

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

HORNICKO-GEOLOGICKÁ FAKULTA

Katedra environmentálního inženýrství

VODNÍ ZDROJE JAKO ALTERNATIVNÍ ZDROJ ELEKTRICKÉ ENERGIE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor:

Milan Řehák

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vojtěch Václavík, Ph.D.

Ostrava 2018

Zadání bakalářské práce

Student: **Milan Řehák**

Studijní program: B2102 Nerostné suroviny

Studijní obor: 2102R006 Technologie a hospodaření s vodou

Téma: **Vodní zdroje jako alternativní zdroj elektrické energie**
Water resources as an alternative source of electric power

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Vodní zdroje v ČR vhodné pro energetické využití
3. Alternativní zdroje energie v ČR
4. Elektrická energie získávána z vodních zdrojů v ČR
5. Porovnání významu vodních zdrojů v ČR a v zahraničí (Norsko)
6. Vodní elektrárna Nedre Vinstra – Norsko, historie a současnost
7. Závěr a doporučení

Seznam doporučené odborné literatury:

- BEDNÁŘ, Josef. Turbíny: (malé vodní elektrárny). Českovice: Marcela Bednářová, c2013. ISBN 978-80-905437-0-6.
- BROŽ, Karel a Bořivoj ŠOUREK. Alternativní zdroje energie. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02802-X.
- HOLATA, Miroslav, GABRIEL, Pavel (ed.). Malé vodní elektrárny: projektování a provoz. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0828-4.
- KEYHANI, Ali. Design of smart power grid renewable energy systems. Hoboken: Wiley-IEEE Press, c2011. ISBN 978-0-470-62761-7.
- KLOZ, Martin. Využívání obnovitelných zdrojů energie: právní předpisy s komentářem. Praha: Linde, 2007. ISBN 978-80-7201-670-9.
- VILEM, Ján. Projektovanie vodných elektrární. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2001. ISBN 80-227-1468-2.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vojtěch Václavík, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018


doc. Ing. Vojtěch Václavík, Ph.D.
vedoucí institutu




doc. Ing. Jan Valíček, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení autora bakalářské práce

- Celou bakalářskou práci včetně příloh jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu. Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevydělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Souhlasím s tím, že bakalářská práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Opavě dne 12. 4. 2018

Milan Řehák



ANOTACE

Práce je zaměřena na alternativní zdroje energie využívané v podmínkách ČR, přičemž hlavní důraz je kladen na vodní zdroje s porovnáním množství energie vyprodukované vodními elektrárnami v ČR a Norsku.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zdroje energie; vodní elektrárny; povodí ČR; význam vodních zdrojů; vodní elektrárna Norsko.

ANNOTATION

The thesis is focused on alternative resources of energy used in Czech Republic's conditions. The main object is water resources especially comparison between hydropower energy produced in Czech Republic and Norway.

KEYWORDS

Energy sources; hydropower plants; catchmen area of Czech Republic; importance of the wather sources; hydropower plant in Norway.

Děkuji doc. Ing. Vojtěchu Václavíkovi, Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce, poskytování rad a materiálůvých podkladů k práci.

OBSAH

1 Úvod.....	1
2 Vodní zdroje V ČR vhodné pro energetické využití	2
2.1 Historie využívání vodní energie v českých zemích.....	2
3 Alternativní zdroje energie v ČR.....	7
3.1 Postoj ČR k problematice obnovitelných zdrojů energie.....	7
3.2 Obnovitelné zdroje v rámci ČR.....	8
3.3 Sluneční energie	9
3.4 Větrná energie	10
3.5 Vodní energie (hydroenergie)	11
3.6 Geotermální energie	20
3.7 Biomasa a její podprodukty bioplyn, kapalná biopaliva	20
4 Elektrická energie získávaná z vodních zdrojů v ČR.....	23
4.1 Významné velké vodní elektrárny v ČR	23
4.2 Přečerpávací vodní elektrárny	27
4.3 Významné malé vodní elektrárny v ČR.....	32
5 Porovnání významu vodních zdrojů v ČR a v zahraničí (Norsko).....	36
5.1 Množství produkce energie vodních elektráren v ČR.....	36
5.2 Povodí ČR výroba elektrické energie	37
5.3 Velikost instalovaného výkonu VE v ČR	45
5.4 Porovnání produkce elektřiny z OZE ČR / EU / Norsko	47
6 Vodní elektrárna Nedre Vinstra – Norsko.....	54
6.1 Historie.....	54
6.2 Současnost.....	54
7 Závěr a doporučení	58
8 Seznam použité literatury.....	60
9 Seznam obrázků	65
10 Seznam tabulek	66

1 ÚVOD

Hlavní myšlenka práce je shrnutí informací o alternativních energetických zdrojích v České republice. V celosvětovém měřítku spotřeba energií stoupá, naše republika v tomto trendu nijak nezaostává. Co za tím stojí, technický boom nebo evoluce? Z většinové části ano, vždyť žijeme ve světě technických vymožeností, které pronikly hluboko do našeho každodenního života. Spotřební elektronika, noční život se pro nás stal samozřejmostí, cestování na dlouhé vzdálenosti kdykoliv a kamkoliv je dnes běžné. Dnes bychom si někteří bez takových vymožeností těžko uměli představit žít. Technický pokrok nezastavíme, to víme, ale to, co k životu využíváme, spotřebovává energii, kterou je třeba někde získat.

Nejběžnější je využití fosilních paliv (ropa, uhlí, zemní plyn) k přeměně na energii elektrickou a tepelnou. Jejich spalováním a využíváním energetického potenciálu bohužel vytváříme i efekt, který je pro nás a naši planetu velmi negativní. Spalováním fosilních paliv vznikají nebezpečné zplodiny, které jsou škodlivé nejen nám, ale neprospívají celému ekosystému. Kromě toho nám po povrchové a podpovrchové těžbě zůstávají znehodnocené a zdevastované půdy, pro něž hledáme nové využití. Sanace takových míst jsou nákladné a stojí nás mnoho úsilí.

Ačkoliv způsobu těžby a využívání fosilních paliv včetně negativních následků na krajinu se věnuje více pozornosti, zásoby těchto zdrojů nejsou nevyčerpatelné. V dohledné době můžeme hovořit o 50–60 letech. Z hlediska toho, jak dlouho se daná fosilní paliva vytvářela, jsme se je relativně rychle naučili využívat a i za krátkou dobu se již zabýváme počátkem jejich nedostatku až úplným vyčerpáním, a proto není možné čekat, až dané zásoby kompletně spotřebujeme. Pro země, které jsou na takových zdrojích, ne-li jen některém z nich, plně energeticky závislé, už teď nastává problém, kterým se musí zabývat. Proto se stále více zaměřujeme na hledání nových alternativních zdrojů energie, dokud je čas, a i ten nám velmi rychle ubíhá.

2 VODNÍ ZDROJE V ČR VHODNÉ PRO ENERGETICKÉ VYUŽITÍ

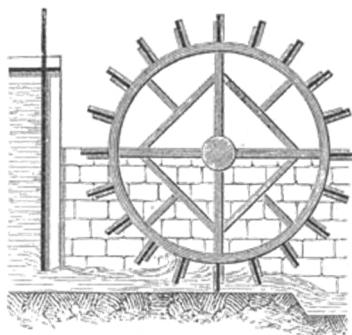
Vodní síla patří spolu s větrnou a sluneční energií mezi nejstarší zdroje energie, které lidstvo využívá. Patří mezi obnovitelné zdroje a prakticky co bude slunce vydávat sluneční záření, bude voda, a tím vodní síla nevyčerpatelným zdrojem energie. Svůj důležitý význam představovala odedávna a postupem času, jak se lidstvo vyvíjí, vodní síla sehrává důležitou roli čím dál tím více.

V rámci České republiky vodní energii využíváme / spotřebováváme pro:

- vodní elektrárny
- teplárenství
- jadernou energetiku.

2.1 Historie využívání vodní energie v českých zemích

Z archeologických nálezů se podařilo zjistit, že využití vodního kola sahá až do doby 600 let před naším letopočtem. Vodní kolo bylo považováno za důležitý zdroj mechanické energie, které usnadňovalo lidskou práci. Ze začátku se využívalo jednoduchých mechanismů, které sloužily, jak již bylo zmíněno, pro zvedání vody na zavlažování nebo k pohonu mlýnů, ale konstrukce vodního kola se s dobou zdokonalovala, a tím se rozšiřovalo i uplatnění například pro pohony pil, hamrů a jiných (viz obr. 1). Během středověku se pomocí vodního kola začaly z řemeslné výroby vytvářet manufaktury. První zpráva o existenci vodního mlýna na území Čech se datuje do roku 1718. Tento první mlýn ve střední Evropě byl postaven na řece Ohři u Žatce. První vodní elektrárna byla u nás zprovozněna v Jindřichově Hradci v roce 1888 (VILEM, 2001).



Obr. 1 Vodní kolo na spodní pohon (Techmania, 2018).

Snaha vyrábět elektrinu v mlýnech přišla v období let 1900 až 1914, kdy v českých zemích z důvodu dovozu levné mouky z Kanady a Uher začaly tyto provozovny upadat. V této době bylo u nás zbudováno značné množství malých vodních elektráren, které sice neměly možnost dodávat elektrickou energii hlavním jejím konzumentům, tj. závodům monopolizovaného průmyslu, ale měly velký vliv na elektrizaci (PAŽOUT, 1982).

Jednotlivé elektrárny pracovaly do vlastní elektrické sítě, která zahrnovala několik obcí, ale i závodů. Jednalo se tedy o výrobu elektřiny v tzv. lokálních sítích, jelikož vlivem nedostatečné rozvodné sítě, která se teprve rozvíjela, nebylo možné více přiblížit zdroje vodní energie k místům její spotřeby. Vodní kola byla postupně nahrazována za účinnější vodní turbíny, a to až na přelomu 19. a 20. století. Větší množství vyrobené elektrické energie nabízelo její širší uplatnění (BOUŠKA, 2015).

V období roku 1918 se výkony na provozovaných elektrárnách pohybovaly většinou od 10 do 100 kW. K těm nejvýznamnějším, které byly svým výkonem v tehdejší době nadprůměrné, patřila vodní elektrárna Pod Čertovou stěnou ve Vyšším Brodě (8 MW), Poděbrady na Labi (1,04 MW) a pražská Štvanice (1,42 MW) (PAŽOUT, 1982).

V poválečném období byl u nás v roce 1919 přijat nový zákon (elektrizační zákon) podporující budování vodních elektráren pro zajištění větší elektrizace naší země. Výstavba i větších vodních elektráren byla běžnější, např. Spálov na Jizeře (2 MW), Lomazice na Ohři (7,8 MW), Nymburk na Labi (1,31 MW) a další.

Jaký byl rozvoj malých vodních elektráren, nám dosvědčuje evidence z roku 1930, kdy v českých zemích bylo provozováno 11 785 hydroenergetických děl.

Počínaje rokem 1933 byly u nás uváděny do provozu i velké vodní elektrárny jako Vranov na Dyji – výkon 16,3 MW (1933), Střekov na Labi – výkon 19,5 MW (1936), Vrané na Vltavě – výkon 13,8 MW (1936). Ve stejném období byly uváděny do provozu i malé vodní elektrárny (MVE) s výkonem od 0,5 do 10 MW, např. Kostelec nad Labem – výkon 2,34 MW (1934), Brandýs nad Labem – výkon 1,98 MW (1934), Vydra – výkon 6,4 MW (1939), Litice na Divoké Orlici – výkon 0,72 MW (1932) (PAŽOUT, 1982).

Přečerpávací vodní elektrárna Štěchovice II. se spádem až 220 m a umělou nádrží na kopci Homole o obsahu 500 000 m³ byla postavena v letech 1938–1947. Instalovaný výkon byl 2 x 11,25 MW. Na svou dobu byla tato elektrárna plně automatizována (ČEZ, 2017).

Po znárodnění v letech 1949–1950 bylo v rámci Ústředního ředitelství ČEZ v provozu 4 392 hydroenergetických zdrojů s instalovaným výkonem 324,5 MW. V této době dochází k rušení MVE, protože velké státní energetické podniky o MVE neměly tak velký zájem, ačkoliv v rozmezí let 1948–1979 bylo postaveno 29 malých vodních elektráren. Tehdejší Ústřední ředitelství ČEZ převzalo do své zprávy 152 větších z malých vodních elektráren s instalovaným výkonem 84 MW. Další MVE zůstaly v držení JZD, místních národních výborů nebo znárodněných průmyslových podniků. Většina z nich dosloužila nebo byla zrušena, protože pro provozovatele mikrozdrojů bylo výhodnější odebírat elektrickou energii z veřejné sítě, která byla mnohem levnější než z vlastního zdroje, který bylo nákladné udržovat. Tepelné uhelné zdroje v dané době zajišťovaly přibližně 96 % výroby elektřiny v českých zemích (BOUŠKA, 2015).

Největším rozmachem výstavby velkých vodních elektráren bylo období let 1950–1962, mezi nejvýznamnější patří hydroenergetická díla s velkými akumuláčními objemy. Postupně byla zprovozněna Vltavská kaskáda: Slapy – 144,0 MW (1954), Lipno – 120,0 MW (1959–1960), Kamýk – 40,0 MW (1961) a Orlík – 364 MW (1961–1962) (PAŽOUT, 1982) (viz tab. 1).

Tab. 1 Vltavská kaskáda – přehled elektráren (ČEZ, 2017).

Vodní dílo	Typ vodní elektrárny	Tok	Uvedení do provozu	Max. spád (m)	počet soustrojí (MW)	Typ turbíny Ø OK	Instal. výkon celkem
Vrané	akumulační jezová	Vltava	1936	12	2 x 6,94	Kaplan 1580 mm	13,88 MW
Štěchovice I	akumulační přehradová	Vltava	1944	20	2 x 11,25	Kaplan 3600 mm	22,5 MW
Štěchovice II	přečerpávací	Vltava	1947	219,5	2 x 21,0	Francis 2400 mm	42 MW
Slapy	akumulační přehradová	Vltava	1955	56	3 x 48,0	Kaplan 3700 mm	144 MW
Lipno I	akumulační přehradová	Vltava	1959	162	2 x 60,0	Francis 2200 mm	120 MW
Lipno II	průtočná	Vltava	1957	9,6	1 x 1,5	Kaplan 2120 mm	1,5 MW
Orlík	akumulační přehradová	Vltava	1961-1962	71,5	4 x 91,0	Kaplan 4600 mm	364 MW
Kamýk	akumulační přehradová	Vltava	1961	15,5	4 x 10,0	Kaplan 3800 mm	40 MW

Po roce 1970 už bylo jasné, že spotřeba elektrické energie přesáhla technicky využitelný potenciál výroby elektrické energie z vodních zdrojů v českých zemích. Do této doby byla stavěna vodní díla, jež využila snáze dostupný hydroenergetický potenciál pro velké vodní elektrárny, který je v České republice prakticky vyčerpán, kromě přečerpávacích vodních elektráren. Ty patří mezi vodní díla, ale nepatří do skupiny obnovitelných zdrojů. Jsou velmi dobře využitelné pro vykrývání tzv. energetických špiček a akumulaci elektrické energie. Např. přečerpávací vodní elektrárna (PVE) Dlouhé stráně byla stavěna v letech 1978–1996 (2 x 325 MW), patří mezi nejmladší v ČR, dalšími jsou PVE Štěchovice II (45 MW) 1947 a Dalešice (450 MW) 1978 (BOUŠKA, 2015).

Tyto tři jsou aktuálně provozovány na území ČR a jsou vlastněny společností ČEZ, a.s. (viz obr. 2).



Obr. 2 Velké vodní elektrárny v ČR (MUNI, 2010).

Vyčerpaný potenciál neplatí ale úplně pro MVE, v rámci ČR hovoříme o výkonech do 10 MW a v EU to je 5 MW. V této výkonové sféře se dá ještě nějaký nárůst očekávat, zejména na místech bývalých mlýnů, jezů, popř. pil (OCHODEK, 2016).

3 ALTERNATIVNÍ ZDROJE ENERGIE V ČR

Obnovitelné zdroje, jak už název napovídá, jsou zdroje energií, které se samy obnovují. Např. vodní elektrárna na řece využívá síly vodních proudů, voda po průchodu turbínou hned nepřestává téct, ale díky koloběhu vody v přírodě se voda po dlouhé cestě znovu dostává do koryta řeky. Velmi důležitou roli v takovém koloběhu zajišťuje slunce a dokud bude slunce svítit, bude voda na naší planetě cirkulovat (QUASCHNING, 2010).

Pro úplnost uvádím, jak obnovitelné zdroje definuje zákon:

Zákon č. 17/1992 Sb. „Obnovitelné přírodní zdroje mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka“ (SBÍRKA_ZÁKONŮ, 1992).

Zákon č. 180/2005 Sb. „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“ (Ministerstvo_vnitra, 2005).

3.1 Postoj ČR k problematice obnovitelných zdrojů energie

V současné době došlo k výraznému nárůstu zájmu vlád, projektových kanceláří a soukromých investorů o zakomponování obnovitelných zdrojů do energeticko-distribučního portfolia. Dlouhodobým cílem evropské politiky je významně přispět k využívání obnovitelných zdrojů energie (OZE). Tento cíl je ovlivněn obavami z rostoucích nákladů na regulaci CO₂ a dalších souvisejících zplodin.

Česká republika se při vstupu do EU zavázala, že zvýší podíl OZE na spotřebě primárních energetických zdrojů. Pro ČR to znamenalo, že do konce roku 2010 zvýší podíl OZE na 8 % v hrubé spotřebě elektřiny. K tomu, aby byl tento úkol splnitelný, ČR schválila v roce 2005 zákon č. 180/2005 Sb. garantující výkupní ceny elektřiny z OZE na 20 let od data uvedení technologie do provozu. Na základě tohoto zákona vydával Energetický regulační úřad (ERÚ) každoročně rozhodnutí o výši ceny, za kterou se bude elektřina z OZE vykupovat. Stanovený cíl spotřeby energie z OZE se podařilo naplnit

(dosáhlo se 8,3 % v roce 2010). Rok 2012 přinesl další zákon o podpoře OZE (Zákon o podporovaných zdrojích energie – zákon č. 165/2012 Sb.).

Vzhledem ke skutečnosti, že v roce 2013 jsme splnili cíle pro rok 2020 v produkci elektřiny z OZE, ten stanovil 13 % spotřeby energie z OZE, rozhodl ERÚ cenovým rozhodnutím z listopadu 2013 a platností od 1. 1. 2014 prakticky zastavit veškerou podporu pro výrobu elektřiny z OZE pro nové zdroje (OCHODEK, 2016).

V roce 2016 byl vládou schválen dokument **Národní akční plán (NAP)** pro obnovitelné zdroje energie, který ve spolupráci s dalšími resorty připravilo Ministerstvo průmyslu a obchodu a vycházel ze směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2009/28/ES o podpoře OZE.

Kromě toho existuje tzv. **Státní energetická koncepce**, která je v souladu s NAP a dává si za úkol v rámci energetiky ČR dlouhodobě zajistit udržitelné, cenově dostupné a spolehlivé zásobování domácností a hospodářství energií. Takto je to vymezeno do tří základních strategických cílů, a to: bezpečnost, udržitelnost, konkurenceschopnost.

3.2 Obnovitelné zdroje v rámci ČR

V přírodních podmínkách ČR řadíme mezi obnovitelné zdroje především energii vody, větru, slunečního záření, bioplynu, biomasy, energii prostředí využívanou tepelnými čerpadly, geotermální energii a energii kapalných paliv. Energie s největším potenciálem v rámci ČR je vodní energie. Zároveň je důležité si uvědomit, že v současném tržním prostředí jsou výše zmíněné OZE zatím méně konkurenceschopné, jedním z důvodů možná může být predikovatelnost výroby takovýchto zdrojů a s tím spojené možné problémy přetěžování kapacity přenosových a distribučních sítí.

V otázce obnovitelných zdrojů jsem představil všechny, které jsou v ČR zastoupeny, ale jelikož je má práce zaměřena především na vodní energetiku, popisuji vodní zdroje detailně.

3.3 Sluneční energie

Energii ze slunce v podmínkách ČR využíváme ve dvou nejběžnějších technologiích, a to ve fotovoltaických článcích (výroba elektrické energie) a solárních kolektorech (ohřev vody pro vytápění).

Podstatný vliv na výsledky má i období měření; v zimě, kdy jsou dny kratší, je slunečního svitu dopadajícího na zemský povrch méně, a zároveň je i vyšší oblačnost.

Za optimální orientaci je považována jižní strana i s ohledem na změny ročního období i energetického zisku. Za ideální sklon plochy se považuje úhel cca 35°. Z praktického hlediska se vybírá takový sklon, aby se dosáhlo maximálního využití dopadající energie i s ohledem na sezónní podmínky. Dle měření se hodnota energie dopadající na ideálně situovaném místě v ČR pohybuje v rozmezí 1 000–1 200 kWh/m²/rok (BENDA, 2012).



Obr. 3 Fotovoltaický článek (MTECHSOLAR, 2018).

3.3.1 Fotovoltaický článek – historie

Fotovoltaické panely jsou v současné době ekonomicky konkurenceschopné oproti tradičním zdrojům elektrické energie. Jsou alternativou pro dodávku energie na mnoha odlehlých místech, daleko z dosahu elektrické sítě. Celosvětově roste zájem o připojení sítí do fotovoltaických elektráren (FVE). Z dlouhodobého hlediska jsou vyhlídky pro FVE velmi perspektivní. Rozlišujeme fotovoltaický článek vyrábějící elektrickou energii a solární kolektor využívající nejjednodušší princip ohřevu kapaliny slunečními paprsky (PALACIO, 2004).

3.3.2 Fotovoltaický článek – princip funkce

FV panel se skládá z fotovoltaických článků. Základem FV článku je polovodičová dioda, která obsahuje dvě vrstvy příměsových polovodičů. Dopadem fotonů / slunečního světla na fotočlánek vznikne mezi oběma vrstvami elektrické napětí cca 0,5 V. Fotovoltaický jev pracuje, dokud na panel svítí světlo (GREEN_ENERGY_BLOG, 2010-2016).

Tento způsob výroby elektrické energie je čistý, nevytváří žádný šum, zplodiny a nemá vliv na skleníkový efekt. FVE pracují automaticky a jsou bezúdržbové (MORLEY, 2015).

3.4 Větrná energie

Větrnou energii řadíme mezi obnovitelné zdroje. Tak jako voda, vděčí vítr za svůj vznik slunečnímu záření. Vítr je výsledek pohybu velkých vzduchových mas v atmosféře. Tyto pohyby jsou zpravidla v globálním měřítku tvořeny rozdílem solárního ohřevu zemské atmosféry. Z tohoto důvodu větrnou energii řadíme stejně jako vodní energii mezi nepřímé formy solární energie.

3.4.1 Větrné elektrárny – princip

Konstrukce motorů větrné elektrárny je buď s horizontální, nebo vertikální osou. Konstrukce větrné elektrárny s horizontální osou dosahuje účinnosti do 48 %, vertikální do 38 %. Výhoda vertikální konstrukce je v nezávislosti na směru proudění větru. Základní konstrukční prvky větrných elektráren jsou sjednocené. Většinou se používá třílistého rotoru s horizontálně postavenou osou rotace natočené proti směru proudění větru. Základní konstrukční prvky jsou stožár, strojovna, rotor, masivní betonový základ a potřebná transformační a řídicí elektronika. Stožár může být ve tvaru tubusu, ten se používá nejčastěji, nebo příhradové konstrukce. Tubus je složen z jednotlivých segmentů, které se spojují na místě. Rotor se skládá z aerodynamicky profilovaných listů, ty bývají buď pevné bez možnosti naklápění, nebo stavitelné, které se dnes běžně používají pro optimální využívání proudícího větru, počet listů se ustálil na třech (BOYLE, 2004).

3.4.2 Rozdělení větrných elektráren

V současné době jsou nejvíce používané větrné elektrárny s průměrem rotoru 80–90 m, výškou osy rotoru 80–100 m a nominálním výkonem 2–3 MW, ale lze je také dělit dle velikosti.

Velké větrné elektrárny – mezi velké řadíme průměr rotoru > 45 m, výkon 0,750 MW, z dnešního hlediska hrají hlavní roli.

Malé větrné elektrárny – jsou na trhu také známy, ale jejich role je určena pro malé odběry, mezi malé můžeme řadit ty s rozměrem rotoru do < 16 m, výkon do 0,060 MW, které pokrývají místa bez elektrické sítě jako budovy, laboratoře a různá specifická zařízení (BENDA, 2012).

3.4.3 Potenciál větrné energie v ČR

V České republice se staví větrné elektrárny, ale ne v tak velké míře jako v sousedním Rakousku nebo Německu. Vlivů pro větší rozšíření může být vícero, např. ekologická zátěž na přírodu, nedůvěra či zaujatost.



Obr. 4 Větrné elektrárny (Nalezno, 2018).

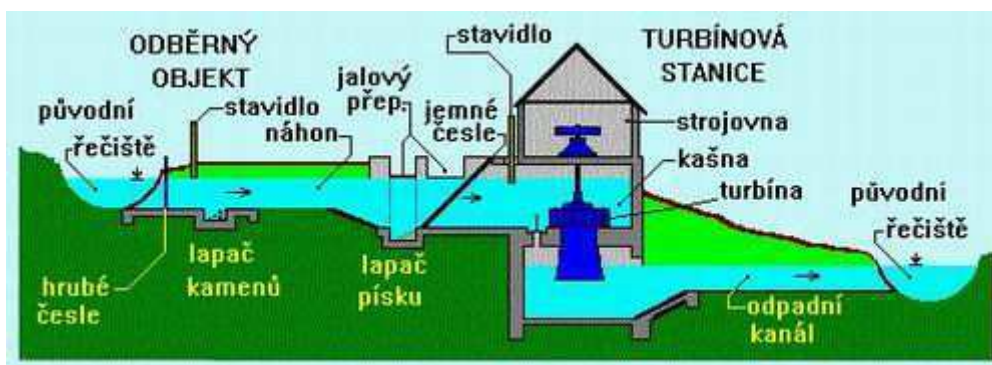
3.5 Vodní energie (hydroenergie)

Vodnímu toku je odebírána energie za pomoci technického zařízení (vodní kolo, turbína) a vytváří se tak energie mechanická nebo elektrická. Princip funkce je relativně jednoduchý. Jak bylo zmíněno, výkon, který odebíráme, záleží na průtočném množství a spádu toku. K přeměně vodní energie se využívá buď vodních kol, nebo vodních turbín.

3.5.1 Princip funkce

Vodní kola – využívají se pro malé spády, jejich výkonu bývá nejvíce využíváno pro lokální výrobu elektrické energie pro lokální spotřebu nebo přímou přeměnu na mechanickou energii. Jsou to relativně jednoduchá zařízení. Voda je přiváděna na vodní kolo a naplňuje korečky umístěné po obvodu vodního kola, které vlivem silového zatížení působí na vodní kolo, a tím ho otáčí. Z koreček u hladiny se voda vylévá. Voda může být přiváděna na vodní kolo vrchním nátokem, středním nátokem nebo spodním (BEDNÁŘ, 1989).

Vodní turbíny – jsou oproti vodnímu kolu již složitější zařízení. Jsou schopné využívat jak tlakovou, tak i kinetickou energii vody, v závislosti na zvoleném typu turbíny. Princip chodu vodní elektrárny je v zásadě stejný, liší se parametry podle velikosti vodního toku nebo nádrže, ze které chceme odebírat vodní energii. Na vstupu k turbíně jsou umístěny česle zabraňující průchodu naplavenin a odpadků k turbíně. Přes vzdouvací stupeň teče voda na lopatky turbíny, která usazená na hřídeli vytváří otáčivý pohyb. Hřídel je spojena s generátorem, který vytváří napětí, to je pak v transformátoru měněno na napětí potřebné v rozvodné síti (QUASCHNING, 2010).



Obr. 5 Průtočná vodní elektrárna (Automatizace, 2014).

Přečerpávací elektrárny – jsou velmi specifické, akumulace vody je prováděna do nádrží, které vůči sobě potřebují mít co největší spádový rozdíl. Blíže je princip popsán v části Elektrická energie získávaná z vodních zdrojů v ČR (BOYLE, 2004).

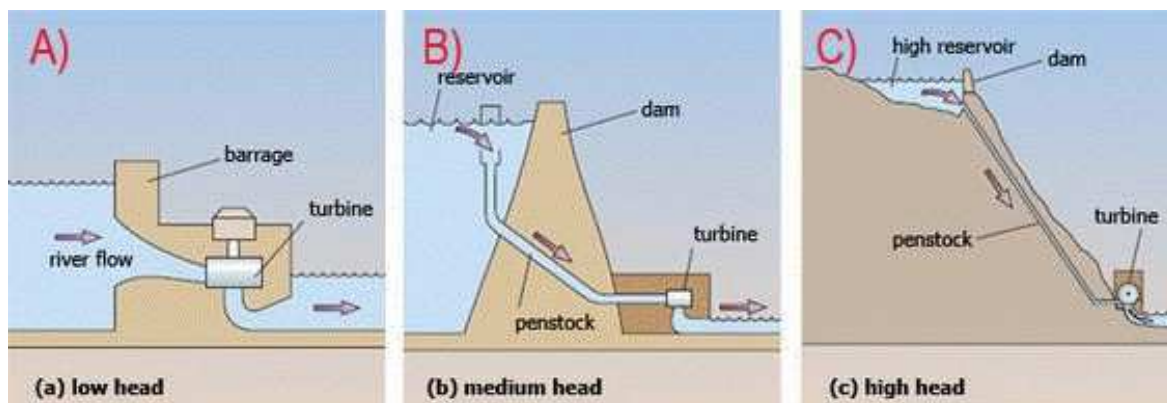
3.5.2 Rozdělení vodních elektráren dle velikosti instalovaného výkonu

- a) do 10 MW – malé vodní elektrárny (MVE) – jsou specifické malou poruchovostí, nízkými provozními náklady, tím, že jsou jednoduché na ovládání a údržbu, velkým počtem provozních hodin. Investiční náklady nejsou tak vysoké oproti větším stavbám – je zapotřebí méně zemních prací. Nezatěžují tolik přenosovou soustavu, svou roli v tom hraje lokace jednotlivých MVE na řece. Staví se na místech bývalých mlýnů, pil nebo do míst stávajících jezů. Pokud je zapotřebí, staví se pro tyto účely i umělá vzdutí vodní hladiny toku. Nejběžnější základní rozdělení malých vodních elektráren je dle výkonu:
- 1) průmyslové malé vodní elektrárny – zapojené do veřejné sítě, bývají vybavené turbosoustrojím s výkony 1 MW a více;
 - 2) drobné malé vodní elektrárny – s výkony 0,100 MW a více, dodávají elektrickou energii buď do veřejné sítě, nebo do zvláštní elektrické sítě, jsou vybaveny asynchronními generátory bez regulace napětí a frekvence, používají se i pro lokální dodávku elektrické energie v případě výpadku veřejné sítě;
 - 3) mikrozdroje – výkon 0,035 MW a více, použití pro lokální uzavřené sítě, také využívají synchronní generátory;
 - 4) domácí vodní elektrárny – výkon menší než 0,035 MW, využití pro lokální uzavřené sítě nebo napájení jednotlivých budov nebo rekreačních objektů.
- b) 10–100MW – střední vodní elektrárny – slouží jako stabilní zdroj elektrické energie
- c) nad 100 MW – velké vodní elektrárny (VVE) – vodní díla umístěná na velkých řekách v rámci České republiky se stabilním průtokem, mezi výkonnostně největší můžeme zařadit Vltavskou kaskádu, přečerpávací elektrárnu Dlouhé stráně nebo Dalešice (BEDNÁŘ, 1989).

3.5.3 Dělení vodních elektráren dle velikosti spádu (BEDNÁŘ, 1989) (viz obr. 3):

- a) spád do 20 m – nízkotlaké;
- b) spád od 20 do 100 m – středotlaké;

- c) spád nad 100 m – vysokotlaké.



Obr. 6 Rozdělení VE dle velikosti spádu A) nízkotlaké, B) středotlaké, C) vysokotlaké (Keyhani, 2011).

3.5.4 Člěnění vodních turbín dle tlaku (BEDNÁŘ, 1989)

- Rovnotlaké turbíny – jedná se o princip, kdy celá tlaková měrná energie je přeměněna na kinetickou energii v zařízení na přívodu proudu k oběžnému kolu, v takovém případě je na vstupu i výstupu oběžného kola stejný tlak, proto těmto turbínám říkáme rovnotlaké. Turbína musí být umístěna nad hladinou spodní nádrže, jinak dojde k brodění, to by znamenalo snížení účinnosti.
- Přetlakové turbíny – část tlakové měrné energie, která proudí k oběžnému kolu, je přeměněna na kinetickou měrnou energii za pomoci zařízení umístěného před oběžným kolem, zbývající část tlakové měrné energie je přeměněna na kinetickou měrnou energii oběžným kolem, když jím prochází. Turbína musí být ponořena pod hladinou spodní nádrže, jinak by hrozila ztráta spádové rychlosti a tvorba kavitace.

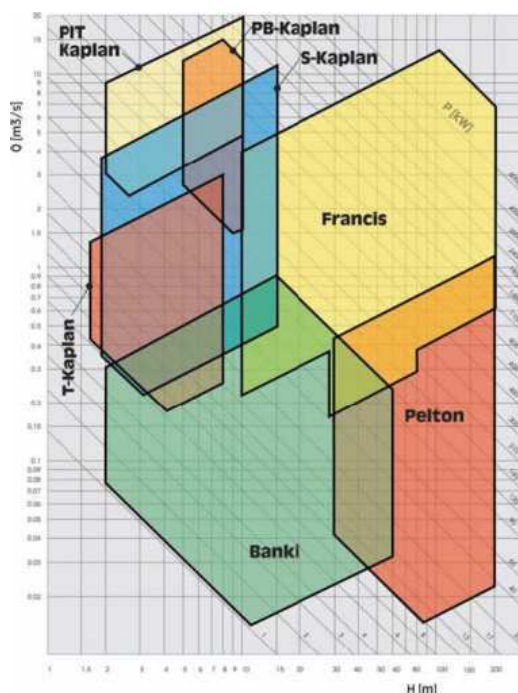
3.5.5 Člěnění vodních turbín dle směru vstupu/výstupu (BEDNÁŘ, 1989)

- axiální – voda protéká s osou hřídele rovnoběžně;
- radiálně axiální – voda proudí oběžným kolem radiálně a po přiblížení k ose se mění směr proudění na přibližně osový;
- diagonální turbína – voda protéká v šikmém směru k ose hřídele;
- turbína se šikmým průtokem – voda vstupuje na lopatky oběžného kola z boku a vystupuje v osovém směru
- tangenciální turbína – voda vstupuje na lopatky oběžného kola v tangenciálním směru (Peltonova turbína);

- f) turbína s dvojnásobným průtokem – voda vstupuje do oběžného kola centripetálně a vystupuje centrifugálně (Bánkiho turbína).

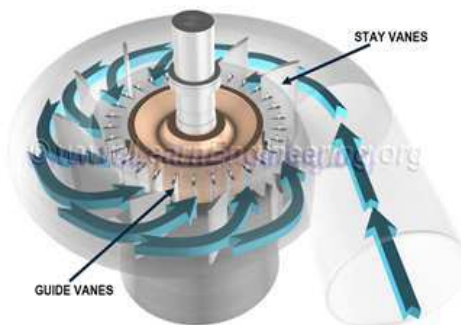
3.5.6 Členění vodních turbín dle konstrukce

Za doby užívání turbín pro výrobu elektrické energie bylo vyvinuto více typů, základem je třeba znát parametry, na které se vodní elektrárna navrhuje (spád, průtočné množství). V rámci ČR se nejvíce používají turbíny typu: Francisova, Kaplanova, Peltonova.



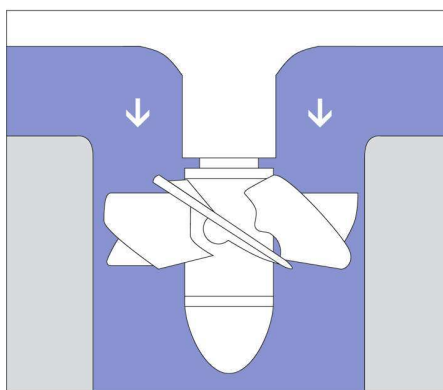
Obr. 7 Diagram optimálního využití vodních turbín (Oenergetice, 2016).

Francisova turbína – historicky se jedná o nejrozšířenější typ turbíny používané u malých vodních elektráren. V minulosti se využívalo pro minimální měrnou energii $E > 20$ J/kg, v dnešní době to je od $E = 50\text{--}3\,000$ J/kg. Pro MVE se používá technické řešení v podobě spirálových Francisových turbín, potřebná měrná energie je $E = 200\text{--}3\,000$ J/kg. Rozváděcí lopatky jsou natáčivé, lze je tedy ovládat dle potřeby, oběžné kolo je v poloze s horizontálním průtokem. Pro větší rozměry je uspořádání průtoku vertikální.



Obr. 8 Francisova turbína (Mechanicalbooster, 2018).

Kaplanova turbína – pro tuto turbínu je charakteristický axiální průtok vody oběžným kolem, lze použít pro vyšší průtoky a vyšší otáčky, díky tomu může být celkově menší než Francisova turbína s obdobnými parametry. Výhodou je dvojitá regulace za pomoci regulovatelného rozvaděče, to stejné platí pro oběžné kolo. Hodnoty měrné energie $E = 15\text{--}150 \text{ J/kg}$, přičemž v okrajových hodnotách $E < 20 \text{ J/kg}$ je ekonomické využití malé.



Obr. 9 Kaplanova turbína (VDE, 2008).

Peltonova turbína – používaný typ turbíny pro MVE, využití pro měrné energie v průmyslu $E = 500\text{--}4\,000 \text{ J/kg}$ a průtoku $Q = 0,2\text{--}3 \text{ m}^3/\text{s}$, pro MVE měrné energii $E > 200 \text{ J/kg}$ a $Q = 0,01\text{--}0,20 \text{ m}^3/\text{s}$. Konstrukční řešení je relativně jednoduché, toho lze využít pro krajní parametry průtoku a měrné energie. Rozvod vody je zajištěn dýzami (tryskami), kterými vychází voda ostříkující lopatky kola. Dýza přeměňuje měrnou energii na kinetickou. Oběžné kolo turbíny se skládá z náboje a lopatek umístěných na obvodu. Změnou průtoku otevřením nebo zavřením výstupního otvoru dýzy dosahujeme regulace výkonu (BROŽ, a další, 2003).

3.5.8 Zdroje vodní energie dělíme na přirozené a umělé

Přirozené zdroje vodní energie jsou místa (BOYLE, 2004):

- a) se soustředěným spádem vody na jedné řece; do této kategorie patří vodopády, prahy; takové řešení nevyžaduje vysoké náklady a energetický výnos je o dost větší, např. řeka Niagara v Severní Americe nebo Imatra na řece Vuoksi ve Finsku a další;
- b) kde se získá značný energetický užitek za pomoci převedení vody z jedné řeky do druhé;
- c) využívající vody z vysokohorského jezera se stálou anebo kontinuálně obnovující se hladinou vody.

Umělé zdroje vodní energie:

Místa s příznivě přirozeným soustředěným výskytem vodní energie se vyskytují velmi zřídka, proto pro využití vodní energie je hlavní prostředek umělé akumulování vodní energie za pomoci různých technických zařízení.

Umělé soustředění spádu (BENDA, 2012):

- a) přehradní nádrže – využívají vzdouvacího zařízení (vysoký jez nebo hráz), budují se na řekách o nízkém sklonu dna a velkým průtokem, spodní část přehrady musí být masivní, součástí stavby přehrady bývají rybí přechody, nejběžněji se používá Kaplanovy turbíny – vhodné pro proměnlivé průtoky a spády;
- b) derivační nádrže – využívají přirozených průtoků bez akumulace vody, používají se na řekách s větším sklonem dna, tzn. na horním až středním úseku toku, využívají spádu pro vedení vody do derivačního kanálu, napříč tokem není třeba stavět velké vzdouvací stavby; derivační vodní elektrárny mohou být s volnou hladinou, tlakové nebo kombinace beztlakové derivace a tlakový přivaděč, MVE bývají průtokového režimu, VVE mohou být i v regulačním provozu;

- c) přehradně derivační nádrže – využívají přehrady a většího objemu k akumulaci průtoku a ke zvýšení hodnoty spádu, mohou pracovat v regulačním provozu.

3.5.9 Hydroenergetický potenciál

Můžeme jej dělit do dvou základních skupin (BENDA, 2012):

Primární hydroenergetický potenciál – jedná se o základní informaci o toku sdělující, jaká měrná energie, uváděná v kWh/rok, je obsažena v jeho průtocích. Důležité je znát využitelný hydroenergetický potenciál, který získáme sečtením hodnot z průměrného vyrobeného množství energie na provozovaných velkých a malých vodních elektrárnách.

Sekundární hydroenergetický potenciál – vedle využití energie z vodních toků, které se obnovují (koloběh vody), je možné využívat energii vody naakumulované, tzn. dvě nádrže, které jsou vůči sobě postaveny tak, že jedna je na kopci a druhá pod kopcem. Voda se mezi nimi přečerpává, podle toho, jak je třeba, když je špička nebo je energie nadbytek. Takovým speciálním elektrárnám říkáme přečerpávací vodní elektrárny.

3.5.10 Environmentální přínosy vodních elektráren (PALACIO, 2004)

1. Vodní energie se řadí mezi nevyčerpatelné vodní zdroje.
2. Levné na provoz.
3. Neprodukují žádné zdraví škodlivé emise.
4. Rychlý náběh – užitečné v případě špičkové potřeby energie.
5. Přehradní vodní elektrárny umožňují i další využití (rekreační, rybářství atd.).

3.5.11 Environmentální negativa vodních elektráren (PALACIO, 2004)

1. Finančně a časově náročná stavba.
2. Záběr velké části území kolem stavby – změna reliéfu okolí.
3. Dlouhá životnost zařízení.
4. Hráže a jezy brání říční dopravě – zapotřebí budovat plavební komory.
5. Stavby zahrazující průtok toků brání tahu ryb – výstavba rybích přechodů.
6. Rizika havárie nebo přírodních katastrof (zemětřesení).

3.6 Geotermální energie

3.6.1 Princip geotermální energie

Teplo je forma energie a geotermální energie je vlastně teplo obsažené v naší zemi. Geotermální energie je v současnosti jediný zdroj nezávislý na slunci. V jádru naší planety je termální energie tvořena radioaktivním rozkladem a teplotami přesahujícími 5 000 °C. Teplo prostupuje z jádra naší planety až k povrchu, kde jsme schopni teplo využívat pro ohřev kapalin nebo přetransformovat jej na energii elektrickou (DAVÍDKOVÁ, 2015).

3.6.2 Dělení geotermálních zdrojů

Geotermální zdroje dělíme na vysokoteplotní s teplotou přes 200 stupňů, středně teplotní zdroje v rozsahu od 150 do 200 °C a nízkoteplotní zdroje s teplotou pod 150 °C, těchto je nejvíce v rámci podzemních zdrojů, jejich využití je nejčastější pro vytápění a ohřev (DRÁBOVÁ, a další, 2014).

3.6.3 Oblasti vhodné pro geotermální energetiku v ČR

V rámci České republiky jsme schopni podle výpočtů identifikovat kolem šedesáti lokalit, které jsou vhodné pro výrobu elektřiny, a to s celkovým výkonem okolo 250 MW, pro vytápění by se dalo počítat s výkonem okolo 2 000 MW, to by znamenalo přibližně 2 TWh elektřiny a 4 TWh využitého tepla. Proto můžeme říci, že v rámci České republiky je geotermální energie docela perspektivní zdroj; bude ale ještě několik let trvat, než získáme dostatek zkušeností a potvrdí se nám to, co zatím víme teoreticky (SCHUHOVÁ, 2015).

Tepelná čerpadla jsou samostatnou kapitolou, kdy hovoříme o tzv. nízkoteplotních zdrojích pro výrobu tepla (QUASCHNING, 2010).

3.7 Biomasa a její podprodukty bioplyn, kapalná biopaliva

Od doby, kdy člověk jeskynní objevil oheň, stalo se dřevo pro člověka nejvýznamnějším zdrojem energie. Z pohledu času dřevo jako biomasa je nejdéle využívaným zdrojem energie. Dominantní postavení biomasy skončilo až příchodem průmyslové revoluce, kdy se jako zdroje energie začalo ve velkém měřítku využívat uhlí. I v dnešní době jsou země, kde největší podíl na zdroji energie má tzv. tradiční biomasa, můžeme hovořit o zemích třetího světa. Naopak v průmyslově vyspělých zemích až téměř

do konce 20. století nebyl o biomasu téměř žádný zájem, např. v Německu byl podíl biomasy ani ne 3 %. Počátkem 21. století začala celosvětově růst cena ropy. To můžeme považovat za spouštěč, kdy si vyspělé země začaly hledat zdroje, které by ropu mohly alespoň částečně nahradit, a biomasa se zdála být zajímavou alternativou. Kromě tradičního spalování a získávání tepelné energie z biomasy je možné ji využívat i jinými způsoby za pomoci moderních technologií, třeba pro výrobu elektrické energie, paliva nebo plynu (PALACIO, 2004).

Biomasa patří mezi alternativní zdroje, ale zároveň její největší devízou je vlastnost, že se jedná o obnovitelný zdroj energie. Biomasa má menší energetickou hustotu než fosilní paliva, a tak kdyby bylo zapotřebí ji přepravovat na velké vzdálenosti do zpracovatelských míst, její využití by bylo neekonomické, ale díky možnostem pěstovat biomasu cíleně v blízkosti jejího zpracování, odpadá tak složitá a nákladná manipulace (DRÁBOVÁ, a další, 2014).

3.7.1 Zdroje biomasy (BENDA, 2012)

a) zemědělská biomasa

- zemědělské plodiny (obilniny, kukuřice, řepka olejka, cukrová řepa)
- cíleně pěstované byliny (ozdobnice čínská, psineček velký, krmný šťovík, konopí seté)
- cíleně pěstované dřeviny – rychlerostoucí dřeviny (topoly, vrby)

b) lesní biomasa

- palivové dřevo, dřevní štěpka, kůra stromů

c) zbytková biomasa

- vzniká druhotně při zpracování primárních zdrojů (zbytky rostlinné výroby, zbytky ze zpracování dřeva, odpady ze živočišné výroby, organický podíl komunálních odpadů, kaly z čistíren odpadních vod)

3.7.2 Potenciál biomasy v ČR

Bioenergie je decentralizovaný zdroj energie. Aplikování pěstováním rostlin nebo druhotné využití biologického odpadu v energetice má pozitivní dopady na široké okolí tím, že umožňuje vytvářet další pracovní místa v různých průmyslových odvětvích. V celém průběhu řetězce činností od samotného počátku sázení, růstu, sklizení a

následného zpracování je zapotřebí práce lidí od té obyčejné manuální až po specializovanou práci inženýrů. Stojí za to uvést, že celý tento proces má i pozitivní ekonomický, environmentální dopad na danou oblast. Region má možnost si udržet dlouhodobě trvající zaměstnanost, ekonomickou soběstačnost. Např. zemědělci nemusí pěstovat pouze potraviny pro přímou spotřebu, ale mohou se specializovat na pěstování rostlin pro energetické využití (PALACIO, 2004).

Co je zajímavé a stojí za zmínku, obnovitelné zdroje mají jednu společnou vlastnost, kromě biomasy a přílivových elektráren, jsou dost proměnlivé a relativně nepředvídatelné. Tyto zdroje postupně napojujeme do energetických sítí a doufáme v relativně stálou dostupnost elektrické energie. Realita je ale jiná, vždy existuje možnost existence výpadku některého ze systému, který si vyžádá servis atd. Hledají se řešení, jak takovýmto výpadkům předcházet, aby byla zajištěna kontinuální dodávka energie. Biomasa jako jeden z alternativních zdrojů má výhodu, že její energii lze uskladňovat ať jako palivo pro některý typ zpracování, nebo jako finální produkt (bioplyn, bionafta, biolih atd.), který lze v případě potřeby využít pro výrobu elektrické nebo tepelné energie (FRERIS, a další, 2008).

4 ELEKTRICKÁ ENERGIE ZÍSKÁVANÁ Z VODNÍCH ZDROJŮ V ČR

4.1 Významné velké vodní elektrárny v ČR

4.1.1 Vltavská kaskáda

Návrhy na splavnění střední části Vltavy mají dlouhou historii. O takové možnosti se už uvažovalo ve středověku za Karla IV. Využití Vltavy spočívalo v dopravě surovin potřebných na výstavbu Prahy (kámen, sůl, dřevo). Až na konci 19. stol. se začalo hovořit o reálném splavnění Vltavy. První návrh počítal splavnit úsek České Budějovice – Mělník, na kterém by bylo 33 nízkých stupňů o výšce 2–4 m, součástí by byly i plavební komory pro lodi o velikosti 600 až 700 tun. Kromě tohoto projektu následovaly i další velké návrhy. Během začátku 20. stol. se o možnosti splavení střední části Vltavy vedly velké rozepře, až po první světové válce v roce 1919 byl vydán zákon o takzvané „soustavné elektrizaci“, tzn. veškerá vodní díla uvažovaná pro splavení měla být v rámci možností využita i energeticky (vodní elektrárny).

První realizovanou stavbou na tomto úseku bylo zdymadlo u Vraného nad Vltavou, které bylo první stavbou po 30 letech od vydání vodocestného zákona. V průběhu realizace stavby nebylo ještě známo, jak vysokou přehradu bude zapotřebí vybudovat u Štěchovic. Druhá stavba započala v roce 1938, a to těsně před druhou světovou válkou. Zajímavostí zůstává, že to byla jedna z mála staveb, kterou během okupace Němci nezastavili, naopak viděli v tom možnost prosperity do budoucna. Štěchovická přehrada byla dokončena na konci druhé světové války a již v dané době bylo jasné, že je zapotřebí dalších vodních děl pro akumulaci velkého množství vody užitečného pro hospodářský vývoj v poválečném Československu. Bylo rozhodnuto postavit přehradu Slapy na střední Vltavě a na horní Vltavě pak přehradu Lipno. Vodní dílo Slapy bylo nakonec realizováno až ve Svatojánských proudech, jelikož původní záměr postavit přehradu o výšce stupně 37 m a akumulačním objemu 60 mil. m³ nebyl dostatečný. Vyšší přehrada v uvažovaném místě z geologických důvodů nemohla být realizována, proto se přistoupilo k hledání nového umístění. Stavba byla dokončena v roce 1955, následovala další přehrada Kamýk a na nejvyšším místě Vltavské kaskády se spádem 70,5 m přehrada Orlík. Po dokončení těchto dvou přehrad vznikl soubor vodních děl, jak ho známe dnes, Vltavská kaskáda. Význam

Vltavské kaskády je nepopiratelný, zastává velkou roli v mnoha ohledech, výroba elektrické energie, plavební činnost, rekreační, rybářská, a tak protipovodňová. Poslední nejvýznamnější povodeň byla v červnu 2013 a i přes škody, které povodně napáchaly, nebyly následky díky Vltavské kaskádě takové, jako kdyby Vltavská kaskáda neexistovala (POVODÍ_VLTAVY, 2013).

4.1.2 Základní parametry vodních děl Vltavské kaskády

a) Vodní elektrárna Vrané:

- klasická průtočná elektrárna se dvěma turbínami typu Kaplan
- instalovaný výkon 2 x 6,94 MW
- rok uvedení do provozu 1936
- objem nádrže 11,1 mil. m³
- délka nádrže 2 km na Vltavě a 3 km na Sázavě

Budova vodní elektrárny stojí na pravém břehu, soustrojí elektrárny (oběžná kola turbín) bylo modernizováno v letech 1978–1980, to vedlo ke zvýšení účinnosti a hltnosti, v roce 1992 byla dokončena modernizace řídicího systému, který teď umožňuje bezobslužné řízení elektrárny.

Je to poslední stupeň na Vltavské kaskádě, společně s nádrží Štěchovice vyrovnává špičkový odtok z hydroelektrárny Slapy, její spodní nádrž je využívána jako spodní nádrž pro přečerpávací nádrž Štěchovice II., samotná nádrž je vybavena hydroelektrárnou a dvěma plavebními komorami. Vzdouvací zařízení se skládá z jezu o 4 přelivných hranách po 20 m a hrazených na výšku ocelovými hradidly 9,4 m.

b) Vodní elektrárna Štěchovice:

- klasická průtočná středotlaká elektrárna se 2 turbínami typu Kaplan
- instalovaný výkon 2 x 11,25 MW
- rok uvedení do provozu 1943–1944
- objem nádrže 11,2 mil. m³
- délka nádrže 9,4 km

Slouží k vyrovnávání špičkového odtoku z hydroelektrárny Slapy, vyrovnává odtok z Vltavské kaskády, vyrábí pološpičkovou elektrickou energii, přehrada je 22,5 m vysoká,

120 m dlouhá a má 5 hrazených přelivných polí o kapacitě přelivu 2 400 m³/s, ovládání dálkově z velína.

c) Vodní elektrárna Slapy:

- střednětlaká vodní elektrárna s akumulací nádrží a 3 turbínami typu Kaplan
- instalovaný výkon 3 x 48 MW
- rok uvedení do provozu 1954–1955
- objem nádrže 270 mil. m³
- délka nádrže 44 km a plocha 14 km²

Vyrábí špičkovou energii (možnost najet na plný výkon za 136 s), provoz řízen dálkově, výška betonové hráze 65 m, má 4 přelivy po 8 m o kapacitě 3 000 m³/s, soustrojí elektrárny a její veškeré technické vybavení je umístěno přímo v tělese hráze, turbíny jsou sestrojeny pro spád 56 m a voda je k nim přiváděna třemi zabetonovanými ocelovými potrubími, vtok je vybaven rychlouzávěry, provizorním hrazením, hráz slouží i k rekreačním účelům.

d) Vodní elektrárna Orlík:

- střednětlaká vodní elektrárna s akumulací nádrží a 4 turbínami typu Kaplan
- instalovaný výkon 4 x 91 MW
- rok uvedení do provozu 1961–1962
- objem nádrže 720 mil. m³
- délka nádrže 70 km na Vltavě, 22 km na Otavě, 7 km na Lužnici, plocha nádrže 26 km²

Vyrábí špičkovou elektrickou energii (najeť na plný výkon 128 s), provoz řízen dálkově, je to nejobjemnější akumulací nádrž v ČR, řídí průtoky na Vltavě a dolním Labi, využívá se také pro rekreační účely, přehrada je betonová gravitační o výšce koruny 91,5 m, délka koruny 450 m, má 3 přelivy o rozměrech 15 x 8 m a kapacitou 2 184 m³/s (na stoletou vodu) a 2 spodní výpustě o průměru 4 m. Elektrárna je umístěna na levé straně řeky u paty hráze, voda je přiváděna na turbíny 4 zabetonovanými ocelovými potrubími o průměru 6 250 mm, spád je 70,5 m, vtok je vybaven rychlouzávěry, nouzovým hrazením.

e) Vodní elektrárna Lipno I.:

- vodní elektrárna s akumulací nádrží a 2 turbínami typu Francis
- instalovaný výkon 2 x 60 MW

- rok uvedení do provozu 1959
- objem nádrže 306 mil. m³
- délka nádrže 44 km, plocha 306 m²

Je to největší umělé jezero v ČR, funkce víceletého řízení odtoku, omezuje povodňové špičky, produkce špičkové elektrické energie a regulace výkonu celostátní energetické soustavy (najíždě na plný výkon za 150 s), provoz řízen dálkově. Dále využíváno k rekreaci, hráz 26 m vysoká kombinace zemní a gravitační. Elektrárna je umístěna v podzemní kaverně v hloubce 160 m pod terénem v blízkosti nádrže, voda na turbíny přitéká 2 tlačnými ocelovými šachtami průměru 4,5 m a délce 160 m skrze 2 kulové uzávěry a odváděna 3,6 km dlouhým odpadním tunelem o průřezu 8,4 x 7,8 m.

f) Vodní elektrárna Lipno II.:

- průtočná nízkotlaká vodní elektrárna s jednou turbínou typu Kaplan, je součástí Lipna I.
- instalovaný výkon 1 x 1,5 MW
- rok uvedení do provozu 1957
- objem 1,68 mil. m³

Slouží k vyrovnávání odtoku z Lipna I., hráz vysoká 11,5 m kombinovaná, provoz je plně automatizován a řízen dálkově, za pomoci trvalého provozu Lipna II. je Lipno I. schopno špičkového provozu, vyrábí trvale elektrickou energii.

g) Vodní elektrárna Hněvkovice:

- říční vodní elektrárna s 2 turbínami typu Kaplan
- instalovaný výkon 2 x 4,8 MW
- rok uvedení do provozu 1992
- objem nádrže 22,2 mil. m³

Využití pro pološpičkový provoz vodní elektrárny, zásoba technologické vody pro temelínskou elektrárnu. Na levém břehu je pro tuto funkci instalovaná čerpací stanice vody s rozvodnou, hráz je betonová gravitační o výšce 16,5 m, délka koruny 191 m, má 3 přelivy 12 m široké a hrazené segmenty z oceli. Elektrárna stojí na levém břehu od hráze, je vybavena vtokovými hradidly, česlemi a ocelovými tabulovými uzávěry, betonovými savkami, kašnami, výtokovými hradidly, provoz je řízen dálkově.

h) Vodní elektrárna Kořensko:

- průtočná nízkotlaká vodní elektrárna s 2 turbínami typu Kaplan
- instalovaný výkon 2 x 1,9 MW
- rok uvedení do provozu 1992
- objem zdrže 2,8 mil. m³

Vodní dílo Kořensko (jez) primárně slouží k udržování stálé hladiny vody, je umístěno na konci Orlické zdrže. Vodní elektrárna využívá odtékající vody z elektrárny Hněvkovice a také z řeky Lužnice. Dále jsou na jezu 4 přelivová pole o rozměrech 4 x 20 m a ocelové hydraulické klapky o výšce 4,8 m a plavební komory. Soustrojí elektrárny sestává ze 2 přímoproudých soustrojí s Kaplanovými turbínami uloženými v horizontální poloze. Pro uzavření průtoku jsou u turbín instalovány 2 klapky s hydraulickým ovládním. Provoz je řízen dálkově. Přítok do elektrárny je vybaven česlemi, čistícím strojem a hradidly na vstupu a výstupu. Zároveň do elektrárny vstupují řízené odpady z jaderné elektrárny (JE) Temelín, které jsou druhotně využívány pro svůj tlakový potenciál v malé vodní elektrárně ještě v rámci areálu JE Temelín. Výkon této malé vodní elektrárny je 0,980 MW.

i) Vodní elektrárna Kamýk:

- průtočná vodní elektrárna s 4 turbínami typu Kaplan
- instalovaný výkon 4 x 10 MW
- rok uvedení do provozu 1961
- objem nádrže 12,8 mil. m³, délka nádrže 10 km

Vodní elektrárna Kamýk pracuje v tandemu s vodní elektrárnou Orlík, která vyrábí špičkovou elektrickou energii. Přehrada umožňuje vyrovnávat hladinu odtoku z vodní elektrárny Orlík. Součástí vodního díla je plavební komora propojující vodní dopravu nádrže Kamýk a Slapy. Přehrada je betonová gravitačního typu, výška přehrady je 24,5 m a délka 158 m. Provoz je řízen dálkově (ČEZ, 2017).

4.2 Přečerpávací vodní elektrárny

Přečerpávací vodní elektrárna (PVE) je typ hydroelektrárny, který fakticky nezvyšuje využití hydroenergetického potenciálu naší země. Je to zdroj, jehož

pomocí se elektrická energie pouze uskladní pro případ nutnosti v energetické špičce (PAŽOUT, 1982).

Z dnešního pohledu se zvyšuje význam PVE právě z důvodů využívání alternativních zdrojů energie. Elektrická energie vyrobená sluncem nebo větrem bývá nestabilní vlivem povětrnostních podmínek, tím tedy, jsou-li ideální podmínky, dochází k nadbytku produkce elektrické energie z těchto zdrojů. A protože elektrickou energii neumíme zatím efektivně uskladnit ve větším množství na jednom místě, přečerpávací vodní elektrárny jsou svým způsobem nejideálnější technické řešení, jak takovým požadavkům vyhovět. Hledání nových technických řešení neustále pokračuje, ale momentálně se jedná o nejvíce využívaný způsob uskladnění energie (BOYLE, 2004).

4.2.1 Princip přečerpávací vodní elektrárny

Přečerpávací elektrárna se skládá:

- ze dvou nádrží, které jsou vůči sobě v různých výškových hladinách (jedna je v údolí a druhá na kopci)
- z přivaděče, kterým jsou nádrže propojeny
- z elektrárny.

Pro výrobu elektrické energie se dnes používají reversní Francisovy turbíny, které fungují ve dvou cyklech:

- a) Je-li v síti přebytek elektrické energie a horní nádrž je prázdná, přepne se elektrárna do čerpadlového cyklu. Kolo turbíny je zaplněno vodou (odvzdušněno), uzavírací armatura otevírá přívod vody z dolní nádrže k turbíně a kombinovaný elektropohon s generátorem rozbíhá lopatky turbíny, a tím přečerpává vodu do horní nádrže, tak je přebytek elektrické energie spotřebováván.
- b) Je-li naopak elektrické energie nedostatek a horní nádrž je plná, přepíná se elektrárna do turbínového cyklu. Voda z horní nádrže je přečerpávána do dolní. Proud protéká přivaděčem na lopatky turbíny, která roztáčí elektropohon s generátorem a tentokrát vyrábí elektrickou energii do elektrické sítě (BUDÍN, 2015).

V elektrizační soustavě plní elektrárna ještě několik dalších funkcí (QUASCHNING, 2010):

- a) Funkci statickou – přeměňuje nadbytečnou energii z elektrické sítě na energii špičkovou, tzn. v době přebytku elektrické energie v síti (hlavně v noci), kdy je energie levná, se voda přečerpává z dolní nádrže do horní a ve špičce, v době nedostatku elektrické energie se v turbínovém cyklu vyrábí elektřina, která se za vyšší cenu dodává do elektrické sítě.
- b) Funkci dynamickou – elektrárna je tak schopna plnit funkci výkonové rezervy systému a vyrábět regulační energii, a tím se podílet na řízení kmitočtu soustavy.
- c) Funkci kompenzační – reguluje napětí v soustavě.

4.2.2 Historie přečerpávacích elektráren v ČR

První PVE v českých zemích byla elektrárna Černé jezero postavená na počátku elektrifikace, to znamená okolo roku 1930. Stavba byla umístěna na Šumavě na řece Úhlavě u obce Hojsova Stráž. Malá přehrada tvořila spodní nádrž a z ní se pak voda přečerpávala do horní nádrže Černé jezero o nadmořské výšce 1 008 m. Elektrárnu postavily Škodovy závody Plzeň. Výkon elektrárny činil 1,5 MW a byla provozována až do roku 1960, kdy byl provoz ukončen. Dnes technické vybavení slouží jako skanzen. Jako druhá byla na našem území postavena přečerpávací elektrárna Štěchovice II., pak Dalešice a Dlouhé Stráně. Pro zajímavost jako poslední byla zprovozněna PVE v bývalém černouhelném dole Jeremenko v Ostravě o výkonu 0,650 MW. Ta ale neslouží ke komerčním účelům, je určena pro účely výzkumné (VOBOŘIL, 2016).

4.2.3 Přečerpávací vodní elektrárny v ČR

- a) PVE Štěchovice II.
 - spád 220 m
 - instalovaný výkon po rekonstrukci 45 MW
 - rok uvedení do provozu 1947, v roce 1991 pro zastaralost odstavena, 1992–1996 rekonstruována
 - objem umělé nádrže 500 000 m³ na kopci Homole
 - přivaděč potrubí průměr 1,7– 2 m, délka 590 m

Jednalo se o první velkou přečerpávací elektrárnu na území českého státu a stala se součástí Vltavské kaskády. Původní soustrojí se skládalo z 2 turbín o 21 MW a co bylo ve své době unikátní, elektrárna byla plně automatizována a teplo získávané z chlazení bylo druhotně využíváno pro ohřev vody v bazéně, který byl nedaleko. Do doby odstavení v roce 1991 vyrobila 1 650 000 MWh z velké části špičkové elektrické energie. Pro svůj význam byla zrekonstruována, dvojí soustrojí bylo nahrazeno jedním reverzním soustrojím typu Francis s oběžným kolem o průměru 2,2 m a hltností 24 m³/s, vyrobeno v ČKD Blansko. Elektrárna je schopna najet na plný výkon už za 100 s. Účinnost vzrostla z původních 50 % na 75 % a provoz je řízen dálkově. Soustrojí je uloženo v podzemí v betonové kaverně vysoké 45 m (VOBOŘIL, 2016).

b) PVE Dalešice

- spád 90 m
- instalovaný výkon 4 x 120 MW
- rok uvedení do provozu 1978
- objem nádrže 127 mil. m³

Hlavním úkolem vodního díla Dalešice o rozloze 480 ha je dodávka technologické vody do jaderné elektrárny Dukovany a zajišťuje spád a vodu pro PVE Dalešice. Hráz přehrady je rokfilová sypaná s jílovým těsněním, výška hráze je 100 m a délka 350 m, v České republice je svého druhu nejvyšší. Součástí přehrady je vyrovnávací nádrž Mohelno. Dále je přehrada využívána k nadlepšování průtoku řeky Jihlavy, rekreačním účelům, tlumení povodní. PVE dosáhne plného výkonu do 60 s, a tak slouží k výrobě špičkové energie a reguluje výkon v celostátní energetické soustavě, provoz je řízen dálkově (ČEZ, 2017).

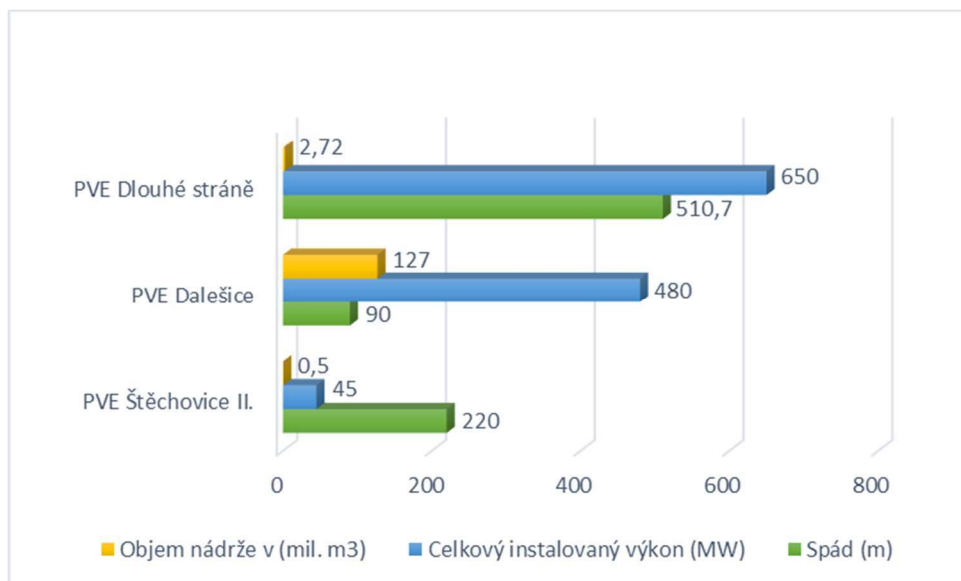
c) PVE Dlouhé stráně

- spád 510,7 m
- instalovaný výkon 2 x 325 MW
- rok uvedení do provozu 1996
- objem horní nádrž 2,72 mil. m³, dolní nádrž 3,4 mil. m³

Přečerpávací elektrárna Dlouhé stráně leží na Moravě v okrese Šumperk, výstavba byla započata v roce 1978 a dokončena až v roce 1996, jelikož mezitím v osmdesátých letech centrální orgány rozhodly utlumit stavbu. Až v roce 1985 byl projekt modernizován

a v roce 1989 znovu spuštěn. V původním projektu bylo záměrem vybudovat 4 vertikální třístrojové jednotky s celkovým výkonem 600 MW, po modernizaci se nakonec přistoupilo ke stavbě jen dvou soustrojí, která byla o to modernější a účinnější, takže celkový výkon vzrostl na 650 MW. Turbíny jsou typu reverzní Francis a v čerpadlovém režimu jsou pomocí motorgenerátoru schopny vyvinout výkon 312 MW každá, v režimu turbínovém je to 325 MW každá. Horní nádrž je umístěna na kopci Dlouhé stráně ve výšce 1 350 m nad mořem, dolní nádrž má výšku hráze 56 m a je přímo na říčce Divoká Desná. Nádrže jsou propojeny dvěma přivaděči, ty mají délku 1 547 m a 1 499 m. Samotná elektrárna je ještě spojena se spodní nádrží dvěma odpadními tunely o délkách 354 m a 390 m s průměrem 5,2 m každý. Hladina v nádrži kolísá o 22,2 m, v závislosti na cyklu, ve kterém se elektrárna nachází. Maximální průtok vody přivaděčem je 68,5 m³/s. Provoz elektrárny je řízen dálkově. Najet na plný výkon je schopna za 100 s a objem horní nádrže 2,72 mil. m³ vystačí při plném provozu na 6 h výroby elektřiny. Naplnit horní nádrž zabere 7 h a přepnutí z turbínového do čerpadlového režimu trvá 150 s, pokud by nabíhala z klidu do čerpadlového režimu, potom to potrvá 400 s. Elektrárna se už od počátku své stavby jevila ochráncům přírody jako kontroverzní vzhledem k tomu, že se nachází v chráněné krajinné oblasti Hrubý Jeseník. Proto se přistoupilo k řešení, kdy celý provoz byl umístěn do podzemí, tak aby začlenění do krajiny bylo co nejšetrnější, za to si elektrárna také vysloužila ocenění jako jedna z neekologičtějších energetických staveb v celé Evropě. V areálu elektrárny Dlouhé stráně se nachází ještě jeden energetický zdroj, je to nízkotlaká vodní elektrárna, která slouží pro dodávku energie vlastní spotřeby, turbína typu Francis o výkonu 0,163 MW je na výpusti z dolní nádrže (VOBOŘIL, 2016), (ČEZ, 2017).

Na obr. 4 lze vidět porovnání výkonů přečerpávacích vodních elektráren v České republice. Nejmenší ze všech tří je sice elektrárna Štěchovice II., ale je nutno říci, že se jedná o nejstarší přečerpávací elektrárnu v ČR a svým spádem se už řadí mezi vysokotlaké vodní elektrárny současně s PVE Dlouhé stráně, která je největší přečerpávací elektrárnou v ČR. PVE Dlouhé Stráně zaujímá první místo jak výkonem, tak kromě toho spádem, horní nádrž je umístěna až 1 350 m nad mořem.



Obr. 12 Přečerpávací elektrárny v ČR

4.2.4 Potenciál přečerpávacích vodních elektráren

Předpoklad většího využití PVE existuje, ale je závislý na návratnosti investic do takové stavby PVE. Hodnota takové stavby se pohybuje řádově v miliardách korun, proto je pochopitelné, že investor potřebuje mít jistotu viditelné návratnosti investic. Dá se očekávat, že pokračujícím přestupem z fosilních paliv na čím dál větší využívání OZE bude zapotřebí zajistit uložení přebytečné energie, kterou OZE vyprodukují v době pro ně ideálních podmínek, např. sluneční nebo větrné energie. Zatím se investuje do stávajících PVE, modernizuje se technické vybavení strojoven. Do budoucna se uvažuje i o přestavbě některých stávajících přehrad s vodní elektrárnou na PVE, např. Orlík (VOBOŘIL, 2016).

4.3 Významné malé vodní elektrárny v ČR

a) MVE Slezská Harta

- 2 turbíny typu Francis o výkonech 0,4 a 2,75 MW
- objem nádrže 218,7 mil. m³
- rok uvedení do provozu 1997

Vodní nádrž je propojena s nádrží Kružberk, dohromady tvoří kaskádu, která má za úkol zajišťovat vodu pro vodárenské účely, nadlepšovat průtoky řek Moravice, Opavy a Odry, umožnění odběru vody pro průmysl, a kromě toho slouží jako protipovodňová ochrana i jako místo pro rekreaci. Součástí nádrže je vodní elektrárna dodávající

elektrickou energii do celostátní sítě. Hráz je sypaná, má jílové jádro a kamenitou stabilizaci. Výška hráze je 65 m a délka 540 m (SLEZSKÁ_HARTA, 2002), (POVODÍ_ODRY, 2017).

b) MVE Libčice

- 2 turbíny typu Kaplan
- instalovaný výkon 2 x 2,275 MW
- provozní spád 2,3–4,2 m
- rok uvedení do provozu 1998

Malá vodní elektrárna Libčice je součástí jezu Libčice – Dolany na řece Vltavě, který byl součástí rozsáhlého projektu splavnění Vltavy na konci 19. století. Jez byl rekonstruován v osmdesátých letech a v devadesátých letech bylo rozhodnuto na něm postavit malou vodní elektrárnu. Elektrárna je umístěna v budově na levém břehu vedle pilíře jezu. Turbíny mají maximální hltnost 2 x 80 m³/s (POVODÍ_VLTAVY, 2013).

c) MVE Trnávka

- 2 turbíny typu Banki Cink
- instalovaný výkon 0,165 MW
- provozní spád 12,0–13,7 m
- rok uvedení do provozu 1981

Vodní dílo Trnávka najdeme na řece Trnava nad obcí Želiv. Hlavním důvodem stavby této nádrže společně s nádržemi Sedlice a Němčice je zachytávání splavenin, které přináší tok do nádrže Želivka. Výška hráze je 19 m a délka 200 m. Součástí hráze je funkční objekt, který v sobě zahrnuje bezpečnostní přeliv, spodní výpustě, odpadní štolu a vývar. Objem nádrže je 6,7 mil. m³. Malá vodní elektrárna je umístěna ve spojovací chodbě sruženého objektu. Součástí vodního díla je slalomová dráha dlouhá 500 m. Bezpečnostní přeliv se 4 poli o rozměrech 4 x 11,5 m (POVODÍ_VLTAVY, 2013).

d) MVE Přísečnice

- 1 turbína typu Pelton
- instalovaný výkon 0,018 MW
- spád 32,6 m

- e) MVE Hradiště – původní
 - 1 turbína typu Francis
 - instalovaný výkon 2,1 MW
 - spád 185–220 m
- f) MVE Hradiště – nová
 - 1 turbína Pelton
 - instalovaný výkon 0,834 MW
 - spád 203,4 m

Vodní nádrž Přísečnice se nachází v okrese Chomutov u obce Kryštofovy Hamry. Leží v nadmořské výšce 732,8 m, rozloha 362 ha. Nádrž byla vybudována v letech 1969–1976. Slouží hlavně pro zásobování pitnou vodou, energetické účely a v neposlední řadě jako ochrana proti povodním.

- g) špičková MVE Meziboří
 - 2 turbína typu Francis
 - instalovaný výkon 2 x 4 MW
 - provozní spád 217–257 m
- h) MVE Fláje
 - 1 turbína typu META
 - instalovaný výkon 0,016 MW
 - provozní spád 41 m
 - rok uvedení do provozu 1960

Vodní dílo Fláje bylo postaveno na Flájském potoce u obce Český Jiřetín v letech 1951–1963. Slouží hlavně jako zásobárna pitné vody pro severočeské hnědouhelné pánve (Litvínov, Most, Osek a Krubka), další funkcí je protipovodňová ochrana a energetické využití. Přehrada svou konstrukcí patří mezi unikátní stavby, její hráz je totiž dutá a jediná svého druhu v České republice.

- i) MVE Nechranice
 - 2 turbína typu Kaplan
 - instalovaný výkon 2 x 5 MW
 - hltnost 2 x 16 m³/s

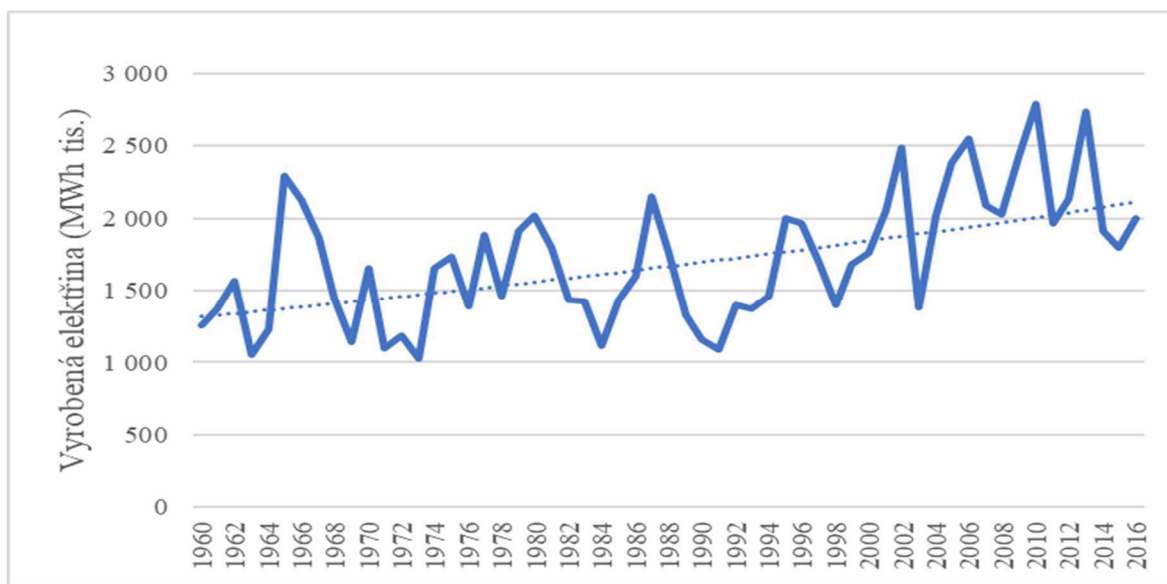
Vodní nádrž Nechanice patří mezi pět největších vodních nádrží v ČR rozlohou 1338 ha, sypaná přehradní hráz o délce 3280 m je nejdelší ve střední Evropě. Nádrž je vybudována na řece Ohři, zprovozněna byla 1968 a slouží k energetickému využití, rekreaci, řízení průtoků pod hrází. Nachází se v okrese Chomutov v Severních Čechách (POVODÍ_OHŘE, 2017).

5 POROVNÁNÍ VÝZNAMU VODNÍCH ZDROJŮ V ČR A V ZAHRANIČÍ (NORSKO)

5.1 Množství produkce energie vodních elektráren v ČR

Tab. 2 Vývoj hrubé produkce elektřiny ve vodních elektrárnách_MWh tis. (MPO, 2017)

Roky	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
VE	1 257	1 369	1 568	1 049	1 233	2 291	2 123	1 866	1 440	1 143	1 659	1 100
Roky	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
VE	1 184	1 029	1 651	1 735	1 388	1 888	1 457	1 913	2 016	1 793	1 436	1 423
Roky	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
VE	1 116	1 437	1 603	2 151	1 762	1 328	1 161	1 089	1 402	1 369	1 460	2 002
Roky	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
VE	1 969	1 699	1 396	1 681	1 758	2 054	2 492	1 383	2 019	2 380	2 551	2 090
Roky	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
VE	2 024	2 430	2 789	1 963	2 129	2 735	1 909	1 795	2 000	-	-	-



Obr. 13 Vývoj hrubé produkce elektřiny ve vodních elektrárnách

Vodní energie je nejvýznamnějším obnovitelným zdrojem pro výrobu elektřiny v ČR, zejména z důvodu vhodných parametrů pro regulaci elektrické soustavy. Hodnota instalovaného výkonu vodních elektráren v ČR je přes 1 tis. MW (Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2005-2018).

Z dlouhodobého hlediska hrubé množství vyrobené elektrické energie ve vodních elektrárnách v České republice dle spojnice trendů stoupá (viz. tab. 2 a obr. 3). Co stojí za povšimnutí, jsou výkyvy v produkci elektřiny. Výkyvy se dají rozdělit do dvou až tříletých period, kdy se střídá vyšší a nižší produkce. Neopominutelnou roli hrají:

- Závislost na hydrologických podmínkách v hodnoceném období, více či méně vodnatá období mají podstatný vliv na celkový výsledek. Na výrobu elektřiny mají největší podíl velké vodní elektrárny.
- Politická rozhodnutí. Po znárodnění v letech 1949–1950 docházelo k rušení MVE, státní podnik neměl velký zájem o MVE a ponechal si 152 větších z MVE a do roku 1979 dostavěl jen 29 nových. Vodní energie nebyla schopna svými náklady konkurovat mnohem levnější energii vyprodukované konvenčními zdroji elektrické energie, např. tepelnými elektrárnami.
- Státní podpora pro nové zdroje formou ceny výkupu za 1 MW. V roce 2013 ČR splnila cíle pro rok 2020 v produkci elektřiny z OZE, tím ERÚ rozhodl zastavit veškerou podporu pro výrobu elektřiny z OZE pro nové zdroje.
- V roce 2016 byla vládou schválena novela zákona č. 17/016 Sb. o podporovaných zdrojích, kdy navrácí drobným výrobcům elektřiny z MVE nárok na podporu.

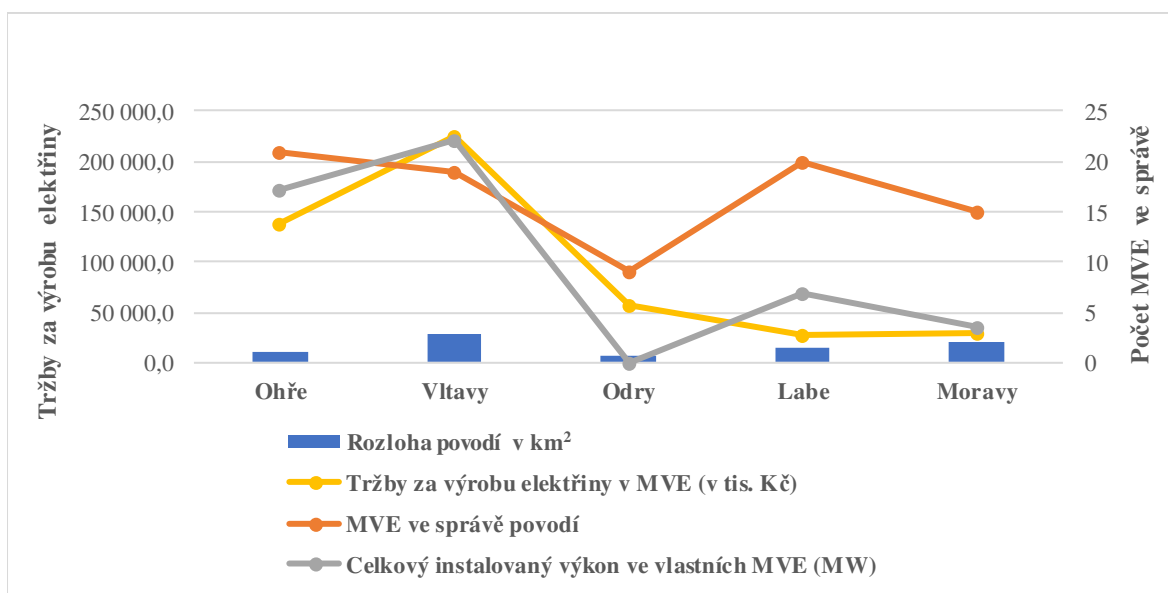
5.2 Povodí ČR výroba elektrické energie

Následující tabulky byly vytvořeny ve spolupráci s jednotlivými povodími a jsou vztaženy k výročním zprávám roku 2016. Oficiální data za rok 2017 nejsou zatím k dispozici. Informace, které jsou neúplné, nebyly správcem povodí dodány a na oficiálních stránkách povodí také nejsou uvedeny.

Z tabulek (viz tab. 3, obr. 6) je možné vyčíst počet jednotek, typ turbíny, rok uvedení do provozu a instalovaný výkon v MW. Celkový počet MVE provozovaných povodími ČR je 86 s výkonem 76,32 MW.

Tab. 3 Porovnání jednotlivých povodí ČR

Povodí	Rozloha povodí v km ²	Vodní nádrže s energetickým využitím	Jezy - energeticky využité	Počet plavebních komor	MVE ve správě povodí	Celkový instalovaný výkon ve vlastních MVE (MW)	Celkem vyrobeno elektřiny (MWh)	Tržby za výrobu elektřiny v MVE (v tis. Kč)
Ohře	10 000,0	12	13	-	21	17,091	85 071	138 347
Vltavy	28 708,0	-	-	21	19	22,128	99 500	225 704
Odry	6 252,0	-	-	-	9	-	21 800	56 669
Labe	14 454,5	16	97	30	20	6,795	12 288	27 754
Moravy	21 132,0	-	-	13	15	3,497	11 008	28 812



Obr. 14 Porovnání jednotlivých povodí ČR

Porovnával jsem výkony v poměru s velikostí jednotlivých povodí ČR. Nejlépe hodnocené je Povodí Ohře (POH). Při rozloze 10 000 km² vyprodukuje 85 tis. MWh elektrické energie využíváním vodních zdrojů ve své správě. Finální výsledek tržeb POH z prodeje elektrické energie ale v sobě kumuluje i částku za energii vyrobenou (FVE), kterých POH vlastní a spravuje 5 o celkovém výkonu 0,196 MW. S ohledem na výkon FVE a fakt, že pracují jen přes den a výkon je více závislý na slunečném počasí, předpokládaný roční zisk z takového zdroje je 300 tis. Kč za ideálních podmínek. Finální tržba z MVE po odečtení částky z FVE je stále velmi slušná.

Největší rozlohu má Povodí Vltavy (PVL), i když ke své rozloze nemá nejvíce MVE, má největší celkový instalovaný výkon, a proto PVL uváděný zisk je opodstatněný. Je téměř o polovinu vyšší než u POH.

Na třetím místě ve využití energetického potenciálu řek a samotném výkonu se umísťuje Povodí Odry (POD). POD neuvádí celkový instalovaný výkon, ale množstvím vyrobené energie se umístilo uprostřed. Nicméně, jak uvádí POD ve výroční zprávě za 2016, finální výsledek by mohl být mnohem vyšší, ale rekonstrukce přehrad na vodních nádržích Šance a Kružberk ovlivnila výsledek, navíc největší vodní elektrárna na vodním díle Slezská Harta vyrobila v roce 2016 pouze 11,0 tis. MWH elektrické energie, a tím potvrzuje přetrvávající málovodné období a za posledních 10 let dokonce druhé nejsušší období.

Na čtvrtém místě se řadí Povodí Labe, které je svými výkony lehce podprůměrné. Na druhou stranu je vidět, že se investují prostředky do nových MVE (viz tab. 7, obr. 9), které byly instalovány během posledních 20 až 30 let, to je pozitivní fakt.

Za nejslabší hospodaření lze považovat Povodí Moravy (PMO). Svoji rozlohou je to druhé největší povodí v ČR, ale množství instalovaného výkonu ve vlastních MVE je velmi malé. Výsledné množství vyrobené energie je nejnižší a tržby z prodeje elektrické energie jsou jen o málo vyšší než v Povodí Labe.

Na celkových výsledcích vyrobené elektrické energie z vodních zdrojů v celé ČR mají velký a podstatný vliv několikaletá průměrná až podprůměrná srážková období. Na suchu poukazují všechna povodí, ačkoliv v západní části republiky jsou na tom o něco lépe.

Dalším negativním dopadem na hospodaření měl vliv legislativní úpravy v oblasti podpory obnovitelných zdrojů energie, na jejímž základě MVE, u kterých byla v období října 2013 až prosince 2015 ukončena rekonstrukce nebo modernizace technologické části, se považují za uvedené do provozu dnem 1. ledna 2016. Vlivem tohoto přechodného ustanovení nebyla výrobcům rekonstruovaných MVE vyplácena podpora od 1. ledna 2016. Například pro povodí Ohře to znamenalo, že z výše uvedeného důvodu neobdrželo v roce 2016 podporu ve výši 92 mil. Kč.

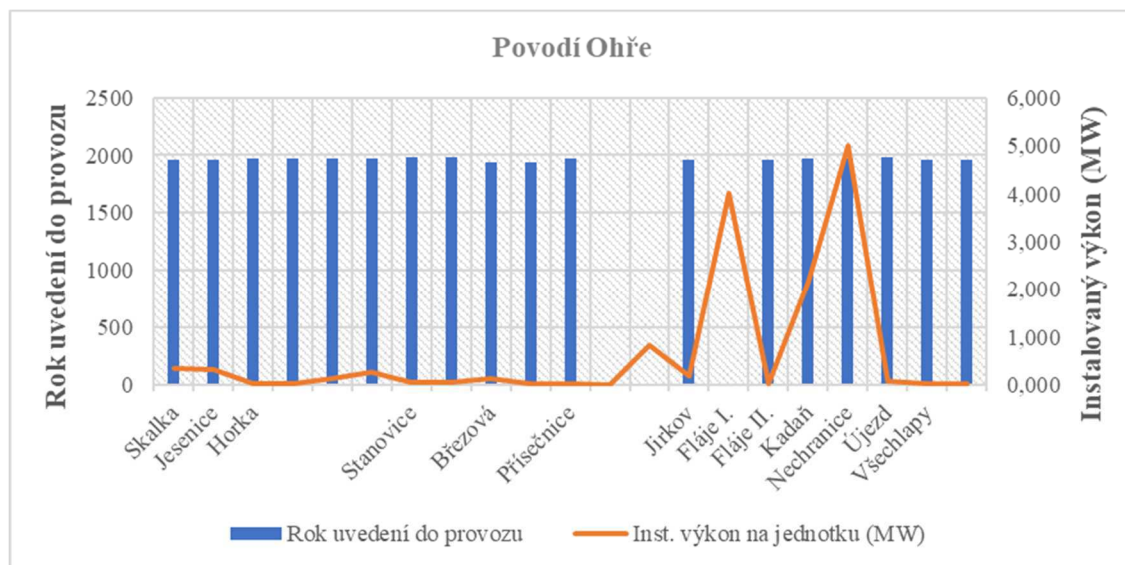
Celkové hrubé množství vyrobené elektrické energie z vodních elektráren známe, jak ale na tom jsou povodí v České republice, kolik elektrické energie bylo vyrobeno v jednotlivých MVE (viz tab. 3–7, obr. 4–7)?

V uvedeném přehledu jsou pouze MVE, zdroje energie, které jsou v držení a správě jednotlivých povodí. To potvrzuje i fakt, že na tocích ve správě Povodí Labe bylo v roce 2016 v provozu 446 cizích malých vodních elektráren o celkovém instalovaném výkonu 133,775 MW a z toho 144 MVE využívalo vzduší vodních děl jako přehrad, jezů, stupňů provozovaných povodím.

5.2.1 Povodí Ohře

Tab. 4 Povodí Ohře – výroba elektřiny v MVE za rok 2016

Povodí Ohře				
Název MVE	Počet soustrojí / jednotek	Typ turbíny	Rok uvedení do provozu	Inst. výkon na jednotku (MW)
Skalka	2	Kaplan	1964	0,350
Jesenice	1	čerpadlo v rev. chodu	1964	0,315
Horka	1	Kaplan	1969	0,025
	1	Pelton	1969	0,020
	1	Bánki	1969	0,130
	1	Francis	1969	0,250
Stanovice	1	Bánki	1978	0,037
	1	čerpadlo v rev. chodu	1978	0,046
Březová	2	Francis	1937	0,130
	1	čerpadlo v rev. chodu	1937	0,030
Přísečnice	1	Pelton	1976	0,017
	1	Francis	-	0,002
	1	Pelton	-	0,834
Jirkov	1	Francis	1965	0,194
Fláje I.	2	Francis	-	4,000
Fláje II.	1	čerpadlo v rev. chodu	1960	0,016
Kadaň	1	Kaplan	1972	2,150
Nechranice	2	Kaplan	1968	5,000
Újezd	1	Kaplan	1981	0,085
Všchlapy	1	Bánki	1961	0,022
	1	Bánki	1961	0,030



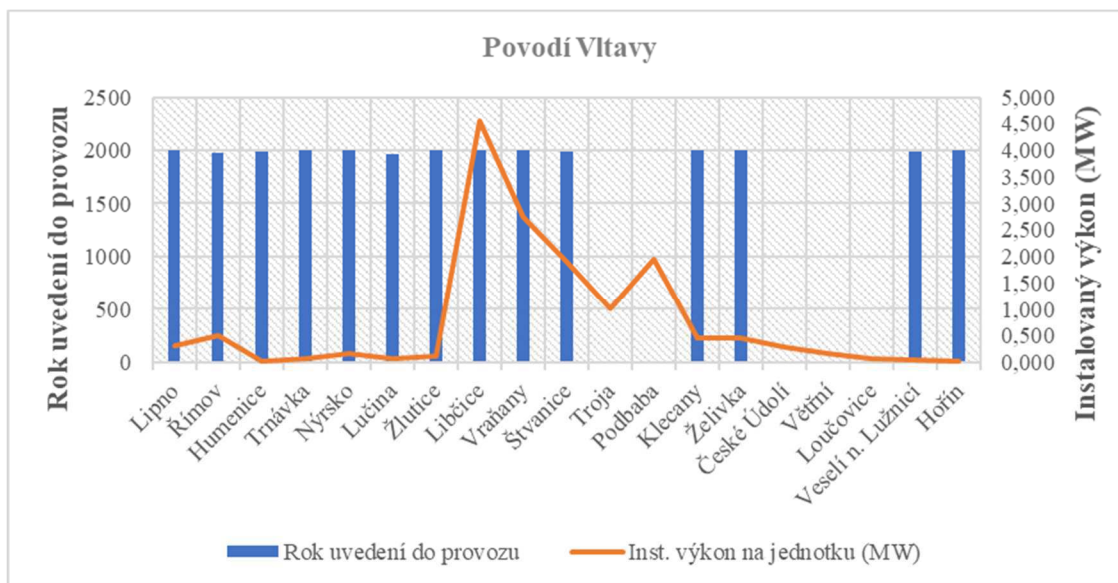
Obr. 15 Povodí Ohře – výroba elektřiny v MVE za rok 2016

V jednotlivých grafech je z časové řady dobře znatelný vývoj staveb malých vodních elektráren v jednotlivých povodích.

5.2.2 Povodí Vltavy

Tab. 5 Povodí Vltavy – výroba elektřiny v MVE za rok 2016

Povodí Vltavy				
Název MVE	Počet soustrojí / jednotek	Typ turbíny	Rok uvedení do provozu	Inst. výkon na jednotku (MW)
Lipno	1	Francis	1999	0,300
Římov	2	Bánki	1978	0,500
Humenice	1	Bánki	1988	0,018
Trnávka	2	Bánki	1997	0,083
Nýrsko	2	Bánki	1996	0,160
Lučina	2	Bánki	1966	0,075
Žlutice	2	Bánki	1997	0,111
Libčice	2	Kaplan	1998	4,550
Vraňany	1	Kaplan	2006	2,750
Štvanice	3	Kaplan	1984	1,900
Troja	2	Kaplan	-	1,000
Podbaba	2	Kaplan	-	1,960
Klecany	2	Kaplan	2002	0,450
Želivka	1	Francis	2004	0,450
České Údolí	1	Kaplan	-	0,280
Větrní	1	-	-	0,160
Loučovice	1	-	-	0,075
Veselí n. Lužnicí	1	Kaplan	1993	0,055
Hořín	1	Francis	1996	0,030



Obr. 16 Povodí Vltavy – výroba elektřiny v MVE za rok 2016

Jak je vidět dle roku uvedení MVE do provozu (viz tab. 4–8), výskyt turbín zprovozněných v 1. polovině 20. stol. není v dnešní době žádnou výjimkou, je jich stále dost funkčních. Malé vodní elektrárny mají výhodu oproti velkým vodním elektrárnám, že nejsou tak složité a náročné na údržbu a servis. To má bezpochyby velké výhody z hlediska finanční stránky, a zároveň po stránce trvanlivosti, proto elektrárny ze třicátých až čtyřicátých let nejsou výjimkou.

5.2.3 Povodí Odry

Tab. 6 Povodí Odry – výroba elektřiny v MVE za rok 2016

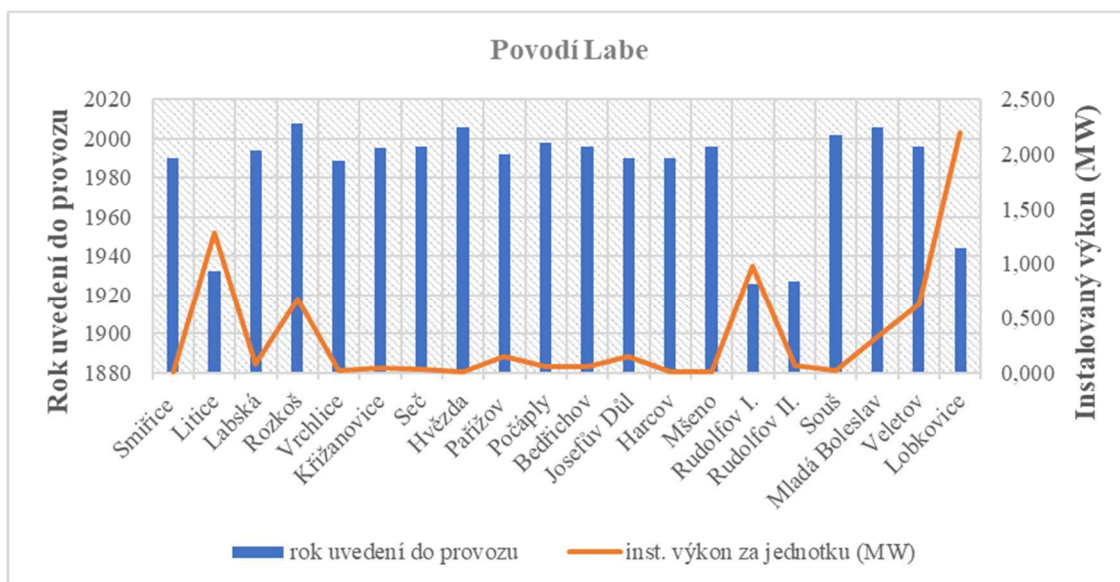
Povodí Odry				
Název MVE	Počet soustrojí / jednotek	Typ turbíny	Rok uvedení do provozu	inst. výkon na jednotku (MW)
Slezská Harta	1	Francis	1998	2,750
	1	Francis	1998	0,390
Kružberk	1	-	-	7,000
	2	-	-	0,100
Šance	1	Francis	-	0,840
	1	Bánki	-	0,230

Ve výše uvedené tabulce (viz tab. 6) jsou pouze parametry dostupné na oficiálních webových stránkách Povodí. Více informací Povodí Odry nepostkytlo. Grafické vyjádření nemá v takovém případě význam uvádět, jelikož výsledky jsou bez dostatečného množství skutečných informací zavádějící.

5.2.4 Povodí Labe

Tab. 7 Povodí Labe – výroba elektřiny v MVE za rok 2016

Povodí Labe				
Název MVE	počet soustrojí / jednotek	typ turbíny	rok uvedení do provozu	inst. výkon za jednotku (MW)
Smiřice	1	Kaplan	1990	0,006
Litice	1	Kaplan	1932	1,280
Labská	1	Bánki	1994	0,075
Rozkoš	1	Kaplan	2008	0,675
Vrchlice	1	Bánki	1989	0,023
Křižanovice	1	Francis	1995	0,045
Seč	1	čerpadlo v rev. Chodu	1996	0,030
Hvězda	1	Bánki	2006	0,011
Pařížov	2	Bánki	1992	0,150
Počápy	2	Kaplan	1998	0,060
Bedřichov	1	Francis	1996	0,060
Josefův Důl	1	Francis	1990	0,150
Harcov	1	Bánki	1990	0,011
Mšeno	1	čerpadlo v rev. chodu	1996	0,011
Rudolfův I.	1	Pelton	1926	0,980
Rudolfův II.	2	Francis	1927	0,070
Souš	1	čerpadlo v rev. chodu	2002	0,020
Mladá Boleslav	3	Kaplan	2006	0,330
Veletov	2	Kaplan	1996	0,630
Lobkovice	2	Kaplan	1944	2,200



Obr. 17 Povodí Labe – výroba elektřiny v MVE za rok 2016

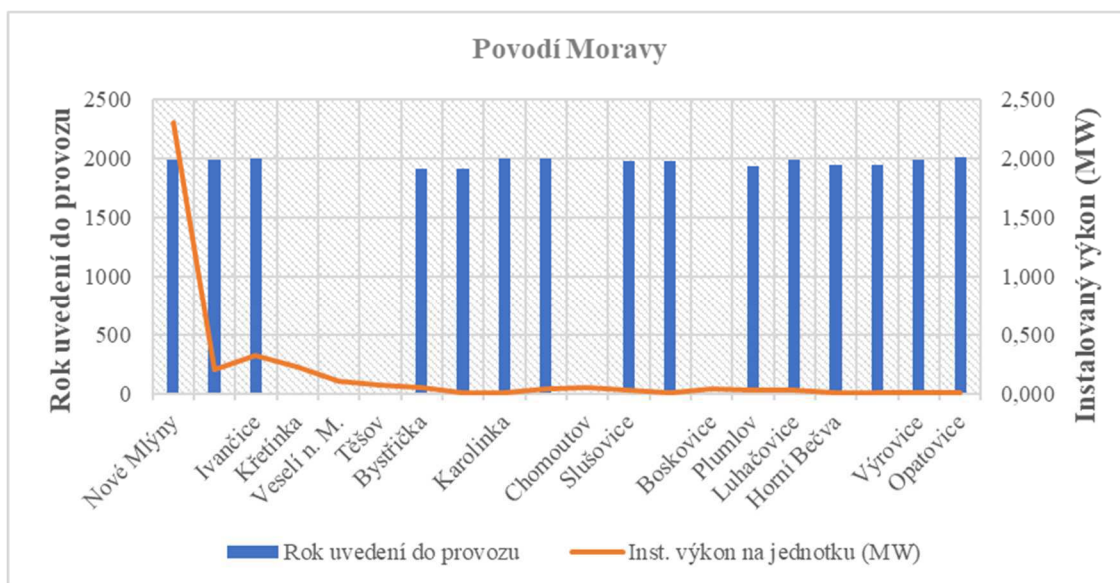
Rozmach výstavby MVE je nejvíce znatelný po roce 1989, kdy si trh začíná znovu uvědomovat energetický potenciál menších toků, které již byly v minulosti využívány a

postupně utlumeny nebo se hledají ideální místa pro výstavbu nových zdrojů elektrické energie.

5.2.5 Povodí Moravy

Tab. 8 Povodí Moravy – výroba elektřiny v MVE za rok 2016

Povodí Moravy				
Název MVE	Počet soustrojí / jednotek	Typ turbíny	Rok uvedení do provozu	Inst. výkon na jednotku (MW)
Nové Mlýny	1	Kaplan	1989	2,300
	1	Kaplan	1989	0,200
Ivančice	1	-	2001	0,320
Křetínka	1	-	-	0,225
Veselí n. M.	1	-	-	0,110
Těšov	1	-	-	0,070
Bystřička	1	Bánki	1912	0,055
	1	Bánki	1912	0,011
Karolinka	1	čerpadlo v rev. chodu	1995	0,011
	1	čerpadlo v rev. chodu	1995	0,045
Chomoutov	1	-	-	0,056
Slušovice	1	čerpadlo v rev. chodu	1976	0,030
	1	čerpadlo v rev. chodu	1976	0,007
Boskovice	1			0,045
Plumlov	1	Bánki	1932	0,031
Luhačovice	1	Bánki	1991	0,027
Horní Bečva	1	-	1947	0,009
	1	-	1947	0,006
Výrovice	1	čerpadlo v rev. chodu	1983	0,007
Opatovice	1	-	2008	0,006



Obr. 18 Povodí Moravy – výroba elektřiny v MVE za rok 2016

Nejpoužívanější typ turbíny je turbína typu Kaplan, z přehledů výše má zastoupení 35 ks, Bánki je instalována na 26 místech, Francis 18 ks, čerpadlo v reverzním chodu 12 ks a Pelton 4 ks. Kaplanova turbína se používá pro nízké spády od 1,2 m a velké průtoky, ideální hodnoty pro tento typ bývají na jezích. Bánkiho turbína je nejlépe využitelná pro spády od 1,5 m a nízké průtoky od cca 15 l/s. Francisova turbína lze použít dokonce na spády od 1 m a velké průtoky, obdobně tak čerpadlo v reverzním chodu. Peltonova turbína je určena především pro vysoký tlak vody, svou konstrukcí se jedná o složité zařízení oproti předešlým typům. Ve vodní energetice v ČR se používá méně, nejsou tu ideální podmínky pro takové zařízení.

Celkově průměrný instalovaný výkon MVE se pohybuje v rozmezích 0,011–0,070 MW (11–70 kW) a v horní výkonové hladině sice méně, ale stále znatelné 0,120–0,350 MW (120–350 kW). Výkony blížící se 1 MW jsou spíše výjimkou.

Pro stavbu vodní elektrárny mají velký význam nejenom příznivé podmínky vodoteče, ale také nákladnost vybudování takové stavby. Ačkoliv se nemusí jednat o velký komplex, náklady na stavbu mohou dosahovat i několik desítek milionů korun. Nedílnou součástí celkové přípravy je legislativní část, která musí být vyřešena, než vůbec taková stavba začne. V raných letech po roce 1989 legislativa nebyla nastavena na podmínky, které by zohledňovaly veškerou problematiku kolem stavby MVE komplexně. Postupem času, i když pomalu, se situace zlepšuje.

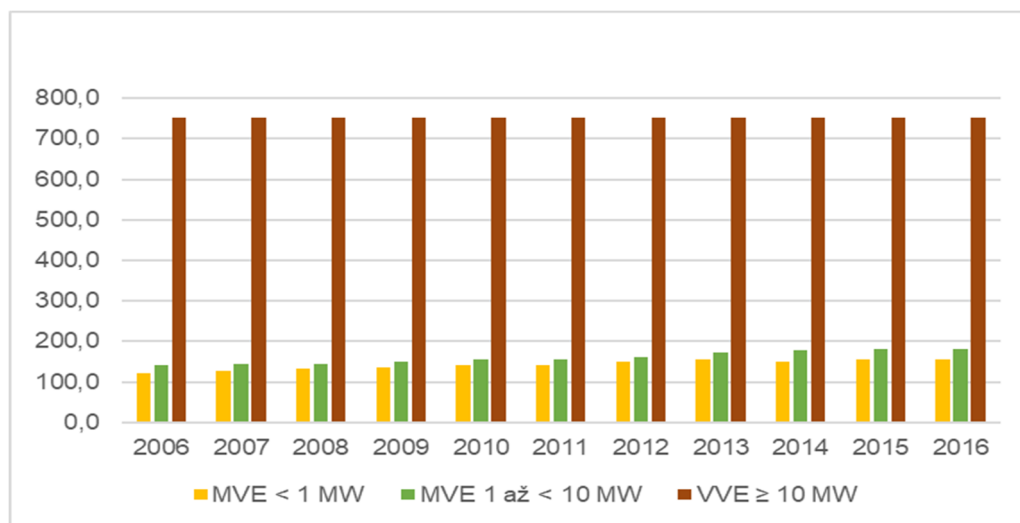
5.3 Velikost instalovaného výkonu VE v ČR

Tab. 9 Vývoj instalovaného výkonu VE podrobně v ČR

Roky	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Vodní elektrárny	1 016,3	1 024,3	1 028,5	1 036,9	1 048,1	1 049,6
MVE < 1 MW	122,4	128,2	131,6	135,4	140,9	142,2
MVE 1 až < 10 MW	141,1	143,3	144,1	148,7	154,4	154,7
VVE ≥ 10 MW	752,8	752,8	752,8	752,8	752,8	752,8

Roky	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Vodní elektrárny	1 063,8	1 079,0	1 080,3	1 087,5	1 090,2	-
MVE < 1 MW	148,5	154,6	150,3	154,2	155,9	-
MVE 1 až < 10 MW	162,5	171,6	177,2	180,6	181,5	-
VVE ≥ 10 MW	752,8	752,8	752,8	752,8	752,8	-

Jaký je celkový vývoj vodní energetiky v ČR za posledních 10 let? O tom podrobněji (viz tab. 9–10, obr. 11–12) na základě statistik Energetického regulačního úřadu.



Obr. 19 Vývoj instalovaného výkonu VE podrobně v ČR

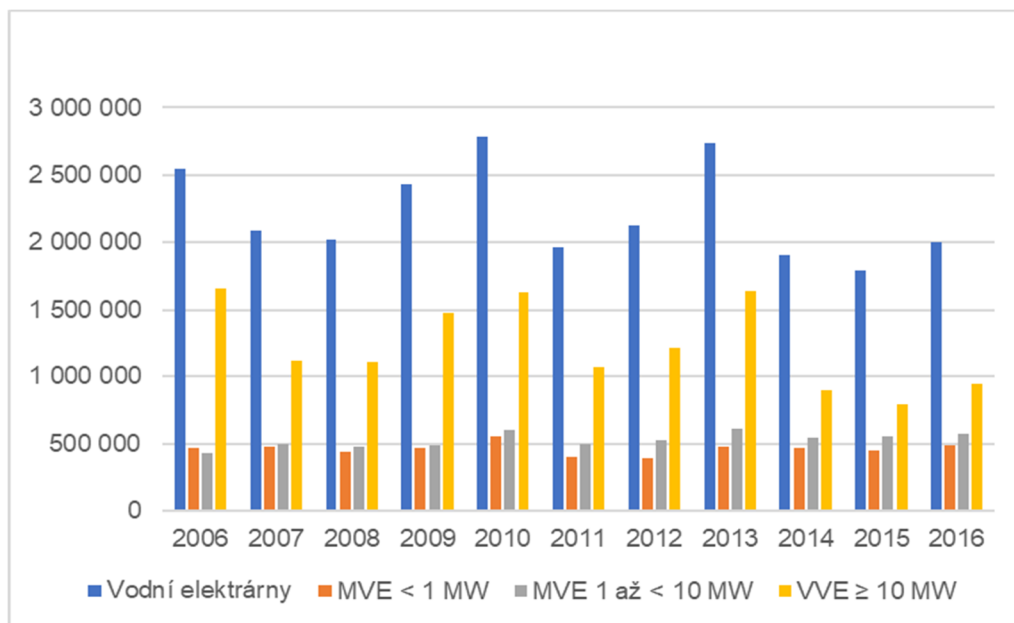
Stoupající množství malých vodních elektráren jen potvrzuje, jak už bylo zmíněno v kapitole 2.1, vyčerpaný potenciál neplatí ale úplně pro MVE, v rámci ČR hovoříme o výkonech do 10 MW. V této výkonové sféře se dá ještě nějaký nárůst očekávat, zejména na místech bývalých mlýnů, jezů, popř. pil (OCHODEK, 2016).

Počet velkých vodních elektráren zůstává neměnný, jelikož vybudování nových by vyžadovala výstavbu velkých přehrad, a to je z ekologického pohledu vnímáno velmi negativně. Změna je ale v MVE, tam je viditelný každoroční nárůst v množství instalovaném výkonu přibližně 1–2 %.

Tab. 10 Vývoj výroby elektřiny ve vodních elektrárnách podrobně v ČR

Roky	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Vodní elektrárny	2 550 700	2 089 600	2 024 335	2 429 620	2 789 474	1 963 154
MVE < 1 MW	463 554	477 340	442 456	469 932	554 754	396 997
MVE 1 až < 10 MW	425 510	495 210	477 823	484 934	603 823	497 618
VVE ≥ 10 MW	1 661 636	1 117 050	1 104 056	1 474 754	1 630 897	1 068 539

Roky	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Vodní elektrárny	2 129 166	2 734 740	1 909 223	1 794 807	2 000 488	-
MVE < 1 MW	391 425	478 721	465 482	445 888	482 563	-
MVE 1 až < 10 MW	525 548	614 803	546 192	555 909	570 537	-
VVE ≥ 10 MW	1 212 193	1 641 216	897 549	793 010	947 388	-



Obr. 20 Vývoj výroby elektřiny ve vodních elektrárnách podrobně v ČR

V množství ročně vyprodukované elektrické energie lze zaznamenat už větší výkyvy. Období sucha se nepříznivě podepsalo jak na celkově vyprodukovaném množství energie, tak konkrétně obzvlášť na velkých VE. Je vidět pokles až o nějakých 40 % oproti roku 2013, který byl za posledních 10 let nejsilnější na produkci energie z VVE a celkově druhý nejsilnější za poslední dekádu. U MVE se suchá období až zas tolik neprojevila. Na stabilitě v produkci elektřiny z MVE se podílí velké nádrže, které mají za úkol nadlejšovat hladinu řek v období sucha.

5.4 Porovnání produkce elektřiny z OZE ČR / EU / Norsko

5.4.1 Energie z OZE v ČR a Evropě

Využívání obnovitelných zdrojů je celosvětově aktuální téma, vlády jednotlivých zemí hledají řešení, jak nejlépe využívat darů naší planety, abychom ji zachovali pro další generace. Také v ČR se zabýváme danou problematikou, např. ve vodní energetice se stále více vyhledávají místa, kde již v minulosti fungovaly MVE jako zdroje elektrické energie, aby se mohly s implementováním nových technologií znovu využívat. I v dalších alternativních energetických odvětvích se dělají kroky pro využití přírodních zdrojů. Staví se fotovoltaické elektrárny, zpracovávají se zbytkové produkty zemědělské činnosti pro výrobu bioplynu, staví se větrné elektrárny atd.

Zajímalo mě, jak si stojíme v žebříčku s výrobou elektrické energie z OZE oproti ostatním zemím Evropy. Pro tyto potřeby jsem použil informace z databáze statistického úřadu Evropské unie Eurostat.

V tabulce (viz tab. 11) jsem porovnal data a získal jsem tak ucelený přehled, který považuji za velmi zajímavý.

Nakonec jsem srovnal výsledky vyprodukované energie z vodních zdrojů z databáze ERÚ s databází Eurostatu a výsledek je nanejvýš překvapivý. Výsledná data obou úřadů se neshodují, ačkoliv výstup Eurostatu vychází z hodnot zadaných zástupným úřadem dané země, v případě ČR se jedná o ERÚ. Množství vyrobené energie z vodních zdrojů v ČR za rok 2016 ERÚ uvádí hodnotu 2 mil. MWh, Eurostat cca 2,28 mil. MWh. Uvědomuji si, že jsem vůči sobě porovnával data ze dvou databází, ale rozdíl činí 12 % a to už je významný podíl. Po prostudování podkladů z Eurostatu jsem zjistil, že rozdíl hodnot je dán:

- 1) Eurostat používá přepočítání na jiné jednotky tzv. „calorie“, a to z důvodu, že energetických komodit existuje několik druhů a uvádějí se v několika různých jednotkách, např. teplota (TJ), elektřina (GWh) nebo fosilní paliva v 10^3 tunách. Pro zpracování velkého množství dat, tak aby finální výsledky byly uceleného charakteru, používá Eurostat jednotku tzv. „calorie“, na které jednotlivé výstupy energetického segmentu převádí. Ekvivalent 1 kalorie (ktoe) je přibližně 1 tisíc tun ropy, není to jednotka hmoty, ale energie, tzn. $1 \text{ ktoe} = 11,63 \text{ GWh}$.
- 2) Eurostat uvádí celkový podíl OZE na hrubé spotřebě el. energie neponížené o energii spotřebovanou při vlastní produkci el. energie.

Tab. 11 Celkový podíl OZE na hrubé spotřebě el. energie v evropských zemích dle EUROSTATU

Název země	% podíl OZE na spotřebě energie	Vodní energie (MWh mil.)	Větrná energie (MWh mil.)	Solární energie (MWh mil.)	Tuhá biopaliva (MWh mil.)
1 Norsko NO	99,8	1 NO 136,2	1 DE 80,0	1 DE 38,1	1 UK 19,6
2 Island IC	95,3	2 SE 66,1	2 ES 51,5	2 IT 22,1	2 DE 10,8
3 Albánie AL	86	3 FR 59,7	3 UK 40,8	3 ES 13,6	3 FI 10,6
4 Rakousko AT	72,6	4 IT 46,2	4 FR 22,3	4 UK 10,4	4 SE 9,8
5 Švédsko SE	64,9	5 AT 41,5	5 IT 16,5	5 FR 8,2	5 PL 6,9
6 Portugalsko PT	54,1	6 ES 31,3	6 SE 15,8	6 EL 3,9	6 IT 4,1
7 Dánsko DK	53,7	7 DE 21,6	7 DK 13,5	7 BE 3,1	7 ES 4,0
8 Lotyšsko LV	51,3	8 MT 16,7	8 PT 12,5	8 CZ 2,1	8 AT 3,7
9 Černá Hora ME	51	9 FI 14,2	9 PL 12,0	9 RO 1,8	9 DK 3,5
10 Chorvatsko HR	46,7	10 PT 12,6	10 NL 8,4	10 NL 1,6	10 BE 3,4
11 Španělsko ES	36,6	11 IC 12,6	11 IE 6,6	11 BG 1,4	11 FR 3,1
12 Itálie IT	34	12 RS 10,7	12 RO 6,4	12 AT 1,1	12 PT 2,5
13 Finsko FI	32,9	13 HR 7,0	13 BE 5,6	13 PT 0,8	13 CZ 2,1
14 Německo DE	32,3	14 AL 6,7	14 AT 5,4	14 DK 0,7	14 NL 1,9
15 Slovinsko SI	32,1	15 UK 5,6	15 EL 5,0	15 SK 0,5	15 HU 1,5
16 Srbsko RS	29,2	16 EL 5,2	16 FI 3,1	16 SI 0,3	16 SK 1,1
17 Irsko IE	27,2	17 SK 4,4	17 NO 2,3	17 HU 0,2	17 EE 0,8
18 Velká Británie UK	24,6	18 SI 4,3	18 BG 1,4	18 CY 0,1	18 RO 0,5
19 Makedonie MK	24,1	19 BG 4,2	19 LT 1,1	19 SE 0,1	19 LV 0,4
20 Řecko EL	23,8	20 LV 2,9	20 HR 1,0	20 MT 0,1	20 IE 0,4
21 Slovensko SK	22,5	21 PL 2,3	21 HU 0,7	21 PL 0,1	21 LT 0,3
22 Francie FR	19,2	22 CZ 2,3	22 EE 0,7	22 LU 0,1	22 HR 0,2
23 Bulharsko BG	19,2	23 ME 1,8	23 CZ 0,5	23 LT 0,1	23 BG 0,2
24 Litva LT	16,8	24 MK 1,7	24 CY 0,2	24 HR 0,1	24 SI 0,1
25 Estonsko EE	15,5	25 IE 0,7	25 LV 0,1	25 MK 0,0	25 LU 0,0
26 Česká republika CZ	13,6	26 LT 0,4	26 LU 0,1	26 FI 0,0	26 NO 0,0
27 Polsko PL	13,4	27 BE 0,3	27 MK 0,1	27 RS 0,0	27 EL 0,0
28 Holandsko NL	12,5	28 RO 0,2	28 RS 0,0	28 IE 0,0	28 RS 0,0
29 Kypr CY	8,6	29 HU 0,1	29 IC 0,0	29 LV 0,0	29 IC 0,0
30 Maďarsko HU	7,2	30 NL 0,1	30 SI 0,0	30 NO 0,0	30 AL 0,0
31 Lucembursko LU	6,7	31 EE 0,0	31 SK 0,0	31 IC 0,0	31 ME 0,0
32 Malta MT	5,6	32 DK 0,0	32 AL 0,0	32 AL 0,0	32 MK 0,0
33 Rumunsko RO	2,7	33 CY 0,0	33 ME 0,0	33 ME 0,0	33 CY 0,0
34 Belgie BE	1,8	34 LU 0,0	34 MT 0,0	34 EE 0,0	34 MT 0,0

Z výše uvedené tabulky (viz tab. 11) je možné odvodit dílčí závěry:

- Norsko je špičkou celé Evropy v produkci elektřiny z OZE, ale i ve vodní energetice samotné, která tvoří 95 % celkové produkce elektrické energie. Norsko má ideální podmínky pro vodní energetiku.
- V celkovém podílu spotřebované energie vyprodukované z OZE je ČR na 26. místě. Zprvu to může vypadat, že se alternativním zdrojům moc nevěnujeme, ale opak je pravdou. ČR už v roce 2013 splnila cíle pro rok 2020 v produkci elektřiny z OZE. Neznamená to ale, že bychom neměli v takovém přístupu pokračovat.

- Je důležité brát v potaz, že do celkového procentuálního podílu OZE není zohledněna velikost spotřeby, např. země bez těžkého průmyslu nebo s malým počtem obyvatel mají spotřebu mnohem menší.
- Země bez konvenčních zdrojů elektrické energie mohou mít z dnešního pohledu výhodu, věnují se využívání OZE delší dobu, tím mají větší zkušenosti jako např. Island, který se umístil na druhém místě. Množství energie, které vyprodukuje, je mnohem vyšší k poměru spotřeby, a proto se umísťuje na žebříčku mezi prvními. Jak je vidět ve druhém sloupci, v poměru k dalším zemím jeho celkové množství vyprodukované vodní energie je menší, takže je na jedenáctém místě.
- Obdobně je na tom Albánie bez průmyslu a s malým počtem obyvatel. Vodní energie je hlavním zdrojem elektrické energie z OZE.
- V rámci Evropy je největším producentem vodní energie právě výše zmíněné Norsko, Švédsko a následně Francie. ČR se umístila na 23. místě a s ohledem na morfologii území nelze očekávat nárůst velkých vodních děl. Potenciál je v MVE v místech starých nebo zaniklých MVE, ale není předpoklad, že se ve vodní energii více přiblížíme okolním zemím, jako je Rakousko nebo Německo.
- Ve větrné energii jsme ještě o jednu pozici níže než ve vodní. Všeobecně v ČR je méně vhodných míst pro rozsáhlá pole větrných elektráren, spíše lze hovořit o lokalitách, kde se hodí samostatné větší větrné elektrárny, ale i tak ve společnosti je zakořeněn negativní vztah k takovému zdroji. Špičkou je Německo, které je hlavním tahounem v produkci „větrné elektřiny“.
- V produkci solární energie je ČR dokonce v první půlce tabulky, bezpochyby má na tom velký podíl politika dotačních programů, které daly vyrůst rozsáhlým fotovoltaickým elektrárnám. Na prvním místě je znovu Německo, pak Itálie a Španělsko následované Velkou Británií a Francií.
- Biopaliva, to je produkt, který zažívá obrození, země se k němu obracejí jako k alternativnímu zdroji, který má potenciál stát se prakticky nevyčerpatelným zdrojem energie. Pro Českou republiku je to možnost, v čem vyniknout, ale hlavně mít alternativní zdroj, který bude stálý, nebude zatěžovat životní prostředí.

- Je zajímavé, jaké země se drží na nejvyšších pozicích, až na pár výjimek je to Německo, Francie, Velká Británie, Itálie, Španělsko, Švédsko.

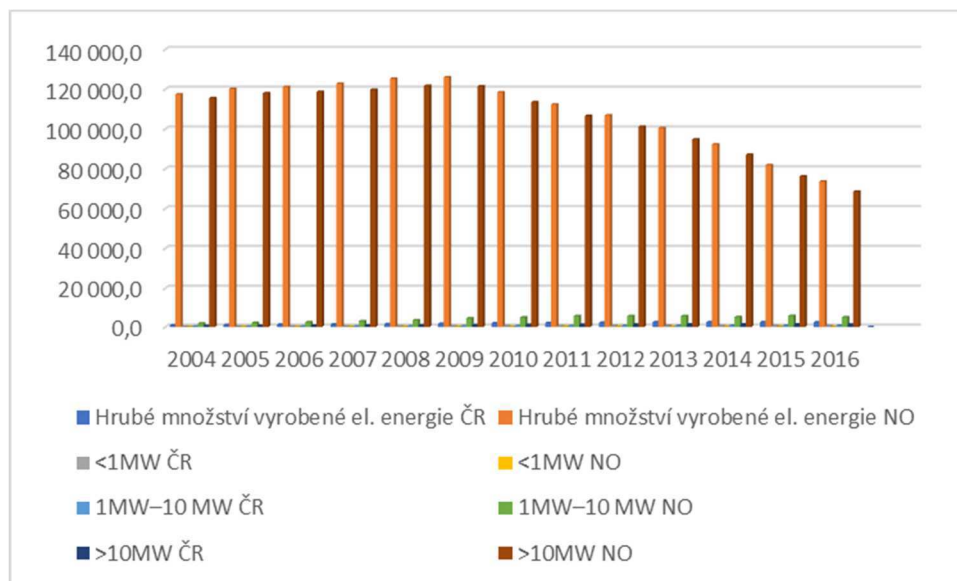
5.4.2 Produkce elektřiny z vodních zdrojů ČR a NO

Alternativní zdroje energie jsou specifické zdroje, které jsou dány možnostmi využívání lokálních přírodních darů dané země. Co platí pro jednu zemi, neplatí nutně pro druhou. Výsledky (viz tab. 12–13, obr. 13–14) prezentují, jaké možnosti ve výrobě elektrické energie z vodních elektráren má Česká republika, kde velké řeky pramení a nejsou ledovce, oproti Norsku, které je díky svému geografickému umístění lídrem v produkci elektřiny z vodních elektráren.

Tab. 12 Instalovaný výkon VE v ČR a NO

Rok	Celkový instalovaný výkon		<1MW		1MW–10 MW		>10MW	
	ČR	NO	ČR	NO	ČR	NO	ČR	NO
2004	1 015,0	26 721,0	120,0	49,0	142,0	950,0	753,0	25 722,0
2005	1 020,0	27 222,0	123,0	49,0	144,0	943,0	753,0	26 230,0
2006	1 016,0	27 398,0	122,0	50,0	141,0	954,0	753,0	26 394,0
2007	1 024,0	27 647,0	128,0	47,0	143,0	1 034,0	753,0	26 566,0
2008	1 029,0	28 062,0	132,0	46,0	144,0	1 077,0	753,0	26 939,0
2009	1 037,0	28 188,0	135,0	48,0	149,0	1 274,0	753,0	26 866,0
2010	1 049,0	28 367,0	141,0	48,0	155,0	1 395,0	753,0	26 924,0
2011	1 050,0	28 618,0	142,0	61,0	155,0	1 606,0	753,0	26 951,0
2012	1 065,0	29 158,0	149,0	61,0	163,0	1 606,0	753,0	27 491,0
2013	1 080,0	29 682,0	155,0	61,0	172,0	1 606,0	753,0	28 015,0
2014	1 080,0	29 889,0	150,0	61,0	177,0	1 606,0	753,0	28 222,0
2015	1 088,0	29 939,0	154,0	61,0	181,0	1 996,0	753,0	27 882,0
2016	1 090,0	30 298,0	156,0	61,0	181,0	1 996,0	753,0	28 241,0
MWh								

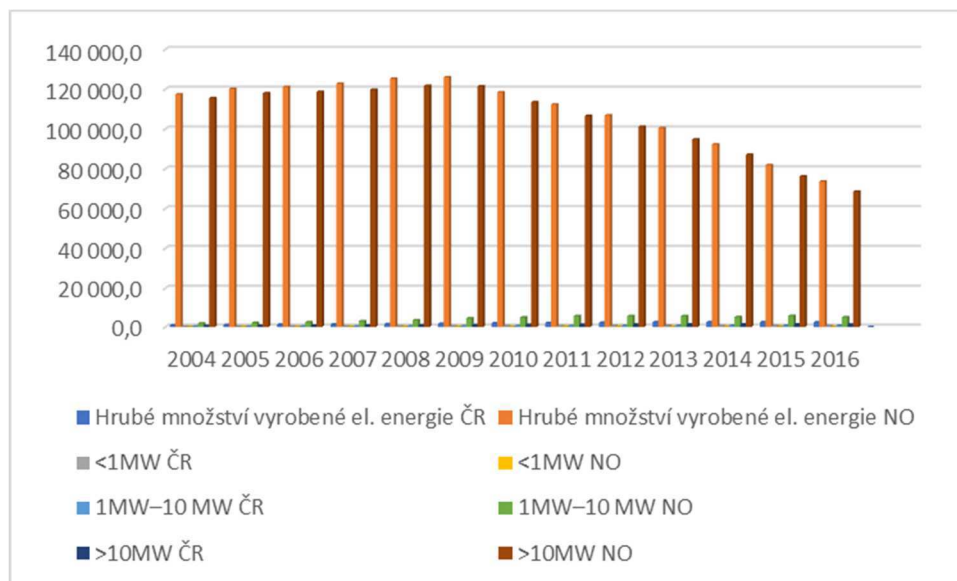
V instalovaném výkonu, a tím i v celkovém množství vyprodukované elektřiny z VE je poměr ČR s NO obdobný jako David s Goliášem, ale ČR v určitém segmentu i dokonce vede. Výkony NO od 1 MW–10 MW a 10 MW a více jsou diametrálně odlišné, tady není co k tomu dodat. Co je zajímavé, jsou výkony MVE do 1 MW. V množství instalovaného výkonu do 1 MW má ČR téměř trojnásobný výkon oproti Norsku.



Obr. 21 Instalovaný výkon VE v ČR a NO za 2016

Tab. 13 Roční produkce elektřiny VE v ČR a NO za 2016

Rok	Hrubé množství vyrobené el. energie		<1MW		1MW-10 MW		>10MW	
	ČR	NO	ČR	NO	ČR	NO	ČR	NO
2004	819,1	117 339,5	155,9	88,3	197,9	1 746,7	465,3	115 504,5
2005	984,5	120 171,5	182,7	118,0	249,2	2 044,9	552,5	118 008,6
2006	1 147,8	121 135,6	203,4	133,5	286,1	2 360,6	658,3	118 641,5
2007	1 301,2	122 742,5	248,1	140,6	323,0	2 901,8	730,1	119 700,1
2008	1 446,2	125 231,3	288,7	155,0	356,9	3 369,8	800,6	121 706,5
2009	1 627,1	125 992,3	326,9	176,0	401,3	4 367,5	898,9	121 448,8
2010	1 843,7	118 433,6	378,4	176,0	457,7	4 782,3	1 007,7	113 475,3
2011	1 977,3	112 302,4	407,5	223,7	490,9	5 505,7	1 078,9	106 573,1
2012	2 164,7	106 827,7	453,7	223,7	551,3	5 505,7	1 159,7	101 098,3
2013	2 395,7	100 474,5	503,9	223,7	622,7	5 505,7	1 269,1	94 745,2
2014	2 392,1	92 266,4	490,8	198,5	640,9	4 995,2	1 260,4	87 072,7
2015	2 378,5	81 868,2	485,3	178,6	657,8	5 526,8	1 235,4	76 162,8
2016	2 337,2	73 586,7	472,7	162,2	647,4	4 884,9	1 217,1	68 539,6
MWh (tis.)								



Obr. 22 Roční produkce elektřiny VE v ČR_NO za 2016

Roční nárůst instalovaného výkonu v MVE se v ČR pohybuje za posledních deset let od 2,5–4 %, jen v roce 2014 lze zaznamenat mírný pokles, který je následován navýšením v dalších letech. Oproti tomu v Norsku byl mezi lety 2004–2010 roční přírůstek instalovaného výkonu okolo 2 % a až po roce 2010 se navýšil jednorázově o cca 20 % a od té doby není registrován další nárůst. V množství vyprodukované energie je v MVE ČR každoroční nárůst až do roku 2013, kdy se na produkci odrazila první rozsáhlejší sucha, která pokračují až do roku 2016, ale díky nadlepšováním průtoků velkými vodními díly je pokles vyprodukované elektřiny menší.

Suchá období jsou alarmující, výsledky z Eurostatu to přímo potvrzují, jak závažný je stav i v místech, jako je Norsko, ačkoliv je stále velmocí ve vodní energetice v Evropě. Množství vyrobené elektřiny kleslo v Norsku za období 2011–2016 celkem až o 36 %. I Symposium „360“, které proběhlo v roce 2014, a kde jsem byl účasten za stranu dodavatelů technologií pro vodní energetiku, se probírala problematika globálního oteplování a její aspekty na stále teplejší zimy v této skandinávské zemi. Bohužel, i kdybychom chtěli ze dne na den změnit přístup k vypouštění skleníkových plynů, takže bychom to úplně zastavili, bude trvat několik desetiletí, než se sníží hladina skleníkových plynů na úroveň hladiny CO₂ ze začátku minulého století.

6 VODNÍ ELEKTRÁRNA NEDRE VINSTRA – NORSKO

6.1 Historie

Historie vodní elektrárny Nedre Vinstra začíná ve dvacátých letech minulého století. Energie řeky byla využívána již mnohem dříve, ale pro energetické účely v roce 1917 vzniká první krajská elektrárenská společnost Hedmarken Kommunale Kraftselskap, která přebírá správu řeky Vinstra, a tím začíná plánování velkého projektu rozvoje energetického potenciálu řeky Vinstra. V dané době stál na řece starý mlýn s 10 vodními koly a 2 turbínami o celkovém výkonu 350 kVA. Po druhé světové válce v roce 1946 byla založena developerská společnost Vinstra Kraftselskap, která započala s projektovými pracemi na novém větším využití energetického potenciálu řeky. Práce započaly v květnu 1947 a stojí za povšimnutí, že konečné parametry z větší části korespondovaly s původním projektem vytvořeným v roce 1920 kromě jednoho rozdílu, elektrárna byla z bezpečnostních důvodů umístěna uvnitř hory. Hlavní přivaděč vody do přetlakové komory byl celý vyražen do skály, je dlouhý 23,6 km a v průřezu má rozměr 30 m². Z přetlakové komory jsou vedeny dva vstupní přivaděče nezávislým tunelem až do elektrárny. Celkem byly do elektrárny vyraženy tři tunely: (vstupní tunel, tunel pro odklonění přítoku, tunel pro elektrické vedení). Hlavní hala pro čtyři jednotky každá o výkonu 50 MW měla rozměry 70 m na délku, 12 m šířku a 30 m výšku. Na konci roku 1952 byla elektrárna včetně venkovních stavebních úprav a také trafostanice připravena pro zkušební provoz. 24. ledna 1953 byla spuštěna první jednotka do ostrého provozu a druhá následovala 19. dubna téhož roku. V poválečných letech se poptávka po elektřině rapidně zvyšovala a netrvalo to ani tři roky a bylo nutné navýšit dodávky elektrické energie do sítě. Další dva generátory byly postupně spuštěny v letech 1955 a 1958. Celkové náklady na výstavbu dosáhly 150 mil. NOK. Přepočítáme-li to na průměrné roční vyprodukované množství elektrické energie 960 mil. kWh, cena 1 kWh stála 0,17 NOK. Na stavbě se podílelo 600 dělníků a bylo vytěženo 1 mil. m³ skály.

6.2 Současnost

Počátkem roku 1980 vedení společnosti vlastníci elektrárnu Nedre Vinstra začalo uvažovat o modernizaci a rozšíření elektrárny. Důvody pro to byly jednoduché, elektrárna

s minimálními zásahy produkovala elektřinu téměř 25 let a trh se za tu dobu rozvinul a stal se více závislým na dodávkách elektrické energie. Bylo zapotřebí znovu zvětšit kapacity, zároveň elektrárna měla i své nedostatky, o kterých se vědělo od samotného počátku, kdy byla elektrárna spuštěna.

Důvody pro rekonstrukci byly:

- Velikost přítokových tunelů byly původně dimenzovány pro nižší instalovaný výkon 165 MW, to znamenalo vysoké ztráty (10 %), jakmile elektrárna běžela na plný výkon.
- Instalovaný výkon byl již nedostačující.
- Modernizace elektrárny by znamenala vynaložit vysoké finanční prostředky na elektrárnu, která již tak sama o sobě byla 35 let stará.

Nakonec se vedení firmy přiklonilo k návrhu zvětšit kapacitu instalovaného výkonu o 1 jednotku s výkonem 100 MW.

Práce započaly rokem 1986. Od jezera Olstappen byl ražen nový, v pořadí již pátý tunel o délce 16,8 km a průměru 4,75 m² ražený paralelně se starým tunelem. Byly použity dvě vrtací stanice, které razily tunel proti sobě. Za zmínku stojí, že jedna z daných stanic vytvořila rekord v délce vyraženého tunelu za jeden týden, a to 275 m z místa, kde se nový tunel protínal se starým, byl vyražen další tunel 5,9 km dlouhý přímo do elektrárny. Posledních 100 m před elektrárnou je tunel vyvložkovaný ocelovým potrubím o průměru 4,2 m. Od tlakového potrubí byla napojena nová přetlaková komora s přivaděči k nové turbíně, která byla kromě toho propojena s původní přetlakovou komorou. Zvětšení elektrárny bylo provedeno formou prodloužení stávající komory. Veškeré razící práce byly prováděny za plného provozu, to zaručovalo stabilitu existujících tunelů proti zborcení, když byl ražen nový tunel. Kromě instalace nové turbíny s generátorem byl instalován transformátor a 300 kV kabelové vedení původním tunelem pro vedení. Navíc tunel pro odklonění přítoku 1 km dlouhý byl sveden do řeky Gudbrandsdalslagen. Přírodní tlaková voda byla rozdělena následovně:

- Třetí a čtvrtá jednotka byly napojeny na původní přivaděče.
- První a druhá byly napojeny na nový přivaděč tlakové vody z páté nově instalované jednotky.

Nová jednotka byla uvedena do provozu 1. listopadu 1989 a zbytek elektrárny byl dokončen na podzim 1990. Celý projekt byl vybudován ve finančním rozsahu, který byl plánovaný, a na oplátku přinesl za vynaložené prostředky následující:

- Celkový výkon elektrárny se zvětšil o 103 MW.
- Roční produkce elektřiny se zvýšila o 96 000 MWh díky snížení ztrát.
- Zvětšila se spolehlivost dodávky elektřiny.
- Elektrárna Nedre Vinstra tak dodává elektrickou energii pro 40 000 domácností.

Současné rozměry haly elektrárny jsou délka 100 m, šíře 12 m a výška 40 m.

Ovládání elektrárny je prováděno dálkově a zcela automaticky, celý proces ovládání je optimalizovaný pro dosažení maximální účinnosti. Výroba elektřiny je plánována v součinnosti s vedením na základě požadavků odběratelů. Následně pomocí řídicího programu je nastaveno, která jednotka a jak bude v provozu, aby výsledná produkce byla co nejefektivnější. Hlavní princip řízení je takový, aby požadovaná hodnota vyprodukované elektřiny byla dosažena s co nejmenším požadavkem na množství vody, to má samozřejmě vliv na výdrž celé elektrárny. Technická data jsou přiložena (viz tab. 14).

Tab. 14 Technické parametry

Technická data	
Výška vodního sloupce:	448 m
Maximální průtok:	83 m ³ /s
Soustrojí:	4 x 50 MW 1 x 100 MW
Ekvivalent energie:	0,92 m ³ vody vygeneruje 1 kWh
Průměrný roční výstup:	1,070 mil. MWh
Základní roční výstup (při 90 % pravděpodobnosti):	920 tis. MWh

S elektrárnou Nedre Vinstra jsem se blíže seznámil v rámci výběrového řízení, které fa Armatury Group a.s., kde jsem byl zaměstnán, vyhrála. Pracoval jsem na řízení projektů výroby speciálních uzavíracích armatur pro vodní elektrárny. Jednalo se o dodávku na klíč, tzn. výroba, doprava, instalace na místě.

Od poslední investice do elektrárny uběhly 3 desítky let a prakticky za celou tuto dobu byly prováděny jen běžné periodické servisní zásahy, ale ne velké investiční akce.

Poslední velká přestavba, jak je výše zmíněno, zahrnovala napojení jednotky č. 1 a č. 2 na nové tlakové potrubí. Na přivaděčích k těmto dvěma jednotkám jsou předřazeny dva uzavírací elementy – klapky, které tam byly prakticky od prvopočátku, kdy byla elektrárna prvně spuštěna. Měl jsem možnost prostudovat kompletní technické řešení zařízení o stáří více jak 50 let.

Kompletní projekt výměny dotčených uzavíracích armatur bude předmětem diplomové práce, kterou chci na toto téma vypracovat.

7 ZÁVĚR A DOPORUČENÍ

Práce je zaměřena na alternativní zdroje energie využívané v podmínkách ČR, přičemž hlavní důraz je kladen na vodní zdroje.

S ohledem na morfologii území České republiky nelze předpokládat, že by alternativní zdroje energie v nejbližších 10 letech plně nahradily konvenční zdroje elektrické energie, jako jsou jaderné nebo tepelné elektrárny. OZE mají vysoký potenciál, ale zatím zůstávají doplňkovým zdrojem energie, jehož využití se zatím stále vyvíjí.

Porovnáním výsledků jednotlivých povodí ČR jsem zjistil, jak jsme schopni jako stát nakládat s potenciálem přírodní energie. Rozdíly mezi povodími jsou pro mne překvapující, očekával jsem vyšší efektivitu od některých státních podniků.

Po zhodnocení závazků ČR, které má vůči EU, mohu říci, že ČR je plná, ale zároveň je třeba si uvědomit, že se nesmí zastavit. ČR má před sebou stále dlouhou cestu vývoje ve využívání OZE. Oproti sousedním zemím, jako je Německo či Rakousko, není ČR schopna dosáhnout ve vodní a větrné energetice takových hodnot, ale produkce biopaliv a solární energie vypadá jako slibná cesta.

V práci jsem dále zkoumal, jakých výsledků v produkci elektřiny z vody dosahuje ČR v porovnání s Norskem, které lze považovat za velmoc ve vodní energetice, kde přes 95 % produkce elektřiny vychází z VE. Ačkoliv ČR z tohoto srovnání vychází s mnohem nižšími hodnotami než Norsko, přece jen existuje segment, ve kterém je ČR v předstihu, a to jsou MVE.

Došel jsem k názoru, že voda jako alternativní zdroj energie má pro českou energetiku velký význam. Patří mezi stabilní zdroje elektrické energie a uplatnění nachází právě ve stabilní dodávce elektřiny a vyrovnávání energetických výkyvů pomocí produkce špičkové energie. Zároveň se mi potvrdilo, že má smysl budovat MVE o výkonech < 1 MW a 1 MW – 10 MW na místech již dříve používaných pro vodní energetiku nebo vyhledávat nové vhodné lokality. Z mého pohledu je zapotřebí se zamyslet, zda by velká energeticky využívaná vodní díla neměla být ve správě čistě státních podniků. U nejvýznamnějších staveb je sice vlastníkem polostátní firma, ale podle mě je to stále málo, vzhledem k tomu, že voda je bohatstvím, které ČR spravuje a musí s ním zacházet šetrně. Soukromé VVE jsou instalovány na vodních dílech, která jsou ve správě povodí, ale

kolik tržeb se vrátí zpět do oběhu ať na údržbu a hospodaření s vodou, nebo zpět do příjmů státního rozpočtu? Nemyslím si, že by finance měly být přes soukromý sektor odváděny do zahraničí. Myslím si, že to není v pořádku. Zároveň nepopírám možnost nechat otevřené dveře trhu s vodní energetikou, jen bych ty hlavní zdroje elektřiny nechal pod správou ČR. Proč třeba nestanovit, že v soukromých rukách mohou být jen díla do 1 MW výkonu. Je to na zamyšlení.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

BEDNÁŘ, Josef. 1989. *Malé vodní elektrárny 2 turbíny.* Praha : SNTL - NAKladatelství technické literatury, n.p., 1989.

BENDA, Vítězslav. 2012. *Obnovitelné zdroje energie.* Praha : Profi Press, 2012. 978-80-86726-48-9.

BOUŠKA, Jan. 2015. Poznámky k historii výroby elektřiny v českých zemích. *Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů, z.s.* [Online] 19. 12 2015. http://www.spvez.cz/pages/history/history_01.htm.

BOYLE, Godfrey. 2004. *Renewable energy, 2nd ed.* New York : Oxford University Press in association with The Open University, 2004. 0-19-926178-4.

BRESTOVIČ, Tomáš a Maria, ČARNOGURSKÁ. 2012. *Zdroje a premeny energie.* Košice : Strojnická fakulta Technickej univerzity v Košiciach, 2012. 978-80-553-1013-8.

BROŽ, Karel a Bořivoj, ŠOUREK. 2003. *Alternativní zdroje energie.* Praha : Vydavatelství ČVUT, 2003. 80-01-02802-X.

BUDÍN, Jan. 2015. Přecherčpávací vodní elektrárna - princip a uspořádání. *OENERGETICE.CZ.* [Online] 3. březen 2015. [Citace: 10. duben 2017.] <http://oenergetice.cz/typy-elektraren/precerpavaci-vodni-elektrarna-princip-usporadani-2/>.

BUKAČ, Petr. 2010. Malá vodní elektrárna: Kolik elektřiny vyrobí? Vyplatí se? *nazeleno.cz.* [Online] 9. březen 2010. [Citace: 3. duben 2017.] <http://www.nazeleno.cz/energie/vodni-energie/mala-vodni-elektrarna-kolik-elektriny-vyrobi-vyplati-se.aspx>. 1803-4160.

CZECH_RE_AGENCY. Seznam instalací typu Vodní elektrárny. *Czech RE Agency.* [Online] [Citace: 3. duben 2017.] http://mapa.czrea.org/instalace.php?TYP_INSTALACE=1.

ČEZ. 2018. ČEZ / výroba elektřiny. *Energie z obnovitelných zdrojů.* [Online] 2018. [Citace: 22. březen 2018.] <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje.html>.

—, 2017. Přečerpávací vodní elektrárna Dalešice. *Skupina ČEZ / výroba elektřiny*. [Online] 2017. [Citace: 11. duben 2017.] <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/obnovitelne-zdroje/voda/dalesice.html#!&zoom=12>.

—, 2017. Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně. *Skupina ČEZ / výroba elektřiny*. [Online] 2017. [Citace: 12. duben 2017.] <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/obnovitelne-zdroje/voda/dlouhe-strane.html#!&zoom=15>.

—, 2017. Vodní elektrárna Štěchovice. *Skupina ČEZ / výroba elektřiny*. [Online] 12. 3 2017. <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/obnovitelne-zdroje/voda/stechovice.html>.

—, 2017. Vodní elektrárny ČEZ v České republice. *Skupina ČEZ / výroba elektřiny*. [Online] 2017. [Citace: 10. duben 2017.] <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/obnovitelne-zdroje/voda/vodni-elektřiny-cez/ceska-republika.html>.

DAVÍDKOVÁ, Veronika. 2015. *The Utilization of Geothermal Potential of Mining Water in the North Bohemian Brown Coal Basin*. Košice : Editorial Centre, Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnology, TU of Košice, 2015. 978-80-553-2272-8.

DRÁBOVÁ, Dana a Václav, PAČES. 2014. *Perspektivy české energetiky*. Praha : Novela bohemica, 2014. 978-80-87683-26-2.

EAI. 2017. Solar thermal technologies. *EAI (Catalyzing Cleantech & Sustainability)*. [Online] 2017. [Citace: 20. březen 2017.] http://www.eai.in/ref/global/ae/sol/soltherm/solar_thermal.html.

ERÚ. 2015. Roční zpráva o provozu ES ČR. *Energetický regulační úřad*. [Online] 2015. [Citace: 12. duben 2017.] http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2015.pdf/.

EUREC_AGENCY. 2002. *The future for renewable energy. (2nd ed.)*. Londýn : James & James, 2002. 1-902916-31-X.

EWEA_BUSINESS_INTELLIGENCE. 2015. Aiming High - Rewarding Ambition in Wind Energy. *EWEA*. [Online] listopad 2015. [Citace: 21. březen 2017.] <https://windeurope.org/fileadmin/files/library/publications/reports/EWEA-Aiming-High.pdf>.

FRERIS, Leon a David, INFIELD. 2008. *Renewable energy in power systems.* Chichester : John Wiley & Sons, 2008. 978-0-470-01749-4.

FUTURE_LEARN. 2017. 2017.
<https://cz.pinterest.com/pin/469289223646068702/>.

GREEN_ENERGY_BLOG. 2010-2016. How do Photovoltaic (PV) Solar Cells Work? *Green Energy BLOG.* [Online] 2010-2016. [Citace: 19. březen 2017.]
<http://cleangreenenergyzone.com/how-do-photovoltaic-pv-solar-cells-work/>.

HRUBÝ, Zdeněk a Libor, LUKÁŠEK. 2015. *Energetická bezpečnost České Republiky.* Praha : nakladatelství Karolinum, 2015. 978-80-246-2974-2.

KEYHANI, Ali. 2011. *Design of smart power grid renewable energy systems.* Hoboken : N.J.: Wiley, 2011. 978-0-470-62761-7.

KYSELA, Ladislav a Jiří, TOMČALA. 1994. *Vodní hospodářství v energetice.* Ostrava : VŠB - Technická Universita Ostrava, 1994. 80-7078-239-0.

LIBRA, Martin a Vladislav, POULEK. 2007. *Zdroje a využití energie.* Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2007. 978-80-213-1647-8.

MATEK, Benjamin. 2016. 2016 Annual U.S. & Global Geothermal Power Production Report. *Geothermal Energy Association.* [Online] březen 2016. [Citace: 31. březen 2017.] <http://geo-energy.org/reports/2016/2016%20Annual%20US%20Global%20Geothermal%20Power%20Production.pdf>.

MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. 2005-2018. Obnovitelné zdroje. [Online] 2005-2018. [Citace: 24. březen 2018.]
<https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/>.

MINISTERSTVO VNITRA. 2005. Zákon o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů) - §2 odst.1. *Sbírka zákonů.* [Online] 5. květen 2005.
<http://web.archive.org/web/20091127073650/http://aplikace.mvcr.cz/archiv2008/sbirka/2005/sb066-05.pdf>. 1211-1244.

MORLEY, Tom. 2015. Advantages and Disadvantages of Solar PV. *Greenpower technology*. [Online] 3. březen 2015. [Citace: 19. březen 2017.] <http://www.greenpower-technology.co.uk/solar-pv/advantages-disadvantages-pv/>.

OCHODEK, Tadeáš. 2016. *Technicko-ekonomické aspekty využití obnovitelných zdrojů energie v ČR: Technical and Economic Aspects of Renewable Energy Sources Utilization in the Czech Republic: teze inaugurační přednášky ke jmenovacímu řízení profesorem v oboru Ener, stroje a zař.* Ostrava : autor neznámý, 2016. 978-80-248-3861-8.

PALACIO, Mme Loyola de. 2004. *Renewable energy in Europe: Building markets and capacity*. Londýn : James & James, 2004. 1-84407-124-3.

PAŽOUT, František. 1982. *Malé vodní elektrárny a mikrozdroje. Pomůcky pro pracovníky v investiční výstavbě, 5/1982*. Praha : Panorama, 1982.

POVODÍ_ODRY. 2017. Kružberk. *Povodí Odry státní podnik*. [Online] 2017. [Citace: 12. duben 2017.] <https://www.pod.cz/stranka/kruzberk.html>.

— **2017.** Slezská Harta. *Povodí Odry státní podnik*. [Online] 2017. [Citace: 12. duben 2017.] <https://www.pod.cz/stranka/slezska-harta.html>.

POVODÍ_OHŘE. 2017. Přehrady. *Povodí Ohře státní podnik*. [Online] 8. prosinec 2017. [Citace: 12. duben 2018.] <http://www.poh.cz/vd/vd.htm>.

POVODÍ_VLTAVY. 2013. Vltavská kaskáda. *Povodí Vltavy*. [Online] 2013. [Citace: 6. duben 2017.] <http://www.pvl.cz/vodohospodarske-informace/vodni-dila/vltavska-kaskada>.

— **2013.** Vltavská vodní cesta. *Povodí Vltavy*. [Online] 2013. [Citace: 12. duben 2017.] <http://www.pvl.cz/vodohospodarske-informace/vodni-dila/vltavska-vodni-cesta/libcice---dolany>.

— **2013.** Vodní díla a nádrže. *Povodí Vltavy*. [Online] 2013. [Citace: 12. duben 2017.] <http://www.pvl.cz/vodohospodarske-informace/vodni-dila/vodni-dila-a-nadrze>.

QUASCHNING, Volker. 2010. *Obnovitelné zdroje energie*. Praha : Tiskárny Havlíčkův Brod, 2010. 978-80-247-3250-3.

SBÍRKA_ZÁKONŮ. 1992. 17. Zákon o životním prostředí - §7 odst.2. *Sbírka zákonů České Republiky / Slovenské Republiky*. [Online] Federální ministerstvo vnitra, 16.

leden

1992.

<http://web.archive.org/web/20090206110327/http://aplikace.mvcr.cz/archiv2008/sbirka/1992/sb004-92.pdf>.

SCHANDL, Bohuslav a Alena, SCHANDLOVÁ. *Alternativní zdroje energie - možnosti jejich uplatnění a vliv na životní prostředí.* CZ.1.07/1.1.00/08.0010.

SCHUHOVÁ, Tereza. 2015. První geotermální elektrárna v ČR: Liberec nebo Litoměřice? *www.nazeleno.cz.* [Online] 2015. [Citace: 31. březen 2017.] <http://www.nazeleno.cz/energie/energetika/prvni-geotermalni-elektrarna-v-cr-liberec-nebo-litomerice.aspx>. 1803-4160.

SLEZSKÁ_HARTA. 2002. Přehrada a region. *Slezská Harta a okolí.* [Online] 2002. [Citace: 12. duben 2017.] <http://www.slezska-harta.cz/o-prehrade/>.

VILEM, Ján. 2001. *Projektovanie vodných elektrární.* Bratislava : Tlač Vydavateľstvo STU v Bratislave, 2001. 80-227-1468-2.

VOBOŘIL, David. 2016. Vodní elektrárny - princip, rozdělení, elektrárny v ČR. *OENERGETICE.CZ.* [Online] 24. listopad 2016. [Citace: 14. březen 2017.] <http://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni/>.

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Vodní kolo na spodní pohon (Techmania, 2018).....	3
Obr. 2	Velké vodní elektrárny v ČR (MUNI, 2010).	6
Obr. 3	Fotovoltaický článek (MTECHSOLAR, 2018).	9
Obr. 4	Větrné elektrárny (Nalezeno, 2018).....	11
Obr. 5	Průtočná vodní elektrárna (Automatizace, 2014).....	12
Obr. 6	Rozdělení VE dle velikosti spádu A) nízkotlaké, B) středotlaké, C) vysokotlaké (Keyhani, 2011).	14
Obr. 7	Diagram optimálního využití vodních turbín (Oenergetice, 2016).....	15
Obr. 8	Francisova turbína (Mechanicalbooster, 2018).....	16
Obr. 9	Kaplanova turbína (VDE, 2008).	16
Obr. 10	Peltonova turbína (Gopracticals, 2018).....	17
Obr. 11	Bánkiho turbína (Ossbergerhydro, 2015).....	17
Obr. 12	Přečerpávací elektrárny v ČR.....	32
Obr. 13	Vývoj hrubé produkce elektřiny ve vodních elektrárnách	36
Obr. 14	Porovnání jednotlivých povodí ČR.....	38
Obr. 15	Povodí Ohře – výroba elektřiny v MVE za rok 2016	41
Obr. 16	Povodí Vltavy – výroba elektřiny v MVE za rok 2016	42
Obr. 17	Povodí Labe – výroba elektřiny v MVE za rok 2016	43
Obr. 18	Povodí Moravy – výroba elektřiny v MVE za rok 2016.....	44
Obr. 19	Vývoj instalovaného výkonu VE podrobně v ČR.....	46
Obr. 20	Vývoj výroby elektřiny ve vodních elektrárnách podrobně v ČR	47
Obr. 21	Instalovaný výkon VE v ČR a NO za 2016	52
Obr. 22	Roční produkce elektřiny VE v ČR_NO za 2016.....	53

10 SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Vltavská kaskáda – přehled elektráren (ČEZ, 2017).....	5
Tab. 2	Vývoj hrubé produkce elektřiny ve vodních elektrárnách_MWh tis. (MPO, 2017)	36
Tab. 3	Porovnání jednotlivých povodí ČR.....	38
Tab. 4	Povodí Ohře – výroba elektřiny v MVE za rok 2016	40
Tab. 5	Povodí Vltavy – výroba elektřiny v MVE za rok 2016	41
Tab. 6	Povodí Odry – výroba elektřiny v MVE za rok 2016.....	42
Tab. 7	Povodí Labe – výroba elektřiny v MVE za rok 2016	43
Tab. 8	Povodí Moravy – výroba elektřiny v MVE za rok 2016.....	44
Tab. 9	Vývoj instalovaného výkonu VE podrobně v ČR.....	45
Tab. 10	Vývoj výroby elektřiny ve vodních elektrárnách podrobně v ČR	46
Tab. 11	Celkový podíl OZE na hrubé spotřebě el. energie v evropských zemích dle EUROSTATU	49
Tab. 12	Instalovaný výkon VE v ČR a NO.....	51
Tab. 13	Roční produkce elektřiny VE v ČR a NO za 2016	52
Tab. 14	Technické parametry	56