se účinnost stroje (Dušička a kol. 2003, Škropil a Kasárník, 2000).



1 spirální skřín, 2 rozváděcí lopatky, 3 lopatky oběžného kola, 4 náboj, 5 savka

Obrázek 10 Vertikální Kaplanova turbína (Vodná energia 2011)

5 MVE Kolín

MVE Kolín je kompletně zmodernizovaný, ekologicky čistý a spolehlivý zdroj elektrické energie. Nachází se ve Středočeském kraji na řece Labi na 920,567 ř. km uprostřed města Kolín (viz obr. 11). Majitelem elektrárny je p. Jan Mandelík. Elektrárnu provozuje společnost Veolia energie Kolín a.s. (VEKOL), které jí p. Mandelík pronajímá. Společnost VEKOL vlastní i místní tepelnou elektrárnu Kolín, přes níž se vyrobená elektrická energie z MVE Kolín distribuuje do veřejné rozvodné sítě.



Obrázek 11 Geografické umístění MVE Kolín (Mapy.cz 2017; upraveno autorem)

Jedná se o průtočnou vodní elektrárnu využívající nízký spád ($H = 2,3 \text{ m}$) a relativně vysoký průtok ($Q = 47,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), což je charakteristické pro většinu vodních elektráren v nížinných oblastech toku. Hlavní prioritou tohoto vodního díla však není výroba elektrické energie, nýbrž udržení stanovené výšky hladiny řeky pro zajištění splavnosti Labe v úseku Veletov – Kolín.

5.1 Historie

Historie vodní elektrárny je spjata s existencí dvou mlýnů na řece. Mlýny patřily místním výrobcům mouky Josefu Formánkovi a Václavu Radimskému (pradědeček současného majitele). Mlýn byl poháněn vodními koly. Začátkem 20. století vyvstal požadavek na splavnění řeky Labe. Jelikož jez (viz obr 12) nevyhovoval pro potřebné vzdutí vodní hladiny, došlo k jeho demolici a následné výstavbě mnohoúčelového zdymadla zakoncipovaného do silničního mostu.



Obrázek 12 Podskalský mlýn Václava Radimského 1918 (Vodnimlyny.cz 2012)

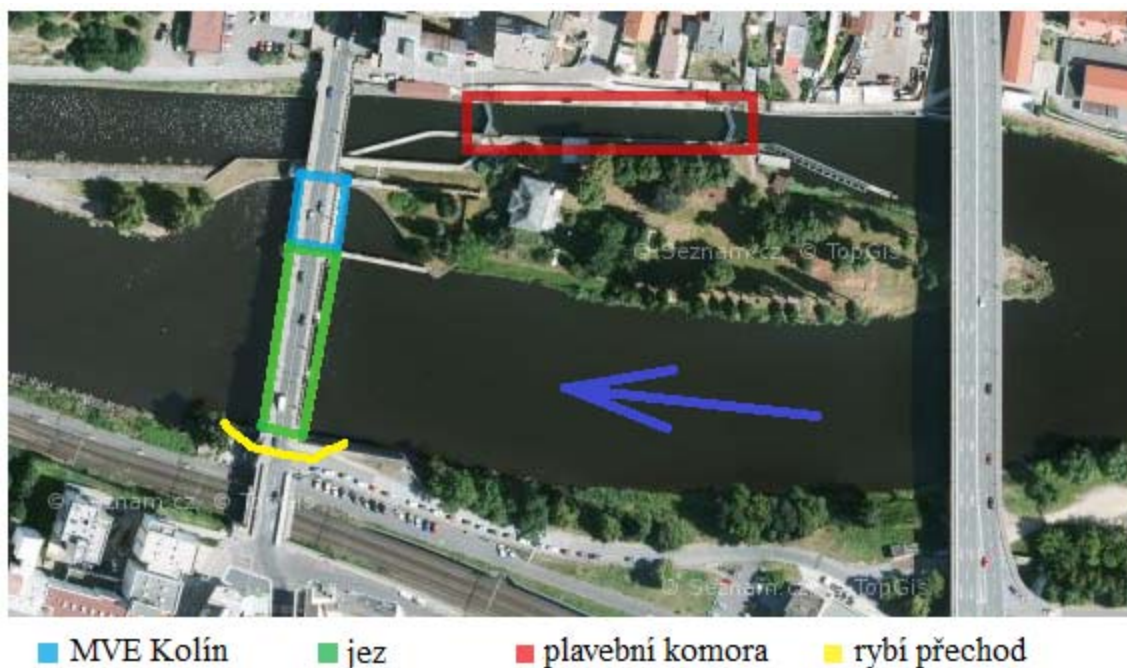
V roce 1913 vyhotovil Antonín Engel první projekt železobetonového silničního mostu, který nesl název Masarykův. Průběh stavby komplikovala 1. světová válka, kvůli které se nepodařilo most dokončit. V průběhu 20. let 20. století se na přepracování projektové dokumentace výstavbě mostu podílel architekt František Roith. Koncem roku 1926 byly ukončeny betonářské práce. Po uskutečnění zatěžovací zkoušky (31. květen 1927) byl most zpřístupněn pro veřejnou dopravu.

Energii původních mlýnských kol bylo potřeba nahradit. K tomuto účelu sloužila nově postavená hydroelektrárna Kolín, která dodávala potřebné množství elektrické energie. Hydroelektrárna byla osazena čtveřicí Francisových turbín, jejichž výkonnost odpovídala potřebným parametrům místních mlýnů. Elektrárna byla uvedena do provozu v roce 1931.

Po roce 1948 došlo ke znárodnění elektrárny i s přílehlými mlýny. V bolševické éře byla zanedbávána údržba, čímž došlo u soustrojí ke značnému opotřebení. Po roce 1989 se vlastníkem stal současný majitel p. Jan Mandelík (Šulc 2016, Mandelík – ústní sdělení).

5.2 Činnost vodního díla

Hlavním účelem vodního díla, jehož je MVE Kolín součástí, je zajištění splavnosti řeky v úseku mezi Kolínem a Veletovem. Celková manipulace s vodou tedy vychází ze společných ustanovení pro celou Labskou vodní cestu. Základním požadavkem je trvalé zajištění dostatečných plavebních hloubek po celé délce vodní cesty za současného využití kapacity vodních elektráren. Při regulaci hladin a převádění průtoků je nutná vzájemná spolupráce mezi obsluhou jezu a elektrárny na stejném vodním díle, mezi jezy na celé labské kaskádě a současně i vodohospodářským dispečinkem Povodí Labe. Situační řešení objektů na vodním díle Kolín je vyznačeno na obrázku 13.



Obrázek 13 Umístění objektů na vodním díle Kolín (Mapy.cz 2017, upraveno autorem)

Na vodním díle Kolín je současná kóta nominální hladiny ve zdrži 194,39 m. n. m. Povolena tolerance kolísání vodní hladiny je v rozmezí ± 20 cm. Délka zdrže od jezu proti proudu je 8,6 km, kde se nachází vodní dílo Veletov. Pro účely překonání spádu lodními dopravními prostředky v obou směrech slouží plavební komora, která je sevřena mezi ostrovem a zálabskou částí města při pravém břehu řeky (viz obr. 13).

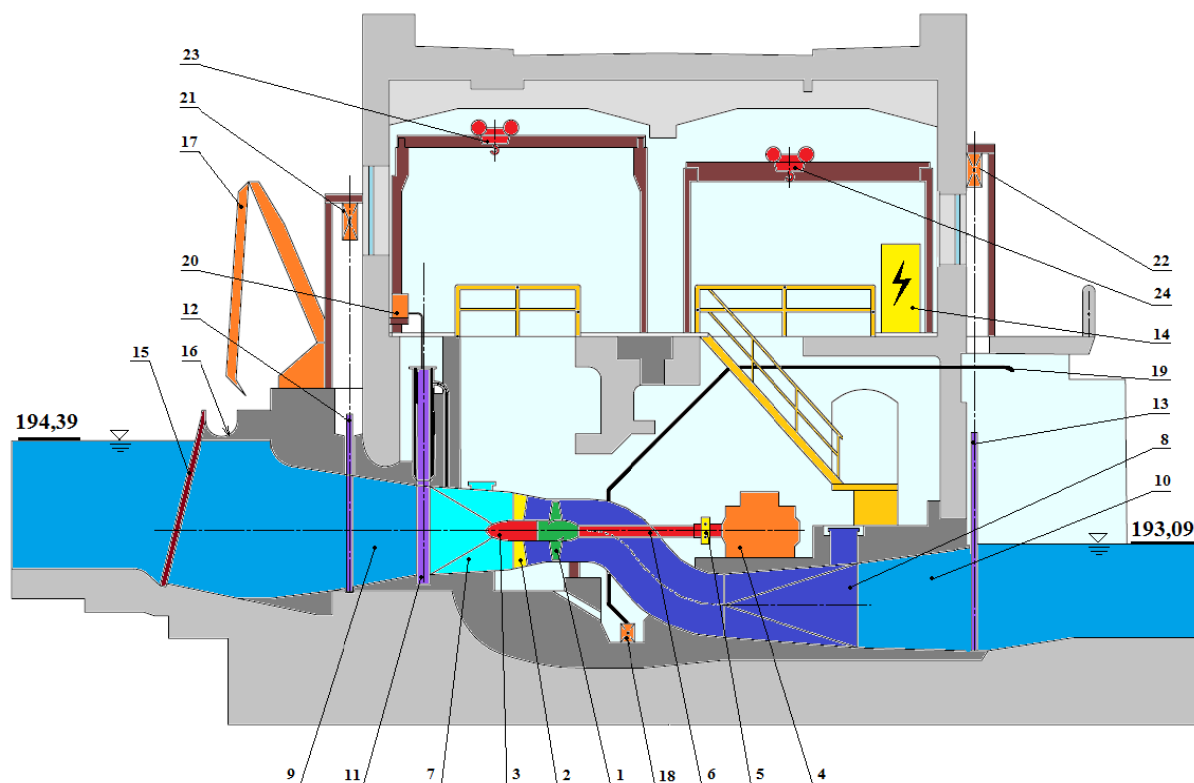
Jez se nachází při levé straně toku pod prvními třemi oblouky mostu (viz obr 13). V každém poli je umístěno samostatné jezové těleso hradící světlost šířku 19 metrů (viz obr 14). Každé z těchto těles lze samostatně regulovat hydraulicky ovládaným zdvižným systémem. Těleso jezu tvoří dutý válcový segment uložený v drážkách vytvořených v mostních pilířích. V levém břehu, mimo koryto řeky je veden rybí přechod, který zajišťuje rybám volnou cestu při migraci (viz obr. 13) (Povodí Labe 2011).



Obrázek 14 První pole jezu umístěné v konstrukci Masarykova mostu

5.3 Hydroelektrárna

Vodní elektrárna je vybavena 7 stejnými turbosoustrojími společnosti Hydrohrom se sídlem v Bystřici. Turbíny nesou označení HH 1450 SSK, což znamená přímotoká turbína Semi-Kaplan o průměru oběžného kola 1450 mm. Všechna soustrojí pracují v automatickém bezobslužném provozu v paralelním provozu s místní tepelnou elektrárnou. Schematické uspořádání jednotlivých zařízení je vyznačeno na obrázku 15, kde je též naznačena betonová konstrukce původní stavby (světle šedá barva) a nové stavební prvky po rekonstrukci (tmavě šedá barva). Situační řešení zrekonstruované elektrárny je zobrazeno na výkresech v přílohách 5 a 6.



Obrázek 15 Schéma uspořádání stávajícího řešení MVE Kolín

Legenda:

- | | |
|---|---|
| 1 Oběžné kolo o průměru 1450 mm se čtyřmi regulovatelnými lopatkami | 12 Přední hrazení vtoku |
| 2 Pevně uložené rozváděcí lopatky (7 kusů) | 13 Zadní hrazení výtoku |
| 3 Náboj turbíny s integrovaným valivým ložiskem | 14 Elektrorozvodné skříň |
| 4 Synchronní generátor 400V(8 pólpárů, 375 ot/min) | 15 Jemné česle |
| 5 Kotoučová spojka | 16 Žlab pro odvod splavenin |
| 6 Hřídel turbíny | 17 Čistící mechanismus jemných česlí |
| 7 Tlakový přivaděč turbíny s revizním otvorem | 18 Čerpadlo na odčerpání průsaků |
| 8 Sací trouba | 19 Potrubí odvodu průsaků |
| 9 Betonová vtoková část | 20 Hydromotor ovládání provozního rychlouzávěru |
| 10 Betonová výtoková část | 21 Zdvihadlo předního stavidlového hrazení |
| 11 Provozní rychlouzávěr turbíny | 22 Zdvihadlo zadního stavidlového hrazení |
| | 23 Portálový jeřáb (nosnost 5000 kg) |
| | 24 Portálový jeřáb (nosnost 8000 kg) |

5.3.1 Budova MVE

Elektrárna se nachází mezi čtvrtým a pátým mostním pilířem, počítáno od jižní strany mostu (viz obr 16). Budovu tvoří monolitická železobetonová stavba s okny od východní (vtokové) a západní (výtokové) strany. Z obrázku 13 (kap. 5.2) je patrné, že budova zasahuje do původního obrysu ostrova. Železobetonovým mostem je vyvedena elektrická energie do místní tepelné elektrárny. Odtud je distribuována do veřejné sítě.



Obrázek 16 Budova elektrárny - pohled ze strany vtoku

Díky robustnímu stavebnímu řešení (0,5m silné zdivo) je celkový stav MVE po technické stránce (včetně mostní konstrukce) mimořádně zachovalý. Zásahu na tom má firma Kapsa&Müller, jedna z největších českých stavebních společností minulého století, která je známá například stavbou pohraničních opevnění před 2. světovou válkou. Při šetrném zacházení a pravidelné údržbě si stavba jistě zachová svou funkci ještě po mnoho desítek let.

Zajímavostí budovy je strop elektrárny, který zároveň tvoří nosnou část vozovky a chodníků Masarykova mostu (viz obr. 15). De facto jedna konstrukce zastává funkci dvou rozdílných typů objektů. Zde se však vyskytl právní problém narušení soukromého vlastnictví, který byl vyřešen na základě písemné dohody mezi majitelem elektrárny a městem Kolín ve věci o dovození užívání mostu pro pěší a silniční dopravu (Mandelík – ústní sdělení).

5.3.2 Vtoková a výtoková část

Začátek přívodního kanálu je ohraničen hrubými česlemi (viz příloha 1). Je tvořen mřížovou konstrukcí svařenou z ocelových profilů. Při výstavbě hydroelektrárny sloužil jako hradící těleso zabraňující vtoku vody. Před vstupem do přívodního potrubí k turbínám se nachází jemné česle rozdělené na dva samostatné rošty. Ty tvoří vertikálně orientované tyče obdélníkového průřezu s roztečí 50 mm. Česle jsou opatřeny samočinným mechanickým čištěním. Čistící stroje jsou řešeny jako dvojice kyvně uložených kloubově spojených ramen s vyhrnovací lopatou, jejichž pohyb zajišťují dva přímočaré hydromotory.

Každou turbínu lze samostatně vyhradit proti horní i dolní vodě. Hrazení vstupního vtokového profilu (horní vody) zajišťuje hradící tabule, která je ovládána pomocí ručního zdvihacího zařízení zavěšeného na jeřábové dráze. Obdobně je řešeno i hrazení vody ze strany výtoku do vývařiště (viz příloha 2).

5.3.3 Strojovna

Srdcem vodní elektrárny je strojovna, kde je umístěna hlavní technologie. Tato hydroelektrárna po rekonstrukci využívá sedmi přímotokých Kaplanových turbín. Do prostor původních turbínových kašen jsou paralelně umístěny dvojice nynějších turbín (viz obr. 17). Kromě nejmenší kašny kde se nachází pouze jedna turbína. Každé soustrojí se skládá z vtokového objektu s integrovaným provozním uzávěrem, turbíny s generátorem, sací trouby a regulačního soustrojí. Turbíny jsou vybaveny automatickým ovládním oběžných lopatek pomocí hydraulického servopohonu. Vlastní turbína je konstruována jako ocelový svařenec dvou částí, tzv. kolena turbíny a pracovní části. Přehled základních parametrů turbíny HH 1450 SSK je uveden v tabulce 1.

Tabulka 1 Parametry turbíny HH 1450 SSK

Parametr turbíny	hodnota
jmenovitý výkon	132 kW
zpracováváný spád	2,3 m
pracovní otáčky	187,5min ⁻¹
max. otáčky (průběžné otáčky)	412,5min ⁻¹
hltnost	7,3m ³ ·s ⁻¹

Na hřídeli oběžného kola turbíny je přes spojku připojen synchronní generátor. Dodavatelem generátoru, včetně potřebného zařízení k elektroinstalaci je firma TES Vsetín.



Obrázek 17 Pohled do původní kašna se dvěma novými soustrojemi

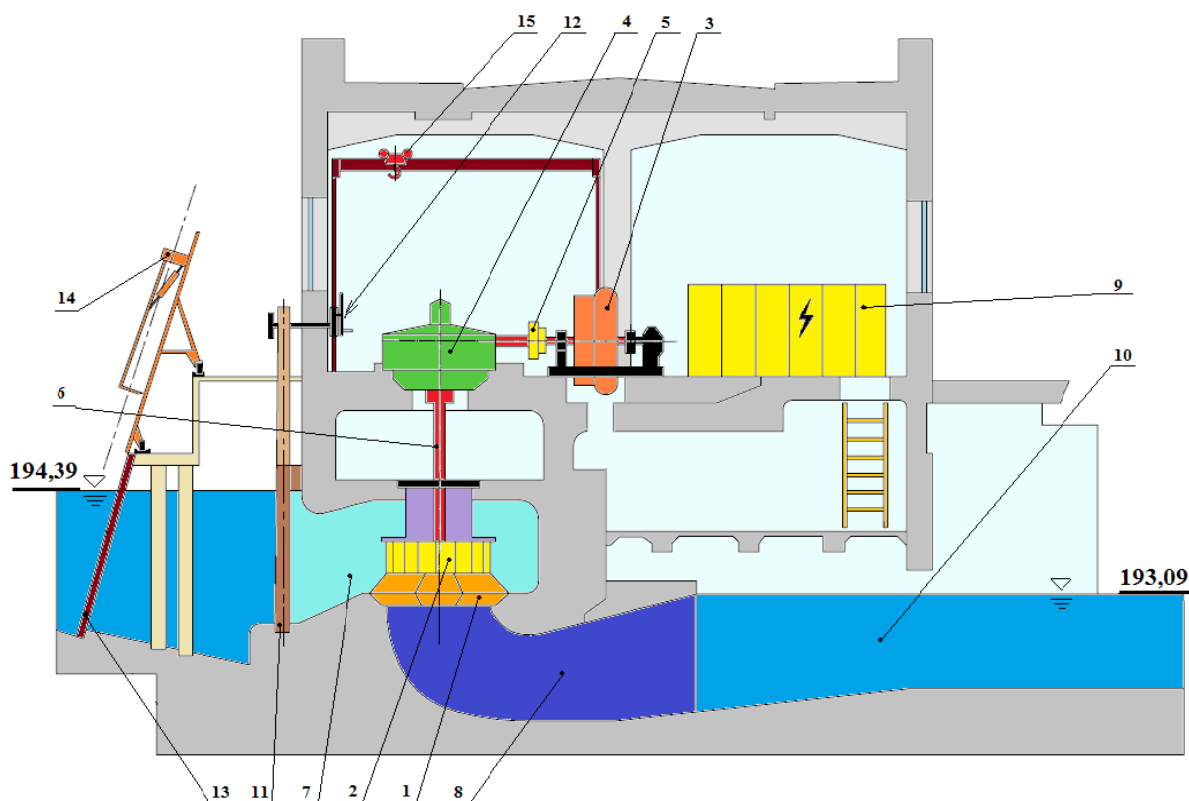
5.4 Rekonstrukce elektrárny

Od prvního uvedení MVE Kolín do provozu uplynulo téměř tři čtvrtě století. Po této době nastal čas rozhodnout, zda se vyplatí elektrárnu osadit novou technologií, nebo pouze repasovat stávající technologii. Podle majitele p. Mandelíka bylo stávající zařízení notně opotřeбенé a jeho oprava by byla příliš náročná. Proto se rozhodl pro výměnu za novou technologii. Výměna byla rovněž žádoucí z důvodu soustavného úniku mazacího oleje z ložisek, který působil znečištění řeky. Součástí rekonstrukce byla i instalace nového čistícího stroje jemných česlí. (Mandelík – ústní sdělení).

5.4.1 Původní technologie

Původní soustrojí tvořily 4 Francisovy turbíny o celkovém výkonu 700kW (viz příloha 3). Schéma původního provedení soustrojí je naznačeno na obrázku 18. Jednalo se o vertikální kašnové Francisovy turbíny. Přenos výkonu z turbíny na generátor zajišťovaly převodové skříně s kuželovým soukolím se šípovými zuby a z dvoukotoučové hydraulicky ovládané brzdy pro případ odstavení. V Přílohách 7, 8 a 9 jsou výkresy původních soustrojí hydroelektrárny. Z důvodu totožných rozměrů turbín HTG2 a HTG3, tyto zobrazuje jeden výkres (příloha 8).

Výrobce soustrojí je firma Josef Prokop a synové v Pardubicích (dále jen Prokop). Každá z turbín byla opatřena regulátory průtoku od stejné firmy. Rozváděcí lopatky byly ovládány hydraulicky. Pohon agregátu hydraulické regulace zajišťovala nejvýkonnější turbína HTG4. U turbín HTG2 a HTG4 zůstaly původní regulátory s převodovkami bez výrazného opotřebení. V 90. letech 20. století došlo u zbývajících dvou turbín ke změně převodovky z jednostupňové na dvoustupňovou a regulátory upraveny. Generátory dodala ČKD Blansko a.s. (Kerhart – ústní sdělení).



Obrázek 18 Schéma uspořádání původního řešení MVE Kolín

Legenda:

- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1 Turbínová část s oběžným kolem | 8 Sací trouba |
| 2 Rozváděcí lopatky | 9 Elektrorozvodné skříně |
| 3 Synchronní generátor s vyniklými póly | 10 Vývařiště |
| 4 Kuželočelní převodovka se šípovým ozubením | 11 Stavidlové hrazení předního vtoku |
| 5 Kotoučová spojka | 12 Ruční uzavírání stavidla |
| 6 Hřídel turbíny | 13 Jemné česle |
| 7 Kašna turbíny | 14 Mechanismus čištění jemných česlí |
| | 15 Portálový jeřáb, nosnost 5000 kg |

5.4.2 Průběh rekonstrukce

V průběhu roku 2010 proběhlo měření průtoku říčním profilem, které provedl ČHMÚ. Původně navržené řešení rekonstrukce MVE předpokládalo instalaci dvou nových přímotokých Kaplanových turbín. Toto řešení by vyžadovalo kompletní rekonstrukci, vč. budovy a s podkopáním stavby. Základy hydroelektrárny však tvoří dubové piloty (součást pilířů mostu), jejichž poškozením by došlo k zavalení strojovny tekutými písky a vodou. Z tohoto důvodu, a s ohledem na maximální využití prostor původních kašen, bylo nakonec rozhodnuto osadit elektrárnu sedmi menšími Kaplanovými turbínami.

Při odstavení poslední turbíny HTG4 z provozu (dne 22. 3. 2011) společnost VEKOL formálně odstoupila od provozování elektrárny po dobu rekonstrukce. Tímto krokem byla oficiálně zahájena rekonstrukce MVE Kolín. Její realizace byla značně komplikovaná z důvodu špatného přístupu k objektu. Budova hydroelektrárny se nachází de facto na ostrově bez příjezdové cesty. Využití Masarykova mostu k dopravě turbínových zařízení nebylo možné z důvodu nedostatečné nosnosti mostní konstrukce. Nezbyvalo než využít lodní dopravy v kombinaci s obvyklou manipulační technikou (viz obr. 19). Projekt předpokládal minimální zásah do konstrukce strojovny. I přesto bylo z objektu strojovny odvezeno téměř 1800 tun betonu v podobě odpadu (viz příloha 4). Hlavní stavební práce probíhaly od března 2011 do konce července následujícího roku. V srpnu 2012 proběhl testovací provoz nových turbín. Dne 30. 9. 2012 byl opět obnoven provoz MVE Kolín s novou technologií (Mandelík – ústní sdělení, Kerhart – ústní sdělení).



Obrázek 19 Průběh rekonstrukce (Dovel.cz 2013)

6 Technické zhodnocení elektrárny

6.1 Výpočet teoretické roční výroby elektrické energie

6.1.1 Průtok elektrárnou

M-denní průtoky vyplývají z Manipulačního řádu MVE Kolín. Hodnoty odpovídají vodnímu stavu z roku 2010, kdy probíhalo měření a příprava podkladů k projektové dokumentaci rekonstrukce MVE.

Tabulka 2 M-denní průtoky v lokalitě MVE Kolín (Manipulační řád MVE Kolín)

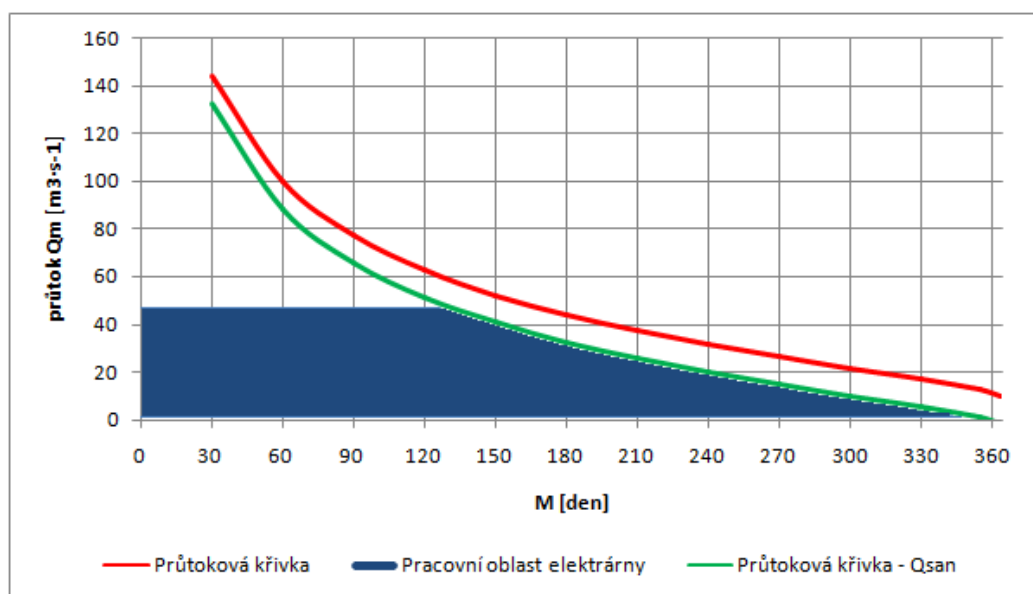
M [den]	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q_M [$m^3 \cdot s^{-1}$]	144	99,7	77,3	62,7	52,2	43,9	37,2	31,4	26,3	21,7	17,1	12,6	10,1

Pomocí příslušných hodnot z tabulky 2 zjistíme hodnotu minimálního zůstatkového průtoku. Pro toky s průtokem $Q_{355} > 5.0 m^3 \cdot s^{-1}$ se doporučuje dlouhodobou hodnotu neovlivněného průtoku stanovit podle vzorce:

$$Q_{san} = (Q_{355} + Q_{364}) \cdot 0,5 = (12,6 + 10,5) \cdot 0,5 = \mathbf{11,55 [m^3 \cdot s^{-1}]} \quad (1)$$

(Kinkor, 2015)

Pro daný říční profil (MVE Kolín) minimální zůstatkový průtok odpovídá hodnotě $11,55 m^3 \cdot s^{-1}$. Spojením dat z tabulky 2, zůstatkového průtoku a celkovém rozsahu pracovního režimu elektrárny získáme přehledovou křivku M-denních průtoků znázorněnou na grafu 3.

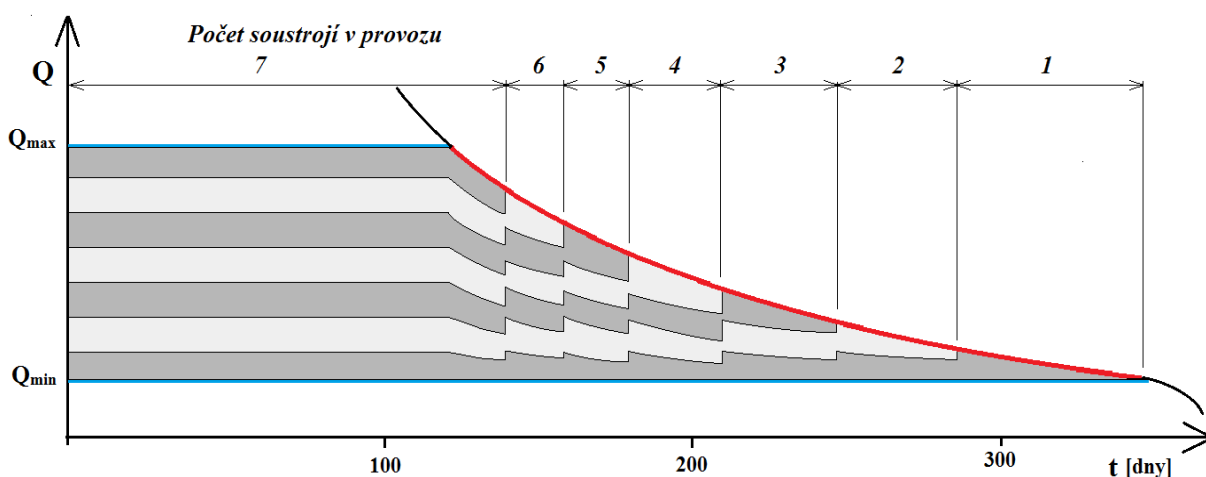


Graf 3 Křivka M-denních průtoků v lokalitě MVE Kolín

Průtoková křivka (červená) vychází z naměřených hodnot M-denních průtoků ČHMÚ v profilu MVE Kolín (tab. 2). Zelená křivka značí průtok snížený o minimální zůstatkový, tj. reálně využitelný průtok, který má elektrárna k dispozici. Modře vyznačená oblast zobrazuje pracovní režim MVE Kolín. Z grafu 3 je viditelné, že elektrárna může pracovat více než 120 dní v roce při plné hltnosti všech turbín.

Elektrárna disponuje sedmi Kaplanovými turbínami, z nichž každá může pracovat v rozsahu průtoků od $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ do $7,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Maximální průtok všemi turbínami by tedy činil $51,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, nicméně kvůli napojení na původní společný odtokový objekt je celkový průtok elektrárnou omezen na maximální průtok $47,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Pracovní režim elektrárny se tedy nachází v intervalu průtoků od $1,5$ do $47,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

V období nižších průtoků lze turbíny kaskádovitě odstavovat (viz graf 4), čímž se zvýší počet využitelných dní v roce. Zároveň se jednotlivé turbíny střídají tak, aby měly všechny stejný průběh s cílem zajistit jejich co nejdelší životnost. Při poklesu průtoků elektrárnou pod maximální využitelnou hltnost Q_{max} dochází ke snížení průtoků ve všech soustrojích. Při dalším snížení průtoků na určitou hodnotu dojde k odstavení jednoho soustrojí z provozu, přičemž se současně průtok rozloží mezi zbývající turbíny. Stejným způsobem jsou odstavovány z chodu zbývající soustrojí.



Graf 4 Princip odstavování turbín v průběhu roku

6.1.2 Výpočet výkonu hydroelektrárny

Směrodatnými hodnotami pro určení hydrotechnického potenciálu vodního toku je spád a průtok. Z těchto lze určit teoretický hrubý výkon vodní elektrárny podle vzorce:

$$P = Q \cdot H \cdot \rho \cdot g \text{ [W]} \quad (2)$$

H – hrubý spád [m]

Q – průtok turbínou [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

ρ – hustota vody [$1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

g – gravitační zrychlení [$9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$] (Bednář 1989)

Pro MVE Kolín platí hodnoty spádu $H = 2,3 \text{ m}$ a průtoku $Q = 47,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Zadáním příslušných hodnot do rovnice získáme hrubý výkon elektrárny podle vztahu:

$$P_t = Q \cdot H \cdot \rho \cdot g = 47,5 \cdot 2,3 \cdot 1000 \cdot 9,81 = \mathbf{1\ 071\ 742,5 \text{ [W]}} \quad (3)$$

Pro zjištění skutečného výkonu elektrárny je potřeba do výpočtu zahrnout i účinnost jednotlivých částí technologie přeměny hydraulické energie na elektrickou. Podle literatury (Bednář, 1989) mají turbosoustroj s výkonem nad 100 kW dílčí účinnosti v rozmezí:

- Turbína $\eta_t = 0,75 \div 0,93$
- Generátor $\eta_g = 0,75 \div 0,98$
- Transformátor $\eta_e = 0,99 \div 1$

Díky nově osazené technologii lze u soustrojí očekávat velmi dobré účinnosti turbíny: $\eta_t = 0,9$, generátoru: $\eta_g = 0,95$ a transformátoru: $\eta_e = 1$. Skutečný výkon elektrárny je tedy:

$$P_s = P_t \cdot \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_e = 1025145 \cdot 0,9 \cdot 0,95 \cdot 1 = \mathbf{916\ 339,8 \text{ [W]}} \quad (4)$$

Výrobce turbín Hydrohrom, s.r.o. uvádí pro MVE Kolín skutečný výkon 924 kW. Výsledek výpočtu se tedy jen velmi málo liší od skutečnosti (Hydrohrom 2017). Jednotlivé hodnoty výroby elektrické energie vypočítáme dosazením do vztahu:

$$E_s = P_s \cdot t \cdot 24 = 916,765 \cdot 30 \cdot 24 = 659\ 764,7 \text{ [kWh]} \quad (5)$$

t – počet dní chodu

24 – počet hodin chodu/den

6.1.3 Výpočet roční výroby energie

Dosažením příslušných hodnot z výše uvedených kapitol lze získat kompletní přehled roční produkce elektrické energie MVE Kolín (viz tab. 3). Výsledky byly zpracovány pomocí tabulkového procesoru MS Excel.

Tabulka 3 Hrubá roční produkce elektrické energie v MVE Kolín

M_d	t	Q_M	Q_{san}	$Q_M - Q_{san}$	Q_E	P_t	P_s	E_s
30	30	144,0	11,6	132,5	47,5	1071,7	916,3	659764,7
60	30	99,7	11,6	88,2	47,5	1071,7	916,3	659764,7
90	30	77,3	11,6	65,8	47,5	1071,7	916,3	659764,7
120	30	62,7	11,6	51,2	47,5	1071,7	916,3	659764,7
150	30	52,2	11,6	40,7	40,7	917,2	784,2	564619,7
180	30	43,9	11,6	32,4	32,4	729,9	624,1	449334,5
210	30	37,2	11,6	25,7	25,7	578,7	494,8	356272,9
240	30	31,4	11,6	19,9	19,9	447,9	382,9	275712,2
270	30	26,3	11,6	14,8	14,8	332,8	284,5	204874,3
300	30	21,7	11,6	10,2	10,2	229,0	195,8	140981,3
330	30	17,1	11,6	5,6	5,6	125,2	107,1	77088,3
355	25	12,6	11,6	1,1	1,1	0,0	0,0	0,0
364	9	10,1	11,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Celkové množství vyprodukované energie za 1 rok [kWh]								4707941,9

M_d - počet M-dní v roce [dny]

Q_M - skutečný průtok v profilu řeky [$m^3 \cdot s^{-1}$]

Q_{san} - minimální zůstatkový průtok [$m^3 \cdot s^{-1}$]

$Q_M - Q_{san}$ - skutečně využitelný průtok v profilu řeky [$m^3 \cdot s^{-1}$]

Q_E - průtok elektrárnou [$m^3 \cdot s^{-1}$]

P_t - teoretický výkon elektrárny [kW]

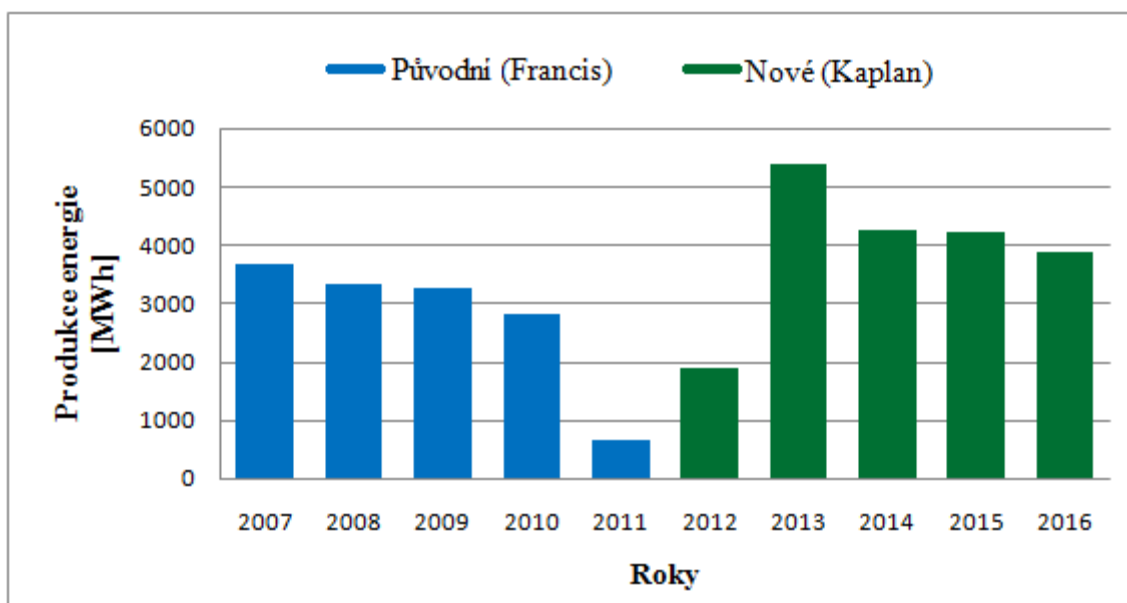
P_s - skutečný výkon elektrárny [kW]

E_s - objem výroby el. energie [kWh]

Celkové množství energie vyrobené za jeden rok provozu MVE Kolín je $E_s = 4\,707\,941,9$ kWh. Nulové hodnoty v tabulce představují stav, kdy není možné vyrábět energii vlivem nízkého průtoku řekou.

6.2 Skutečná výroba energie

Množství vyrobené energie při původním provedení s Francisovými turbínami i nové současné provedení s Kaplanovými turbínami jsou přehledně znázorněny v grafu 5. Modré sloupce znázorňují roční produkci při původním provedení, zelené pak po rekonstrukci. Celková produkce znázorňuje stejně dlouhé čtyřleté období provozu při obou provedeních. Nízké hodnoty v období let 2011 a 2012 jsou zapříčiněny odstávkou při rekonstrukci elektrárny. Hodnoty skutečné svorkové výroby el. energie poskytla společnost VEKOL.



Graf 5 Skutečná roční produkce MVE Kolín v letech 2007 - 2016

Z grafu 5 je na první pohled zjevné, že po rekonstrukci elektrárny efektivita výroby narostla. Rovněž je viditelný klesající trend výroby z dlouhodobého hlediska (mimo období rekonstrukce 2011 a 2012) s průměrnou hodnotou meziročního poklesu o 9%. Je pravděpodobné, že tento jev způsobuje postupný úbytek vody v povrchových tocích, které v posledních několika letech postihuje nejen území ČR. V roce 2013 přesáhla výroba energie 5000 MWh. Důvodem byl hydrologicky příznivý rok, který se pozitivně projevil i na zisku jiných vodních elektráren. Přesné hodnoty produkce el. energie v jednotlivých letech jsou v tabulce 4 v následující kapitole.

6.3 Porovnání výsledků výroby energie

V tabulce 4 jsou uvedeny průměrné produkce při původním i novém provedení. Do průměru jsou započteny i produkce v letech 2011 a 2012, kdy probíhala rekonstrukce elektrárny, a to metodou váženého průměru. Porovnáním výsledků obou provedení lze dospět k závěru, že průměrná roční produkce elektrárny se po rekonstrukci zvýšila o více než 1000 MWh ročně a dává tak relativní nárůst o **33,45%**.

Tabulka 4 Porovnání výroby energie období 2007-2016 v MVE Kolín (data od VEKOL)

Provedení (turbíny)	Rok	čas výroby	vyrobená energie	Průměrná výroba energie
		[dny]	[MWh]	[MWh/rok]
Původní (Francis)	2007	365	3666,6	3145,1
	2008	365	3344,3	
	2009	365	3279,2	
	2010	365	2835,9	
	2011	80	656,6	
Nové (Kaplan)	2012	152	1888,5	4197,1
	2013	365	5386,7	
	2014	365	4266,3	
	2015	365	4216,4	
	2016	365	3880,5	

Výsledek výpočtu hrubé roční produkce elektrárny (4 707,9 MWh) je o 10,85% vyšší, než je průměr skutečné produkce elektrárny za sledované období (2012-2016). Tento rozdíl dokazuje, že výpočet ovlivňují i jiné faktory. Například hladina horní vody (ve zdrži) v této lokalitě kolísá v rozmezí 40cm, čímž se využitelný spád mění relativně o 16,7%. Výpočet nezohledňuje proměnlivost účinnosti turbíny, která se projevuje při sníženém průtoku. Další příčinou může být i skutečnost, že výpočet se vztahuje k průtoku v roce 2010, kdy byl dosažen mimořádně vodný stav. Z porovnání průtoků nejbližších měřicích stanic Přelouč (30 ř. km proti proudu řeky) a Nymburk (24 ř. km po proudu řeky) ve stejném období vyplývá, že celoroční průměrný průtok byl v roce 2010 vyšší o více než 40% (viz tab. 5).

Tabulka 5 Srovnání průtoků z měřicích stanic Nymburk a Přelouč (data: ČHMÚ 2010)

	dny	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	Průměr
Přelouč	2010	[m ³ ·s ⁻¹]	121	114	91,6	91,1	88	87,5	74,7	70,4	58,6	45,6	43,1	42,5
	2012-2016	[m ³ ·s ⁻¹]	100,2	79,3	60,1	53,4	47,2	42,0	35,8	31,5	27,7	25,3	22,8	21,2
	rel. rozdíl	[%]	17,2	30,5	34,4	41,4	46,4	52,0	52,1	55,3	52,7	44,5	47,1	50,0
Nymburk	2010	[m ³ ·s ⁻¹]	156,0	137,0	113,0	113,0	111,0	109,0	103,0	91,9	69,4	59,0	52,1	50,5
	2012-2016	[m ³ ·s ⁻¹]	128,8	101,0	70,4	62,3	58,3	50,9	42,3	37,5	33,1	29,7	27,0	24,2
	rel. rozdíl	[%]	17,4	26,3	37,7	44,9	47,5	53,3	58,9	59,2	52,3	49,7	48,1	52,0

7 Ekonomické hodnocení rekonstrukce elektrárny

Na počátku každé investice je potřeba vytvořit strategii realizace podnikatelské příležitosti. Snaha investora směřuje k příznivému hospodářskému výsledku podnikání a to vytvořením co největších zisků. Investice do výstavby MVE je značná. Oproti tomu následné neinvestiční náklady představují jen nepatrný zlomek výdajů celého podniku. Pokrytí těchto výdajů zajišťuje prodej elektrické energie.

7.1 Výchozí předpoklady

7.1.1 Investiční náklady

Investiční náklady na přestavbu hydroelektrárny představují obrovský vklad peněžních prostředků. Ani tato rekonstrukce nebyla výjimkou. Komplikací se stala např. už samotná doprava materiálu na stavbu, kdy nebylo možné využít železobetonového silničního mostu nad elektrárnou, kvůli nedostatečné nosnosti. Dále zde figurovala nutnost přizpůsobit se podmínkám stávajícího objektu elektrárny, kde nebylo možné provádět radikální zásahy do konstrukce původní stavby. Díky tomu bylo namísto dvou větších Kaplanových turbín, které by podle předběžných výpočtů lépe vyhovovaly požadavkům výrobním i regulačním, použito sedm menších soustrojí. Toto řešení značně navýšilo původně předpokládanou celkovou investici.

Náklady na rekonstrukci MVE Kolín poskytl majitel elektrárny p. Mandelík. Celý projekt realizovala firmou HYDROHROM Bystřice, která provádí modernizace i výstavby nových MVE “na klíč“. Projekt byl podpořen programem *EKO – energie*, formou 30% dotace. Celková investice na modernizaci přesáhla částku **82 179 000,-Kč** (Czechinvest 2014). Podle majitele tvořily největší výdaje při rekonstrukci technologická část (turbínová soustrojí), představující částku cca 65 mil. Kč (79,1 %). Přibližně 2 mil. Kč (2,69%) bylo použito na pokrytí nákladů za projekt modernizace a zbytek tvořily ostatní náklady (převážně stavební část a doprava materiálu) (Mandelík – ústní sdělení).

7.1.2 Provozní náklady

Díky nově zřízené technologii jsou náklady na provoz MVE Kolín velmi nízké. Hydroelektrárna vyžaduje pouze pravidelné údržby. Jedná se o výměnu olejů, ucpávek a drobné opravy strojních součástí (např. čistící stroj česlí, netěsnost hydraulických rozvodů, apod.). Větší část nákladů představují povinné revize zařízení (např. elektroinstalace, manipulační jeřáby, záchytný systém proti pádu osob na hrubých česlích, apod.). Podle údajů vedoucího výroby se náklady na výše uvedené položky pohybují kolem 120 000 Kč za rok.

Další položku provozních nákladů tvoří mzdy zaměstnanců. Protože provozovatel (společnost VEKOL) neposkytuje údaje o platovém ohodnocení svých zaměstnanců, bylo zapotřebí tyto údaje odhadnout. Elektrárna má 2 zaměstnance. První je vedoucí výroby. Podle dostupných zdrojů (Platy.cz 2017) činí průměrný plat zaměstnance (management – vedoucí výroby) 37 355,- Kč. Druhým zaměstnancem je strojník, který zabezpečuje výše uvedenou pravidelnou údržbu. Průměrná mzda strojíka je 20 767,- Kč (Platy.cz 2017). Pracovní doba strojíka v hydroelektrárně je 2 hodiny denně. Rovněž působení vedoucího výroby se omezuje na nepravidelnou návštěvu v případě nutnosti (např. pohotovost). Z těchto důvodů bude dále uvažováno o nákladech na mzdu strojíka i vedoucího výroby ve výši čtvrtiny z výše uvedených mezd s připočtením částky na pokrytí sociálního a zdravotního pojištění (25+9=34%) dle zákona (Zákon č. 589/1992 Sb.). Výsledky ročních provozních nákladů shrnuje tabulka 6.

Tabulka 6 Provozní náklady MVE Kolín

	měsíčně	25% ze mzdy	soc. a zdrav. pojištění (34%)	ročně
Mzdové a ostatní osobní náklady				
Vedoucí výroby	37 355,00 Kč	9 338,75 Kč	3 175,18 Kč	150 167,10 Kč
strojník	20 767,00 Kč	5 191,75 Kč	1 765,20 Kč	83 483,34 Kč
Ostatní náklady				
revize, drobné opravy, údržba	10 000,00 Kč			120 000,00 Kč
Provozní náklady celkem				353 650,44 Kč

7.1.3 Vývoj výkupní ceny energie

Energetický regulační úřad (dále jen ERÚ) od roku 2002 každoročně stanovuje výkupní ceny energií z obnovitelných zdrojů. Do té doby byla cena za vykoupenou energii stanovena smluvním ujednáním mezi poskytovatelem a dodavatelem. Provozovatel MVE má možnost výběru mezi prodejem elektřiny do celostátní distribuční sítě za stanovenou výkupní cenu anebo vlastním prodejem v regionu. Tímto způsobem dostane nárok na čerpání dotací, tzv. zelených bonusů platných od roku 2006. Zelené bonusy jsou účtovány stejně jako při výkupu elektřiny (Kč/MWh), avšak cena je ve srovnání s výkupní cenou výrazně nižší. Toto je vhodné pro subjekty se stálou spotřebou elektrické energie např. průmyslové výroby, mrazírny, apod. ERÚ stanovuje ceny individuálně pro každou formu produkce s ohledem na odlišné náklady na pořízení, připojení a provoz jednotlivých druhů zařízení, včetně jejich časového vývoje (Krejcar 2014).

Podle tiskové zprávy z roku 2012 ERÚ připravuje zastavení podpory OZE. ČR se zavázala k rozvoji využívání obnovitelných zdrojů, kdy do roku 2020 má podíl takto získané energie dosáhnout 13%. U některých OZE již bylo požadovaných hodnot dosaženo před rokem 2012, což je jedním z důvodů zastavení podpory. Navíc investice do OZE vyvolává následnou potřebu rozvinutí distribuční a přenosové soustavy, kterou hradí občané ČR z daní. (ERÚ 2012). Poslední zpráva ERÚ z prosince 2016 reaguje na notifikační oznámení Evropské komise, jejímž požadavkem je slučitelnost schématu výroben elektřiny z OZE s vnitřním trhem EU. Pro MVE uvedené do provozu po roce 2006 to přineslo úpravu výkupní ceny a zelených bonusů.

Skutečné ceny za prodej elektrické energie z MVE Kolín nejsou veřejně dostupné, a proto bude výpočet vycházet z cen stanovených ERÚ. MVE Kolín byla uvedena do provozu dne 30. 9. 2012. Dle cenového rozhodnutí ERÚ (ERÚ 2016), které nabylo účinnosti dnem 1. 1. 2017, spadá tato rekonstrukce do období od 1. 1. 2006 do 31. 12. 2013. Stanovená výkupní cena činí 2705 Kč/MWh. Do této doby byly výkupní ceny stanoveny na základě předchozích dřívějších cenových rozhodnutí. Ty budou uvedeny v následující kapitole.

7.2 Návratnost investice

Pro investora je jedním z nejdůležitějších hledisek ekonomického hodnocení doba návratnosti investice. Pro její stanovení budou použity výše nákladů a výkupní ceny energie z předešlých podkapitol.

Hodnoty roční svorkové výroby elektrické energie z let 2012 až 2016 jsou shrnuty v tabulce 4. Předpokládaná návratnost investice bude uvažována na dobu 10 let. Pro následujících 5 let budeme vycházet z předpokladu, že roční tržby budou rovny součinu průměrné roční výroby elektřiny a výkupní ceny platné od roku 2017. Rozpis celkových tržeb je uveden v tabulce 7.

Tabulka 7 Vypočtené tržby MVE Kolín

	rok	množství energie	výkupní cena	tržby
		[MWh]	Kč/MWh	[Kč]
do současnosti	2012	1888,5	2450	4 626 783,4
	2013	5386,7	2499	13 461 373,3
	2014	4266,3	2549	10 874 910,9
	2015	4216,4	2600	10 962 689,4
	2016	3880,5	2652	10 291 083,3
předpoklad	2017	4197,1	2705	11 353 155,5
	2018	4197,1	2705	11 353 155,5
	2019	4197,1	2705	11 353 155,5
	2020	4197,1	2705	11 353 155,5
	2021	4197,1	2705	11 353 155,5

Pro výpočet byla použita metoda lineárního odepisování majetku. Technologická část MVE se řadí do 3. odpisové kategorie s odpisovou lhůtou 10 let. Roční odpisová sazba pro první rok je stanovena na 5,5%. Pro zbylých 9 let na 10,5 % (Kurzy.cz 2009).

$$RO_1 = N_T \cdot O_I = 65\,000\,000 \cdot 0,055 = 3\,575\,000 \text{ Kč} \quad (6)$$

$$RO_{2-10} = N_T \cdot O_{II} = 65\,000\,000 \cdot 0,105 = 6\,825\,000 \text{ Kč} \quad (7)$$

RO_1 - odpis prvního roku odepisování

RO_{2-10} - odpisy zbylých let odepisování

N_T - náklady na technologickou část elektrárny

O_I - odpisová sazba 1. roku odepisování

O_{II} - odpisová sazba pro následující roky (Rosochatecká 2010)

Po výpočet daně z příjmů je zapotřebí nejprve spočítat základ daně, který tvoří hrubý zisk. Z toho lze následně spočítat čistý zisk. Dle zákona (zákon č. 586/1992 Sb.) činí daň z příjmů 15% zaokrouhleného na stovky Kč směrem dolů.

$$Z_H = T_R - N_P - RO_{2-9} = 11\,353\,155,5 - 353\,650,4 - 6\,825\,000$$

$$Z_H = 4\,174\,505,1 \text{ Kč} \quad (8)$$

$$Z_{\check{c}} = H_Z - \left(\frac{H_Z}{100} \cdot d_P \right) = 4\,174\,505,1 - \left(\frac{4\,174\,505,1}{100} \cdot 15 \right)$$

$$Z_{\check{c}} \cong 3\,548\,405,1 \text{ Kč} \quad (9)$$

Z_H - hrubý zisk

$Z_{\check{c}}$ - čistý zisk

T_R - roční tržby

N_P - provozní náklady

d_P - základ daně z příjmů

(Rosochatecká 2010)

Jednou z metod ekonomického hodnocení návratnosti investice je metoda tzv. Cash flow (peněžní tok). Je to ukazatel vyjadřující reálný pohyb peněžních prostředků podstatný pro zhodnocení výsledků hospodaření. Cash flow vyjadřuje celkové saldo příjmů a výdajů vztažené na určité období. Absolutní tok peněz ve sledovaném období (v tomto případě 10 let) vyjadřuje tzv. kumulovaný cashflow. V okamžiku bodu zvratu je splněna návratnost investice, která následně vykazuje zisk (Rosochatecká 2010).

$$CF = Z_{\check{c}} + RO = 3\,548\,405,1 + 6\,825\,000 = 10\,373\,405,1 \text{ Kč} \quad (10)$$

CF - cash flow (peněžní tok)

(Rosochatecká 2010)

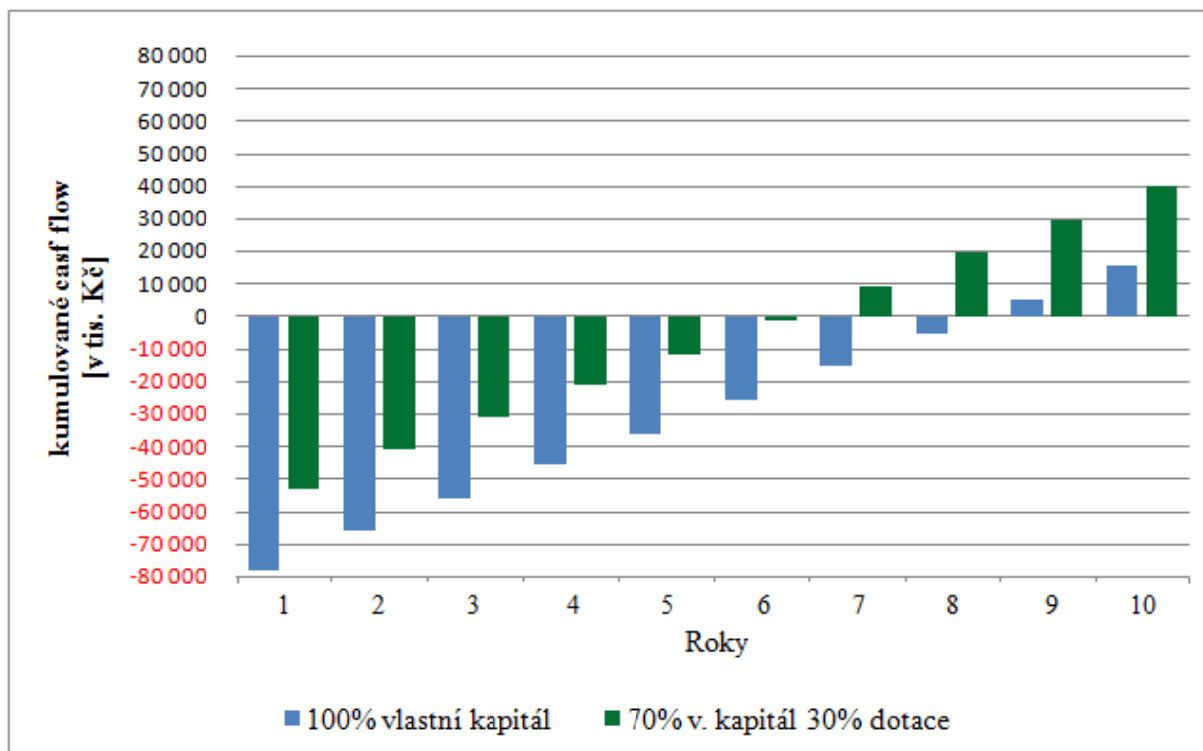
Tabulka 8 Zhodnocení peněžních toků MVE Kolín [v tis. Kč]

Rok	T_R	N_P	RO	Z_H	$Z_Č$	CF	CF_K	CF_{K30}
1	4 626,8	353,7	3 575,0	698,1	593,4	4 168,4	-78 010,6	-53 356,9
2	13 461,4	353,7	6 825,0	6 282,7	5 340,3	12 165,3	-65 845,3	-41 191,6
3	10 874,9	353,7	6 825,0	3 696,3	3 141,8	9 966,8	-55 878,5	-31 224,8
4	10 962,7	353,7	6 825,0	3 784,0	3 216,4	10 041,4	-45 837,0	-21 183,3
5	10 291,1	353,7	6 825,0	3 112,4	2 645,6	9 470,6	-36 366,5	-11 712,8
6	11 353,2	353,7	6 825,0	4 174,5	3 548,3	10 373,3	-25 993,1	-1 339,4
7	11 353,2	353,7	6 825,0	4 174,5	3 548,3	10 373,3	-15 619,8	9 033,9
8	11 353,2	353,7	6 825,0	4 174,5	3 548,3	10 373,3	-5 246,5	19 407,2
9	11 353,2	353,7	6 825,0	4 174,5	3 548,3	10 373,3	5 126,9	29 780,6
10	11 353,2	353,7	6 825,0	4 174,5	3 548,3	10 373,3	15 500,2	40 153,9

CF_K - kumulovaný cash flow

CF_{K30} - kumulovaný cash flow se započtením 30% dotace

Tabulka 8 zobrazuje podrobný přehled peněžních toků za jednotlivá období. Z tabulky lze vyhodnotit dobu návratnosti investice. Místo přechodu záporných hodnot na kladné ve sloupcích kumulovaného cash flow signalizuje bod zvratu. Návratnost investice pro variantu 100% vloženého kapitálu činí 8 let a 6 měsíců uvažujeme-li pouze vlastní kapitál. Jestliže uvažujeme 30% dotaci, bude návratnost investice 6 let a 1,5 měsíce (viz graf 6).



Graf 6 Zhodnocení návratnosti investice - kumulativní cashflow

8 Závěr

Úkolem projektu modernizace MVE Kolín bylo obnovit, resp. zvýšit efektivnost využití hydroenergetického potenciálu lokality a současně zvýšit ohleduplnost vůči životnímu prostředí. Tato hlediska musela být splněna pro získání finančních prostředků z dotačního fondu na podporu OZE. Projektu modernizace se zhostila společnost Hydrohrom Bystřice s.r.o. Modernizace si vyžádala kompletní výměnu soustrojí s automatickou regulací průtoku elektrárnou a nový systém čištění jemných česlí

Původní soustrojí (4 x Francis) s maximálním dosažitelným výkonem 700 kW nahradila nová soustrojí (7 x S-Kaplan) o celkovém výkonu 924 kW. Svorková výroba elektřiny se tak po rekonstrukci zvýšila o 33,45% (porovnána stejně dlouhá čtyřletá období před a po rekonstrukci). Kapacita výroby se však v celém sledovaném období 2007 až 2016 snižuje v průměru o 9% ročně. Důvodem tohoto poklesu je pravděpodobně postupné ubývání povrchových vod, které se projevuje v posledních několika letech. Situace má negativní dopad nejen pro hydroenergetiku, ale i na zemědělskou produkci a ekosystém v celosvětovém měřítku.

Výsledky ekonomické studie potvrzují, že projekt modernizace MVE Kolín je z hlediska návratnosti investice příznivý. S využitím programu *EKO – energie* pro podporu OZE bylo 30% investičních nákladů pokryto z dotačních fondů. Díky tomu se vypočtená návratnost investice snížila z 8,5 let na téměř 6 let. Bod zvratu tak nastane v roce 2018.

9 Seznam citovaných zdrojů

- Bednář, Josef, 1989.** *Malé vodní elektrárny 2: Turbíny.* Praha: SNTL. ISBN 04-220-89.
- Bláha, Jaroslav a Brada, Karel, 1992.** *Hydraulické stroje.* Praha: SNTL. ISBN 04-224-91
- Bufka, Aleš a Rosecký, Daniel, 2014.** *Obnovitelné zdroje energie v roce 2013 -3. část* [online]. [cit 2016-12-27]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/12127-obnovitelne-zdroje-energie-v-roce-2013-3-cast>
- Bufka, Aleš a Rosecký, Daniel, 2016.** *Obnovitelné zdroje energie v roce 2014* [online]. [cit. 2016-12-27].
Dostupné z: <http://www.mpo.cz/assets/dokumenty/54506/62316/647573/priloha001.pdf>
- Czechinvest, 2014.** *Malá vodní elektrárna – Středočeský kraj* [online]. [cit 2017 – 02 – 12].
Dostupné z: <http://www.czechinvest.org/31-eed02528-mala-vodni-elektrarna-stredocesky-kraj>
- ČHMÚ, 2010.** *Průměrné měsíční průtoky – Labe* [online]. 18. Ledna 2017 [cit 2017-03- 25].
Dostupné z: <http://hydro.chmi.cz/ismnozstvi/object.php?seq=21040>
- Dovel.cz, 2013.** *Fotogalerie – MVE Kolín* [online]. [cit 2017-02-20]. Dostupné z: <http://www.dovel.cz/fotogalerie/category/6-mve-kolin>
- Dušíčka, Peter; Gabriel, Pavel; Hodák, Tomáš; Čihák, František a Šulek, Peter, 2003.** *Malé vodní elektrárny.* Bratislava: VKÚ. ISBN 80-88902-45-1.
- ERÚ, 2012.** *Zastavení podpory OZE* [online]. [cit 2017-01-29] Dostupný z: <http://www.eru.cz/documents/10540/478231/TZ+NAP+final+22022012.pdf/7c7c84af-0779-4fb3-8cf7-41c689875775>
- ERÚ, 2016.** *Návrh cenového rozhodnutí pro rok 2017*[online]. [cit 2017-02-09] Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/2773056/Navrh_CR_kterym_se_meni_CR_c_5_2016.pdf/4bd9dc81-4c06-4e04-9fdd-15fdf2e65b48
- Hydrohrom s.r.o., 2017.** *Referenční list* [online]. [cit 2017-02-09] Dostupné z: <https://hydrohrom.cz/referencni-list/>
- Kerhart, Milan, – ústní sdělení** (Vedoucí výroby v MVE Kolín, Kolín) dne 13. září 2016
- Kinkor, Jaroslav, 2015.** *Metodický pokyn ke stanovení minimálního zůstatkového průtoku platný od 1. 1. 2017* [online]. [cit 2017 – 02 – 02] Dostupné z: <http://www.adaptacesidel.cz/data/upload/2015/08/zp16-98.pdf>
- Krejcar, Rostislav, 2014.** *Pravidla pro oznámení rekonstrukce MVE za účelem přiznání vyššího tarifu* [online]. [cit. 2017-03-09]. Dostupné z: <http://www.ahecr.cz/aktuality/pravidla-pro-oznameni-rekonstrukce-mve-za-ucelem-priznani-vyssiho-tarifu>

- Kurzy.cz, 2009.** *Třídění hmotného majetku do odpisových skupin – Příloha 1* [online]. 7. Srpna 2016 [cit 2017-02-19]. Dostupné z: <http://zakony.kurzy.cz/586-1992-zakon-o-danich-z-prijmu/priloha-1/>
- Mandelík, Jan – ústní sdělení** (Majitel MVE Kolín, stavební fakulta ČVUT, Praha 6) dne 7. února 2017
- Mapy.cz, 2017.** *Mapa České republiky* [online]. [cit 2017-03-01]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=14.4667000&y=50.0833020&z=11>
- Melichar, Jan; Vojtek, Jan a Bláha, Jaroslav, 1998.** *Malé vodní elektrárny: konstrukce a provoz.* Praha: ČVUT. ISBN 80-01-01808-0.
- Melichar, Jan, 2013.** *Hydraulické a pneumatické stroje: část vodní turbíny.* Praha: ČVUT. ISBN 978-80-01-05283-9.
- Motlík, Jan a kol., 2007,** *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v ČR* [online]. [cit 2016-12-27]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/energie-a-zivotni-prostredi/oze-cr-all-17-01-obalka-in.pdf>
- Pažout, František, 1987.** *Malé vodní elektrárny 1: ekonomika - předpisy.* Praha: SNTL. ISBN 04-787-87.
- Platy.cz, 2017.** *Platy v kategorii: elektrotechnika a energetika* [online]. [cit 2017-02-09] Dostupné z: <http://www.platy.cz/platy/elektrotechnika-a-energetika>
- Povodí Labe, 2011.** *Zdymadlo Kolín* [online]. 23. Srpna 2016 [cit 2017-01-28] Dostupný z: http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/zsl_kolin.pdf
- Proelektrotechniky.cz, 2014.** *SeaGen-S: inovovaná turbína Siemens pro přílivovou elektrárnu.* [online]. [cit. 2015-01-24]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/obnovitelne zdroje/47.php>
- Rosochatecká, Eva; Tomšík, Karel a Gebeltová, Zdeňka, 2010.** *Cvičení z ekonomiky podniků.* Praha: ČZU Provozně ekonomická fakulta. ISBN 978-80-213-1470-2
- Škropil, Jan a Kasárník, Milan, 2000.** *Obnovitelné zdroje energie I.: Vodní elektrárny.* 2. vydání přepracované. Plzeň: ZČU, 2000. ISBN 80-7082-675-4.
- Šulc, Roman, 2016.** *Masarykův most* [online]. [cit. 2016-12-09]. Dostupné z: <http://www.cestyapamatky.cz/kolinsko/kolin/masarykuv-most>
- Vodná energia, 2011.** [online]. 11. Listopadu 2016 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.oze.stuba.sk/oze/vodna-energia/>

Vodnimlyny.cz, 2012. *Podskalský, Radimského mlýn* [online]. [cit 2017-02-23]. Dostupné z: <http://vodnimlyny.cz/mlyny/mlyn/2150>

Zákon č. 586/1992 Sb. - Zákon České národní rady o daních z příjmů (zákon o daních z příjmů).

Zákon č. 589/1992 Sb. - Zákon České národní rady o pojistném na sociální zabezpečení a příspěvku na státní politiku zaměstnanosti (zákon o pojistném a sociální zabezpečení)

Zeithammer, Karel, 2000. *Vývoj techniky*. 2. vydání přepracované. Praha: ČVUT. ISBN 80-01-01725-7

10 Seznam obrázků

Obr.1.Energetická bilance energie Slunce dopadající na zemský povrch.....	3
Obrázek 2 Obecné schéma hydroelektrárny.....	7
Obrázek 3 Schéma konfigurace spádů a průtoků na vodním toku.....	9
Obrázek 4 Vodní mlýn římského stavitele Vitruvia Pollia	10
Obrázek 5 a) Segnerovo kolo - r. 1750, b) Eulerův stroj - r. 1754.....	11
Obrázek 6 Oblastní diagram základních typů turbín.....	12
Obrázek 7 Schématické uspořádání Peltonovy turbíny.....	13
Obrázek 8 Schéma Bánkiho turbíny.....	14
Obrázek 9 Francisova turbína.....	15
Obrázek 10 Vertikální Kaplanova turbína.....	16
Obrázek 11 Geografické umístění MVE Kolín.....	17
Obrázek 12 Podskalský mlýn Václava Radimského 1918.....	18
Obrázek 13 Umístění objektů na vodním díle Kolín.....	19
Obrázek 14 První pole jezu umístěné v konstrukci Masarykova mostu	20
Obrázek 15 Schéma uspořádání stávajícího řešení MVE Kolín	21
Obrázek 16 Budova elektrárny - pohled ze strany vtoku	22
Obrázek 17 Pohled do původní kašny se dvěma novými soustrojími.....	24
Obrázek 18 Schéma uspořádání původního řešení MVE Kolín.....	25
Obrázek 19 Průběh rekonstrukce	26

11 Seznam grafů

Graf 1. Celková výroba elektrické energie z VE na území Československa	5
Graf 2 Výroba elektrické energie z vodních elektráren	6
Graf 3 Křivka M-denních průtoků v lokalitě MVE Kolín.....	27
Graf 4 Princip odstavování turbín v průběhu roku.....	28
Graf 5 Skutečná roční produkce MVE Kolín v letech 2007 - 2016	31
Graf 6 Zhodnocení návratnosti investice - kumulativní cashflow	38

12 Seznam tabulek

Tabulka 1 Parametry turbíny HH 1450 SSK.....	23
Tabulka 2 M-denních průtoků v lokalitě MVE Kolín.....	27
Tabulka 3 Hrubá roční produkce elektrické energie v MVE Kolín	30
Tabulka 4 Porovnání výroby energie období 2007-2016 v MVE Kolín.....	32
Tabulka 5 Srovnání průtoků z měřicích stanic Nymburk a Přelouč.....	32
Tabulka 6 Provozní náklady MVE Kolín.....	34
Tabulka 7 Vypočtené tržby MVE Kolín	36
Tabulka 8 Zhodnocení peněžních toků MVE Kolín [v tis. Kč]	38

13 Seznam zkratk

ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
ČSN	česká technická norma
ČSR	Československá republika
ERÚ	energetický regulační úřad
HTG	hydro-turbo generátor
MVE	malá vodní elektrárna
MZP	minimální zůstatkový průtok
MŽP	ministerstvo životního prostředí
OZE	obnovitelný zdroj energie
PVE	přečerpávací vodní elektrárna
VE	vodní elektrárna
VEKOL	Veolia energie Kolín a. s.

14 Přílohy



Příloha 1 Hrubé česle



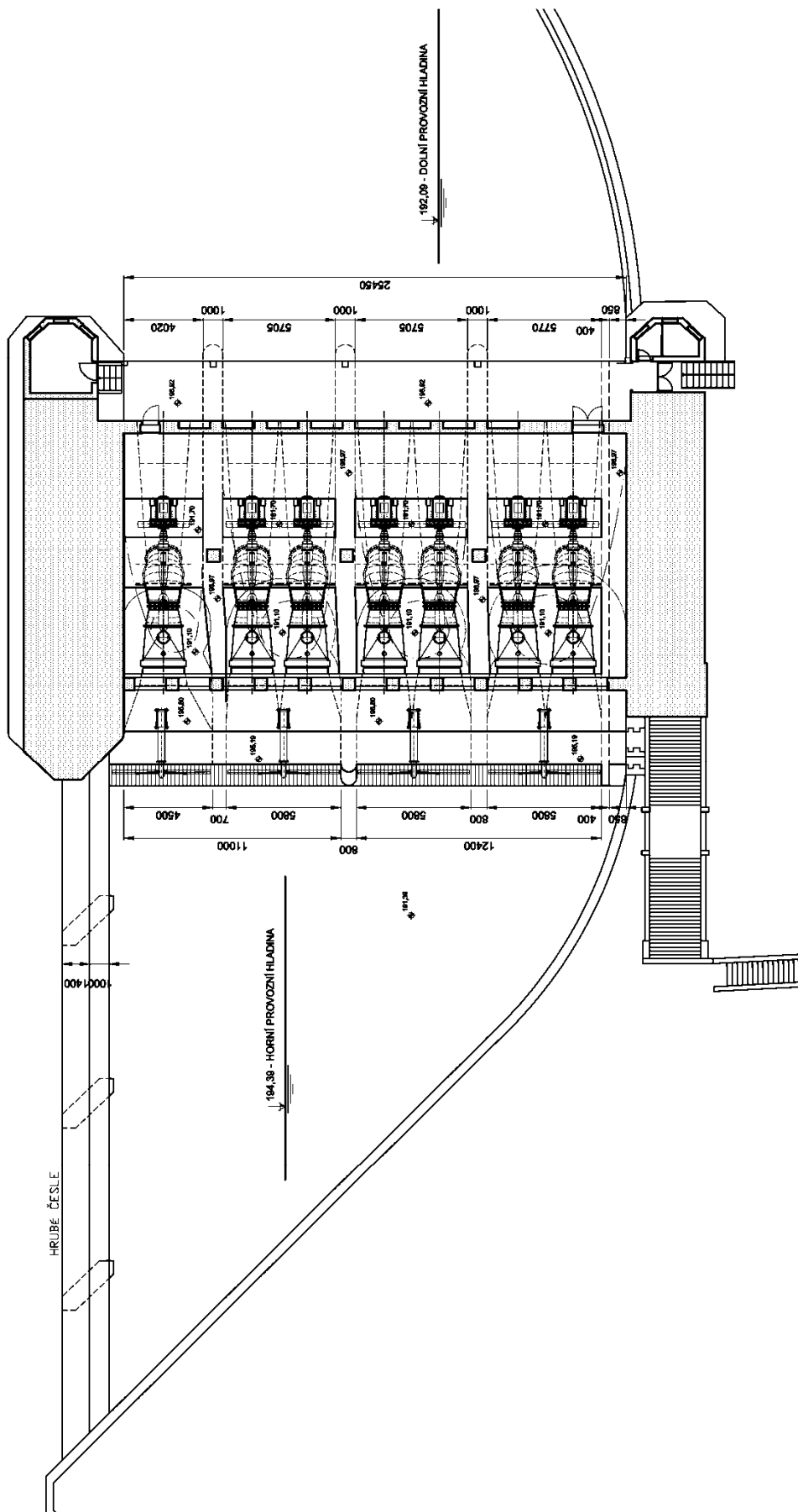
Příloha 2 Pohled ze západní strany – vývařiště




Příloha 3 Prostor strojovny před rekonstrukcí (Dovel.cz 2013)

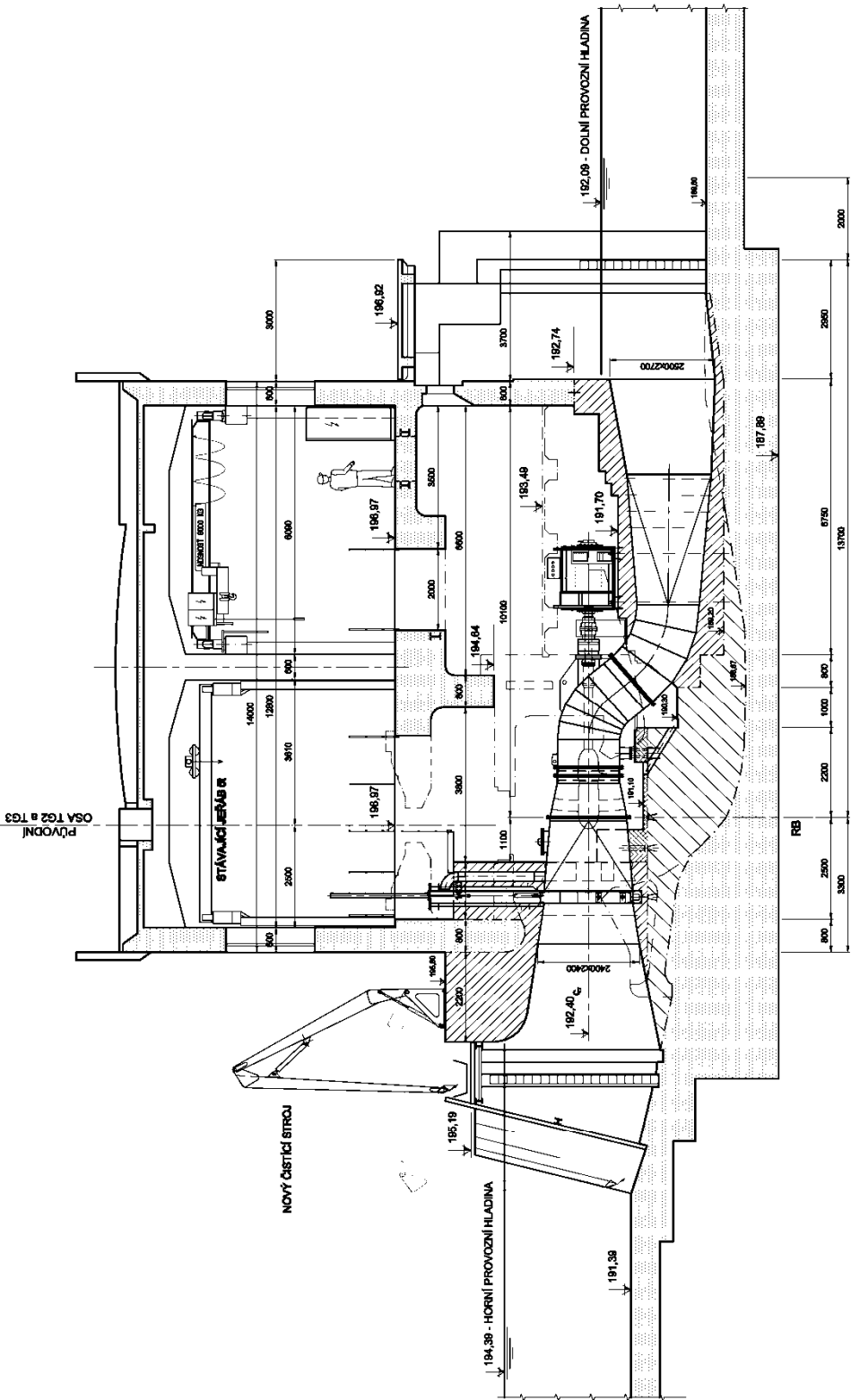






Příloha 4 Vyvezený odpad ze stavby (Dovel.cz 2013)




	18.6.2010
	1:200
MVE KOLÍN 7x HH 1450 SSK	
DISPOZICE MVE	

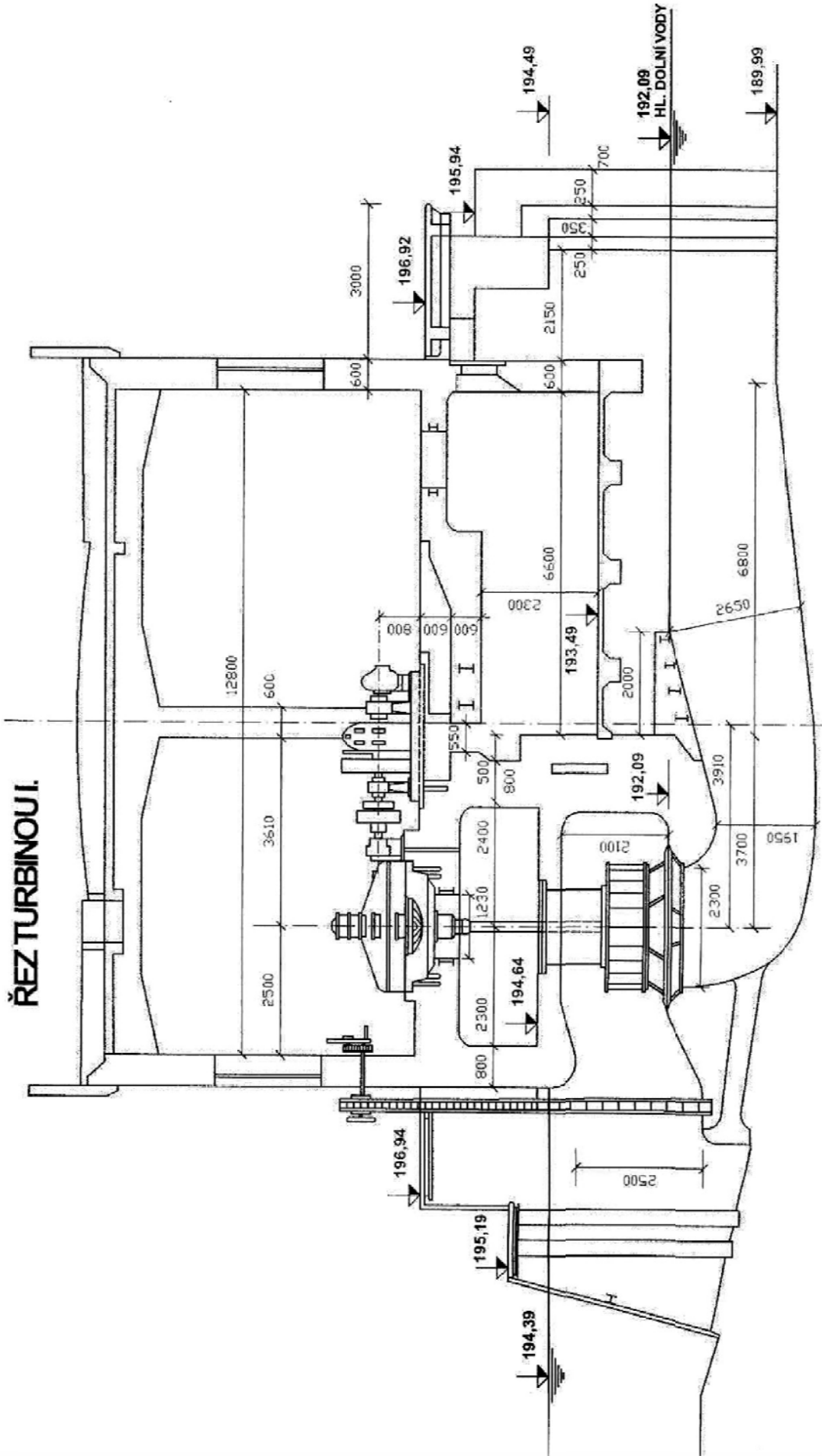
Příloha 5 MVE Kolín – půdorys



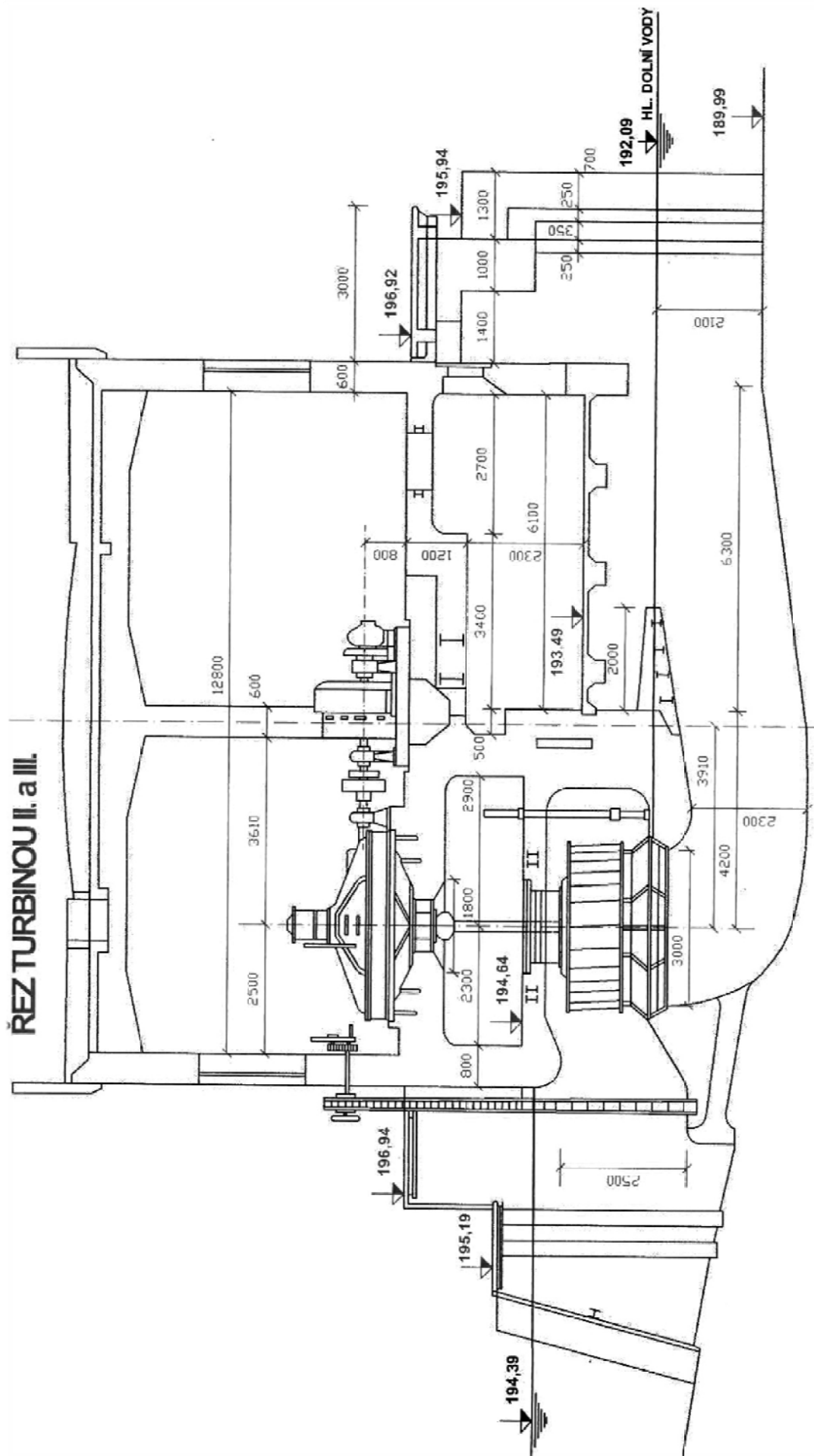
-  STÁVAJÍCÍ BETONOVÉ KONSTRUKCE
-  VYBOURANÉ BETONOVÉ KONSTRUKCE
-  NOVÉ BETONOVÉ KONSTRUKCE - 2.
-  NOVÉ BETONOVÉ KONSTRUKCE - 1.

	18.6.2010
	1:100
MVE KOLÍN 7x HH 1450 SSK	
PODÉLNÝ ŘEZ - TG2 a TG3	

Příloha 6 MVE Kolín - podélný řez

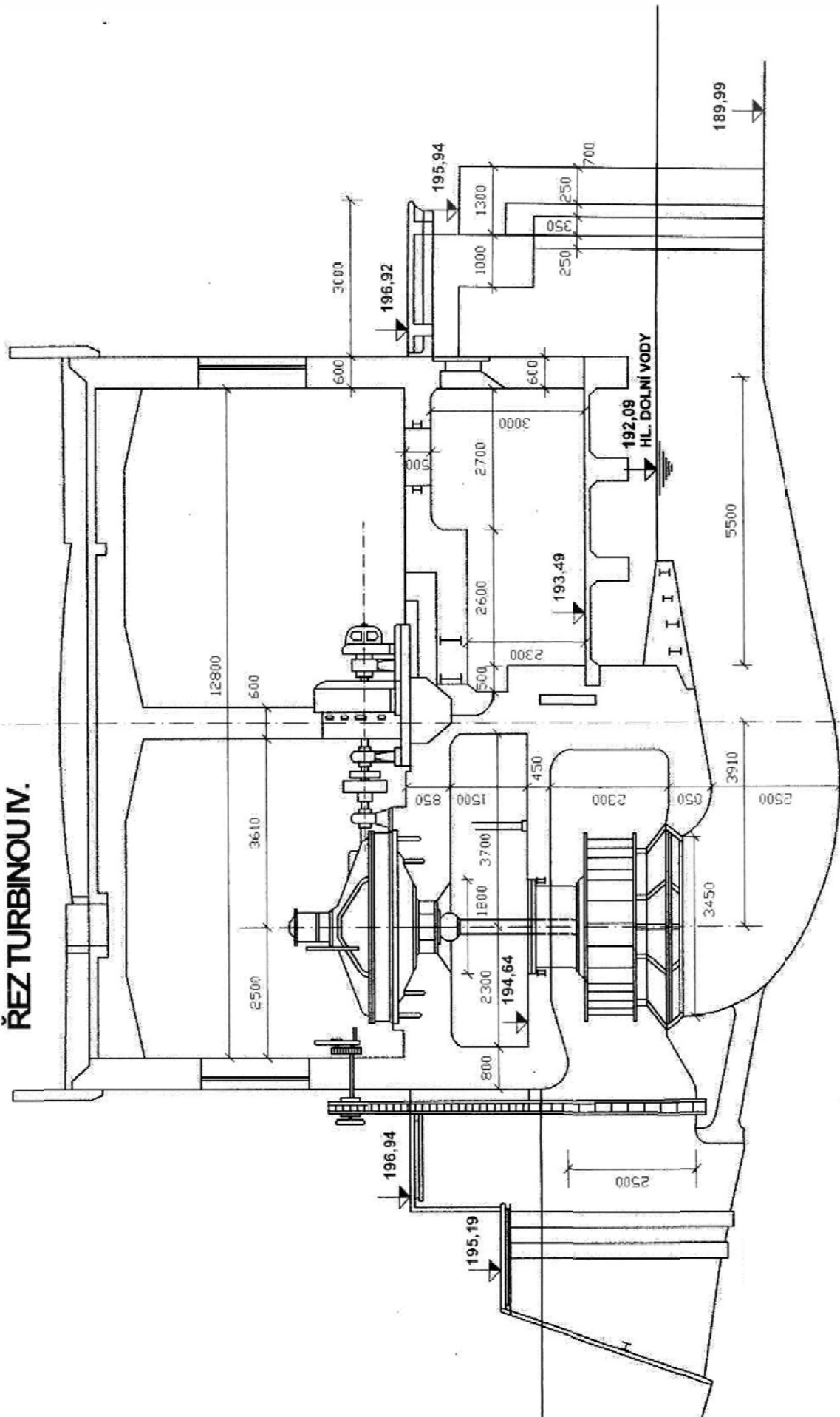


Příloha 7 Původní turbína HTG1 - podélný řez



Příloha 8 Původní turbíny HTG 2 a HTG 3 - podélný řez

ŘEZ TURBINOU IV.



Příloha 9 Původní turbína HTG 4 - podélný řez