



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV ENERGETIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

PŘESTAVBA HISTORICKÉ TECHNICKÉ PAMÁTKY NA MALOU VODNÍ ELEKTRÁRNU

ADAPTATION OF HISTORICAL TECHNICAL FACILITY ON THE SMALL HYDROELECTRIC
POWER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN PAVLÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MARTIN HUDEC

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jan Pavlíček

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 2011/2012.

V Brně, dne 24.11.2011

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

V bakalářské práci je popsána historie vodních strojů a jejich využívání na území současné České republiky. Práce se dále dotýká obecné problematiky obnovitelných zdrojů energie především vodních elektráren. V druhé části se práce věnuje malé vodní elektrárně Vilémovský mlýn v Bítovčích s užitím poznatků z rešeršní části práce.

ABSTRACT

The Bachelor thesis describes the history of water engines and usage of water engines in the territory of today's the Czech republic. The thesis also deals with the common issue of renewable energy resources, especially of hydroelectric power. THE Last part is about small hydroelectric power plant Vilémovský mlýn in Bítovčice and is based on previous knowledge.

KLÍČOVÁ SLOVA

Malá vodní elektrárna

Obnovitelné zdroje

Turbína

Spád

KEY WORDS

Small hydroelectric power plant

Renewable sources

Turbine

Declivity

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PAVLÍČEK, J. *Přestavba historické technické památky na malou vodní elektrárnu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009 . 43 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Hudec

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně na základě svých znalostí, odborných konzultací, literatury uvedené v seznamu a pod vedením Ing. Martina Hudce.

V Brně dne 22. 5. 2012

.....

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu Ing. Martinu Hudcovi za vedení při tvorbě této práce a za rady ohledně návrhu turbíny. Dále děkuji panu Ing. Oldřichu Svobodovi za poskytnutí pracovní verze SOČ ohledně děl na řece Jihlavě.

OBSAH

Bibliografická citace.....	5
Čestné prohlášení	6
Poděkování	7
Obsah.....	8
1 Úvod.....	10
2 Historie vodních strojů.	11
2.1 Vodní kola.....	11
2.2 Moderní vodní stroje	12
3 Historie využívání vodní síly na našem území.....	13
3.1 Vývoj do roku 1918.....	13
3.2 První republika a druhá světová válka.....	13
3.3 Poválečné období.....	14
3.4 Konec 20. století a současnost.....	14
4 Obnovitelné zdroje energie	16
4.1 Geotermální energie	16
4.2 Bioplyn, biomasa a skládkový plyn.....	16
4.3 Fotovoltaika	17
4.4 Větrná energie.....	17
4.5 Vodní energie	17
5 Malé vodní elektrárny	18
5.1 Strojní zařízení MVE.....	18
5.1.1 Rovnotlaké turbíny	19
5.1.1.1 Peltonova turbína.....	19
5.1.1.2 Bánkiho turbína	20
5.1.2 Přetlakové turbíny	20
5.1.2.1 Kaplanova turbína.....	21
5.1.2.2 Francisova turbína	22
5.1.3 Kašny, spirály a savky přetlakových turbín.....	22
5.2 Vtokové objekty a přivaděče a odpady.....	24
5.2.1 Důležité části vtokových objektů	24
5.2.1.1 Prvky chránící proti plaveninám.....	24
5.2.1.2 Prvky chránící proti splaveninám.....	24
5.2.1.3 Uzávěry.....	24
5.2.2 Jezové vodní elektrárny	25
5.2.3 Elektrárny s beztlakou derivací	25
5.2.4 Elektrárny s tlakovou derivací.....	26
6 MVE Vilémovský mlýn na Jihlavě	27
6.1 Řeka Jihlava.....	27
6.2 Historie Vilémovského mlýna	28
6.2.1 Rekonstrukce v roce 1930	28
6.2.2 Období mezi lety 1945 a 1990.....	30
6.2.3 Rok 1990	30
6.3 Hydrologické poměry	30
6.4 Hlavní technické parametry.....	31
6.5 Regulace turbíny.....	32
6.6 Vodní díla v okolí Bítovčic	32

6.6.1	Ohnsorgův mlýn v Kostelci	33
6.6.2	Pekárkův Pekelský mlýn nad Rantířovem	33
6.6.3	Rantířovický mlýn (kdysi Šaškův mlýn)	33
6.6.4	Pila na Jiřínském potoce u Rantířova (Dříve Bémova pila)	33
6.6.5	Jez u Motorpalu	33
6.6.6	Jezuitský mlýn	33
6.6.7	Český splav	34
6.6.8	Vodní dílo pod českým splavem	34
6.6.9	Pekárkův mlýn (dříve Dřevěný mlýn)	34
6.6.10	Textilní továrna v Heleníně	34
6.6.11	Panský mlýn	34
6.6.12	Jez u býv. Partexu Malý Beranov	34
6.6.13	Kamenný mlýn (pod Malým Beranovem)	34
6.6.14	Petrovický mlýn (Rychnovský)	35
6.6.15	Konvalinkův jez (bývalá pila Předboří)	35
6.6.16	Elektrárna v Lukách nad Jihlavou	35
6.6.17	Mlýn v Bítovčicích	35
6.6.18	Čermákův mlýn (v Přímělkově)	35
6.7	Návrh Kaplanovy turbíny	36
7	Závěr	39
8	Seznam použité literatury	40
9	Seznam použitých zkratk a symbolů	42
10	Přílohy	43

1 Úvod

V současnosti pochází většina vyrobené energie v České republice z elektráren spalujících fosilní paliva nebo elektráren jaderných. Dalším velmi významným zdrojem elektrické energie jsou vodní elektrárny, které využívají energii našich vodních toků. Využívání energie vody má na našem území dlouhou tradici. Naše řeky byly od pradávna posety vodními díly silotvornými. Bohužel vlivem politické-hospodářské situace po druhé světové válce se mnoho z těchto vodních děl zastavilo, nebo bylo úplně zrušeno. Až později se ukázalo, že šlo o velmi nešťastné rozhodnutí a malá vodní díla začala být obnovována a opět začala soužit svému účelu.

Se stále se zvyšujícím tlakem EU na co nejširší využití obnovitelných zdrojů energie se i malé vodní elektrárny stávají důležitou součástí nejen naší elektrické soustavy, ale také elektrických soustav v jiných státech Evropy. Geografické umístění České republiky příliš nepřeje výstavbě velkých vodních elektráren s výkonem nad 10 MW instalovaného výkonu, jelikož zde většinou není možné dosáhnout tak vysokých spádů nebo průtoků. Toto Českou republiku přímo předurčuje k využívání právě malých vodních elektráren do 10 MW instalovaného výkonu. Na březích řek a potoků lze stále najít stará nevyužívaná vodní díla nebo jejich části, jež lze rekonstruovat nebo na jejich místech zbudovat díla nová, avšak s citelně nižšími náklady a zásahy do okolní krajiny. To, spolu s možností téměř bezobslužného zařízení malé vodní elektrárny s relativně jednoduchou údržbou a dlouhou životností a v neposlední řadě s ekonomickou návratností investice díky podpoře tzv. zelené energie, zvyšuje šanci, že se v budoucnu dočkáme lepšího využití hydroenergetického potenciálu toků na našem území.

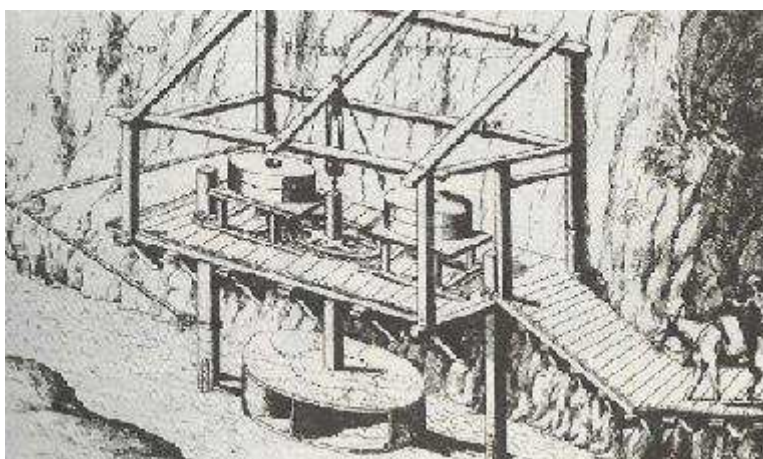
Práce shrnuje historii vodních strojů a využívání vodních toků na našem území. Zároveň porovnává vodní elektrárny jako zdroj obnovitelné energie s ostatními zdroji využívanými u nás a v poslední části je věnována MVE Vilémovský mlýn v Bítovčicích, jež poslouží k praktické ukázce.

2 Historie vodních strojů.

Člověk se už od nepaměti snaží získávat energii ze svého okolí, ať už jde o energii živlů jako je oheň, vítr a voda nebo síla zvířat. Vítr a voda byly nejprve využívány pro ulehčení pohybu, avšak později to byla právě energie vody, která byla jako první energie z neživého zdroje použita pro pohon zařízení vázaného na pevné místo.

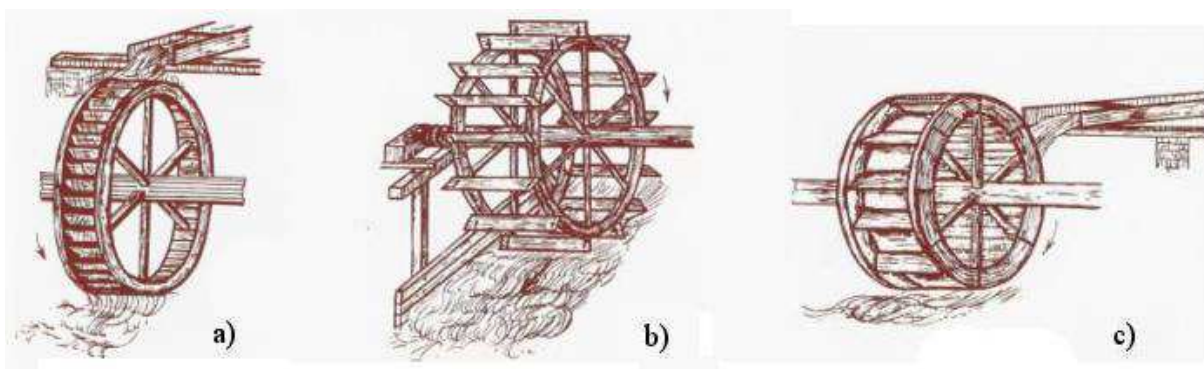
2.1 Vodní kola

Už kolem roku 600 př. n. l. bylo Chaldejci použito vodní kolo pro dopravu vody v zavlažovacím systému. V 2. století př. n. l. je pravděpodobně poprvé použito vodní kolo pro pohon mlýnských kamenů. Šlo o vodní kola s vertikální osou. [2]



Obrázek 1: Vodní kolo s vertikální osou

Vynález vodního kola s horizontální osou a přenosem otáčení do vertikálního směru v 1. století našeho letopočtu je připisován ke jménu římského stavitele Vitruvia Pollia. Roku 361 byly na řece Mosel postaveny první mlýny v Německu. Díky úpadku moci Říma v kolem roku 450 a s tím souvisejícímu omezení levné pracovní síly otroků dochází k většímu využívání vodní energie a v následujících pár století se z vodního kola stává všeobecně využívaný energetický stroj. [2], [11]

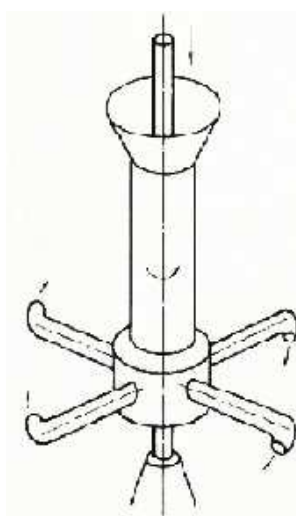


Obrázek 2: Vodní kola a) s horním nátokem (korečník), b) se spodním nátokem, c) se středním nátokem. [5]

U nás byl první mlýn postaven roku 718 v Žatci na Ohři. Na Jadranu již v roce 1046 využívali tamní obyvatelé díky vodním kolům energii přílivu a odlivu. Další milník ve vývoji vodního kola přišel ve 14. století, tzv. korečník je kolo se svrchním nátokem, jehož použití umožňovalo zvýšení výkonu na dvojnásobek.[11]

2.2 Moderní vodní stroje

V 17. století se objevila kola využívající i dynamický účinek vodního paprsku a stala se tak vzdálenými předchůdci rovnotlakých vodních turbín. Vývoj vodního kola vyvrcholil v 18. století díky pokroku ve výzkumu proudění. Současně se objevují motory pracující na reakčním principu jako např. Segnerovo kolo sestrojené roku 1750 Andreasem Segnerem s uváděnou účinností 30–40 %. K jeho zdokonalení přispěl svou teoretickou prací Leonard Rulet a Leonard Euler sestrojením Eulerova stroje o účinnosti až 70 %. V praxi se však neuchytilo a posloužilo spíše k dalšímu výzkumu vodních turbín.[2]



Obrázek 3: Segnerovo kolo s naznačenými směry proudění[2]

Pravý předchůdce dnešních turbín byl až stroj nazvaný „turbinens“ navržený roku 1826 profesorem Claudiem Burdujem. Praktického využití se však stejně jako jeho reakční předchůdci nedočkal, to se povedlo až o rok později zdokonalenému řešení Bendita Fourneyrona, což byla první široce uplatňovaná přetlaková turbína. Nastartovala éra překotného vývoje přetlakových turbín, kde mezi nejvýznamnější patří určité vynálezy Jamese B. Francise (Francisova turbína – 1849) a Lestera A. Peltona (Peltonova turbína – 1880) a Viktora Kaplana (Kaplanova turbína – 1919). [2]

3 Historie využívání vodní síly na našem území

Z historických pramenů vychází, že na našem území byla síla vody využívána již od středověku. Především šlo o mlýny, pily a hamry vybavené vodním kolem a později turbínou. Ve 20. století pak došlo k přeorientování z přímého pohonu výrobních zařízení energií vody na její transformaci v energii elektrickou. – přišla éra vodních elektráren. [11]

3.1 Vývoj do roku 1918

Výstavba vodních elektráren¹ započala na konci 19. století. Tyto elektrárny byly budovány k uspokojení místních potřeb elektrické energie a to především kvůli osvětlení. Kupříkladu Národní divadlo v Praze bylo v roce 1882 napojeno na místní malou vodní elektrárnu na Vltavě, která dodávala elektřinu pro obloukové lampy². Výroba elektřiny však nebyla hlavním využitím pro vodní stroje. Ty byly stále nejvíce používány pro přímý pohon strojů v továrnách na březích našich řek či částečně na výrobu elektrické energie. Zařízení čistě pro výrobu elektřiny byla stále výjimkou.

Mezi roky 1900 a 1914 docházelo často k přestavbám mlýnů na vodní elektrárny. Bylo to způsobeno úpadkem mlynářství kvůli dovozu levné mouky z tehdejších Uher a Kanady. Tyto malé elektrárny se velkou měrou podíleli na elektrifikaci přilehlých obcí. První světová válka vedla paradoxně k další výstavbě malých vodních elektráren a to z důvodu nedostatku petroleje ke svícení a nafty pro pohon strojů. [12]

3.2 První republika a druhá světová válka

V roce 1918 se výkony významnějších vodních elektráren pohybovaly většinou v rozmezí 10–100 kW. Existovalo však pár výjimek, přičemž elektrárna s největším instalovaným výkonem 8 MW byla v té době Pod Čertovou stěnou ve Vyšším Brodě. Ostatní „velké“ elektrárny té doby se však s výkonem pohybovaly buďto kolem nebo, a to bylo častější, pod hranicí 1 MW. V roce 1919 byl podíl výroby elektrické energie z vodních elektráren 7,5 %. Většina využitého hydroenergetického potenciálu byla stále využívána k přímému pohonu. [12]

Velký impuls dostala výstavba vodních elektráren po roce 1919, kdy byl přijat zákon 438/1919 Sb. „O státní podpoře při zahájení soustavné elektrizace“. Zákon podporoval výstavbu vodních elektráren z veřejných prostředků a elektrizace byla prohlášena za veřejný zájem. Zvláštní pozornost byla věnována co nejlepšímu využití vodních sil. Právě v tomto období probíhala stavba nových vodních děl vybavenými nejčastěji turbínou Francisovou turbínou. Mezi nejvýznamnější výrobce vodních turbín u nás patřili závody Josefa Prokopa synové v Pardubicích, ČKD Blansko nebo Voith. S podporou elektrizačního zákona docházelo nejen ke stavbě malých vodních elektráren³, ale také ke stavbě větších děl s výkonem nad 1 MW. Byly také rekonstruovány stávající vodní elektrárny. Například ve výše zmíněné elektrárně Pod Čertovou stěnou došlo k navýšení výkonu na hodnotu 16,2 MW⁴. V roce 1930 byl už podíl elektrické energie vyrobené ve vodních zdrojích 13,74 %⁵. [12]

¹ Z dnešního pohledu šlo o malé vodní elektrárny tj. do výkonu 10 MW

² V roce 1883 přešlo Národní divadlo na osvětlení žárovkami, které bylo poprvé použito k osvětlení Městského divadla v Brně v roce 1882.

³ Za malé energetické zdroje byly ve 20. letech 20. století považovány zdroje o výkonu od 1,5 kW do 15 kW

⁴ Šlo tedy o první elektrárnu nespadající do kategorie MVE, jak jsou definovány dnes.

⁵ Po přičtení energie využitě k mechanickému pohonu strojů šlo dokonce o 37,29 % z celkové vyrobené elektrické energie. Nutno dodat, že nejde o podíl na celkové energetické výrobě, protože i tepelné stroje byly používány k přímému pohonu.

Ve stejném roce shromáždil Československý daňový a důchodový úřad⁶ seznam všech vodních silotvorných zařízení na území tehdejší ČSR s výkonem vyšším než dvě koňské síly (tj. 1,472 kW). Bylo zjištěno, že na území dnešní České republiky se nachází 11 785 vodních energetických zdrojů o celkovém výkonu 194 387,69 kW a z toho je 354 elektráren o celkovém výkonu 66 519,17 kW. [12]

Během hospodářské krize a druhé světové války došlo opět navzdory nepříznivé ekonomické situaci ke zvýšení využití hydroenergetického potenciálu. Od roku 1933 byly uváděny do provozu nejen malé vodní zdroje ale i velké elektrárny s výkony nad 10 MW. Největší z nich, Štěchovice na Vltavě, byla uvedena do provozu roku 1943 a disponovala výkonem 22,5 MW. Tisíce vodních kol s účinností 20-70 % byly nahrazeny turbínou (převážně Francisovou) s účinností 76-79 %. Celková výroba energie z hydrozdrojů v Československu⁷ stoupla z 1116,10 GWh v roce 1930 na 3004,54 GWh v roce 1944. [12]

3.3 Poválečné období

V roce 1945 byly tyto elektrárny a energetické zdroje znárodněny a velká část jich byla odstavena. Byla ražena politika velkých (tepelných) elektráren a malé zdroje byly prohlášeny za neefektivní. V roce 1950 bylo na území dnešní České republiky v provozu jen 5471 hydroenergetických děl s instalovaným výkonem 478,5 MW. [12]

Léta 1950–1962 byly ve znamení výstavby velkých vodních děl s velkými akumulacími nádržemi. Do provozu byla uvedena vltavská kaskáda:

- 1954 Slapy, 144 MW
- 1959–1960 Lipno, 120 MW
- 1961 Kamýk, 40 MW
- 1961–1962 Orlík, 364 MW

V roce 1964 činil podíl elektrické energie vyrobené ve vodních elektrárnách přibližně 19 % z celkové výroby v Československu. Během následujících let se však tento podíl zmenšoval. Svou vinu na tom měla také situace kolem malých vodních elektráren. Ty byly většinou odstavené, nebo když už fungovaly, tak byla zanedbávána údržba, a tudíž docházelo k postupnému snižování jejich účinnosti. [12]

3.4 Konec 20. století a současnost

Zlom nastal s příchodem energetické krize v 70. letech 20. století a s tím souvisejícím růstem cen energií. Dochází k přehodnocení pohledu na malé vodní elektrárny zvláště pro jejich nenákladný provoz. Bohužel touhle dobou je většina původního vybavení odstavených MVE buďto zničená, nebo značně zdevastovaná. [12]

Další významný milník přišel se sametovou revolucí v roce 1989, majetek státu se vrátil zpět do soukromého vlastnictví a na mnoha místech začaly jak práce na renovaci starých strojů, tak i výstavba nových na v té době nevyužitých jezech. Rozmach malých vodních elektráren v tomto období lze vysledovat z tabulky 1.

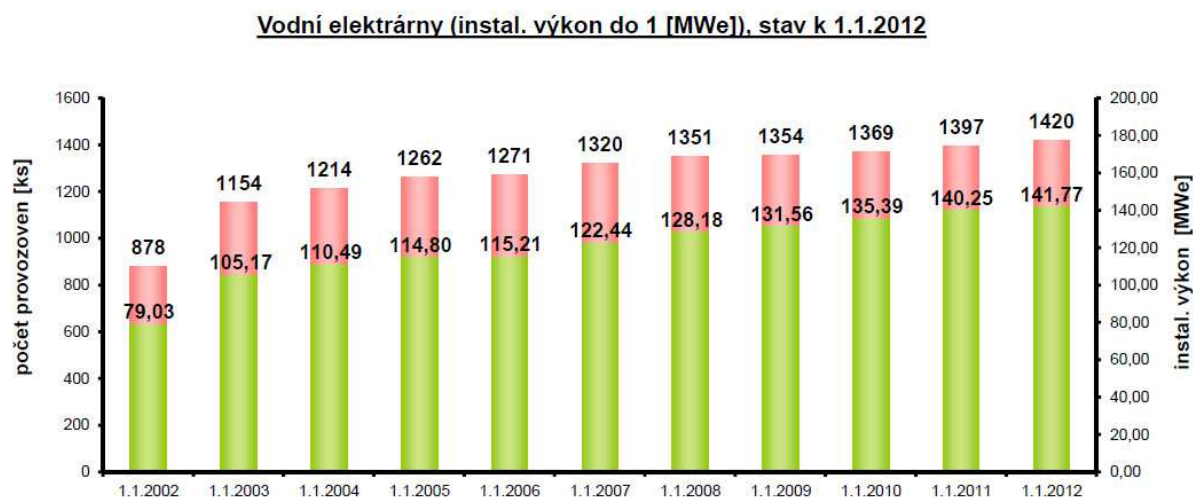
⁶ Kvůli výběru daní, což způsobilo, že provozovatelé vodních děl sem tam uváděli nepravdivé (nižší) hodnoty výkonů.

⁷ V roce 1930 byl instalovaný výkon Česka a Slovenska v poměru cca 5:1

Rok	Počet	Instalovaný výkon [MW]
1980	135	10
1985	250	20
1990	900	65
1995	1 200	200
2000	1 300	262
2001	1 330	270
2002	1 350	275

Tabulka 1: Počet a instalovaný výkon MVE v ČR [3]

1. ledna 2001 vznikl v České republice Energetický regulační úřad sídlem v Jihlavě udělující mimo jiné licence k podnikání v energetických odvětvích. Již pomalý, ale setrvalý růst počtu MVE a s tím i celkového instalovaného výkonu ilustruje graf na obrázku 4.⁸ [4]



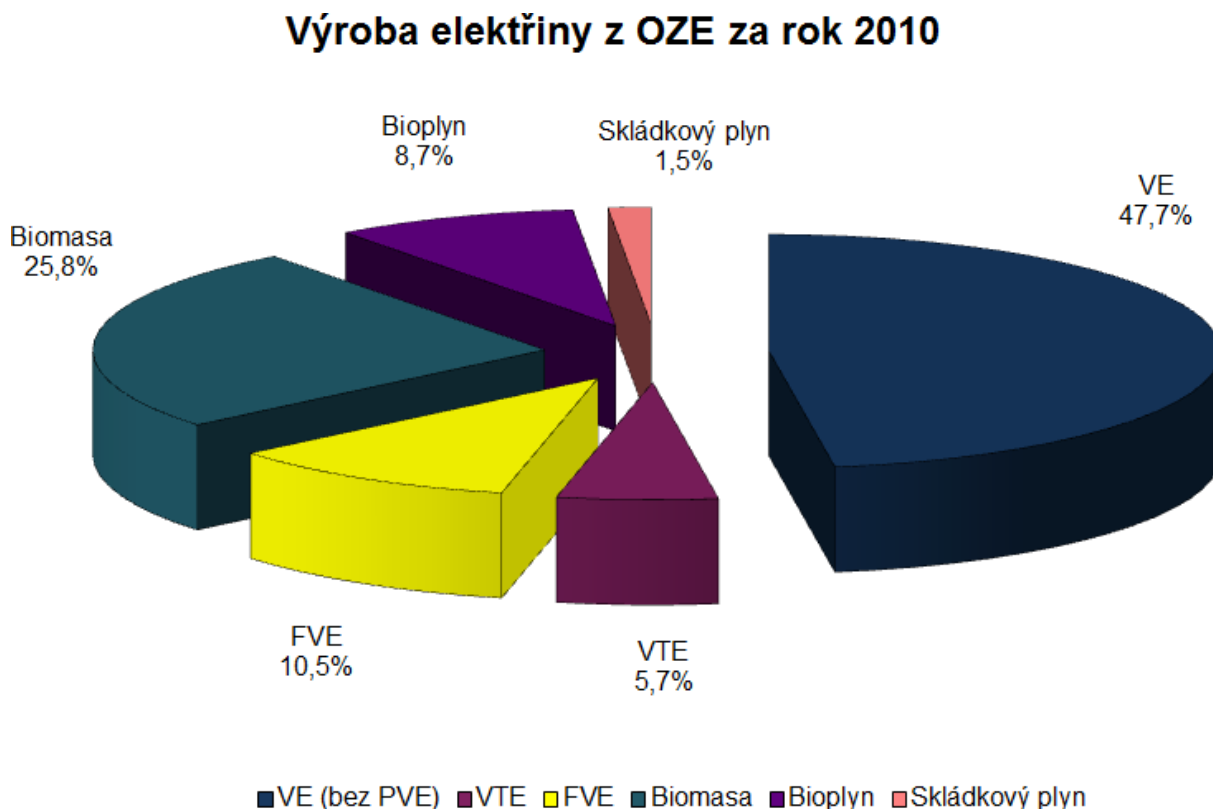
Graf 1: Počet a instalovaný výkon MVE do 1 MWe v ČR. [4]

⁸ ERÚ zveřejňuje jen počty MVE s elektrickým výkonem do 1 Mwe

4 Obnovitelné zdroje energie

Obnovitelné zdroje energie (OZE) nabývají v posledních letech stále většího významu. Ať už z důvodů zátěže životního prostředí, nebo kvůli závazkům ČR vůči EU ohledně většího využití obnovitelných zdrojů.⁹

V roce 2010 byl v České republice podíl elektrické energie vyrobené z obnovitelných zdrojů 8,24 % z celkové vyrobené elektrické energie. Celkové rozložení různých druhů obnovitelných zdrojů energie na celkové výrobě elektřiny za rok 2010 je ilustrováno na obrázku 5. [6]



Graf 2: Podíl jednotlivých OZE na výrobě elektrické energie (brutto) [6]

4.1 Geotermální energie

Pro využití tepla vznikajícího geologickými pochody v nitru planety Země je potřeba dosáhnout určitého tepelného spádu, jenž bývá především v geologicky nestabilních oblastech. Proto je tento zdroj energie v České republice, ležící v geologicky stabilním území, málo využitelný. Zatím se používá hlavně k vytápění pomocí tepelných čerpadel, ale v plánu jsou i geotermální elektrárny (v Liberci a Litoměřicích). [7]

4.2 Bioplyn, biomasa a skládkový plyn

Bioplyn je podobně jako skládkový plyn produkt vznikající rozkladem organických materiálů. Vzniká tak plyn blízký zemnímu používaný jako palivo v zařízeních určených pro vytápění, výrobu elektrické energie nebo pro pohon strojů (ojediněle).

⁹ Podle směrnice evropského parlamentu a rady 2009/28/ES odstavce 9 jsou členské státy zavázány zajistit do roku 2020 alespoň 20% podíl obnovitelných zdrojů na celkové spotřebě. [17]

Taktéž biomasa je směs biologického původu tentokrát v tuhém či kapalném stavu používaná jako palivo především k vytápění a také k výrobě elektrické energie.

Výhoda paliv biologického původu spočívá v jejich dostupnosti – jde často o odpadní produkty¹⁰ možnosti rozvrhnout výkon v časovém horizontu¹¹. Nevýhodou je pak spalování jako proces získávání energie a vypouštění spalin do atmosféry.

4.3 Fotovoltaika

Fotovoltaika je proces přímé přeměny slunečního záření na elektrickou energii. Díky vysokým státním dotacím v poslední době zažívá tento druh výroby elektrické energie velkého rozmachu. Což s sebou přináší i některé problémy. Jde především o velká nárazová zatížení elektrické soustavy ohrožující její stabilitu a také problémy ekologické, jako je vysoký obsah toxických látek v zařízení a s tím související možné problémy při likvidaci fotovoltaických panelů po skončení jejich životnosti, odhadované na 20 let. Dalším nežádoucím efektem výstavby rozlehlých fotovoltaických elektráren může být, kvůli jejich nízkému poměru výkonu na plochu, dešťový a sluneční stín pod panely, jež velkou měrou přispívá k erozi půdy a zvyšování prašnosti v okolí. Navíc jsou jako stavby z estetického hlediska špatně přijímány veřejností kvůli rušení krajinného rázu.

4.4 Větrná energie

Vítr a voda byly první dva živly užívané člověkem k nahrazení vlastní nebo zvířecí práce. Na rozdíl od vodních strojů nebylo na našem území síly větru příliš využíváno. I když se u nás vyskytovaly větrné mlýny a některé se dochovaly i do dnešních dnů nebylo jich zdaleka tolik, jako mlýnů vodních. Ani současných větrných elektráren u nás není příliš. Větrné elektrárny mají některé nedostatky podobné, jako elektrárny fotovoltaické. Nárazově zatěžují elektrickou soustavu a jsou též špatně přijímány veřejností ze stejných důvodů.

4.5 Vodní energie

Energie získávaná z vody, u nás v naprosté většině využívaná k výrobě elektrické energie, má mezi ostatními obnovitelnými zdroji energie velmi silnou pozici. Na rozdíl od zdrojů zmíněných v kapitole 4.2 neprodukuje přímý odpad a přitom na rozdíl od větrných a fotovoltaických elektráren dodává stále množství energie. Zařízení má navíc velmi dlouhou životnost. Výstavba vodních elektráren však může mít i negativní vliv na životní prostředí, především výstavbou jezů či přehrad a tím zabránění přirozené migraci ryb.

¹⁰ Ne vždy jde o odpad. Rozšiřuje se pěstování právě za účelem získání biomasy.

¹¹ Výkon lehce regulovatelný a skoro nezávislý na neovlivnitelných faktorech jako je například počasí.

5 Malé vodní elektrárny

Jak už bylo uvedeno výše. Za malé vodní elektrárny jsou dnes považovány vodní elektrárny s výkonem do 10 MW. Toto rozdělení vychází z normy ČSN (STN) 75 0128. Malé vodní elektrárny lze dále rozdělit podle instalovaného výkonu do čtyř skupin viz tabulka 2.

Instalovaný výkon	Skupina MVE
Do 35 kW	Domácí elektrárny
Od 35 kW do 100 kW	Mikroelektrárny
Od 100 kW do 1 MW	Minielektrárny
Od 1 MW do 10 MW	Průmyslové elektrárny

Tabulka 2: Rozdělení MVE podle instalovaného výkonu dle ČSN (STN) 75 0128 [1]

Dále dle normy ČSN (STN) 73 6881 dělíme MVE podle dosažitelného výkonu do pěti kategorií viz tabulka 3.

Dosažitelný výkon	Kategorie
Od 1 MW do 10 MW	I a
Od 500 kW do 1 MW	I b
Od 100 kW do 500 kW	II
Od 35 kW do 100 kW	III
Do 35 kW	IV

Tabulka 3: Rozdělení MVE podle dosažitelného výkonu dle ČSN (STN) 73 6881 [1]

ČSN (STN) 75 0128 navíc udává rozdělení vodních elektráren podle využívaného spádu do tří kategorií. Viz tabulka 4.

Spád	Kategorie
Do 20 m	Nízkotlaké elektrárny
Od 20 m do 100 m	Středotlaké elektrárny
Nad 100 m	Vysokotlaké elektrárny

Tabulka 4: Rozdělení MVE podle využívaného spádu dle ČSN (STN) 75 0128 [1]

5.1 Strojní zařízení MVE

Základní částí každé MVE je vodní motor – turbína transformující energii vody na mechanický pohyb. Díky nízkým otáčkám samotné turbíny bývá z pravidla spojení s generátorem z převodované a kvůli rovnoměrnosti pohybu doplněné o setrvačnick.

Vodní motory můžeme dále rozdělit na vodní kola, která už dnes téměř pozbývají významu, a turbíny, jež se dále dělí na rovnotlaké (akční) a přetlakové (reakční). [1]

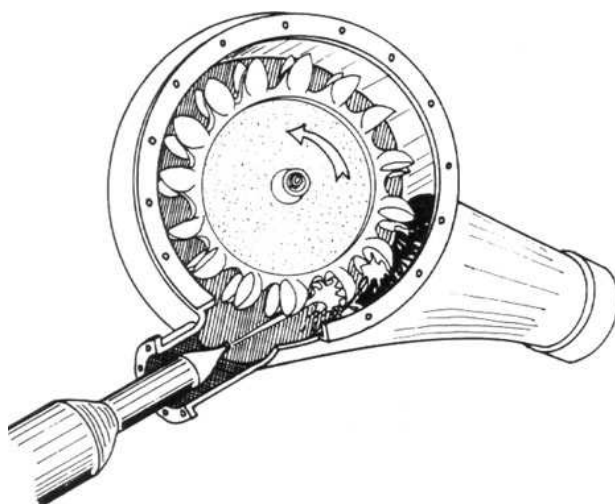
5.1.1 Rovnotlaké turbíny

Rovnotlaká turbína je taková, kde je tlak vody před i za oběžným kolem stejný. K rovnotlaké turbíně je voda přiváděna ve vodním paprsku a k následnému předání kinetické energie vody oběžnému kolu turbíny. Tento pracovní proces lze rozdělit na dvě fáze. [1]

1. Přenos kinetické energie v paprsku při co nejmenších ztrátách k lopatce oběžného kola turbíny.
2. Působení paprsku na lopatku oběžného kola turbíny s co nejvyšší účinností.

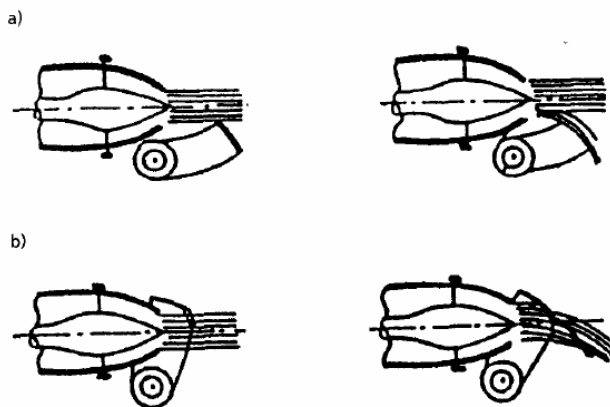
5.1.1.1 Peltonova turbína

Je hlavním zástupcem rovnotlakých turbín. Jedna nebo více trysek (max. 6) přivádí vodní paprsek tangenciálně na elipsoidické lopatky (12 až 40) oběžného kola. Umístění turbíny může být s vertikální nebo častěji s horizontální hřídelí. Oběžné kolo je umístěno v turbínové skříni, která napomáhá směřovat vodu tak, aby bylo její působení na lopatky oběžného kola co nejefektivnější a zároveň pomáhá odvádět přebytečnou vodu pryč. [1], [11]



Obrázek 4: Rovnotlaká Peltonova turbína [8]

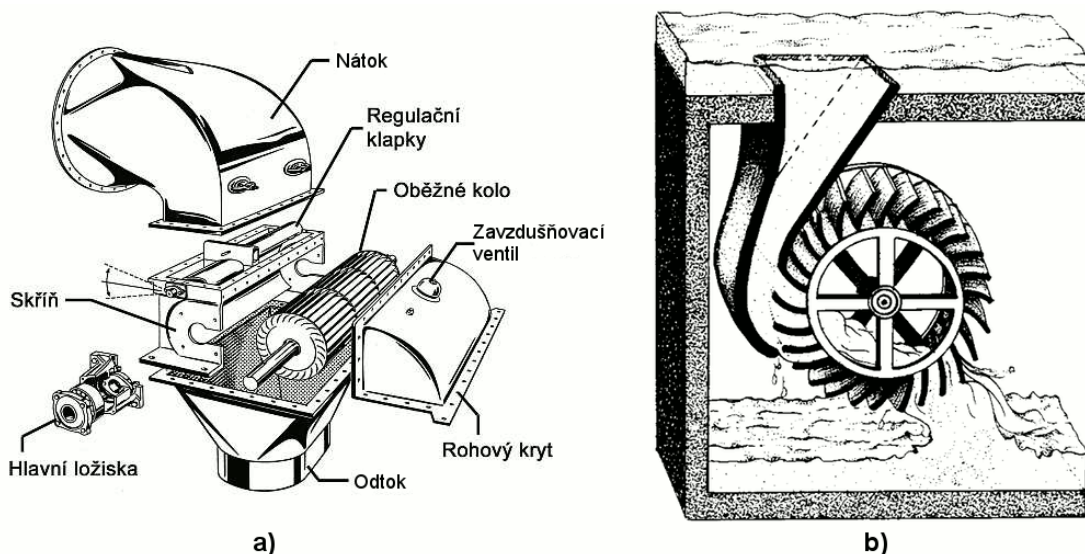
Při potřebě rychlého zregulování se používá deflektor nebo deviátor. Deflektor rychle reguluje výkon ořezáváním vodního paprsku a deviátor paprsek odklání. Regulace vodního paprsku jehlovým uzávěrem pak může probíhat plynule a se zpožděním. [1]



Obrázek 5: Schéma funkce a) deflektoru a b) deviátoru [1]

5.1.1.2 Bánkiho turbína

Další používaná rovnotlaká turbína je Bánkiho. Lopatky oběžného kola jsou umístěny mezi dvěma disky. Voda dopadá nejprve tangenciálně na lopatky oběžného kola na jedné straně, odkud pokračuje vnitřní částí na lopatky na druhé straně oběžného kola a tím odevzdává další část své kinetické energie, jde tedy o turbínu s dvojnásobným průtokem. Bánkiho turbína může být i ve variantě se svislou hřídelí, ale toto řešení je výjimečné i když přináší výhodu v možnosti umístění generátoru dostatečně vysoko, aby byl chráněn před zvednutím hladiny spodní vody. Účinnost Bánkiho turbíny se pohybuje v rozmezí 78 % až 84 %. [1], [11]



Obrázek 6: a) Konstrukce dvoukomorové Bánkiho turbín [9], b) Průtok vody Bánkiho turbínou [10]

5.1.2 Přetlakové turbíny

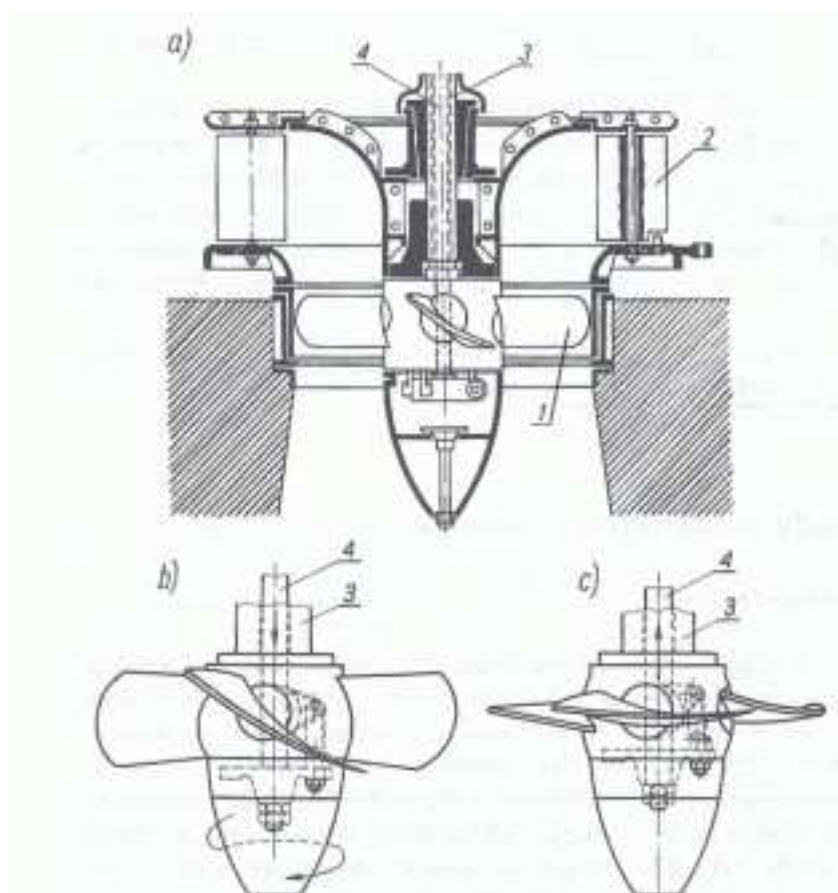
U přetlakových turbín je tlak vody před oběžným kolem turbíny větší, než za ním. Tímto dochází k přeměně jak kinetické tak tlakové složky energie vody. Voda je skrze nepohyblivé rozváděcí kanály rozváděna rovnoměrně na všechny lopatky oběžného kola, které mění směr jejího proudění a reakcí vzniká rotační pohyb turbíny. U přetlakových turbín je důležité, aby byly celé pod vodou. Nasání vzduchu je nežádoucí jev. [1], [11]

Nejvýznamnější přetlakové turbíny jsou:

- Kaplanova turbína
- Francoisova turbína

5.1.2.1 Kaplanova turbína

Turbína pojmenovaná podle Viktora Kaplany – profesora Německé vysoké školy technické v Brně – se sestává ze spirály nebo kašny, rozváděcího kola s 24 až 32 lopatkami¹², oběžného kola a savky. Oběžné kolo Kaplanovy turbíny má tvar blízký lodnímu šroubu a regulace probíhá natáčením lopatek na rozváděcím kole a také natáčením lopatek na kole oběžném, kterých bývá 3 až 10, podle spádu. Lopatky rozváděcího a oběžného kola bývají spojené kulisou, takže současně s regulací na rozváděcím kole dochází k natáčení lopatek na kole oběžném a tím k zachování vysoké účinnosti. Regulovatelná kaplanova turbína takto může účinně pracovat na velkém rozsahu průtoků a spádů¹³. Natáčení lopatek oběžného kola bývá řešeno motoricky. Někdy, zvláště u malých turbín, bývá použit systém natáčení lopatek v klidu (po odstavení turbíny). Nevýhodou kaplanových turbín je složité konstrukční řešení, což s sebou přináší i vysokou pořizovací cenu zařízení. [1], [11]



Obrázek 7: Kaplanova turbína a) řez turbínou, b) natočení lopatek v plné zátěži, c) natočení lopatek tzv. naprázdno.

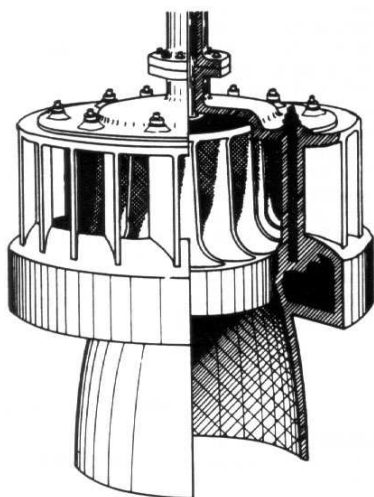
- 1) Lopatka oběžného kola, 2) Lopatka rozváděcího kola, 3) Dutá hřídel,
4) Stavěcí šroub pro natáčení lopatek oběžného kola [8]

¹² U malých turbín méně

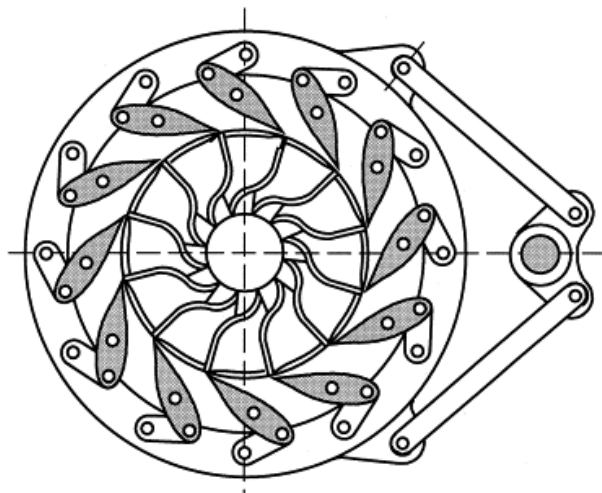
¹³ Kaplanova turbína je s vysokou účinností používána pro spády 1,5 až 75 m

5.1.2.2 Francisova turbína

Francisova turbína se podobně jako turbína Kaplanova skládá ze spirály nebo kašny, rozváděcího kola s 20 až 24 lopatkami, oběžného kola a savky. Oběžné kolo má pevné lopatky a regulace probíhá pouze natáčením lopatek rozváděcího kola, což činí turbínu nevhodnou pro lokality s kolísavými spády. Francisovy turbíny lze sice konstruovat pro různé rychlosti a rozeznáváme tak turbíny pomaloběžné, normální, rychloběžné a expresní, ale dosahují vysoké účinnosti jen při optimálních (návrhových) hodnotách spádů a průtoků. Mimo tyto podmínky účinnost rychle klesá. Podle polohy hřídele dále dělíme Francisovy turbíny na vertikální a horizontální. [1]



Obrázek 8: Francisova turbína [13]



Obrázek 9: Mechanismus rozvodného kola Francisovy turbíny [14]

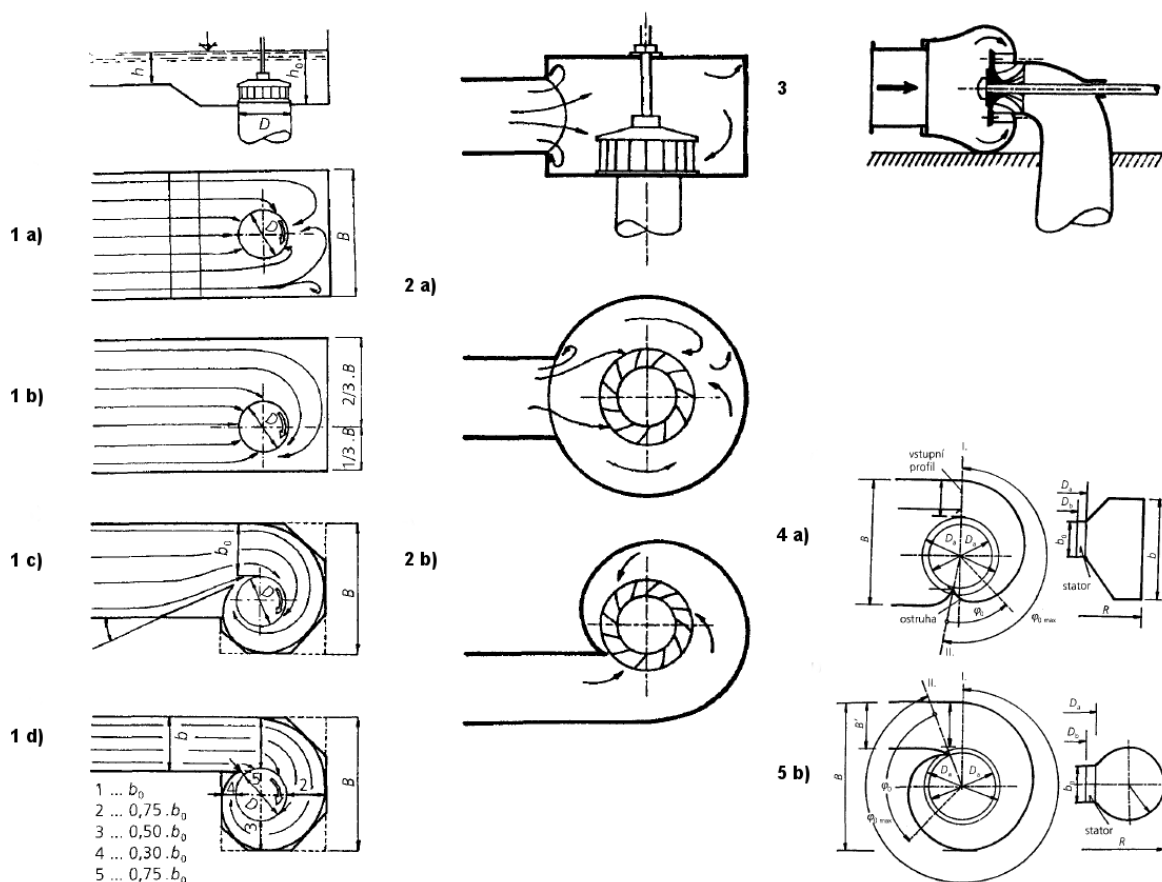
5.1.3 Kašny, spirály a savky přetlakových turbín

Kašna se používala dříve u malých turbín typicky do průměru 1,2 m a se spádem do 6 m. Kašny bývaly odkryté a přívod vody k turbíně nebyl ideální zvláště kvůli vertikálním vírům strhávajícím vzduch do turbíny. Postupným vývojem kašen se podařilo vertikální víry v kašnách značně eliminovat. U větších spádů do 10 m, kde by kašna musela být velmi hluboká, se používaly kašny kryté, které prošly podobným vývojem jako kašny nekryté.

U malých turbín do průměru 1 m a především v kombinaci s vertikálním uspořádáním se používalo kotlového přívodu, nejčastěji kovového.

Moderním typem přívodu vody k turbíně je kovová nebo betonová spirála. Příčná plocha průřezu přívodu vody se postupně a plynule zmenšuje (podobně jako ulita hlemýžďe) až k tzv. ostruže, což je ostřejší ukončení spirály. Spirála může obepínat část nebo téměř celý obvod turbíny. [1]

Na obrázku 10 je patrné, jak se oba typy kašen postupně vyvíjely směrem k ideálnímu tvaru, což zapříčinilo, že na konci svého vývoje velmi připomínají moderní spirálu.



Obrázek 10: 1) Vývoj nekrytých kašen, 2) Vývoj krytých kašen, 3) Kotlový přívod (nahore vpravo), 4 a) Betonová spirála, 4 b) Kovová spirála [1]

Pro efektivní odvod vody od oběžného kola slouží savka. Savka umožňuje umístit oběžné kolo pod hladinu dolní vody a přitom využít celý hrubý spád vodního díla. Savka také využívá kinetickou energii vodního proudu tekoucího od oběžného kola turbíny¹⁴. Průměr savky se plynule zvětšuje tak, aby rychlost odtékající vody byla na konci malá. Toho dosáhneme vhodně zvoleným úhlem rozšíření a délkou savky. [1]

¹⁴ U rychloběžných Kaplanových turbín tvoří tato energie až 40 % z celkové získané energie.

5.2 Vtokové objekty a přivaděče a odpady

Vtokové objekty slouží pro efektivní přívod vody ze zdroje k samotnému strojnímu zařízení vodního díla. Proto je důležité navrhnout vtokový objekt tak, aby způsoboval co nejmenší ztráty, ale zároveň, aby co nejlépe chránil zařízení před splaveninami – tj. nečistotami pohybujícími se po dně a plaveninami, mezi které patří například větve nebo v zimním období ledové kry. Vtokový objekt je vhodné opatřit provozním uzávěrem, pomocí něž může být regulován nebo zastaven přívod vody do případného přivaděče.

Vtokové objekty lze rozdělit podle dvou kritérií. Jednak podle výškového umístění vůči hladině horní vody (tlakové, beztlakové) a nebo podle typu zařízení, ke kterému náleží (jezové vodní elektrárny, elektrárny s tlakovou derivací, elektrárny s beztlakovou derivací). [1]

5.2.1 Důležité části vtokových objektů

Ačkoliv rozeznáváme několik typů vtokových objektů, obecně lze říci, že se skládají z podobných prvků a liší se spíše jejich uspořádáním. Mezi takové společné prvky patří:

- Prvky chránící proti plaveninám
- Prvky chránící proti splaveninám
- Uzávěry

5.2.1.1 Prvky chránící proti plaveninám

Jako ochranné prvky proti plaveninám se používají norné clony a česle. Clona je hladinný prvek, který brání průniku nečistot plovoucích na hladině dále do vtokového objektu. Česle jako prvek ochrany proti plaveninám dále rozdělujeme na hrubé a jemné.

Hrubé česle bývají vyrobeny převážně z tlustostěnných ocelových trubek a mezery mezi jednotlivými tyčemi jsou 150 až 300 mm. Slouží k zachytávání nejhrubších plavenin, jako jsou velké plovoucí kusy dřeva nebo ledové kry. Hrubé česle musí být navrženy tak, aby vydržely plné hydrostatické zatížení při zanesení.

Jemné česle, nejčastěji vyráběné z ocelových prutů pravoúhlých průřezů se vzdálenostmi 25 až 50 mm, slouží k zachycení jemnějších plavenin a v případě, že nejsou instalovány hrubé česle také k zachytávání naplavenin hrubých. Stejně jako hrubé česle musí vydržet plné hydrostatické zatížení při zanesení. Jemné česle jsou na rozdíl od hrubých daleko náchylnější k ucpávání. Pevně na podzim, kdy bývá ve vodě hodně listů a v zimě, kdy vinou nízkých teplot a dobré tepelné vodivosti oceli dochází k jejich zamrznutí. Ucpané česle potom způsobují velké tlakové ztráty a rapidně snižují výkon elektrárny. [1]

5.2.1.2 Prvky chránící proti splaveninám

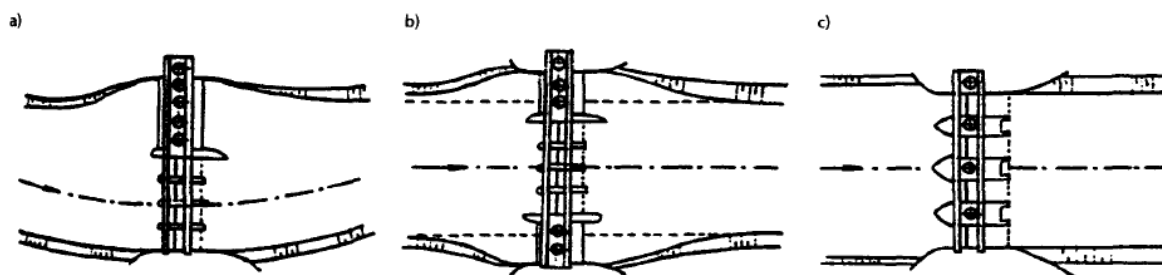
Jako ochrana proti splaveninám se používá především vtokový práh, který zabraňuje nečistotám pohybujícím se po dně proniknout dále do vtokového objektu. Pokud je toto řešení nedostatečné, doplňuje se usazovací nádrž dále ve vtokovém objektu. [1]

5.2.1.3 Uzávěry

Slouží k regulaci množství vody přiváděné do přivaděče a v případě potřeby je i úplného zahrazení například pro potřeby čištění a údržby. U MVE se nejčastěji používají stavidla. [1]

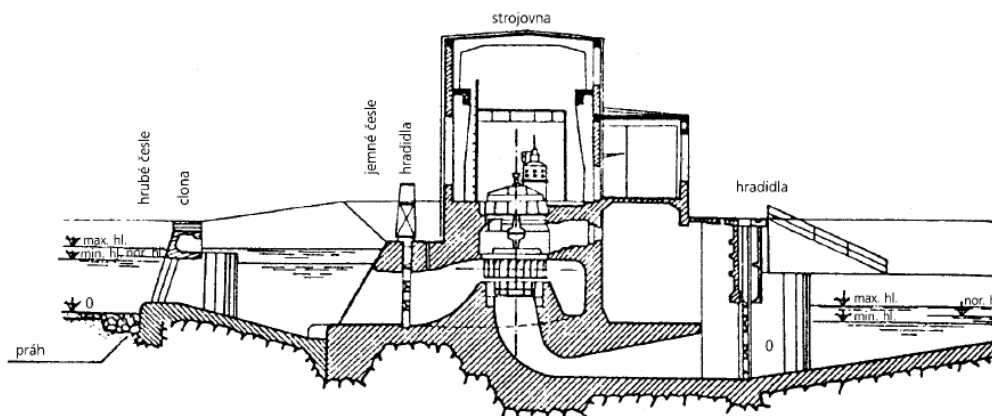
5.2.2 Jezové vodní elektrárny

Vodní elektrárny se strojovnou umístěnou v těsné blízkosti, nebo přímo v tělese jezu se nazývají jezové.



Obrázek 11: Různé typy jezových elektráren podle umístění strojovny. a) Břehová, b) členěná, c) pilířová [1]

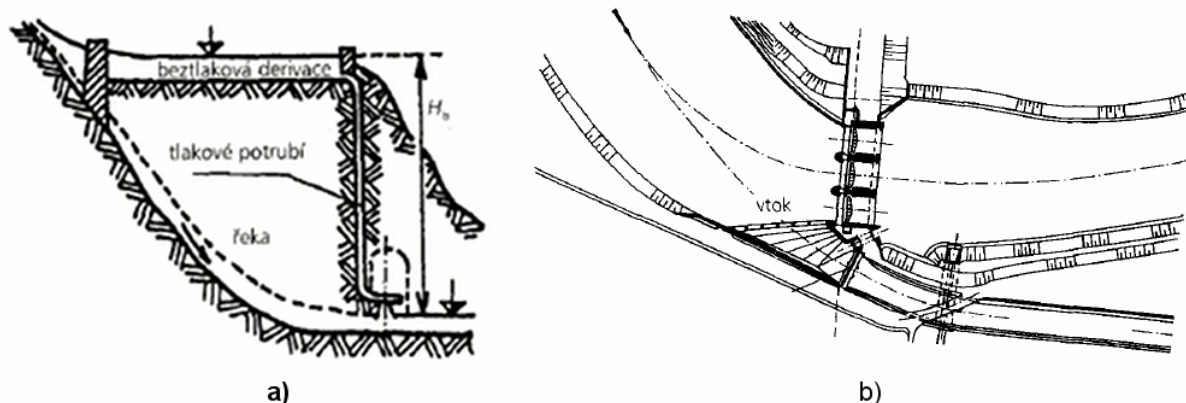
Vtokové objekty jezových vodních děl bývají poměrně krátké. Jejich délka je úměrná velikosti samotného jezu. Přitom musí splnit svou funkci efektivního přívodu vody ke strojovnému zařízení elektrárny a dostatečně je ochránit proti nečistotám. [1]



Obrázek 12: Řez vtokovým objektem jezové vodní elektrárny [1]

5.2.3 Elektrárny s beztlakou derivací

Beztlakovou derivací rozumíme přívod vody od zdroje k elektrárně přivaděčem (náhonem) s volnou hladinou. V těchto případech bývají často vtokové objekty dva. Jeden v místě odběru vody ze zdroje a druhý pak bezprostředně před samotným strojním zařízením elektrárny. Vtokové objekty do náhonů se doporučuje situovat do oblastí nad jezem, kde dochází spíše k vymílání břehu – omezíme tak naplavování nečistot. Dále je vhodné, když osa vtoku navazuje na osu řečiště nad jezem (viz obr. 13). Vtokový objekt by měl být nálevkovitého tvaru. Na začátku vtokového objektu se zpravidla nachází vtokový práh a normální clona případně hrubé česle, za nimiž se nachází pracovní uzavěr nečastěji ve formě stavidla. [1]



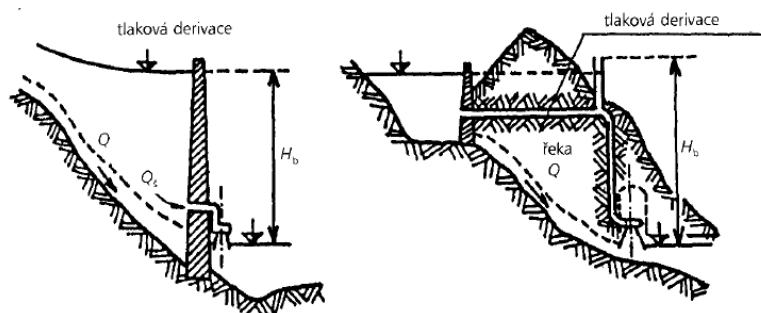
Obrázek 13: a) Beztlaková derivace b) Vtokový objekt pro odběr vody z řečiště. Vhodné umístění. [1]

Beztlaké přivaděče a odpady neboli náhony jsou nejčastěji kanály obdélníkového, nebo lichoběžníkového profilu. Protože se jedná o velký stavební zásah, konečnou podobu přivaděče ovlivňuje mnoho faktorů nejen technického rázu. Náhon musí být každopádně vyřešen tak, aby nedocházelo k vymílání jeho břehů, velkým průsakům nebo k přelivům. [1]

Turbínové vtoky obsahují především jemné česle, za nimiž se může nacházet další hrazení pro potřeby údržby samotného strojního zařízení. Někdy je také u turbínového vtoku situovaná usazovací nádrž.

5.2.4 Elektrárny s tlakovou derivací

Tlaková derivace znamená přívod v uzavřeném přivaděči. Použití nachází v lokalitách, kde by využití beztlakového přívodu bylo neefektivní nebo nemožné. Jde především o zpracování velkých spádů. Tlakové přivaděče se dělí na tlakové štoly, které využívají příznivých přírodních podmínek, a není tedy nutné využít druhý typ tlakových přivaděčů, což jsou tlaková potrubí. U MVE jsou používána právě tlaková potrubí. Štoly jsou opravdu výjimečné. Na obrázku 14 je kromě beztlakové derivace i tlakový přivaděč (tlakové potrubí). Další příklady tlakových derivací jsou na obrázku 14.



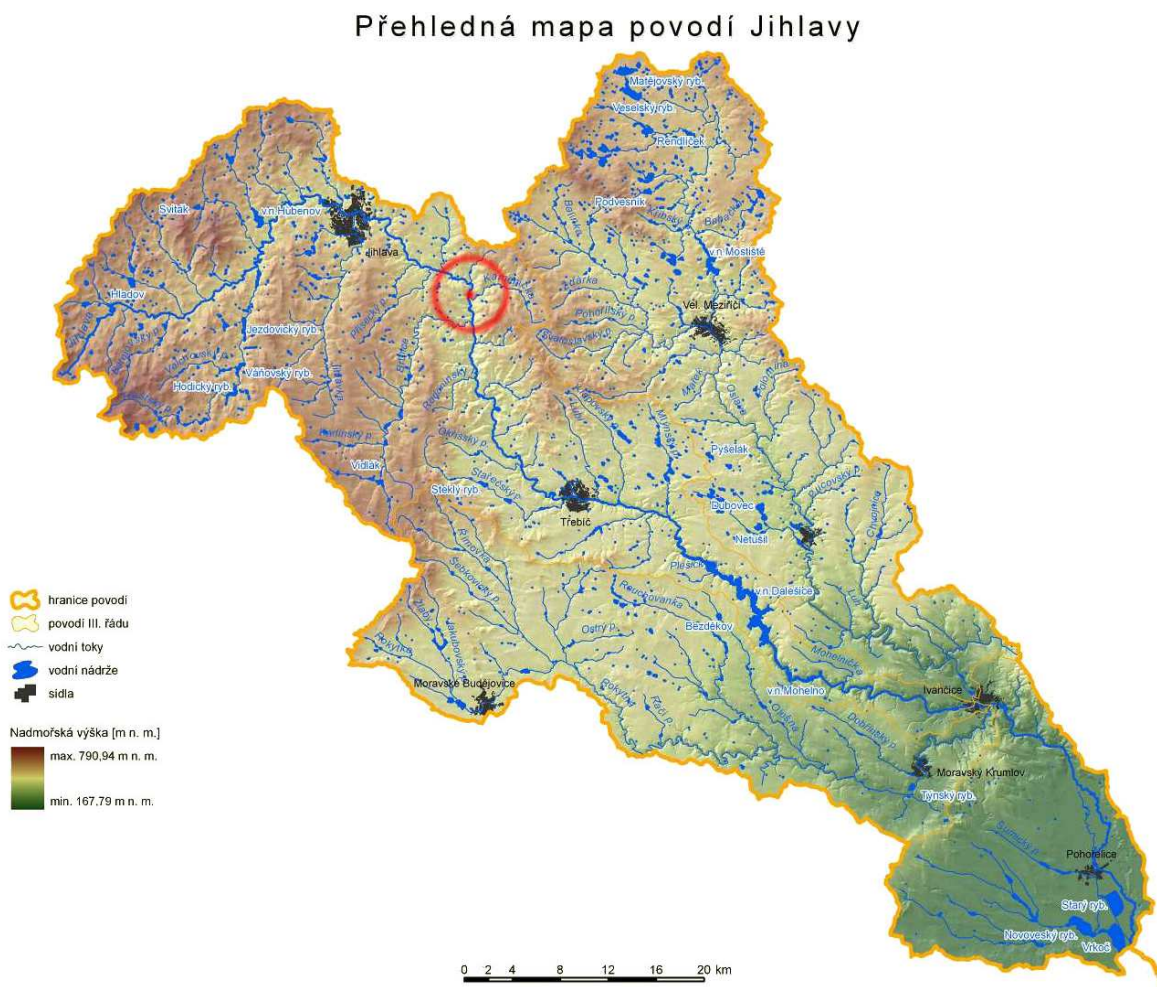
Obrázek 14: Ukázky tlakových derivací [1]

Podle umístění se tlakové přivaděče dají rozdělit na krátké k elektrárnám umístěným přímo pod přehradou, úboční v místech, kde nelze vybudovat náhon a vysokotlaké přivaděče do strmých míst nad elektrárnou. [1]

6 MVE Vilémovský mlýn na Jihlavě

6.1 Řeka Jihlava

Jihlava pramení na Českomoravské vrchovině ve výšce 665,98 m poblíž vsi Jihlávky a tvoří pravostranný přítok řeky Svratky spadající do úmoří Černého moře. Celková délka toku činí 180,8 km. Na řece se také nachází několik nádrží. Největší z nich¹⁵ je vodní nádrž Dalešice.



Obrázek 15: Mapa povodí Jihlavy s vyznačenou polohou Bítovic (rozloha 2996,5 km²) [15]

Na březích Jihlavy se dnes, stejně jako v minulosti, nachází množství vodních děl, a to nejen ve větších a průmyslově významných městech jako jsou Třebíč a Jihlava. Mezi taková vodní díla patří i Vilémovský mlýn ležící na levém břehu Jihlavy v obci Bítovčice na Jihlavsku.

¹⁵ S vynecháním Novomlýnské nádrže, kde se vlévá do Svratky.

6.2 Historie Vilémovského mlýna

První zmínka o mlýnu na řece Jihlavě v místech dnešního Vilémovského mlýna v Bítovčicích pochází z roku 1620. Další informace ohledně mlýna a jeho vybavení nejsou příliš konkrétní. Pravděpodobně byl vybaven vodním kolem se svrchním nátokem. Ale jeho rozměry nejsou známy. V roce 1930, kdy už mlýn nefungoval, byla provedena rekonstrukce a přestavba budovy na továrnu vyrábějící kartónový papír. [16]

6.2.1 Rekonstrukce v roce 1930



Obrázek 16: Rekonstrukce dřevokamenného jezu [16]

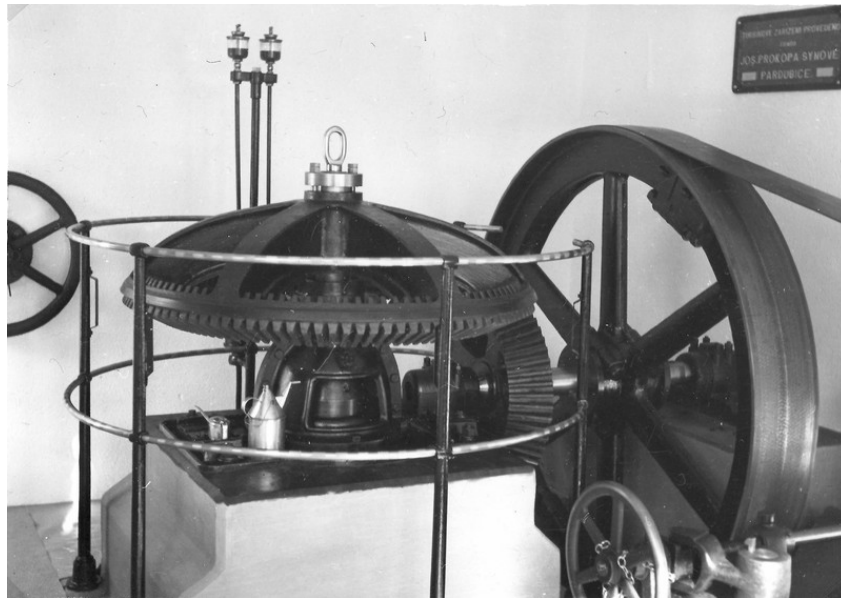
Součástí továrny zbudované v rekonstruované budově mlýna roku 1930 bylo i vodní dílo obsahující jednu Francisovu turbínu určenou jednak pro pohon tovární transmise a také pro výrobu elektřiny. Toto vodní dílo si vyžádalo rekonstrukci stávajícího hrázděného dřevokamenného jezu o výšce 1,5 m.

Z nadjezí byla voda přiváděna 50 m dlouhým otevřeným přívodním kanálem k jemným česlům o rozměrech 3,3 m na šířku a 2,75 m na výšku. Před česly se ještě nacházela usazovací jímka ústící do jalové propusti široké 1 m hrazené stavidlem. Za jemnými česly se nacházelo ještě velké stavidlo sloužící k zahrazení prostoru betonové kašny. Samotná kašna byla obdélníkové tvaru s rozměry 3 m na šířku, 3,5 m na délku a vysoká byla 2,5 m.



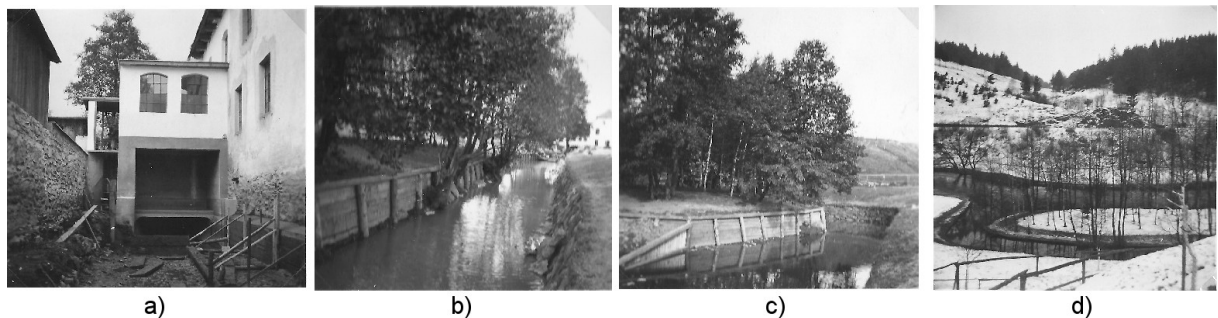
Obrázek 17: a) Stavba kašny, b) Pohled na jemné česle a jalovou propust' [16]

Téměř přesně uprostřed kašny se nacházela Francisova turbína o výkonu 30 koňských sil (22,08 kW) s vertikální osou vyrobená firmou Josefa Prokopa synové z Pardubic. Turbína byla hřídelí spojena s palečnicovým kolem, které přenášelo rotační pohyb na pastorek s dlouhou hřídelí pohánějící transmisi za zdí, kde se nacházela výrobní hala. Na stejné hřídeli s pastorkem se nachází ještě velké kolo sloužící jako setrvačnick a zároveň jako řemenice. Řemenem byl poháněn elektrický generátor.



Obrázek 18: Strojovna s palečnicovým kolem a setrvačnickem/řemenicí [16]

Po průchodu turbínou opouštěla voda zařízení savkou, postupně měnící svůj tvar z kruhového na obdélníkový, do vývařiště, odkud pokračovala 160 m dlouhým odpadním kanálem, s jednou stěnou kamennou a druhou z dřevěného hrazení zpět, do řeky Jihlavy.



Obrázek 19: a) Pohled na vývařiště po dokončení, b) Odpadní kanál, c) Vyústění odpadního kanálu do řeky (pohled od řeky), d) Vyústění odpadního kanálu do řeky (řeka dál od pozorovatele) [16]

6.2.2 Období mezi lety 1945 a 1990

V roce 1945 byla nemovitost s vodním dílem znárodněna a na pozemcích byla zřízena pila. Kvůli zpřístupnění ostrova¹⁶ byl otevřený náhon sveden do krytého kanálu z tzv. Benešových rámů o rozměrech 2 x 1,5 m, což způsobilo velké energetické ztráty, oproti původnímu širokému otevřenému kanálu. Vodní dílo nebylo v tomto období udržováno a nakonec bylo z velké části rozebráno do šrotu.

6.2.3 Rok 1990

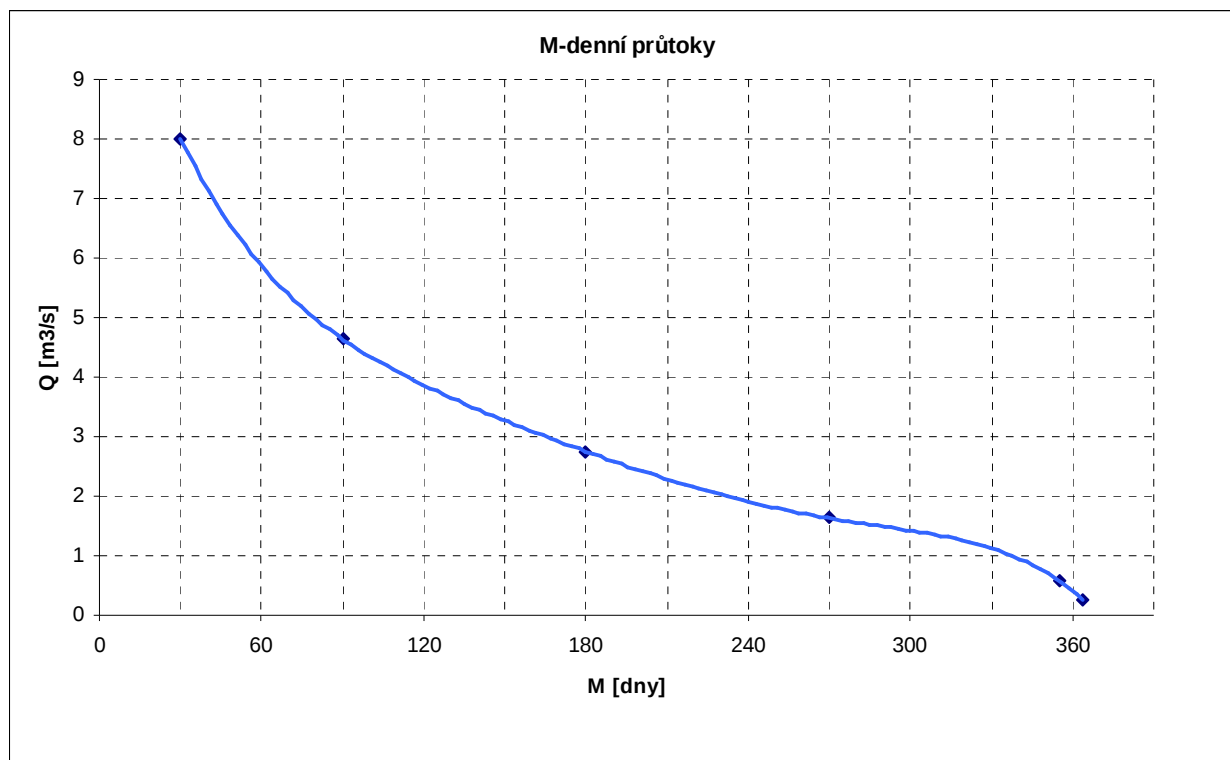
V roce 1990 byl Vilémovský mlýn v restituci vrácen současnému majiteli. Zařízení bylo ve velmi špatném stavu, chyběly veškeré části, které nebylo příliš komplikované odnést a sešrotovat. Mezi nimi byly všechny lopatky rozváděcího kola, ložiska a ložiskové domky, čepy, hřídele lopatek, česla, stavidla. Elektroinstalace byla kompletně demontována.

6.3 Hydrologické poměry

- Plocha povodí: 600,5 km²
- Průměrná dlouhodobá roční výška srážek na povodí: 669 mm
- Průměrný dlouhodobý roční průtok Q_a : 3,66 m³/s

M-denní průtok	30	90	180	270	355	364
Q [m ³ /s]	8,01	4,64	2,75	1,63	0,58	0,26

Tabulka 5: M-denní průtoky řeky Jihlavy [16]



Graf 3: Křivka M-denních průtoků řeky Jihlavy v Bítovčicích.[16]

6.4 Hlavní technické parametry

Voda z nadjezí je k turbíně přiváděna beztlakovým uzavřeným kanálem se stavidlem na jeho počátku. Kašna Francisovy turbíny je původní a je chráněna jemnými česlemi. Vedle česlí se nachází jalová propust' do odpadního kanálu, kterým se voda vrací zpět do řeky.

Jez:

- Výška: 1,5 m
- Délka koruny: 35 m
- Typ: Hrázděný dřevokamenný

Náhon:

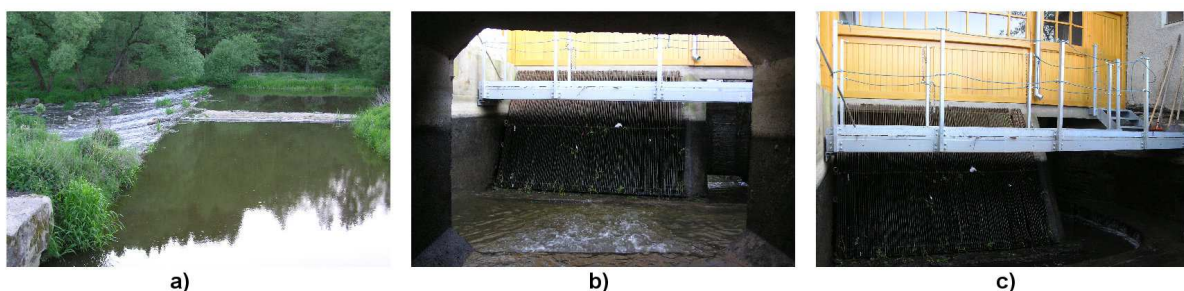
- Délka přívodního kanálu: 50 m
- Typ: Beztlakový uzavřený
- Profil: Benešův rám 2 x 1,5 m
- Hrazení: Manuální stavidlo

Česle:

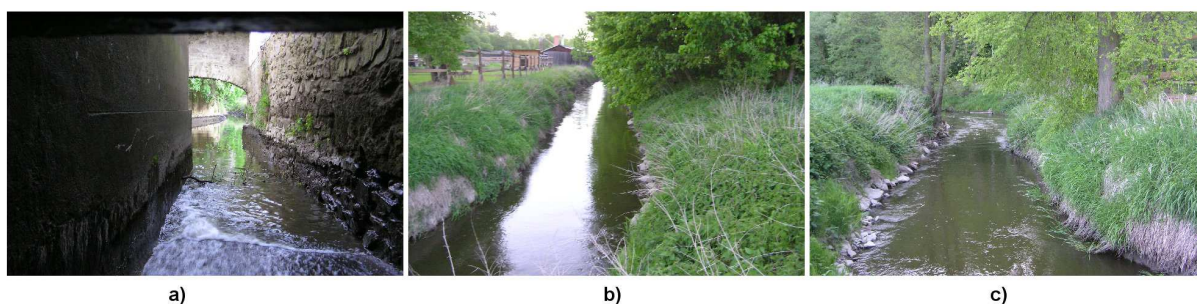
- Materiál: Ocel (pásové ocel šířky:)
- Výška: 2,75 m
- Šířka: 3,3 m
- Vzdálenost mezi česlicemi: 30 mm
- Čištění: Ručně stírané

Jalová propust':

- Umístění: Vpravo od česlí
- Šířka: 1 m
- Hrazení: Manuálně ovládané stavidlo



Obrázek 20: a) Nadjezí s nornou clonou a začátek přívodního kanálu (směrem k pozorovateli)
b) Pohled na jemné česle z uzavřené části přívodního kanálu c) Česle a jalová propust' (vpravo)



Obrázek 21: a) Pohled skrz jalovou propust' b) Odpadní kanál – pohled směrem k MVE
c) Ústí odpadního kanálu zpět do řeky (řeka dál od pozorovatele)

¹⁶ Prostor mezi náhonem a řekou.

V kašně se nachází renovovaná Francisova turbína využívající návrhový spád 1,8 m, což je rozdíl hladin před a za turbínou s největší pravděpodobností výskytu při navrhovaných hodnotách průtoku turbínou. Strojovna je taktéž původní a obsahuje palečnicové kolo¹⁷ přenášející krouťící moment na litinový pastorek, který je na společné hřídeli se setrvačником/řemenicí. Řemen pohání generátor pro výrobu elektrické energie. Regulace turbíny je poloautomatická. [16], [1]

Turbína:

Vyrobená: Jos. Prokopa synové, Pardubice

Rok: 1930

Počet lopatek RK:

Maximální výkon: 30 hp (22,08 kW)

Generátor:

Typ: F22M06

Výkon: 30 kW

Otáčky: 975 min⁻¹

a)



b)

Obrázek 22: a) Francisova turbína v kašně b) Strojovna MVE Vilémovský mlýn v Bítovčicích

6.5 Regulace turbíny

V současné době zajišťuje automatickou regulaci zařízení od firmy ELKO Šťovíček z Plzně. Automatiku je řešeno následující: Spuštění soustrojí, fázování, regulace průtoku, zabezpečení v případě poruchy nebo výpadku napětí sítě, podpětí, přepětí nebo odstavení soustrojí vlivem dalších poruch jako je překročení maximální teploty ložisek a podobné. Regulaci lze také provádět ručně.

6.6 Vodní díla v okolí Bítovčic

Nejen průmysl ve velkých městech přál stavbě vodních děl. Z historických pramenů můžeme vyčíst, že hydroenergetický potenciál řeky Jihlavy byl využíván už od středověku. Na březích se nacházelo množství mlýnů, pil a hamrů. Pro účely této práce byl zmapován úsek řeky Jihlavy od Kostelce, ležícího cca 15 km proti proudu nad městem Jihlavou, po osadu Přímělkov ležící cca 5 km po proudu od Luk nad Jihlavou. [18]

¹⁷ K mazání palečnicových zubů z habrového dřeva se nejlépe osvědčil hovězí lůj.

6.6.1 Ohnsorgův mlýn v Kostelci

Mlýn dříve poháněný vodou, z nedalekého rybníka Ohnsorg, přiváděnou do Francisovy turbíny kašnového typu o výkonu 13 kW. Rybník je napájen náhonem z řeky Jihlavy. V druhé polovině 20. století byl náhon z rybníka zasypán a pohon mlýna řešen elektromotorem. [18]

6.6.2 Pekárkův Pekelský mlýn nad Rantířovem

První zmínka o mlýnu je prodejní smlouva z roku 1446. Od jezu zvedajícího řeku o 1 m je voda vedena náhonem dlouhým 585 m k pracovnímu stavidlu a na vodní kolo o průměru 452 cm a šířce 276 cm. Kolo se otáčelo rychlostí 8 ot./min a udávaný výkon při spádu 5,05 m a hltnosti 755 l/s byl 17,18 kW. V roce 1936 bylo vodní kolo kvůli nedostatečnému výkonu nahrazeno dvojicí turbín typu Reinfertein o výkonu 28 a 21 kW. V roce 1951 zde byl zřízen pohon čerpadel, tlačících vodu z řek do sousední obce Hosov. Objekt mlýna stejně jako náhon, jalová propust' a odpadní strouha byly zachovány. V současnosti zde funguje MVE. [18]

6.6.3 Rantířovický mlýn (kdysi Šaškův mlýn)

Z jezu zvedajícího hladinu o 2,1 m byla voda původně vedena k bývalé budově Šaškova statku, kde poháněla vodní kolo. Později byl na náhonu směrem k jezu postaven objekt s Francisovou turbínou o výkonu 18,5 kW. V 60. letech 20. století bylo zařízení v budově místní škrobárny zlikvidováno a kašna byla využívána k odběru užitkové vody. Dnes zde také funguje MVE o instalovaném výkonu 13 kW. [18]

6.6.4 Pila na Jiřínském potoce u Rantířova (Dříve Bémova pila)

Nedaleko soutoku Jiřínského potoka a řeky Jihlavy bývala pila a hlavně strojovna Francisovy turbíny o maximálním výkonu 10,5 kW. Turbína svého času poháněla i pilu o jednom listu. [18]

6.6.5 Jez u Motorpalu

Na severovýchodě, kde řeka Jihlava vtéká do stejnojmenného města, se nachází jez, který patřil ke staré papírně, zmíněné v historických pramenech poprvé roku 1537 a naposledy 1608. V roce 1938 zde byla instalována Kaplanova turbína o výkonu 53 kW a o hltnosti 3 m³/s. Turbína byla zlikvidována v roce 1976 a vtok náhonu po levé straně jezu byl zabetonován. [18]

6.6.6 Jezuitský mlýn

První zmínka o mlýnu, asi 1 km po proudu od Starých Hor (dnes Jihlavská čtvrť) pochází z roku 1364. Mlýn patřil Jezuitskému, podle něhož získal jméno, od třicetileté do zrušení řádu. Situován byl na derivačním kanálu v meandru řeky. Později zde byla nainstalovaná turbína typu Knopp, s vertikální hřídelí o výkonu 7 kW, napojená na 6kW dynamo. Získanou elektrickou energií byly napájeny hospodářské stroje a osvětlení. Objekt byl zbourán ve třetí čtvrtině 20. století. [18]

6.6.7 Český splav

Už v roce 1454 v těchto místech stával tzv. Klementův mlýn s rybníkem. Později zde vyrostla továrna „Rychlý“, jejíž součástí byla i Francisova turbína o výkonu 14,5 kW, rekonstruovaná ze staré turbíny v roce 1928. Po druhé světové válce došlo k zasypání náhonu a zrušení vodního díla. Jez se zde nachází stále. [18]

6.6.8 Vodní dílo pod českým splavem

Cestou mezi Českým splavem a Dřevěným mlýnem se také nacházelo vodní dílo, z něž se do dnešních dnů nezachoval ani splav. [18]

6.6.9 Pekárkův mlýn (dříve Dřevěný mlýn)

Zmínky o mlýnu v těchto místech pochází už z roku 1362. Poté zde do roku 1937 stála prádelna s vodním kolem o průměru 4,5 m a šířce 1,48 m o výkonu 9,1 kW při spádu 2,2 m. Ve stejném roce provedli bratři Pekárkové rekonstrukci jezu a vodní kolo nahradila Francisova turbína od firmy Voith & Pölten o výkonu 25,5 kW. Turbína sloužila k pohonu mlýnských strojů a dynamy o výkonu 10 kW. Roku 1959 byl mlýn demontován a objekt sloužil jako skladiště n.p. Tona, který turbínu využíval pro vytápění a nouzové osvětlení. Při dostavbě haly tehdejšího národního podniku došlo k zakrytí dříve otevřeného náhonu a vlivem špatného vyspádování se náhon brzy zanesl a došlo ke snížení výkonu a odstavení turbíny. [18]

6.6.10 Textilní továrna v Heleníně

Pro potřeby textilní továrny v Heleníně bylo zbudováno vodní dílo sestávající se z dřevokamenného jezu, krytého (klenutého) náhonu a odpadu o celkové délce cca 150 m a Francisovy turbíny. Turbína poháněla transmissi v továrně. Návrh byl schválen v létě roku 1938. Z díla se do dnešních dnů nic nedochovalo. [18]

6.6.11 Panský mlýn

První zmínky o vodním díle v místech kousek před Malým Beranovem pochází z roku 1373. Na počátku 20. století zde vlastnil elektrárnu a čerpací stanici továrník Löw. Byla zde instalována údajně Kaplanova turbína o výkonu 37 kW. Dnes zde funguje MVE. [18]

6.6.12 Jez u býv. Partexu Malý Beranov

Už v roce 1377 stával v místech stávajícího jezu tzv. Zlatý mlýn. Roku 1919 zde byla na přívodním kanálu délky 25 m instalována Francisova turbína Voith & Pölten o výkonu 30 kW, odpadní kanál je dlouhý 150 m. Turbína byla zlikvidována v roce 1971 a od 70. let byla snaha o její obnovu.¹⁸ Dnes funguje jako MVE. [18]

6.6.13 Kamenný mlýn (pod Malým Beranovem)

Původní mlýn stával na pravém břehu meandru řeky u jezu pod Malým Beranovem. K vodnímu kolu o průměru 405 cm a šířce 162 cm o výkonu 9 kW byla přiváděna voda derivačním kanálem a dřevěným žlebem. Dnes funguje nově zbudovaná MVE na protějším břehu. [18]

¹⁸ V 80. letech 20. století byly provedeny dvě studie obnovy, z nichž vycházely náklady přibližně 300 000 Kčs s návratností investice za 3–4 roky

6.6.14 Petrovický mlýn (Rychnovský)

Původní mlýn stojí na pravém břehu Jihlavy u osady Petrovice. Dříve k němu vedl 131 m dlouhý náhon, který přiváděl vodu ke dvojici Francisových turbín z roku 1932 o výkonech 48 kW a 32 kW. Turbíny poháněly přes společnou transmisi pilu, prádelnu a elektrárnu, jež dodávala elektřinu nejen samotnému mlýnu, ale i okolí, až do roku 1968. V 80. letech 20. století byla na protějším břehu zbudována MVE. [18]

6.6.15 Konvalinkův jez (bývalá pila Předboří)

Vodní dílo na začátku Luk nad Jihlavou, kde dříve byla vertikální turbína. Avšak po 2. světové válce byla zrušena – hřídel odříznuta a turbína nechána v kašně. Dnes funguje jako MVE. [18]

6.6.16 Elektrárna v Lukách nad Jihlavou

Francisova turbína z roku 1929 o výkonu 46 kW, jako jedno z mála malých vodních děl, funguje téměř nepřetržitě od svého vzniku. Po druhé světové válce sloužila jako doplňkový zdroj energie pro místní textilku. Dnes je v soukromém vlastnictví a dodává elektrickou energii do rozvodné sítě. [18]

6.6.17 Mlýn v Bítovčicích

Mlýn v obci Bítovčice disponuje Francisovou turbínou o výkonu 25 kW. Turbína dříve dodávala energii pro pohon mlýnských strojů a po zrušení mlýna byla elektřina využívána pro vytápění. V devadesátých letech minulého století byl mlýn v objektu obnoven. A turbína je napojena na transmisi i generátor elektrické energie. [18]

6.6.18 Čermákův mlýn (v Přímělkově)

V Přímělkově býval původně mlýn s vodním kolem o průměru 3,2 m a šířce 1,3 m na spodní vodu o výkonu 7,7 kW doplněném třemi menšími vodními koly. Ta však byla odstraněna pro malý výkon. Při rekonstrukci jezu v druhé polovině 20. století už byla odstraněna všechna zařízení a dnes je zde pouze jez o výšce 145 cm. [18]

6.7 Návrh Kaplanovy turbíny

Pro lokality s podobným spádem a průtokem, jako v Bítovčicích je vhodná Kaplanova turbína (viz příloha 2). Ke zjednodušenému návrhu Kaplanovy turbíny, pro ilustraci teoretického dosažitelného výkonu v Bítovčicích, posloužila modelová účinnostní charakteristika Kaplanovy turbíny 3-KPT-194 (příloha 1). S ohledem na nízkou kolísavost spodní vody byl pro zjednodušení uvažován konstantní spád $H = 1,8$ m, hustota vody $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ a průtoky v korytě řeky Jihlavy viz tab 5.

Zvolené souřadnice zvoleného návrhového bodu v charakteristice turbíny 3-KPT-194

Jednotkové otáčky: $n_{11N} = 170 \text{ min}^{-1}$

Jednotkový průtok: $Q_{11N} = 2,2 \text{ m}^3/\text{s}$

Návrhový průtok¹⁹

Návrhový průtok: $Q_N = 4 \text{ m}^3/\text{s}$ (odpovídá 111dennímu průtoku)

Výpočet průměru oběžného kola turbíny

$$Q_{11N} = \frac{Q}{D^2 \cdot \sqrt{H}} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{Q_N}{Q_{11N} \cdot \sqrt{H}}} = \sqrt{\frac{4}{2,2 \cdot \sqrt{1,8}}} = 1164 \text{ mm} \quad (1)$$

Výpočet otáček navrhovaného oběžného kola

$$n_{11N} = \frac{n \cdot D}{\sqrt{H}} \Rightarrow n = \frac{n_{11N} \cdot \sqrt{H}}{D} = \frac{170 \cdot \sqrt{1,8}}{1,164} = 195,9 \text{ min}^{-1} \quad (2)$$

Účinnost modelu při návrhových hodnotách odečtená z účinnostní charakteristiky:

Účinnost modelu: $\eta_{hN\text{model}} = 0,842$

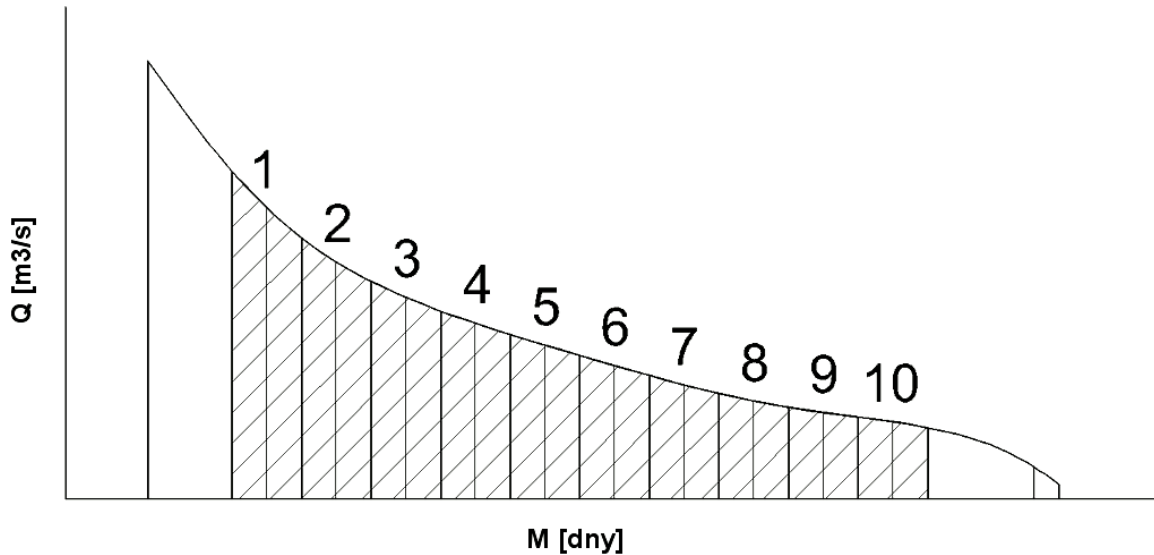
Zvolené maximální a minimální průtoky pro návrh turbíny

	Maximální	Minimální
Zvolený průtok:	$Q_{\text{MAX}} = 6 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{\text{MIN}} = 1,3 \text{ m}^3/\text{s}$
Odpovídá průtoku:	61dennímu	316dennímu
$Q_{11(\text{MAX}, \text{MIN})} = \frac{Q_{\text{MAX}, \text{MIN}}}{D^2 \cdot \sqrt{H}} \quad (3)$		
Jednotkový průtok	$Q_{11\text{MAX}} = 3,3 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{11\text{MIN}} = 0,715 \text{ m}^3/\text{s}$
Jednotková účinnost modelu:	$\eta_{h\text{MAXmodel}} = 0,754$	$\eta_{h\text{MINmodel}} = 0,752$

¹⁹ Návrhový průtok se u průběžných vodních elektráren volí v rozmezí 90 až 120denního průtoku z křivky M-denních průtoků. [1]

Interval užitečných průtoků navrhované turbíny ilustruje obrázek 23. Vyšrafovaná oblast znázorňuje celkovou teoretickou energii využitou navrhovanou turbínou. Oblast je rozdělena na 10 dílů. Hodnoty průtoků v jednotlivých dílech byly odečteny grafickou metodou.

V krajních bodech vyšrafované oblasti se hodnota průtoku rovná Q_{MAX} a Q_{MIN} . Délka jednotlivých úseků na vodorovné ose je $\Delta M = 25,506$ dne.



Obrázek 23: Křivka M -denních průtoků s vyznačeným intervalem průtoků

Účinnost navrhované turbíny se bude v každém bodě na obrázku 23 lišit od modelové účinnosti o hodnotu $\Delta\eta$, viz vztah č. 5. Pomocí Moodyho vztahu (vztah č. 4) lze spočítat optimální účinnost navrhované turbíny. Modelová účinnost η_{hM} byla odečtena z účinnostní charakteristiky (viz příloha č. 1) pro konstantní hodnotu otáček $n_{11} = 170 \text{ min}^{-1}$ a otáčky Q_{11n} , náležící příslušnému dílu, byly spočteny pomocí vztahu č. 1.

$$\eta_{hD_{opt}} = 1 - (1 - \eta_{hM_{opt}}) \cdot \left[0,3 + 0,7 \cdot \left(\frac{D_M}{D_D} \right)^{0,2} \cdot \left(\frac{H_M}{H_D} \right)^{0,1} \right] \quad (4)$$

$$\Delta\eta = \eta_{hD} - \eta_{hM} = \text{konst.} \Rightarrow \eta_{hD} = \eta_{hM} + \Delta\eta \quad (5)$$

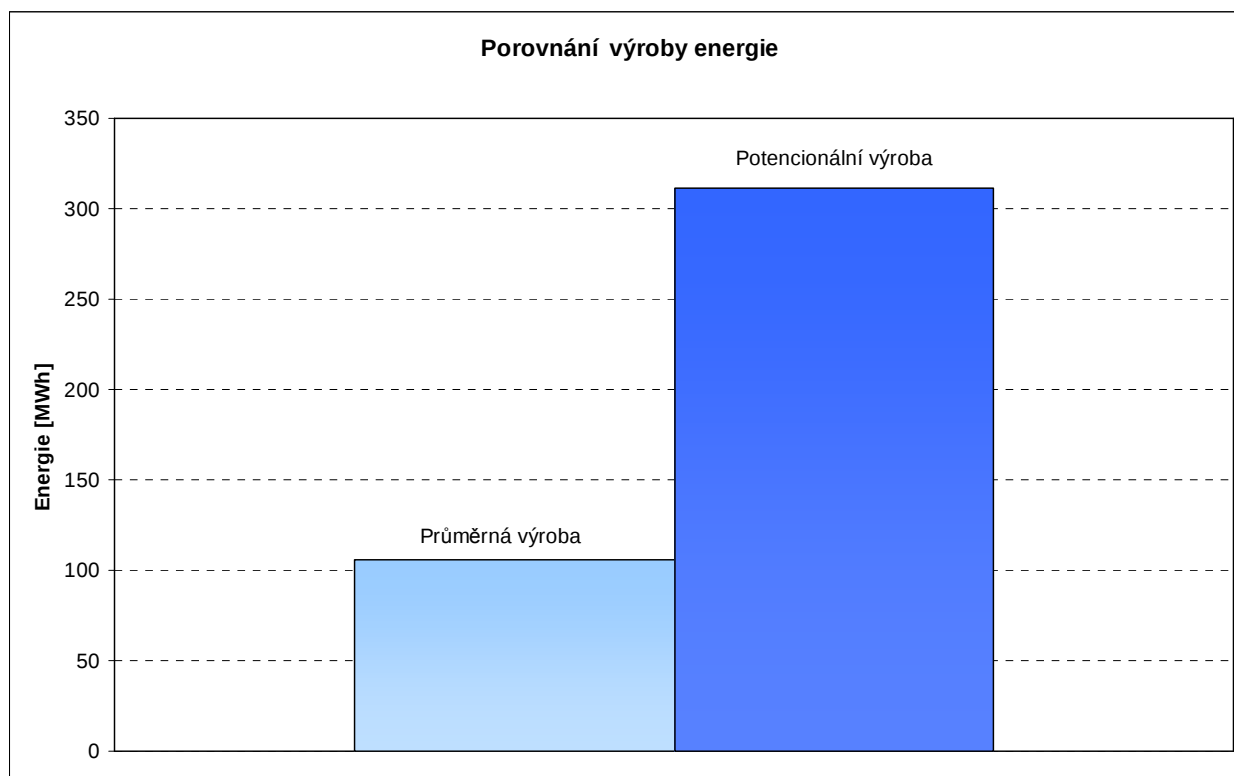
Teoretická energie každého dílu v kWh byla spočítána podle vztahu č. 6, kde Q_n znamená průměrný průtok v n -tém dílu.

$$E = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q_N \cdot \Delta M \cdot \eta_{hD} \cdot \frac{24}{1000} \quad (6)$$

MVE Vilémovský mlýn na Jihlavě

Díl	Qn [m3/s]	Q11n [m3/s]	η_{hM}	η_{hD}	E [kWh]
1	5,385	2,962	0,780	0,805	58 267
2	4,375	2,406	0,828	0,853	47 339
3	3,705	2,038	0,850	0,875	40 089
4	3,220	1,771	0,854	0,879	34 841
5	2,815	1,548	0,853	0,878	30 459
6	2,435	1,339	0,840	0,865	26 347
7	2,090	1,150	0,820	0,845	22 614
8	1,800	0,990	0,800	0,825	19 476
9	1,580	0,869	0,772	0,797	17 096
10	1,395	0,767	0,730	0,755	15 094
Celkem:					311 623

Tablka 6: Výpočet celkové energie



Graf 4: Porovnání průměrné roční výroby energie a potencionální vyrobené energie navrhovanou turbínou.

Z grafu č. 4 lze vidět, že teoretická vyrobiteľná energie je o 206,19 MWh vyšší, než průměrná energie vyrobená současným zařízením (105,437 MWh).

7 Závěr

Počet malých vodních děl na našem území se ani přes svůj stálý růst v posledních dvou desetiletích zdaleka nepřibližuje hodnotám před druhou světovou válkou. Plánované hospodářství, dlouhé roky mylně odmítající malé zdroje jako neefektivní, bylo hlavní příčinou tohoto velkého úpadku MVE. Dnes víme, že i tyto malé zdroje jsou efektivní a současné tendence zvyšování výroby energie z obnovitelných zdrojů jim přidávají na důležitosti. Na našich tocích se stále nachází nevyužité vodní stavby, kterých je možno využít pro stavbu MVE, a přestože vodní elektrárny a zvláště pak samotné MVE, nemohou uspokojit stále se zvyšující poptávku po energii, byla by škoda nevyužít těchto lokalit, kde je možné zřídit MVE bez velkých zásahů do krajiny. Jsou to právě zásahy do rázu krajiny, jež se stávají stále častěji důvodem nepříteli nadšeného přijetí solárních a větrných elektráren.

Nevýhodou renovací stávajících vodních děl je však skutečnost, že moderní konstrukce vodních strojů mohou vyžadovat jiné stavební uspořádání, a stávající dílo se tak stává spíše překážkou než ulehčením v návrhu díla nového.

MVE Vilémovský mlýn v Bítovčicích je příkladem rekonstruovaného díla, kde bylo stávající zařízení zachováno a doplněno o moderní prvky zajišťující automatický chod.

Při návrhu Kaplanovy turbíny pro lokalitu Vilémovského mlýna v Bítovčicích byly brány v potaz pouze hodnoty teoretického spádu a celkové průtoky v řece Jihlavě. Vyrobitelná energie je tedy teoretická a při reálném nasazení by se na nižší účinnosti zajisté podepsaly ztráty v přívodním kanálu, jež je sveden do krytého kanálu nevyhovujících rozměrů, nebo kolísání hladiny spodní vody.

Důležitým prvkem je také ekonomický aspekt případné přestavby. Investiční náklady, kde by krom ceny samotného strojního zařízení hrály nezanedbatelnou roli stavební úkony, by bylo nutné porovnat s přesnějším výpočtem nárůstu výroby elektrické energie a tím zjistit návratnost investice potažmo výhodnost takové rekonstrukce.

8 Seznam použité literatury

- [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] Sdružení firem TENZA, a.s. a KEA, a.s. *Energetická koncepce statutárního města Brna - hodnocení využitelnosti obnovitelných zdrojů energie, Část 3.* [online]. 2005 [cit. 2012-05-1] Dostupný z WWW:
<http://www.brno.cz/fileadmin/user_upload/sprava_mesta/magistrat_mesta_brna/OTS/koncepce/ek5.pdf>
- [4] Energetický regulační úřad, *Vývoj počtu provozoven a instalovaného výkonu MVE ke dni 1. 1. 2012*, Jihlava, [online] 2012, [cit. 2012-03-21]. Dostupný z WWW:
<http://eru.cz/user_data/files/licence/info_o_drzitelich/OZE/12_01_VE.pdf>
- [5] *Rozdělení vodních kol* [online] 2007 [cit. 2012-03-24] Dostupný z WWW:
<http://web.archive.org/web/20070623192117im_/http://www.elektrarny.xf.cz/images/typykol.jpg>
- [6] Energetický regulační úřad, *Roční zpráva o provozu ES ČR 2010* [online] 2011 [cit. 2012-03-28] Dostupný z WWW:
<http://eru.cz/user_data/files/statistika_elektro/rocní_zprava/2010/rz/index.htm>
- [7] Schuhová, Tereza. *První geotermální elektrárna v ČR: Liberec nebo Litoměřice?* [online] 2010 [cit. 2012-05-10] Dostupné z WWW: <
<http://www.nazeleno.cz/energie/energetika/prvni-geotermalni-elektrarna-v-cr-liberec-nebo-litomerice.aspx>>
- [8] *Schéma Peltonovy turbíny*, [online] 2004 [cit. 2012-05-14] Dostupné z WWW:
<<http://courses.engr.illinois.edu/npre201/coursematerial/hydroelectric/lecture09figures/3a.jpg>>
- [9] *Schéma Bánkiho turbíny*, [online] 2009 [cit. 2012-05-14] Dostupné z WWW:
< http://www.hydroelectric.cz/imgs/hydro/schema_cj.jpg>
- [10] *Nákres Bánkiho turbíny*, [online] 2009 [cit. 2012-05-14] Dostupné z WWW:
< <http://www.energiedouce.com/media/docs/Energiedouce-illustration-hydro-turbine-electrique-Banki-Mitchell.gif>>
- [11] LAIKA, Viktor. *Malá voda* [online] 2001 Dostupný z WWW: <http://mve.energetika.cz>>
- [12] PAŽOUT, František. *Malé vodní elektrárny a mikro zdroje*, Praha, 1982, 86 stran
- [13] *Obrázek Francisovy turbíny*, [online] 2004 [cit. 2012-05-14] Dostupné z WWW:
<<http://courses.engr.illinois.edu/npre201/coursematerial/hydroelectric/lecture09figures/5a.jpg>>
- [14] *Schéma rozvodného kola Francisovy turbíny*. [online] 2010 [cit. 2012-05-14] Dostupné z WWW: <<http://ars.sciencedirect.com/content/image/1-s2.0-S0094114X98000275-gr1.gif>>

- [15] Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, *Základní charakteristiky toku Jihlava a jeho povodí*, Praha, 2006 [online] [cit.2012-04-09] Dostupné z WWW: <http://www.dibavod.cz/data/download/char_096_jihlava_1.tif>
- [16] *Dokumentace od majitele MVE Vilémovský mlýn*
- [17] *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES* [online] 2009 [cit. 2012-05-18] Dostupné z WWW: < <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:cs:PDF>>
- [18] *Pracovní verze středoškolské odborné činnosti o vodních dílech v okolí Jihlavy, Střední školy technické v Jihlavě*

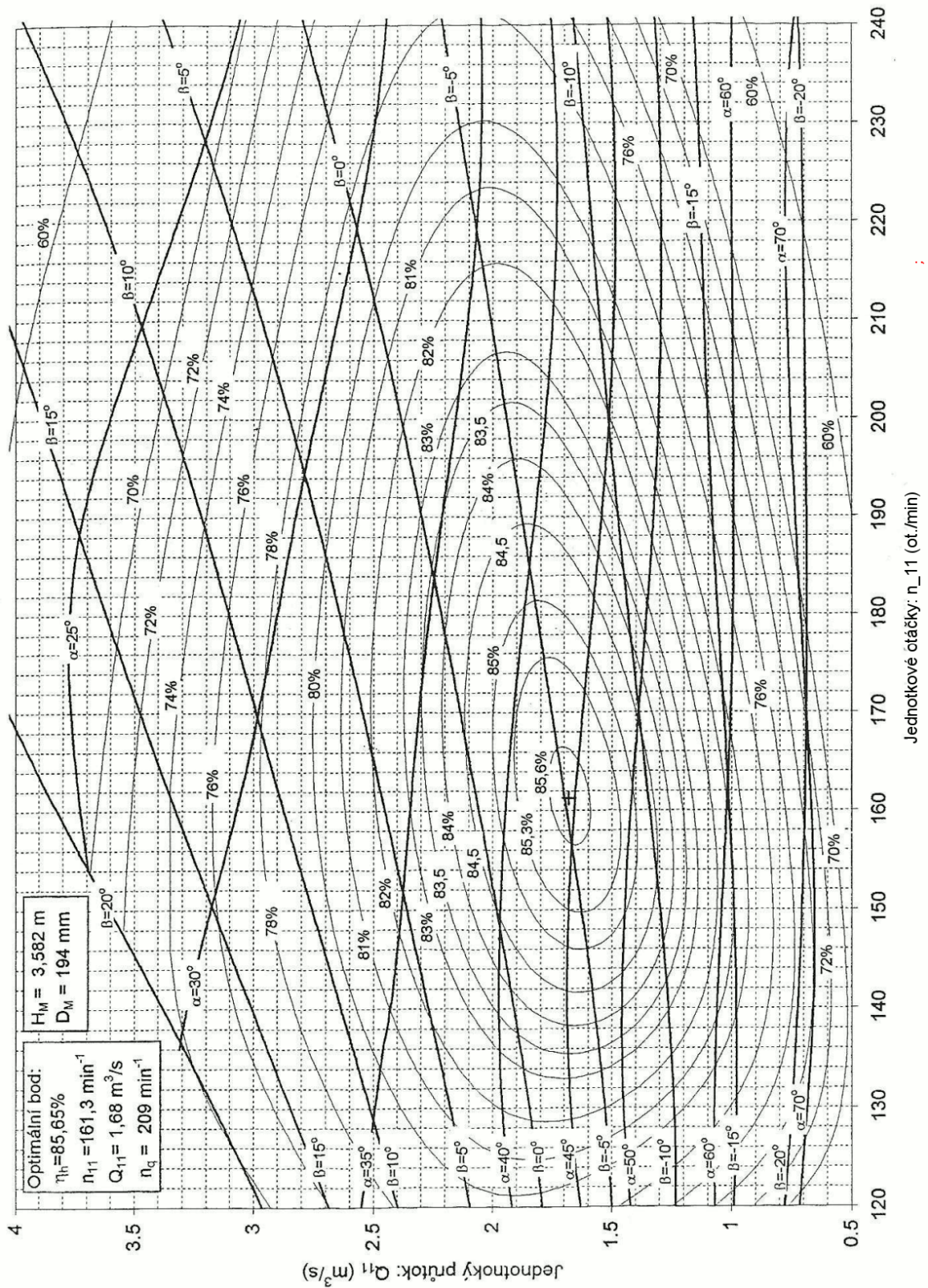
9 Seznam použitých zkratk a symbolů

Označení	Jednotka	Název
ČSN	[-]	Česká státní norma
ČSR	[-]	Československá republika
D	[m]	Největší průměr oběžného kola
E	[kWh]	Teoretická vyrobiteľná energie
ERÚ	[-]	Energetický regulační úřad
EU	[-]	Evropská unie
FVE	[-]	Fotovoltaické elektrárny
g	[m/s ²]	Gravitační zrychlení
H	[m]	Teoretický spád
MVE	[-]	Malá vodní elektrárna
n _{11N}	[min ⁻¹]	Jednotkové otáčky turbíny
OZE	[-]	Obnovitelné zdroje energie
Q _{11max}	[m ³ /s]	Maximální jednotkový průtok turbínou
Q _{11min}	[m ³ /s]	Minimální jednotkový průtok turbínou
Q _{11N}	[m ³ /s]	Jednotkový průtok turbínou
Q _a	[m ³ /s]	Průměrný dlouhodobý roční průtok
Q _N	[m ³ /s]	Návrhový průtok turbínou
RK	[-]	Rozváděcí kolo turbíny
STN	[-]	Slovenská státní norma
VE	[-]	Vodní elektrárny
VTE	[-]	Větrné elektrárny
ΔM	[den]	Přírůstek na ose M-denních průtoků
Δη	[-]	Odchylka účinnosti pro reálný stroj
η _{hDopt}	[-]	Účinnost navrhované turbíny v optimálním bodě
η _{hMAXmodel}	[-]	Maximální jednotková účinnost modelu
η _{hMINmodel}	[-]	Minimální jednotková účinnost modelu
η _{hMopt}	[-]	Účinnost modelu v optimálním bodě
ρ	[kg/m ³]	Hustota vody

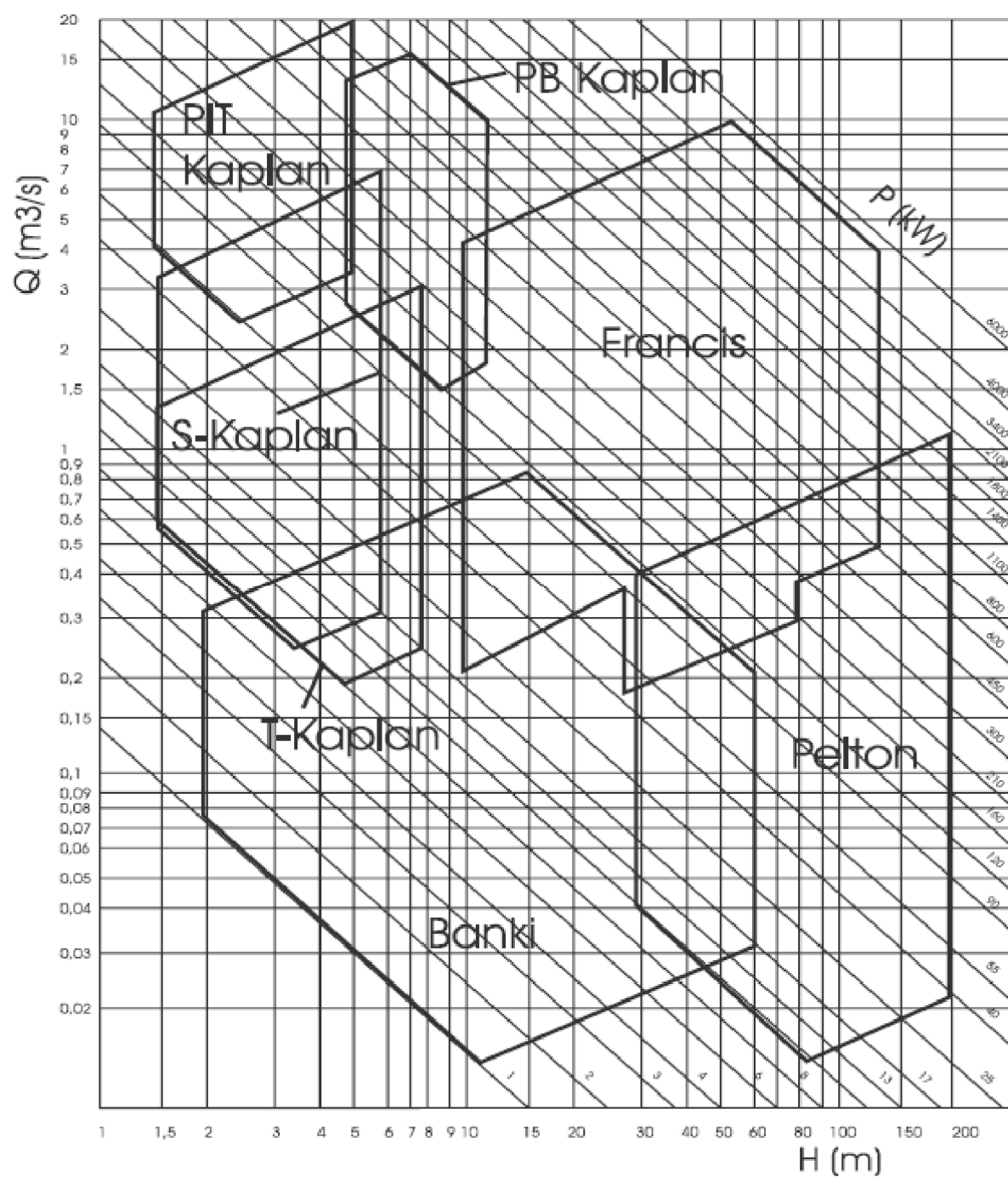
10 Přílohy

1. Účinnostní charakteristika optimální vazby lopatek OK a RK turbíny 3-PKT-194
2. Diagram použitelnosti jednotlivých typů turbín
3. Mapa vodních děl v okolí Bítovčic

Účinnostní charakteristika optimální vazby lopatek OK a RK: $[\alpha; \beta; \eta_h = f(n_{11}; Q_{11})]$ turbíny 3-PKT-194



Příloha 1



Příloha 2

Mapa vodních děl v okolí Bítovčic

