

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

PŘESTAVBA HISTORICKÉ TECHNICKÉ PAMÁTKY NA MALOU VODNÍ ELEKTRÁRNU

ADAPTION OF HISTORICAL TECHNICAL FACILITY ON THE SMALL HYDROELECTRIC
POWER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

KLÁRA ČERMÁKOVÁ

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): Klára Čermáková

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

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

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

Přestavba historické technické památky na malou vodní elektrárnu

v anglickém jazyce:

Adaptation of historical technical facility on the small hydroelectric power

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

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

Cíle bakalářské práce:

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

Seznam odborné literatury:

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

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

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Hudec

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 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

Malé vodní elektrárny jsou tématem této bakalářské práce, kterou lze dále rozdělit na tři části. První je věnována historii využívání vodní energie, základním typům hydroenergetických děl a klasifikaci vodních elektráren. Druhá část je zaměřena na malé vodní elektrárny. Získané informace jsou na konec využity v závěrečné části popisující návrh přestavby mlýna v Lomech na malou vodní elektrárnu.

ABSTRACT

Small hydroelectric power stations are the topic of this bachelor thesis which can be divided into three parts. The first one describes a history of utilising water energy, elementary types of hydropower projects, and classification of hydroelectric power stations. The second part is focused on small hydroelectric power stations. Finally the acquired knowledge is used in the last part describing the proposal of an adaptation of the water mill in Lomy to a small hydroelectric power station.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vodní energie
Malá vodní elektrárna
Turbína
Vírová turbína
Bánkiho turbína

KEY WORDS

Water energy
Small hydroelectric power
Turbine
Swirl turbine
Banki turbine

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČERMÁKOVÁ, K., Přestavba historické technické památky na malou vodní elektrárnu.
Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 52 s.
Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Hudec.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracovala samostatně na základě svých znalostí, literatury uvedené v seznamu a pod vedením vedoucího práce
Ing. Martina Hudce.

V Brně dne 22. 5. 2013

.....

PODĚKOVÁNÍ

Úvodem bakalářské práce bych ráda poděkovala panu Ing. Martinu Hudcovi za vedení při tvorbě práce, cenné rady a za pomoc při návrhu turbín. Dále bych ráda poděkovala panu Pavlu Řiháčkovi za poskytnutí informací o studované lokalitě v Lomech.

OBSAH

1	Úvod	9
2	Historie.....	10
3	Základní typy hydroenergetických děl	12
4	Klasifikace vodních elektráren	14
4.1	Malé vodní elektrárny	14
4.2	Projektové řešení MVE.....	15
4.2.1	Legislativa.....	15
4.2.2	Ekonomická situace	16
4.2.3	Stavební řešení	17
4.2.4	Strojní řešení	17
4.2.4.1	Vodní kolo	18
4.2.4.2	Vodní turbíny.....	19
4.2.4.2.1	Rovnotlaké (akční) turbíny	20
4.2.4.2.2	Přetlakové (reakční) turbíny.....	20
4.2.4.2.3	Vstupní a výstupní část turbíny	20
4.2.4.2.4	Turbíny MVE	21
4.2.4.2.5	Turbíny pro domácí vodní elektrárny	21
4.2.4.2.5.1	Šneková turbína.....	22
4.2.4.2.5.2	Bánkiho turbína.....	23
4.2.4.2.5.3	Vírová turbína	24
4.3	Vliv malé vodní elektrárny na životní prostředí	25
5	Mlýn Lomy na řece Želetavce.....	26
5.1	Historie Lomského mlýna.....	26
5.2	Řeka Želetavka	27
5.3	Technické údaje	28
5.3.1	Hydrologické poměry	29
5.4	Návrh turbíny	31
5.4.1	Vírová turbína	31
5.4.1.1	Výpočet teoretického ročního zisku	32
5.4.1.2	Generátor	33
5.4.2	Bánkiho turbína.....	34
5.4.2.1	Výpočet teoretického ročního zisku	35
5.4.2.1.1	Teoretický roční zisk z části I	35
5.4.2.1.2	Teoretický roční zisk z části II	36
5.4.2.2	Generátor	37
5.4.3	Srovnání Vírové a Bánkiho turbíny	38
6	Závěr	39
7	Seznam použité literatury	40
8	Seznam použitých zkratk a symbolů	42
9	Seznam použitých obrázků	43
10	Seznam použitých grafů	43
11	Seznam použitých tabulek.....	44
12	Seznam použitých schémat	44
13	Přílohy	45

1 Úvod

Jedním ze základních faktorů, které mají vliv na technický a ekonomický rozvoj lidstva je energie. Pravděpodobně nejdůležitější zdroj energie dnes představují fosilní a jaderná paliva – ropa, zemní plyn a uhlí. Avšak zásoby těchto zdrojů nejsou nevyčerpatelné a jejich využití se pojí s ekologickými problémy (radioaktivní zamoření, znečištění ovzduší,...). Další možnost představují obnovitelné zdroje energie, mezi něž patří: sluneční záření, vítr, pohyb a poloha vody apod. Tyto zdroje se samy obnovují a nemají škodlivý vliv na životní prostředí, avšak jejich využitelnost je časově proměnná a závisí na podmínkách v dané oblasti.

Vodní energie patří k nejdéle využívaným zdrojům v historii lidstva a vyskytuje se ve formě mechanické, tepelné a chemické. Mechanická energie je z hlediska technického využití nejvýznamnější a dělí se na energii: atmosférických srážek, ledovců, toků a moří. Výroba elektrické energie z atmosférických srážek není vhodná, vzhledem k nepravidelnému rozložení a nízké koncentraci. Rovněž využití mechanické energie ledovců není dosud prakticky možné. Technicky využitelná je hydraulická energie vodních toků a energie moří projevující se vlněním a přílivem. Chemická forma energie se projevuje vznikem solných roztoků, avšak praktickému využití brání jejich nízká koncentrace. Využití tepelné energie se realizuje pomocí tzv. tepelných čerpadel, která jsou založena na principu tepelného spádu.

Využití hydroenergetického potenciálu na výrobu elektrické energie ve vodních elektrárnách je v různých zemích a na různých kontinentech rozdílné. Závisí především na přírodních podmínkách a stupni hospodářského, technického a společenského rozvoje země. Česká republika má výhodnou geografickou polohu (leží na rozvodí tří moří a pramení zde řeky) pro využití vodní energie v malých vodních elektrárnách (dále jen MVE). Ty se na celkové výrobě elektrické energie podílejí necelými 4 %, což je nejvíce ze všech obnovitelných zdrojů energie. [1],[2]

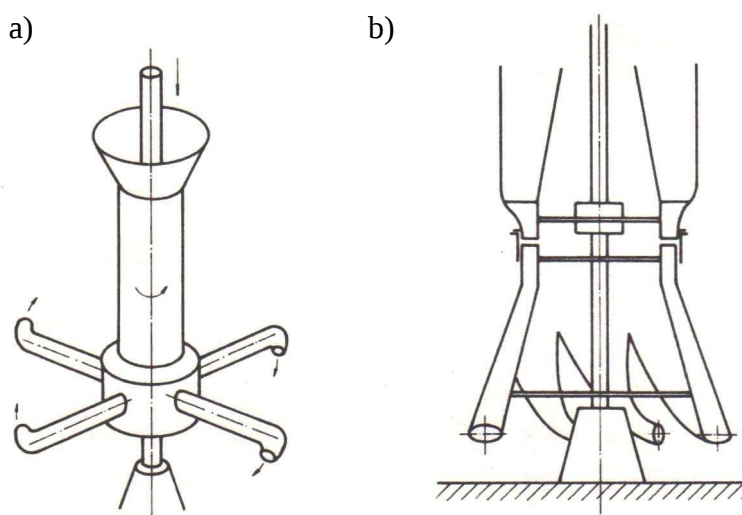
2 Historie

Vodní energie byla využívána již ve 2. století př. n. l. v Ilyrii. Vodní kola s vertikální hřídelí poháněla mlýnské kameny. Zlepšený způsob využívání vodního kola se objevil kolem 1. století př. n. l. Vodní kolo bylo stavěno s horizontální osou a přenosem otáčení na vertikálně uspořádané mlýnské kameny. Teprve po roce 450 n. l. se vodní energie využívala v širší míře k ulehčení lidské práce.

Během několika století dochází k vývoji vodního kola od speciálního zařízení používaného při mletí obilí až po všeobecně využívaný energetický stroj. Ve 14. století byla vynalezena konstrukce tzv. korečníku, tj. vodního kola se svrchním nátokem, které umožňovalo znatelné zvýšení výkonu. V 16. století byl přenos poháněcí síly realizován na kratší vzdálenosti pomocí řetězových transmisí a na větší vzdálenosti pomocí pákových mechanismů. V 17. století dochází k používání vodních kol využívajících dynamického účinku vodního paprsku, která jsou předchůdce rovnotlaké turbíny.

Teprve v 18. století jsou při realizaci vodních kol získané zkušenosti podloženy teoretickým a experimentálním zkoumáním proudění a modelovým výzkumem. V tomto století se také objevují nová řešení vodního motoru pracujícího na reakčním principu (př. Segnerovo kolo, Barkerův mlýn), která později vedou k vývoji vodní turbíny.

Především práce Leonarda Eulera vedla ke zdokonalení využití reakčního principu a návrhu Eulerova stroje, který umožňoval dosáhnout účinnosti až 70%. V roce 1826 přichází profesor Claude Burdin s návrhem řešení vodního motoru tzv. „turbines“. Tento motor se neuplatnil, důvodem bylo nevhodné řešení lopatkování vedoucí k nízké účinnosti. Avšak stal se skutečným předobrazem přetlakových turbín. V roce 1827 Benoît Fourneyron zdokonalil toto řešení a byla sestrojena první vodní přetlaková turbína. [2]



Obrázek 1: a) Segnerovo kolo, b) Eulerův stroj [2]

V období po roce 1840 dochází k vynálezům dalších principů využití vodní energie, které vedou ke zvýšení účinnosti, snížení měrné hmotnosti a dalším zvýšením efektivity stroje.

První malé vodní elektrárny byly použity v USA a Anglii v roce 1881 k osvětlovacím účelům. Jejich výkon byl nepatrný a stále nebyl vyřešen problém

dálkového přenosu elektrické energie. Po jeho vyřešení dochází k výstavbě vodních elektráren ve větší míře.

Vývoj řešení vodních motorů a využívání vodní energie je dnes charakterizován výstavbou velkých a malých vodních elektráren a mikrozdrojů. [2]

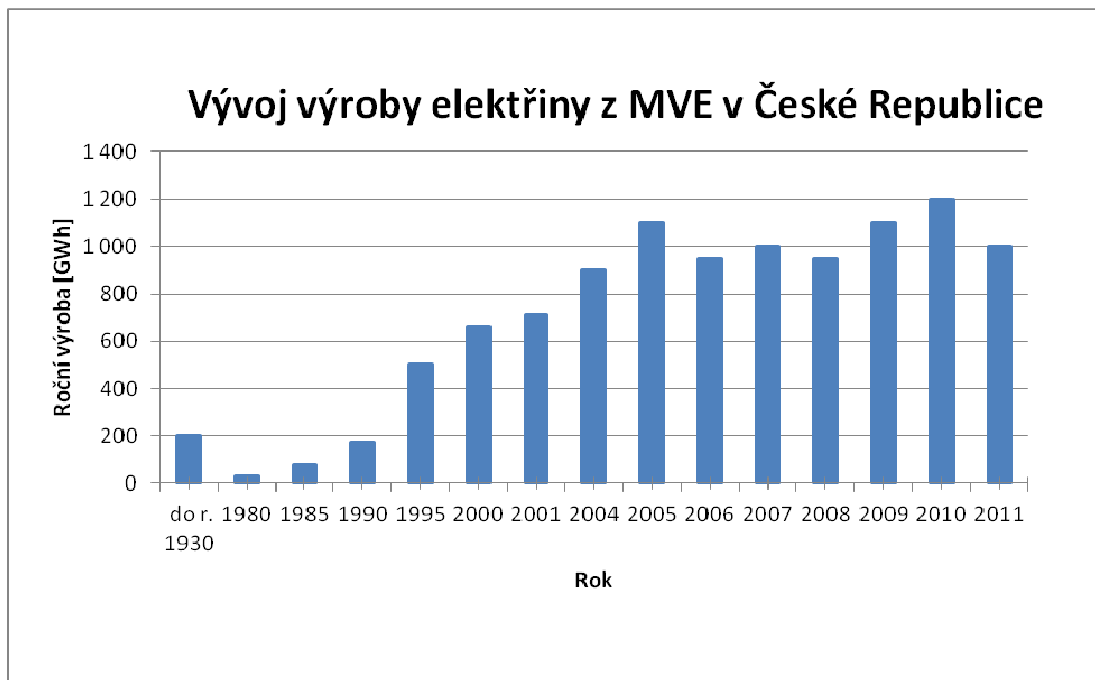
Vodní energie patří v České republice k nejdéle využívaným obnovitelným zdrojům energie. Již v roce 718 byl vybudován první mlýn poháněný vodní energií na řece Ohři u Žatce. Ve středověku sloužilo využití vodní síly především k drcení zrna ve mlýnech, na pilách a přispělo ke zřizování manufaktur.

V letech 1912 až 1913 vyvinul profesor Viktor Kaplan v Brně první vrtulovou turbínu a turbínu s natáčivými oběžnými lopatkami.

Vodní motory se v českých zemích vyrábí od roku 1698, nejdříve se vyráběla pouze vodní kola, později celé Francisovy turbíny. Nejvýznamnější výrobci vodních turbín v českých zemích byli: Josef Prokop a synové v Pardubicích (Francisova turbína), Ignác Storek v Brně (Kaplanova turbína), Českomoravská-Kolben v Praze (Francisova a Peltonova turbína), ČKD Blansko (Francisova, Kaplanova a Peltonova turbína).

V roce 1930 bylo v českých zemích provozováno 11 785 hydroenergetických děl s instalovaným výkonem 194,4 MW. Po roce 1948 došlo ke zrušení většiny z nich, z důvodu znárodnění elektráren a neboť velké energetické podniky neměly o MVE zájem. K dalšímu rozvoji MVE dochází až po roce 1990, kdy došlo k úplnému uvolnění soukromého podnikání v oblasti MVE. [9]

Trend vývoje MVE v České republice v letech 1930 až 2011 znázorňuje graf 1(hodnoty jsou zaokrouhlovány):



Graf 1: Vývoj výroby elektřiny z MVE v České republice [2],[10]

3 Základní typy hydroenergetických děl

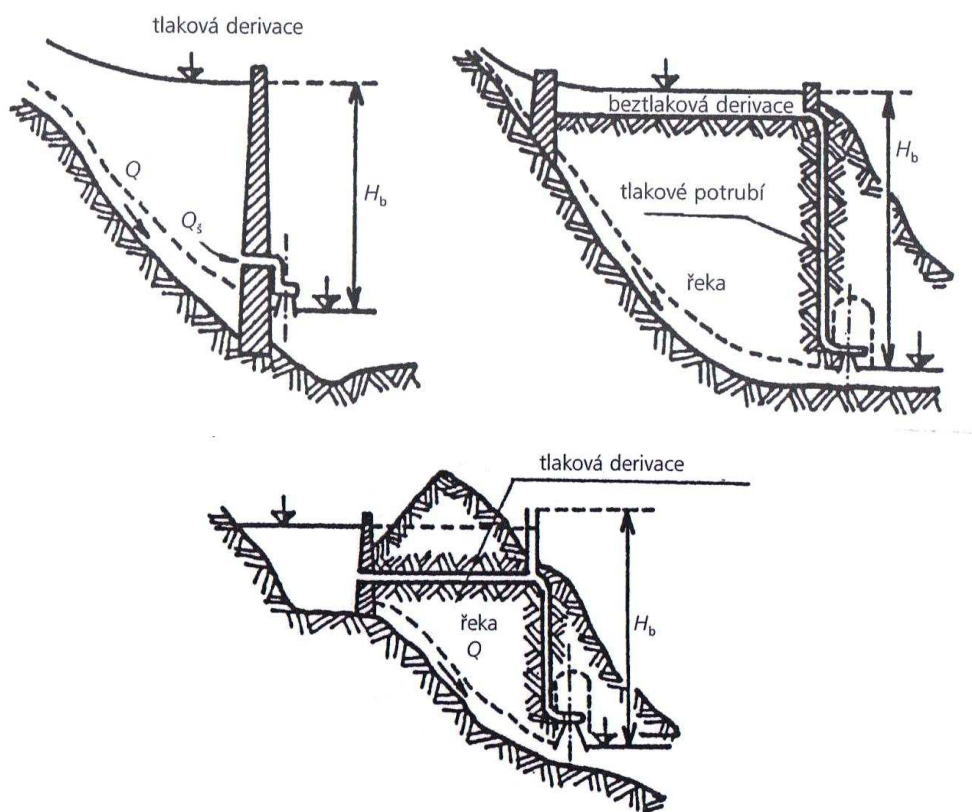
Při navrhování energetického využití vodního toku nebo jeho úseku se hledá optimální řešení, které respektuje všechny limitující podmínky dané oblasti. Mezi tyto limitující podmínky patří především urbanizace, průmysl, komunikace a ochrana životního prostředí. Pro efektivní využití vodní energie je podmínkou vhodná koncentrace spádu a průtoku daného vodního toku. Tato koncentrace může být přirozená či umělá. Vzhledem k nízkému počtu míst s přirozenou koncentrací při dostatečném průtoku, je často nutno využít umělého soustředění pomocí příslušných stavebních zásahů. [1]

Dle systému koncentrace vodní energie a přívodu vody k turbíně se rozlišují díla:

- přehradní
- derivační
- přehradně derivační
- přečerpávací

Umělé koncentrace spádu lze dosáhnout výstavbou:

- přehrady
- beztlakového nebo beztlakově-tlakového přivaděče
- tlakového přivaděče nebo přehrady s tlakovým přivaděčem



Obrázek 2: Umělé soustředění spádu [1]

Umělé koncentrace průtoku lze dosáhnout:

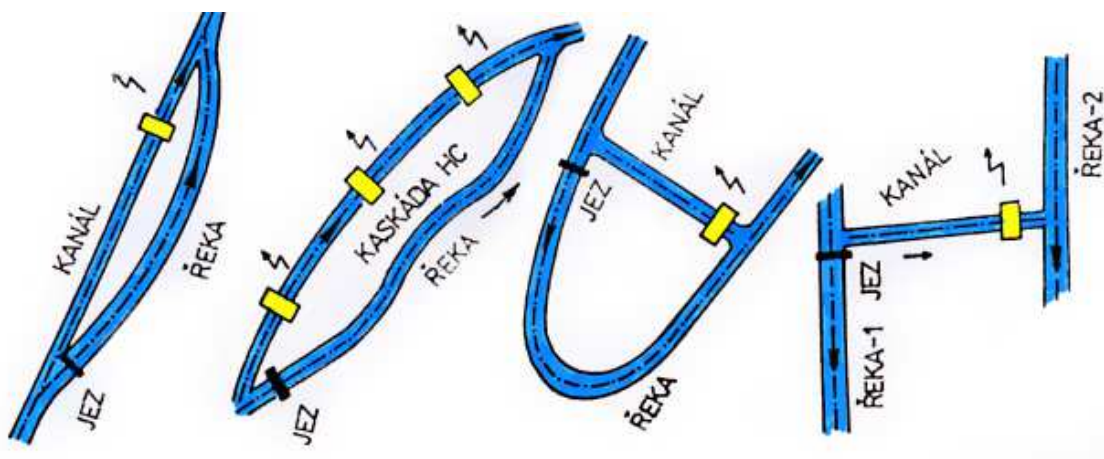
- zachycením – soustředěním vody ve vlastním korytě
- převedením vody z jiného povodí
- umělým přečerpáváním [1]

Přehradní vodní elektrárny využívají vzdouvacího zařízení k vytvoření zvýšené hladiny v horní nádrži. Tímto vzdouvacím zařízením může být vysoký jez nebo přehradní hráz. Vlastní vodní elektrárna je situována v jeho bezprostřední blízkosti.

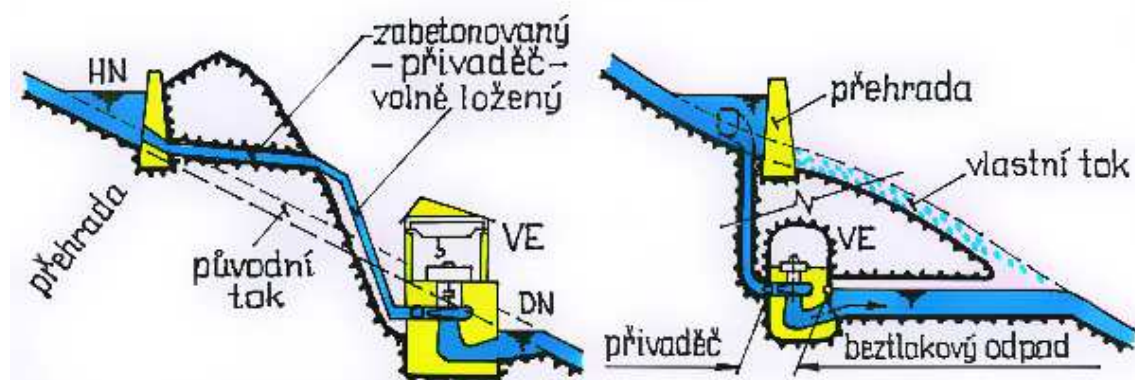
Derivační hydroenergetická díla využívají umělého vedení vody z toku k vodní elektrárně pomocí tzv. přivaděče a zpět do toku pomocí tzv. odpadu. Vzdouvací zařízení zde nemá za úkol vytvářet spád, ale umožnit svedení vody do derivačního přivaděče. Zpravidla se používá jez. Soustředění spádu je zde dosaženo derivací, která může být vedena podél toku řeky, zkracovat její meandr nebo oblouk, využívat výškového rozdílu dvou řek.

Přehradně derivační hydroenergetická díla využívají vzdouvací zařízení (přehradu) k akumulaci průtoků a ke zvýšení hodnoty měrné energie získané derivací, která vychází z přehrady.

Přečerpávací hydroenergetická díla se používají při sekundárním využití potenciálu vody pro výrobu elektrické energie. [1],[2]



Obrázek 3: Beztlakové přivaděče derivačních vodních elektráren [5]



Obrázek 4: Přehradně derivační systém na jednom toku [5]

4 Klasifikace vodních elektráren

Vodní elektrárny (dále jen VE) je možno klasifikovat podle různých hledisek.

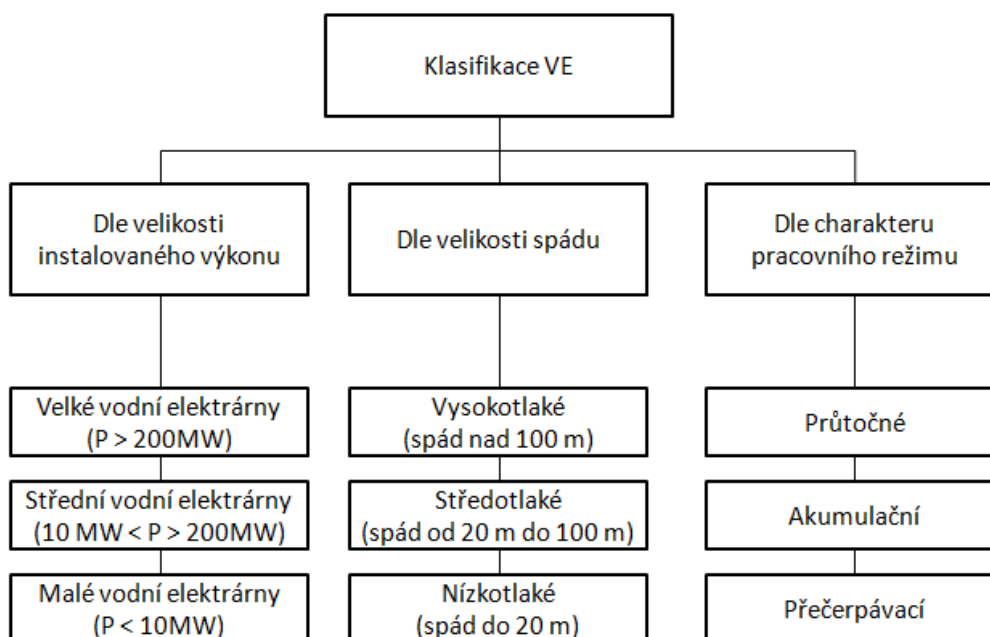


Schéma 1: Klasifikace vodních elektráren

Další způsoby dělení vodních elektráren: dle účasti na pokrývání diagramu zatížení elektrizační soustavy, dle umístění strojovny, dle uspořádání strojovny a dle řízení provozu. [1]

4.1 Malé vodní elektrárny

Pojmem malá vodní elektrárna (MVE) se v České republice rozumí hydroenergetické dílo s instalovaným výkonem do 10 MW, využívající vodní energii pro výrobu elektrické energie. Evropská unie za MVE považuje vodní díla s výkonem do 5 MW.

Malé vodní elektrárny se dle normy ČSN (STN) 75 0128, platné do listopadu 2010, dělí na:

- průmyslové vodní elektrárny s instalovaným výkonem od 1 MW do 10 MW
- vodní minielektrárny s instalovaným výkonem od 100 kW do 1000 kW
- vodní mikrolektrárny s instalovaným výkonem od 35 kW do 100 kW
- domácí vodní elektrárny s instalovaným výkonem do 35 kW

MVE se dnes většinou staví v místě bývalých mlýnů, pil, v místech jezů,... MVE tvoří kompaktní skupinu, ale jsou rozptýlené po celém území České republiky. Tento stav je výhodný pro připojování do energetické sítě, protože přispívá k tomu, že vyrobená energie nezatěžuje základní přenosovou soustavu. MVE se vyznačují nízkou poruchovostí, vysokým počtem provozních hodin za rok a podstatně delší životností, než je doba návratnosti investic do zařízení. Energie z MVE patří v dnešní době k nejlevněji získávané elektrické energii. Kromě ekonomické efektivnosti jsou MVE výhodné i z ekologického hlediska. Teoreticky patří k nejméně nebezpečným typům elektráren z hlediska působení na životní prostředí. [1],[2]

4.2 Projektové řešení MVE

Před samotným projektovým řešením je třeba vybrat, předběžně ohodnotit a posoudit vhodnost lokality pro výstavbu MVE, ekonomicky zhodnotit navrhované dílo a vypracovat projektovou přípravu MVE.

Při výběru lokality se na základě předběžných informací posuzuje její vhodnost pro výstavbu MVE. Je nutno prověřit nejen technické, ale i ekonomické a právní okolnosti. Mezi tyto okolnosti patří např.: technicko-vodohospodářské poměry, majetkoprávní vztahy, zájmy ochrany přírody, apod.

Pro možnost ocenění celého díla a jeho následného provozu je třeba nejprve vytvořit jeho koncepční návrh.

Projektová příprava zahrnuje získání povolení od příslušných organizací, provedení měřické práce, geologického a hydrogeologického průzkumu,... [1]

4.2.1 Legislativa

Již v minulosti byly v mlýnech vytvořeny určité vodoprávní řády, z nichž se postupem času vyvíjeli obecné právní normy.

Dnes existuje tzv. Vodní právo. V České republice je hlavní směrnicí tohoto práva zákon č. 254/2001 Sb. O vodním právu pojednává také směrnice Evropského parlamentu a rady 2000/60/ES.

Vodní právo je soubor norem, pojednávající mimo jiné o ochraně, hospodářském využívání podzemních a povrchových vod a bezpečném provozu vodních děl. Pro využívání vody k pohonu nebo k výrobě elektrické energie je nutno získání povolení k nakládání s vodami od vodohospodářského orgánu. Vodní právo stanovuje podmínky pro získání i pro odebrání tohoto povolení, dále práva a povinnosti vlastníka tohoto povolení, apod. Mezi základní povinnosti patří dodržování stanoveného množství odběru vody, dále odstraňování a likvidace zachycených naplavenin. Jejich vracení zpět do toku je zakázáno. [11],[12]

„Povolení k nakládání s vodami pro využívání jejich energetického potenciálu nemůže být vydáno na dobu kratší, než 30 let. Vodoprávní úřad postupem podle § 12 odst. 2 dobu platnosti povolení prodlouží o dobu stanovenou ve stávajícím povolení, nebyla-li oprávněnému pravomocně uložena sankce za opakované porušování povinností stanovených tímto zákonem nebo podle něho (§9, odst. 6).

Vodoprávní úřad může z moci úřední povolení k nakládání s vodami změnit nebo zrušit nevyužívá-li oprávněný vydaného povolení k nakládání s vodami nebo využívá-li jej pouze minimálně bez vážného důvodu po dobu delší než 2 roky;...(§12, odst.1a), při stanovení minimální hladiny podzemních vod, nebyla-li dosud stanovena, či při její změně (§12, odst.1c).“ [11]

4.2.2 Ekonomická situace

Elektřinu získanou z provozu MVE je možno dodávat do sítě, využívat k vlastní spotřebě nebo prodat třetí osobě.

V případě dodávání elektřiny do sítě její výkupní cenu stanovuje Energetický regulační úřad. Lokální distributor elektřiny (ČEZ, EON) má povinnost tuto elektřinu od výrobce vykoupit a to ve veškerém jejím objemu. Existují dvě varianty: jednotarifní a dvoutarifní pásmo dodávání elektřiny do sítě. Jednotarifní pásmo dodává elektřinu do sítě po celý den za jednotnou cenu. Toto pásmo je vhodné především pro průtočné elektrárny. Dvoutarifní pásmo dodává elektřinu ve dvou různých pásmech: pásmo vysokého tarifu (doba nejvyššího odběru) a pásmo nízkého tarifu (doba nižšího odběru). Toto řešení je vhodné především tam, kde je možné zadržení vody.

V případě využívání elektřiny v místě výroby je možné čerpat tzv. zelené bonusy, jejichž výši každoročně stanovuje Energetický regulační úřad. [13],[14]

Zelený bonus je příplatek k tržní ceně elektřiny. Prodává-li výrobce elektřinu z OZE za smlouvanou tržní cenu obchodníkovi nebo vyrobenou elektřinu sám spotřebuje, má právo navíc inkasovat od provozovatele přenosové nebo regionální distribuční soustavy na základě předloženého výkazu o výrobě elektřiny z OZE zelené bonusy. [13]

Výkupní ceny elektřiny a zelené bonusy vždy vyplácí lokální distributor elektřiny.

ř./sl.	Druh podporovaného zdroje (výroby)	Datum uvedení výroby do provozu		Jednotarifní pásmo provozování		Dvoutarifní pásmo provozování			
				Výkupní ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]	Výkupní ceny [Kč/MWh]		Zelené bonusy [Kč/MWh]	
		od (včetně)	do (včetně)			VT	NT	VT	NT
	a	b	c	i	k	l	m	n	o
100	Malá vodní elektrárna	-	31.12.2004	1 949	949	2 700	1 574	1 290	779
101		1.1.2005	31.12.2013	2 499	1 499	3 470	2 014	2 060	1 219
110	Rekonstruovaná malá vodní elektrárna	-	31.12.2013	2 499	1 499	3 470	2 014	2 060	1 219
120	Malá vodní elektrárna v nových lokalitách	1.1.2006	31.12.2007	2 775	1 775	3 800	2 263	2 390	1 468
121		1.1.2008	31.12.2009	2 938	1 938	3 800	2 507	2 390	1 712
122		1.1.2010	31.12.2010	3 193	2 193	3 800	2 890	2 390	2 095
123		1.1.2011	31.12.2011	3 122	2 122	3 800	2 783	2 390	1 988
124		1.1.2012	31.12.2012	3 254	2 254	3 800	2 981	2 390	2 186
125		1.1.2013	31.12.2013	3 230	2 230	3 800	2 945	2 390	2 150

VT - pásmo platnosti vysokého tarifu stanovené provozovatelem distribuční soustavy v délce 8 hodin denně;

NT - pásmo platnosti nízkého tarifu platné v době mimo pásmo platnosti VT.

Tab. 1: Výkupní ceny a roční zelené bonusy na elektřinu pro MVE [14]

Na výstavbu nebo rekonstrukci MVE lze čerpat různé dotace a podpory (ve státním programu na podporu úspor energie, z programu Eko-energie,...) Podmínky pro získání dotace i její výše se každoročně mění a je proto nutné sledovat aktuální situaci. [13],[14]

4.2.3 Stavební řešení

Stavební řešení výrazně ovlivňuje výsledné parametry vodní elektrárny i její celkovou ekonomickou výhodnost.

Mezi hlavní stavební části vodní elektrárny patří:

- vtokový objekt – slouží k zabezpečení dostatečného přítoku vody z vodního toku. Bývá navrhován tak, aby při odběru vody způsoboval minimální hydraulické ztráty, zabraňoval vnikání hrubých splavenin (předmětů pohybujících se po dně) a plavenin (plovoucích a unášených předmětů) k turbínám. Vtokový objekt obvykle umožňuje ovládání průtoku vody.
- přivaděč a odpad – dělí se na beztlakové (kanál, náhon, štola s volnou hladinou) a tlakové (potrubí, šachta, štola)
- výrobní objekty – objekty pro zařízení vodní elektrárny (strojovna, rozvodna, provozní budova) a objekty pro doprovodná zařízení (akumulátorovna, montážní prostor,...) [1]

4.2.4 Strojní řešení

Dělení vodního stroje:

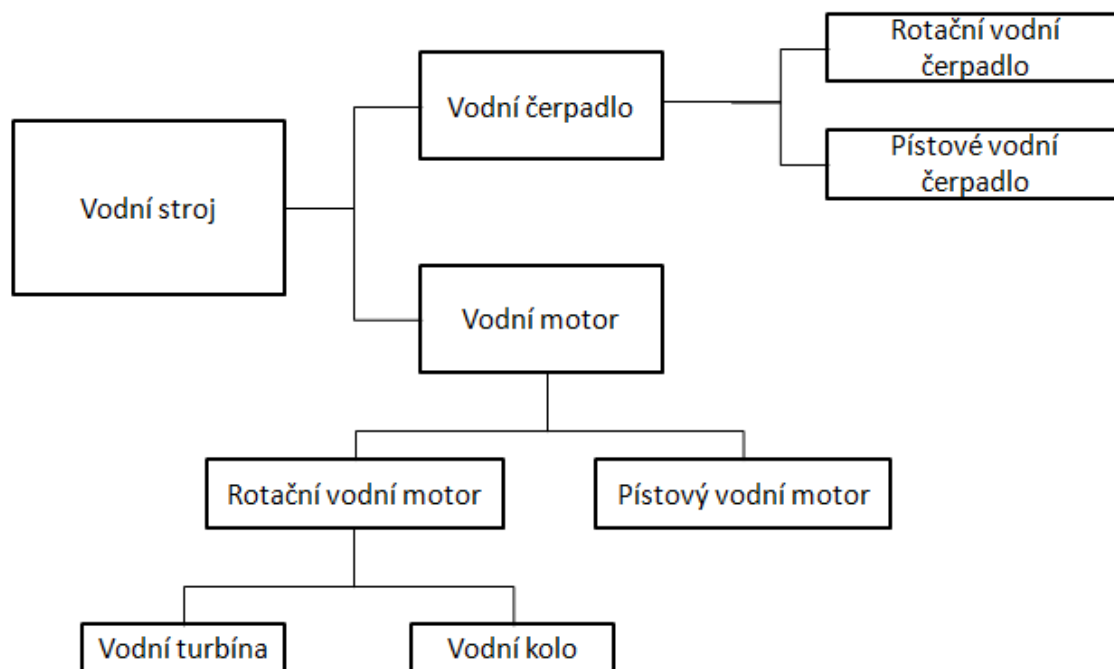


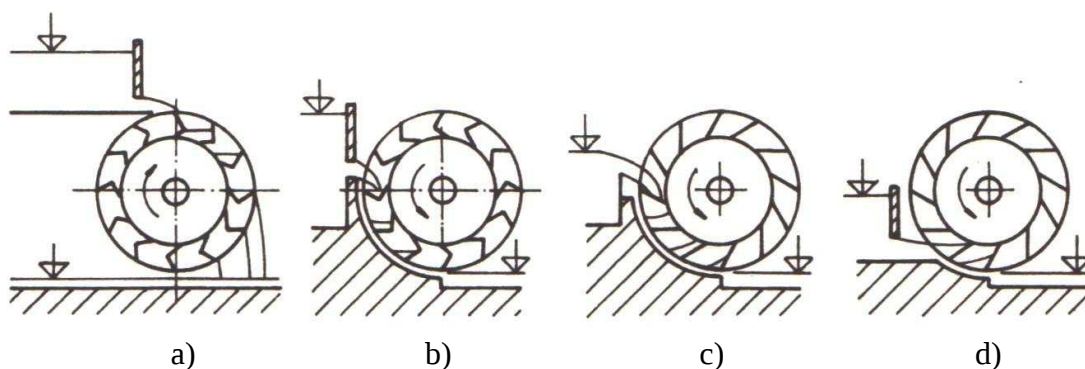
Schéma 2: Dělení vodního stroje

4.2.4.1 Vodní kolo

Vodní kola jsou nejstarší a nejjednodušší vodní stroje, které využívají polohovou i pohybovou energii vody. Jejich hlavní výhodou je možnost použití i pro spády menší než 0,5 m a možnost jejich využití i při silně znečištěné vodě. Při správném řešení jsou schopna pracovat s účinností 60 – 70 %. Mezi nevýhody vodních kol patří: velké nároky na průměr oběžného kola, malé provozní otáčky, v zimním období rychlé zamrzání vodního kola, které omezuje, příp. úplně znemožňuje jeho provoz.

Vodní kola dělíme dle:

- způsobu odevzdávání mechanické energie vody, kterou mění v energii rotující hřídele
 - korečková
 - lopatková
- nátoku vody (místo, kde voda vstupuje na kolo)
 - vrchní nátok
 - střední nátok
 - spodní nátok [1],[2]



Obrázek 5: Vodní kolo a) se svrchním nátokem, b) se středním nátokem s regulační kulisou, c) se středním nátokem s regulačním přelivem, d) se spodním nátokem [2]

4.2.4.2 Vodní turbíny

Vodní turbíny patří díky svým provozním vlastnostem k nejvyužívanějším vodním strojům současnosti. Podobně jako vodní kolo pracuje turbína na způsobu přeměny energie vody v mechanickou energii rotující hřídele. [1]

Vodní turbíny lze třídit dle různých hledisek, níže jsou uvedena tři základní dělení.

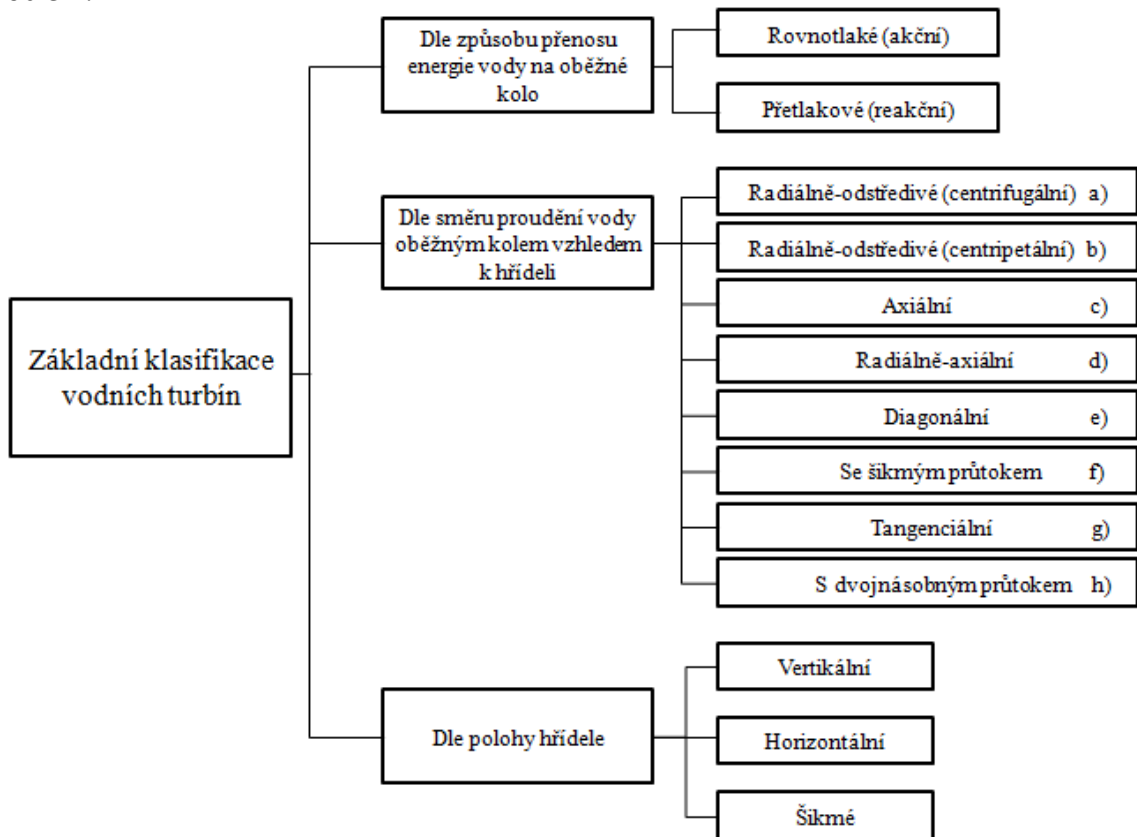
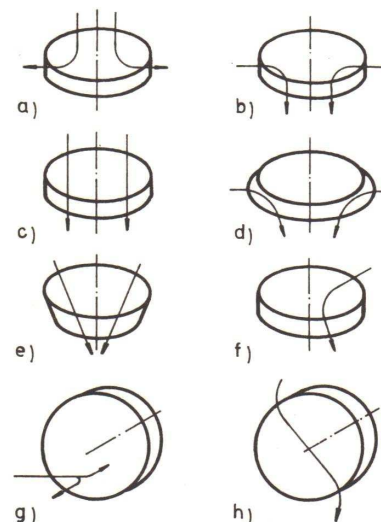


Schéma 3: Základní klasifikace vodních turbín



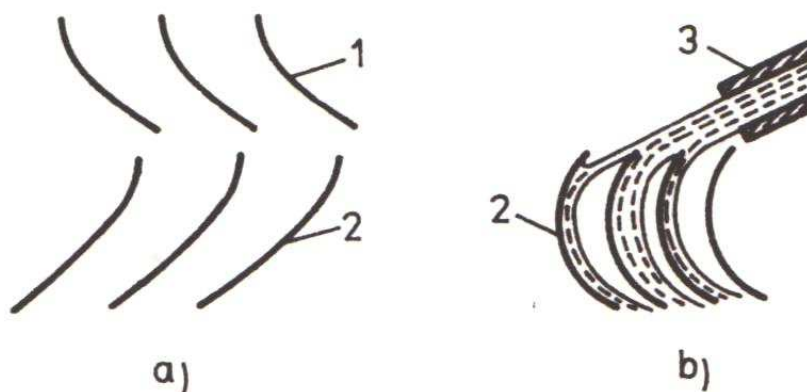
Obrázek 6: Rozdělení turbín podle průtoku oběžným kolem [2]

4.2.4.2.1 Rovnotlaké (akční) turbíny

- celá hodnota polohové energie vody se mění v kinetickou již v zařízení pro přívod vody k oběžnému kolu
- na vstupu i výstupu oběžného kola je stejný tlak
- kinetická energie se dále využívá v oběžném kole
- Peltonova turbína, Bánkiho turbína [1]

4.2.4.2.2 Přetlakové (reakční) turbíny

- část polohové energie vody se mění na kinetickou již v v zařízení pro přívod vody oběžného kola, zbytek až při průchodu tímto kolem
- průtok je realizován působením přetlaku na vstupu do oběžného kola, na výstupu je tedy nižší tlak, než na vstupu
- Kaplanova turbína, Francisova turbína, Vrtulová turbína,... [1]



Obrázek 7: Členění turbín podle způsobu přenosu energie [2]

4.2.4.2.3 Vstupní a výstupní část turbíny

Účinnost vstupní a výstupní části turbíny se výraznou měrou podílí na celkové účinnosti vodní elektrárny.

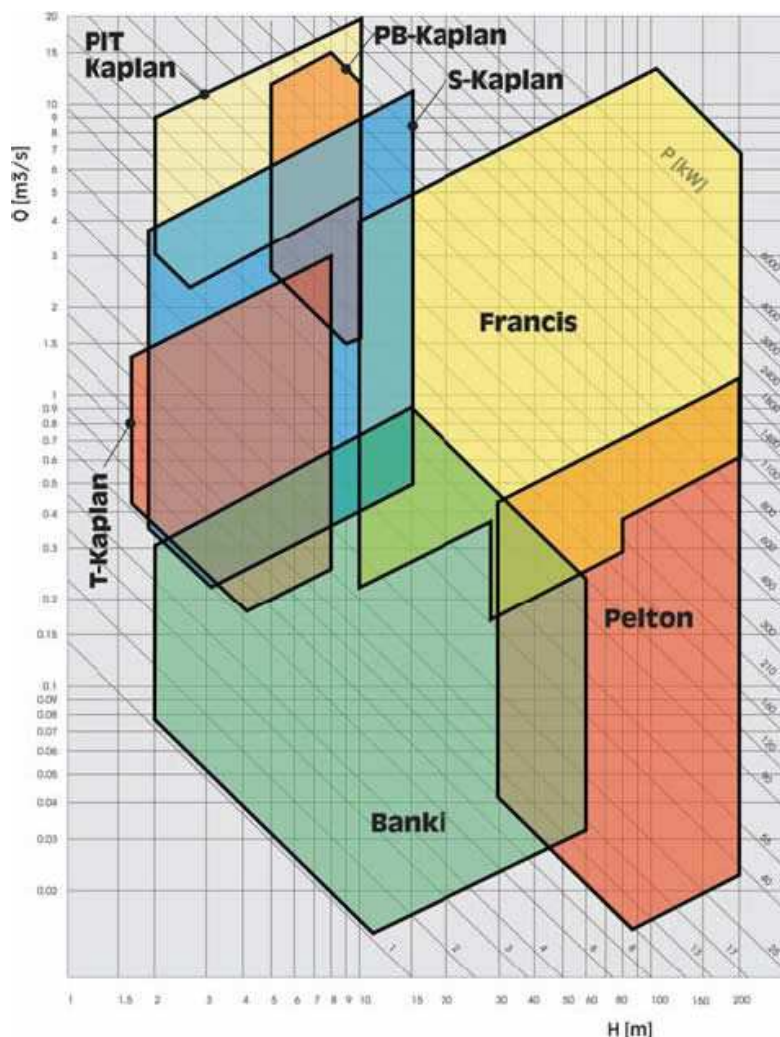
Pro přívod vody k turbíně se používají kašny a spirály. Tato zařízení slouží k rovnoměrnému přívodu vody po celém vnějším obvodu oběžného kola turbíny.

Jako výstupní zařízení se používá savka, jejímž účelem je efektivní odvádění vody od oběžného kola turbíny. U některých typů přetlakových turbín se savka používá i k využívání kinetické energie vodního proudu, který odtéká z turbíny. [1]

4.2.4.2.4 Turbíny MVE

Výběr turbíny pro MVE je závislý na účelu a podmínkách elektrárny. V současné době se v malých vodních elektrárnách používají převážně tyto turbíny:

- Peltonova turbína
- Bánkiho turbína
- Francisova turbína a její modifikace
- Kaplanova turbína a její modifikace



Graf 2: Srovnání turbín v závislosti na velikosti průtoku, spádu a výkonu [15]

4.2.4.2.5 Turbíny pro domácí vodní elektrárny

Při návrhu turbíny pro domácí vodní elektrárny s výkonem do 35 kW je mimo jiné kladen důraz na příznivou cenu. Z toho důvodu se používají méně konstrukčně náročné typy turbín.

Nejčastěji používané turbíny pro domácí vodní elektrárny:

- Šneková turbína
- Bánkiho turbína
- Vírová turbína

4.2.4.2.5.1 Šneková turbína

Šneku jako pracovního elementu bylo využíváno již v novověku, avšak myšlenka na jeho využití jako vodního stroje se objevila až v 19. století. V současnosti se šroubový vodní stroj využívá dvěma způsoby – jako čerpadlo nebo v reverzním chodu jako vodní motor.

Šneková turbína je mechanický stroj, který pracuje na principu činnosti Archimédova šroubu. Voda přiváděná z vodního toku se vlévá do koryta turbíny, které je skloněno pod určitým úhlem. V korytě turbíny vtéká voda do závitů šnekovnice, kde svou hmotností působí na listy šnekovnice po celé délce svého klesání a tím ji roztáčí. Šneková turbína nevyžaduje žádné zvláštní způsoby regulace. Mezi příslušenství patří havarijní stavidlo a boční přepad žlabu.

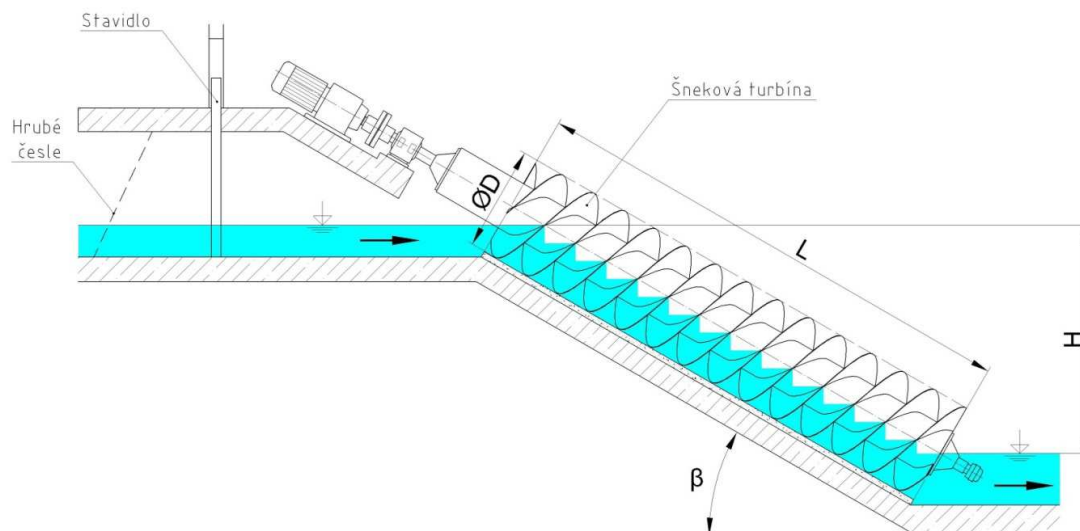
Tento typ turbíny se používá pro malé vodní elektrárny na vodních tocích s malým spádem, popřípadě tam kde průtok značně kolísá. Je možné jeho použití i jako doplňkového motoru k již stávajícím turbínám, kde využívá energii jalových přepadů. [16],[17]

Parametry šnekové turbíny od firmy Gess			
Výkon	Průtok	Spád	Úhle sklonu
do 500 kW	0,1 - 10 m ³ /s	1 - 10 m	22 - 36°

Tab. 2: Parametry šnekové turbíny [16]

Výhody šnekové turbíny: [16]

- Nízké náklady na stavební část MVE
- Nízké pořizovací náklady v porovnání s tradičními turbínami
- Nízké provozní náklady
- Využití nízkých spádů
- Jednoduchá konstrukce
- Dlouhá životnost
- Spolehlivost i při malém průtoku (již při 20 % hltnosti pracuje s účinností 74 %)
- Nevyžaduje jemné česle a je šetrná k vodním živočichům



Obrázek 8: Šneková turbína [17]

4.2.4.2.5.2 Bánkiho turbína

Bánkiho turbína patří mezi rovnotlaké turbíny a jedná se o radiální turbínu s dvojnásobným průtokem.

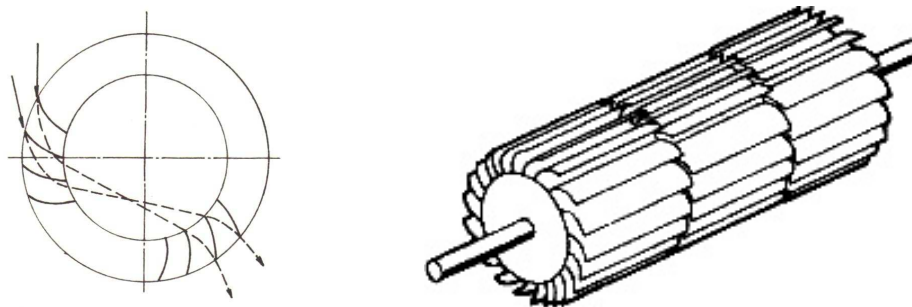
Voda je k Bánkiho turbíně přiváděna potrubím, jež je zakončeno obdélníkovým průřezem. Poté dopadá na oběžné kolo, které je uloženo na horizontální hřídeli a je opatřeno dvěma kruhovými disky. Na těchto discích jsou uloženy pevné lopatky. Voda protéká oběžným kolem dvakrát, přičemž první průtok je realizován jako dostředivý a druhý jako odstředivý. Při dostředivém průtoku je využito 79 % a při odstředivém 21 % měrné energie vody. Po průchodu oběžným kolem odtéká voda volně do odpadního kanálu. Průtok je regulován pomocí přivírání a otevírání klapky nebo segmentového uzávěru. Obě tato zařízení se umísťují bezprostředně před oběžné kolo. [1],[2]

Bánkiho turbína je pro oblasti proměnlivého průtoku nejčastěji stavěna jako dvoukomorová. Obvyklé dělení nátokových komor je v poměru 1:2. Malý průtok zpracovává užší komora, střední průtok širší a při plných hodnotách průtoku pracují obě komory současně. [24]

Bánkiho turbína se díky své jednoduché konstrukci řadí mezi nejjednodušší a nejsnáze zvládnutelné řešení vodních turbín pro MVE. Vzhledem k jejímu širokému rozmezí použitelnosti při zachování relativně dobré účinnosti je možné její použití i v extrémnějších hydrologických podmínkách. Bánkiho turbína dosahuje účinnosti až 85 %. [18]

Parametry Bánkiho turbíny pro MVE		
Výkon	Průtok	Spád
1 - 1000 kW	0,05 – 0,9 m ³ /s	2 - 30 m

Tab. 3: Parametry Bánkiho turbíny [1],[18]



Obrázek 9: Proudění uvnitř oběžného kola [2]

Obrázek 10: Oběžné kolo Bánkiho turbíny [19]

Typ vodního motoru	Plnění stroje - hlnost									
	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %	100 %
Archimédův šroub	25	74	77	79	82	82	83	83	84	85
Kaplanova turbína	15	70	85	88	90	90	90	90	88	85
Francisova turbína	-	-	15	58	72	78	82	82	82	80
Bánkiho turbína	-	40	60	68	72	74	75	74	72	70
Účinnost vodních motorů [%]										

Tab. 4: Srovnání účinnosti jednotlivých typů turbín v závislosti na hlnosti [16]

4.2.4.2.5.3 Vírová turbína

Vírová turbína je poměrně novým typem turbíny. Byla vyvinuta na Vysokém učení technickém v Brně v roce 2000. Vírová turbína je vhodná především pro lokality s malými spády a vyššími hodnoty průtoku.

Proud vody vstupuje do oběžného kola vírové turbíny rovnoběžně s osou rotace a po průchodu lopatkami turbíny vystupuje ve formě rotujícího proudu. Turbína je konstruována s minimálně dvěma oběžnými lopatkami připevněnými na středovém náboji turbíny. Díky specifickému tvaru lopatek dosahuje vírová turbína vysokých otáček, což umožňuje v určitých případech vynechání převodovky a tím snížení nákladů na výstavbu MVE.

Mezi hlavní výhody vírové turbíny patří možnost použití při velmi nízkých hodnotách spádu a její vysoká účinnost, která dosahuje až 85%. Dalšími výhodami jsou vysoká hltnost a odolnost proti kavitaci. Nepřítomnost rozváděcího kola a možnost vynechání převodovky jsou výhody především ekonomického charakteru. [20],[21],[22]

Parametry Vírové turbíny		
Výkon	Průtok	Spád
1 - 800 kW	0,1 - 20 m ³ /s	1 - 5 m

Tab. 5: Parametry vírové turbíny [20],[21]



Obrázek 11: Oběžné kolo vírové turbíny [22]

4.3 Vliv malé vodní elektrárny na životní prostředí

V dnešní době existují velmi vysoké požadavky na ekologicky šetrné provozy různých zařízení. Je nutné respektovat určitá ekologická hlediska, která úplně odstraňují nebo minimalizují dopad negativních vlivů na některé rostlinné nebo živočišné druhy. Tato hlediska je nutné konzultovat s odborníkem a respektovat při návrhu, realizaci i následném provozu MVE. Malé vodní elektrárny se řadí mezi čisté zdroje energie z těchto důvodů:

- při jejich provozu nedochází ke znečišťování ovzduší, krajiny ani povrchových a podzemních vod
- jsou bezodpadové
- jsou nezávislé na dopravě surovin
- poskytují vysoké hodnoty zabezpečení (v případě havárií,...)
- přispívají k vyrovnávání změn na daném vodním toku,...

Malé vodní elektrárny jsou v dnešní době budovány především jako průběžné bez akumulacních nádrží a přednostně v lokalitách, kde je již soustředěný spád.

V některých směrech malé vodní elektrárny pozitivně ovlivňují životní prostředí. Mezi tyto vlivy patří:

- stabilizace hladiny toku při nízkých průtocích
- zvýšená ochrana proti povodním
- minimalizace erozivního procesu
- možnost likvidace případného znečištění toku,... [1]

5 Mlýn Lomy na řece Želetavce

Mlýn se nachází na řece Želetavce na rozhraní kraje Vysočiny a Jihočeského kraje v obci Lomy, která leží pět kilometrů severovýchodně od města Jemnice.



Obrázek 12: Mapa Lomského mlýna [26]

Obrázek 13: Mapa ČR s vyznačenou vesnicí Lomy [27]

5.1 Historie Lomského mlýna

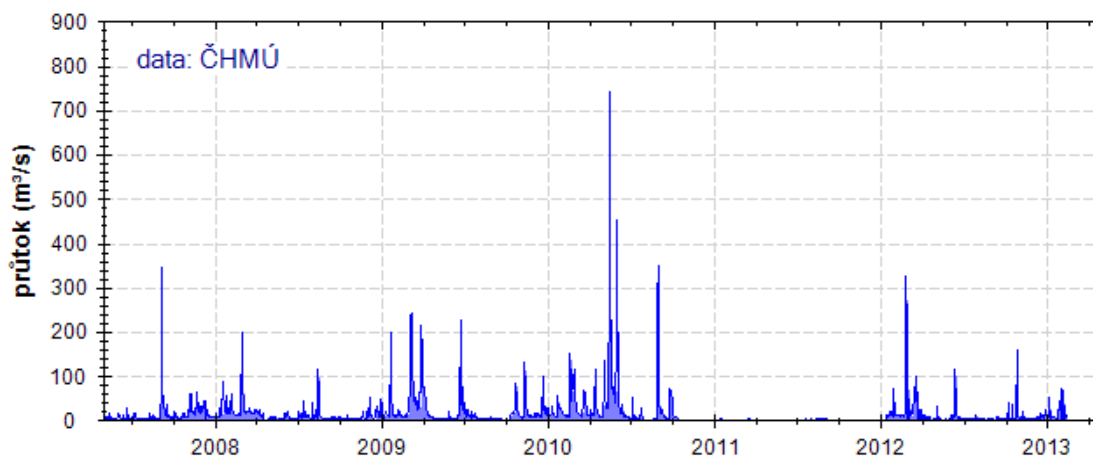
O historii Lomského mlýna se dochovalo jen pár informací.

První zmínka o mlýnu v Lomech se objevila v zemských zprávách již v roce 1511, kdy spadl do Budkovského panství. Mlýn byl tehdy pronajímán za plat a některé služby. Prvním zaznamenaným majitelem Lomského mlýna byl pan Mikuláš Sviták, který zde žil v letech 1657 – 1666. Další a poslední záznam o tomto mlýnu pochází z roku 1941, kdy zasáhly obec Lomy velké povodně. Tyto povodně vedly k rozvodnění toku Želetavky, voda zaplavila celé údolí a podemlela část mlýna, která se následně zhroutila. [4]

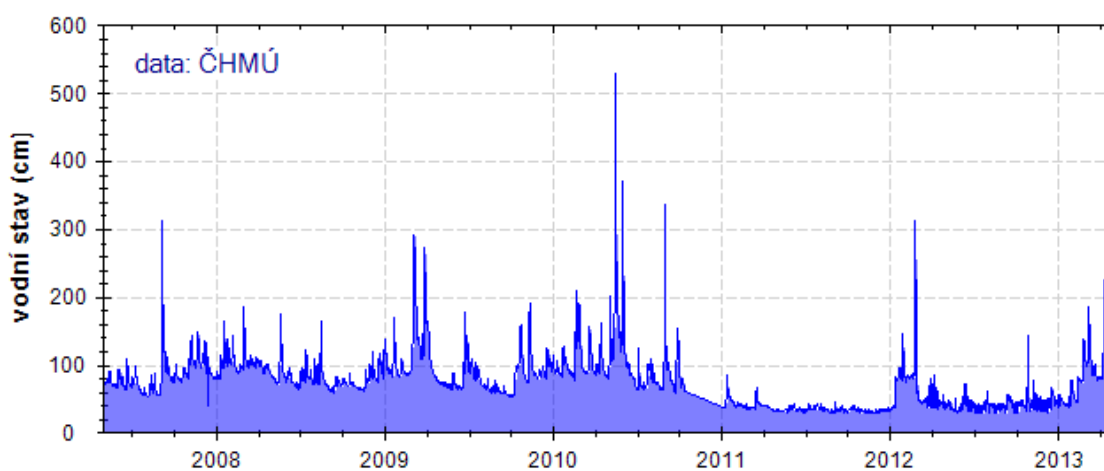
Současným majitelem mlýna je pan Pavel Řiháček, který plánuje jeho přestavbu na malou vodní elektrárnu.

5.2 Řeka Želetavka

Řeka Želetavka je levostranným přítokem řeky Dyje, pramení v nadmořské výšce 665 m. n. m. nad obcí Želetava a délka jejího toku činí 50,725 km. Průměrný průtok řeky Želetavky v místě jejího ústí do řeky Dyje činí 1,11 m³/s. [8]



Graf 3: Průtok řeky Želetavky od 1. 5. 2007 do 1. 5. 2013, měřeno na stanici v Jemnici [23]



Graf 4: Vodní stav řeky Želetavky od 1. 5. 2007 do 1. 5. 2013, měřeno na stanici v Jemnici [23]

5.3 Technické údaje

V mlýně je momentálně umístěno nevyužívané mlýnské kolo, které jeho majitel plánuje nahradit vodní turbínou. Voda je ke kolu přiváděna uměle vytvořeným derivačním náhonem. Náhon je otevřený, beztlakový a levostranný ve směru toku řeky Želetavky, ze které odebírá vodu v 31,65 říčním kilometru. Náhon slouží dále jako přivaděč vody do nádrže, která je používána pro chov a sádkování ryb.

Náhon	délka	416,56	m
	sklon	0,31	promile
	kapacita (včetně průtoku pro nádrž)	208	l/s
	přibližný objem náhonu	513	m ³
	hloubka vody při kapacitním průtoku	0,74	m
Jez	Kóta koruny	467	m n. m.
	Kapacita	920	l/s

Tab. 6: Technické údaje náhonu a jezu [3]

Mlýn a objekty k němu náležící nebyly již delší dobu využívány ke svému účelu. Přesto, že se dochovaly ve vcelku dobrém stavu, některé části vyžadují rekonstrukci. Především je nutné vyčistit zanesený náhon a odpadní kanál a vyspravit určité části jejich břehu. Vzhledem k použití náhonu i jako přivaděče vody do nádrže je nezbytné jeho prohloubení a rozšíření takovým způsobem, aby se zachovaly hodnoty průtoku vedoucího na turbínu. Dále je potřeba vybudování vtokového prahu, který zcela chybí. Pro řádný chod náhonu je nutná rekonstrukce jalového přepadu a také jezu v korytě řeky Želetavky. [3]

Jez bude opraven zdivem z kamene na cementovou maltu s hrubým povrchem, které umožňuje při nízkých průtocích pohyb vodních živočichů. Vtokový práh bude vybudován z betonu s drážkami pro dřevěná hradítka. Jalový přepad bude zhotoven ze železobetonu, vyztužen svařovanou sítí a jeho dřevěné hrazení bude zabodované v ocelové drážce. [3]

5.4 Hydrologické poměry

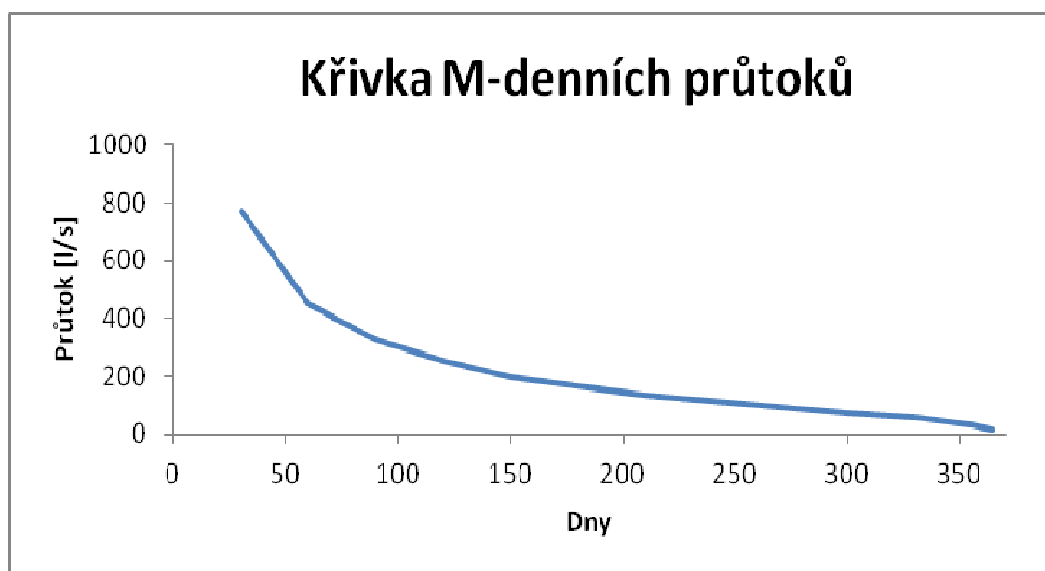
Řeka Želetavka

- plocha povodí 77,42 km²
- průměrná roční výška srážek na povodí 630 mm
- průměrný roční průtok 324,5 l/s [3]

M – denní průtoky

M	30	60	120	180	240	300	364
Q _{md} [l/s]	772,5	450	255	166	115	76	15

Tab. 7: Hodnoty M-denních průtoků [3]

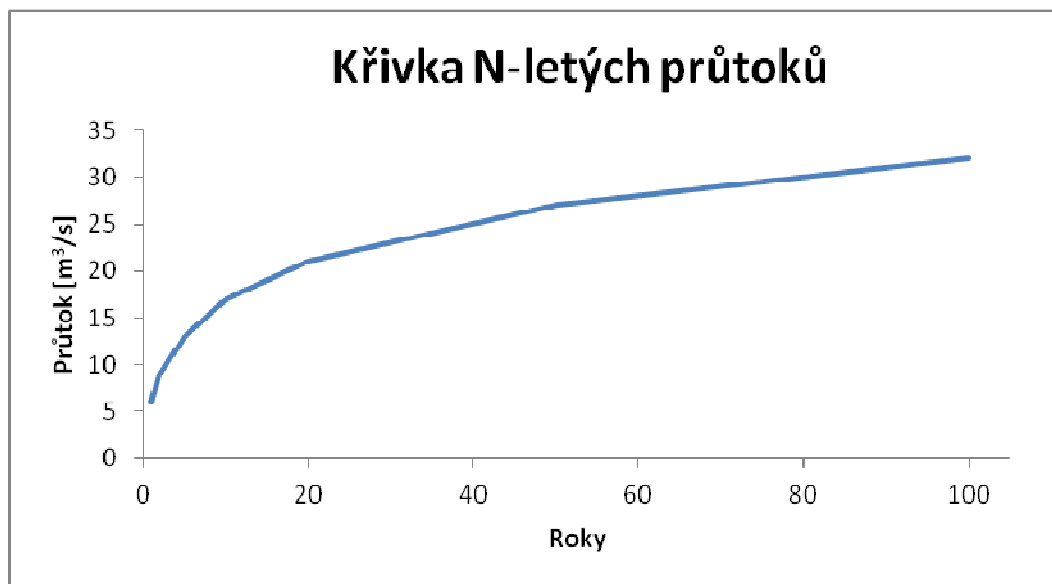


Graf 5: Křivka M-denních průtoků [3]

N – leté průtoky

N	1	2	5	10	20	50	100
$Q_{Nl} [m^3/s]$	6	9	13	17	21	27	32

Tab. 8: Hodnoty N-letých průtoků [3]



Graf 6: Křivka N-letých průtoků [3]

Použité hodnoty průtoky byly měřeny ve vodním toku v místě nad jezem. V korytě řeky je nutné zachovat sanační průtok, nebo-li minimální hodnotu stálého průtoky toku pod místem odběru, která je nezbytná pro jeho biologickou rovnováhu. Z důvodu nutnosti jeho zachování budou hodnoty průtoky v náhonu nižší o hodnotu sanačního průtoky. Tuto hodnotu stanovuje vodoprávní úřad.

5.5 Návrh turbíny

Pro lokalitu Lomského mlýna je vhodná Vírová nebo Bánkiho turbína. K výpočtu byly použity účinnostní charakteristiky turbín (viz. Příloha 1 a Příloha 2). Z důvodu nízké kolísavosti hladiny spodní vody je spád uvažován jako konstantní v celém návrhu turbíny. Pro zjednodušení návrhu byla použita konstantní hustota vody $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ a hodnoty průtoků v korytě řeky Želetavky (viz Tab. 7).

5.5.1 Vírová turbína

Hodnota spádu

$$H = 2,88 \text{ m}$$

Zvolená hodnota návrhového průtoku

Zvolená hodnota odpovídá 105 - ti dennímu průtoku.

$$Q_N = 0,29 \text{ m}^3/\text{s}$$

Zvolené souřadnice návrhové bodu z účinnostní charakteristiky turbíny

Jednotkový návrhový průtok	Q_{11N}	=	$1,9 \text{ m}^3/\text{s}$
Jednotkové návrhové otáčky	n_{11N}	=	220 min^{-1}
Účinnost modelu turbíny	η	=	$0,83$

Výpočet průměru oběžného kola turbíny

$$D = \frac{Q_N}{Q_{11N} \sqrt{H}} \quad (1)$$

$$D = 0,3 \text{ m}$$

Výpočet otáček oběžného kola turbíny

$$n_{11N} = \frac{n \cdot D}{\sqrt{H}} \Rightarrow n = \frac{n_{11N} \sqrt{H}}{D} \quad (2)$$

Otáčky oběžného kola turbíny	n	=	$1242,3 \text{ min}^{-1}$
Volená hodnota dle generátoru	n	=	1010 min^{-1}

Hodnota otáček byla optimalizována z důvodu připojení turbíny na asynchronní generátor bez nutnosti užití převodového stupně.

Výpočet průtoku

Otáčky díla

$$n_{11d} = \frac{n \cdot D}{\sqrt{H}} \quad (3)$$

$$n_{11d} = 178,5 \text{ min}^{-1}$$

Jednotkový průtok oběžným kolem díla stanoven z charakteristiky modelu

$$Q_{11d} = 1,83 \text{ m}^3/\text{s}$$

Průtok oběžným kolem díla

$$Q_d = Q_{11d} \cdot D^2 \cdot \sqrt{H} \quad (4)$$

$$Q_d = 0,28 \text{ m}^3/\text{s}$$

Stanovení sací výšky turbíny

$$H_s = \frac{p_a - p_{va}}{\rho \cdot g} - (\sigma \cdot H - h_j) \quad (5)$$

$$H_s = 2,87 \text{ m}$$

5.5.1.1 Výpočet teoretického ročního zisku

Výpočet byl proveden pro dvě různé varianty hodnot průtoku a počtu dní provozu turbíny.

Teoretický výkon

$$P_{th} = Q_d \cdot H \cdot \rho \cdot g \cdot \eta \quad (6)$$

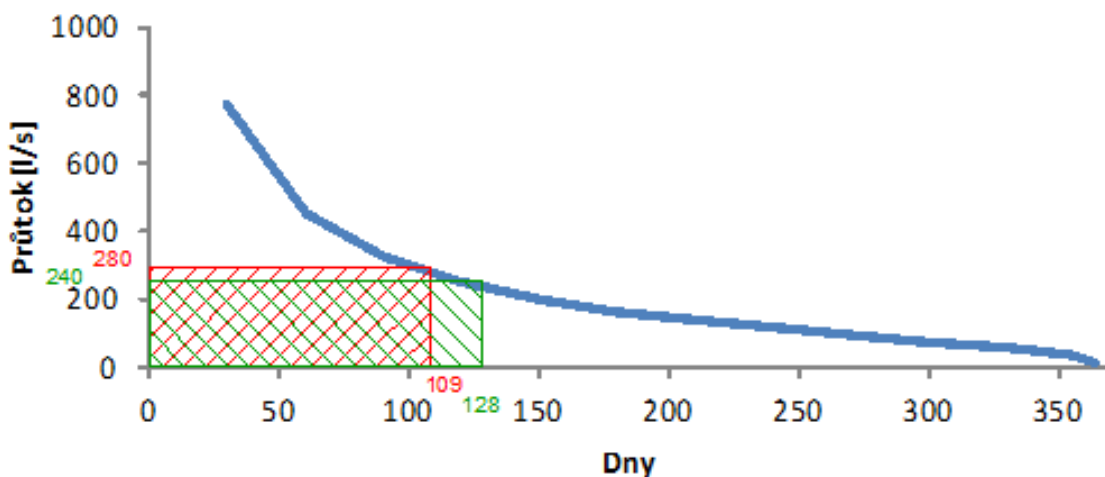
Teoretická vyrobená energie

$$E = P_{th} \cdot M \quad (7)$$

Teoretický roční zisk

$$\text{Výkupní cena 1MWh pro rok 2013} \quad c = 3230, -\text{Kč}$$

$$Z = E \cdot c \quad (8)$$



Graf 7: Graf srovnání pracovních oblastí 1. a 2. navrhované varianty

			Teoretický výkon	Teoretická vyrobená energie	Teoretický zisk
Varianta 1	Průtok	0,28 m ³ /s	5,7 kW	14,956 MWh/rok	48 308,-Kč
	Počet dní provozu	109			
Varianta 2	Průtok	0,24 m ³ /s	4,9 kW	14,981 MWh/rok	48 389,-Kč
	Počet dní provozu	128			

Tab. 9: Srovnání teoretického zisku pro různé hodnoty průtoku a počtu dní provozu

5.5.1.2 Generátor

U navrhované vírové turbíny není nutné užití převodového stupně. Turbína dosahuje takové hodnoty otáček, kdy je možné její připojení přímo na asynchronní generátor.

Jako generátor je možné použít trojfázový asynchronní motor nakrátko od firmy Siemens. Elektromotor je nutno kontrolovat na průběžné otáčky turbíny, které dosahují hodnoty 2164 min⁻¹. Vzhledem k pracovnímu prostředí se zvýšenou vlhkostí, by měl být navržen se zvýšenou odolností proti vlhkosti a s ochranou proti vniknutí vody.

5.5.2 Bánkiho turbína

Hodnota spádu

$$H = 2,88 \text{ m}$$

Zvolená hodnota návrhového průtoku

Zvolená hodnota odpovídá 105 - ti dennímu průtoku.

$$Q_N = 0,29 \text{ m}^3/\text{s}$$

Zvolené souřadnice návrhové bodu z účinnostní charakteristiky turbíny

Jednotkový návrhový průtok	Q_{11N}	=	$0,65 \text{ m}^3/\text{s}$
Jednotkové návrhové otáčky	n_{11N}	=	45 min^{-1}
Otevření regulační klapky	a	=	80%
Účinnost	η	=	$0,73$

Výpočet průměru a určení šířky oběžného kola turbíny

Průměr oběžného kola turbíny

$$D = \frac{Q_N}{Q_{11N} \sqrt{H}} \quad (1)$$

$$D = 0,51 \text{ m}$$

Volená hodnota šířky oběžného kola turbíny

$$B = 0,51 \text{ m}$$

Výpočet otáček oběžného kola turbíny

$$n_{11N} = \frac{n \cdot D}{\sqrt{H}} \Rightarrow n = \frac{n_{11N} \sqrt{H}}{D} \quad (2)$$

Otáčky oběžného kola turbíny	n	=	$148,6 \text{ min}^{-1}$
------------------------------	-----	---	--------------------------

Volená hodnota dle převodového stupně	n	=	150 min^{-1}
---------------------------------------	-----	---	------------------------

Výpočet průtoku

Otáčky díla

$$n_{11d} = \frac{n \cdot D}{\sqrt{H}} \quad (3)$$

$$n_{11d} = 45,08 \text{ min}^{-1}$$

Jednotkový průtok oběžným kolem díla stanoven z charakteristiky modelu

$$Q_{11d} = 1,83 \text{ m}^3/\text{s}$$

Průtok oběžným kolem díla

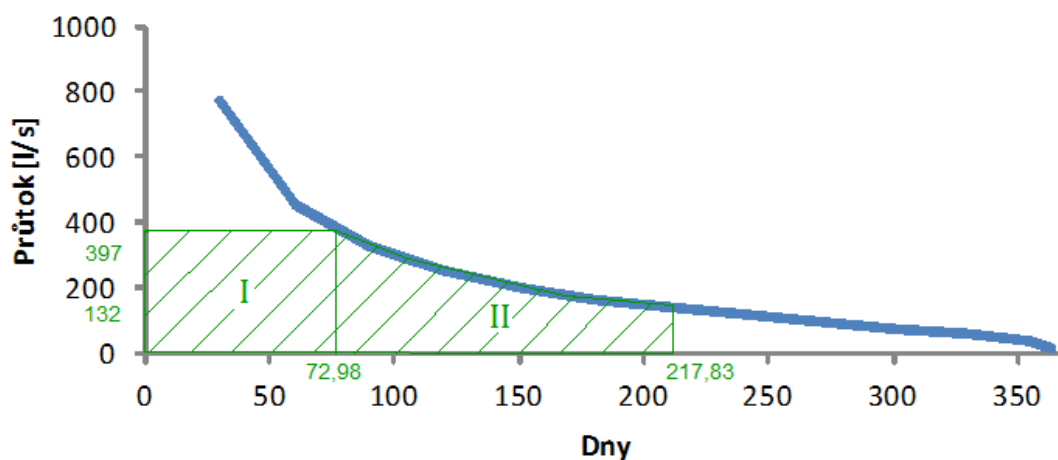
$$Q_d = Q_{11d} \cdot D \cdot B \cdot \sqrt{H} \quad (4)$$

$$Q_d = 0,28 \text{ m}^3/\text{s}$$

Výpočet teoretického ročního zisku

Vzhledem k návrhu rovnotlaké turbíny je nutno snížení hodnoty spádu

$$H = 2,55 \text{ m}$$



Graf 8: Pracovní oblast Bánkiho turbíny

Pro výpočet teoretického zisku rozdělíme pracovní oblast turbíny na části I a II. Výsledný teoretický zisk bude tvořen součtem zisků z obou oblastí.

5.5.2.1.1 Teoretický roční zisk z části I

Teoretický výkon

$$P_{th} = Q_d \cdot H \cdot \rho \cdot g \cdot \eta \quad (6)$$

$$P_{th} = 6,2 \text{ kW}$$

Teoretická vyrobená elektrická energie

$$E = P_{th} \cdot M \quad (7)$$

$$E = 10,86 \text{ MWh/rok}$$

Teoretický roční zisk

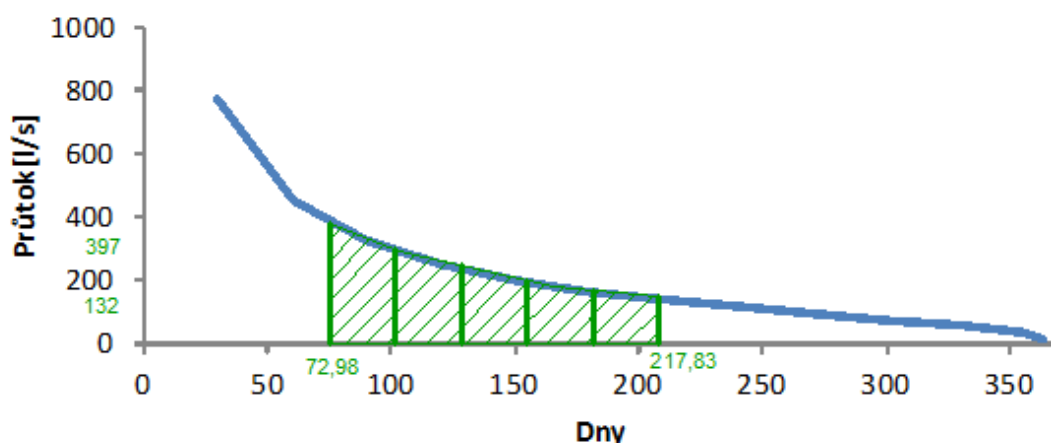
Výkupní cena 1MWh pro rok 2013

$$c = 3230, -\text{Kč}$$

$$Z = E \cdot c \quad (8)$$

$$Z = 35\,078, - \text{Kč}$$

5.5.2.1.2 Teoretický roční zisk z části II



Graf 9: Pracovní oblast Bánkiho turbíny, část II

Teoretický zisk z části II byl řešen lichoběžníkovou metodou. Graf 9 znázorňuje rozdělení této části na 5 dílů o šířce 28,97 dní. Hodnoty jednotkového průtoku, otevření rozvaděče a účinnosti díla byly stanoveny grafickou metodou z účinnostní charakteristiky turbíny. Velikost účinnosti generátoru byla pro jednotlivé díly provedena odhadem. Řešení bylo provedeno s konstantní hodnotou otáček oběžného kola turbíny $n_{11N} = 45 \text{ min}^{-1}$.

Teoretický výkon

$$P_{th} = Q \cdot H \cdot \rho \cdot g \cdot \eta_d \cdot \eta_G \quad (9)$$

Teoretická vyrobená elektrická energie

$$E = P_{th} \cdot M \quad (7)$$

Díl	Jednotkový návrhový průtok Q_{11N} [m ³ /s]	Průtok Q [m ³ /s]	Otevření regulační klapky a [%]	Účinnost díla η_D [-]	Účinnost generátoru η_G [-]	Výkon P [W]	Vyrobena elektrická energie E [Wh/rok]
1	0,84	0,371	91,0	0,72	0,85	5 676	3 946 719
2	0,72	0,318	79,0	0,76	0,85	5 136	3 570 841
3	0,6	0,265	67,0	0,70	0,80	3 710	2 579 555
4	0,48	0,212	51,0	0,60	0,75	2 385	1 658 285
5	0,36	0,159	38,0	0,48	0,70	1 336	928 640
							12,68 MWh/rok

Tab. 10: Výpočet teoretické vyrobené elektrické energie

Teoretický zisk

$$\text{Výkupní cena 1MWh pro rok 2013} \quad c = 3230, -\text{Kč}$$

$$Z = E \cdot c \quad (8)$$

$$Z = 40\,965, -\text{Kč}$$

Celkový teoretický zisk z provozu Bánkiho turbíny

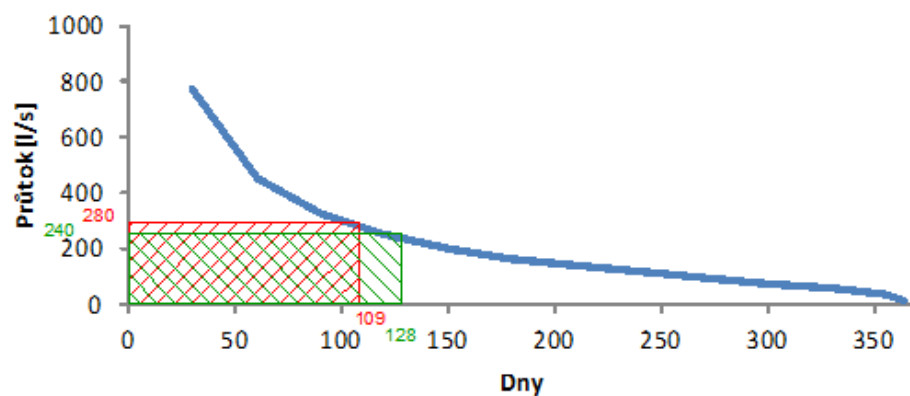
$$Z = 76\,034, -\text{Kč}$$

5.5.2.2 Generátor

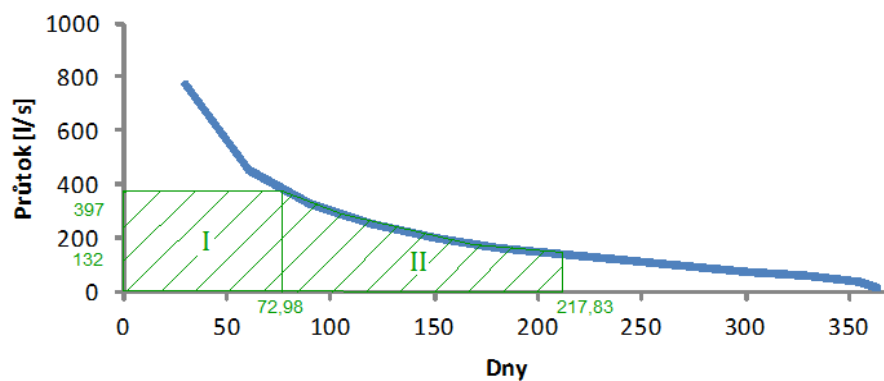
U navrhované Bánkiho turbíny není možné její připojení přímo na asynchronní motor. Turbína totiž nedosahuje požadované hodnoty otáček a proto je nutné užití převodového stupně.

Při užití převodu 1:5 je jako generátor možné použít typ asynchronního motoru, který byl popsán u vírové turbíny. Elektromotor je nutno zkontrolovat na průběžné otáčky turbíny, které dosahují hodnoty 90 min^{-1} .

5.5.3 Srovnání Vírové a Bánkiho turbíny



Graf 7: Graf srovnání pracovních oblastí 1. a 2. navrhované varianty



Graf 8: Pracovní oblast Bánkiho turbíny

		Nutnost převodového stupně	Počet dní provozu	Teoretická vyrobená elektrická energie [MWh/rok]	Teoretický zisk [Kč]
Vírová turbína	Varianta 1	NE	109	14,956	48 308
	Varianta 2	NE	128	14,981	48 389
Bánkiho turbína		ANO	218	23,54	76 034

Tab. 11: Srovnání Vírové a Bánkiho turbíny

6 Závěr

V dnešní době se pro spoustu lidí stává prakticky neomezený přísun elektrické energie samozřejmostí. Avšak hlavní zdroj pro získávání této energie tvoří fosilní paliva, jejichž zásoby se pomalu blíží vyčerpání. Proto otázka ohledně dalšího získávání elektrické energie patří k nejdůležitějším otázkám budoucnosti lidstva. Jednou z možností je výstavba nových vodních elektráren. Většina míst vhodných pro aplikaci velkých vodních elektráren je již obsazena, avšak hydroenergetický potenciál na výrobu elektřiny z malých vodních elektráren ještě zdaleka není využit. Malé vodní elektrárny sice samy o sobě nestačí k pokrytí veškeré poptávky po elektrické energii, ale tvoří nezanedbatelný zdroj této energie.

Výstavba malých vodních elektráren v nové lokalitě vyžaduje poměrně značné množství investičních nákladů. Proto je mnohdy ekonomicky výhodnější renovace malých vodních elektráren nebo přestavba vodních mlýnů. V těchto případech je totiž možné využít již existujících stavebních prvků, které jsou pro provoz malých vodních elektráren nezbytné. Avšak toto není pravidlem a v některých případech je renovace či přestavba obtížnější a nákladnější, než výstavba nového zařízení. Proto je velmi důležité pečlivě zhodnotit danou renovaci, nejen z technického, ale i ekonomického hlediska. Dále je nezbytné uvážení možných dopadů renovace nebo výstavby nového zařízení na životní prostředí.

Mlýn v Lomech je vhodným objektem pro přestavbu na malou vodní elektrárnu. Byly zde navrženy dvě turbíny: Vírová turbína a Bánkiho turbína. Ze srovnání obou turbín je patrné, že Bánkiho turbína se lépe přizpůsobí určité změně průtoku a proto je schopna provozu po více dní v roce, než Vírová turbína. Výhodou Vírové turbíny je možnost jejího použití bez převodového stupně, což sníží investiční náklady. Avšak z porovnání teoretického zisku obou turbín je patrné, že i přes nutnost užití převodového stupně je pro Lomský mlýn vhodnější Bánkiho turbína. Vypočtené hodnoty teoreticky vyrobitelné elektrické energie budou v praxi o něco nižší kvůli ztrátám. Mezi tyto ztráty patří například ztráty v náhonu a dále nutnost zachování sanačního průtoku v korytě a tím snížení průtoku vody v náhonu.

Pro správnou funkci elektrárny by kromě pořízení nového strojního zařízení byla nutná i rekonstrukce určitých částí mlýna. Tyto položky tvoří nezanedbatelnou část investiční nákladů, a proto by v praxi byla nutná podrobná studie takové přestavby, zhodnocení návratnosti investic a zvážení její ekonomické výhodnosti.

7 Seznam použitých zdrojů

- [1] Dušička Peter, Gabriel Pavel, Hodák Tomáš, Čihák František, Šulek Petr, *Malé vodní elektrárny*, Bratislava, 2003, 175 stran, ISBN 80-88902-45-1
- [2] BEDNÁŘ, Josef. *Malé vodní elektrárny 2: Turbíny*. Praha. 1989. 237 stran.
- [3] DOLEŽAL, Ing. Josef. *Revitalizace náhonu*. Moravské Budějovice, 2005.
- [4] Archiv museum Dačice
- [5] ŠOB, František. *Projektování*. [cit. 2013-05-21].
- [6] ŠOB, F. a V. HABÁN. *Charakteristiky modelové vírové turbíny*. Brno VUT FSI, 2002. ISBN VUT-EU-QR-34-02.
- [7] Obecná charakteristika Bánkiho turbíny
- [8] *Zvýšené průtoky na Želetavce* [online]. Brno, 2005 [cit. 2013-05-08].
Dostupné z:
http://is.muni.cz/th/77941/prif_b/Zvysene_prutoky_na_Zeletavce.txt. Bakalářská práce. Masarykova univerzita.
- [9] Historie. *Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů* [online]. [cit. 2013-04-12]. Dostupné z: <http://www.spvez.cz/pages/voda.htm>
- [10] Zajímavosti z konference Malé vodní elektrárny v ČR 2012. *Tzb-info* [online]. [cit. 2013-03-15]. Dostupné z:
<http://oze.tzb-info.cz/9181-zajimavosti-z-konference-male-vodni-elektrarny-v-cr-2012>
- [11] Předpisy OZE. *Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů* [online]. [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: http://www.spvez.cz/pages/predpisy_oze_003.htm
- [12] Zákon č. 254/2001 Sb. - o vodách (vodní zákon) a související předpisy. *Tzb-info* [online]. [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/zakon-c-254-2001-sb-a-souvisejici-predpisy>
- [13] Informace pro výrobce elektriny. *E.ON* [online]. [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: <http://www.eon.cz/cs/o-spolecnosti/informace-pro-partnery/informace-pro-vyrobce-elektriny.shtml#a1>
- [14] Cenová rozhodnutí. *Energetický regulační úřad* [online]. [cit. 2013-03-18]. Dostupné z: http://www.eru.cz/dias-browse_articles.php?parentId=113
- [15] Vodní energie. *EkoWATT* [online]. [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/uspory/vodni-energie.shtml>
- [16] Šnekové turbíny. *GESS-CZ, s.r.o.* [online]. [cit. 2013-04-08]. Dostupné z: <http://www.gess.cz/cz/male-vodni-elektrarny.html>

- [17] Šneková turbína. *Malé vodní elektrárny* [online]. [cit. 2013-04-08]. Dostupné z: <http://www.vodni-elektrarny.cz/snekova-turbina>
- [18] Bánkiho turbína. *P&S a.s.* [online]. [cit. 2013-04-09]. Dostupné z: <http://www.p-s.cz/bankiho-turbina-c7z2l0.html>
- [19] Vodná energia. *Obnovitel'né zdroje energie* [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.oze.stuba.sk/oze/vodna-energia/>
- [20] KAPLAN, Aleš. Vírová turbína. *3pól* [online]. [cit. 2013-04-10]. Dostupné z: <http://3pol.cz/1261-virova-turbina>
- [21] STANISLAV, Hes. Hydroenergetické využití velmi malých spádů v závislosti na ekonomické efektivitě. *ČEZ* [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/soutez/hes.pdf>
- [22] Projekt vývoje vícestupňové vírové turbíny: řešitel je držitelem prestižního ocenění Česká hlava. *ČEZ* [online]. [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyzkum-a-vzdelavani/veda-a-vyzkum/aktuality-z-vyzkumu-a-vyvoje-cez/11.html>
- [23] Průtok - Želetavka, Jemnice. *Grafy.plaveniny* [online]. [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://grafy.plaveniny.cz/cz/prutok/zeletavka/jemnice/20130520/364d.aspx>
- [24] Vodní turbíny: průtoková turbína Ossberger. *CINK Hydro Energy* [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://cink-hydro-energy.com/cz/turbina-cink-banki?page=turbiny>
- [25] Characteristics. *JLAKit* [online]. [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.jlakit.com/en/characteristics>
- [26] Mapy.cz. [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: http://mapy.cz/#x=15.625908&y=49.065808&z=12&d=muni_5412_1&t=s
- [27] Wikipedie. *Lomy (u Třebíče)* [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Lomy_\(okres_T%C5%99eb%C3%AD%C4%8D\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Lomy_(okres_T%C5%99eb%C3%AD%C4%8D))

8 Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratky:

ČSN	Česká státní norma
MVE	Malé vodní elektrárny
NT	Pásmo platnosti nízkého tarifu
STN	Slovenská státní norma
VE	Vodní elektrárny
VT	Pásmo platnosti vysokého tarifu

Symboly:

a	[%]	Otevření regulační klapky
c	[Kč]	Výkupní cena 1MWh pro rok 2013
g	[m/s ²]	Gravitační zrychlení
h _j	[-]	Kavitační jistota
n	[min ⁻¹]	Otáčky oběžného kola turbíny
n _{11d}	[min ⁻¹]	Jednotkové otáčky díla
n _{11N}	[min ⁻¹]	Jednotkové návrhové otáčky
p _a	[Pa]	Atmosférický tlak
p _{va}	[Pa]	Tlak nasycených par
B	[m]	Šířka oběžného kola turbíny
D	[m]	Průměr oběžného kola turbíny
E	[Wh/rok]	Teoretická vyrobená energie
H	[m]	Spád
H _S	[m]	Sací výška turbíny
M	[h/rok]	Počet hodin výroby
P _{th}	[W]	Teoretický výkon
Q	[m ³ /s]	Průtok
Q _{11d}	[m ³ /s]	Jednotkový průtok díla
Q _{11N}	[m ³ /s]	Jednotkový návrhový průtok
Q _d	[m ³ /s]	Průtok díla
Q _{md}	[m ³ /s]	M-denní průtok
Q _N	[m ³ /s]	Návrhový průtok
Q _{Nl}	[m ³ /s]	N-letý průtok
Z	[Kč]	Teoretický zisk
η _d	[-]	Účinnost díla
η _G	[-]	Účinnost generátoru
η	[-]	Účinnost modelu turbíny
ρ	[kg/m ³]	Hustota
σ	[-]	Kavitační součinitel

9 Seznam použitých obrázků

Obrázek 1: a) Segnerovo kolo, b) Eulerův stroj	10
Obrázek 2: Umělé soustředění spádu.....	12
Obrázek 3: Beztlakové přivaděče derivačních vodních elektráren	13
Obrázek 4: Přehradně derivační systém na jednom toku	13
Obrázek 5: Vodní kolo a) se svrchním nátokem, b) se středním nátokem s regulační kulisou, c) se středním nátokem s regulačním přelivem, d) se spodním nátokem	18
Obrázek 6: Rozdělení turbín podle průtoku oběžným kolem	19
Obrázek 7: Členění turbín podle způsobu přenosu energie	20
Obrázek 8: Šneková turbína	22
Obrázek 9: Proudění uvnitř oběžného kola	23
Obrázek 10: Oběžné kolo Bánkiho turbíny	23
Obrázek 11: Oběžné kolo vírové turbíny	24
Obrázek 12: Mapa Lomského mlýna	26
Obrázek 13: Mapa ČR s vyznačenou vesnicí Lomy	26

10 Seznam použitých grafů

Graf 1: Vývoj výroby elektřiny z MVE v České republice	11
Graf 2: Srovnání turbín v závislosti na velikosti průtoku, spádu a výkonu.....	21
Graf 3: Průtok řeky Želetavky od 1. 5. 2007 do 1. 5. 2013, měřeno na stanici v Jemnici.....	27
Graf 4: Vodní stav řeky Želetavky od 1. 5. 2007 do 1. 5. 2013, měřeno na stanici v Jemnici.....	27
Graf 6: Křivka N-letých průtoků	30
Graf 7: Graf srovnání pracovních oblastí 1. a 2. navrhované varianty	33
Graf 8: Pracovní oblast Bánkiho turbíny	35
Graf 9: Pracovní oblast Bánkiho turbíny, část II	36
Graf 7: Graf srovnání pracovních oblastí 1. a 2. navrhované varianty	38
Graf 8: Pracovní oblast Bánkiho turbíny	38

11 Seznam použitých tabulek

Tab. 1: Výkupní ceny a roční zelené bonusy na elektřinu pro MVE.....	16
Tab. 2: Parametry šnekové turbíny	22
Tab. 3: Parametry Bánkiho turbíny.....	23
Tab. 4: Srovnání účinnosti jednotlivých typů turbín v závislosti na hltnosti	23
Tab. 5: Parametry vírové turbíny	24
Tab. 6: Technické údaje náhonu a jezu.....	28
Tab. 7: Hodnoty M-denních průtoků	29
Tab. 8: Hodnoty N-letých průtoků.....	30
Tab. 9: Srovnání teoretického zisku pro různé hodnoty průtoku a počtu dní provozu...	33
Tab. 10: Výpočet teoretické vyrobené elektrické energie	36
Tab. 11: Srovnání Vírové a Bánkiho turbíny.....	38

12 Seznam použitých schémat

Schéma 1: Klasifikace vodních elektráren.....	14
Schéma 2: Dělení vodního stroje	17
Schéma 3: Základní klasifikace vodních turbín.....	19

13 Přílohy

Seznam příloh

Příloha 1: Účinnostní charakteristika Vírové turbíny

Příloha 2: Hydraulický profil modelu Vírové turbíny

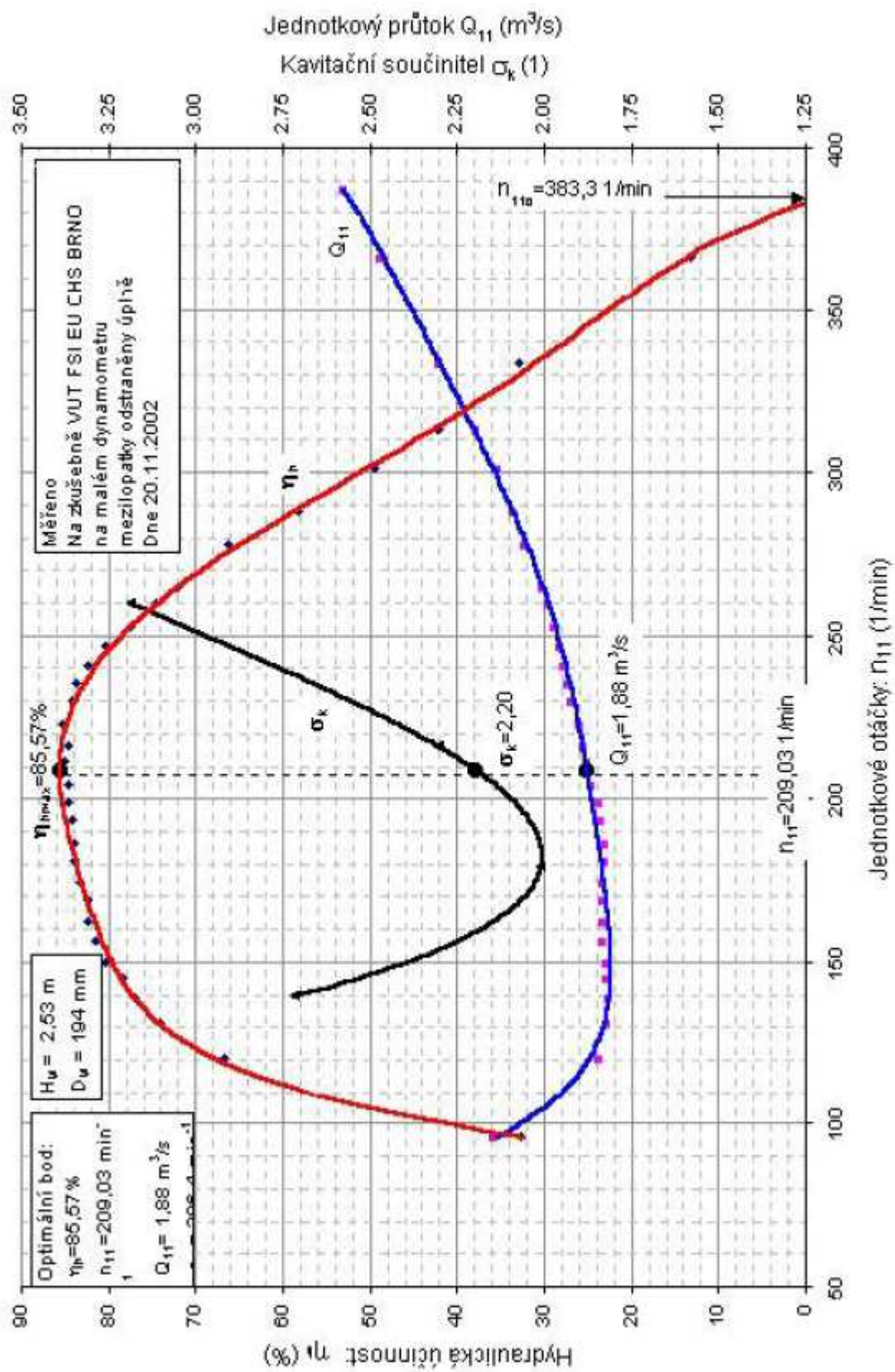
Příloha 3: Účinnostní charakteristika Bánkiho turbíny

Příloha 4: Hydraulický profil Bánkiho turbíny

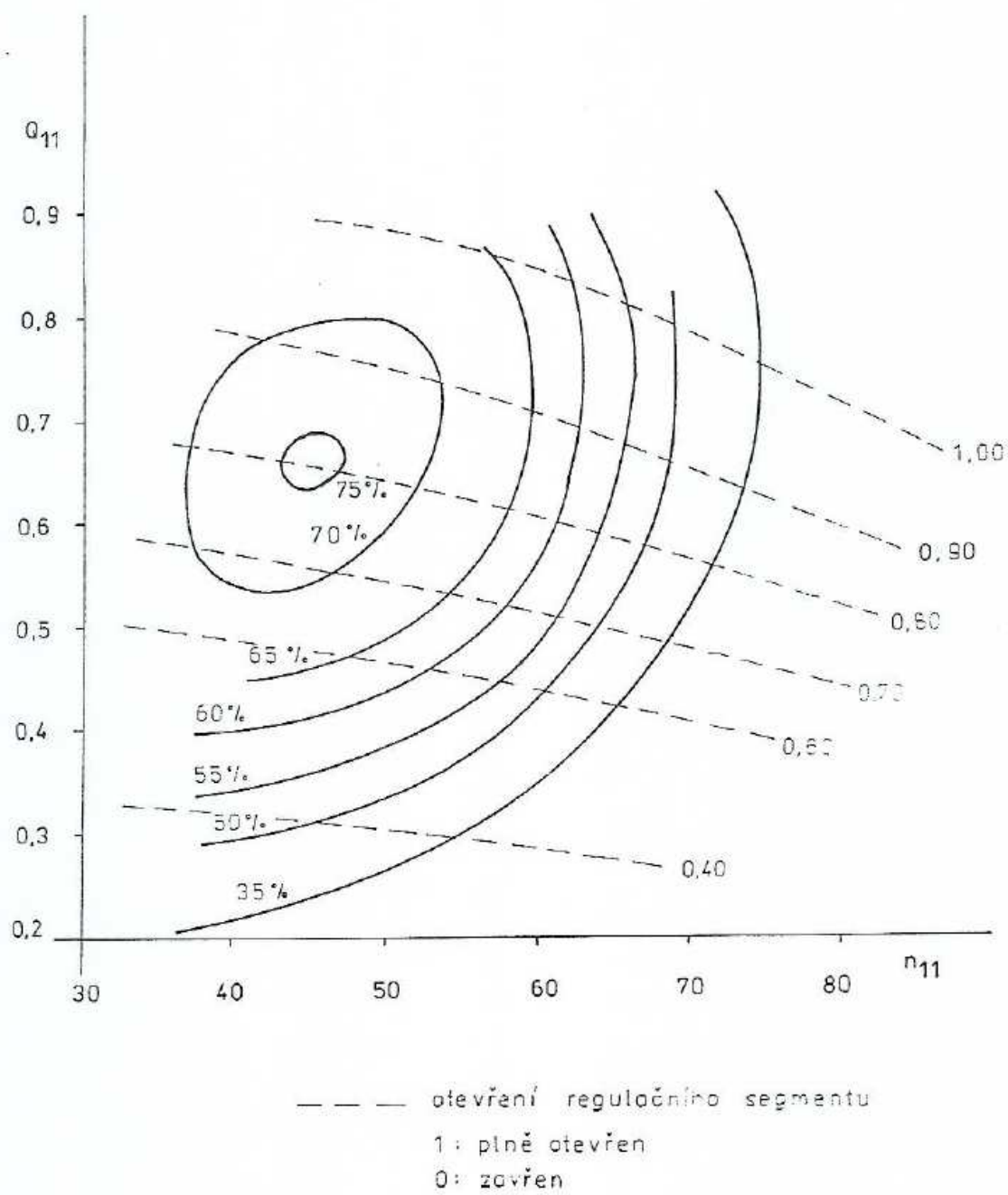
Příloha 5: Lomský mlýn – vodní kolo

Příloha 6: Lomský mlýn – náhon a nádrž

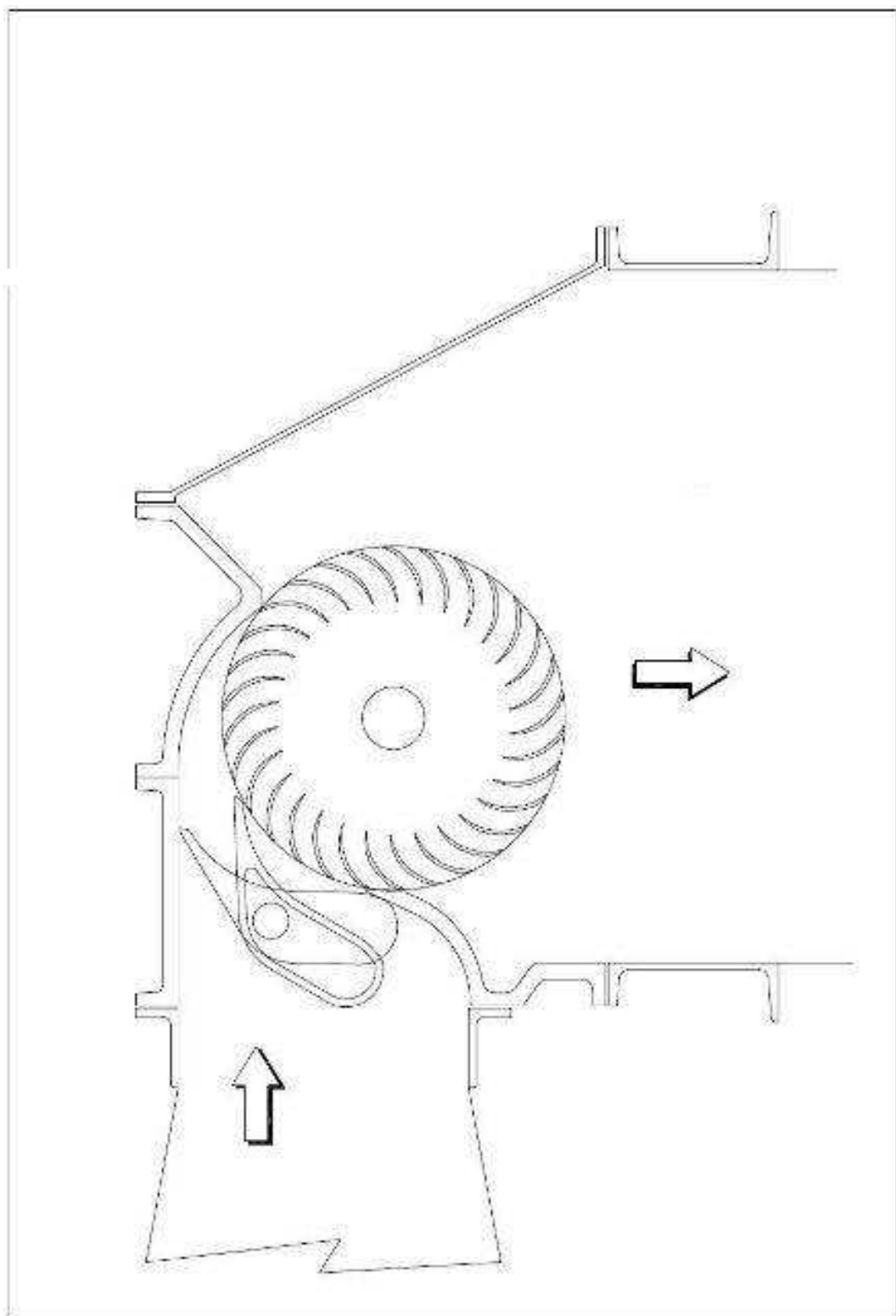
Příloha 7: Lomský mlýn – mapa náhonu



Příloha 1 [6]



Příloha 3 [7]



Příloha 4 [25]





