ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ

VYHODNOCENÍ PROVOZU MVE POČÁPLY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Marcela Synáčková, CSc.

Bakalant: Jan Kučera

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jan Kučera

Krajinářství
Územní technická a správní služba

Název práce

Vyhodnocení provozu MVE Počáply

Název anglicky

Evaluation of MVE Počáply operation

Cíle práce

Rešerše literatury na zadané téma. Popis malé vodní elektrárny s vyhodnocením provozu.

Metodika

Zásady pro zpracování

1. Úvod
2. Cíle práce
3. Literární rešerše
4. Zpřehlednění stávající legislativy
5. Metodika
6. Vodní dílo Počáply
7. MVE Počáply
8. Provoz MVE
9. Opravy a investice na MVE
10. Produkce elektrické energie
11. Ekonomické zhodnocení
12. Diskuze
13. Závěr
14. Použité zdroje
15. Přílohy

Doporučený rozsah práce

min. 40 stran textu

Klíčová slova

malá vodní elektrárna, provoz, vyhodnocení

Doporučené zdroje informací

BEDNÁŘ J.: Malé vodní elektrárny. Díl 2., Turbíny. Praha: SNTL, 1989
GABRIEL P., ČIHÁK F., KALANDRA P.: Malé vodní elektrárny. Praha: ČVUT, 1998
HOLATA M., GABRIEL P.: Malé vodní elektrárny : projektování a provoz. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0828-4.
KOLEKTIV AUTORŮ: Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice. Praha: ČEZ a.s., 2007. ISBN 978-80-239-8823-9
MELICHAR J., VOJTEK J., BLÁHA J.: Malé vodní turbíny. Konstrukce a provoz. Praha: ČVUT, 1998
PAŽOUT F.: Malé vodní elektrárny. Díl 1., Ekonomika, předpisy. Praha: SNTL, 1990

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Marcela Synáčková, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 16. 12. 2019

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 17. 12. 2019

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 10. 03. 2020

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma: Vyhodnocení provozu MVE Počáply vypracoval samostatně, citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

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

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

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzi tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne: 9. 3. 2020 Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji všem, kteří se jakýmkoli způsobem podíleli na vzniku této práce, především Ing. Marcele Synáčkové, CSc. za odborné vedení. Dále pak děkují státnímu podniku Povodí Labe za poskytnutí podkladových dat a veškerých informací o provozu MVE Počáply. V neposlední řadě také děkuji své rodině za podporu při psaní této práce.

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřená na představení a vyhodnocení dvacetiletého provozu malé vodní elektrárny Počáply. Zabývá se popisem jednotlivých objektů a technologických částí malé vodní elektrárny.

První část bakalářské práce je věnována obnovitelným zdrojům energie. Shrnuje ekologicky čisté zdroje energie v přírodě a ukazuje možnosti uplatnění obnovitelných zdrojů pro výrobu elektrického proudu u nás i ve světě.

Klíčová slova

malá vodní elektrárna, provoz, vyhodnocení, obnovitelné zdroje

Abstract

The bachelor thesis is focused on presentation and evaluation of twenty years operation of small hydro power plant Počáply. It deals with description of individual objects and technological parts of small hydro power plant.

The first part of the thesis is devoted to renew able energy sources. It summarizes ecologically clean energy sources in nature and shows the possibilities of using renewable sources for electricity production in the Czech Republic and abroad.

Keywords

Small hydropower plant, operation, evaluation, renewable resources

Obsah

1. Úvod ... 1
2. Cíle práce ... 2
3. Literární rešerše ... 3
   3.1 Zdroje obnovitelných energií ... 3
      3.1.1. Solární energie ... 5
      3.1.2. Větrná energie ... 8
      3.1.3 Geotermální energie ... 13
      3.1.4. Energie z biomasy ... 15
      3.1.5 Vodní energie ... 17
   3.2. Historie vodních elektráren ... 20
   3.3. Rozdělení vodních elektráren ... 23
   3.4. Turbíny vodních elektráren ... 24
   3.5. Využití vodní energie v ČR ... 30
4. Zpřehlednění stávající legislativy ... 33
5. Metodika ... 35
6. Vodní dílo Počáply ... 36
   6.1 Vakový jez ... 38
   6.2 Malá vodní elektrárna ... 41
   6.3 Rybí přechod ... 41
   6.4 Náhon Halda ... 41
7. MVE Počáply ... 43
   7.1 Turbíny ... 44
   7.2 Elektrické regulátory ... 48
   7.3 Čerpací hydraulický agregát ... 48
   7.4 Generátory ... 49
   7.5 Čistící stroj a proplach shrabků ... 50
   7.6 Řídicí systém turbín ... 50
8. Provoz MVE ... 52
   8.1 Opravy a investice na MVE ... 52
9. Produkce elektrické energie ... 54
   9.1 Výpočet výkonu hydroelektrárny ... 54
   9.2. Průměrná roční výroba ... 55
   9.3 Skutečná výroba energie ... 56
10. Ekonomické zhodnocení ... 59
   10.1 Investiční náklady ... 59
   10.2 Provozní náklady ... 59

10.3 Výkupní cena 60
10.4 Návratnost investice 61
11. Diskuze 65
12. Závěr 66
13. Seznam citovaných zdrojů 67
14. Přílohy 72

Seznam použitých zkratek:

ČEZ - Český energetický závod

ČHMU - Český hydrometeorologický ústav

ČR - Česká republika

ČRS - Český rybářský svaz

ČSN - Česká státní norma

ČVUT - České vysoké učení technické v Praze

ERU - Energetický regulační úřad

ES - Evropské společenství

EU - Evropská unie

MO - Městský obvod

MVE - Malá vodní elektrárna

ORC - Organický Rankinův cyklus

OZP - Obnovitelné zdroje energie

RG - rozvaděč generátoru

USA - Spojené státy americké

VD - Vodní dílo

VE - Vodní elektrárna

1. Úvod

V centru zájmu vyspělé společnosti v dnešní době stojí obnovitelné zdroje energie. Bez elektrické energie si svět už neumíme představit. Jsme na ní závislí ve všech oborech lidské činnosti. Nejvíce elektrické energie vyrábíme pomocí fosilních paliv a štěpením atomu. Tento zdroj není nevyčerpatelný a současně produkuje značné množství odpadu, čímž vzniká problém kam s ním.

Z ekologického hlediska se jeví jako nejvýhodnější výroba energie z obnovitelných zdrojů. Za obnovitelné zdroje energie se považují zdroje bez fosilních paliv, např. vodní, větrný, sluneční, geotermální. Evropská unie má obnovitelné zdroje jako jeden z hlavních klíčů energetické politiky. Nejvíce využívaným obnovitelným zdrojem energie v přírodě je koloběh vody. Proto také patří vodní energie k nejdéle využívaným energetickým zdrojům vůbec. U proudící vody se nejvíce využívá její kinetická (pohybová) a gravitační energie. Voda stéká z hor a tím uvolňuje svojí energii, až se dostane k moři, kde má potenciální energii nejnižší. Následuje odpaření vody z hladiny moře pomocí sluneční energie a v podobě srážek se vrací voda zpět do hor, kde má potenciální energii nejvyšší. Jelikož se tento proces stále opakuje, je proto na člověku, aby této energie získané téměř zadarmo uměl náležitě využít. (Otava 2011)

V České republice se z obnovitelných energií ve velké míře využívá vodní energie, a to i přes své omezené přírodní podmínky. Počátkem 20. století bylo na našem území vybudováno velké množství nových malých vodních elektráren. Ve 30. letech jich zde bylo už cca 10 000. Vše se ale otočilo v 50. letech, kdy se výroba energie soustředila jiným směrem a malé vodní elektrárny se rušily pro svoji neefektivnost. Až v 80. letech, po vzoru vyspělých zemí a vzhledem k velkému růstu cen energetických surovin, se malé vodní elektrárny opět dostávají do popředí obecného zájmu. Začíná se s výstavbou nových a rekonstrukcemi dříve zrušených děl. (Holota 2002)

2. Cíle práce

Jedním z hlavních cílů této bakalářské práce je popis provozu malé vodní elektrárny Počáply.

Nejdříve se zaměřuji na obnovitelné zdroje energií, jejich členění a využití pro výrobu elektrické energie.

Dalším cílem práce je seznámení jak s legislativní částí problematiky, tak i se samotným principem výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů.

V poslední řadě je cílem práce seznámení s provozem malé vodní elektrárny Počáply. Dále pak vyhodnocení provozu této malé vodní elektrárny s případnými návrhy na zlepšení.

3. Literární rešerše

3.1 Zdroje obnovitelných energií

Obnovitelná energie je alternativa, jak nahradit současné zdroje energie, jako ropa, uhlí nebo uran, které představují hrozbu klimatických změn našeho životního prostředí. (Quaschning 2008)

Mezi obnovitelné zdroje energie řadíme tyto: solární energii, větrnou energii, vodní energii, geotermální energii a energii z biomasy. Většina obnovitelných zdrojů energie větrné, solární, vodní a biomasy má původ ve slunečním záření, které dopadá na zeměkouli. Výjimku tvoří geotermální energie, která vzniká různými procesy v nitru Země a energie přílivu a odlivu, která závisí na přitažlivosti Měsíce a Země. (Srdečný a kol. 2009)

Celosvětově jsou obnovitelné zdroje čistým ekologickým potenciálem, teoreticky využitelným ke krytí energetických potřeb lidstva. Nevýhodou a limitem je nízká koncentrace na ploše, nerovnoměrné rozložení v krajině, změny intenzity jak během dne, tak i během roku. Dalším podstatným limitem jsou vysoké vstupní náklady. (Mastný a kol. 2011)

Definice podle zákona č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů): „Obnovitelnými zdroji se rozumí obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou energie větru, energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skládkového plynu, energie kalového plynu a energie bioplynu“. (Zákon č. 180/2005)

V ČR zdroje obnovitelné energie řídí zákon č. 165/2012 Sb. Zákon o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. Účelem tohoto zákona je v zájmu ochrany klimatu a ochrany životního prostředí:

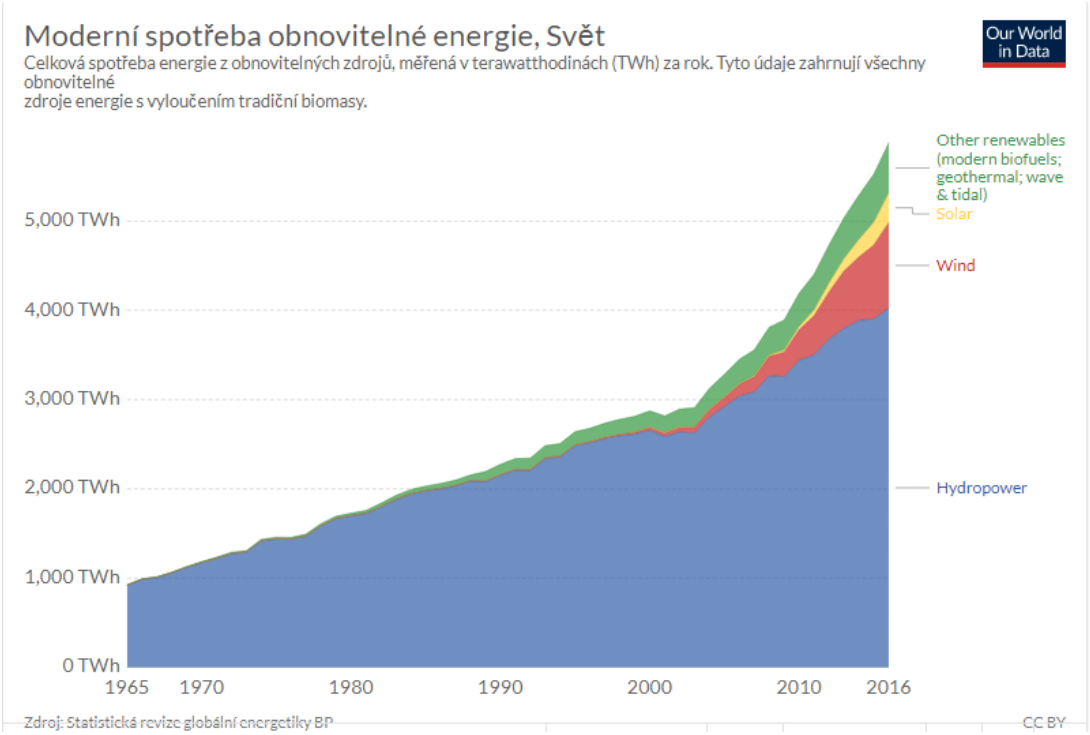
a) podpořit využití obnovitelných zdrojů, druhotných zdrojů a vysoko účinné kombinované výroby elektřiny a tepla,

b) zajistit zvyšování podílu obnovitelných zdrojů na spotřebě primárních energetických zdrojů k dosažení stanovených cílů,

c) přispět k šetrnému využívání přírodních zdrojů a k trvale udržitelnému rozvoji společnosti,

d) vytvořit podmínky pro naplnění závazného cíle podílu energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energie v České republice při současném zohlednění zájmů zákazníků na minimalizaci dopadů podpory na ceny energií pro zákazníky v České republice.

(Zákon č. 165/2012)



Obrázek 1: Moderní spotřeba obnovitelné energie ve světě (https://ourworldindata.org/renewable-energy).

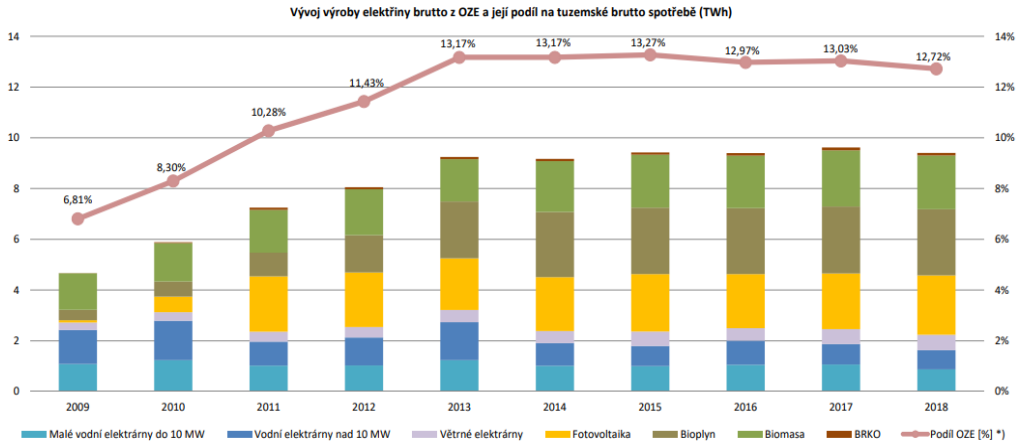
V České republice je vývoj výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů uveden v tabulce 1 a obrázku 2, kde je znázorněno rozložení vyrobené energie podle typu zdroje, a to v letech 2009 – 2018.

14. Vývoj výroby elektřiny brutto z obnovitelných zdrojů energie (OZE) 2018

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Celkem OZE [MWh]	**4 668 514**	**5 886 915**	**7 247 504**	**8 055 026**	**9 243 382**	**9 169 709**	**9 422 950**	**9 395 450**	**9 618 438**	**9 404 017**
Malé vodní elektrárny do 10 MW	1 082 683	1 238 819	1 017 878	1 026 254	1 236 978	1 011 674	1 001 797	1 053 100	1 062 479	875 129
Vodní elektrárny nad 10 MW	1 346 937	1 550 655	945 276	1 102 912	1 497 762	897 549	793 010	947 388	806 985	753 701
Větrné elektrárny	288 067	335 493	397 003	415 817	480 519	476 544	572 612	496 957	591 038	609 330
Fotovoltaika	88 807	615 702	2 182 018	2 148 624	2 032 654	2 122 869	2 263 846	2 131 455	2 193 368	2 339 677
Bioplyn	414 235	598 755	932 576	1 472 142	2 241 300	2 566 699	2 614 188	2 600 546	2 638 977	2 607 245
Biomasa	1 436 848	1 511 911	1 682 563	1 802 591	1 670 327	2 007 039	2 090 855	2 067 443	2 211 352	2 118 724
BRKO	10 937	35 580	90 190	86 686	83 842	87 335	86 642	98 561	114 238	100 210
							zdroj dat: předchozí roční zprávy, výkaz ERÚ-E1, OTE, a.s. (od roku 2013)			
Tuzemská brutto spotřeba [MWh]	68 600 000	70 961 700	70 516 541	70 453 278	70 177 356	69 622 096	71 014 254	72 418 279	73 818 342	73 940 781
Podíl OZE [%] *)	**6,81%**	**8,30%**	**10,28%**	**11,43%**	**13,17%**	**13,17%**	**13,27%**	**12,97%**	**13,03%**	**12,72%**

**) prostý podíl výroby brutto z OZE a celkové tuzemské brutto spotřeby* *zdroj dat: předchozí roční zprávy, výkaz ERÚ-E1, ERÚ-E2, ERÚ-E3, OTE, a.s.*

Tabulka 1: Vývoj výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů v ČR v letech 2009 - 2018 (http://www.eru.cz/documents/10540/4580207/Rocni_zprava_provoz_ES_2018.pdf/1420388b-8eb6-4424-9ad9-c06a57b5326c).



Obrázek 2: Vývoj výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů v ČR v letech 2009-2018 (http://www.eru.cz/documents/10540/4580207/Rocni_zprava_provoz_ES_2018.pdf/1420388b-8eb6-4424-9ad9-c06a57b5326c).

3.1.1. Solární energie

Tak jako Země je pro nás důležité i Slunce. Země dává vhodné podmínky pro život, Slunce poskytuje tepelné prostředí a energii potřebnou pro život lidí, zvířat i rostlin. (Večeřová 2011)

Slunce má výkon zářivosti 3,8 x 10^{23}kW, z toho na povrch zemské atmosféry dopadne sluneční záření o výkonu 180 000 TW. Atmosféra některé druhy záření pohltí a jiné propustí. Na pevninách a mořích se malé množství odráží a velká část je pohlcena a přeměněna na teplo. Toto teplo je důležité pro život na Zemi. (Večeřová 2011)

Využít sluneční energii k výrobě elektrické energie je už v současné době možné. Z hlediska životního prostředí je získávání elektrické energie ze sluneční nejšetrnějším způsobem výroby elektřiny. (Bařinka a Klimek 2007)

Elektřinu ze slunečního záření získáváme přímo nebo nepřímo.

- Přímá přeměna využívá fotovoltaického jevu. Působením světla se v některých látkách uvolňují elektrony. Na tomto principu je vytvořen fotovoltaický článek a ten je součástí tak zvaného slunečního panelu, který je využíván pro výrobu elektrického proudu.
- Nepřímá přeměna je získávání tepla. Teplo získáme pomocí slunečních sběračů, kterým do ohniska vložíme termočlánky, které mění teplo v elektrickou energii.

(Večeřová 2011)

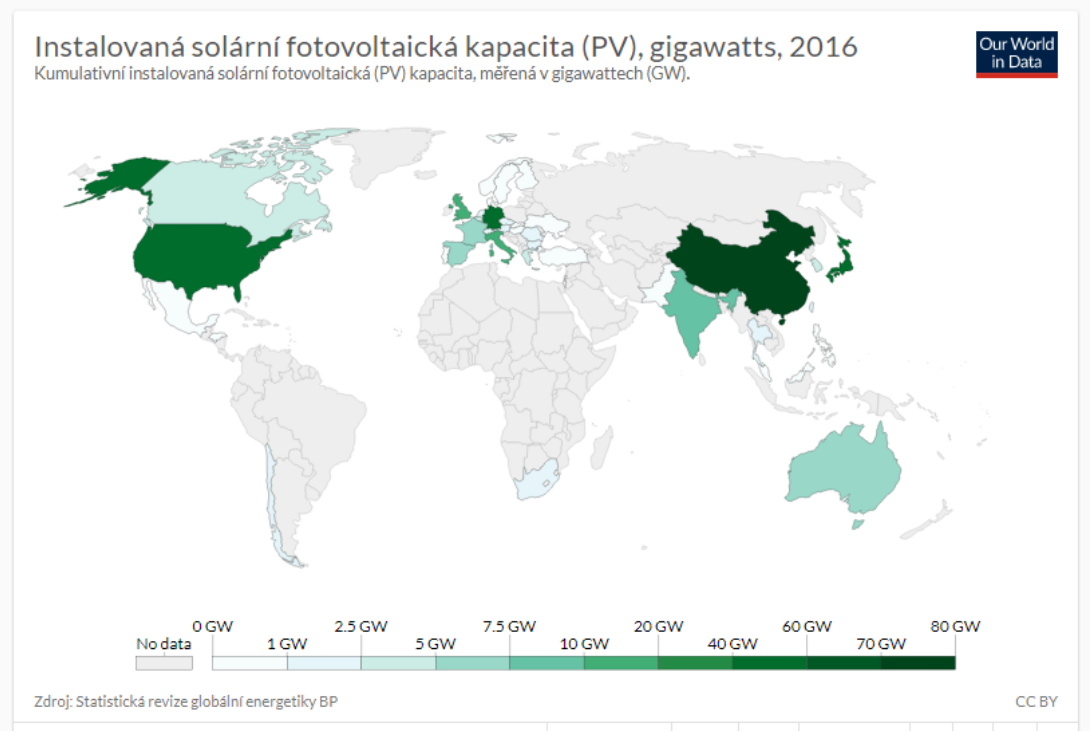
První zmínky o využívání fotovoltaiky jsou datovány do druhé poloviny 19. století, kdy byl objeven přírůstek elektrického napětí při vystavení světlu. Tento jev byl objeven na polovodiči selenu - byl to první základ pro fotočlánek. Pro komerční využití fotovoltaiky byl hlavním impulzem až rok 1954 a objev křemíkového fotočlánku.(Quaschning 2008)

Dnešní fotovoltaika využívá přímé přeměny světelné energie na elektrickou energii v polovodičovém prvku označovaném jako fotovoltaický nebo také solární článek. Solární článek je v podstatě velkoplošná dioda. V ozářeném solárním článku jsou generovány elektricky nabité částice (pár tvoří elektron a díra). Elektrony a díry jsou separovány vnitřním elektrickým polem. Rozdělení náboje má za následek napěťový rozdíl mezi předním (-) a zadním (+) kontaktem solárního článku. Vnějším obvodem zapojeným mezi oba kontakty potom protéká stejnoměrný elektrický proud, jenž je přímo úměrný ploše solárního článku a intenzitě dopadajícího slunečního záření. (Bařinka a Klimek 2007)

Jako příklad využívání solární energie v Čechách uvádím fotovoltaickou elektrárnu Vacov. V podhůří Šumavy se nachází obec Vacov a v jejím katastru fotovoltaická elektrárna. Na nosné hliníkové konstrukci pevně spojenou se zemí je osazeno 32 fotovoltaických článků s celkovým instalovaným výkonem 253,9 kWh. Provoz elektrárny je řízen automaticky s občasným dohledem. Všechen vyrobený proud je dodáván do veřejné sítě. Na životní prostředí nemá elektrárna žádný vliv, po ukončení provozu může být kompletně rozebrána a lokalita uvedena do původního stavu. (Klinkerová a kol. 2009)

Ve Francii se nedávno pokusili o využití solárních panelů v silničním provozu. Měli představu, že se auta budou nabíjet za provozu, a že využijí plochu silnice pro solární panely. Praxe ale ukázala, že technologie solárních panelů není připravená na těžké podmínky, které jsou spojeny s provozem na vozovce. Předpokládané výkony se ukázaly jako nadhodnocené a skutečné se pohybovaly na polovičních hodnotách. (Lloyd 2018)

Zmíněný nepřímý způsob získávání solární energie soustředěním slunečního paprsku do jednoho místa je druhý způsob výroby elektřiny. Soustředěnou koncentrací energie se dá dosáhnout vysokých teplot nad 1000 °C. Pro výrobu můžeme zvolit parabolické žlabové, solární věžové, komínové solární elektrárny a solární elektrárny s diskovým koncentrátorem se Stirlingovým motorem. Nejvýhodnější lokality pro umístění solárních elektráren jsou na severu Afriky, nastává jen vyřešit otázku dopravy energie do potřebných lokalit. (Quaschning 2008)



Obrázek 3: Instalovaná solární fotovoltaická kapacita ve světě (https://ourworldindata.org/renewable-energy).

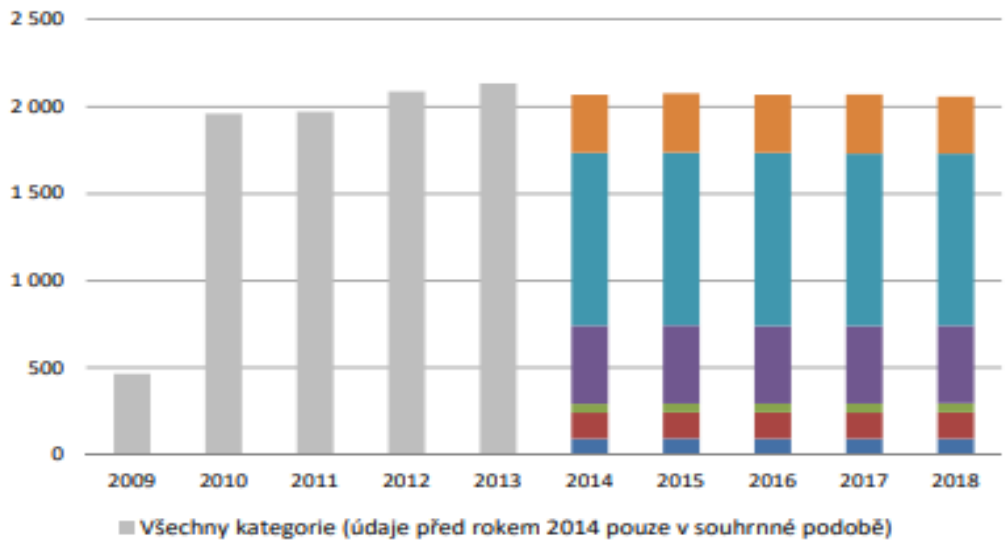
Výroba fotovoltaické energie v České republice pro rok 2018 udává následující tabulka 2. Tato tabulka udává, kolik energie bylo v roce 2018 vyrobeno v solárních elektrárnách v závislosti na jejich výkonu.

	Celkový instalovaný výkon [MW_e]	Výroba elektřiny brutto [MWh]	Technologická vlastní spotřeba elektřiny na výrobu elektřiny [MWh]	Výroba elektřiny netto [MWh]	Dodávka elektřiny do ES [MWh]
Fotovoltaické elektrárny (FVE) *)	**2 056,8**	**2 339 677,4**	**20 939,6**	**2 318 737,9**	**2 168 981,1**
do 10 kW včetně	94,5	99 322,8	64,2	99 258,6	66 074,0
nad 10 do 30 kW včetně	148,7	151 135,6	149,3	150 986,3	93 770,8
nad 30 kW do 100 kW včetně	52,9	54 616,0	207,9	54 408,2	42 562,5
nad 100 kW do 1 MW včetně	448,4	506 030,5	4 757,5	501 273,0	468 276,9
nad 1 do 5 MW včetně	986,7	1 137 089,2	10 079,7	1 127 009,5	1 116 831,4
nad 5 MW	325,6	391 483,4	5 681,0	385 802,3	381 465,6

**) členěno do kategorií dle instalovaného výkonu provozovny* *zdroj dat: OTE, a.s.*

Tabulka 2: Výroba fotovoltaické energie v ČR v roce 2018 (http://www.eru.cz/documents/10540/4580207/Rocni_zprava_provoz_ES_2018.pdf/1420388b-8eb6-4424-9ad9-c06a57b5326c).

Obrázek 4 představuje roční vývoj instalovaného výkonu (MW) fotovoltaické energie v České republice podle výkonu elektrárny v letech 2009 - 2018. Do roku 2013 byly k dispozici pouze souhrnné údaje instalovaného výkonu.



Obrázek 4: Vývoj instalovaného výkonu fotovoltaické energie v ČR v letech 2009 - 2018 (http://www.eru.cz/documents/10540/4580207/Rocni_zprava_provoz_ES_2018.pdf/1420388b-8eb6-4424-9ad9-c06a57b5326c).

3.1.2. Větrná energie

Vítr je pohyb vzduchu vůči zemi. Na tento pohyb působí mnoho faktorů, např. střídání teplot vzduchu, tepelné rozdíly mezi mořem a pevninou, horami a údolím,

zalesněnými a holými plochami, atd. V proudění vzduchu tak nastávají velké výkyvy, které se liší místem na Zemi. (Otava 2011)

Meteorologie uvádí rychlost větru ve stupních Beaufortovy stupnice, která má škálu dvanácti stupňů. (Quaschning 2008)

Stupeň	Vítr	Rychlost		Na souši
		m/s	km/h	
0	bezvětří	< 0,5	< 1	kouř stoupá kolmo vzhůru
1	vánek	1,25	1 - 5	směr větru poznatelný podle pohybu kouře
2	větřík	3	6 - 11	listí stromů šelestí
3	slabý vítr	5	12 - 19	listy stromů a větvičky v trvalém pohybu
4	mírný vítr	7	20 - 28	zdvihá prach a útržky papíru
5	čerstvý vítr	9,5	29 - 39	listnaté keře se začínají hýbat
6	silný vítr	12	40 - 49	telegrafní dráty sviští, používání deštníků je nesnadné
7	mírný vichr	14,5	50 - 61	chůze proti větru je nesnadná, celé stromy se pohybují
8	čerstvý vichr	17,5	62 - 74	ulamují se větve, chůze proti větru je normálně nemožná
9	silný vichr	21	75 - 88	vítr strhává komíny, tašky a břidlice se střech
10	plný vichr	24,5	89 - 102	vyvrací stromy, působí škody na obydlích
11	vichřice	29	103 - 114	působí rozsáhlá pustošení
12 - 17	orkán	30	> 117	ničivé účinky (odnáší střechy, hýbe těžkými hmotami)

Tabulka 3: Beaufortova stupnice síly větru (https://www.vlajky.cz/informace/informace_beaufortova_stupnice.php).

Jedno z prvních využití větrné energie v historii lidstva byl větrný mlýn. První mlýny pocházejí z Číny a Persie, odkud je Arabové přemístili do Španělska a odtud do zbytku Evropy. (Otava 2011)

Při využívání síly větru je nutno počítat se silným kolísáním nabídky energie. Zařízení, využívající větrnou energii, musí fungovat při nízké rychlosti větru, současně se nesmí při vyšších rychlostech větru poškodit. Ani moderní zařízení nejsou schopna využít veškerou energii vzdušného proudění. Německý fyzik Karl Betz zjistil, že pro maximální využití větrné energie se rychlost větru musí zbrzdit o třetinu. Výsledky jeho práce jsou vyjádřeny tzv. Betzovým výkonnostním koeficientem, jež udává, jakou část větrné energie lze využít pro maximální výkon větrné turbíny.(Quaschning 2008)

Využívání větrné energie pro výrobu elektrického proudu je ve světě mladá technická cesta. Většího zájmu se větrné energii dostalo až v sedmdesátých letech dvacátého století, tehdy si společnost začala uvědomovat nebezpečí ekologické krize a nebezpečí vyčerpání neobnovitelných zdrojů. Začala se hledat možná cesta v obnovitelných zdrojích, včetně větrné energie. (Štekl 2007)

Velkým pozitivem větrné energie je provoz bez nutnosti dovozu jiných paliv, neprodukuje tedy žádné emise, přispívá ke snižování množství CO_2 v ovzduší, ani transportem paliv nezatěžuje dopravní infrastrukturu. Další předností proti elektrárnám s neobnovitelnými zdroji je malá časová náročnost výstavby samotné větrné elektrárny. (Srdečný a kol. 2009)

V Evropě ve využívání větrné energie nejdále pokročilo Dánsko a sever Německa. V těchto oblastech jsou jedny z nejlepších podmínek pro využívání větrné energie v Evropě. V roce 1980 země evropských společenství přijaly program rozvoje větrné energie. (Otava 2011)

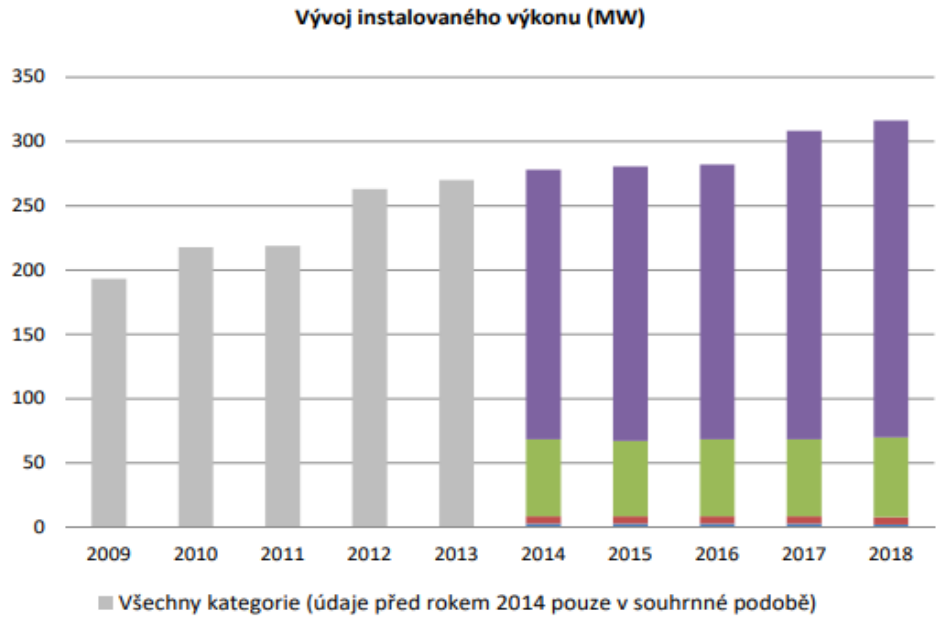
V Německu bylo v roce 1995 v provozu už 3655 větrných elektráren s výkonem přes 1000MW a v roce 2007 to bylo 19 640 s výkonem přes 22 000 MW. (Quaschning 2008)

Podle Energetického regulačního úřadu (ERÚ) bylo v roce 2018 v České republice uváděn výkon větrné energie celkem 316,2 MW. Tabulka 4 udává, kolik energie bylo v roce 2018 vyrobeno větrnými elektrárnami v závislosti na jejich výkonu. Obrázek 5 představuje vývoj výroby větrné energie v ČR v letech 2009 – 2018. Do roku 2013 byly k dispozici pouze souhrnné údaje instalovaného výkonu.

	Celkový instalovaný výkon [MW_e]	Výroba elektřiny brutto [MWh]	Technologická vlastní spotřeba elektřiny na výrobu elektřiny [MWh]	Výroba elektřiny netto [MWh]	Dodávka elektřiny do ES [MWh]
Větrné elektrárny (VTE) *)	**316,2**	**609 329,7**	**8 660,6**	**600 669,1**	**600 633,5**
do 0,5 MW včetně	2,3	1 805,3	42,1	1 763,2	1 721,2
nad 0,5 do 1 MW včetně	5,8	9 129,7	130,2	8 999,4	8 974,7
nad 1 do 2 MW včetně	61,9	120 615,2	1 080,9	119 534,3	119 551,1
nad 2 MW	246,3	477 779,5	7 407,3	470 372,2	470 386,5

*) *členěno do kategorií dle instalovaného výkonu provozovny* — *zdroj dat: OTE, a.s.*

Tabulka 4: Výroba větrné energie v ČR v roce 2018 (http://www.eru.cz/documents/10540/4580207/Rocni_zprava_provoz_ES_2018.pdf/1420388b-8eb6-4424-9ad9-c06a57b5326c).



Obrázek 5: Vývoj instalovaného výkonu větrné energie v ČR v letech 2009 - 2018 (http://www.eru.cz/documents/10540/4580207/Rocni_zprava_provoz_ES_2018.pdf/1420388b-8eb6-4424-9ad9-c06a57b5326c).

Příkladem využití větrné energie v Čechách je větrná elektrárna Pchery. U obce Pchery na lokalitě splňující podmínky k výstavbě, jak z hlediska větrných podmínek, tak i připojení na distribuční síť, jsou postaveny dva tubusy s větrnými turbínami o výkonu 2 x 3 MW a s průměrem rotoru 100 m. Obě turbíny využívají osvědčenou finskou technologii vybavenou automatickým řídicím systémem, který svou funkcí optimalizuje výrobu podle větrných podmínek. (Klinkerová a kol. 2009)

Trendem poslední doby je stavět větší a výkonnější elektrárny. Ve větších výškách je vyšší rychlost větru, současně větší lopatky naberou více větru. V neposlední řadě je stavba jedné, výkonnější elektrárny, ekonomicky výhodnější, než stavba několika menších s nižším výkonem. Jedním z dalších důvodů je maximální využití příznivé lokality pro výkon větrné elektrárny. (Srdečný a kol. 2009)

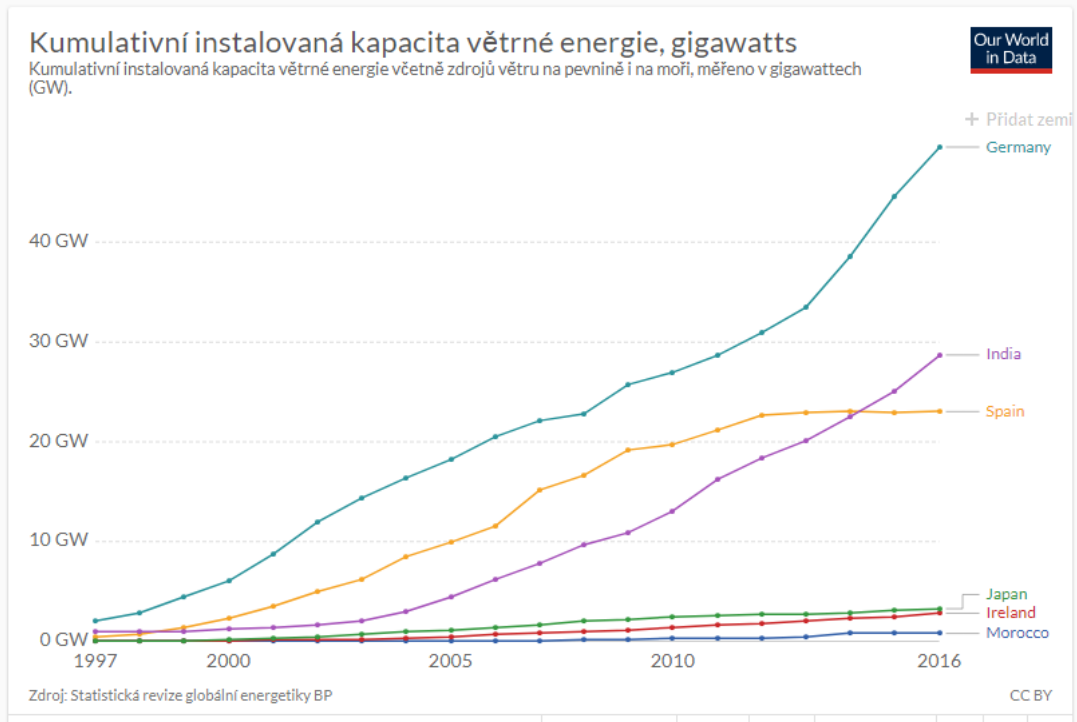
Technický rozvoj větrných elektráren prošel od 80. let minulého století velkou proměnou. Od výkonu kolem 100 kW a průměrem rotoru 20 m až k dnešnímu výkonu pohybujícímu se kolem 5000 – 6000 kW. S rostoucími rozměry a požadavky na výkon elektráren stoupají nároky na použitý materiál. Problémem se též stává přeprava rozměrných technologických prvků. Z toho vychází předpoklad, že nově stavěné větrné elektrárny nepřesáhnou výkon 10 MW. (Quaschning 2008)

Moderní větrné elektrárny využívají převážně třílistý rotor s vodorovnou osou otáčení. Princip jejich práce je, že vzduch obtéká lopatku vrtule, jež má profil podobný jako křídla u letadla. Hlavní technologie větrné elektrárny je uložena do gondoly na vrcholu sloupu, ta se otáčí podle směru větru spolu s vrtulí. Dole v patě sloupu je pak uloženo ostatní elektrické zařízení. Rychlost větru určuje natočení listů, díky tomu udržuje rotor stále stejnou rychlost. Minimální rychlost větru je 4 $m.s^{-1}$. Při rychlostech nad 25 $m.s^{-1}$ se z důvodu bezpečnosti elektrárna vypíná. (Srdečný a kol. 2009)

K problémům větrných elektráren patří umístění do krajinného rázu. Připusťme, že hlavně vysoké větrné elektrárny nepůsobí zrovna ideálně s okolní krajinou. Musíme ale brát v potaz také druhou stranu mince, a tou je potřeba elektrická energie. Podíváme-li se na krajinu dnes, vidíme vysoké komíny, vysílače, panelové domy, stožáry vysokého napětí a jiná technická zařízení. S těmito stavbami jsme se nějak sžili, a tak se snad časem smíříme i s větrnými elektrárnami, stejně jako obyvatelé jiných států v Evropě. (Štekl 2007)

Nové technologie využívá Švédská společnost Modvion, zabývající se výstavbou větrných elektráren. Hlavním stavebním materiálem je dřevo. Chrání tak životní prostředí před uhlíkovou stopou, která vzniká výrobou oceli a dopravou. Společnost uvádí schopnost snížit náklady na výrobu o 40 % a hmotnost o 30 % oproti ocelové konstrukci. (Lloyd 2019)

Na závěr této kapitoly uvádím data o vývoji kumulované instalované kapacity k výrobě větrné energie ve vybraných státech světa v letech 1997 - 2016. Údaje jsou znázorněny v obrázku 6.



Obrázek 6: Instalovaná větrná kapacita ve vybraných státech světa (https://ourworldindata.org/renewable-energy).

3.1.3 Geotermální energie

Geotermální energie pochází z nitra Země. Využívá se buď přímo jako teplo, nebo jako energie pro výrobu elektrické energie v geotermálních elektrárnách. Vzhledem k výkonnostnímu parametru, rovnoměrné dodávce energie a nízkým emisím, má geotermální energie nejlepší výhled pro uplatnění. Tato energie vzniká v teplotním gradientu mezi zemským jádrem a povrchem. Při využívání geotermální energie musíme znát nárůst teploty s hloubkou pod zemským povrchem. Při ustáleném tepelném toku k zemskému povrchu se podle vodivosti jednotlivých vrstev hornin mění teplotní gradient. Nejlepší místa pro geotermální energetické zdroje se nacházejí na hranicích zemských desek, kde je i viditelná aktivita v podobě horkých pramenů či gejzírů. (Motlík 2007)

K výrobě elektřiny je potřeba teplo, které lze získat dvěma způsoby. Z vrtu hlubokého až 5 km čerpáme nebo samovolně vytéká horká voda. Druhý způsob pro získání tepla je provedení dvou hlubinných vrtů vzdálených od sebe několik set metrů. Do jednoho vrtu vháníme pod tlakem vodu a z druhého vrtu čerpáme vodu ohřátou. Z důvodu mineralizace a znečištění vyčerpanou vodu nepoužijeme přímo, ale přes výměník ohříváme uzavřený parní okruh turbíny. (Srdečný a kol. 2009)

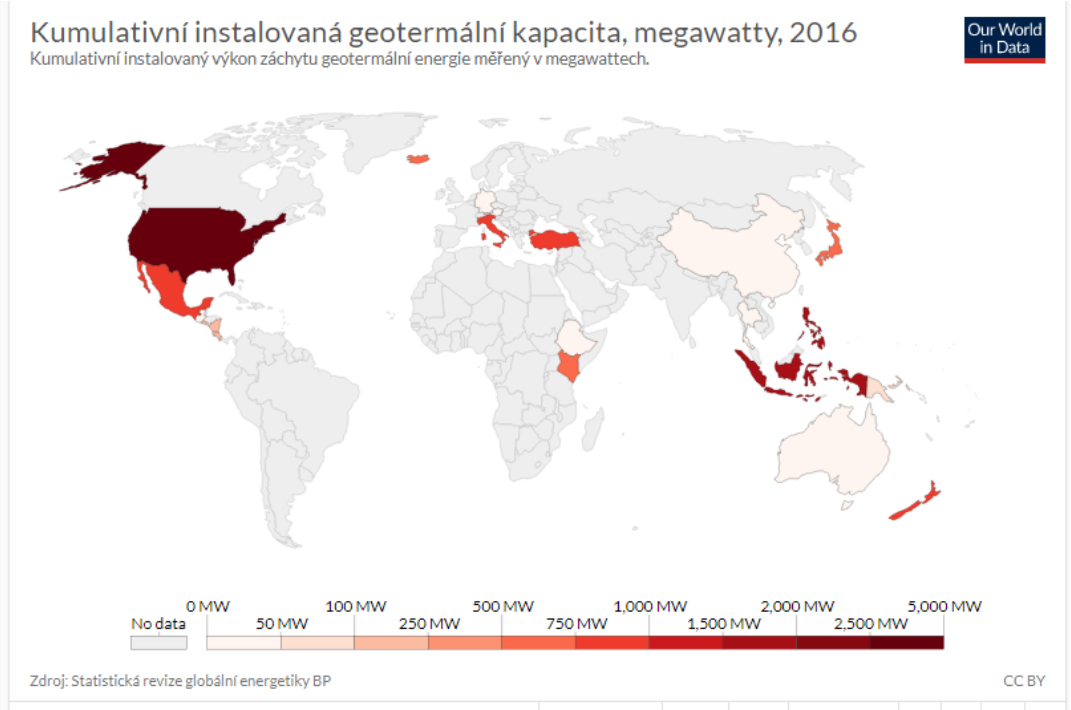
Teplo získané z vrtů se využije v geotermální teplárně. Ta pomocí čerpadla dopraví horkou vodu na povrch, kde se z ní přes výměník odebere tepelná energie a ta se předá vodě v rozvodu dálkového vytápění. Pro ústřední vytápění postačí nižší teplota, a tak pro středoevropskou oblast stačí hloubka vrtu kolem 2 km. Teplo z vrtů se také využívá v geotermálních elektrárnách. Výroba elektrické energie se musí vyrovnat s relativně nižším teplotním potenciálem vody, což vyžaduje nové technologie výroby elektrické energie. Při vhodných podmínkách, kdy se využívají páry o teplotě 200 - 300 ^{o}C, je využívána klasická elektrárna s parní turbínou.

Při teplotách páry kolem 100 ^{o}C se využívá tzv. princip ORC. Centrem elektrárny je parní turbína, která je místo vody poháněna organickým médiem, které se odpařuje pod vysokým tlakem a při teplotě pod 100 ^{0}C, a tak pohání turbínu a expanduje. Nevýhodou ORC je nízká účinnost - jen kolem 10 %. Z důvodu nízké účinnosti se více prosazuje spíše přímé využití tepla, než výroba elektrické energie. (Quaschning 2008)

V České republice se geotermální energie využívá poskromnu, na rozdíl od Islandu a severní Ameriky. Geotermálním vrtem je například v Čechách vytápěn areál ZOO Ústí nad Labem, který svým rozsahem a technickým řešením patří mezi nejzajímavější. V šesti-hektarovém areálu stojí 30 budov s tepelnou ztrátou 1200kW. Tepelným zdrojem je vrt o hloubce 515m a teplotou vody 32 ^{o}C. Voda přes výměník ohřívá rozvod po areálu a ochlazená voda se vrací vsakovacími vrty zpátky do země. (Klinkerová a kol. 2009)

Z celkového pohledu jsou geotermální teplárny a elektrárny ekologickou energií. Hlavní energetická zařízení se nacházejí pod zemí a tak neomezují vzhled krajiny, nad zemí je jen strojovna a distribuční síť. Ekologie může být ohrožena jen organickým médiem, které se u některých technologických principů používá k výrobě proudu. Únikem do atmosféry vyvolává skleníkový efekt. Jedním z neprozkoumaných rizik je možnost seismických aktivit při vhánění vody zpět do vrtů. Díky vzrůstající oblibě obnovitelných zdrojů roste i zájem o stavby využívající geotermální energii. (Quaschning 2008)

Obrázek 7 znázorňuje rozložení využívání geotermální energie ve světě v roce 2016.



Obrázek 7: Geotermální kapacita ve světě (https://ourworldindata.org/renewable-energy).

3.1.4. Energie z biomasy

Biomasa už od pradávna představovala jeden z hlavních zdrojů energie. Díky technologickému rozmachu ve vyspělých zemích se pro výrobu energie začala více využívat fosilní paliva a jádro. Se vzrůstající spotřebou energií, zvyšováním cen a vnímáním fosilních paliv jako znečišťovatele životního prostředí, hledáme a vracíme se k biomase za využití nových technologií. Biomasa je biologicky rozložitelná část odpadů, zbytků a výrobků z lesního nebo zemědělského průmyslu. Patří sem dřevo, sláma, bioplyn, kapalná biopaliva, energetické rostliny a také část biologicky rozložitelného komunálního odpadu. (Pařízek a kol. 2007)

Výhodou biomasy je, že slouží k ukládání akumulované sluneční energie, jednoduchá skladovatelnost a využití dřevařské a zemědělské technologie pro její zpracování. Jako nevýhoda se jeví druhotné využití. Dřevo se používá k výrobě a produkci například ve stavebním, papírnickém, nábytkářském průmyslu. Cíleně pěstovaná energetická plodina bude na poli konkurovat potravinářské plodině. (Srdečný a kol. 2009)

Hlavní forma využití biomasy je vytápění. Topit se dá dřevem, slámou, bioplynem a za určitých podmínek také rostlinnými oleji a bioalkoholem. Základní

surovina pro vytápění je dřevo. Ze dřeva k topení využijeme vše, kulatinu, štěpiny i štěpky. Piliny a hobliny zpracujeme také, vyrobíme z nich za pomoci lisů a forem dřevěné brikety nebo pelety. Výhřevnost dřeva záleží na obsahu vody, mokré dřevo špatně hoří. Při spalování se voda odpaří, potřebnou energii si vezme ze dřeva a tím se ztrácí jeho výhřevnost. Dalším nežádoucím účinkem spalování mokrého dřeva je vyšší obsah škodlivých látek, zápach a silnější kouř. Pro optimální využití energie je potřeba používat jen vysušené dřevo. K individuálnímu vytápění rodinných domů slouží kamna, krby nebo kotle. Kamna a krby slouží většinou jen k doplňkovým zdrojům. Je nutná jejich stálá obsluha, ta svou přítomností obtěžuje, proto raději využíváme ústřední topení. Díky své pohodlnější obsluze se více používají kotle na štípané dřevo nebo dřevěné pelety. (Quaschning 2008)

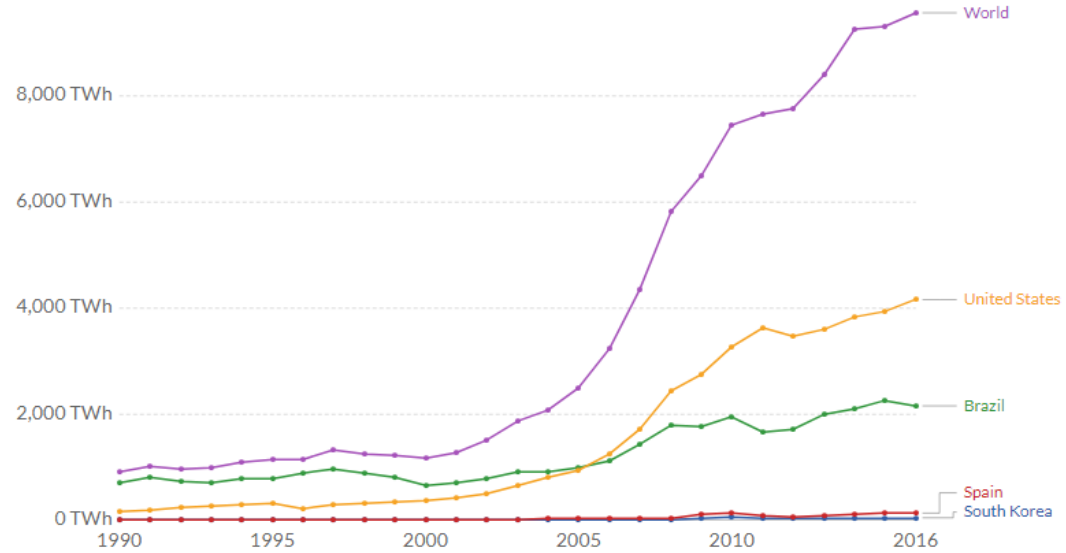
Biomasu také využijeme v teplárnách a elektrárnách. Elektrárny využívající pro výrobu proudu biomasu pracují na principu klasické parní elektrárny. Parní kotel spalováním vytváří páru, která pohání parní turbínu a dále generátor. Teplárny topným systémem, který se skládá z kotle, skladu paliva a dálkového rozvodu, zásobují teplem jednotlivé spotřebitele. Při kombinaci elektrárny a teplárny se hovoří o kogeneračních teplárnách. Ty vyrábějí jednak elektrický proud, a současně zásobují teplem dálkové vytápění. (Quaschning 2008)

Jako příklad využití biomasy v Čechách uvádím výtopnu na biomasu v Hostětíně. V roce 2000 zde byla uvedena do provozu výtopna na biomasu, která zpracovává štěpku a piliny z okolních pil. Na výtopnu se připojilo cca 85% objektů v obci. Výkon kotle je 732 kW a za sezónu spálí kolem 600 tun paliva. (Klinkerová 2009)

V dopravě se obnovitelné zdroje používají v podobě biopaliv. V EU byla přijata směrnice o 10% pokrytí biopaliv při spotřebě paliva pro silniční dopravu v roce 2020. Biopaliva rozlišujeme na biopaliva první generace a na biopaliva druhé generace. Liší se podle způsobu získávání vstupní suroviny. První generace se vyrábí ze zemědělských plodin k tomu určených. Tyto plodiny jsou náročné na hnojení a zabírají místo plodinám potravinářským. Nejrozšířenějším biopalivem první generace je bionafta. Druhá generace se vyrábí z organických složek komunálního odpadu, slámy a dalšího zemědělského odpadu. K výrobě je za potřebí náročnější technologie a vyšší ekonomické náklady, ale nedochází tolik k zatěžování životního prostředí jako u první generace. (Srdečný a kol. 2009)

Biomasa se využívá také k výrobě bioplynu v bioplynových stanicích. Ve stanicích se k výrobě používá hnůj, kejda a další potravinářský a zemědělský odpad, ale i cíleně pěstované plodiny např. kukuřice. Technologie spočívá v anaerobním rozkladu organické hmoty, při kterém vzniká hořlavý plyn s vysokým obsahem metanu. Plynu se nejvíce využívá k výrobě elektřiny, dále do plynárenské soustavy nebo jako pohon v dopravě. (Srdečný a kol. 2009)

Na závěr této kapitoly uvádím údaje o vývoji výroby biopaliv ve vybraných zemích světa v letech 1990 – 2016. Data jsou zpracována v obrázku 8.



Obrázek 8: Výroba biopaliv ve vybraných zemích (https://ourworldindata.org/renewable-energy).

3.1.5 Vodní energie

Planeta Země, pro ni je typická barva modrá. Barva vody má na naší planetě absolutní převahu před pevninou. Zemi ze 71 % pokrývá voda a za to vděčíme Slunci. Sluneční energie umožňuje, aby 98 % vody bylo v tekutém stavu. Na Zemi se vyskytuje z 97,4 % voda slaná a z 2,6 % voda sladká - a z ní pouze 0,02 % je voda v řekách a jezerech. Vlivem slunečního záření se ze zemského povrchu odpaří 980 l vody z $1m^2$, ta se potom v podobě srážek vrací zpět na zemský povrch, přičemž místo odparu neodpovídá místu následných srážek. Tomu se říká koloběh vody. (Quaschning 2008)

Při hledání vhodného obnovitelného zdroje, který by mohl nahradit vyčerpávající se fosilní paliva, je možné využít nekonečný koloběh vody v přírodě. Způsobem využití je nejčastěji přeměna pohybu neboli toku vody na energii.

Ekonomicky a ekologicky nejvýhodněji se jeví právě tento způsob využití obnovitelného zdroje. Vzhledem k životnímu prostředí se jeví šetrnější malé vodní elektrárny, než díla velkých rozměrů, která poznamenají ráz krajiny a mají i negativní vliv na životní prostředí. I malé vodní elektrárny ve větším počtu mohou vyrobit nepřehlédnutelné množství elektrické energie. Vodní energie patří k nejstarším energetickým zdrojům. Technicky to začalo kolem, které se pohybem toku roztočilo, a ostatní už je dílem zlepšování efektivnosti využití vodní síly. Vývoj postupoval ale velice pomalu. Největší posun nastal vynálezem přetlakové turbíny. Pro nás nejznámější a nejvyužívanější byly zkonstruovány v roce 1847 - Francisova turbína, v roce 1880 - Peltonova turbína a v roce 1918 - Kaplanova turbína. Nejvyšší vliv na vodní energii měl rozvoj elektrifikační sítě, která umožnila propojení zdrojů a tím využívání rychlého připojení pro krytí zařízení ve špičkách. (Šamánek 2007)

Způsob využívání vodní energie je její přeměna na elektrickou energii ve vodní elektrárně. Principem výroby je pomocí pohybové nebo polohové energie vody roztočit turbínu a rotor elektrického generátoru. Výsledkem je elektrická energie, která se transformuje a odvádí do veřejné sítě. Vodních elektráren je celá řada typů, všechny však pracují na stejném principu, polohovém energetickém potenciálu vody. Základem každé vodní elektrárny je turbína s elektrogenerátorem. Turbína se volí podle přírodních a technických podmínek a využití elektrárny. Mezi nejběžnější a nejpoužívanější turbíny patří (výše jmenované) Francisova, Kaplanova a Peltonova turbína. Peltonova se používá při velkých spádech až 500 m. U velmi malých elektráren se používá Bánkiho turbína spolu s upravenou Francisovou turbínou. (Otava 2011)

Vodní energie má ze všech obnovitelných zdrojů poměrně vyrovnaný výkon. To umožňuje při vzrůstajícím podílu výroby proudu z obnovitelných zdrojů více využívat akumulační a přečerpávací elektrárny, protože přispívají k ustáleným výkonům a odběrům proudu. Všechny vyspělé země už mají svůj podíl ve vodní energii nastavený. Zbývající místa pro rozvoj vodní energie se nacházejí jen v rozvojových a nových průmyslových zemích. Ke zvýšení podílu na výrobě elektřiny z vodní energie se začínají uplatňovat nové technologie pracující na využití mořských proudů a vln. (Quaschning 2008)

Světové oceány a moře jsou jakousi zásobárnou energie. Ta vzniká na základě rozdílných teplot v jednotlivých vrstvách vodní masy a rozdílné hustoty vody. Vrchní

vrstva má značně kolísavou teplotu, spodnější vrstvy zase stálejší teplotu. Celá vodní masa oceánu je v neustálém pohybu, jak na povrchu, tak v hlubinách. S těmito vlastnostmi můžeme pracovat při využívání jednotlivých mořských energií.

- **Energie vlnění**

  Vodní hmota oceánů a moří se neustále pohybuje. Kolmý směr pohybu způsobuje změny výšky hladiny a vodorovný pohyb má za následek proudění vodní masy.

- **Energie mořského příboje**

  Příbojové vlnění u pobřeží se vyznačuje velkou energií. Díky složitým technologiím a malé hustotě průmyslových středisek v místech velkých příbojů se zatím využívá této energie velmi málo. Ojedinělé příklady využití pro výrobu elektrické energie můžeme nalézt v Japonsku a v Evropě.

- **Energie mořských proudů**

  Mořské proudy ve světových oceánech mají svůj ustálený směr a rychlost pohybu. Pohybují tak s velkým množstvím vody na velkou vzdálenost. Ovlivňují teplotní charakter jak povrchové, tak hlubinné vodní masy. Mají teplotní vliv i na kontinenty.

  Přes svůj obrovský energetický potenciál je jejich využití ve stavu studií a pokusů. Projekty pracující na využití mořských proudů naráží na riziko zpomalení tohoto pohybu, které by mohlo mít nedozírné následky.

- **Přílivová energie**

  Jedná se o využití přílivu a odlivu, neboli změn výšky hladiny moří. Příkladem je záliv u Nového Skotska v USA, kde hladina dosahuje rozdílu až 20metrů. Problémem při využívání je zasahování slunce a nerovnoměrnosti Země do ustáleného oběhu přílivu a odlivu. Vznikají nepravidelnosti a změny v rytmu přílivu a odlivu. Také doba využití nekoresponduje s dobou energetické špičky.

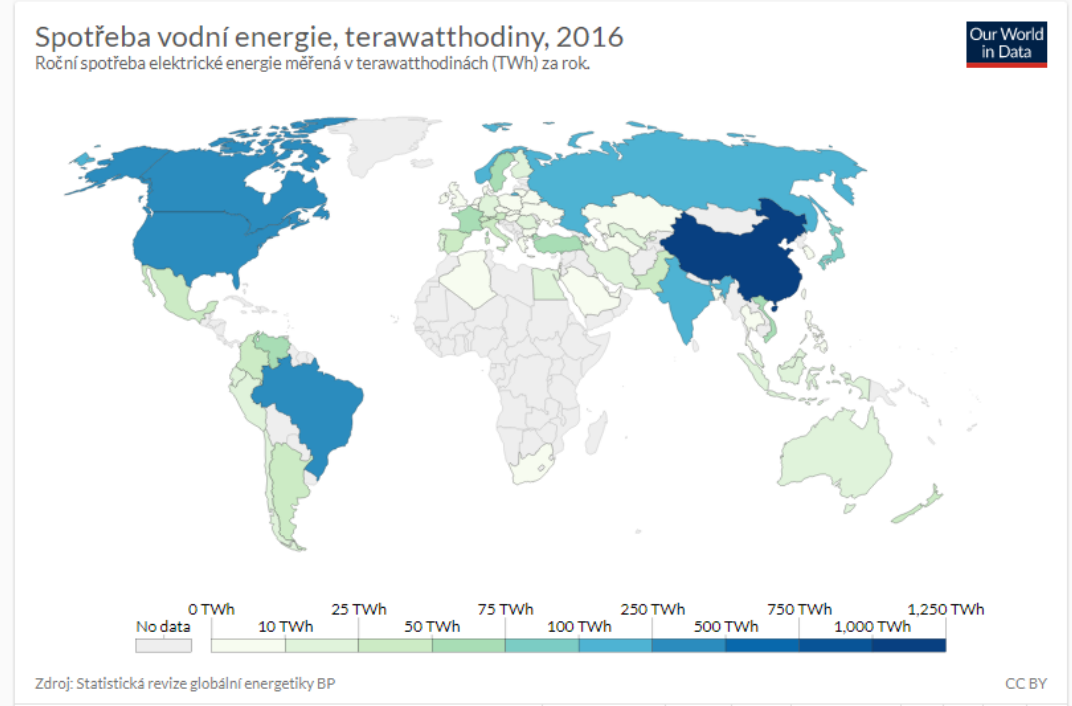
  Dále ale zůstává využívání přílivové energie do budoucna otevřené pro možnost využití až 11,8 bilionů MJ elektrické energie.

- **Tepelná energie**

  Jde o využití teplotního rozdílu mezi hladinou a hlubinnou vodou. Pro využití teplotního rozdílu se provádějí pokusy a zkoušky u pobřeží Havajských ostrovů. (Otava 2011)

Příkladem využití mořské energie je plovoucí přílivová turbína nacházející se u pobřeží Skotska instalovaná v roce 2017. Tento způsob využití obnovitelného zdroje energie je složitě využitelný z důvodu náročnosti na odolnost vůči mořským vlivům, jako jsou opotřebení vlnami, korozivní slaná voda a nepřístupnost v moři. Ve zmíněném projektu byly instalovány dvě turbíny SR2000, které v roce 2017 vyrobily 3MWh elektrické energie. (Treacy 2018)

Závěrem této kapitoly uvádím údaje o rozložení spotřeby vodní energie ve světě za rok 2016. Data jsou zpracována v obrázku 9.



Obrázek 9: Spotřeba vodní energie ve světě (https://ourworldindata.org/renewable-energy).

3.2. Historie vodních elektráren

Vše začalo vynálezem kola, které se točí za pomoci síly vody. Roztočením kola se energie vodního toku lehce přemění na energii mechanickou, kterou využijeme pro lidskou potřebu. Síla energie je ovlivněna množstvím vody a také spádem vodního toku.

Nejprve se používala kola horizontální neboli ležatá pro pohon mlýnů. Mlýny využívající horizontální kola měly malou účinnost, ale pro jejich pohon stačilo malé

množství vody při dostatečném spádu. Jejich konstrukce byla velice jednoduchá, voda se přiváděla přímo k lopatkám dřevěným žlabem. Využití našly v horských oblastech na malých a prudkých říčkách. Větší oblibu měla však až kola svislá, ta představovala už v době Římské jeden ze základních zdrojů energie spolu s lidskou a zvířecí. Vodního pohonu se nejvíce využívalo k mletí obilí, čerpání vody a k pohonu pil, hamru nebo valchy.

Mlýnská kola se liší podle přívodu vody na lopatky. Kola na spodní vodu jsou částečně dolní částí ponořena do toku vody. Tím mohlo dojít při poklesu hladiny k zastavení kola, protože bylo na suchu. U kol s vrchní vodou, je voda na lopatky přiváděna vrchem pomocí náhonu. Na jejich provoz nemá takový vliv kolísání hladiny a vykazují v provozu až dvojnásobnou účinnost. Nevýhodou je složitost technického řešení. (Pažout 1990)

V Čechách se objevil první mlýn někdy v 8. století. Největšího významu využití nastalo v době vrcholného středověku. Používaly se jednak k mletí obilí, ale také jako pohon pro různá řemesla. Základním principem každého mlýnu jsou tři části: vodní kolo, převodové ústrojí a pracovní zařízení. Převodové ústrojí tvořené soustavou hřídelí, palečnými soukolími a palcovými převody, mělo za úkol převést pomalý otáčivý pohyb kola na pohyb určený k výrobnímu procesu.

Po dosaženém vrcholu mlýnských kol nastala doba turbín. Turbíny mají mnohem vyšší účinnost. Vodní kola mají účinnost kolem 30 %, účinnost turbíny se pohybuje kolem 90 %, řadí se tak k nejúčinnějším motorům. Na základě znalostí hydromechaniky, vědeckého zkoumání a podrobných výpočtů francouzského fyzika Bernouliho sestavil profesor Segner první pravzor turbíny. Pracovala na principu duté hřídele, kterou se pod vysokým tlakem přivádí voda do trysek. Tryskající voda pak podle zákona akce e reakce roztáčí turbínu.

Další významné slovo ve vývoji turbín měl Angličan J. B. Francis. Při konstrukci modelování vytvořil turbínu s vynikajícími parametry, které se však nedaly matematicky vyjádřit. Z tohoto důvodu byly z počátku odmítány, ale na základě praktických zkušeností se začaly šířit do celého světa. Francisovy turbíny mají nevýhodu nízkých otáček, generátor se připojuje složitým převodovým systémem, který snižuje její celkovou účinnost.

Tento problém vyřešil profesor Kaplan. Ten sestavil rovnoběžnou turbínu pro malé spády. Drobné nedostatky odstranili později jeho spolupracovníci, kteří pokračovali v jeho díle potom, co se Kaplan v práci zhroutil.

Jeden z dalších významných konstruktérů turbín byl Graham Pelton. Jeho turbína bez rozváděcího kola se nejvíce hodí pro prudké horské řeky.

Jednotlivé typy výše uváděných turbín jsou konstrukčně odlišné. Každý typ se hodí do jiného prostředí, vše záleží na podmínkách vodního toku. Proto se technicky turbíny upravují a navrhují dle podmínek konkrétního toku. Všechny vodní turbíny jsou konstruovány tak, aby hřídel oběžného kola přímo poháněla pracovní systém - při výrobě elektřiny generátor. (Hozák 2011)

Významné historické mezníky využívání vodní energie:

- 600 př. n. l. Chaldejci využili čerpací kola k zavlažování,
- 230 př. n. l. Egypťané využili hnací lžícové kolo k zavlažování,
- 150 př. n. l. římská říše využila vodní kolo na spodní vodu,
- 361 n. l. vybudování prvního vodního mlýnu v Německu,
- 536 n. l. vybudování prvního plovoucího vodního mlýnu na řece Tibeře,
- 718 n. l. vybudován první vodní mlýn v Čechách na řece Ohří v Žatci,
- 1827 n. l. do provozu uvedena první Burdinova turbína,
- 1844 n. l. sestrojena první rovnotlaká turbína s vnitřním vstřikem inženýrem Zuppingerem,
- 1849 n. l. vyvinuta univerzálně použitelná přetlaková turbína inženýrem J. B. Francisem,
- 1863 n. l. vynalezena Girardova rovnotlaká turbína,
- 1880 n. l. vynalezena Peltonova přímotlaká turbína,
- 1886 n. l. sestrojena Francisova spirálová turbína s pevným rozvaděčem pro velké spády,
- 1913 n. l. vynalezena Kaplanova turbína s natáčivými oběžnými lopatkami,
- 1918 n. l. výroba první Kaplanovy turbíny,
- 1921 n. l. uvedení do provozu první Kaplanovy turbíny v Čechách,
- 1951 n. l začíná zavírání a ukončování provozů velké řady MVE v Čechách,
- 1989 n. l. začíná pomalý rozkvět MVE v Čechách. (Voříšek 2017)

3.3. Rozdělení vodních elektráren

Vodní elektrárny se třídí podle různých vzájemně se prolínajících hledisek. Třídění odpovídá platné normě Vodní hospodářství - terminologie hydrotechniky ČSN 750120 společně s normou Malé vodní elektrárny – základní požadavky ČSN 752601.

Rozdělení podle velikosti instalovaného výkonu:

- velké – instalovaný výkon nad 200 MW,
- střední – instalovaný výkon 10 – 200 MW,
- malé – instalovaný výkon do 10 MW.

Rozdělení podle výkonového hlediska:

- průmyslové – instalovaný výkon 1 – 10 MW,
- minielektrárny – instalovaný výkon 100 – 1000 kW,
- mikroelektrárny – instalovaný výkon 35 – 100 kW
- domácí – instalovaný výkon do 35 kW

Rozdělení podle dosaženého výkonu:

- Ia – výkon nad 1000 kW,
- Ib – výkon 500 – 1000 kW,
- II – výkon 100 – 500 kW,
- III – výkon 35 – 100 kW,
- IV – výkon do 35 kW.

(Melichar a kol. 1998)

Rozdělení podle koncentrace měrné energie nebo průtoků:

- Přehradní – energie je využívána vzdouvacím zařízením, např. jezem nebo přehradní hrází. Tato zařízení zvyšují hladinu v horní zdrži a tím vytvářejí potřebný rozdíl hladin.
- Derivační – využívají přírodní průtoky. Jako vzdouvací zařízení se použijí derivační přivaděče, které soustředí energii.

- Přehradně derivační – vzdouvacím zařízením je pro ně přehrada, která slouží pro akumulaci průtoků a ke zvýšení měrné energie. Používají se jako regulační špičkové elektrárny.

(Mastný a kol. 2011)

Rozdělení podle velikosti využívané polohové měrné energie:

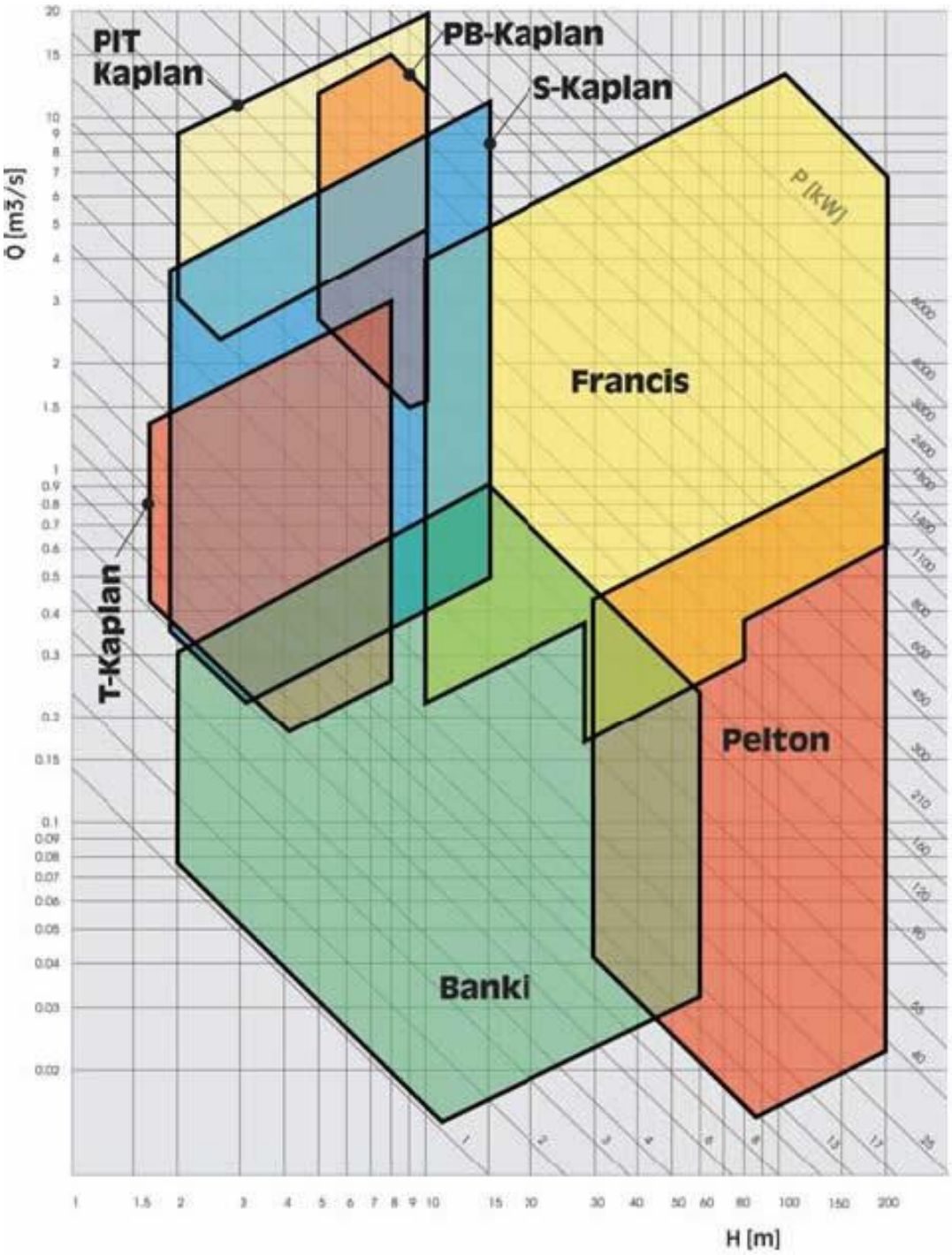
- nízkotlaké – do 200 $J.kg^{-1}$,
- středotlaké – do 1000 $J.kg^{-1}$,
- vysokotlaké – nad 1000 $J.kg^{-1}$.

(Bednář 1989)

Norma ČSN 750128 Vodní hospodářství – názvosloví využití vodní energie, byla v roce 2009 nahrazena normou ČSN 750120 Vodní hospodářství – terminologie hydrotechniky.

3.4. Turbíny vodních elektráren

Hlavní součástí každé elektrárny je pohon neboli turbína, srdce elektrárny, které se navrhuje podle konkrétních hydrologických a morfologických podmínek místa instalace. Základní dělení je podle přenosu energie, dělí se na přetlakovou nebo rovnotlakou turbínu. Pro přetlakové turbíny se používá i název reakční, jelikož v kanálech oběžného kola dochází při urychlování proudu vody k reakčnímu působení na oběžné lopatky. Pracují na tlakovém využití energie vody. Rovnotlaké turbíny mají na vstupu a výstupu oběžného kola tlak stejný, využívají kinetickou energii vody. (Bednář 1989)

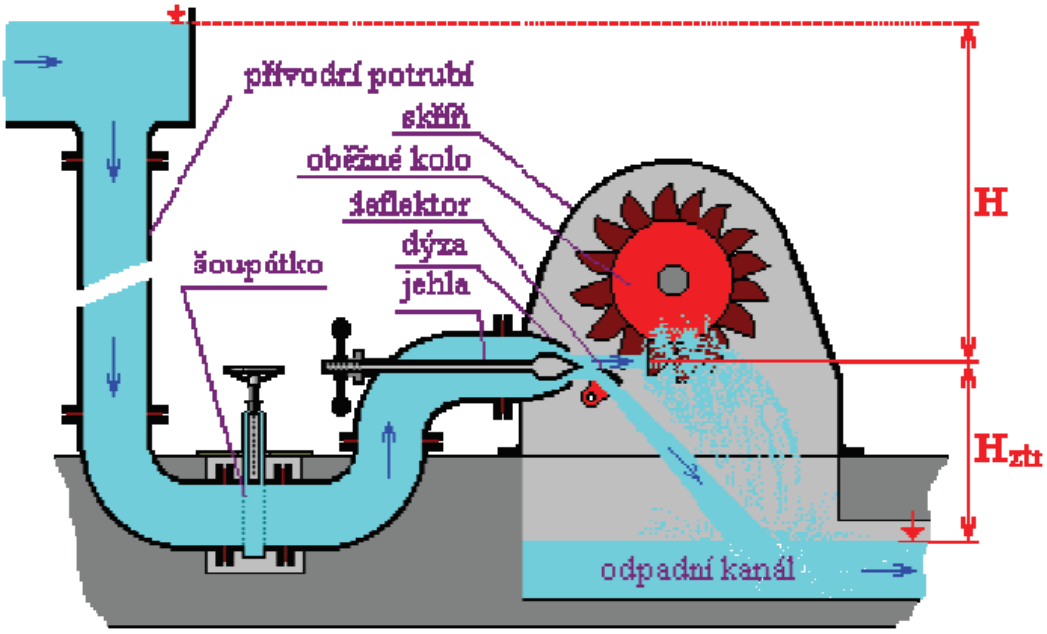


Obrázek 10: Charakteristika turbín v závislosti na spádu a průtoku.

(https://oenergetice.cz/elektrina/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni).

Peltonova turbína

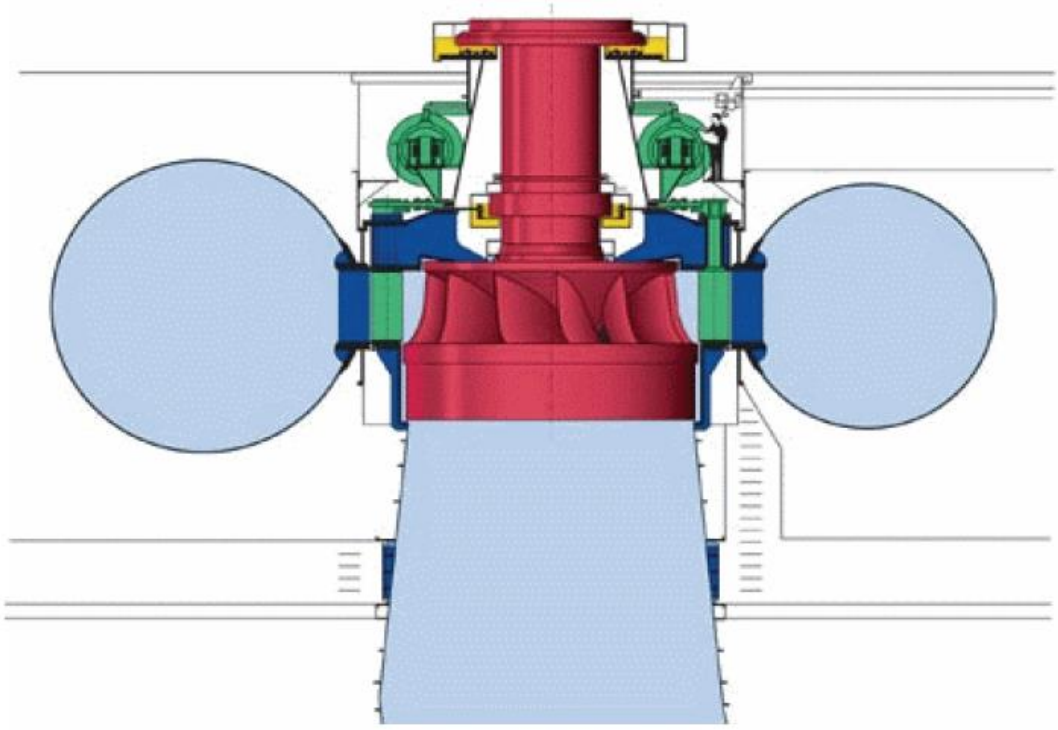
Nejpoužívanější představitel rovnotlakých turbín. Voda je u těchto turbín na oběžné kolo přiváděna tečným paprskovým vstřikem. Podle počtu trysek jde o turbínu jednostřikového uspořádání (menší turbíny), nebo vícestřikového uspořádání (větší turbíny, maximálně bylo použito 6 vstřiků). Peltonova turbína má nejčastěji horizontální hřídel, může pracovat i s vertikální hřídelí. Horizontální uspořádání má oproti vertikálnímu výhodu v tom, že odtékající voda již není vynášena dalšími lopatkami vzhůru, takže nebrzdí pohyb oběžného kola. (Gabriel a kol. 1998)



Obrázek 11: Peltonova turbína
(Mastný a kol. 2011)

Francisova turbína

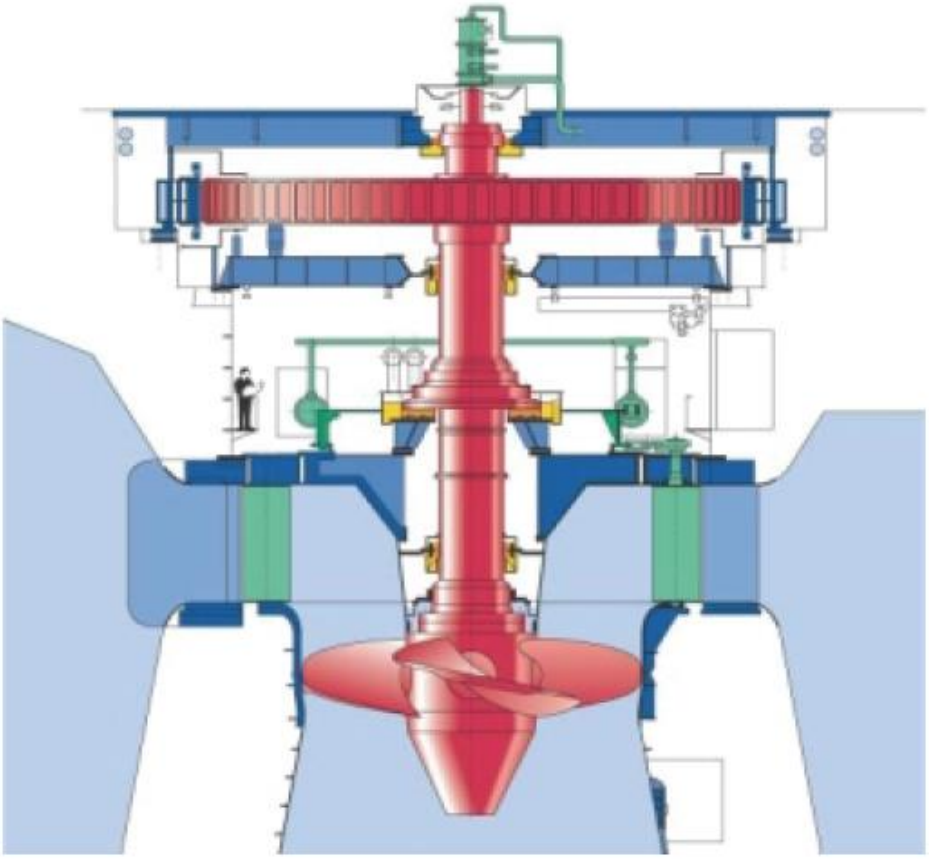
Nejpoužívanější přetlaková turbína určená pro spády od 100m do 500m. Tato turbína může být vertikálního nebo horizontálního uspořádání. Přiváděná voda přes rozváděcí kolo na oběžné má radiální směr, který se na oběžném kole změní v axiální. Lopatky rozváděcího kola jsou otočná kolem svého čepu a tím redukují průtok turbínou. Jejich tvar a konstrukční řešení je závislé na rychloběžnosti turbíny. Rychloběžnost dělí turbíny na normální, volnoběžné a expresní. (Gabriel a kol. 1998)



Obrázek 12: Francisova turbína.
(Mastný a kol. 2011)

Vrtulové a Kaplanovy turbíny

Mají využití pro nízké spády až do100 m. Vrtulové turbíny mají malý rozptyl bodu účinnosti a tak jsou vhodná jen do míst, kde je ustálený spádový a průtokový poměr. Pro větší využití se používají Kaplanovy turbíny, využívající už natáčející se lopatky oběžného kola, které slouží spolu s rozváděcími lopatkami k vzájemné regulaci. Spád má vliv na počet lopatek oběžného kola (čím nižší spád tím méně lopatek, od 3 do 10). Osa rotace u vrtulových a Kaplanových turbín závisí na velikosti soustrojí. Horizontální pro větší a vertikální pro menší. (Gabriel a kol. 1998)

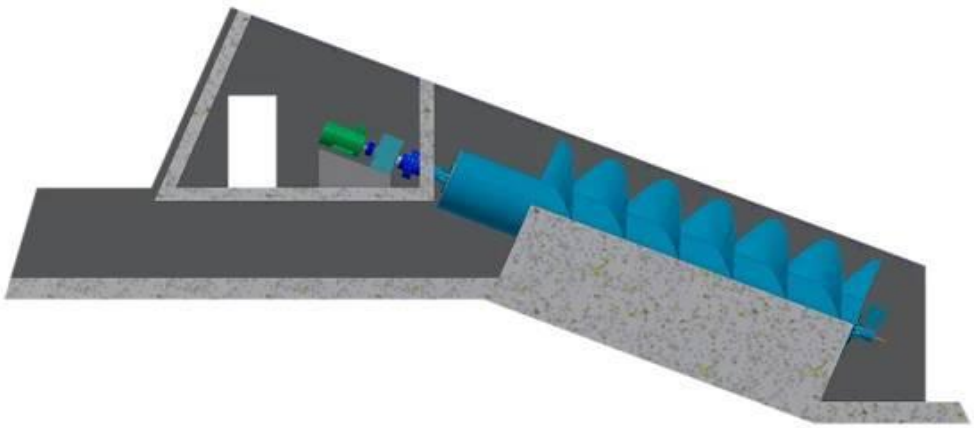


Obrázek 13: Kaplanova turbína
(Mastný a kol. 2011)

Hydrostatická čerpadla (šneková turbína)

Používají se při využívání malých zdrojů vodní energie o nízkém spádu. Jde o šroubové neboli šnekové čerpadlo, které využívá polohovou energii vody. Čerpadlo pracuje jako rovnotlaký vodní motor, který je konstrukčně i technologicky jednoduchý, nenáročný a spolehlivý. Nevadí mu ani značně znečištěná voda s obsahem velkých částic. Jeho nevýhoda je v nízkých otáčkách turbíny. Z technologického hlediska má převodová skříň velké problémy s významným rozdílem otáček mezi turbínou a generátorem.(Melichar a kol. 1998)

Nízké otáčky turbíny mají ale i své výhody. Jejich předností je provoz umožňující relativně bezpečnější migraci rybích populací. Studie vypracovaná Fishtek Consulting ve Velké Británii navrhuje inovaci v podobě instalace gumového nástavce na šnekovici, čímž se bezpečnost průchodu vodních živočichů dále zvyšuje. (Coe & Kibel, 2011)



Obrázek 14: Hydrostatické čerpadlo (https://www.kraft-on.com/wp-content/uploads/2015/08/archimedovo-kolo-rez-1.png).

Vírová turbína

Vírová turbína, patentovaná v roce 2007 Rakušanem Franzem Zotlötererem, se hodí pro spády od 0,7 m do 2 m a průtoku do 20 $m^3.s^{-1}$. Prvně byla využita v roce 2005 v rakouském Obergrafendorfu. S využitím spádu 1,5 m a průtoku 0,9 $m^3.s^{-1}$ má instalovaný výkon 10 kW a pracuje s účinností turbíny 80 %.

Princip vírové elektrárny tkví v gravitačním vodním víru vytvářejícím se v rotační nádrži. Tento vodní vír pohání turbínu i generátor. (Zotlöterer, 2018)

Obrázek 15: Vírová turbína (http://www.zotloeterer.com/willkommen/gravitations-wasser-wirbelkraftanlagen/).

3.5. Využití vodní energie v ČR

Nad vodními toky v České republice drží správu pět státních podniků řízených Ministerstvem zemědělství. Jedná se o Povodí Labe, Povodí Vltavy, Povodí Ohře, Povodí Moravy a Povodí Odry. Ty vedou veškerou legislativu o provozu a využívání vodního toku v daném povodí.

Významným vlivem na využívání vodní energie bylo vyřešení přenosu elektrické energie na větší vzdálenosti, konstrukční zdokonalování vodních turbín a hlavně přijetí zákona o soustavné elektrifikaci v roce 1919. Tento zákon umožnil výstavbu vodních elektráren z veřejných prostředků. Už v roce 1930 bylo v Československu více jak 10 000 vodních energetických děl s instalovaným výkonem kolem 196 MW.

Veškerý rozkvět malých vodních elektráren se mění ve 30. letech, kdy v důsledku změny směřování průmyslu se výroba elektrické energie soustředila jiným směrem a malé vodní elektrárny se začaly pomalu rušit pro svoji neefektivnost. I přes nepříznivé období se budovaly vodní elektrárny s vyššími výkony. Otevřela se VE Vrané s výkonem 13,9 MW, VE Střekov (19,5 MW), VE Vranov (16,4 MW), a v roce 1945 byla dokončena první přečerpávací elektrárna Štěchovice (42 MW). Celkový instalovaný výkon vodních elektráren v roce 1945 stoupl na 270 MW.

Po roce 1945 nastává u nás rozmach ve výstavbě hydroenergetických děl. Na Vltavě se otvírají VE Slapy (144 MW), VE Lipno (120 MW), VE Orlík (364 MW). Dále byla dokončena řada menších průtočných a špičkových vodních elektráren a tak pro období let 1960 – 65 se vodní energie podílí z 10% na celkové výrobě energie v ČR. V druhé polovině šedesátých let však dochází k útlumu rozvoje vodní energie, zvyšuje se vliv tepelné energetiky. V 80. letech po vzoru vyspělých zemí a díky velkému růstu cen energetických surovin dochází i u nás k velkému zájmu po malých vodních elektrárnách. Dochází ke zkoumání nových možností maximálního využití vodního potenciálu. V České republice je vodní energetický potenciál rozložen na jednu čtvrtinu pro větší vodní elektrárny a tři čtvrtiny pro malé vodní elektrárny do 10 MW. (Gabriel a kol. 1998)

Významným zpracovatelem obnovitelných zdrojů a zejména vodní energie v ČR je skupina ČEZ. Do roku 1993 spravovala většinu VE a MVE na území ČR. V tomto roce došlo k převodu části elektráren do Fondu národního majetku a tím k privatizaci.

Česká republika disponovala v roce 2016 celkem devíti velkými vodními elektrárnami s instalovaným výkonem nad 10 MW. Jejich celkový výkon byl 753 MW. Současně bylo v provozu 1614 MVE, jejichž celkový instalovaný výkon činil 348 MW. Mimo klasických elektráren byly v provozu též tři přečerpávací o celkovém instalovaném výkonu 1175 MW. (O energetice 2016)

Elektrárna	Typ	Inst. výkon (MW)	Spuštění	Řeka	Kraj	Provozovate
Dlouhé Stráně	Přečerpávací	650	1996	Divoká Desná	Olomoucký	ČEZ
Dalešice	Přečerpávací	480	1978	Jihlava	Vysočina	ČEZ
Orlík	Akumulační	364	1961-1962	Vltava	Středočeský	ČEZ
Slapy	Akumulační	144	1954-1955	Vltava	Středočeský	ČEZ
Lipno I	Akumulační	120	1959	Vltava	Jihočeský	ČEZ
Štěchovice II	Přečerpávací	45	1947	Vltava	Středočeský	ČEZ
Kamýk	Akumulační	40	1961	Vltava	Středočeský	ČEZ
Štěchovice I	Akumulační	22,5	1943-1944	Vltava	Středočeský	ČEZ
Střekov	Průtočná	19,5	1936	Labe	Ústecký	ČEZ
Vranov nad Dyjí	Akumulační	18,9	1934	Dyje	Jihomoravský	E.ON
Vrané	Akumulační	13,8	1936	Vltava	Středočeský	ČEZ
Nechranice	Akumulační	10	1968	Ohře	Ústecký	Povodí Ohře

Tabulka 5: Přehled nejvýznamnějších vodních elektráren v ČR (https://oenergetice.cz/elektrina/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni).

4. Zpřehlednění stávající legislativy

Se vstupem České republiky do Evropské unie (EU), 1. května 2004, se i Česká republika připojila k dokumentu o využívání OZE. Dokument „Energy for the Future: Renewable Sources of Energy. White Paper for a Community Strategy and Action Plan“. Dokument, známý u nás pod názvem Bílá kniha, vyšel v roce 1997.

V Bílé knize je zmíněn velký nárůst spotřeby energie a nedostatečný a nerovnoměrný potenciál využívání OZE v EU, kdy v době jejího vydání činila hrubá domácí spotřeba OZE necelých 6 %. EU skládající se v té době z 15-ti členů si dala za cíl zvýšení OZE na 12 % do roku 2010.

Dne 27. září 2001 vznikla směrnice Evropského parlamentu a Rady Evropy č. 2001/77/ES o podpoře elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů energie na vnitřním trhu s elektřinou. Směrnice ukládá státům EU samostatnost v legislativě v oblasti OZE a nastavení OZE dle svých přírodních podmínek. Každý stát si zvolí minimálně jednoho regulátora pro dohlížení nad cenovou politikou v energetice a v podpoře OZE. V České republice se regulátorem na základě zákona 458/2000 Sb. (energetický zákon) stal Energetický regulační úřad. V roce 2003 proběhla novelizace energetického zákona, ve Sbírce zákonů vyšla pod číslem 278/2003 Sb. (European Commission 2019)

Evropský parlament a rada vydaly dne 26. června 2003 směrnici č. 2003/54/ES o společných pravidlech pro vnitřní trh s elektřinou.

Na základě výše zmíněných evropských směrnic, vzniká po vstupu ČR do EU zákon č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů. Tento zákon byl několikrát novelizován. V roce 2012 vešel v platnost zákon č.165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. (Vebr 2018)

Další důležité dokumenty v oblasti OZE jsou jednotlivé vyhlášky:

- 82/2011 Sb. o měření elektřiny a o způsobu stanovení náhrady škody při neoprávněném odběru, neoprávněné dodávce, neoprávněném přenosu nebo neoprávněné distribuci elektřiny,

- 441/2012 Sb. o stanovení minimální účinnosti užití energie při výrobě elektřiny a tepelné energie,
- 403/2015 Sb. o zárukách původu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a elektřiny z vysoko účinné kombinované výroby elektřiny a tepla,
- 408/2015 Sb. o pravidlech trhu s elektřinou,
- 16/2016 Sb. o podmínkách připojení k elektrizační soustavě,
- 37/2016 Sb. o elektřině z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla z druhotných zdrojů,
- 145/2016 Sb. o vykazování elektřiny a tepla z podporovaných zdrojů a k provedení některých dalších ustanovení zákona o podporovaných zdrojích energie.

Dalšími články legislativy v ČR pro OZE je:

- Národní akční plán České republiky – předkladatelem plánu je Ministerstvo průmyslu a obchodu – schvaluje vláda.
  Aktuální plán předpokládá dosažení 14 % podílu energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energie a 10,8 % podílu energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě v dopravě k roku 2020.

- Státní energetická koncepce z roku 2004. Ukládá si čtyři hlavní cíle:
  1. maximalizace energetické efektivnosti,
  2. zajištění efektivní výše a struktury spotřeby prvotních energetických zdrojů,
  3. zajištění maximální šetrnosti k životnímu prostředí,
  4. dokončení transformace a liberalizace energetického hospodářství.

(Vebr 2018)

5. Metodika

V úvodní části Bakalářské práce se věnuji popisu jednotlivých obnovitelných zdrojů energie. Popisuji princip, výhody a způsob získávání elektrické energie ze zdrojů, které nabízí příroda jako obnovitelné zdroje. Pro jednotlivé druhy obnovitelných zdrojů udávám i přiklad z praktického využití v České republice.

V následující části se práce zabývá získáváním elektrické energie z vodního potenciálu. Zaměřuji se na MVE Počáply a popisuji a vyhodnocuji její provoz od výstavby v roce 1998 do roku 2018, tedy 20 let provozu. Dále se zabývám platnými legislativními předpisy, týkající se výroby elektrické energie, zejména zákony, vyhláškami a nařízeními. Pro danou problematiku bylo nutné prostudování odborné literatury zaměřené na obnovitelné zdroje a vodní energii.

Hlavním dokumentem pro MVE Počáply byl provozní řád a poskytnutá data od Povodí Labe, státního podniku.

Získaná data a prostudovaná dokumentace byly dále využity pro vyhodnocení provozu a modernizace MVE Počáply a současně k získání dalších zkušeností pro využívání a navrhování nových MVE.

6. Vodní dílo Počáply

Vodní dílo Počáply vzniklo po celkové rekonstrukci stavidlového jezu v roce 1998 na řece Loučné na 0,310 ř.km. Počáply jsou okrajovou částí města Sezemice v Pardubickém kraji. Vlastníkem VD je Česká republika s právem hospodaření pro Povodí Labe, státní podnik, Víta Nejedlého 951, Hradec Králové. Výkonnou správu nad VD vykonává Povodí Labe, státní podnik, závod 2 Pardubice, Cihelna 135.

Rekonstrukcí stavidlového jezu vznikl vakový jez s MVE pro využití hydroenergetického potenciálu k výrobě elektrické energie. Vakový jez disponuje hradící šířkou 21 m a maximální hradící výškou 1,6 m. Provoz jezu je ovládán hladinovou regulací, která udržuje hladinu na úrovni 218,70 m n.m. (Balt). Dolní hladina je úroveň stálého nadržení jezu Pardubice. (Rapouš 1998)

Účelem vodního díla Počáply je:

- vzdouvání vody do náhonu Halda s průtokem 400 – 600 $l.s^{-1}$,
- vzdouvání vody pro MVE,
- spádový a stabilizační stupeň.

Vodní dílo se dělí na jednotlivé části. U levého břehu je nejdříve vakový jez, následuje jalová (štěrková) propust a malá vodní elektrárna. Okolo 30 m nad jezem v levém břehu je vytvořen náhon Halda se stavidlovým uzávěrem. Na levém břehu, 13 m pod jezovým pilířem, je umístěn rybí přechod. Nad vtokem do MVE, jalovou propustí a vakovým jezem je umístěna lávka šířky 1,2 m s oboustranným zábradlím. (Prax 2018)

Obrázek 16: Vodní dílo Počáply

Charakteristické údaje jezové zdrže VD Počaply

normální hladina v jezové zdrži	218,70 m n.m.
hladina ve zdrži je udržována pomocí hladinové regulace v rozmezí kót	218,70 až 218,75 m n.m.
objem jezové zdrže	89 220 m^3
plocha jezové zdrže	44 610 m^2
délka jezové zdrže	2 974 m
střední délka koruny	24,20 m
délka ve dně	21,00 m
šířka jezového tělesa	5,25 m
hrazená výška vaku	1,60 m
kóta koruny vaku	218,80 m n.m.
kóta spodní stavby jezu	217,20 m n.m.
kóta dna před jezem	217,00 m n.m.
kóta dna za jezem	215,50 m n.m.
kóta dna vývaru	215,00 m n.m.
délka vývaru	7,00 m
kóta horní hrany pilířů	220,10 m n.m.

Tabulka 6: Charakteristické údaje jezové zdrže

(Prax 2018)

Hydrologické údaje

Uvedené hydraulické údaje jsou zpracovány pro Loučnou v profilu jezu a byly vypracovány pobočkou ČHMÚ v Hradci Králové dne 26. 5. 1998.

Vodní tok	Loučná
Hydrologické číslo povodí	1-03-02-087
Profil	VD Počáply, profil jezu ř.km 0,310
Plocha povodí	729,53 km^2
Průměrná nadmořská výška povodí	398 m n.m.
Průměrná roční výška srážek	695 mm
Průměrný roční průtok	4,43 $m^3.s^{-1}$

Průtoky dosažené nebo překročené průměrně po dobu M-dní v roce

Dny	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	350	364
$m^3.s^{-1}$	9,33	6,66	5,30	4,41	3,76	3,24	2,82	2,46	2,13	1,83	1,53	1,24	1,07

Tabulka 7: Průtoky M-dní v roce
(Prax 2018)

Velké vody opakující se průměrně jednou za N-let

N	1	2	5	10	20	50	100
$m^3.s^{-1}$	17,5	26,5	41,2	54,3	69,0	90,9	110,0

Tabulka 8: N-let průtoky
(Prax 2018)

6.1 Vakový jez

Stavební objekt jezu tvoří hradící vak se spodní stavbou, manipulační šachty, obslužná lávka a jalová propust se stavidlem. Vakový jez disponuje hradící šířkou 21 m a maximální hradící výškou 1,6 m. Jez pracuje v automatickém provozu, to zahrnuje jeho postupné sklápění nebo vztyčování podle pohybu hladiny ve zdrži. Přes

vakový jez není nutný žádný průtok. Za normálních podmínek je výška vaku na kótě 218,75 m n.m. (Balt), je tedy 5 cm nad hladinou. Dojde-li k překročení průtoků nad hltnost turbín MVE a hladina stoupne na kótu výšky vaku, začne přepadat voda přes korunu vaku. Při dosažení kóty 218,85 m n.m. (Balt) nastává prázdnění zdrže pomocí ponorného čerpadla. Při překročení Q = 85 $m^3.s^{-1}$ se začne vak sklápět do dolní polohy. K tomuto dochází při povodňových stavech např. při Q_{100} = 118 $m^3.s^{-1}$. (Radouš 1998)

Samotný vakový jez má u dna hradící šířku 21 m, jeho pravá část končí svislou stěnou pilíře jalové propusti. Levá strana je ukončena břehovým betonovým pilířem ve sklonu 1:2. Dnová deska, ke které je vak kotven, je umístěna na kótě 217,2 m n.m., je široká 5,25 m. Vrchní kóta levého pilíře je 219,70 m n.m. Na pravé straně mezi jezem a jalovou propustí jsou umístěny manipulační šachty, které se skládají ze čtyř samostatných sekcí:

- Sekce napouštěcí je s horní vodou propojena ocelovým potrubím o průměru 200 mm s vyústěním před provizorní hrazení jalové propusti. Pro napouštění vaku je zde umístěno ponorné čerpadlo, které umožní napuštění vaku (90 m^3) za cca 2,5 hodiny. V této sekci se také nachází ovládání prázdnění vaku za pomoci šoupátka s elektromotorem, které závisí na hladinové výšce v nadjezí.
- Sekce plnění je plněna čerpadlem z napouštěcí sekce. Tato sekce zabezpečuje přívod vody do vaku dvojicí potrubí průměru 200 mm. Na jedno potrubí (kratší) je osazeno šoupátko, které slouží pro rozdělování vody ve vaku v zimním období, kdy je potřebné vytápění vaku říční vodou. V zimním období při mínusových teplotách, a nedochází-li k přepadu vody, je potřeba teplejší říční vodu čerpat do vaku a chladnou odpustit do přetlakové šachty a následně přes stavítko do vypouštěcí šachty. Pro ovládání čerpadla v závislosti na teplotě vody v přetlakové šachtě slouží teplotní snímač.
- Sekce přetlaková se používá k nastavení výšky vaku a pro vypouštění vaku při velkém průtoku. Mezi přetlakovou a prázdnící sekcí je osazen pevný přeliv na kótě 219,10 m n.m. za normálních průtoků je dřevěnými hradítky navýšen na kótu 219,44 m n.m. Zvýší-li se průtok, navýší se i dřevěná hradítka. Zde je též umístěno čerpadlo pro případ zaplavení vaku dolní vodou.

- Sekce prázdnící je spojena s přetlakovou sekcí dvojicí potrubí pro umělé prázdnění vaku. Obě potrubí jsou opatřena šoupátky, při prázdnění odtéká voda do podjezí.

(Prax 2018)

Štěrková (jalová) propust

Jalová propust je umístěna mezi elektrárnu a manipulační šachty jezu. Používá se k proplachu prostoru před vtokem na MVE, převedení vody při opravách nebo revizích jezu. Částečně může sloužit i k převedení povodňové vlny. Pří vyzdviženém stavidle má propust maximální kapacitu 19 $m^3.s^{-1}$.

Konstrukční řešení je ocelobetonová propust o šířce 3 m a výšce 4,15 m s dnem propusti na kótě 215,95 m n.m. jako zpevněné dno podjezí. Hrazení propusti je řešeno ocelovým stavidlem s klapkou o šířce 3 m a celkové výšce 2,85 m. Horní hradící hrana je ve výšce vztyčeného vaku jezu. Před a za stavidlem jsou osazeny hradící drážky pro provizorní hrazení při opravách nebo rekonstrukcích stavidla. (Radouš 1998)

Manipulační lávka

Manipulační lávka je konstrukčně řešena jako plnostěnný spojitý nosník o dvou polích 26,5 m a 10,25 m. Celková délka lávky včetně krajních přesahů je 37,25 m a šířka lávky je 1,42 m.

Příčný profil lávky je řešen svařovanými plnými nosníky z ocelového plechu, pásnicí a trubkou, která slouží zároveň jako madlo. Tyto dva nosníky spojují profilové příčníky „I“ s výztuhami pro osazení pochůzných roštů. Jednotlivé díly nosníků o maximální délce 5,6 m jsou k sobě sešroubovány a tvoří tak lávku o dvou polích osazenou na železobetonových zdech na válečkových ložiskách. (Radouš 1998)

6.2 Malá vodní elektrárna

K vakovému jezu na pravém břehu řeky přiléhá MVE. Jedná se jednopodlažní zděný objekt, v jehož spodní části jsou osazeny technologické části MVE.

Hlavní části MVE tvoří:

- vtok tvořený hrubými česlemi, vtokovým kanálem, jemnými česlemi čištěnými řetězovým čistícím strojem, drážkou pro hrazení,
- strojovna, v níž jsou instalovány dvě kolenové Kaplanovy turbíny s řemenovým převodem a generátory, regulační zařízení, jímka prosáklé vody s předřazeným odlučovačem oleje, skříně s rozvody silové elektřiny a řídicí systém,
- výtok tvořený pro každou turbínu drážkou s hradidlovou tabulí.

(Radouš 1998)

6.3 Rybí přechod

Rybí přechod je umístěn na levý břeh pod jez s vtokem 12 m od konce jezové desky. Přechod je konstruován jako komůrkový z kamenné rovnaniny. Tvoří ho 7 kusů 30 cm vysokých výškových stupňů vzdálených od sebe 3 m se sklonem 10 %. Rybí přechod tvoří podkladní vrstva z betonu, do které jsou vkládány kameny zpevňující břeh a vytvářející přepad mezi komorami. Navazující břeh je oset travinami a křídla propustku jsou odlážděna. Za běžného provozu je zachováván průtok rybím přechodem na 50 $l.s^{-1}$. (Radouš 1998)

6.4 Náhon Halda

V 15. století byl vybudován náhon, otevřený přivaděč vody odbočující na levém břehu cca 30 m nad jezem do městské části Pardubic, kde je po 4,7 km zaústěn do řeky Chrudimky na jejím 0,670 ř.km. Železobetonový vtokový objekt náhonu je asi 20 m za odbočením a tvoří ho dřevěné stavidlo s ručním pohonem. Množství vody odpouštěné do náhonu se řídí podle vodočetné latě, která je umístěna vpravo na vtokovém objektu. Náhon slouží k odběrům vody pro organizace sídlící v městské části Pardubic.

Při výstavbě protipovodňové ochrany města Pardubic byl vybudován protipovodňový uzávěr u ústí Haldy do řeky Chrudimky. Uzávěr slouží k uzavření Haldy při povodňových průtocích. (Prax 2018)

7. MVE Počáply

Obrázek 17: MVE Počáply

Malá vodní elektrárna je vybudována na pravém břehu u jezu a je součástí VD. Objekt elektrárny je tvořen železobetonovou konstrukcí rozměrů 44,3 m x 6,8 m.

Vtok do MVE je šikmý s převýšeným prahem a nornou stěnou. Dno na kótě 215,95 m n.m. (Balt) před vtokem na MVE je tvořeno železobetonovou deskou o síle 50 cm. Pro zabránění vniknutí hrubých nečistot do turbíny je cca 1 m nad vtokové dno umístěn vtokový práh. Prostor před prahem se otevřením jalové propusti dá propláchnout.

Nad vtokovým prahem jsou z důvodu zachycení plovoucích nečistot osazeny hrubé česle. Tvoří je skupina trubek v osové vzdálenosti 30 cm, které jsou pod vodou osazeny na trny zakotvené do vtokového prahu. V horní části je zadržují objímky zakotvené do norné stěny. Pro přístup a manipulaci s česlemi slouží obslužná lávka o šířce 80 cm.

Před samotným vtokem na turbíny mají své místo jemné česle. Ty slouží k zachycení drobných naplavenin. K odstranění těchto naplavenin z česlí slouží čistící stroj. Vzniklé shrabky z česlí jsou shromažďovány do splachovacího žlabu na manipulační lávce česlí a odtud pomocí čerpadla splavovány do kontejneru na manipulační ploše.

Samotná dolní stavba MVE slouží pro umístění turbín a je zhotovena z vodostavební betonové konstrukce. Podlaha spodní stavby na kótě 216 m n.m. (Balt) slouží pro umístění turbín, generátorů, hydraulických agregátů a jímky prosáklé vody s čerpadlem, které má výtlak umístěn v prostoru jalové propusti. Horní stavba MVE je zděné konstrukce se sedlovou střechou ve výšce hřebenu 4 m nad podlahou. Výškově odpovídá kótě 220.20 m n.m. (Balt). Sedlovou střechu se sklonem 25^0 tvoří dřevěná konstrukce se zateplením a se třešní krytinou kanadský šindel. Část střechy nad turbínami je demontovatelná pro případ oprav a je tvořená jednotlivými díly z ocelových nosníků, zateplenými, a také opatřeny střešní krytinou kanadský šindel. V horní stavbě se nachází rozvaděče, ovládání vakového jezu a jalové propusti.

Před vtokem do turbín a na konci jednotlivých výtokových sekcí jsou umístěny ocelové hradící drážky včetně dosedacích prahů. Toto zařízení slouží pro montáž provizorního hrazení v případě nutných oprav na zařízeních ležících pod hladinou vody. (Prax 2018)

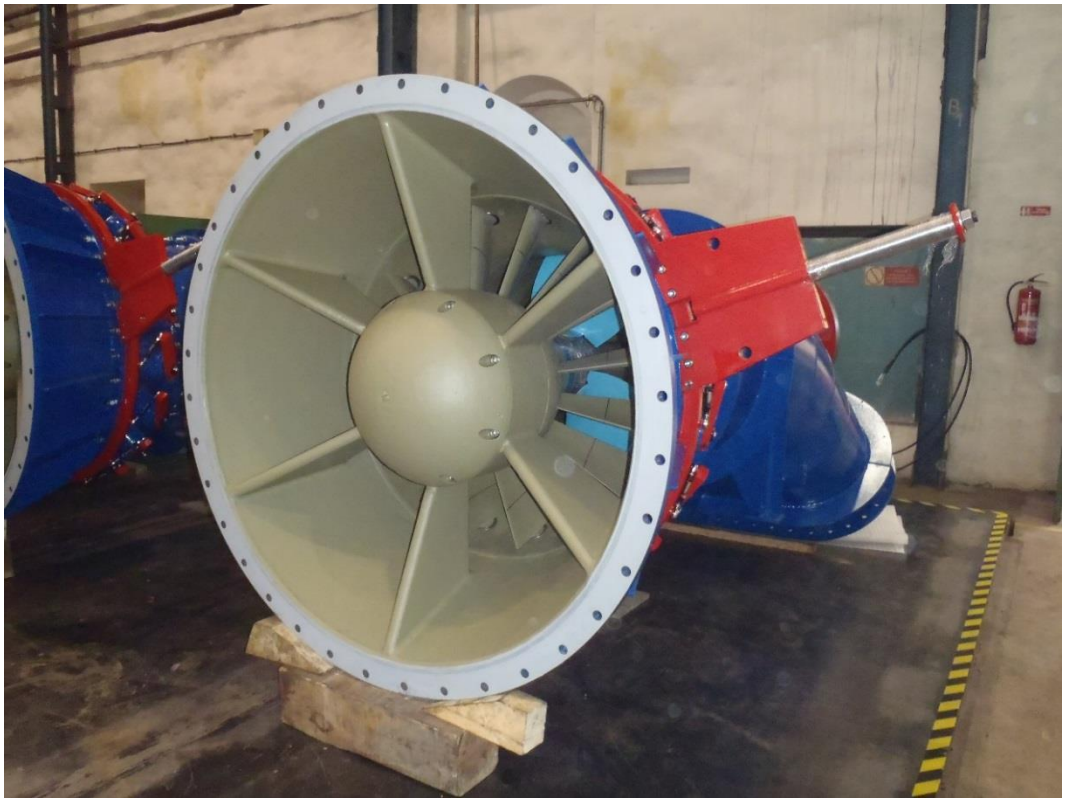
7.1 Turbíny

O výrobu elektrického proudu se starají dvě Kaplanovy turbíny poháněj ící asynchronní generátory, při celkové hltnosti 4,4 $m^3.s^{-1}$ a spádu 1,7 m bylo dosaženo výkonu 2 x 33 kW. Elektrárna je plně automatizovaná pro bezobslužný provoz. Turbíny jsou levotočivé při pohledu ve směru toku vody.

Technická data turbín:

Navrhovaný spád …… H_N = 1,7 m
Navrhovaný průtok ……. Q_T = 2,2 $m^3.s^{-1}$
Rozsah spádů H_{min} – H_{max} ……... 1,5 – 1,75 m
Rozsah průtoků turbínou ……. 0,6 – 2,3 $m^3.s^{-1}$
Jmenovité otáčky turbíny …… n_T = 276 ot/min
Max. průběžné otáčky ……. n_P = 750 ot/min
Max. výkon turbíny (H = 1,75, Q = 2,3 m^3/s) ……. P_T = 33 kW
(Prax 2018)

Obrázek 18: Kaplanovy turbíny MVE Počáply



Obrázek 18: Pohled do Kaplanovy turbíny MVE Počáply

Každá turbína sestává z následujících částí:

- Oběžné kolo se třemi lopatkami a ovládacím mechanizmem. Materiál lopatek je nerezová tvárná litina, náboj je odlitek z ocelolitiny.
- Hřídel turbíny o průměru 80 mm, délky 1300 mm, vrtaný v celé délce pro průchod přestavné tyče ovládacího mechanizmu oběžného kola.
- Nosné těleso s vnitřní obtékanou hruškou a připojovací přírubou, svařené z ocelových plechů a odlitků. Průměr vstupního profilu je 1562 mm, výstupní profil má průměr 1200 mm, délka tělesa je 515 mm.
- Rozvaděč turbíny se vstupním průměrem 1200 mm a výstupním průměrem 850 mm. Délka rozvaděče činí 435 mm. Rozvaděč tvoří 16 letmo uložených lopatek, upevněných v ložiskových návarcích se samomaznými pouzdry a těsněných gumovými kroužky.
- Komora oběžného kola dělená horizontálně, jmenovitým průměrem 850 mm, stavební délkou 350 mm.
- Radiální valivé ložisko umístěné v tělese kotveném na konzole sací roury.
- Provazcová dotahovatelná ucpávka se sběrnou nádrží prosáklé vody, namontovaná na přírubu průchodky hřídele kolem sací roury.
- Regulační objímka s vestavěným hydraulickým servomotorem pro ovládání lopatek oběžného kola, včetně přestavné tyče a podpěrné konzoly s kotevními šrouby. Objímka je našroubována na výstupní čep turbínové hřídele.
- Hydraulický servoválec k ovládání rozvaděče turbíny. Servoválec je s vnitřním průměrem 80 mm o zdvihu 330 mm a pracovním tlakem 2 – 2,5 MPa.
- Snímač polohy rozváděcího kola.
- Snímač polohy oběžného kola.
- Sací roura turbíny se vstupním průměrem sacího kužele 865 mm a s výstupním obdélníkovým profilem kolena o rozměrech 640 x 1700 mm.

(Prax 2018)

Provozní a garantované parametry turbín

Spád maximální…….. H_{max} = 1,75 m

Spád jmenovitý …….. H_n = 1,7 m

Spád minimální …….. H_{min}= 1,5 m

Rozsahy průtoků:

Při H_{max} = 1,75 …… Q_{max} = 2,3 $m^3.s^{-1}$; Q_{min} = 0,6 $m^3.s^{-1}$

Při H_n = 1,70 …… Q_{max} = 2,3 $m^3.s^{-1}$; Q_{min} = 0,6 $m^3.s^{-1}$

Při H_{min} = 1,50 …… Q_{max} = 2,3 $m^3.s^{-1}$; Q_{min} = 0,6 $m^3.s^{-1}$

Jmenovité otáčky turbíny …….. n_T = 276 ot/min

Max. průběžné otáčky (s rozvázanou vazbou) ……..… n_P = 750 ot/min

Sací výška ……..…… H_s = 4 m

Max. dosažitelný výkon turbíny …… P_{max} = 33 kW

Min. trvale možný výkon turbíny ……..…….. P_{min} = 7,6 kW

(Prax 2018)

Garantovaný výkon

Spád (m)	Průtok ($m^3.s^{-1}$)	Výkon (kW)
1,75	2,3	33,0
	2,0	29,3
	1,5	22,0
	0,8	11,0
1,70	2,3	31,9
	2,0	28,4
	1,5	21,4
	0,8	10,7
1,50	2,3	27,9
	2,0	24,9
	1,5	18,9
	0,8	9,5

Tabulka 9: Garantovaný výkon Turbíny

(Radouš 1998)

7.2 Elektrické regulátory

Digitální elektronické regulátory otevření turbín jsou vybaveny programovatelnou elektronickou kulisou vazby otevření rozvaděče a oběžného kola. Regulátor otevření pracuje s 16-ti bitovým procesorem, vybaveným obvodem reálného času a zálohováním potřebných parametrů při výpadku napětí. (Prax 2018)

7.3 Čerpací hydraulický agregát

Čerpací agregát je složen z olejové nádrže, zubového čerpadla vč. elektromotoru, hydraulických rozvaděčů, hydraulické armatury, kontrolních přístrojů a hladinových snímačů. (Prax 2018)

Obrázek 19: Hydraulické agregáty MVE Počáply

Technické parametry:

Objem nádrže ……. 40 l

Max. tlak oleje ……..... 4Mpa

Čerpadlo oleje …… zubové

Elektromotor ……..……. 400 V, 50 Hz, 0,75 kW

(Prax 2018)

7.4 Generátory

Pro funkci generátorů slouží dva trojfázové asynchronní motory nakrátko a točí se proti směru hodinových ručiček v pohledu od řemenice. Spojení s hřídelem vodní turbíny je řešeno pomocí klínových řemenů. (Prax 2018)

Obrázek 20: Generátor a převod MVE Počáply

Technické parametry:

Výkon ……. 30 kW

Napětí ……. 380 V

Jmenovité otáčky ……..…….. 750/min

Účinnost …….……. 94 %

Hmotnost ……..... 460 kg

Chlazení ……vzduchové povrchové

(Prax 2018)

7.5 Čistící stroj a proplach shrabků

Čistící stroj je společný pro obě turbíny a tak jeho škrabka slouží k čištění celého profilu vtoku na jeden zdvih. Pohon je řešen elektromechanicky s brodícími řetězy. Pro proplach shrabků slouží plechový nerezový žlab o dopravní délce 7,5 m. Tímto žlabem jsou shrabky odplavovány pomocí kalového čerpadla do sběrného kontejneru. (Prax 2018)

Obrázek 21: Čistící stroj MVE Počáply

7.6 Řídicí systém turbín

Řídicí systém turbíny zajišťuje automatický provoz zařízení. Chod soustrojí je řešen automatikou, která je řízena hladinovou regulací. Při modernizaci v roce 2017 byla hlavní část řídicího systému umístěna do dvou polí rozvaděče RG1 společně s výkonovou částí a s obvody kompenzace jalové propusti. Na dveře rozvaděče byly instalovány ovládací prvky pro manuální řízení technologie a ampérmetry sloužící k indikaci aktuálního zatížení generátoru. Základním prvkem automatizovaného systému řízení je programovatelný automat. (Prax 2018)

Obrázek 22: Monitor řídicího systému na rozvaděči RG1

8. Provoz MVE

Provoz MVE je řízen manipulačním řádem, ve kterém jsou popsány požadavky vodoprávního úřadu pro hospodaření s vodou při manipulaci trvalého provozu díla. Současně s manipulačním řádem je běžný provoz řízen požadavky vodohospodářského dispečinku Povodí Labe, státního podniku Hradec Králové a vedením provozního střediska Pardubice. Při mimořádných událostech ohrožujících funkci nebo bezpečnost vodního díla, rozhodne o způsobu manipulace obsluha podle svých zkušeností a znalostí tak, aby snížila škody a nebezpečí na co nejnižší míru.

Hlavní zásady manipulací na VD:

- Normální hladina ve zdrži je stanovena na kótu 218,70 m n.m.
- Stavidlo na vtoku do náhonu Halda je pootevřeno tak, aby byl zajišťován průtok 400 – 600 $l.s^{-1}$.
- Do obtokového revitalizovaného ramene řeky je trvale převáděn průtok 50 - 60 $l.s^{-1}$ vtokovým objektem v pravém břehu cca 530 m nad jezem.
- Minimální průtok pro provoz jedné turbíny je 0,8 $m^3.s^{-1}$. Maximální hltnost jedné turbíny je 2,2 $m^3.s^{-1}$. Pokud se průtok jezem pohybuje v rozmezí těchto hodnot, je hladina udržována mezi 218,70 – 218,75 m n.m. pomocí hladinové regulace.
- Jestliže klesá přirozeně průtok řekou, udržuje se průtok náhonu Halda na 400 – 600 $l.s^{-1}$. Postupně se hladinovou regulací automaticky snižuje průtok vodní elektrárnou až do odstavení obou turbín (k 1,35 $m^3.s^{-1}$).
- Za velmi nízkých průtoků je přednostně zajišťován průtok náhonem Halda.
- Za zvýšených průtoků nad hltností obou turbín (4,4 $m^3.s^{-1}$) se voda převádí vakovým jezem. Vakový jez dále zajišťuje výšku hladiny ve zdrži na požadované hodnotě.

(Prax 2018)

8.1 Opravy a investice na MVE

Od uvedení MVE do provozu uplynulo skoro jednadvacet let. Během provozu se vyskytly drobné poruchy, které bylo nutno odstranit. Provoz ukázal i chyby při projektování, zejména v komplikovaném provizorním hrazení, jak z dolní tak z horní

vody. V roce 2014 byla realizována rekonstrukce provizorního hrazení. Dodáním nového provizorního hrazení se zkrátila doba určená pro hrazení, ale hlavně se zvýšila bezpečnost práce při ukládání hrazení.

V roce 2017 se uskutečnila modernizace elektrotechnické části MVE, rekonstrukce obou Kaplanových turbín a modernizace řídicího systému. Touto modernizací byly splněny podmínky platného cenového rozhodnutí ERÚ pro přiznání vyšší výkupní ceny elektřiny a prodloužila se doba pro vyplácení podpory (zelených bonusů).

9. Produkce elektrické energie

9.1 Výpočet výkonu hydroelektrárny

Hlavními určujícími veličinami výpočtu výkonu jsou spád a průtok. Jsou-li tyto veličiny známé, můžeme pomocí vzorce vypočítat teoretický hrubý výkon hydroelektrárny.

$P = Q \cdot H \cdot \rho \cdot g$

kde: Q – průtok turbínou ($m^3.s^{-1}$),
H – hrubý spád (m),
ρ – hustota vody (1000 $kg.m^{-3}$),
g – gravitační zrychlení (9,81 $m.s^{-2}$).

Na MVE Počáply počítáme se spádem 1,7 m a průtokem na turbínu 2,2 $m^3.s^{-1}$. Pro dvě turbíny tedy uvádíme průtok 4,4 $m^3.s^{-1}$. Dosadíme-li tyto hodnoty do vzorce, získáme teoretický hrubý výkon počápelské vodní elektrárny.

$P = Q \cdot H \cdot \rho \cdot g$
$P = 4,4 \cdot 1,7 \cdot 1000 \cdot 9,81$
$P = 73378,8\ W$

K přesnějším výpočtům skutečného výkonu je potřeba zahrnout do výpočtu i účinnost jednotlivých technologických částí elektrárny. (Bednář, 1989)

Dle získané dokumentace se uvádí účinnost jednotlivých technologických částí: generátor ($\eta_g = 0,94$), turbína ($\eta_t = 0,84$), převody ($\eta_p = 0,95$).

$\eta_c = \eta_g \cdot \eta_t \cdot \eta_p$
$\eta_c = 0,94 \cdot 0,84 \cdot 0,95$
$\eta_c = 0,75\ \%$

$P_s = Q \cdot H \cdot \rho \cdot g \cdot \eta_c$
$P_s = 4,4 \cdot 1,7 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,75$
$P_s = 55034\ W = 55\ kW$

Garantovaný výkon turbíny výrobcem pro daný spád a průtok je 61 kW. Započítáme-li i účinnost ostatních technologických prvků vychází výkon elektrárny při daném spádu a průtoku na 55 kW.

9.2. Průměrná roční výroba

Pro výpočet průměrné roční výroby použijeme zjištěná data z výpočtů a data z manipulačního řádu. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 10.

M_d	Q_M	Q_p	Q_v	Q_s	Spád	η_t	η_p	η_g	η_c	P	E_t	E_s
30	9,33	0,65	8,68	4,4	1,7	0,84	0,95	0,94	0,75	55,04	39630,89	35667,8
60	6,66	0,65	6,01	4,4	1,7	0,84	0,95	0,94	0,75	55,04	39630,89	35667,8
90	5,3	0,65	4,65	4,4	1,7	0,84	0,95	0,94	0,75	55,04	39630,89	35667,8
120	4,41	0,65	3,76	3,76	1,7	0,86	0,95	0,94	0,77	48,16	34672,74	31205,47
150	3,76	0,65	3,11	3,11	1,7	0,86	0,95	0,94	0,77	39,83	28678,78	25810,91
180	3,24	0,65	2,59	2,59	1,7	0,86	0,95	0,94	0,77	33,17	23883,62	21495,26
210	2,82	0,65	2,17	2,17	1,7	0,84	0,95	0,94	0,75	27,15	19545,24	17590,71
240	2,46	0,65	1,81	1,81	1,7	0,86	0,95	0,94	0,77	23,18	16690,87	15021,78
270	2,13	0,65	1,48	1,48	1,7	0,86	0,95	0,94	0,77	18,96	13647,78	12283
300	1,83	0,65	1,18	1,18	1,7	0,84	0,95	0,94	0,75	14,76	10628,28	9565,456
330	1,53	0,65	0,88	0,88	1,7	0,83	0,95	0,94	0,74	10,88	7831,819	7048,637
355	1,24	0,65	0,59	0,59	1,7	0	0	0	0	0	0	0
364	1,07	0,65	0,42	0,42	1,7	0	0	0	0	0	0	0

Celková průměrná roční výroba za 1 rok v kWh	274471,8	247024,6

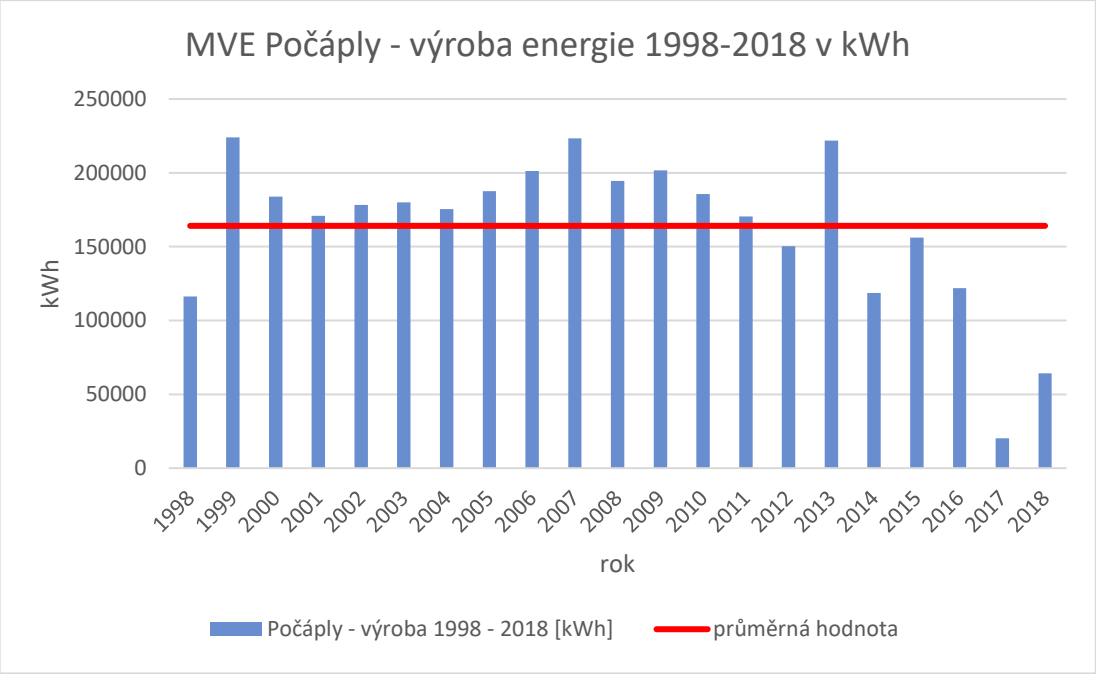
Tabulka 10: Výpočet celkové průměrné roční výroby za 1 rok

M_d - počet M-dní v roce (dny)
Q_m - skutečný průtok v profilu řeky ($m^3.s^{-1}$)
Q_p - povolený odběr ($m^3.s^{-1}$)
Q_v - využitelný průtok elektrárny ($m^3.s^{-1}$)
Q_s - průtok na turbínách ($m^3.s^{-1}$)
η_t - účinnost turbíny (%)
η_p - účinnost převodů (%)
η_g - účinnost generátoru (%)
η_c - účinnost celková (%)
P - výkon elektrárny (kW)
E_t - teoretická výroba elektrické energie (kWh)
E_s - skutečná výroba elektrické energie (kWh)

Celkové množství vyrobené elektrické energie na MVE Počáply za 1 rok je 247 024,6 kWh. Nulové hodnoty uvedené v tabulce uvádějí stav, kdy vlivem nízkých průtoků nebylo možno vyrábět elektrickou energii.

9.3 Skutečná výroba energie

V předchozí části jsem se zabýval teorií výroby elektrické energie na MVE. V následující části jsou uvedeny skutečné hodnoty výroby elektrické energie za období 1998 až 2018. Uvádím zde tedy výrobu elektrické energie za 20 let provozu MVE Počáply. Hodnoty zde udávané jsou získány od provozovatele MVE, Povodí Labe, státního podniku.



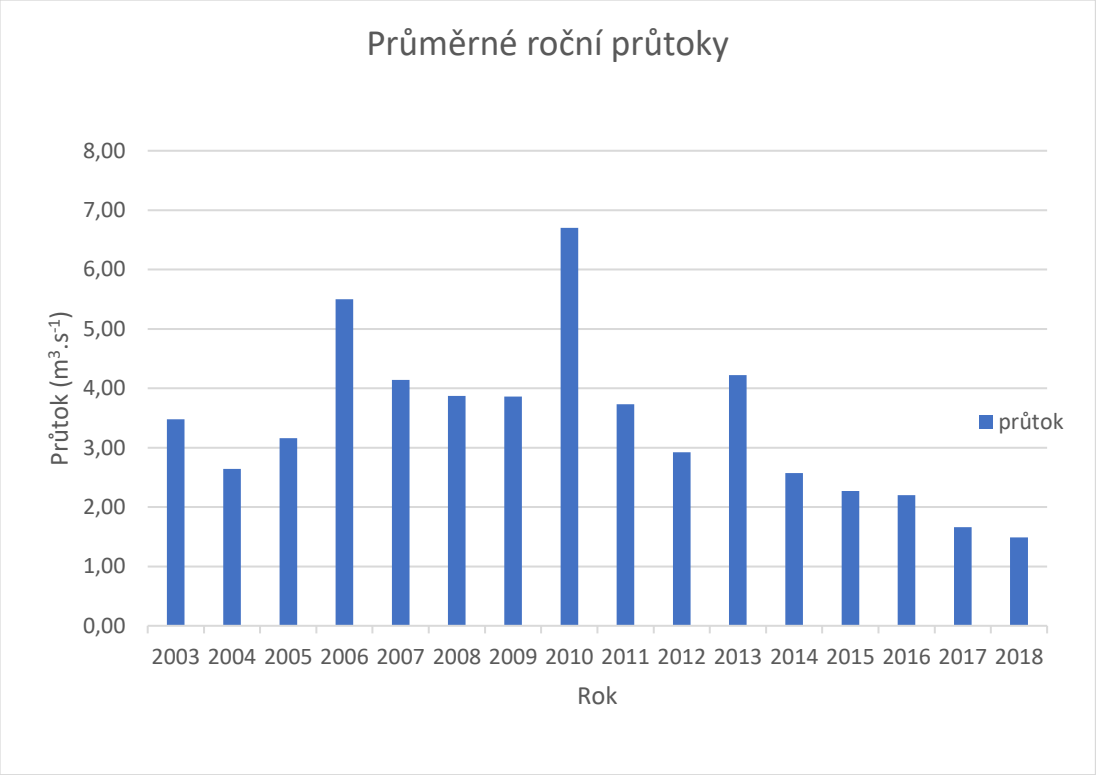
Obrázek 23: Výroba energie v letech 1998 – 2018 na MVE Počáply

Obrázek 23 znázorňuje roční výrobu elektrické energie v letech 1998 až 2018. Výkyvy výroby v jednotlivých rocích jsou zapříčiněny různými opravami a rekonstrukcemi na MVE. Nejvýznamnější rekonstrukce proběhla v roce 2017, což se také nejvíce projevilo na výrobě v tomto roce. Touto modernizací se jednak zvýšila výkupní cena energie, ale také se prodloužila doba životnosti MVE.

Velký vliv na výrobu má vodní stav, tedy průtok na MVE. V letech 1999, 2007 a 2013 přesáhla výroba elektrické energie hranici 200 000 kWh. Důvodem těchto

vysokých hodnot výroby byl příznivý hydrologický vodní průtok, který zajistil pozitivní vliv na výrobu elektrické energie.

Naproti tomu v posledních 3 letech je viditelný trend klesající výroby. Ten je zapříčiněn zejména nízkými průtoky, tedy nepříznivým hydrologickým stavem. Před dvaceti lety se průměrný dlouhodobý roční průtok pohyboval přes 3,5 $m^3.s^{-1}$, v posledních letech nedosahuje ani 2 $m^3.s^{-1}$, viz obrázek 24.



Obrázek 24: Průměrný roční průtok v letech 1998 – 2018 na MVE Počáply

Výsledek výpočtu hrubé roční produkce MVE je 247 MWh. Skutečná průměrná roční výroba ve sledovaném období 1998 - 2018 uvádí 164 MWh. Tento rozdíl dokazuje, že výroba je ovlivňována na rozdíl od výpočtu i jinými faktory. Hlavní vliv na výrobu má roční průtok čili hydrologický stav povodí. Další velký vliv na výrobu mají opravy a rekonstrukce na MVE. Nesmíme zapomínat ani na běžnou údržbu, která je potřebná pro udržení bezpečného provozu MVE. Výpočet ovlivňují i jiné faktory, např. dolní hladina vody ve zdrži. Ta je v podstatě určena úrovní hladiny stálého nadržení jezu na Labi v Pardubicích, kde se horní hladina pohybuje v rozmezí 20 cm, čímž se mění využitelný spád pro MVE Počáply. Výpočet dále nezohledňuje

proměnlivost účinnosti turbíny, která je ovlivněna snížením průtoku. Další možností ovlivnění je skutečnost, že při hrubém výpočtu se použila hydrologická data z roku 1996, kdy byly dosahovány lepší vodní stavy. V roce 1996 byl průměrný dlouhodobý roční průměr vypracovaný pobočkou ČHMÚ v Hradci Králové 3,8 $m^3.s^{-1}$. Pro rok 2014 byl stanoven na 3,6 $m^3.s^{-1}$. Je tedy vidět klesající stav, který bude pravděpodobně postupovat i dále, protože poslední roky jsme zaznamenali velká suchá období, což je vidět na průměrných ročních průtocích, viz obrázek 24.

10. Ekonomické zhodnocení

V první řadě při vytváření investičního záměru je zapotřebí vytvoření strategie realizace podnikatelské příležitosti. Každý investor směřuje k vytvoření kladného hospodářského výsledku a tím k co největším ziskům. Počáteční investice do MVE je velká. Oproti tomu další neinvestiční náklady představují malou část výdajů. Všechny tyto výdaje v případě MVE pokrývá prodej elektrické energie.

10.1 Investiční náklady

Investiční náklady na stavbu vodní elektrárny představují velký vklad ekonomických prostředků. V případě MVE Počáply se do investičního záměru počítá i výstavba vakového jezu. Vzniká tedy investorský záměr na celé vodní dílo, jehož hlavní součástí je vakový jez a MVE. Jedná se tedy o investici 29 750 tis. Kč. Velkou komplikací při výstavbě vodního díla představovala samotná voda. Velká voda komplikovala celou výstavbu, bylo za potřebí se chránit jak před velkou vodou, tak před nepředvídatelnými průsaky spodní vody.

V roce 2017 proběhla celková modernizace MVE Počáply s nákladem 5 149 tis. Kč.

10.2 Provozní náklady

Jelikož se jednalo o nové zařízení, byly z počátku náklady na provoz MVE Počáply nízké. Jednalo se především o pravidelnou údržbu spojenou s výměnou olejů, drobných oprav na technologických částech a povinných revizí na vybraná zařízení. Takovéto běžné náklady na provoz se pohybují kolem 75 000 Kč za rok.

Dalším provozním nákladem je mzda. Protože je elektrárna zcela automatizovaná, nevyžaduje stálou obsluhu. Rozsah práce na MVE vyplývá z pokynů Provozního řádu pro malou vodní elektrárnu Počáply. Rozsah práce lze tedy podle tohoto dokumentu orientačně rozdělit na:

- provoz,
- kontrolu,
- údržbu,
- práce podle pokynů vedoucího střediska.

Toto rozdělení se týká provozu, kontroly a údržby všech částí energetického díla. U rozsáhlejších oprav a údržby stavebních, strojních nebo elektrotechnických částí vodního díla nebo speciálních prací, se využívá dílenské, strojní a stavební údržby z provozního střediska Pardubice případně u cizích dodavatelů.

Výsledkem ročních nákladů na mzdu provozu je tedy odhad 20 000 Kč.

Jednou z větších investic byla v roce 2014 oprava těsnění hřídele pravé turbíny za 451500,- Kč a rekonstrukce provizorního hrazení za 986 018,- Kč.

Druhou velkou investicí byla v roce 2017 celková modernizace MVE za 5 111 900,- Kč.

10.3 Výkupní cena

Výkupní ceny elektrické energie a zelených bonusů z obnovitelných zdrojů jsou od roku 2002 každoročně stanoveny Energetickým regulačním úřadem. MVE Počáply byla uvedena do provozu v roce 1998, v této době byly nastaveny pevné výkupní ceny za vyrobenou elektrickou energii. Po dokončení celkové modernizace v roce 2017 se stanovila nová výkupní cena dle cenového rozhodnutí ERÚ z 25. 9. 2018 formou zelených bonusů a silovou elektřinu prodává Povodí Labe prostřednictvím výběrového řízení vybranému obchodníkovi.

Tisková zpráva ERÚ z roku 2012 uvádí přípravu zastavení podpory OZE. ČR se zavázala k rozvoji využívání obnovitelných zdrojů tím, že do roku 2020 bude podíl takto získané energie na 13 %. Některá OZE dosáhla požadovaných hodnot již před rokem 2012 a tím přispěla k důvodu zastavení podpory. Dalším důvodem je zvyšující se investice do OZE, které mají za následek potřebu rozvíjet distribuční a přenosovou soustavu, která se hradí z našich daní. Tisková zpráva ERÚ z prosince 2016 reaguje na notifikační oznámení Evropské komise, která požaduje slučitelnost schématu výroben elektřiny z OZE s vnitřním trhem Evropské unie. To znamená změnu výkupní ceny a zelených bonusů pro MVE uvedených do provozu po roce 2006. (Soldát 2017)

10.4 Návratnost investice

Pro každého investora je hlavním hlediskem ekonomického hodnocení doby návratnosti vložených investic. Pro stanovení této doby byly použity výše uvedené náklady, tržby z prodeje elektrické energie a výpočty roční výroby.

Předpokládaná návratnost investice z roku 2017, kdy byla provedena celková modernizace MVE Počáply, která měla za úkol:

- zvýšení spolehlivosti a bezpečnosti provozu zařízení, omezení výpadků provozu, prodloužení životnosti zařízení;
- zlepšení funkce automatizace provozu a zavedení nového systému řízení a monitorování, rozšíření automatiky na ovládání čistícího stroje, doplnění omezení max. výkonu;
- minimalizace lidského faktoru v systému řízení díla;
- ekologizace technologického zařízení – zlepšení prostředí, zamezení rizika úniku ropných látek;
- optimalizace provozu, zlepšení ekonomických parametrů díla – dosažení vyšší výkupní ceny elektrické energie po modernizaci.

Návratnost investice je kalkulována na 12 let provozu MVE. V období 2017 a 2018 je započítáno vyrobené množství energie a dále bude počítáno s výpočtem průměrné roční výroby (uvedeno v tabulce 10). Rozpis započítaných a předpokládaných tržeb vyjadřuje následující tabulka 11. Roční tržby jsou každoročně navyšovány o 2 %, což je garantováno ERÚ.

	Rok	výroba energie (MWh)	výkupní cena (Kč/MWh)	roční tržby (Kč/rok)
skutečná výroba	2017	20,3	2250	45714
	2018	64,2	2370	152104
vypočítaná předpokládaná výroba	2019	247	2417	596999
	2020	247	2465	608855
	2021	247	2514	620958
	2022	247	2564	633308
	2023	247	2615	645905
	2024	247	2667	658749
	2025	247	2720	671840
	2026	247	2774	685178
	2027	247	2830	699010
	2028	247	2887	713089
	2029	247	2945	727415

Tabulka 11: Skutečná a předpokládaná výroba a tržba

Pro výpočet návratnosti je důležitou veličinou daňový odpis. Investice do technologické část MVE se řadí do 3. odpisové skupiny, kde je odpisová lhůta stanovena na 10 let. Bude tedy použito lineárního odepisování majetku, pro 1. rok 5,5 % a pro zbývající 9-ti leté období 10,5 %. (Molín 2011)

Výpočet odpisů:

$$RO = N \cdot S$$

kde: RO - roční odpis (Kč),
N - investiční náklady (Kč),
S - roční odpisová sazba (Kč).

Dle zákona (zákon č. 586/1992 Sb.) činí daň z příjmů právnických osob 19 %. Tuto částku musí investor každý rok odvést státu. Pro její výpočet musíme nejdříve znát daňový základ neboli hrubý zisk. Ten vypočítáme z rozdílu roční tržby s hodnotou získanou součtem ročních provozních nákladů a ročními odpisy. Odečtením daně od hrubého zisku, dostáváme zisk čistý. (Molín 2011)

Výpočet daně:

$$D_P = (Z_H/100) \,.\, 19$$

Výpočet hrubého zisku (daňový základ):

$$Z_H = T_R - N_P - RO$$

Výpočet čistého zisku:

$$Z_Č = Z_H - D_P$$

kde: D_P - daň z příjmu (Kč),
Z_H - zisk hrubý (Kč),
T_R - tržby roční (Kč),
N_P - náklady provozní (Kč),
RO - roční odpis (Kč),
$Z_Č$ - zisk čistý (Kč).

Použitá metoda pro ekonomické hodnocení návratnosti investic je „Cach-flow“ (tok peněz). Metoda ukazuje reálný tok peněz, rozdíly mezi příjmy a výdaji v určitém období. Pro názornost našeho sledovaného období (12 let) se uvádí tzv. kumulovaný cach-flow. Uvedeným bodem zvratu je splnění návratu vložených investic do modernizace MVE. (Molín 2011)

Výpočet cach-flow:

$$CF = Z_Č + RO$$

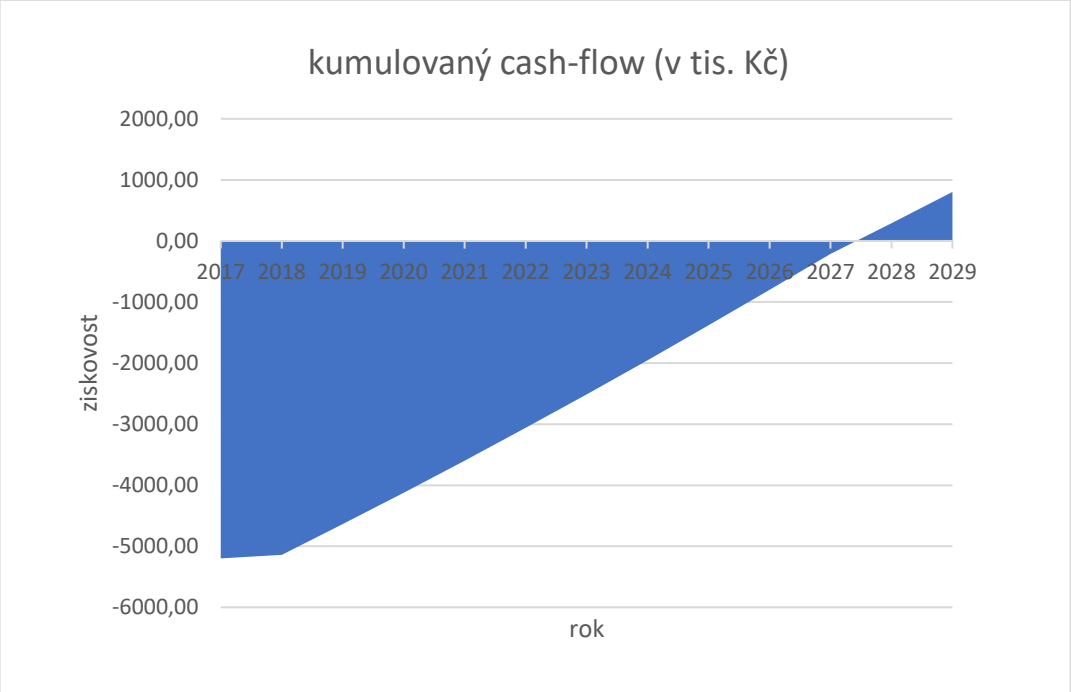
kde: CF - cash-flow (Kč)

CF - kumulovaný cash-flow (Kč)

Podrobný přehled peněžních toků ve sledovaném období popisuje tabulka č. 12 a obrázek č. 25. Bod zvratu je znázorněn přechodem záporných hodnot na kladné ve sloupci kumulovaného cash-flow (CF_K). Návratnost investice při předpokládané výrobě nastane za 10 let provozu MVE.

rok	T_R	N_P	RO	Z_H	D_P	$Z_Č$	CF	CF_K
2017	45,71	95,00	283,20	-332,48	0,00	-332,48	-49,29	-5198,29
2018	152,10	95,00	540,65	-483,54	0,00	-483,54	57,10	-5141,18
2019	597,00	95,00	540,65	-38,65	0,00	-38,65	502,00	-4639,18
2020	608,86	95,00	540,65	-26,79	0,00	-26,79	513,86	-4125,33
2021	620,96	95,00	540,65	-14,69	0,00	-14,69	525,96	-3599,37
2022	633,31	95,00	540,65	-2,34	0,00	-2,34	538,31	-3061,06
2023	645,91	95,00	540,65	10,26	1,95	8,31	548,96	-2512,11
2024	658,75	95,00	540,65	23,10	4,39	18,71	559,36	-1952,75
2025	671,84	95,00	540,65	36,20	6,88	29,32	569,96	-1382,78
2026	685,18	95,00	540,65	49,53	9,41	40,12	580,77	-802,02
2027	699,01	95,00	540,65	63,37	12,04	51,33	591,97	-210,05
2028	713,09	95,00	0,00	618,09	117,44	500,65	500,65	290,61
2029	727,42	95,00	0,00	632,42	120,16	512,26	512,26	802,87

Tabulka 12: Zhodnocení investic 2017 na MVE (v tis. Kč)



Obrázek 25: Návratnost investic 2017 bod zvratu na MVE Počáply

11. Diskuze

MVE Počáply se vybudovala na řece Loučné při celkové rekonstrukci stavidlového jezu. Na řece Loučné vniklo v roce 1998 celé nové vodní dílo, které má hlavní cíl zásobovat vodou náhon Halda do rybích sádek v Pardubicích. MVE je až druhý důvod využití vzdouvání vody a tak je ochuzena o část vodního potenciálu. V době výstavby MVE se počítalo s určitými hydrologickými hodnotami v daném povodí. Po uplynutí 20 let se ale hydrologické hodnoty změnily. Ubyla voda, snížil se průměrný průtok vodním dílem, a jelikož musí být dodržován průtok na náhonu Halda, snižuje se tak průtok pro MVE. Výroba energie je snížením průtoku značně ovlivněna. Bude-li i nadále pokračovat období s nedostatkem srážek a tím i malých průtoků, je ekonomická návratnost této MVE odsouvána na dlouhá období.

Vodní energie jako obnovitelný zdroj energie je sice jednoduchá na výrobu elektrické energie a ekologicky téměř nezatěžuje životní prostředí, ale je značně ovlivňována vodními stavy na řekách. Samozřejmě i ostatní OZE mají svůj potenciální zdroj energie, který je ovlivňován přírodními podmínkami (větrná - vítr, solární – slunce, atd.) ale pro vodní platí dostatek vody.

Pro hledání nových lokalit pro výstavbu VE nebo MVE bude potřeba počítat s dostatečnou rezervou při navrhování technologických možností zpracování potřebných průtoků turbínou. Nemělo by docházet k situacím, kdy při malých průtocích nebude schopna turbína vyrábět energii. Mělo by se počítat i s většími výkyvy v průtocích pro dané lokality (povodí). Nebylo by efektivní, aby většinu dní v roce elektrárna stála z důvodu malých průtoků. Dle mého názoru je efektivnější mít na VE více menších turbín, než jednu velkou. Při malém průtoku může vyrábět alespoň některá z turbín a nemusí elektrárna stát. To platí i při poruchách, určitě se neporouchají všechny turbíny najednou, alespoň některá muže vyrábět.

12. Závěr

Bakalářská práce se zabývá provozem a ekonomickým hodnocením investice do technologické části malé vodní elektrárny Počáply ležící na řece Loučná v těsné blízkosti města Sezemic v Pardubickém kraji. Vlastníkem elektrárny je státní podnik Povodí Labe.

MVE Počáply byla uvedena do provozu v roce 1998 jako součást vodního díla Počáply, které slouží ke vzdouvání vody do náhonu Halda, ze kterého jsou prováděny odběry pro ČRS MO Pardubice, Elektrárny Opatovice a.s. a drobné odběry zahrádkářů. Vyrobená elektrická energie v MVE se nejen dodává do veřejné sítě, ale také slouží pro provoz vakového jezu zejména v zimním období pro koloběh vody ve vaku.

MVE Počáply podstoupila v roce 2017 celkovou modernizaci technologické části elektrárny pro zvýšení spolehlivosti, zlepšení funkce automatizace provozu, zavedení nového systému řízení a monitorování, rozšíření automatiky a ekologizace technologického zařízení. Tím splnila podmínky pro novou výkupní cenu dle cenového rozhodnutí ERÚ z 25. 9. 2018, a současně se tím prodloužila doba možnosti pobírání zelených bonusů.

Výsledek ekonomické návratnosti investice potvrzuje, že modernizace MVE je z hlediska návratnosti příznivá. Podmínkou ale zůstává hlavní veličina pro výrobu, a tou je voda. Právě probíhající suché období a nedostatek vody v krajině má největší vliv na nepříznivou výrobu elektrické energie, a to na všech vodních elektrárnách. Při ideálních podmínkách provozu vychází doba zvratu na 10 let. Skutečná doba zvratu bude zejména závislá na příznivých hydrologických podmínkách v povodí MVE Počáply.

Jako řešení situace při nedostatku vody v krajině a výkyvech suchého a mokrého období vidím realizaci MVE s více turbínami. Je efektivnější vyrábět v době sucha elektrický proud alespoň jednou turbínou než zastavit celou výrobu z důvodu potřeby velké hltnosti jedné turbíny. Bude efektivnější najíždění jednotlivých turbín dle právě probíhajících hydrologických podmínek. Pří návrzích nových MVE se konstruktéři musí zabývat i těmito environmetálními změnami v krajině.

13. Seznam citovaných zdrojů

Odborné publikace:

Bařinka R., Klimek P., 2007: Využití sluneční energie. Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice. 2007. 131-146.

Bednář J., 1998: Malé vodní elektrárny 2 turbíny. Vydalo SNTL, Praha, 237 s.

Gabriel P., Čihák F., Kalandra P., 1998: Malé vodní elektrárny. Vydavatelství ČVUT, Praha, 321 s.

Holota M., 2002: Malé vodní elektrárny projektování provoz. Nakladatelství Akademie věd České republiky, Praha, 271 s.

Honzák F., 2011: Na počátku bylo kolo. Energie z obnovitelných zdrojů 2011. 1-16.

Klinkerová J., Srdečný K., Kašparová M., 2009: Obnovitelné zdroje energie Příklady dobré praxe. Vydalo Ministerstvo životního prostředí, Praha, 30 s.

Mastný P., Drápela J., Mišák S., Macháček J., Ptáček M., Radil L., Bartošík T., Pavelka T., 2001: Obnovitelné zdroje elektrické energie. Vydalo ČVUT, Praha, 256 s.

Melichar J., Vojtek J., Bláha J., 1998: Malé vodní turbíny Konstrukce a provoz. Vydavatelství ČVUT, Praha, 299 s.

Motlík J., 2007: Využití geotermální energie. Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice. 2007. 147-150 s.

Novotný P., 2011: Biomasa. Energie z obnovitelných zdrojů 2011. 33-40 s.

Otava B., 2011: S větrem o závod. Energie z obnovitelných zdrojů 2011. 17-24 s.

Pařízek T., 2007: Využití biomasy. Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice. 2007. 113-130 s.

Pažout F., 1990: Malé vodní elektrárny 1 ekonomika předpisy. Vydalo SNTL, Praha, 504 s.

Quaschning V., 2008: Erneuerbare Energien und Klimaschutz. Munich: Carl Hancer Verlag.

Srdečný K., Knápek J., Klinkerová J., Kašparová M., 2009: Obnovitelné zdroje energie Přehled druhů a technologií. Vydalo Ministerstvo životního prostředí, Praha, 31 s.

Šamánek L., 2007: Využití energie vody. Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice. 2007. 43-78.

Štekl J., 2007: Využití větrné energie. Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice. 2007. 79-112.
Večeřová Z., 2011: Slunce a Země. Energie z obnovitelných zdrojů 2011. 25-32.

Legislativní zdroje:

Norma ČSN 750128 Vodní hospodářství – názvosloví využití vodní energie. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 1989. 40 s.
Norma ČSN 750120 Vodní hospodářství – terminologie hydrotechniky. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2009. 166 s.
Norma ČSN 752601 Malé vodní elektrárny – Základní požadavky. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2010. 28 s.
Směrnice Evropského parlamentu a Rady Evropy č. 2001/77/ES o podpoře elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů energie na vnitřním trhu s elektřinou, v platném znění.

Směrnice Evropského parlamentu a Rady Evropy č. 2003/54/ES o společných pravidlech pro vnitřní trh s elektřinou, v platném znění.

Vyhláška č. 82/2011 Sb. o měření elektřiny a o způsobu stanovení náhrady škody při neoprávněném odběru, neoprávněné dodávce, neoprávněném přenosu nebo neoprávněné distribuci elektřiny, v platném znění.

Vyhláška č. 441/2012 Sb. o stanovení minimální účinnosti užití energie při výrobě elektřiny a tepelné energie, v platném znění.

Vyhláška č. 403/2015 Sb. o zárukách původu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a elektřiny z vysoko účinné kombinované výroby elektřiny a tepla, v platném znění.

Vyhláška č. 408/2015 Sb. o pravidlech trhu s elektřinou, v platném znění.

Vyhláška č. 16/2016 Sb. o podmínkách připojení k elektrizační soustavě, v platném znění.

Vyhláška č. 37/2016 Sb. o elektřině z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla z druhotných zdrojů, v platném znění.

Vyhláška č. 145/2016 Sb. o vykazování elektřiny a tepla z podporovaných zdrojů a k provedení některých dalších ustanovení zákona o podporovaných zdrojích energie, v platném znění.

Zákon č. 586/1992 Sb. o daních z příjmů, v platném znění.

Zákon č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), v platném znění.

Zákon č. 278/2003 Sb. kterým se mění zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), v platném znění.

Zákon č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, v platném znění.

Zákon č. 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie a o změně některých, v platném znění.

Internetové zdroje:

ERU, ©2018: Energetický regulační úřad: Roční zpráva provozu ES (online) [cit.2019.10.19], dostupné z <http://www.eru.cz/documents/10540/4580207/Rocni_zprava_provoz_ES_2018.pdf/1420388b-8eb6-4424-9ad9-c06a57b5326c>.

European Commission, 2019: (online) [cit 2019. 10. 2], dostupné z <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/national-renewable-energy-action-plans-2020>.

Coe T. & Kibel P., 2011: Archimedean Screw risk assessment. Strike and delay probabilities. (online) [cit 2019. 10. 2], dostupné z <https://www.fishtek.co.uk/downloads/Fishtek-screw-risk-assessment-example-report.pdf>.

Kraft-on, ©2015: Archimedovo kolo řez (online) [cit2019.10.8], dostupné z <https://www.kraft-on.com/wp-content/uploads/2015/08/archimedovo-kolo-rez-1.png>.

Lloyd A., 2018: Solar road france generates half power expected (online) [cit2019.12.10], dostupné z <https://www.treehugger.com/solar-technology/solar-road-france-generates-half-power-expected.html>.

Lloyd A., 2019: Swedish company building wind turbine towers out timber (online) [cit2019.12.8], dostupné z <https://www.treehugger.com/renewable-energy/swedish-company-building-wind-turbine-towers-out-timber.html>.

Molín J., 2011: podnikatel.cz., Co je to cash flow (Online) [cit 04. 7. 2019]. dostupné z <http://www.podnikatel.cz/clanky/cash-flow-poskytne-obraz-o-financni-situaci/>.

O energetice, ©2019: Vodní turbíny (online) [cit2019.10.8], dostupné z <https://oenergetice.cz/elektrina/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni>.

OWD, ©2016: Our World in Data (online) [cit2019.10.2], dostupné z <https://ourworldindata.org/renewable-energy>

Treacy M., 2018: Innovative floating tidal power turbine generates 3 gwh energy its first year testing (online) [cit2020.1.4], dostupné z <https://www.treehugger.com/clean-technology/innovative-floating-tidal-power-turbine-generates-3-gwh-energy-its-first-year-testing.html>.

Vlajky, ©2019: Beaufortova stupnice sily větru (online) [cit.2019.10.2], dostupné z <https://www.vlajky.cz/informace/informace_beaufortova_stupnice.php>.

Zotlöterer F., 2017. Zotloeterer – Gravitations wasser wirbelkraftanlagen. (online) [cit 2019. 10. 2], dostupné z <http://www.zotloeterer.com/willkommen/gravitations-wasser-wirbelkraftanlagen/>.

Zotloeterer, ©2019: Gravittations wasser wirbelkraftanlagen (online) [cit2019.10.2], dostupné z <http://www.zotloeterer.com/willkommen/gravitations-wasser-wirbelkraftanlagen/>.

Ostatní zdroje:

Prax J., 2018: Provozní řád. 40 s. „nepublikováno“. Dep.: Povodí Labe.

Radouš J., 1998: Projekt MVE Počáply, technická zpráva. 15 s. „nepublikováno“. Dep.: Povodí Labe.

Soldát, D., 2017: Malé vodní elektrárny – obnovitelný zdroj energie. Česká zemědělská univerzita, Fakulta technická, Praha. 43 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.

Vébr, F., 2018: Obnovitelné zdroje energie v ČR. Česká zemědělská univerzita, Fakulta provozně ekonomická, Praha. 159 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.

Voříšek, P., 2017: Malá vodní elektrárna. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Praha. 131 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.

14. Přílohy

Seznam příloh:

14.1 MVE Počáply, situace (Prax 2018)

14.2 MVE Počáply, podélný řez (Prax 2018)

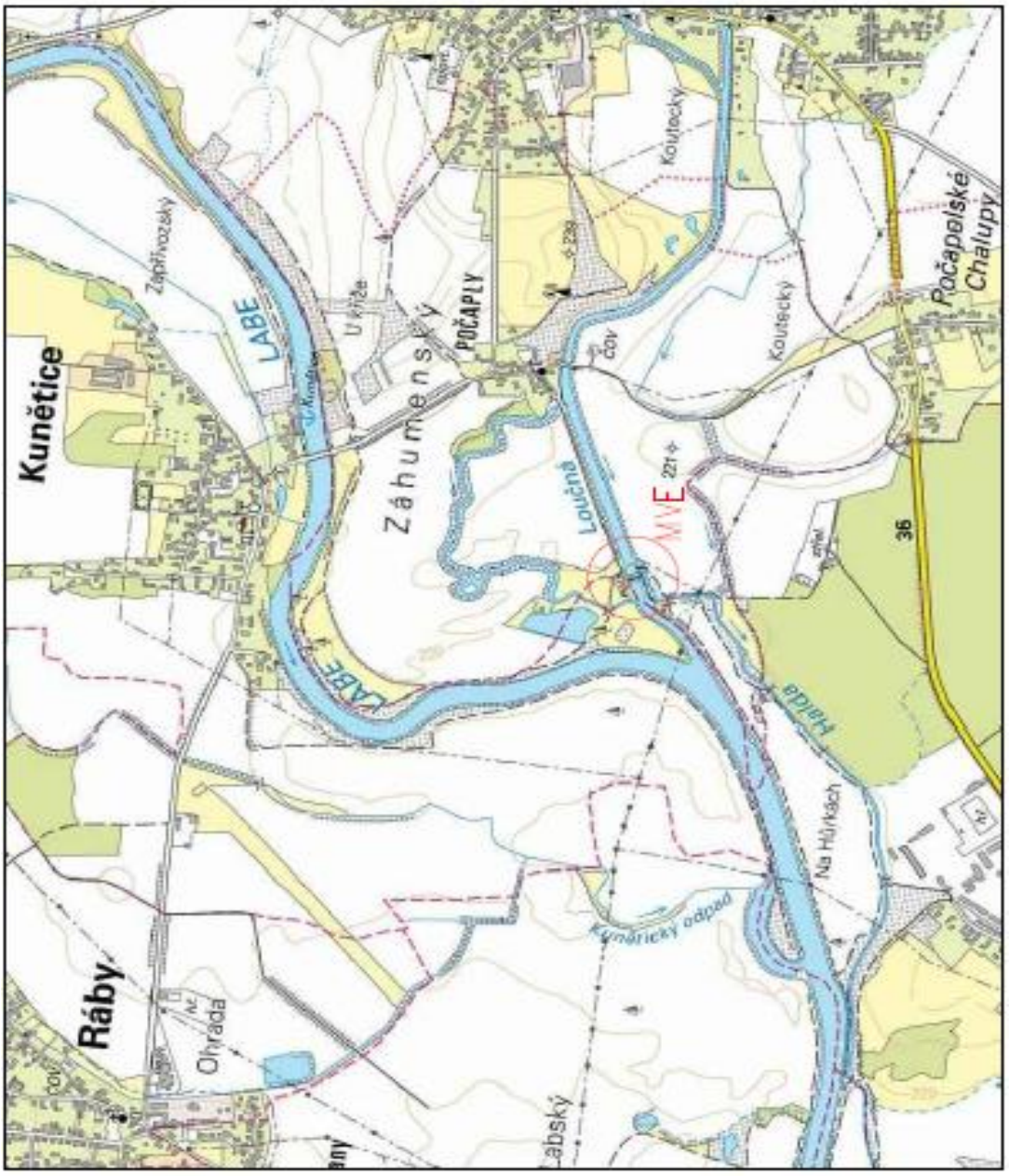
14.3 MVE Počáply, půdorysný řez (Prax 2018)

14.4 Tabulka přehledu oprav a rekonstrukcí na MVE Počáply

14.5 Tabulka přehledu výroby elektrické energie v období 1998 – 2018

14.6. Tabulka výkonů a tržeb v období 1998 – 2018

Příloha 1: MVE Počáply, situace (Prax 2018)



Příloha 2: MVE Počáply, podélný řez (Prax 2018)

Příloha 3: MVE Počáply, půdorysný řez (Prax 2018)

Příloha 4: Tabulka přehledu oprav a rekonstrukcí na MVE Počáply

Období	Název opravy nebo rekonstrukce	Cena bez DPH
06/2002	Oprava uložení čepů rozváděcích lopatek	33690,- Kč
05/2004	Oprava ložiska levé turbíny	13760,- Kč
05/2005	Oprava řídících jednotek obou turbín	15804,- Kč
09/2005	Instalace přenosů stavů na mobilní síť	16485,- Kč
08/2006	Oprava uložení zavírání lopatek rozváděcích kol obou turbín	149000,- Kč
10/2007	Oprava hydrauliky, seřízení levé turbíny	24559,- Kč
02/2008	Oprava hydrauliky, seřízení levé turbíny	8558,- Kč
08/2008	Oprava táhel lopatek levé turbíny	15224,- Kč
04/2009	Oprava hydrauliky, seřízení pravé turbíny	9600,- Kč
05/2009	Montáž havarijní sondy	31300,- Kč
05/2009	Oprava táhel lopatek levé turbíny	8500,- Kč
07/2009	Oprava táhel lopatek levé turbíny	20456,- Kč
07/2009	Montáž kompenzace jalové energie	37000,- Kč
11/209	Oprava hydrauliky, seřízení levé turbíny	39 665,- Kč
08/2010	Oprava hydrauliky, seřízení pravé turbíny	9720,- Kč
11/2010	Oprava čepů rozváděcích lopatek levé turbíny	103820,- Kč
05/2011	Oprava čepů rozváděcích lopatek pravé turbíny	125000,- Kč
10/1013	Oprava hydrauliky, seřízení pravé turbíny	20200,- Kč
04/2014	Seřízení obou turbín	17225,- Kč
09/2014	Oprava těsnění hřídele pravé turbíny	451500,- Kč
08/2014	Rekonstrukce provizorního hrazení	986018,- Kč
05/2016	Výměna akumulátorů dusíku obou turbín	60760,- Kč
12/2017	Celková modernizace	5111900,- Kč

Příloha 5: Tabulka přehledu výroby elektrické energie v období 1998 – 2018

	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	Říjen	listopad	prosinec	celkem
1998													116,3
1999													224,0
2000													183,9
2001	8,6	9,8	16,5	20,2	14,6	14,8	13,6	20,8	14,9	8,6	12,5	16,1	170,9
2002	9,2	6,4	24,4	18,5	0,0	8,9	14,1	21,4	17,6	16,5	18,5	22,7	178,2
2003	22,8	28,5	29,1	13,2	23,1	16,6	11,0	8,6	6,0	6,7	6,4	8,0	179,9
2004	12,8	18,2	24,6	34,0	17,0	16,4	11,3	8,0	6,9	6,1	10,9	9,2	175,4
2005	10,1	0,0	9,3	26,4	22,8	19,1	24,8	24,8	17,7	11,8	4,3	16,6	187,6
2006	14,9	9,8	17,4	17,1	23,7	23,6	9,9	19,2	21,6	12,1	16,6	15,5	201,3
2007	16,5	24,5	33,5	29,9	18,6	17,7	10,7	11,1	10,3	11,7	15,8	23,0	223,3
2008	16,2	16,0	29,1	29,0	23,0	15,1	14,3	12,1	9,1	7,4	12,0	11,2	194,6
2009	4,8	18,1	24,4	25,9	18,6	13,5	19,5	20,1	16,4	12,9	10,7	16,8	201,8
2010	21,4	18,2	23,8	26,2	20,2	3,4	12,6	9,6	14,8	10,3	9,7	15,4	185,7
2011	16,5	30,0	25,5	17,5	12,4	12,0	12,4	13,1	12,9	6,3	9,4	2,3	170,4
2012	4,6	18,0	28,3	16,1	13,6	10,6	12,2	6,7	7,4	7,4	11,5	13,9	150,2
2013	20,2	21,0	32,7	23,9	21,6	15,3	19,6	13,2	14,7	14,1	13,6	12,1	221,9
2014	13,7	11,4	14,7	12,1	14,6	10,1	5,1	0,0	0,3	13,2	10,1	13,4	118,6
2015	27,5	30,5	19,5	22,5	11,3	8,1	4,6	5,2	4,3	4,8	6,6	11,1	156,2
2016	5,7	14,3	33,5	21,9	13,3	9,2	7,7	4,2	1,4	1,9	3,7	5,0	122,0
2017	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	6,8	11,8	20,3
2018	3,1	16,5	19,2	10,4	5,8	4,6	1,6	0,7	1,0	0,1	1,3	0,0	64,2

Příloha 6: Tabulka výkonů a tržeb v období 1998 – 2018

rok	výroba v kWh	tržby v Kč
1998	116 286	125 480
1999	223 968	257 025
2000	183 914	219 912
2001	170 970	203 329
2002	178 790	271 756
2003	179 917	281 444
2004	175 401	283 096
2005	187 552	312 087
2006	201 286	347 020
2007	223 303	391 673
2008	194 606	349 123
2009	201 774	374 089
2010	185 713	351 740
2011	170 449	329 648
2012	150 241	286 960
2013	221 930	432 304
2014	118 569	235 639
2015	156 232	321 808
2016	121 989	261 910
2017	20 318	45 714
2018	64 200	152 104
Celkem	3 447 408	5 833 861