



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ENERGETICKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

## **ANALÝZA PROVOZU MVE KNÍNIČKY A MVE KOMÍN**

*ANALYSIS OF WORKING OPERATION HYDROELECTRIC POWER PLANT KNÍNIČKY AND KOMÍN*

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**BC. VOJTĚCH NOVOTNÝ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**ING. MARTIN HUDEC**

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2012/2013

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Vojtěch Novotný

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

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

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

### **Analýza provozu soustavy MVE Kníničky a MVE Komín**

v anglickém jazyce:

### **Analysis of working operation hydroelectric power plant Kníničky and Komín**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pro vyrovnání průtoků špičkových vodních elektráren se zpravidla budují v jejich těsné blízkosti vzdouvací objekty s dostatečnou retenční kapacitou, tak aby byly schopny transformovat odtokové poměry v rámci dne. Jedním z dalších účelů těchto zařízení je v maximální možné míře energetické využití hydropotenciálu dané lokality. Řídicí systém by v takovém případě měl být dostatečně flexibilní, aby pružně reagoval na změnu provozních podmínek.

Cíle bakalářské práce:

Popis provozu soustavy špičkové vodní elektrárny ve vazbě s vyrovnávací vodní elektrárnou.  
Matematický model v libovolném programovém prostředí s možností editace jednotlivých uzlů.  
Srovnání stávajícího provozu s navrženými variantami optimalizovaného řídicího systému.

Seznam odborné literatury:

Manipulační řád VD Komín a VD Kníničky.

Provozní deník MVE Komín.

Technická zpráva Analýza provozu soustavy MVE Kníničky a MVE Komín.

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

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

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Hudec

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 22. 11. 2012

L.S.

---

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

## **Abstrakt**

Cílem této bakalářské práce je popis soustavy malých vodních elektráren Kníničky – Komín a optimalizace provozu této soustavy pomocí vhodného matematického modelu. Pro uvedení do problematiky je na začátku práce zařazena kapitola popisující rozdělení malých vodních elektráren a jejich strojní vybavení.

## **Abstract**

The Aim of this Bachelor thesis is to describe hydroelectric power plant system Kníničky – Komín and optimize its operation with suitable mathematical model. For an introduction to the topic there is at the beginning of the thesis a chapter that describes and divides small hydro power plants and their machinery.

## **Klíčová slova**

Malá vodní elektrárna  
Hydropotenciál  
Optimalizace  
Turbína

## **Key words**

Small hydro power plant  
Hydro potential  
Optimization  
Turbine

## **Bibliografická citace**

NOVOTNÝ, V. *Analýza provozu soustavy MVE Kníničky a MVE Komín*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 41 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Hudec.

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Analýza provozu soustavy MVE Kníničky a MVE Komín“ vypracoval samostatně podle svých znalostí a s použitím odborné literatury a zdrojů uvedených v seznamu, jenž je součástí této práce.

V Brně dne: .....

.....

Vojtěch Novotný

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu svojí bakalářské práce, panu Ing. Martinu Hudcovi, za jeho věcné připomínky a trpělivost.

## Obsah

1	Úvod.....	9
2	Malé vodní elektrárny .....	10
2.1	Rozdělení MVE.....	10
2.2	Strojní zařízení MVE.....	10
2.2.1	Rovnotlaké (akční) turbíny.....	11
2.1.1.1	Peltonova turbína.....	11
2.1.1.2	Bánkiho turbína .....	12
2.2.2	Přetlakové (reakční) turbíny.....	13
2.2.2.1	Francisova turbína .....	13
2.2.2.2	Kaplanova turbína .....	14
2.2.3	Kavitace.....	14
3	Povodí Svratky .....	16
4	MVE Kníničky .....	18
4.1	Historie .....	18
4.2	Technické parametry .....	19
5	MVE Komín.....	22
5.1	Historie .....	22
5.2	Účel vodního díla .....	22
5.3	Technické parametry .....	23
5.3.1	Vzdouvací objekt.....	23
5.3.2	Elektrárna .....	23
5.3.3	Rozdělení hladin a přehled vodohospodářské kapacity.....	24
5.3.4	Hospodaření s vodou a dodržování hladin .....	24
5.4	Hydrologické údaje .....	25
6	Matematický model.....	26
6.1	Varianta 1 – současný stav .....	26
6.2	Návrh turbíny .....	29
6.3	Varianta 2 .....	30
6.4	Srovnání variant 1 a 2.....	32
7	Závěr.....	35
8	Seznam použité literatury .....	36
	Seznam použitých zkratk a symbolů .....	38
	Přílohy .....	39

## 1 Úvod

Tato bakalářská práce má za cíl zpracovat a popsat provoz soustavy malých vodních elektráren Kníničky – Komín vybudované na toku řeky Svatky, a to jak z historického hlediska, tak z hlediska strojního, a optimalizovat tento provoz pomocí vhodného matematického modelu.

Samotná práce je rozdělena do pěti částí. V první části se zabývá malými vodními elektrárnami (dále MVE), jejich rozdělením a jejich strojním vybavením – turbínami. Druhá část je věnována povodí řeky Svatky, na které je soustava vybudována. Třetí a čtvrtá část pojednává o historii a strojním a technickém vybavení MVE Kníničky, respektive MVE Komín. V poslední části je představen matematický model soustavy, který byl vytvořen v prostředí Microsoft Excel.

Energetická koncepce České Republiky se zaměřuje na nezávislost, bezpečnost, různorodost a udržitelný rozvoj energetických zdrojů. Z toho vyplývá snaha o snižování výroby elektrické energie z uhlí, zvyšování účinnosti spalování uhlí a nahrazování elektráren na fosilní paliva elektrárnami jadernými a obnovitelnými zdroji energie. [13]

K nejvýznamnějším a zároveň i nejstarším obnovitelným zdrojům patří vodní energetické zdroje. Ty se v různých podobách objevují od nepaměti, ale jejich moderní podoba – vodní turbíny – se začala objevovat v 17. století, přičemž rozmachu dosáhla po poznání základních zákonů hydrauliky a přeměny energie hydraulické na mechanickou na konci 19. a začátku 20. století (Francisova turbína byla sestrojena v roce 1847, Peltonova turbína v roce 1880 a Kaplanova turbína v roce 1918). [13] [3]

Největší rozvoj hydroenergetiky MVE v České republice proběhl po roce 1989, kdy došlo ke změně legislativy umožňující soukromé podnikání. V souvislosti s tímto rozvojem došlo k významnému posunu v poměru energeticky využitých k dosud nevyužitým lokalitám, čili v poměru energetického využití vodních toků. [13]

Zabývat se malými vodními elektrárnami má smysl hned z několika důvodů. Jedním z hlavních důvodů je, že ta část hydropotenciálu, kterou lze v České republice ještě využít, je soustředěna na malých tocích, které nejsou vhodné pro výstavbu velkých vodních elektráren (VE – s instalovaným výkonem nad 10 MW). I kdyby existovaly pro výstavbu velkých elektráren vhodné podmínky, je otázkou, zda je tak velký zásah do krajiny s ohledem na ekologické aspekty vhodný nebo nutný. V porovnání s velkými ovlivňují malé vodní elektrárny ráz krajiny mnohem méně. Výhodou malých vodních elektráren je možnost jejich vybudování v již existujících objektech, např. bývalých mlýnech, pilách či hamrech, jsou tedy vhodné pro domácí využití. Zároveň je výstavba nových MVE ekonomicky náročná a rozhodující vodoprávní orgány povolují stavbu nových jezových stupňů jen velmi zřídka. Ani do budoucna se zřejmě tato situace nebude měnit, proto je možnou cestou lepšího využití hydropotenciálu zvyšování účinnosti MVE nebo optimalizace jejich řídicího systému, která zajistí lepší provozní podmínky. [13]

A právě optimalizace soustavy MVE Kníničky – Komín, která je vybudovaná na řece Svatce je tématem této bakalářské práce.

## 2 Malé vodní elektrárny

Malé vodní elektrárny sice nepředstavují v České republice hlavní zdroj elektrické energie, nicméně jsou zdrojem významným a to nejen z hlediska výkonu, ale také z hlediska bezpečnosti, stálosti a ekologie. Jsou-li MVE technicky dobře provedeny, mají relativně malou poruchovost, nízké provozní náklady, vysoký počet provozních hodin v roce a za určitých podmínek mohou fungovat bez obsluhy. [9]

### 2.1 Rozdělení MVE

Za MVE pokládáme elektrárny s instalovaným výkonem do 10 MW. MVE lze třídit podle mnohých kritérií, která jsou více či méně provázaná, proto uvedme alespoň některá. [3]

Norma ČSN 75 0128 dělí MVE dle instalovaného výkonu na:

- průmyslové s instalovaným výkonem od 1 MW do 10 MW
- minielektrárny s instalovaným výkonem od 100 kW do 1000 kW
- mikroelektrárny s instalovaným výkonem od 35 kW do 100 kW
- domácí s instalovaným výkonem do 35 kW [9] [3]

Tato norma již v současné době není platná. V Roce 2009 byla nahrazena normou ČSN 75 0120.

Podle celkového dosažitelného výkonu se MVE dělí dle ČSN 75 2601 do tří kategorií:

- I s výkonem 1 – 10 MW včetně
- II s výkonem 100 kW – 1 MW včetně
- III s výkonem do 100 kW včetně [7]

Podle velikosti využívaného spádu lze MVE dělit na:

- nízkotlaké využívající spád do 20 m
- středotlaké využívající spád nad 20 m do 100 m
- vysokotlaké využívající spád nad 100 m [9] [3]

Toto rozdělení je významné zejména z hlediska použití vhodného typu turbíny. Diagram použití jednotlivých turbín pro dané spády a průtoky je v příloze č. 1.

Podle způsobu získání potřebného spádu lze dělit MVE na čtyři základní typy:

- přehradová VE, jejíž spád je tvořen přehradou
- jezová VE, jejíž spád je tvořen jezem
- derivační VE, získávající spád derivací vody, tzn. umělému vedení vody mimo původní tok pomocí tlakové nebo beztlakové derivace
- VE bez vzdouvací stavby, využívající energii proudící vody [3]

### 2.2 Strojní zařízení MVE

Vodní motory využívané v MVE se dají rozdělit na vodní kola, turbíny a další vodní zdroje. Tato práce se z důvodu relevance dále zabývá pouze turbínami. Základy teorie vodních turbín se datují již do 17. století, ale rozmachu se dočkaly po poznání základních zákonů hydrauliky a přeměny energie hydraulické na mechanickou na přelomu 19. a 20. století. Podle způsobu využívání vodní energie je možné turbíny dělit na akční (rovnotlaké) a reakční (přetlakové). [9] [3]

## 2.2.1 Rovnotlaké (akční) turbíny

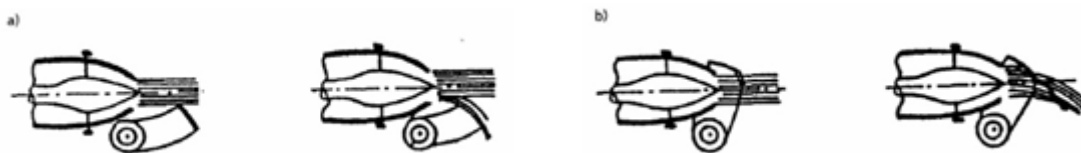
Rovnotlaké turbíny jsou založeny na principu rovnosti tlaků před a za turbínou. Z pohledu uspořádání a přeměny energie lze dát rovnotlaké turbíny do určité analogie s lopatkovými vodními koly. Pro rovnotlaké turbíny i lopatková kola je typická přeměna kinetické energie na mechanickou, avšak u kol probíhá předávání energie nárazem vodního paprsku na lopatku, zatímco u turbíny je vlivem zakřivení lopatek předávání energie plynulejší. Z toho důvodu je předávání energie u turbín téměř beze ztrát. Rovnotlaké turbíny dosahují maximální účinnosti 92 – 93%. [9] [3] [5]

Nejrozšířenější rovnotlaká turbína je turbína Peltonova. Často se do této skupiny řadí i Bánkiho turbína, přestože jde o zvláštní případ turbíny, kterou lze v kombinaci se savkou využívat i jako turbínu reakční. [9] [3] [5]

### 2.1.1.1 Peltonova turbína

Peltonova turbína je nejpoužívanější rovnotlakou turbínou a používá se v uspořádání s horizontálním i vertikálním hřídelem. Horizontální uspořádání je častější – je výhodnější zejména kvůli odtoku vody, kdy odtékající voda není zachycována dalšími lopatkami oběžného kola. Hlavními částmi turbíny jsou tryska, oběžné kolo a lopatky oběžného kola. [5]

Funkcí trysky je zajišťovat celistvost vodního paprsku (co nejmenší ztráty energie), směřovat vodní paprsek tak, aby dopadal tečně na oběžné kolo (kolmo na plochu lopatek) a regulace průtoku vody. K tomu je v trysce regulační jehla, která se plynule posouvá ve směru své osy tak, aby nedocházelo k tlakovým rázům. Proto není použitelná v případě náhlé potřeby uzavření průtoku. V takových případech se používá buď deflektor, nebo deviátor umístěný mezi tryskou a oběžným kolem (obr. 1). Deflektor paprsek vody před jeho dopadem na lopatky odřízne, deviátor paprsek odklání. [5]



obr. 1 schéma funkce a) deflektoru, b) deviátoru [9]

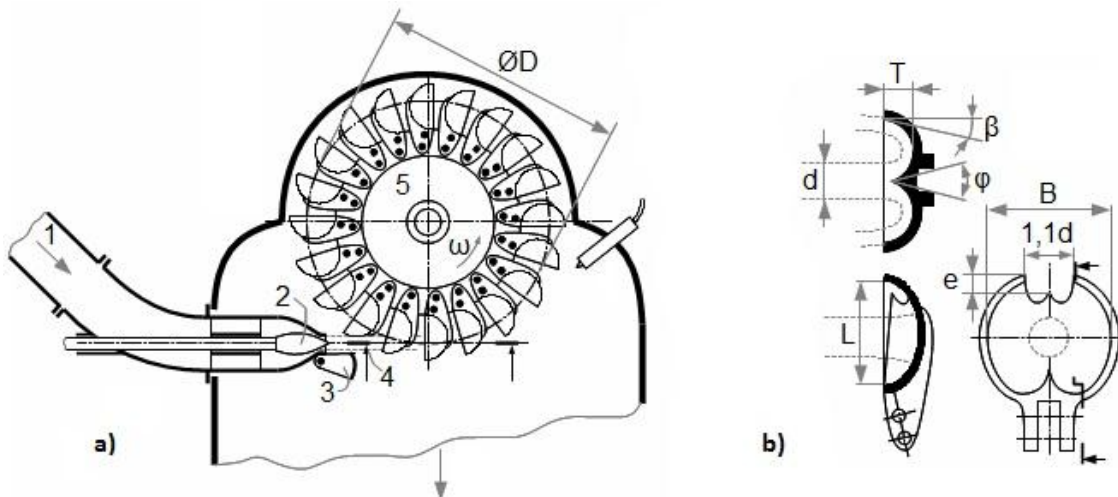
Podle počtu trysek se rozlišuje jedno nebo vícestrákové uspořádání turbíny. Více trysek zajišťuje zvýšení rychloběžnosti, avšak počet trysek je omezen. Lopatka by neměla být ostříkována další tryskou, dokud z ní nevyteče všechna voda z trysky předchozí. Z tohoto důvodu bylo doposud realizováno maximálně 6 vstříků. [5]

Jako průměr oběžného kola, ke kterému jsou přimontovány lopatky, se udává průměr kružnice, na kterou tečně dopadá vodní paprsek. [5]

Pevné lopatky jsou dvojité, vodní paprsek je břitem uprostřed dělen na dvě stejné části. Dříve měly lopatky válcový tvar, dnes se používají s elipsoidním tvarem lopatkových ploch (obr. 2b). Ten zajišťuje lepší dopad paprsku vody, který by měl být z hlediska využití energie kolmý na lopatku. Počet lopatek by měl být dostatečný, aby využíval energii vody, ale je třeba si uvědomit, že při každém vstupu lopatky do vodního paprsku dochází k rázu, který způsobuje ztrátu energie. Proto se stanovuje optimální počet lopatek ze vztahu:

$$Z=(5,0 - 6,5) \cdot (D_{OK}/d_0)^{1/2},$$

kde  $D_{OK}$  je průměr oběžného kola a  $d_0$  je průměr vodního paprsku. [5]

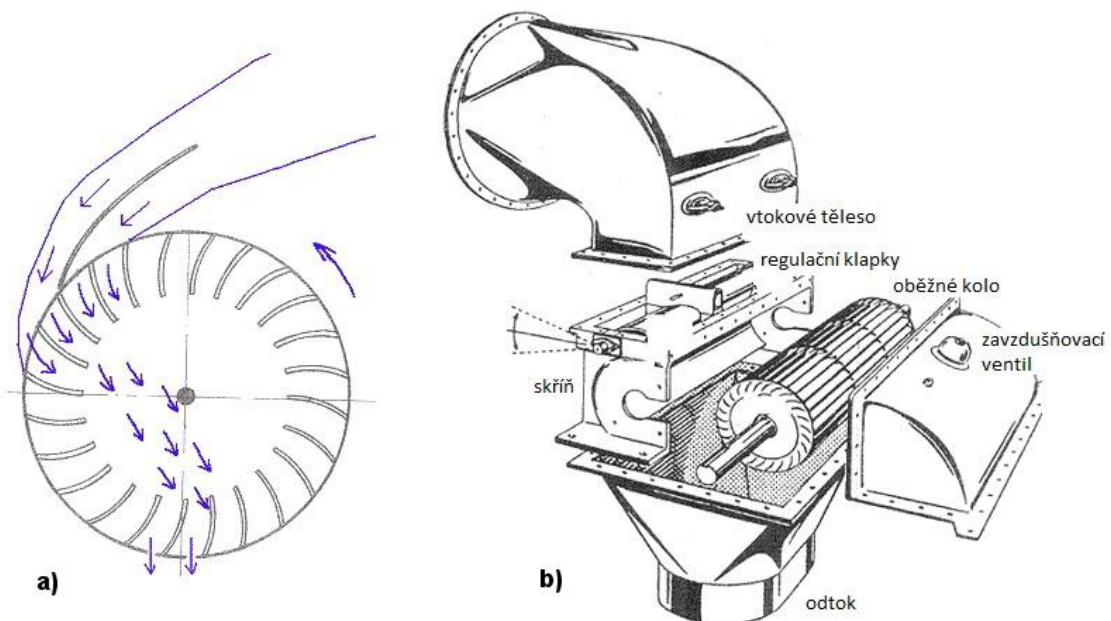


obr. 2 a) schéma Peltonovy turbíny: 1 – přívod vody; 2 – regulační jehla; 3 – deviátor; 4 – vodní paprsek; 5 – oběžné kolo b) tvar lopatek [14]

### 2.1.1.2 Bánkiho turbína

Bánkiho turbína se využívá zejména na malých tocích pro spády od 2 do 30 m. Lze ji využít v místech, kde bylo v minulosti instalováno kolo s horním přívodem vody. Není vhodná do míst, kde je možný vzestup dolní hladiny. [5]

Kruhové potrubí přivádějící vodu je před turbínou změněno ve vtokovém tělese na obdélníkový průřez. V tomto místě je zároveň klapka, která provádí regulaci. Voda vstupuje tangenciálně na lopatky, které ji odklání směrem ke hřídeli (dostředivě), a odevzdává jim větší část své energie. Zbytek energie potom voda předává lopatkám při druhém (odstředivém) průtoku, na protější straně lopatkového věnce. Proto je turbína označována jako příčně protékaná. Po předání energie voda volně vytéká pod oběžné kolo. Průtok vody turbínou a její schéma je na obr. 3.



obr. 3 Bánkiho turbína a) průtok vody b) schéma turbíny [20]

Pevné lopatky Bánkiho turbíny jsou osazené mezi dva paralelní kotouče. Pro jejich výrobu není potřeba speciálních materiálů a i při malých nepřesnostech je turbína poměrně účinná. Proto je vhodná pro uživatele – amatéry. Další výhody turbíny jsou malá citlivost vůči nečistotám, odolnost vůči abrazivním účinkům písku a nízký výskyt kavitace. Účinnost Bánkiho turbíny je 78 až 84%. [5]

## 2.2.2 Přetlakové (reakční) turbíny

Přetlakové turbíny jsou založeny na principu rozdílu tlaků, kdy před turbínou je vyšší tlak než za ní. Převažuje u nich přeměna energie tlakové na energii mechanickou před přeměnou energie kinetické. Aby mohlo k přeměně tlakové energie docházet, musí voda vyplňovat celý prostor kanálů mezi lopatkami. [9] [3] [5]

Základními prvky přetlakových turbín jsou: rozvaděč, oběžné kolo turbíny, hřídel a ložiska turbíny, ucpávky a těsnění oběžného kola, synchronní a zavzdušňovací ventily.

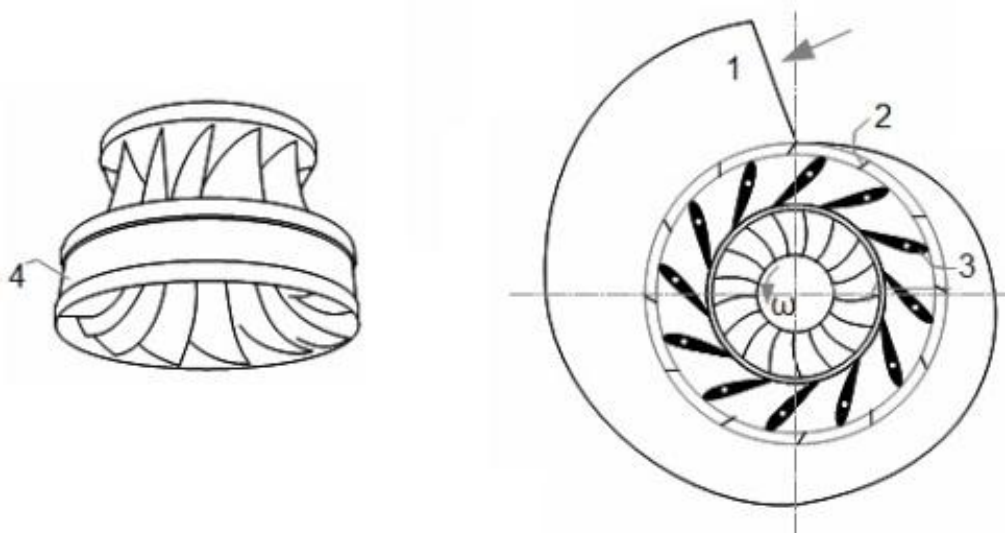
Z nejběžnějších typů uvedme turbínu Francisovu a turbínu Kaplanovu. [9] [3] [5]

### 2.2.2.1 Francisova turbína

Francisova turbína (obr. 4) se využívá pro spády od 100 do 500 m. Existuje v horizontálním i vertikálním uspořádání. Voda se na oběžné kolo přivádí rozvaděcím kolem v radiálním směru a v oběžném kole se směr mění na axiální. Oběžné kolo je tvořeno vnějším věncem a nábojem a lopatkami, které jsou do náboje a věnce turbíny zapašované, nebo se (dnes častěji) odlévají.

Lopatky oběžného kola jsou pevné, proto je průtok regulován pouze rozvaděčem, který je opatřen natáčivými lopatkami. [9] [5]

Pro nižší spády je typické provedení kašnové, pro spády vyšší provedení kotlové. Běžně se používá (například v přečerpávacích nádržích) reverzní Francisova turbína, která při obráceném chodu pracuje jako čerpadlo. [9] [5]



obr. 4 Francisova turbína: 1 – vstup vody do spirální skříně; 2 – výztužná mříž spirální skříně; 3 – natáčivé rozváděcí lopatky; 4 – oběžné kolo [14]

### 2.2.2.2 Kaplanova turbína

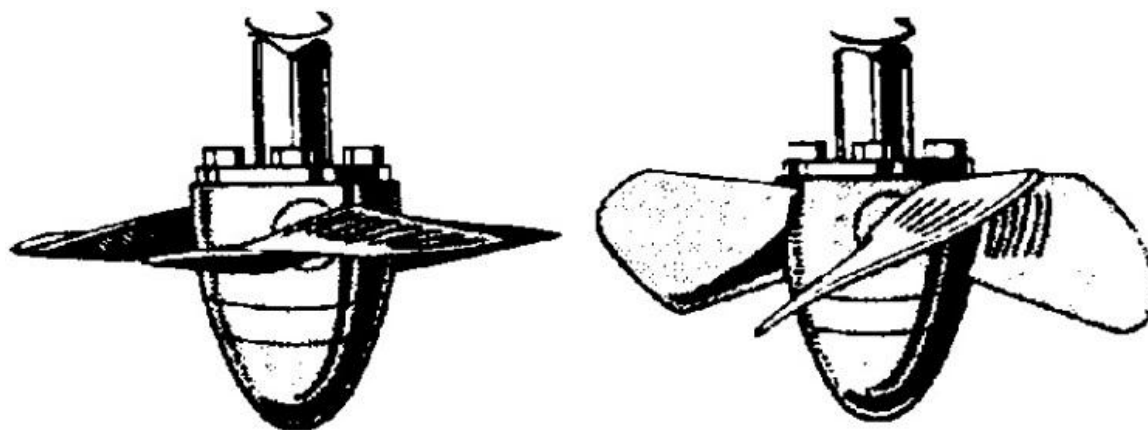
Kaplanova turbína je určena pro velké průtoky a spády od nejnižších až zhruba do 100 m.

Kaplanova turbína má natáčivé jak lopatky rozvaděče, tak lopatky oběžného kola. Změna jejich polohy probíhá synchronně. K ovládání lopatek oběžného kola se používá regulační mechanismus umístěný přímo v náboji. U větších soustrojí probíhá plynulé natáčení lopatek za provozu, u malých turbín je třeba pro nastavení lopatek turbínu odstavit. Relativně malý počet lopatek Kaplanovy turbíny je úměrný spádu, pro který je turbína určena. Minimálního počtu 3 lopatek je používáno při spádu do 5 m, nejvyšší počet 10 lopatek má turbína pro spády nad 60 m. Při menších počtech se lopatky vzájemně nepřekrývají, oběžné kolo je tzv. průhledné. [9] [5]

Prostor turbíny je ohraničen nábojem oběžného kola a pláštěm komory. Náboj je u menších soustrojí válcový, u větších kulový. [9] [5]

V prostoru mezi lopatkami oběžného kola a komorou může vznikat tzv. spárová kavitace způsobená velkou rychlostí vody proudící ve spáře. Tento nepříznivý jev lze omezit úpravou konců lopatek. [9] [5]

Kaplanova turbína se používá v uspořádání s horizontální i vertikální osou rotace. Horizontální poloha osy se používá u menších soustrojí, neboť je méně náročná na stavební práce, u turbín větších výkonů převládá osa vertikální. [9] [5]



obr. 5 natočení lopatek Kaplanovy turbíny [8]

### 2.2.3 Kavítace

Kavítace je nepříznivý jev doprovázený velmi hlučnými rázovými jevy, při kterém dochází k porušování obtékaných materiálů a ke snižování účinnosti. Je způsobený podtlakem v turbínách. Klesne-li tlak na hodnotu tlaku nasycených par, voda začíná vřít a uvolňuje vzduch ve formě bublinek. Tyto jsou unášeny proudem, a když se dostanou do místa s vyšším tlakem, implodují. Při implozi dochází k vtačování vody do krystalové mřížky kovu a po proběhnutí rázu je opět vytrhávána ven i s částicemi materiálu. [3] [9] [16]

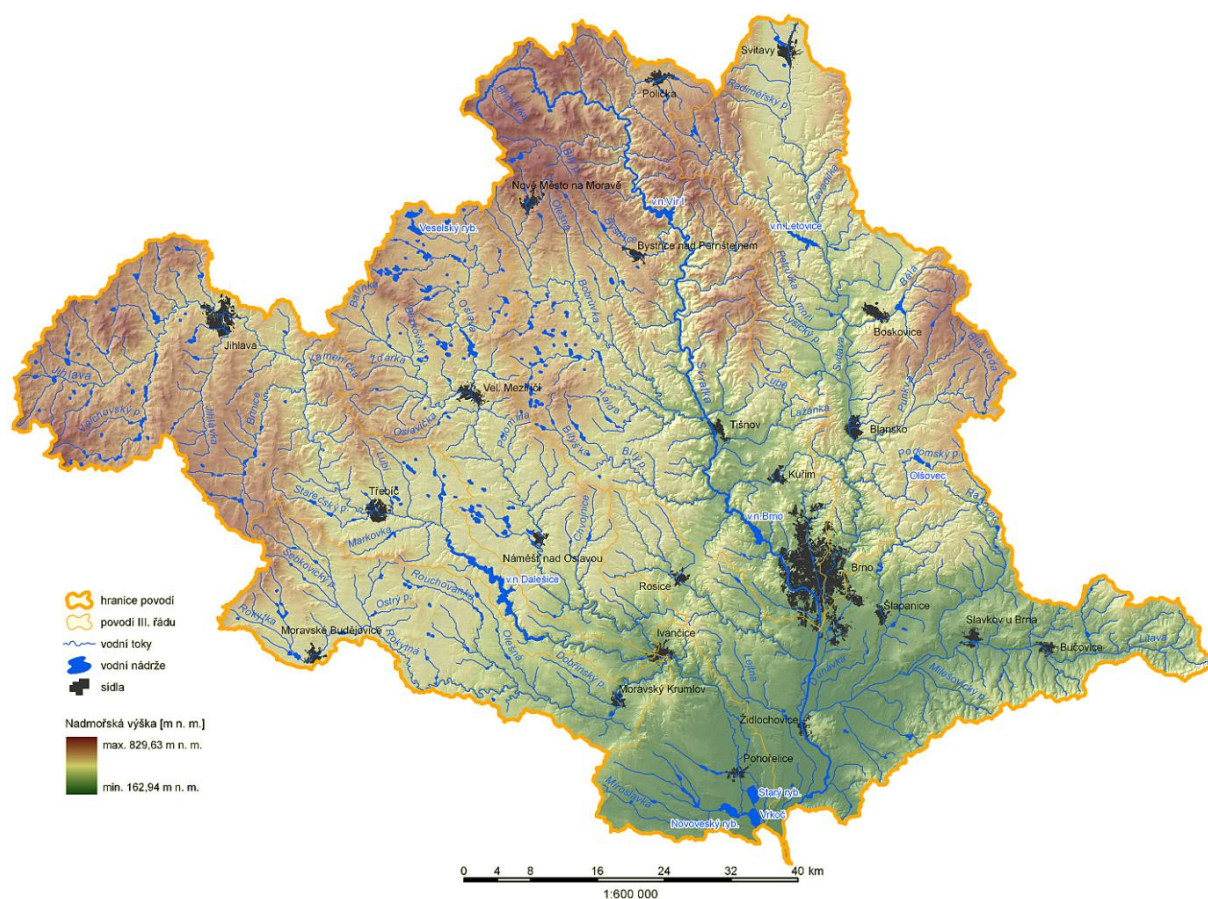
Po uplynutí určitého času (tzv. inkubační doba), kdy probíhá kavitační koroze, nastává kavitační eroze, která způsobuje úbytek materiálu. Během relativně krátké doby tak může dojít k úplnému

proděravění např. lopatek turbíny. Účinek kavitace se projevuje houbovitostí povrchu. Hrubé povrchy odolávají kavitaci hůře, proto se lopatky turbín brousí. [3] [9] [16]

U některých konstrukcí lze kavitaci omezit nebo se jí vyhnout omezením podtlaků, avšak u turbín umožňuje podtlak za oběžným kolem zvýšit využití kinetické energie, proto se přímo navrhují savky, které podtlaky naopak zvyšují. Toto zvýšení však nesmí překročit tzv. kavitační mez. Pro turbíny je proto stěžejní volba výškového umístění oběžného kola (správné určení sací výšky). [3] [9] [16]

### 3 Povodí Svatky

Řeka Svatka (její povodí je na obr. 6) přísluší svou polohou do povodí Dyje, které má na území ČR rozlohu asi 8 666 km<sup>2</sup>, a spolu s tímto povodím patří hydrologicky k úmoří Černého moře. Svatka pramení na jihozápadním úbočí Žákovy hory ve výšce asi 780 m n. m. Od pramene teče horským žlebem směrem severovýchodním, obtéká Žákovu horu (808 m n. m.) a nejvyšší vrchol Českomoravské vrchoviny – Devět skal (836 m n. m.). Protéká obcí, po které je pojmenovaná – Svatkou – a stáčí se jihovýchodním směrem, kterým teče až do Veverské Bítýšky. Na 115. říčním kilometru je přehrazena a tvoří nádrž Vír I. Říční údolí, které je sto až dvě stě metrů široké, se na několika místech zužuje až na několik desítek metrů a dostává se až do hloubky 150 m pod okolní terén. Proto je řeka vhodná, a byla v minulosti využita, pro stavbu přehrad. Pod Veverskou Bítýškou protéká Svatka posledním soutěskou, v níž byla postavena Kníničská přehrada. Pod Brnem, po soutoku se Svitavou, teče Svatka jižním směrem a má nížinatý charakter s malým sklonem, protéká rovinatou oblastí, na 3. říčním kilometru se stéká s řekou Jihlavou, a poté vtéká do střední nádrže VD Nové mlýny a do řeky Dyje. [1] [2]



obr. 6 mapa povodí řeky Svatky [17]

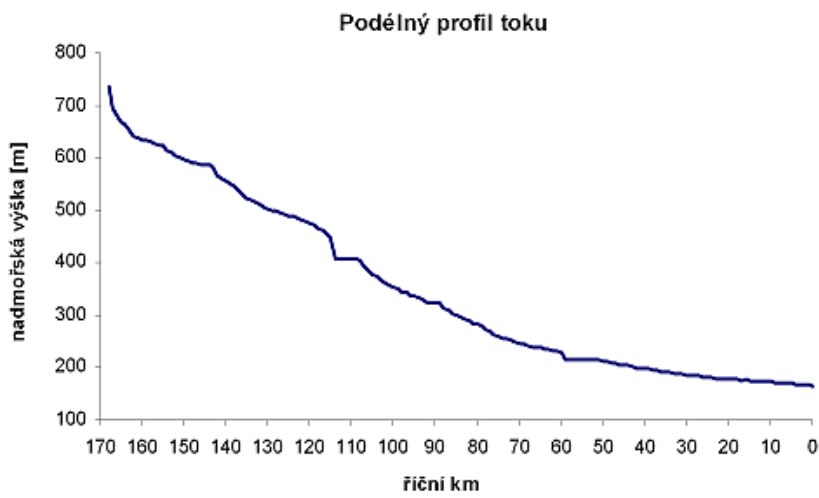
Délka toku od pramene k ústí Svitavy je 136,45 km, k ústí Jihlavy je 173,95 km, celá délka toku Svatky od pramene po vlití do Dyje je 177,00 km. MVE Kníničky jsou na ř. km 56,2, MVE Komín je na ř. km 52,7. [1] [2]

Charakteristika povodí je dána poměrem velikosti povodí  $F$  ke druhé mocnině délky toku  $d$ :

$$\alpha = F/d^2$$

Pro Svratku platí po celé délce toku až po ústí Jihlavy  $\alpha \leq 0,24$ , což je označováno jako protáhlé povodí. [1] [2]

Absolutní spád Svratky od pramene k ústí Jihlavy je 613 m, průměrný relativní spád je 3,52%. Větší spád (nad 5%) má pouze v některých kratších úsecích, např. v místě, kde je VD Vír. Profil toku je zobrazen na obr. 7. Šířka řečiště v horním toku je 4 až 10 m, ve středním toku 20 až 35 m, v dolním toku 35 až 45 m. [1] [2]



obr. 7 profil řeky Svratky [17]

## 4 MVE Kníničky

### 4.1 Historie

Přestože byla výstavba přehrady prováděna až v období druhé světové války, záměr využít zúžení údolí Svatky se objevil již v 19. století a později v roce 1907. V prvním případě byla vypracována projektová dokumentace, v případě druhém se o přehrazení řeky jednalo pouze teoreticky. Později bylo zbudování přehrady iniciováno jednak kvůli zmírnění dopadu povodní a jednak kvůli potřebě vody pro rostoucí brněnský region. [15]

V roce 1924 byl vypracován projekt sdružených přehrad pro celý tok řeky Svatky a v letech 1926 a 1927 potom projekt konkrétně pro údolní přehradu u Kníniček. U zrodu tohoto projektu byl mimo jiné prof. Jan Bažant z Vysoké školy technické v Brně (projektová příprava probíhala i na modelech v laboratořích na dnešním Ústavu vodních staveb VUT v Brně). [15]

Jako účel přehrady byly uváděny tyto funkce:

1. zachycení a zmenšení letních a zimních povodní na řece Svatce pod přehradou
2. získání vodní síly na přehradě
3. získání vody pro užitkový a pitný vodovod Velkého Brna
4. zvětšení normálního průtoku vody pod přehradou, tudíž má umožnit větší rozředění splašků městské kanalizace
5. zavodnění luk a zahrad podél Svatky u Rajhradu

V tomto období byla zahájena výstavba Vranovské přehrady a zkušenosti nabyté při této příležitosti vedly k úpravám na projektu prof. Bažanta, týkající se zejména konstrukčního řešení přepadů a spodních výpustí přehradní zdi. Na těchto úpravách se podíleli Ing. J. Mazel, Ing. Dr. K. Lossman, Ing. Dr. S. Kratochvíl a Ing. A. Homola a spolu s nimi Ing. arch. Grunt. [15] [18]

Místo pro budoucí přehradu bylo vybíráno podle několika kritérií, za všechny jmenujme alespoň využití vhodných morfologických podmínek, které umožňují dosáhnout co největšího objemu nádrže (v tomto případě údolí Svatky) a vybudování hráze ekonomickým způsobem (skalní zúžení údolí u Kníniček). Dále bylo nutné vzít v potaz, zda oblast plánovaného zatopení nebude zasahovat místa, kde jsou hodnotné zemědělské pozemky či kde probíhá těžba nerostného bohatství. V tomto konkrétním případě bylo nutné zejména vyřešit problém týkající se obce Kníničky ležící v oblasti, která se jevila pro budoucí nádrž jako nejlepší. Pozemková reforma, která v Československu probíhala v letech 1919 až 1938, umožnila pro obyvatele Kníniček zajistit kompenzační pozemky.

K zahájení vlastních stavebních prací došlo v roce 1936. V tomto roce se jednalo především o přípravné práce, ať už šlo o převedení vody řeky budoucím stavenišťem, výstavbu domku hrázního a okolních objektů (dočasných i stálých) nebo o zpevňování okolních komunikací. Byla též založena pravá a levá část přehradní zdi. [15]

V roce 1937 začala práce na samotné přehradní zdi, pro kterou bylo zbudováno dřevěné lešení, po kterém byl dopravován všechny materiál, tedy zejména beton a to bez jakékoliv pomocné techniky. Na stavbě byly přítomny pouze míchačky na beton a kompresor, a to zejména z důvodu splnění požadavku ministerstva veřejných prací, aby na stavbě bylo zaměstnáno co nejvíce místních lidí a aby tak byla alespoň částečně snížena krizí způsobená nezaměstnanost. V této době také začalo stěhování obyvatel do nových Kníniček, jejichž výstavba probíhala od roku 1935. [15]

Na jaře 1938 byla dokončena betonáž vývařiště pod spodní výpustí, pracovalo se na uložení vodárenského potrubí v patě levého břehu a měly pokračovat práce na betonáži spodní části přehradní zdi. Pro urychlení, zkvalitnění a usnadnění dalších prací byl na stavbě vztyčen věžový jeřáb. K jeho

použití však již nedošlo, protože se důsledkem povodňové vlny zřítíl. Povodní<sup>1</sup> byla postižena i samotná stavba – došlo k prolomení a zatopení levobřežní jímky a k dalším škodám. Zřícený jeřáb navíc zabraňoval rychlému odklizení následků a celková škoda byla v té době odhadnuta až na 700 000 korun. Práce se přesunula na spodní stavbu elektrárny a na montáž vtokového potrubí. Do konce roku byly následky povodně odstraněny, avšak jeřáb se již nepodařilo zprovoznit, takže stavba i nadále probíhala bez těžké pomocné techniky. [15]

V následujícím roce (1939) stavba pokračovala navzdory historickému vývoji bez přerušení. Probíhaly práce na betonáži středních bloků s bezpečnostními přelivy a na elektrárenské budově. Kromě toho bylo dokončeno vývařiště, odrazníky a závěrečná odrazová zeď. Konečný tvar vývarového prahu, odrazníků, délka a sklon vývaru a další detaily byly realizovány na základě několika desítek modelů<sup>2</sup> vytvořených v laboratořích Ústavu vodních staveb. Na podzim roku 1939 povodňová vlna zatopila celé údolí včetně staré obce Kníničky. [15]

V roce 1940 probíhaly zejména dokončovací práce, jako úprava řeky pod hrází a odstranění dočasných objektů využívaných jako zázemí stavby. Zároveň byla přehrada uvedena do provozu. Po dokončení stavby byly celkové náklady (včetně úpravy komunikací a rekonstrukce jezu v Brně – Komíně) vyčísleny na 59 milionů protektorátních korun. Hlavním investorem bylo tehdejší ministerstvo veřejných prací za přispění města Brna a země Moravsko-slezské (30% resp. 25%). [18]

Stavbu přehrady provedla stavební fa Müller a Kapsa z Prahy, strojní zařízení včetně Kaplanovy turbíny dodaly Českomoravské strojírny v Blansku (dnešní ČKD Blansko) a železárny Vítkovice, další vybavení elektrárny a rozvody zajistila fa F. Křížík z Prahy. [15]

V průběhu války nedošlo k žádným mimořádným událostem. Při výstavbě bylo do přehradní zdi zabudováno potrubí vedoucí od základů až ke koruně pro případnou destrukci, ale přestože se německá armáda nejprve obávala sabotáže a ke konci války naopak sama uvažovala o zničení přehrady při ústupu, k poškození brněnské přehrady nedošlo. [15]

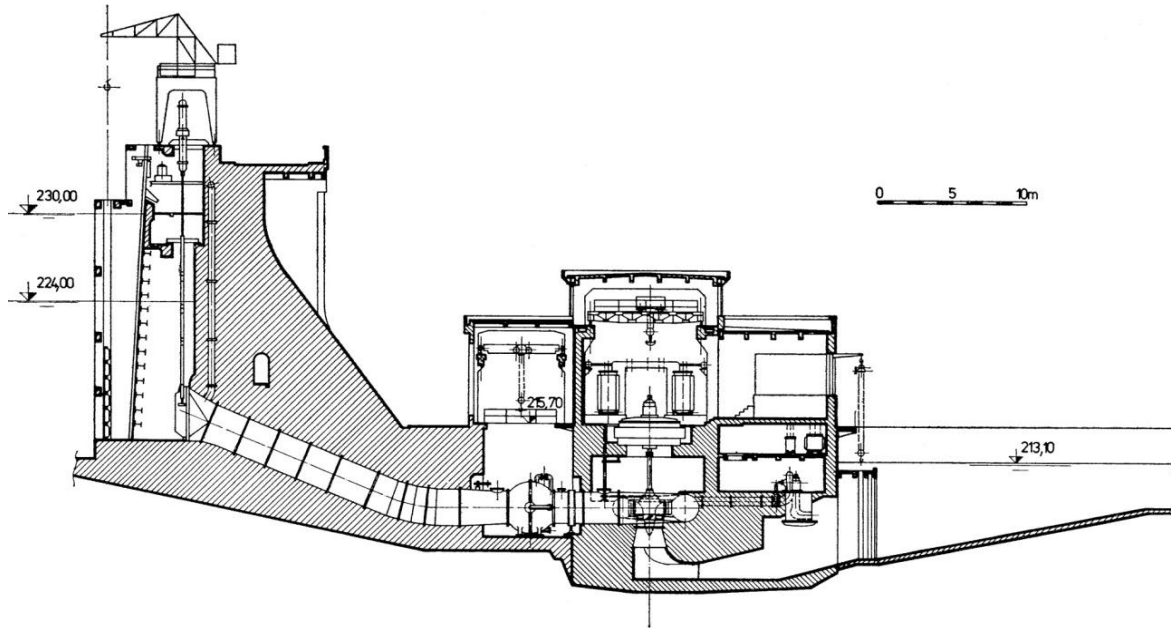
Z modernější historie zmiňme rekonstrukci elektrárny pod přehradou v letech 2009 – 2010, která probíhala během plánovaného vypouštění přehrady organizovaného Povodím Moravy. Nádrž bylo potřeba vyčistit od sinic a provzdušnit dno, na elektrárně bylo třeba vyměnit strojní zařízení, které zde bylo od uvedení elektrárny do provozu v roce 1940. Původní čtyřlopatková Kaplanova turbína byla nahrazena moderní turbínou stejného typu, došlo i k výměně řídicího systému. Díky rekonstrukci došlo ke zvýšení výkonu turbíny z původních 2,88MW na dnešních 3,1MW. [12] [19]

## 4.2 Technické parametry

Přehradní těleso je gravitační (tízná) hráz. Takové hráze mají v příčném průřezu trojúhelníkový tvar, návodní líc je téměř kolmý a tloušťka hráze odpovídá asi 0,8násobku její výšky. Příčný řez Kníničskou přehradou a elektrárnou je na obr. 8. Na rozdíl od klenbových přehrad, které přenášejí značnou část zatížení do boků, přenášejí gravitační hráze zatížení pouze do podloží. Beton jako stavební materiál na gravitační hráze se používá asi od roku 1935, do té doby byly gravitační hráze zděné z kamene na maltu. [1]

<sup>1</sup> Měrná stanice ve Veverské Bítýšce naměřila dne 26. 8. 1938 kulminační průtok  $326 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Tento průtok je roven padesátileté vodě.

<sup>2</sup> 80 modelů v měřítku 1 : 40. Ústav dostal zakázku v roce 1935 a pracoval na ní dva roky.



obr. 8 příčný řez hrází a elektrárnou Kníničky [11]

#### Základní údaje

Nádrž:	VD Brno
Tok:	Svratka, km 56,19
Správce:	Povodí Moravy
Závod:	závod Dyje
Účel:	výroba el. energie ve špičkové vodní elektrárně, snížení povodňových průtoků, rekreace a vodní sporty, plavba, rybářství
Uvedení do provozu:	1940

#### Nádrž

Stálé nadržení:	2,082 mil. m <sup>3</sup>
Hladina stálého nadržení:	219,00 m n. m.
Zásobní prostor:	13,020 mil. m <sup>3</sup>
Hladina zásobního prostoru:	229,08 m n. m.
Prostor retenční neovladatelný:	2,600 mil. m <sup>3</sup>
Hladina retenčního neovladatelného prostoru:	230,08 m n. m.
Celkový objem:	17,702 mil. m <sup>3</sup>
Neškodný odtok:	155,000 m <sup>3</sup> /s
Minimální odtok:	1,370 m <sup>3</sup> /s

## Hráz

Typ hráze:	betonová gravitační
Kóta koruny:	232,50 m n. m.
Šířka koruny:	7,14 m
Délka hráze v koruně:	120,0 m
Výška hráze nade dnem:	23,50 m

## Spodní výpusti

Počet x průměr:	1 × 2000 mm
Provozní uzávěr:	segment
Kapacita při max. hladině:	48,5 m <sup>3</sup> /s

## Bezpečnostní přeliv

Typ bezpečnostního přelivu:	korunový, hrazený – tabule
Počet polí x délka přelivu:	3 × 7,0 m
Kóta přelivu:	225,88 m n. m.
Kapacita při max. hladině:	366 m <sup>3</sup> /s

## Elektrárna

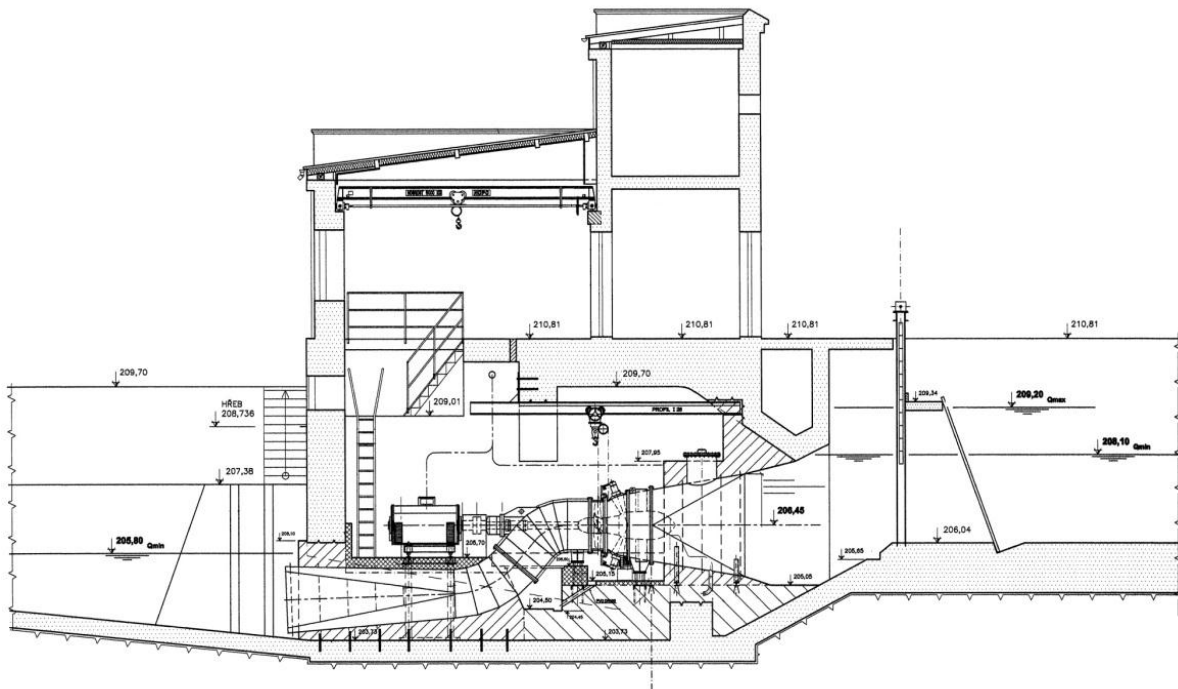
Počet turbín, typ:	1 × Kaplanova vertikální
Výkon elektrárny:	3,1 MW
Hltnost:	18 m <sup>3</sup> /s
Provozovatel:	ČEZ obnovitelné zdroje, s.r.o., Hradec Králové

[10]

## 5 MVE Komín

### 5.1 Historie

Původní jez, který sloužil ke vzdouvání vody pro mlýn č. 136 v Komíně, byl stržen velkou vodou v roce 1900. Povolení k výstavbě nového jezu bylo uděleno v roce 1918 a v roce 1922 byla schválena stavba elektrárny u tohoto jezu. Samotná stavba jezu a elektrárny byla provedena v roce 1923. Řez elektrárnou v její současné podobě je na obr. 9. V roce 1958 byl opraven odpadní kanál od elektrárny a doplněn zához za vývarem, v roce 1966 byla provedena generální oprava: vtok k elektrárně, pilíře, kanály a výměna klapky. V roce 1967 byly ocelové konstrukce opatřeny novými nátěry. [6]



obr. 9 příčný řez MVE Komín

### 5.2 Účel vodního díla

- a) Vyrovnání špičkových průtoků z vodní elektrárny u přehrady Brno na rovnoměrný průtok v toku pod jezem.
- b) Výroba elektrické energie v průtočné vodní elektrárně Komín.
- c) Stabilizace toku.
- d) Zajištění drobných odběrů. [6]

## 5.3 Technické parametry

### 5.3.1 Vzdouvací objekt

Jez je postaven na řece Svratce na ř. km 52,7. Pevná část jezu je betonová s přelivnou hranou na kótě 208,11 m n. m., délka přelivné hrany je 46 m. Před jezovým tělesem je návodní jílový těsnící koberec chráněný kamenným záhozem tloušťky 50 cm v délce 3,30 m a štětová stěna z Larsenek.

Pohyblivá část jezu je tvořena dvěma dutými ocelovými klapkami, každá o délce 23 m a výšce 1,02 m. Kóta vztyčené klapky je 209,13 m n. m. Klapky jsou samostatně ovládané elektrickým pohonem. Zvedací mechanismy jsou umístěny na nábrežních pilířích. V případě nutnosti (poruchy, výpadku elektrické energie) je možno po přesunutí spojky a nasazení kliky na hřídel manipulovat s klapkami ručně. Stávající ovládací mechanismy jsou konstruovány na manipulaci při maximální hladině 209,13 m n. m. Při vyšších hladinách je možná pouze ruční manipulace. Při sklápění je nutné sklápět nejprve pravou klapku, při vztyčování se vztyčuje nejprve klapka levá. Levá klapka by nikdy neměla podběhnout pravou. Tento postup je nutný, aby nedošlo k odtržení těsnění mezi klapkami a následně k netěsnosti na svislé spáře mezi klapkami. [6]

Nábrežní pilíře jsou betonové, na obou březích jsou provedeny na kótu 210,76 m n. m.

Vývar pod jezem je betonový, jeho délka je 11,60 m. Dno těsně pod jezem na kótě 203,96 m n. m. a směrem po proudu se mírně zvyšuje až na kótu závěrečného prahu vývaru 204,67 m n. m. Za vývarem je na délce 10 m proveden těžký kamenný zához tloušťky 80 cm. [6]

### 5.3.2 Elektrárna

Budova elektrárny stojí na levém břehu, elektrárna je průtočná, s krátkým přívodním a odpadním kanálem. Elektrárna je provozována bez stálé obsluhy, turbíny jsou dálkově ovládané z MVE Kníničky. V objektu jsou dva turbínové vtoky a jedna jalová výpust o kapacitě 12 m<sup>3</sup>/s s ručně ovládaným stavidlem. Turbíny typu Kaplan jsou ve vodorovné poloze s dvoukolenovou sací rourou. Každý výtok z turbíny je možno zahradit provizorním hrazením. V roce 2007 byl jeden TG demontován a nahrazen novým, moderním, plně automatickým turbogenerátorem s kolenovou turbínou Hydrohrom a generátorem „na přímo“ bez převodu. [6]

počet soustrojí	2 (1 turbína HH SK 1100, 1 turbína Storek)
hltnost – max. průtok	5,2 m <sup>3</sup> /s + 4,0 m <sup>3</sup> /s = 9,2 m <sup>3</sup> /s
rok uvedení do provozu	TG 2 – 2007, TG 1 – 1923
dosažitelný výkon	133 + 102 = 235 kW
instalovaný výkon	140 + 105 = 245 kW
max. hrubý spád, při Q <sub>355</sub>	3,35 m
předpokládaná doba provozu v průměrně vodném roce	345 dní
úroveň max. provoz. hladiny v nadjezí	209,13 m n. m.
generátory	2 ks synchronní - horizontální s pomocným generátorem a regulátorem napětí
Výkon	144 kVA/140 kW, 132 kVA/105,6 kW
Otáčky	710 ot. /min., 750 ot. /min.

Vtok k elektrárně je těsně nad jezem, má 3 pole, každé šířky 2,5 m, střední betonové pilíře jsou šířky 0,75 m. Vtok je opatřen česlicemi a lze ho zahradit provizorním hrazením. Přivaděč k MVE má délku 14,0 m, odpad od elektrárny má délku 67,0 m. Příčný profil přivaděče a odpadu je obdélníkový, šířky 10,0 m a průměrné hloubky 4,0 m. [6]

Vlastníkem elektrárny, přítokového náhonu a odpadního kanálu je společnost ČEZ Obnovitelné zdroje, s.r.o., Hradec Králové. [6]

### 5.3.3 Rozdělení hladin a přehled vodohospodářské kapacity

Pevná přelivná hrana jezu – kóta hladiny stálého nadržení	208,11 m n. m.
Objem prostoru stálého nadržení	143 834 m <sup>3</sup>
Kóta vztyčené klapky – hladiny zásobního (vyrovnávacího) objemu	209,13 m n. m.
Vyrovnávací objem od kóty 208,11 po kótu 209,13 m n. m.	124 929 m <sup>3</sup>
Celkový objem zdrže ode dna po kótu vztyčené klapky	268 763 m <sup>3</sup>
Délka vzdutí	cca 2 000 m

#### Průtočné kapacity

Při sklopené klapce a hladině na kótě 209,13 m n. m. proteče jezem	73 m <sup>3</sup> /s
Maximální průtok elektrárnou Komín	9,2 m <sup>3</sup> /s
Minimální průtok elektrárnou	1,0 m <sup>3</sup> /s

Kontrolu provozu (měření hladin a průtoků) jezu Komín provádí vodohospodářský dispečink a jezny v monitorovací stanici s automatickým sběrem a přenosem dat Brno-Poříčí. Na jezu Komín nejsou zařízení pro pozorování a měření instalována. [6]

### 5.3.4 Hospodaření s vodou a dodržování hladin

Vyrovnávací objem je dán kótou pevného prahu 208,11 m n. m. a kótou vztyčené klapky 209,13 m n. m. Hospodaření s vodou se provádí v rozmezí tohoto vyrovnávacího prostoru s objemem 124 929 m<sup>3</sup>. Tento prostor je určen k zachycení špičkových průtoků z MVE Kníničky a k vyrovnání těchto průtoků na množství rovnoměrně vypouštěné přes MVE Komín do toku pod jez.

Přítok do jezové zdrže je závislý na provozu MVE Kníničky, jejíž provoz se řídí dispečerským grafem uvedeným v manipulačním řádu. Stávající praxe provozu MVE Kníničky rozděluje množství zaručené k odpuštění do dvou shodných denních špiček o konstantním průtoku, resp. výkonu. [6] [4]

Vyrovnávací objem dostačuje pouze na vyrovnání průtoků do 3,5 m<sup>3</sup>/s při provozu MVE Kníničky ve dvou špičkách s rozdělením objemu po 50 % denního zaručeného objemu. Toto množství odpovídá přibližně provozu MVE Kníničky 2+2 hodiny při průtoku 21,88 m<sup>3</sup>/s. Pokud jsou průměrné denní odtoky vyšší, prodlužuje se doba špičky v MVE Kníničky a přebytek objemu nad vyrovnávací objem 124 929 m<sup>3</sup> volně odtéká do toku přepadem přes klapky. Maximální průtok, který může přepadat přes vztyčenou jezovou klapku je 31,4 m<sup>3</sup>/s, kdy je tloušťka přepadajícího paprsku 50 cm. Na toto množství je dimenzována konstrukce klapky. Prodloužením špičky se zkracuje přestávka a lze zvýšit i odtok přes MVE Komín. [6]

Při běžném hospodaření se voda z vyrovnávacího prostoru zásadně vypouští přes turbíny průtočné vodní elektrárny Komín. Zpracovávají se veškeré odtoky od  $Q_{\min.} = 1,0 \text{ m}^3/\text{s}$  až do  $Q_{\max.} = 9,2 \text{ m}^3/\text{s}$  (max. hltnost obou turbín). [6]

Při vyřazení MVE Komín z provozu se vyrovnává odtok jalovou propustí v elektrárně při vztyčených klapkách na jezu. O každém vyřazení elektrárny Komín z provozu musí být vždy informován hrázný přehrady Brno. [6]

## 5.4 Hydrologické údaje

Hydrologické údaje byly vypracovány a ověřeny Hydrometeorologickým ústavem Praha - hydrologickým střediskem v Brně dne 24. 10. 1984 č. j. 217-4-84 /M-denní a N-leté průtoky/, údaje byly revidovány ČHMÚ BRNO v r. 1995. [6]

	Svratka – Veverská Bítýška	Svratka – Brno-Poříčí
Plocha povodí	1 480,17 km <sup>2</sup>	1 637,68 km <sup>2</sup>
Dlouhodobý průměrný roční průtok	$Q_a = 7,96 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_a = 7,68 \text{ m}^3/\text{s}$
Specifický odtok	$q_a = 5,38 \text{ l/s/ km}^2$	$q_a = 4,69 \text{ l/s/ km}^2$
Průměrný roční úhrn srážek	$H_s = 653 \text{ mm}$	$H_s = 643 \text{ mm}$

M-dní	Veverská Bítýška	Brno – Poříčí <i>ovlivněné v.d. Brno</i>
	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
Q <sub>30d</sub>	17,7	18,1
Q <sub>90d</sub>	8,69	8,55
Q <sub>180d</sub>	4,86	4,46
Q <sub>270d</sub>	3,16	2,85
Q <sub>330d</sub>	1,91	1,84
Q <sub>355d</sub>	1,16	1,26
Q <sub>364d</sub>	0,359	0,82

Teplotní poměry v profilu stanice Brno-Pisárky:

Průměrná roční teplota vzduchu	8,4 °C
Průměrná roční teplota vody	9,5 °C /1937-65/
Max. dosud zjištěná teplota vody	25,3 °C /1937/
Min. dosud zjištěná teplota vody	0 °C /11x/

[6]

## 6 Matematický model

Matematický model soustavy Kníničky – Komín byl vytvořen v programu MS Excel s časovým krokem 5 min na základě výše uvedených údajů týkajících se této soustavy. Pro zjednodušení byla výška spodní hladiny určena jako konstanta na kótě 206,29 m n. m.

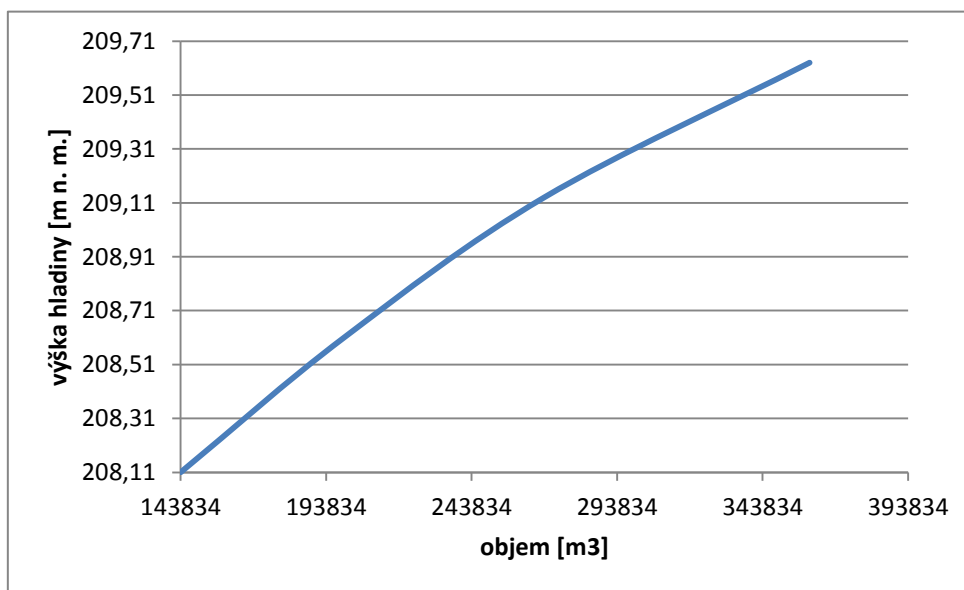
### 6.1 Varianta 1 – současný stav

Varianta 1 popisuje současný stav MVE Komín, kdy je v provozu pouze jedna turbína (TG 2). Jako počáteční výška hladiny byla zvolena kóta hladiny stálého nadržení 208,11 m n. m. Špičkový provoz MVE Kníničky je rozdělený do dvou denních špiček po třech hodinách s konstantním průtokem 22 m<sup>3</sup>/s.

Na základě údajů z manipulačního řádu MVE Komín byly vytvořeny závislosti, které jsou vyjádřeny graficky na následujících grafech a doplněny vhodnými rovnicemi, které tyto závislosti popisují.

Výška hladiny v závislosti na aktuálním objemu v nádrži:

$$H_h = -1E - 17 * V_{KOM}^3 - 4E - 12 * V_{KOM}^2 + 1E - 5 * V_{KOM} + 206,6$$



Obr. 10 závislost výška hladiny – objem

Ztrátový průtok přes klapku v závislosti na tloušťce přepadajícího paprsku:

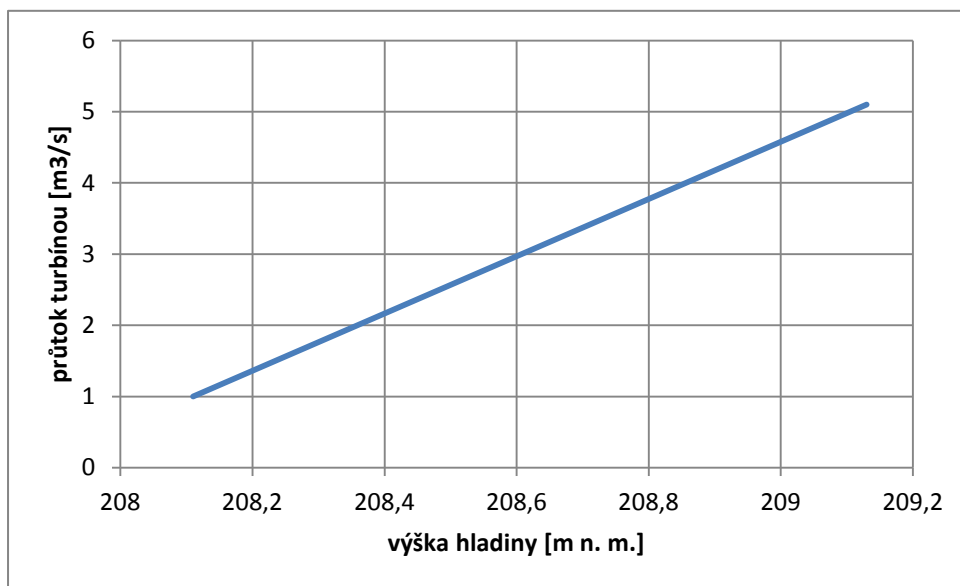
$$Q_z = -5E - 5 * T_p^3 + 0,0117 * T_p^2 + 0,1741 * T_p - 0,0546$$



Obr. 11 závislost tloušťka paprsku – ztrátový průtok

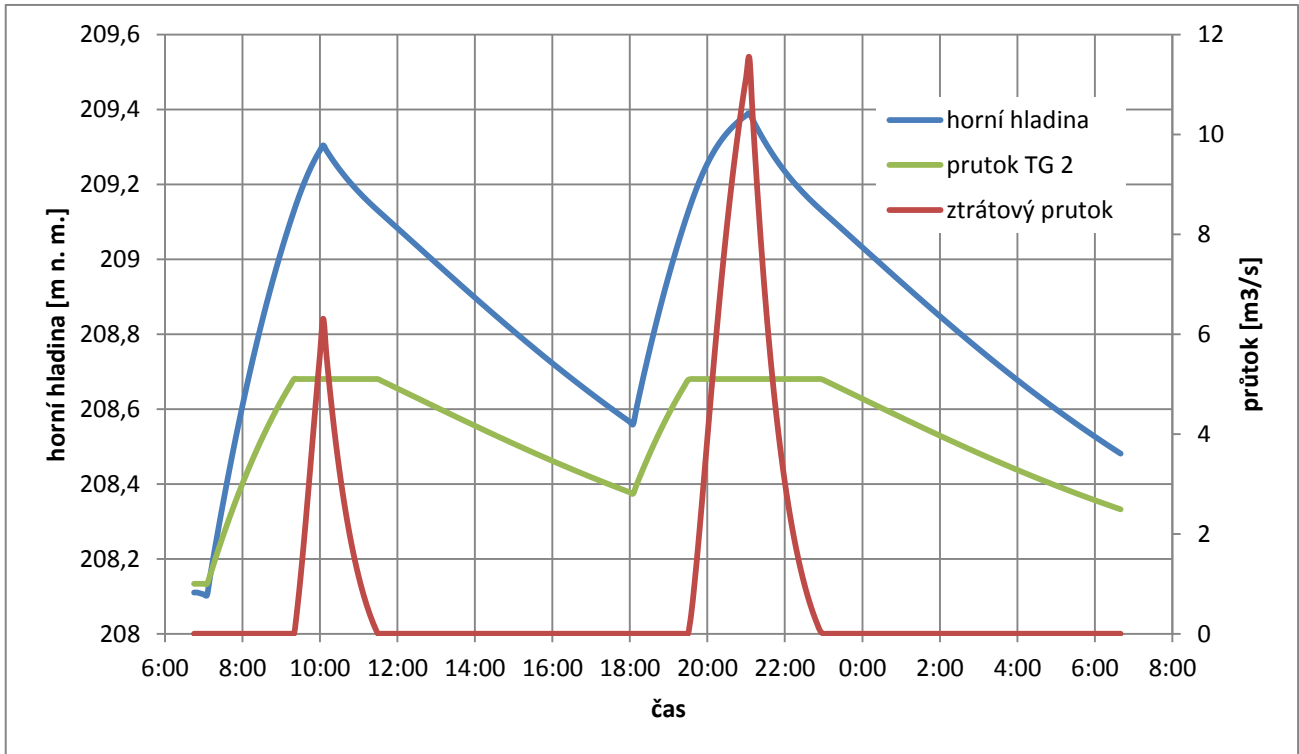
Regulace turbíny TG 2 byla pro zjednodušení modelu zvolena jako lineární závislost průtoku turbínou na aktuální výšce hladiny v nádrži. Minimální průtok turbínou je 1 m<sup>3</sup>/s, maximální je 5,1 m<sup>3</sup>/s.

$$Q_{TG\ 2} = 4,0196 * H_h - 835,52$$



Obr. 12 závislost výška hladiny – průtok turbínou

Výše popsané závislosti byly použity pro vytvoření modelu průběhu horní hladiny (která je závislá na přítoku vody z MVE Kníničky a odtoku – průtoku turbínou a přepadu přes klapku) a průběhu ztrátového průtoku a průtoku turbínou. Průběhy jsou popsány v časovém okně od 6:45 do 6:40 následujícího dne. V ideálním případě by výška hladiny po skončení špičky měla klesnout na hodnotu kóty stálého nadržení 208,11 m n. m. V tom je navrhovaný model nedokonalý.

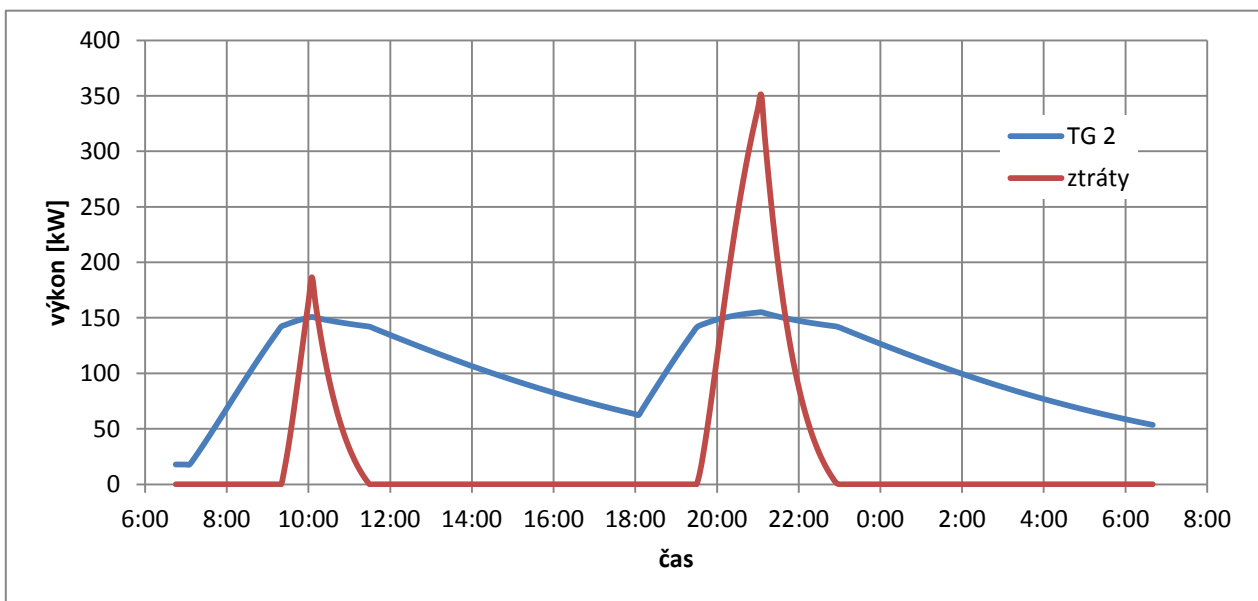


Obr. 13 průběh horní hladiny a průtoků (varianta 1)

Pro ilustraci je zahrnutý i graf zobrazující průběh ztrátového výkonu a výkonu turbíny. Tyto výkony jsou v každém kroku vypočítávány z rovnice pro výkon:

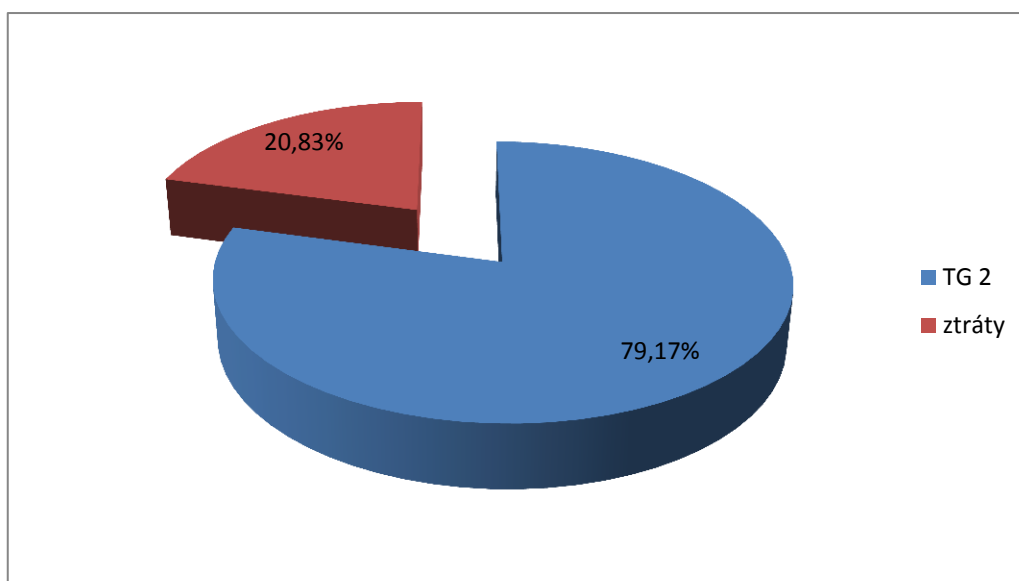
$$P = H * Q * \rho * g * \eta$$

Pro zjednodušení modelu je účinnost 100%, čili  $\eta = 1$ .



Obr. 14 průběh jalového výkonu a výkonu turbíny (varianta 1)

Energetický poměr pro variantu 1 je zobrazen v koláčovém grafu (obr. 15).



Obr. 15 energetický poměr turbíny a ztrát (varianta 1)

## 6.2 Návrh turbíny

Jednou z možností vylepšení současného stavu soustavy Kníničky – Komín je instalace nové turbíny na místo původní turbíny (TG 1) z roku 1923. V tomto případě je navržena vírová turbína. Při návrhu se vychází z následujících vztahů:

Průměr oběžného kola:

$$D_{OK} = \sqrt{\frac{Q_N}{Q_{11} \cdot \sqrt{H_N}}}$$

kde  $Q_N$  je návrhový průtok, který se volí z křivky M-denních průtoků (obr. 16) v intervalu 90 – 120 dnů,  $H_N$  je návrhový spád, který se volí v intervalu od minimálního do maximálního spádu a  $Q_{11}$  je jednotkový průtok, který se určuje z charakteristiky modelové vírové turbíny (příloha č. 2).

Otáčky oběžného kola:

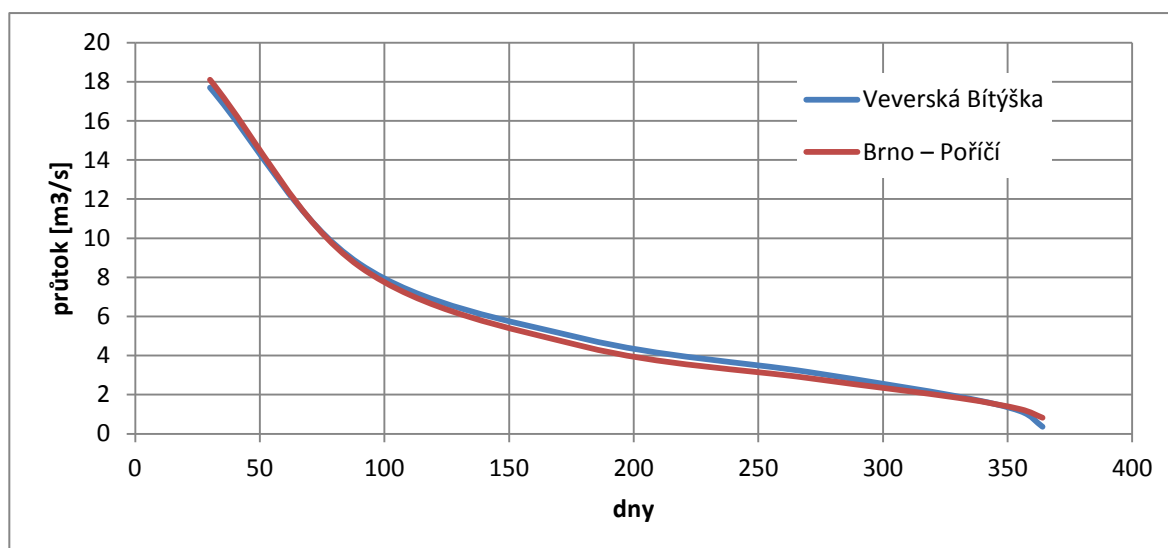
$$n = \frac{n_{11} \cdot \sqrt{H_N}}{D_{OK}}$$

Kde  $n_{11}$  jsou jednotkové otáčky, které se určují z charakteristiky vírové turbíny (příloha č. 2),  $H_N$  je návrhový spád a  $D_{OK}$  je průměr oběžného kola.

Parametry vírové turbíny:

Průměr oběžného kola	$D_{OK}$	940 mm
Návrhový spád	$H_N$	2,8 m
Maximální spád	$H_{max}$	3,34 m
Minimální spád	$H_{min}$	1,82 m

Maximální průtok	$Q_{\max}$	3,06 m <sup>3</sup> /s
Minimální spád	$Q_{\min}$	2,26 m <sup>3</sup> /s
Otáčky	n	375 min <sup>-1</sup>
Výkon	$P_{TG\ 1}$	40,3 – 100,2 kW



Obr. 16 M-denní průtok

### 6.3 Varianta 2

Varianta 2 předpokládá instalaci navržené vírové turbíny na místo původní turbíny (TG 1) z roku 1923. Tato turbína reaguje na výšku horní hladiny – spouští při horní hladině na kótě 208,4 m n. m. a je řízená hladinovou funkcí, která reaguje na trend hladiny. Druhá turbína je stejná jako ve variantě, avšak její regulace má strmější průběh. Je popsána funkcí:

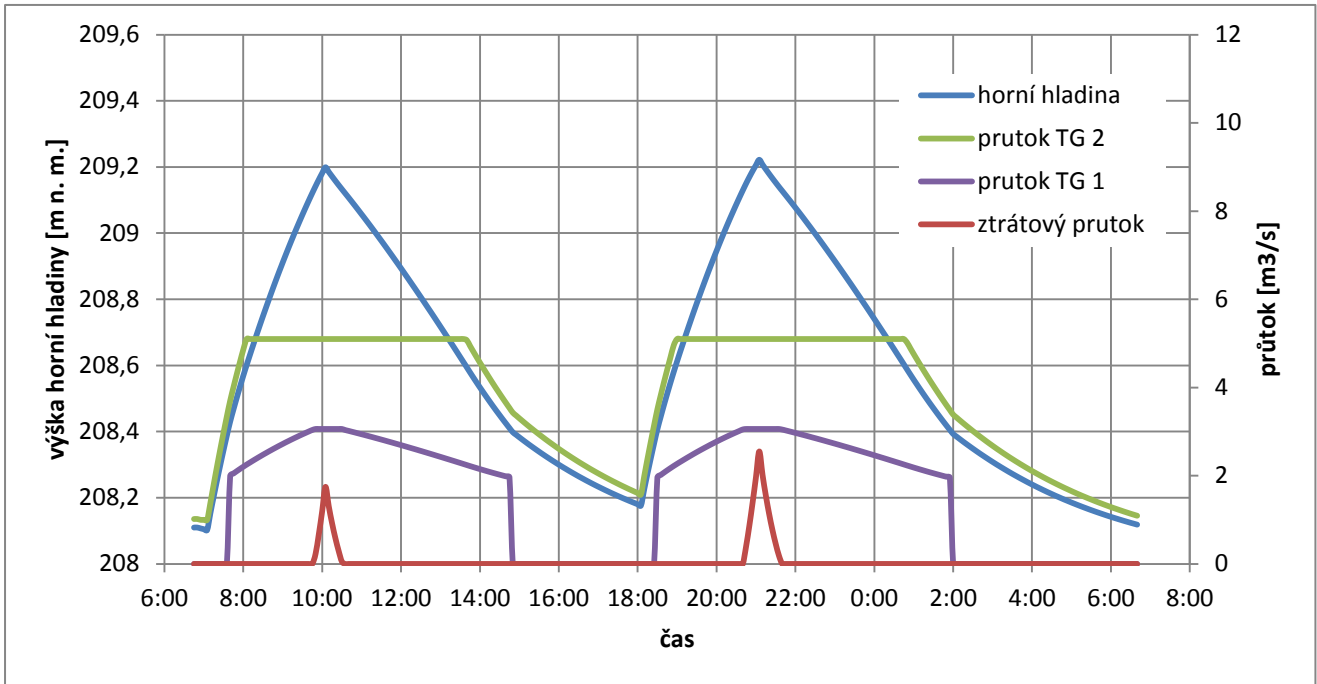
$$Q_{TG\ 2} = 8,3673 * H_h - 1740,3$$

Snahou bylo, aby provozní doba obou turbín byla co možná rovnocenná a nedocházelo tak k jejich nerovnoměrnému opotřebení.

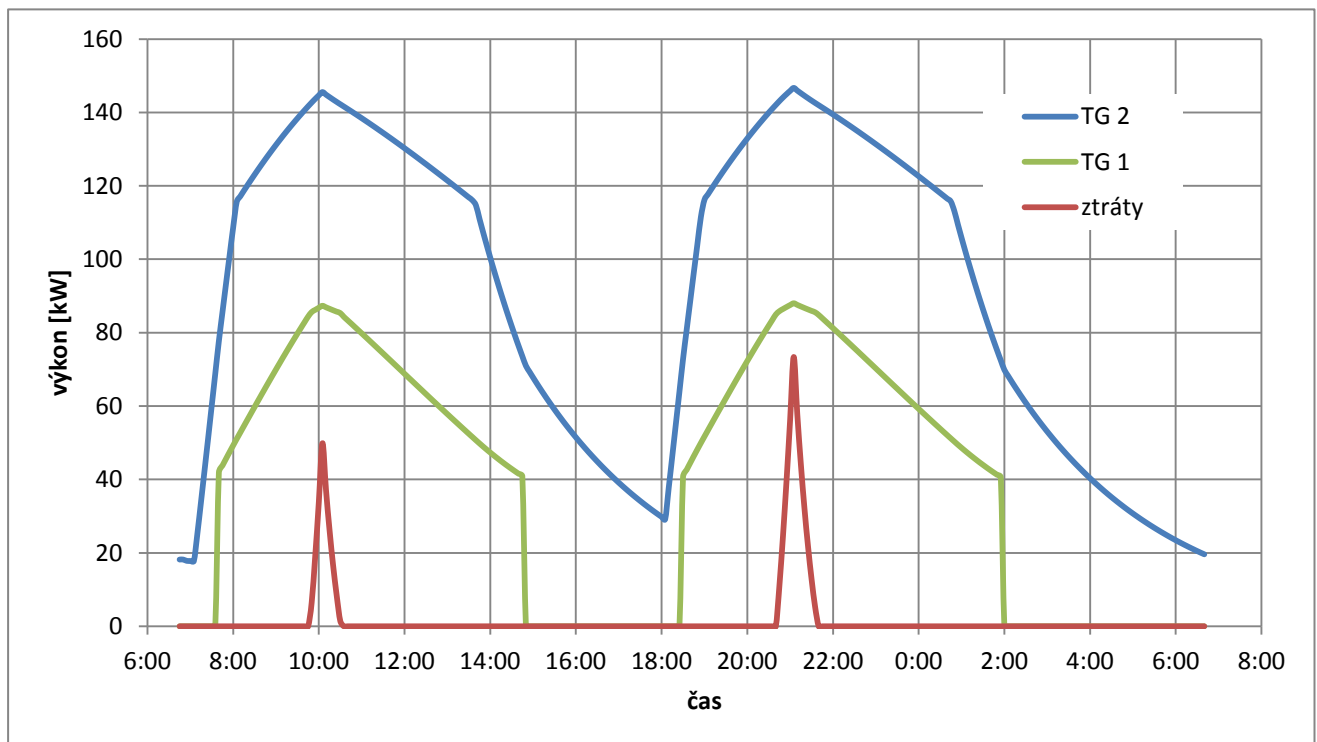
Stejně jako u varianty 1 byl vytvořen model průběhu horní hladiny a průtoku přes klapku a průtoku turbínami (obr. 17). Průběhy jsou popsány v časovém okně od 6:45 do 6:40 následujícího dne, takže pokrývají 24 hodin provozu MVE. Jako počáteční výška hladiny byla zvolena kóta hladiny stálého nadržení 208,11 m n. m. Špičkový provoz MVE Kníničky je rozdělený do dvou denních špiček po třech hodinách s konstantním průtokem 22 m<sup>3</sup>/s.

Stejně jako u předchozí varianty je pro ilustraci zahrnutý i graf zobrazující průběh ztrátového výkonu a výkonu obou turbín (obr. 18) a koláčový graf zobrazující energetický mix varianty 2 (obr. 19).

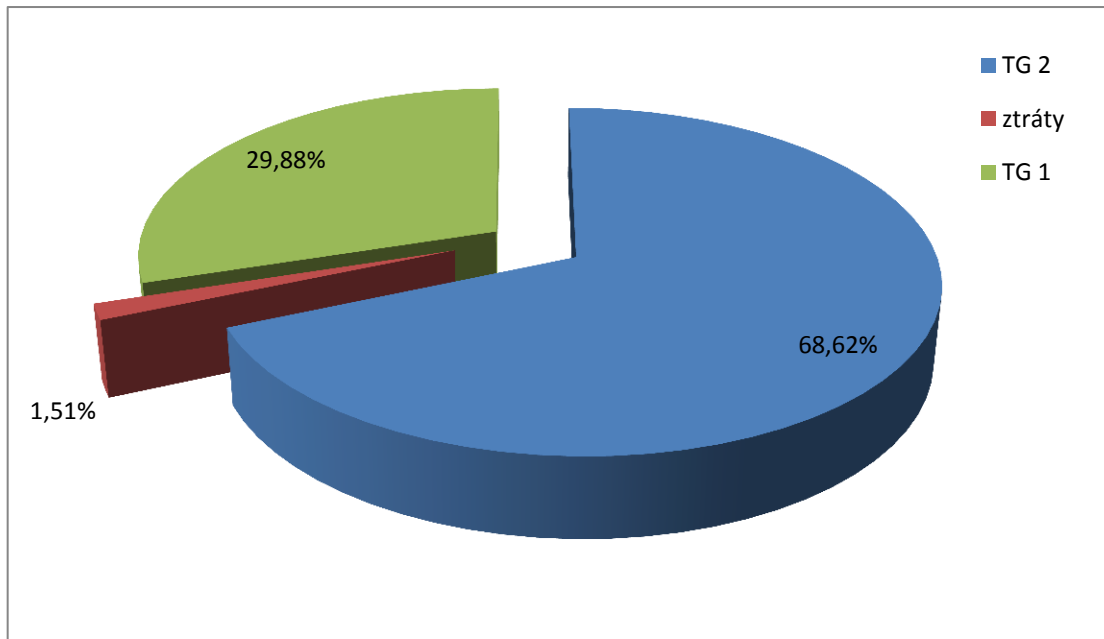
Analýza provozu soustavy MVE Kníničky a MVE Komín



Obr. 17 průběh horní hladiny a průtoků (varianta 2)



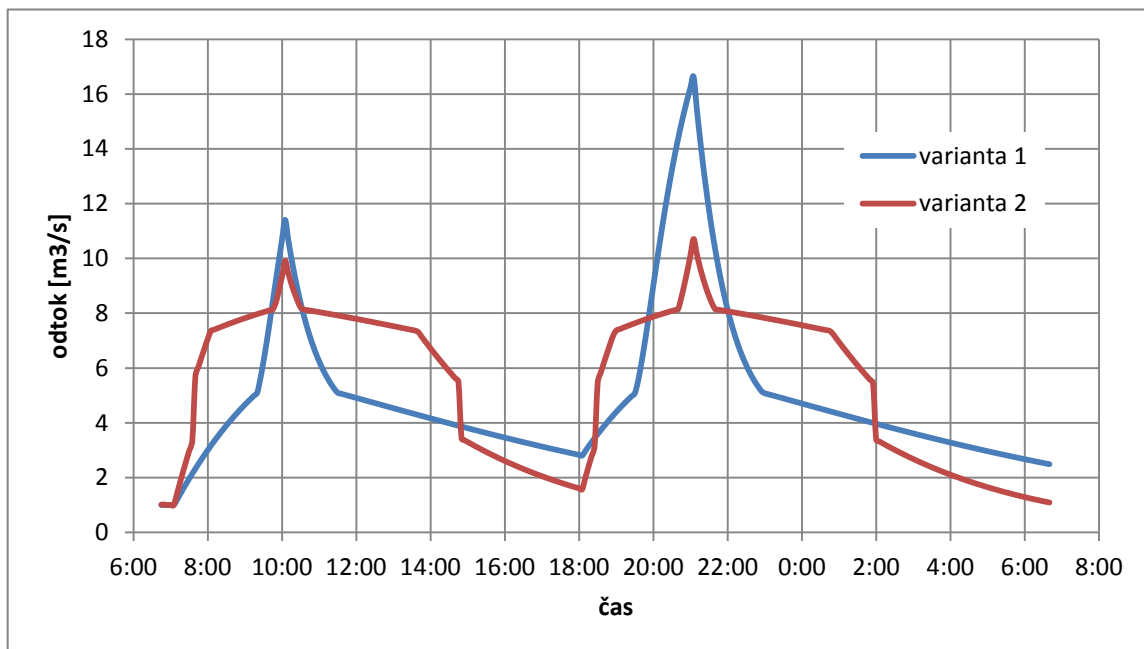
Obr. 18 průběh jalového výkonu a výkonů turbín (varianta 2)



Obr. 19 energetický poměr turbín a ztrát (varianta 2)

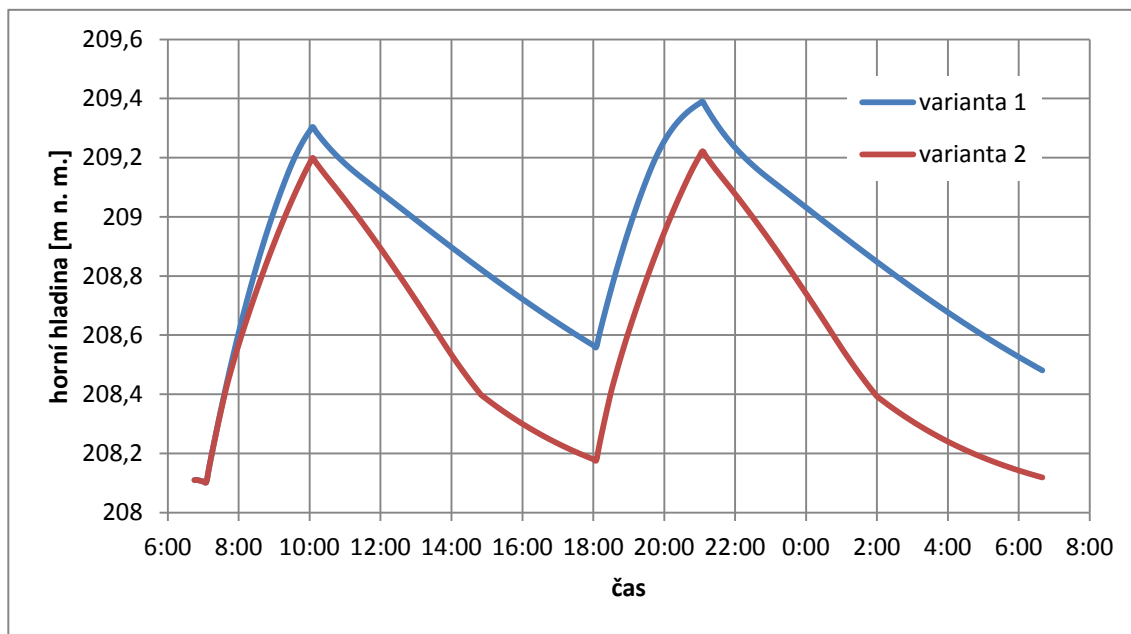
#### 6.4 Srovnání variant 1 a 2

Obě varianty se shodují v počátečních podmínkách – délkou špičkového provozu MVE Kníničky (2 x 3 hodiny), odtokem z MVE Kníničky v době špičky (22 m<sup>3</sup>/s) a konstantou dolní hladiny na MVE Komín (206,29 m n. m.). Ostatní parametry jsou závislé na jednotlivých variantách.

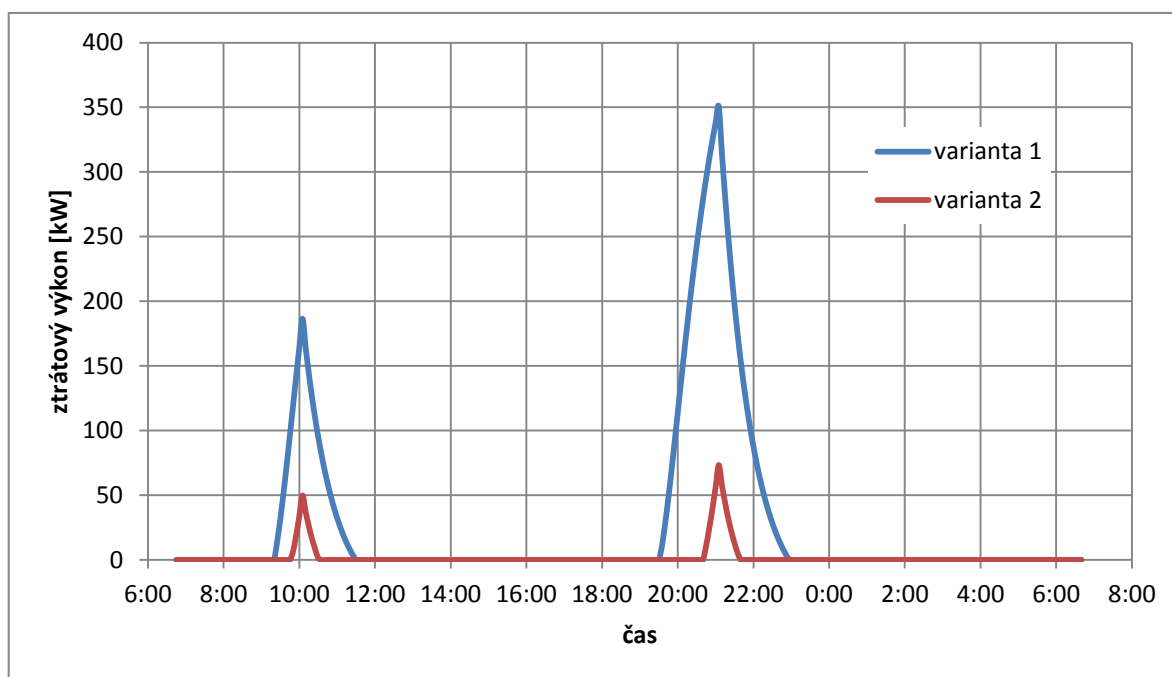


Obr. 20 srovnání odtoků (varianta 1 a 2)

Porovnávání obou variant se zaměřuje zejména na body zmiňované v kapitole 5.2 Účel vodního díla. Vyrovnání špičkových průtoků na rovnoměrný průtok v toku pod jezem je zobrazen na obr. 20. Navrhovaná varianta pro optimalizaci skutečně transformuje nerovnoměrné průtoky lépe než stávající stav. Tato pozitivní změna je patrná i z grafické závislosti průběhu horní hladiny (obr. 21), který přímo souvisí i s přepadem vody přes klapku a tedy se ztrátovým výkonem. Průběh ztrátového výkonu je znázorněn na obr. 22.

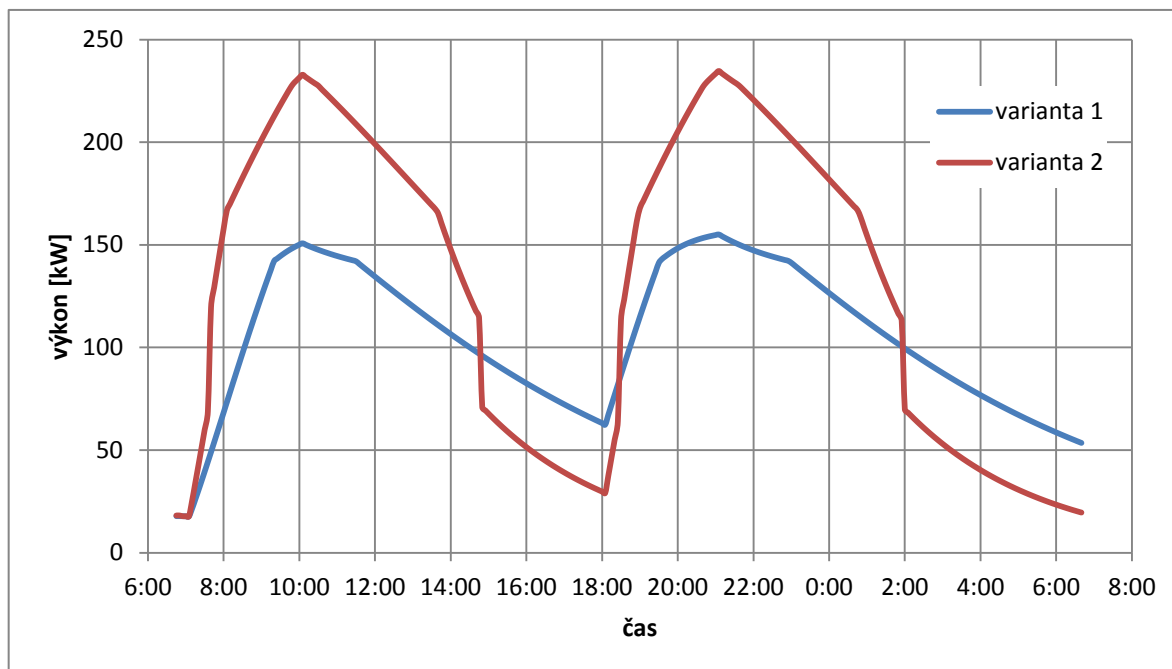


Obr. 21 srovnání průběhů horní hladiny (varianta 1 a 2)

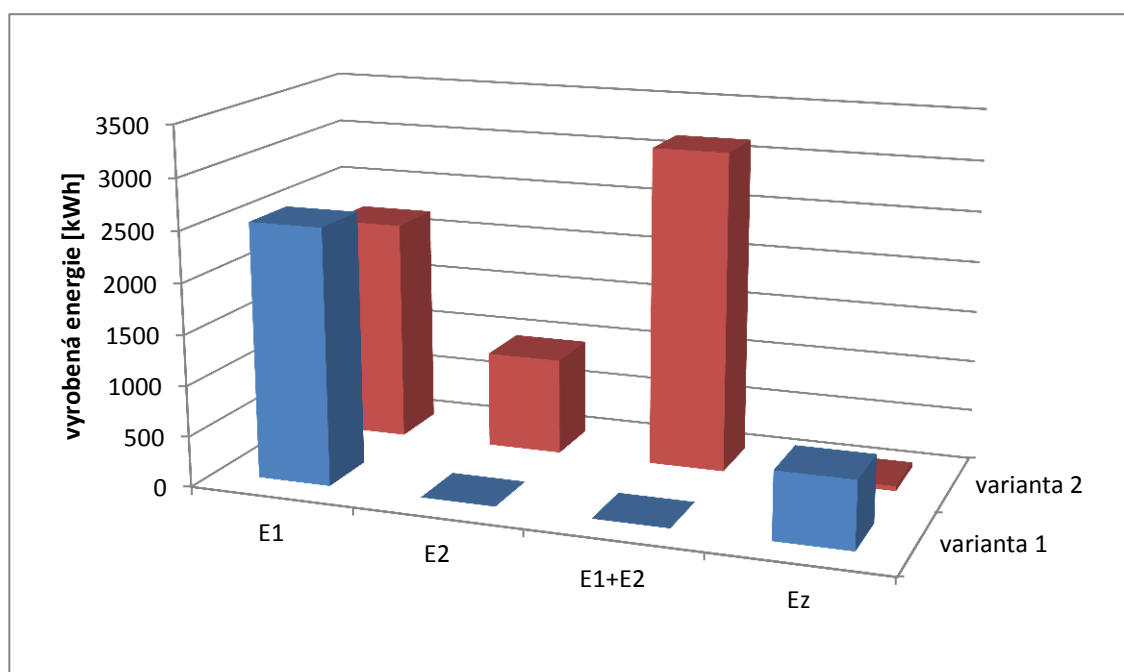


Obr. 22 srovnání ztrátových výkonů (varianta 1 a 2)

Dalším účelem MVE Komín je výroba elektrické energie. Porovnání výkonů obou variant je zobrazeno na obr. 23. I v tomto případě lze navrhovanou variantu hodnotit kladně. Zlepšení je patrné i z koláčových grafů znázorňujících energetický mix pro danou variantu (obr. 15 a 19). Celková denní výroba energie je potom na obr. 24. Varianta 2 zvyšuje denní výrobu asi o 25%.



Obr. 23 srovnání výkonů (varianta 1 a 2)



Obr. 24 srovnání vyrobené energie (varianta 1 a 2)

## 7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo popsat provoz soustavy špičkové vodní elektrárny Kníničky ve vazbě s vyrovnávací vodní elektrárnou Komín, vytvořit vhodný matematický model soustavy a pomocí tohoto modelu provoz optimalizovat.

Pro uvedení do problematiky malých vodních elektráren je na začátku práce zařazena kapitola, která MVE rozděluje do několika skupin podle uvedených kritérií, a také popisuje a uvádí příklady strojního vybavení MVE. Dále je zařazena kapitola, která stručně popisuje povodí řeky Svatky, na které je soustava vybudována. Následuje popis MVE Kníničky a MVE Komín, a to jak z historického hlediska, tak z hlediska strojního vybavení a technických parametrů. V poslední části je potom popsán matematický model soustavy.

V blízkosti špičkových elektráren se zpravidla budují vzdouvací objekty, jejichž úkolem je transformovat špičkový průtok na rovnoměrný průtok v toku pod jezem. Dalším účelem těchto zařízení je využití hydropotenciálu dané lokality. Zejména těmito dvěma problémy se optimalizace řídicího systému zabývala.

Matematický model byl vytvořen v prostředí MS Excel, ve kterém byla pomocí vhodných vztahů vytvořena funkční závislost mezi jednotlivými parametry, kterými jsou odtok z MVE Kníničky, objem v nádrži MVE Komín, nadmořská výška horní hladiny MVE Komín, spád, průtok turbínou (turbínami) a její (jejich) výkon, jalový přepad přes klapku, ztrátový výkon a denní výroba energie.

Varianta 1 popisuje současný stav soustavy, kdy je v provozu pouze jedna turbína (TG 2). Tato varianta je zde uvedena pro srovnání s navrhovanou optimalizací. Následuje návrh vírové turbíny, kterou by bylo možno umístit místo původní turbíny (TG 1) z roku 1923. Varianta 2 předpokládá instalaci této turbíny a upravuje regulační funkci TG 2 tak, aby byla v okamžiku plnění jezové zdrže progresivnější.

Z hlediska rovnoměrného průtoku a využití hydropotenciálu lokality lze konstatovat, že navržená optimalizace je úspěšná. Odtok z MVE Komín je rovnoměrnější, bez výrazných špičkových výkyvů, které jsou patrné ve variantě 1. Varianta 2 zároveň zlepšuje průběh horní hladiny a tím omezuje přepad přes klapku, a tedy snižuje jalový výkon. Spoluprací současné turbíny (TG 2) s teoreticky nově instalovanou vírovou turbínou lze dosáhnout vyššího celkového výkonu MVE, a tedy zvýšení celkové denní výroby energie asi o 25%.

Je třeba podotknout, že přesnost modelu je závislá na přesnosti vstupních dat, která jsou od provozovatele soustavy Kníničky – Komín dostupná.

## 8 Seznam použité literatury

- [1] BROŽA, Vojtěch. *Přehrady Čech, Moravy a Slezska*. Vyd. 1. Liberec: Knihy 555, 2005. 251 s. ISBN 80-86660-11-7.
- [2] ČERMÁK, Miroslav. *Svratka: hydrologická studie*. Brno: Krajský národní výbor, 1950. 88 s.
- [3] GABRIEL, Pavel, František ČIHÁK a Petr KALANDRA. *Malé vodní elektrárny*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998. 321 s. ISBN 80-01-01812-1.
- [4] HUDEC, Martin. *Analýza provozu soustavy MVE Kníničky a MVE Komín*. Brno: Vysoké učení technické, 2012.
- [5] LAIKA, Viktor. *Malá voda* [online]. 2001 [cit.2013\_04\_12]. Dostupné z: <<http://mve.energetika.cz/>>.
- [6] Manipulační řád VD Komín. 2007.
- [7] *Malé vodní elektrárny – Základní požadavky*. Technická norma ČSN 75 2601. 2010.
- [8] MEIER, Ueli. *Local Experience with Micro-Hydro Technology*. St. Gall: SKAT, 1981. Dostupné z: <[http://www.cd3wd.com/cd3wd\\_40/JF/430/22-512.pdf](http://www.cd3wd.com/cd3wd_40/JF/430/22-512.pdf)>.
- [9] MELICHAR, Jan, Jaroslav BLÁHA a Jan VOJTEK. *Malé vodní turbíny: konstrukce a provoz*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1998. 299 s. ISBN 80-01-01808-0.
- [10] Povodí Moravy. *VD Brno* [online]. [cit.2013\_04\_10]. Dostupné z <<http://www.pmo.cz/cz/uzitecne/vodni-dila/brno/>>.
- [11] Technická dokumentace MVE Kníničky.
- [12] SCHREIER, Martin. *Vodní elektrárna na Prýglu po roce omládla* [online]. c2010\_05\_06, [cit.2013\_04\_10]. Dostupné z: <<http://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/2880.html>>.
- [13] ŠAMÁNEK, Libor. *Obnovitelné zdroje energie a možnost jejich uplatnění v České republice*. Praha: ČEZ, a.s., 2007, 183 s. Kapitola 2, *Další rozvoj hydroenergetiky*, s. 43-78.
- [14] ŠKROPÍK, Jiří. *Vodní turbíny a turbočerpadla* [online]. c2011\_06, poslední revize 2013\_02 [cit.2013\_04\_10]. Dostupné z: <<http://www.transformacni-technologie.cz/vodni-turbiny-a-turbočerpadla.html>>.
- [15] ŠLEZINGR, Miloslav. *Brněnská přehrada a lidé kolem ní*. Brno: Vysoké učení technické, 1998, 83 s., [4] s. barevných obrazových příloh. ISBN 80-214-1127-9.
- [16] ŠOB, František. *Hydromechanika*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008, 238 s. ISBN 978-80-214-3578-0.

- [17] Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka. *Základní charakteristika toku Svratka a jeho povodí* [online]. c2011, [cit.2013\_04\_11]. Dostupné z: <[http://www.dibavod.cz/data/download/char\\_092\\_svratka\\_1.tif](http://www.dibavod.cz/data/download/char_092_svratka_1.tif)>.
- [18] ŽÁK, Martin. *Kníničská přehrada* [online]. c2008\_11\_1 [cit.2013\_04\_08]. Dostupné z: <<http://kninicky.eu/obec/kapitoly-z-historie/kniniccka-prehrada/>>.
- [19] *Brněnská vodní elektrárna testuje novou turbínu* [online]. c2010\_3\_31 [cit.2013\_04\_08]. Dostupné z: <<http://www.ceskatelevize.cz/ct24/regiony/jihomoravsky-kraj/85533-brnenska-vodni-elektrarna-testuje-novou-turbinu/>>.
- [20] *Cross-flow* [online]. Dostupné z: <[http://www.energy.kth.se/compedu/webcompedu/WebHelp/S2\\_Turbomachinery/B7\\_Hydraulic\\_Turbines/C1\\_Introduction\\_to\\_Hydraulic\\_Turbines/S2B7C1\\_files/Cross\\_flow.htm](http://www.energy.kth.se/compedu/webcompedu/WebHelp/S2_Turbomachinery/B7_Hydraulic_Turbines/C1_Introduction_to_Hydraulic_Turbines/S2B7C1_files/Cross_flow.htm)>.

## Seznam použitých zkratek a symbolů

$D_{OK}$	průměr oběžného kola	[m]
$d_0$	průměr vodního paprsku	[m]
$d$	délka toku	[m]
$F$	velikost povodí	[m <sup>2</sup> ]
$g$	tíhové zrychlení	[m/s <sup>2</sup> ]
$H$	spád	[m]
$H_h$	výška horní hladiny	[m n. m.]
$H_N$	návrhový spád	[m]
$n$	otáčky oběžného kola	[min <sup>-1</sup> ]
$n_{11}$	jednotkové otáčky	[min <sup>-1</sup> ]
$P$	výkon	[W]
$P_{TG\ 1}$	výkon turbíny TG 1	[W]
$Q$	průtok	[m <sup>3</sup> /s]
$Q_N$	návrhový průtok	[m <sup>3</sup> /s]
$Q_{TG\ 2}$	průtok turbínou TG 2	[m <sup>3</sup> /s]
$Q_Z$	ztrátový průtok	[m <sup>3</sup> /s]
ř. km	říční kilometr	[km]
$T_p$	tloušťka paprsku	[cm]
$V_{KOM}$	objem v nádrži MVE Komín	[m <sup>3</sup> ]
$\alpha$	charakteristika povodí	[-]
$\eta$	účinnost	[-]
$\rho$	hustota	[kg/m <sup>3</sup> ]
MVE	malá vodní elektrárna	
VD	vodní dílo	
TG	turbogenerátor	

## **Přílohy**

Příloha č. 1: Využití turbín pro dané spády a průtoky

Příloha č. 2: Charakteristika modelové vírové turbíny 2-VT-194

Příloha č. 1: Využití turbín pro dané spády a průtoky



Příloha č.5

