

Potenciál obnovitelných zdrojů na území České republiky ve vztahu k požadavkům Evropské unie

Diplomová práce

Vedoucí práce:

Mgr. Petr Strejček, Ph.D., MBA.

Roman Paluda

Brno 2017

Poděkování

Rád bych poděkoval Mgr. Petru Strejčkovi, Ph.D., MBA., vedoucímu mé diplomové práce, za cenné rady, připomínky, ochotu a konzultace, které mi poskytl při zpracování této práce a které mě motivovaly při jejím psaní.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci:

Potenciál obnovitelných zdrojů na území České republiky ve vztahu k požadavkům Evropské unie

vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne: 20. května 2017

.....

podpis

Abstract

PALUDA, R. Potential of renewable sources in the Czech Republic in relation to the requirements of the European Union. Master's thesis. Brno: Mendel University in Brno, 2017.

This diploma thesis deals with the relation between the requirements of the European Union for the increase of the share of renewable sources in the energy mix with an emphasis on electricity and the available potential on the territory of the Czech Republic. The energy of water, wind, biomass, solar and geothermal was analyzed in detail. The technological, natural and legislative aspects were assessed. For each of the renewable sources (RES) studied the maximum achievable RES potential was set. On the basis of the facts, the Czech Republic's potential for RES is evaluated, the EU policy in this area is evaluated and several recommendations are made on how to better integrate renewable sources not only in the electricity sector but also in the energy mix in general.

Keywords

Renewable Energy Sources, European Union, Water, Wind, Biomass, Solar Energy, Geothermal Energy, Potential, Decarbonisation, Energy Union, History of Electricity Production

Abstrakt

PALUDA, R. Potenciál obnovitelných zdrojů na území České republiky ve vztahu k požadavkům Evropské unie. Diplomová práce. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2017.

Tato diplomová práce se zabývá vztahem mezi požadavky Evropské unie na nárůst podílu obnovitelných zdrojů v energetickém mixu s důrazem na elektroenergetiku a dosažitelným potenciálem na území ČR. Podrobně byla analyzována energie vodní, větrná, biomasy, solární a geotermální. Hodnoceny byly aspekty technologické, přírodní a legislativní. U každého ze zkoumaných obnovitelných zdrojů byl stanoven maximální dosažitelný potenciál OZE. Na základě zjištěných skutečností je zhodnocena pozice ČR v oblasti potenciálu OZE, hodnocena politika EU v této oblasti a uvedeno několik doporučení, jak lépe zapojit obnovitelné zdroje nejen v elektroenergetice, ale i v energetickém mixu obecně.

Klíčová slova

Obnovitelné zdroje energie, Evropská unie, voda, vítr, biomasa, sluneční energie, geotermální energie, potenciál, dekarbonizace, energetická unie, historie výroby elektřiny



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Autor práce: Bc. Roman Paluda
Studijní program: Hospodářská politika a správa
Obor: Finance a investiční management

Vedoucí práce: Mgr. Petr Strejček, Ph.D., MBA

Název práce: **Potenciál obnovitelných zdrojů na území České republiky ve vztahu k požadavkům Evropské unie**

Jazyková varianta: Čeština

Zásady pro vypracování:

1. Hlavní výzkumnou otázkou DP bude posoudit, zdali je reálné dosáhnout podílu obnovitelných zdrojů ve výši 27% v celkové spotřebované elektrické energii v ČR do roku 2030 (bez exportu). Autor prostuduje relevantní literaturu a sestaví obsah strukturu DP.
2. Rešeršní část bude věnována představení tématu a informacím, která souvisejí s problematikou práce.
3. Cílem praktické části bude posouzení podmínek legislativních, technologických a přírodních na území ČR. V úvahu bude brán i technický pokrok u jednotlivých oblastech. K hodnocení byla vybrána energie vodní, větrná, biomasy, geotermální a fotovoltaika.
4. Na základě provedeného výzkumu budou definovány maximální (hraniční) možnosti zkoumaných druhů OZE. V diskuzi a závěru bude odpovězeno na výzkumnou otázku, zda je možné hranice 27 % OZE v energetickém mixu ČR do roku 2030 dosáhnout. Na základě výzkumu bude také určen předpokládaný podíl obnovitelných zdrojů na celkových elektro-energetických požadavcích v ČR s vymezením jednotlivých složek (OZE).
5. Pravidelně budou prováděny pravidelné konzultace s vedoucím diplomové práce a s odborníky na dané téma.
6. Na práci bude autor pracovat samostatně, v textu budou používány relevantní zdroje a citováno bude dle platné normy.

Rozsah práce: 70 - 80 stran

Literatura:

1. HRADÍLEK, Z. *Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. 208 s. ISBN 978-80-248-1696-8.
2. *Energetika: perspektivy - strategie - inovace v kontextu evropského vývoje*. Brno: Jihomoravská energetika, 540 s.
3. KRBĚK, J. -- POLESNÝ, B. *Kogenerační jednotky malého výkonu v komunálních a průmyslových tepelných zdrojích*. 1. vyd. Brno: VUT, 1997. 100 s. ISBN 80-214-0889-0.
4. CENEK, M. *Obnovitelné zdroje energie*. 2. vyd. Praha: FCC Public, 2001. 208 s. ISBN 80-901985-8-9.
5. NOZDROVICKÝ, L. *Biomasa pre regionálnu energetiku*. Nitra: SPÚ Nitra, 2007. I. ISBN 978-80-8069-892-8.
6. *Research approaches to sustainable biomass systems*. 1. vyd. Oxford: Academic press, 2014. 399 s. ISBN 978-0-12-404609-2.

Datum zadání: červen 2016

Datum odevzdání: květen 2017

Bc. Roman Paluda
Autor práce

Mgr. Petr Strejček, Ph.D., MBA
Vedoucí práce

doc. Ing. Vlasta Kašparovská, Ph.D.
Vedoucí ústavu

doc. Ing. Arnošt Motyčka, CSc.
Děkan PEF MENDELU

Obsah

1	Úvod	15
2	Historie využívání energie až po současnost	17
2.1	19. století a přelom 20. století aneb nesmělé krůčky k elektrické energii.	17
2.2	Období po roce 1918.....	19
2.3	Období po roce 1948.....	20
2.3.1	Rozvodné sítě.....	20
2.3.2	Vodní energetika	22
2.3.3	Uhelná energetika	22
2.3.4	Jaderná energetika.....	24
2.3.5	Obnovitelné zdroje energie	25
3	Politika EU v oblasti OZE a závazky plynoucí pro ČR	34
3.1	Cíle roku 2020	36
3.2	Cíle roku 2030	37
3.3	Výhled pro rok 2050	39
3.4	Energetická unie	40
4	Vodní energie	42
4.1	Potenciál hydroenergetiky	43
5	Větrná energie	45
5.1	Potenciál větrné energie.....	45
6	Energie biomasy	48
6.1	Potenciál biomasy	48
6.1.1	Lesní biomasa	48
6.1.2	Biomasa z trvalých travních porostů (TTP).....	50
6.1.3	Biomasa získaná z polí	50
7	Solární energie	54
7.1	Potenciál fotovoltaické energie	54

8	Geotermální energie	57
8.1	Potenciál geotermální energie.....	58
9	Celkový potenciál OZE	60
10	Diskuze	64
10.1	Další možnosti, jak zvýšit podíl OZE při výrobě elektrické energie.....	68
11	Závěr	74
12	Literatura	77

Seznam obrázků

Obr. 1	Spotřeba elektřiny v ČR - dlouhodobý vývoj 1919-2013, Zdroj: [26]	20
Obr. 2	Sítě 100 kV v Československu roku 1949, Zdroj: [27]	21
Obr. 3	Československá propojená soustava koncem roku 1954, Zdroj: [27]	21
Obr. 4	Vývoj emisí oxidu siřičitého a oxidů dusíku na území dnešní ČR od roku 1850 do současnosti, Zdroj: [30]	23
Obr. 5	Vývoj instalovaného výkonu a výroby VTE od roku 2004, Zdroj: [40]	26
Obr. 6	Srovnání vývoje výkupních cen v Německu a v České republice pro velké FVE nad 100kWp na zemi, Zdroj: [42]	27
Obr. 7	Vývoj instalovaného výkonu a výroby FVE od roku 2005 v ČR, Zdroj: [43], [44]	27
Obr. 8	Vývoj výroby elektrické energie z bioplynu + skládkového plynu, biomasy a BRKA, Zdroj: [43], [44]	28
Obr. 9	Vývoj výroby elektřiny brutto z OZE a její podíl na tuzemské brutto spotřebě v TWh, Zdroj: [44]	31
Obr. 10	Struktura spotřeby PEZ v ČR v roce 2014, Zdroj: [48b]	32
Obr. 11	Vývoj spotřeby PEZ na území dnešní ČR od roku 1955 do roku 2015, Zdroj: [48b]	33
Obr. 12	Podíl celkové hrubé spotřeby OZE za rok 2015 v zemích EU, Zdroj: [54]	36
Obr. 13	Roční suma globálního horizontálního záření v ČR, Zdroj: [81]	54
Obr. 14	Klasifikace vhodnosti lokalit z hlediska využití geotermální energie, Zdroj: [87b]	57
Obr. 15	Projekt Desertec, Zdroj: [92]	66

Obr. 16	Technologie Power to Gas, Zdroj: [97]	68
Obr. 17	Výkonový profil AC fotovoltaického systému s východozápadní orientací a tenkovrstvými panely, Zdroj:[106]	71
Obr. 18	ESOI index u vybraných druhů skladování energie, Zdroj: [108]	72
Obr. 19	Vývoj výroby a instalovaného výkonu MVE od roku 2002, Zdroj: [111]	99
Obr. 20	Použití vodních kol dle průtoku a spádu, Zdroj: [113]	101
Obr. 21	Účinnost vodních kol, Zdroj: [113]	102
Obr. 22	Použití turbín dle spádu a průtoku, Zdroj: [113]	103
Obr. 23	Porovnání účinnosti dvousekční Bánkiho turbíny s Francisovou turbínou v závislosti na stupni plnění, Zdroj: [116]	104
Obr. 24	Zotlötererova turbína, Zdroj: [119]	105
Obr. 25	Turbína Setur, Zdroj: [121]	105
Obr. 26	Srovnání účinnosti některých strojů poháněných vodou, Zdroj:[113]	106
Obr. 27	Stanovení výkonu VTE, Zdroj: [122]	108
Obr. 28	Přeměna energie větrné na energii elektrickou, Zdroj: [123]	109
Obr. 29	Příklad správného umístění VTE pro využití zhuštěného větrného proudění, Zdroj: [124]	110
Obr. 30	Mapa hustoty výkonu v kWh/rok pro větrnou elektrárnu s průměrem rotoru 5 metrů a výkonem 5kW ve výšce 10 metrů nad povrchem v oblasti Jeseníků, Zdroj: [125]	111
Obr. 31	Pole průměrné rychlosti větru ve výšce 100 metrů nad povrchem, Zdroj: [126]	112
Obr. 32	Porovnání vhodných míst pro stavbu VTE a chráněných území, Zdroj: [69]	114
Obr. 33	Mapa míst vhodných pro umístění VTE, Zdroj: [127]	115

Obr. 34	Základní procesy a technologie přeměny biomasy, Zdroj: [71]	118
Obr. 35	Závislost produkce bioplynu na teplotě fermentačního procesu, Zdroj: [135], str. 42	120
Obr. 36	Výtěžnost bioplynu z různých surovin, Zdroj: [71]	121
Obr. 37	Ukázka půdoochranné funkce šťovíku v době růstu a po seči, Zdroj: [139]	124
Obr. 38	Topolovka růžová, Zdroj: [142]	126
Obr. 39	Kumulovaný výnos biomasy dosažený klonem J-104 při různé délce obmýtí v pokusném porostu na lokalitě Peklov, Zdroj: [147]	129
Obr. 40	Podíly složek v kukuřici, Zdroj: [136]	132
Obr. 41	Ochranná orba zamezující šíření kořenů mimo plantáž RRD, Zdroj: [154]	134
Obr. 42	Fotovoltaický článek, Zdroj: [158]	137
Obr. 43	Vliv sklonu a orientace panelů na celkovou výrobu FVE, Zdroj: [168]	138
Obr. 44	Binární elektrárna, Zdroj: [172]	141

1 Úvod

Snaha navyšovat podíl obnovitelných zdrojů kromě ideologických má i ryze racionální důvody, mezi něž můžeme zařadit např. vyčerpateľnost fosilních paliv, emise skleníkových plynů, jež způsobují klimatickou změnu a v neposlední řadě i energetickou bezpečnost. Mnohé energetické zdroje, jež využívají země západního světa, pochází z geopoliticky nestabilních oblastí a nepřímou tak mohou podporovat režimy, které lze z hlediska míry svobody a lidských práv označit jako problematické. Jedním ze signatářů pařížské klimatické konference jsou i země EU, mezi něž patří i ČR. Kromě cíle udržet globální oteplení do konce století pod 2°C má EU své vlastní plány jak snižovat emise skleníkových plynů. Tyto ambice dopadají i na Českou republiku. Jedním z prostředků jak snižovat produkci skleníkových plynů je i navýšení podílu zelených zdrojů elektřiny na úkor fosilní energetiky. Je tedy na místě, aby si jednotlivé členské země vyjasnily své pozice v oblasti obnovitelných zdrojů a znaly svoje možnosti pro dosažení nákladově efektivního řešení v rámci EU. Nevládnutí tohoto by mohlo ohrožovat pozici evropského průmyslu a přinášet i koncovým spotřebitelům vyšší ceny energií, než by bylo nezbytně nutné.

Jedním z cílů této práce je nalézt odpovědi na pozici ČR v oblasti potenciálu obnovitelných zdrojů a vyjasnit maximální možnou výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů. Výsledné hodnoty však neznamenají povinnost realizovat veškerý potenciál obnovitelných zdrojů, jen vymezí určité mantinely, za které se nebude možné posunout a vytyčí určitý manévrovací prostor, který daná země má a umožní v interakci s ostatními členskými státy EU hledat optimální řešení, jež zohlední specifika dané země, jako je např. otázka efektivní alokace prostředků v oblasti OZE nebo podíl průmyslu na HDP a s tím související energetická náročnost hospodářství.

Cíl práce

Cíl diplomové práce spočívá v nalezení odpovědi na otázku, zdali je možné navýšit podíl obnovitelných zdrojů v oblasti elektroenergetiky na 27% celkové hrubé spotřeby ČR do roku 2030. Za výchozí rok pro numerické vyjádření požadované spotřeby byl zvolen poslední rok, za který jsou dostupná data tj. rok 2015. V úvahu bude brán technologický pokrok, přírodní i legislativní podmínky.

Metodika

Kromě časového vymezení do roku 2030 bude výzkum ohraničen i geograficky a to hranicemi ČR. Prozkoumána bude energie vodní, větrná, biomasy, sluneční a geotermální. Výzkumu budou podrobeny technologické podmínky a to např. v oblasti nových vodních turbín, účinnosti a cenové dostupnosti FV článků, vliv klimatické změny u těch obnovitelných zdrojů, kde to bude relevantní a pozornost bude věnována i úzkým místům jednotlivých obnovitelných zdrojů jako je skladování energie a možnosti přenosové soustavy. Pro lepší pochopení současných slabých míst pro větší uplatnění OZE bude věnována jedna kapitola i historii výroby elektřiny po současnost z důvodu výrazně jiných charakteristik OZE ve srovnání s konvenční energetikou, na kterou byly konstruovány i rozvodné sítě. Dále bude věnována pozornost přírodním podmínkám ČR, jejichž posouzení umožní stanovit maximální možnou výrobu elektrické energie ze zvoleného zdroje a také stanovit zda nejbližším limitujícím faktorem dalšího rozvoje jsou nevhodné hydrologické nebo geografické podmínky, klimatická změna, kapacita přenosových sítí, skladování energie aj. V oblasti legislativní bude zkoumána proveditelnost navýšení podílu OZE, protože např. odmítnutí připojit zdroj do sítě znemožní výrobu.

Hodnocení aspektů OZE bude prováděno i průběžně, nicméně hlavní a hlubší hodnocení s návrhy jak umožnit větší zapojení zelené energie nejen v oblasti elektroenergetiky, ale i energetického mixu obecně, nalezne čtenář v diskuzi.

2 Historie využívání energie až po současnost

Snaha využívat energii je stará téměř jako lidstvo samo. Oheň pravděpodobně naši předkové znali již před 1,5 miliony let [1]. První využití plachetnic datujeme do období cca 5000-5500 př. n. l. [2]. Vodní kolo je doloženo již z období Starověkého Egypta v cca 4. století před naším letopočtem [3], [4]. Ropa jako palivo se používala již v Mezopotámii tři tisíce let před naším letopočtem. Doloženo je její využívání též ve Starověké Číně přibližně 200 let př. n. l. [5].

V českých zemích byl roku 718, jako první ve střední Evropě, vybudován vodní mlýn na řece Ohři u Žatce. První doložený větrný mlýn máme z roku 1277. Nacházel se na zahradě Strahovského kláštera [6]. Přestože k využívání elektřiny vedla ještě dlouhá cesta, využívání energie přírody dokázalo totéž, co dovede dnes elektřina, a sice nahradit energii svalů. Ať již zvířat nebo lidí. Rozmach větrného mlynářství nastal mezi 40. - 70. léty 19. století. V Čechách dříve, na Moravě a ve Slezsku o něco později. Doložena je existence 879 větrných mlýnů [7]. Mnohé z nich se nedochovaly. Po změně poměrů od roku 1948 byly některé dokonce úmyslně ničeny [8].

2.1 19. století a přelom 20. století aneb nesmělé krůčky k elektrické energii

Technologický pokrok 19. století umožnil přeměnit energii vody na energii mechanickou a posléze na energii elektrickou.

Jeden z milníků byl rok 1800, kdy Alessandro Volta dokázal sestrojít článek, který vytvořil první známý zdroj použitelného stejnosměrného elektrického proudu¹. V průběhu století se znalosti prohlubovaly, byla prozkoumána většina elektrických vlastností látek, objeveny zákony platící v elektrických obvodech a nalezena souvislost elektřiny s magnetismem[9].

Mezi významné vynálezy této doby lze bezesporu zařadit vodní turbíny. Oproti vodnímu kolu s účinností 20-50%, se dokázaly dostat až na 90% (Kaplanova). Roku 1847 byla sestrojena Francisova turbína, v roce 1880 Peltonova turbína, 1913 Kaplanova a roku 1919 Bánkiho turbína[6]. I když uběhlo již více než století, od objevu hlavních typů turbín (s výjimkou Bánkiho) posun v účinnosti od doby vzniku není velký a nepřesahuje 10-20%.

Stále hlubší znalosti o elektřině dláždily cestu jejímu dalšímu využití. Jeden z dalších mezníků byl rok 1881. Na pařížské elektrotechnické výstavě se konal také první mezinárodní elektrotechnický kongres². Významní odborníci z celého světa

¹ Napětí Voltova článku bylo stanoveno jako 1 Volt a také se po něm tato fyzikální jednotka jmenuje.

² Mimo jiné zde český vynálezce František Křižík získal zlatou medaili za zlepšení obloukové lampy. Od této doby také dochází k postupnému útlumu petrolejových lamp a také plynových. Plynové však vytrvaly o mnoho déle a v Praze se používaly dokonce až do počátku 80. let 20. století.

zde zformulovali základní elektrotechnické pojmy a stanovili jednotky pro měření elektrických veličin: ampér, ohm, volt a watt. Tyto veličiny používáme dodnes. 80. léta znamenaly také významný posun v produkci a využití elektřiny.

Ve světě byla postavena první vodní elektrárna roku 1881 na řece Way v anglickém Godalmingu. Dodávala stejnosměrný proud. Větší část byla dodávána městu, které jej využívalo zejména k osvětlení ulic. Svítit elektřinou však bylo výrazně dražší než plynem a i díky špatné životnosti žárovek byla elektrárna již po třech letech zastavena[10].

První komerční elektrárna byla spuštěna 4. září roku 1882 v New Yorku (Manhattan). Její výkon činil asi 100kW. Ještě téhož roku byla ve stejné ulici uvedena do provozu elektrárna s výkonem 600kW. Ta již dokázala napájet 6000 žárovek. Obě dvě používaly za palivo uhlí, vyráběly stejnosměrný proud a u jejich zrodu stál Thomas Alva Edison[10], [11]. Na přelomu 80. a 90. let též probíhala válka proudů (střídavý vs. stejnosměrný³)[12]. Významné je též zprovoznění vodní elektrárny na Niagarských vodopádech roku 1895. Po dokončení elektrárny činil její výkon 75MW a jednalo se o největší elektrárnu své doby⁴. Na počátku 20. století pokrývaly vodní elektrárny více než 40% americké spotřeby [13], [14].

V českých zemích se poprvé žárovka rozsvítila roku 1880 v Robertově cukrovaře v Židlochovicích⁵ [15]. Prvním elektricky osvětleným divadlem v Evropě bylo Mahenovo divadlo v Brně roku 1882 [16]. První elektrárnou na území tehdejšího Předlitavska byla Křižíkova elektrárna v Jindřichově Hradci. Spuštěna byla již v lednu 1887[17]. 23. června 1887 předvedl František Křižík v Písku veřejné osvětlení. Vzhledem k velkému úspěchu bylo rozhodnuto vybudovat ve městě vodní elektrárnu. Do trvalého provozu byla uvedena 31. srpna roku 1888. Písek se tedy stal prvním městem na našem území se stálým veřejným elektrickým osvětlením. V současnosti je také nejstarší fungující elektrárnou u nás[18]. První elektrárnou na území dnešní Prahy byla elektrárna na Žižkově. U jejího zrodu stál opět František Křižík. Do ostrého provozu byla uvedena 1. prosince 1889. Parní stroj dosahoval výkonu 60HP a vyráběl stejnosměrný proud. V roce 1910 disponovala dvěma parními stroji o výkonu 200 a 500 koní. Uzavřena byla v roce 1926[19], [20]. Plně ji zastoupila Holešovická elektrárna. Ta byla otevřena 7.4.1900. Při otevření měla výkon 5000HP a vyráběla již od počátku proud střídavý. Postupně její výkon rostl a v roce 1918 byla největší elektrárnou u nás s výkonem 38,755MW⁶[21]. Tehdejší technický pokrok zatím nedovoloval zkonstruovat vyšší výkony parních turbín.

³ Díky možnosti dopravovat střídavý proud na velké vzdálenosti bez větších ztrát nakonec vyhrál střídavý.

⁴ Dnes je elektrárna schopna vyrábět až 4500MW elektřiny. Po rekonstrukci v roce 1961 se jednalo o nejvýkonnější vodní elektrárnu na světě.

⁵ První použitelná žárovka byla sestrojena Edisonem roku 1879.

⁶ Holešovická elektrárna měla instalovanou největší turbínu tehdejší doby o výkonu 8,5MW. Další významná elektrárna byla Trmická (rok 1916-1918) s 12MW, později až 56MW (1932), Andělská Hora s 15MW (1914), Poříčí 4,5MW (1914), později až s 26MW, Nové Sedlo 7MW, Oslavany 6,8MW (1913) [22].

Prudký rozvoj průmyslu si žádal stále větší potřebu elektřiny a již nedostačující výroba vodních elektráren byla stále více nahrazována uhelnými elektrárnami. Jejich spotřeba uhlí však zatím nedosahovala takových rozměrů, aby poškozovala smrkové porosty.

Před vznikem Československa existovaly na našem území pouze 3 vodní elektrárny s výkonem nad 1MW - Pod Čertovou stěnou ve Vyšším Brodě (8 MW), pražská Štvanice (1,42 MW) a Poděbrady na Labi (1,04 MW) [6].

2.2 Období po roce 1918

Významným tahounem spotřeby elektřiny bylo válečné hospodářství mezi roky 1914-1918. I přes postupující elektrifikaci však stále většina obyvatel neměla přístup k elektrické energii. Při vzniku ČSR mělo přístup k elektřině pouze 34% obyvatel (na Slovensku jen 2%). Souhrnně byla elektřina dostupná pouze v 10% měst a obcí. I toto poukazuje na značně rozdílnou hospodářskou úroveň jednotlivých regionů s nižší mírou industrializace směrem na východ naší země. Proto se další elektrifikace stala jednou z priorit nově vzniklého státu. Roku 1919 byl přijat zákon o všeobecné elektrifikaci (nazývaný též elektrizační zákon). O rok později ministr veřejných prací zavedl výnosem třífázovou soustavu o frekvenci 50Hz a napětí 3 x 380/220V, což zůstalo stejné dodnes. Dřívější distribuce elektřiny byla pouze lokální s různými proudovými systémy, napětími a kmitočty[23]. Postupně rostl i výkon vodních elektráren. K roku 1925 se uvádí instalovaný výkon 48,8MW⁷[6]. Stále větší poptávka po elektřině úzce spojená s elektrifikací vedla k výstavbě naší dosud největší uhelné elektrárny v Ervenicích na Mostecku. Spuštěna byla 26.2.1926. Poprvé byl u nás použit přenos napětím 100kV vedením o délce 85km do Prahy. V době otevření měla výkon 45MW (3x15MW) a v roce 1932 byla posílena dalšími 25MW⁸[24], [25]. Elektrifikace probíhala poměrně rychle a na konci 20. let mělo přístup k elektřině již více než 70% obyvatel. Na konci 30. let to bylo již 70% obcí a 90% obyvatel⁹. Většina elektřiny byla stále používána na svícení. To se změnilo až s příchodem válečného hospodářství v letech čtyřicátých[23].

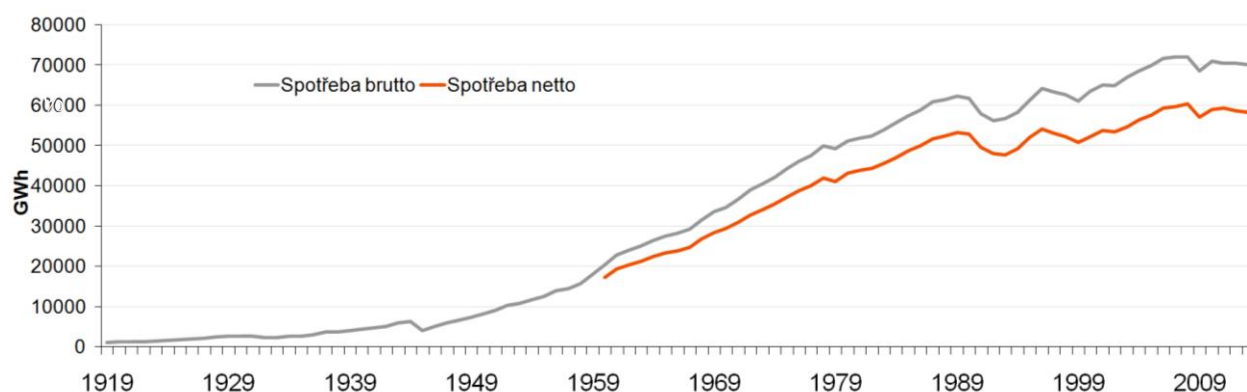
Pokud srovnáme spotřebu elektřiny v tomto období a dnes, byla velmi nízká. Roku 1919 činila 1,093TWh, roku 1927 dosáhla 2,189TWh, 1936 3,09TWh, 1952 10,29TWh a hranice 20TWh byla překonána roku 1960¹⁰[26].

⁷ Při velkém sčítání hydroenergetických děl v roce 1930 mělo výkon 1,5kW a více 11785 děl. Celkový součet zařízení všech výkonů hovoří až o 17 tisících.

⁸ Ervenicím se podobně jako mnoha jiným obcím na severu Čech stalo uhlí osudné. Zbořeny byly v roce 1960. Přesto je možné obce i samotnou elektrárnu dodnes spatřit. V roce 1953 bylo provedeno rozsáhlé letecké mapování. Mapové snímky jsou dostupné např. na webu <http://kontaminace.cenia.cz/>

⁹ Cena elektřiny však byla ještě vysoká (v roce 1928 stála jedna kilowatthodina 3,37 Kčs, v roce 1937 již jen 0,63 Kčs a v roce 1950 pouhých 0,31 Kčs).

¹⁰ Podrobné údaje za každý rok včetně válečného rozmachu a poválečného propadu jsou uvedeny v příloze.



Obr. 1 Spotřeba elektriny v ČR - dlouhodobý vývoj 1919-2013, Zdroj: [26]

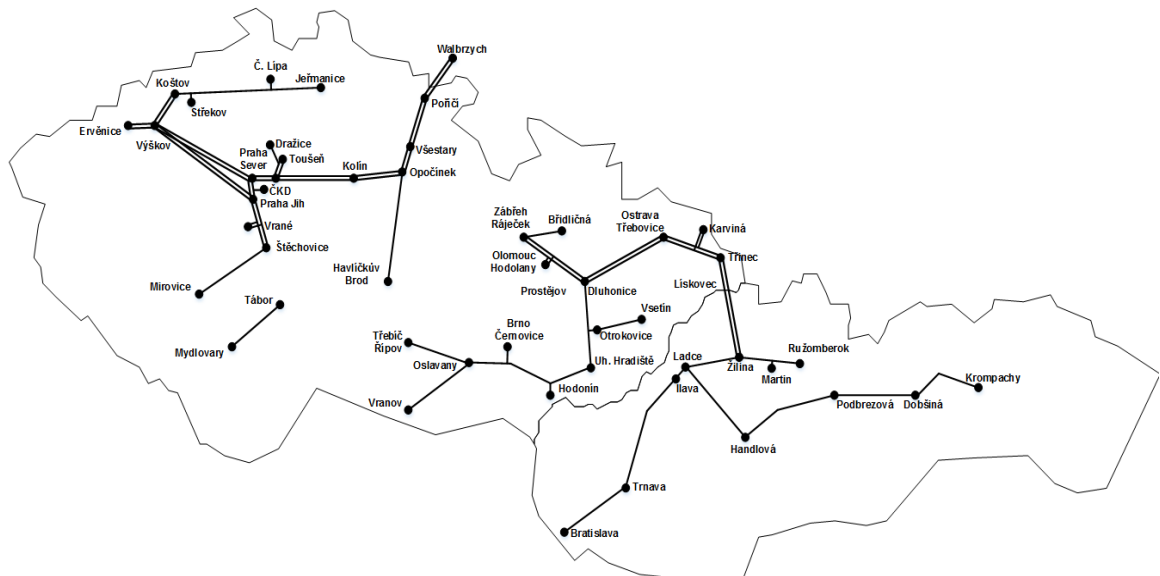
2.3 Období po roce 1948

Situace po roce února 1948 přinesla velké změny nejen ve společnosti, ale i v energetice.

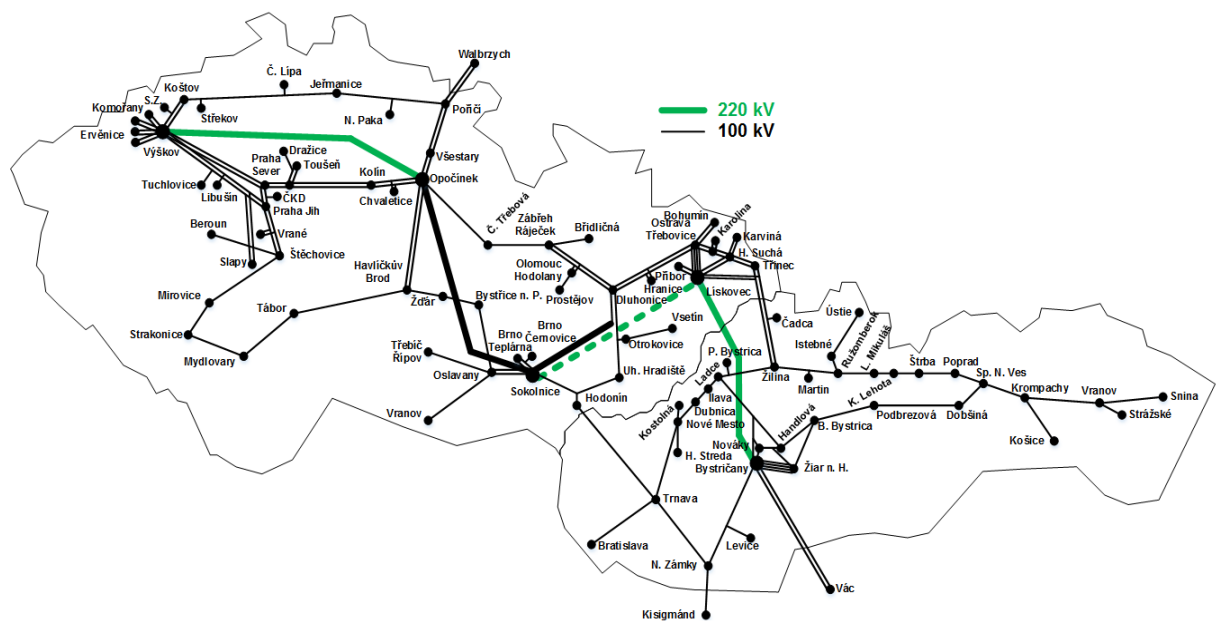
2.3.1 Rozvodné sítě

I přes pokračující elektrifikaci země, nebyla stále vybudována nadřazená páteřní síť pro přenos elektrické energie. Energetickému využití severočeského hnědého uhlí bránila nedobudovaná přenosová soustava, která by umožnila přenést výkon do deficitních oblastí východních Čech, jižní Moravy a dále na Slovensko. Tím byla i determinována výstavba vedení, které směřovalo od západu na východ. Spojení Moravy a Slovenska do jednoho systému o napětí 100kV se podařilo na jaře roku 1949. První vedení o napětí 220kV bylo uvedeno do provozu mezi severními a východními Čechami. Teprve v roce 1953 došlo k propojení Čech s Moravskoslovenským systémem¹¹. Vzhledem k rychlému růstu spotřeby elektriny v poválečném období a obecně nedostatečné kapacitě pro vyvedení výkonu na Slovensko, kde rychle stoupala spotřeba, se přistoupilo k budování sítě o napětí 400kV. První vedení připravené pracovat s 400kV bylo vybudováno mezi rozvodnami Hradec u Kadaně v severních Čechách a Prosenicemi u Přerova. Zpočátku se pracovalo s napětím 220kV a až od 3. 10. 1965 se zvýšilo na 400kV[27].

¹¹ V tomto období byla také dokončována elektrifikace obcí. Poslední elektrifikovanou obcí v roce 1955 u nás byla Hřava na česko-slovensko-polském pomezí [23].



Obr. 2 Sítě 100 kV v Československu roku 1949, Zdroj: [27]



Obr. 3 Československá spojená soustava koncem roku 1954, Zdroj: [27]

2.3.2 Vodní energetika

Asi nejvýznamnější dopad změny politického ovzduší se projevil ve vodní energetice. Po znárodnění v roce 1949/1950 bylo v rámci tehdejšího ČEZ v provozu 4392 hydroenergetických zdrojů s instalovaným výkonem 336,2 MW. Malé vodní elektrárny (MVE) byly považovány za nevhodné a nechávaly se pouze dosloužit, nebo byly rušeny. Pouze elektrárny s výkonem nad 200kW mohly být stavěny. Vývoj směřoval k velké energetice. U vodní energie tomu nebylo jinak. Od 50. let do počátku 60. let se budovala Vltavská kaskáda. Její celkový výkon 750MW je však na české hydrologické podmínky zcela ojedinělý. Vzhledem k tomu, že Česká republika je evropským rozvodím a všechny řeky od nás odtékají, potenciál velké vodní energetiky je již takřka vyčerpán. Po jejím dobudování se ukázalo, že energetické potřeby hospodářství již technicky překročily potenciál vodních toků. Po roce 1980 se budovaly pouze přečerpávací elektrárny pro účely regulace rozvodných sítí. K mírnému uvolnění u MVE došlo počátkem 80. let a úplné uvolnění nastalo po roce 1989. Obnovovaly se dříve fungující elektrárny a stavěly se nové[6].

2.3.3 Uhelná energetika

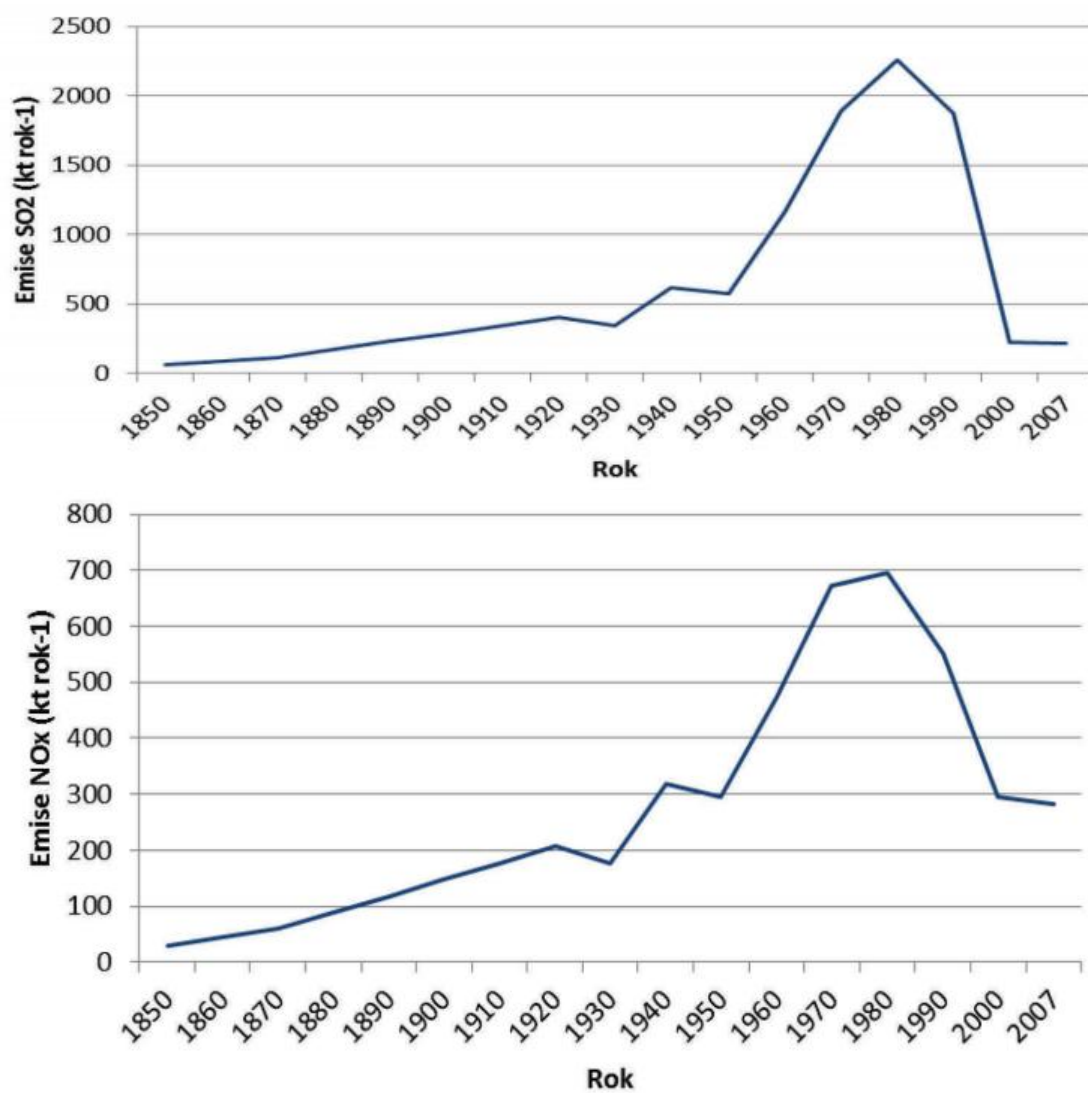
Technologický rozvoj umožnil instalovat stále větší výkony turbín a roku 1954 byla spuštěna první 50MW turbína v Třebovicích a v Hodoníně. Po dobudování v roce 1958 byla hodonínská elektrárna s celkovými 205MW největší elektrárnou v Československu. Významná byla též elektrárna Poříčí (165MW), Tisová I (183,8MW), Mělník I (240MW) a Opatovice (330 MW).

110MW turbína byla poprvé instalována roku 1960 v elektrárně Tisová II. Stejná technologie byla využita též v Pruněřově I (660MW), Tušimicích I (660MW), Mělníce II (440MW), Vřesové (220MW) a Ledvicích (640MW).

První blok o výkonu 200MW byl umístěn v Ledvicích roku 1967, výkonově stejnou turbínou byly osazeny i Počerady (1000MW), Tušimice II (800MW), Dětmárovice (800MW), Chvaletice (820MW) a Pruněřov II (1050MW).

První 500MW blok byl instalován roku 1981 v Mělníce (Mělník III) [6]. Další bloky o takto vysokém výkonu se již nepostavily. Až od roku 2009 se začaly stavět Ledvice s instalovaným výkonem 660MW. Měla to být nejúčinnější uhelná elektrárna v ČR s účinností 42,5%. Termín dokončení v roce 2012 nebyl dodržen a ani v roce 2017 není plně využívána a pracuje s výkonem 450MW. Celkově již stála 30 miliard korun[28], [29].

Zajímavý je také aspekt ekologické zátěže. Od 50. let rychle stoupala spotřeba uhlí a emise SO₂ také. Ty vrcholily v 80. letech na úrovni 2257 kilotun. Obrat přišel v době, kdy byla spuštěna JE Dukovany, která převzala část produkce elektřiny a umožnila snížit spotřebu uhlí. Nyní jsou emise SO₂ po odsíření v 90. letech nižší o více než 90% [30].



Obr. 4 Vývoj emisí oxidu siřičitého a oxidů dusíku na území dnešní ČR od roku 1850 do současnosti, Zdroj: [30]

2.3.4 Jaderná energetika¹²

Prudce se zhoršující stav životního prostředí v 60. a zejména od 70. let a katastrofální kvalita ovzduší v některých oblastech ČSSR mohla zlepšit změna energetického mixu. Čištění spalin a zejména omezení oxidů síry ve spalinách se před rokem 1989 nevnímalo jako zásadní téma. Přednost dostaly aspekty ekonomické. Nicméně tenčící se zásoby uhlí a špatné ovzduší byly významným důvodem proč přistoupit k výstavbě jaderných bloku i u nás.

Roku 1956 Československo ve spolupráci se SSSR začíná vyvíjet těžkovodní reaktor chlazený plynem. Výstavba začala roku 1958 v Jaslovských Bohunicích. Dokončena byla roku 1972. Výkon reaktoru A1 měl dosáhnout 150MW. V témže roce se zde přistoupilo také k výstavbě bloku ruské konstrukce VVER 440. Roku 1977 byl reaktor A1 vyřazen z provozu. Jednalo se o nejvážnější jadernou havárii v ČSSR[34], [35]. První reaktor VVER byl spuštěn roku 1978. Další roku 1980 po pouhé čtyřleté výstavbě¹³. Další nové bloky stejné konstrukce byly spuštěny roku 1984 a 1985 a fungují dodnes[36]. Mezi roky 1985-1987 byla spuštěna jaderná elektrárna Dukovany. Její výstavba započala roku 1978. Opět použit reaktor VVER 440. V roce 2000 a 2003 byly spuštěny 2 bloky JE Temelín o celkovém výkonu 2000MW (VVER 1000)^{14 15}[34].

¹² První řízená štěpná reakce se uskutečnila 2. prosince 1942 pod vedením Enrica Fermiho v Chicagu. Výkon ovšem dosáhl pouze půl wattu. O deset dní později se již podařil získat tepelný výkon 200W. Pokus ukázal, že řízená štěpná reakce je možná[31], [32]. Elektřina byla poprvé štěpnou reakcí vyrobena roku 1951 v Idahu (USA). Výkon postačoval k rozsvícení čtyř dvousetwattových žárovek. První jaderná elektrárna s dodávkou elektřiny do sítě byla spuštěna roku 1954 v ruském Obninsku. Výkon činil 5MW. První větší elektrárna využívající energii štěpení jader byla uvedena do provozu roku 1956 ve Velké Británii. Jmenovala se Calder Hall a měla výkon 200MW (4x 50MW). První jaderná elektrárna postavená čistě pro mírové využití jaderné energie byla spuštěna v Pennsylvánii roku 1957. Výkon jaderné elektrárny Shippingport dosahoval 68MW[33].

¹³ Oba dva jsou již mimo provoz. Odstavení proběhlo v roce 2006 u nejstaršího bloku a o dva roky později i blok provozovaný od roku 1980.

¹⁴ Původně se plánovalo postavit 4 bloky, po roce 1989 však došlo k redukci na polovinu. Pokud se podíváme na celkovou možnou produkci JE, dosahovala by asi 45TWh. To by představovalo více než 70% spotřeby roku 1989. Nepochybně by to výrazně omezilo tlak na prolamování uhelných limitů, V současnosti totiž drtivá většina hnědé uhlí končí v uhelných elektrárnách. O environmentálních, krajinných a ekologických aspektech asi není třeba příliš polemizovat. Zajímavý byl též slib odstavit mnohé uhelné elektrárny po dostavbě jaderných. Nicméně k tomu po roce 1989 v tržním hospodářství již nedošlo [37].

¹⁵ Pokud bychom měli zohlednit celé území tehdejší ČSSR, pak roku 1982 začala též výstavba ve slovenských Mochovcích (1. a 2. blok, opět VVER 440), spuštěny byly roku 1998 a 2000. Roku 1985 se začalo pracovat na třetím a čtvrtém bloku stejné konstrukce. Po roce 1989 byly práce zastaveny. Od roku 2008 se opět dostavují. Spuštění 3. bloku se plánuje na rok 2017 a 4. v roce 2018.

2.3.5 Obnovitelné zdroje energie

S výjimkou vodní energie, která zde byla od počátku výroby elektrické energie u nás, nebyly environmentální aspekty produkce elektřiny do roku 1989 brány do úvahy. V západních zemích začaly tyto problémy více rezonovat od 70. let, kdy se objevily první ropné šoky, a otázka vyčerpatelnosti fosilních paliv se dostávala do popředí. U nás se k mixu výroby elektřiny z uhlí a vody přidala koncem 70. let jaderná energetika. Teprve od 90. let 20. století se výroba elektřiny začíná i u nás více diverzifikovat. Významné změny se však udály až v přibližně poslední 10 letech.

Větrná energie

První vlna výstavby větrných elektráren v ČR přišla v první polovině 90. let. Objevily se zde i čeští výrobci, ovšem ve srovnání se západními společnostmi nedisponovaly potřebným kapitálem, vývojovým zázemím a dostatkem času pro zkušební provoz. Výsledkem byla častá poruchovost a bohužel i díky chybějící certifikaci nebyl možný export těchto zařízení. V konečném důsledku se nevytvořil trh s větrnými elektrárnami a jejich výroba byla ukončena. Nízké výkupní ceny větrné energie mezi 0,9 až 1,13Kč za 1kWh také nepodporovaly její další rozvoj.

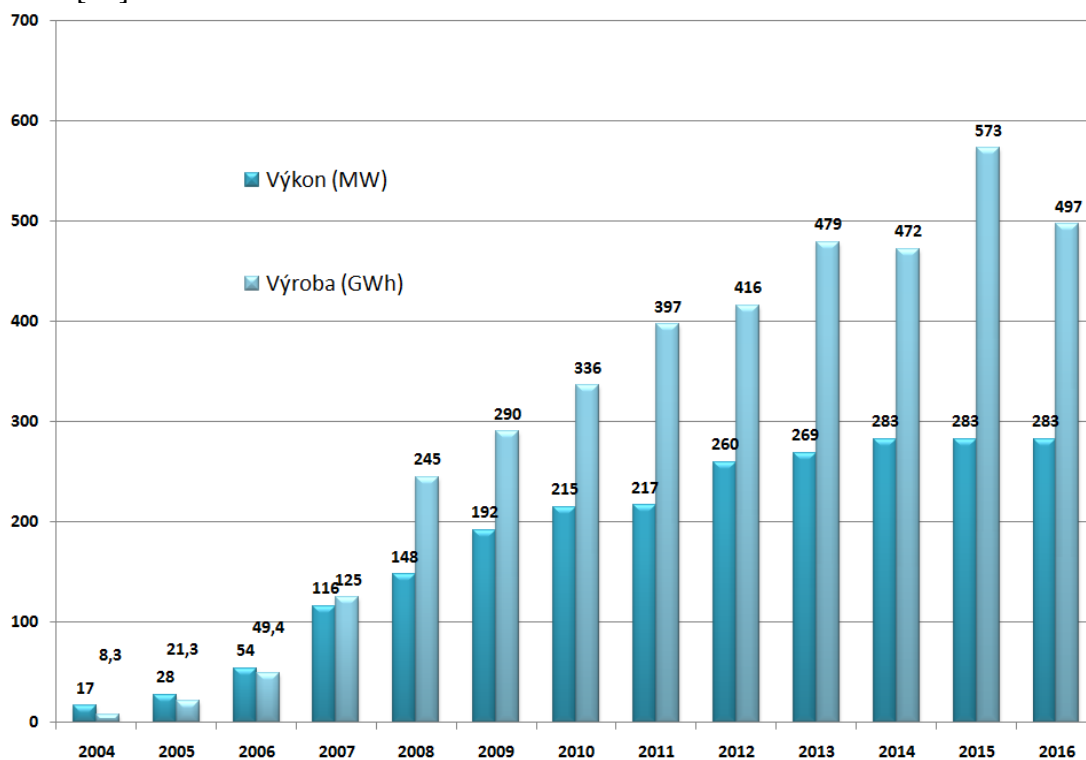
Místo instalace	Okres	Počet turbín	Instalovaný výkon	Rok uvedení provozu
Mravenečník	Šumperk	3	1,17	1993, 1995, 1996
Ostružná	Jeseník	6	3	1994
Hostýn	Kroměříž	1	0,225	1994
Velká Kraš u Vidnavy	Jeseník	1	0,225	1994
Nový Hrádek	Náchod	4	1,6	1995

Tab. 1 Seznam fungujících velkých VTE v ČR postavených v 90. letech, Zdroj: [38]

Postupný konec společností znamenal problém s údržbou, opravami a náhradními díly. Bohužel často nebyla správně odhadnuta ani hustota výkonu větru v dané oblasti a to dále zhoršilo návratnost investic. Například u VTE Ostružná činila skutečná výroba oproti plánu méně než polovinu. Všechny výše uvedené faktory nakonec vedly k tomu, že počáteční náskok v instalovaném výkonu oproti sousednímu Rakousku jsme rychle ztratili¹⁶. Do konce tisíciletí se již další VTE u nás vlivem všech výše uvedených důvodů nepostavily[38]. Významnější změna nastala až od roku 2002, kdy byla zvýšena výkupní cena na 3,00Kč/kWh. Ta se udržela i v roce

¹⁶ Roku 1995 činil instalovaný výkon 7,55MW v ČR a u jižních sousedů pouze 0,8MW. Jedná se však pouze o velké instalace. Pokud by se spočítaly všechny zdroje o výkonu nad 50kW, pak bychom jich ke konci roku 1995 napočítali 24 VTE s celkovým instalovaným výkonem 8,22MW.

2003, následně však začala klesat až na 1,93Kč/kWh, kde setrvává od roku 2016[39].



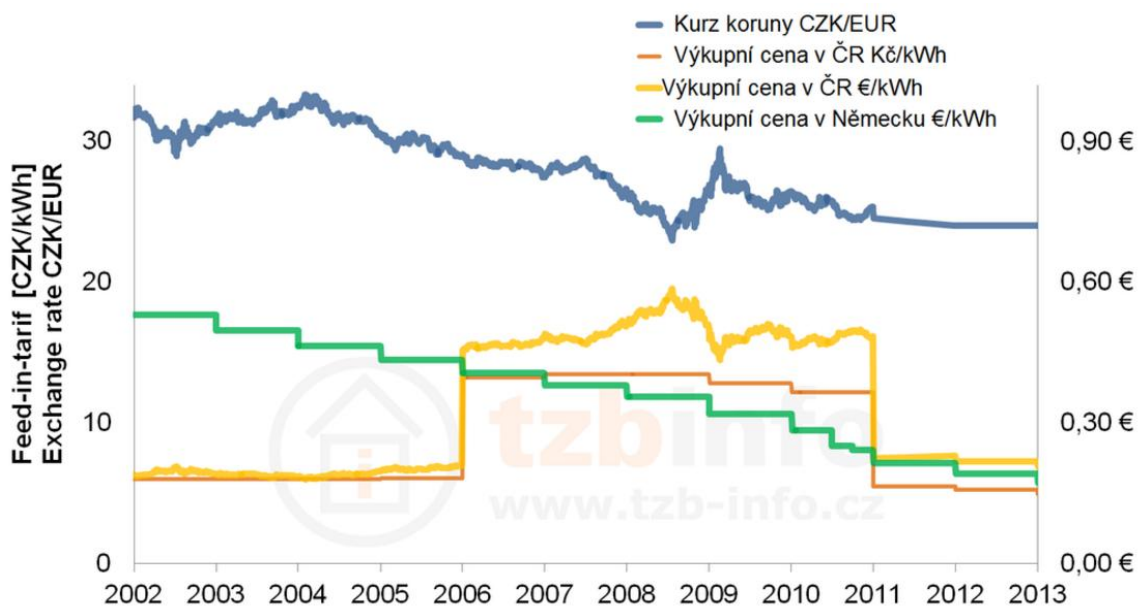
Obr. 5 Vývoj instalovaného výkonu a výroby VTE od roku 2004, Zdroj: [40]

Z grafu je patrný významný rozvoj větrné energie po zvýšení výkupních cen. Rozvoj se však od roku 2012 téměř zastavil a v uplynulých třech letech se již další větrná elektrárna nepostavila.

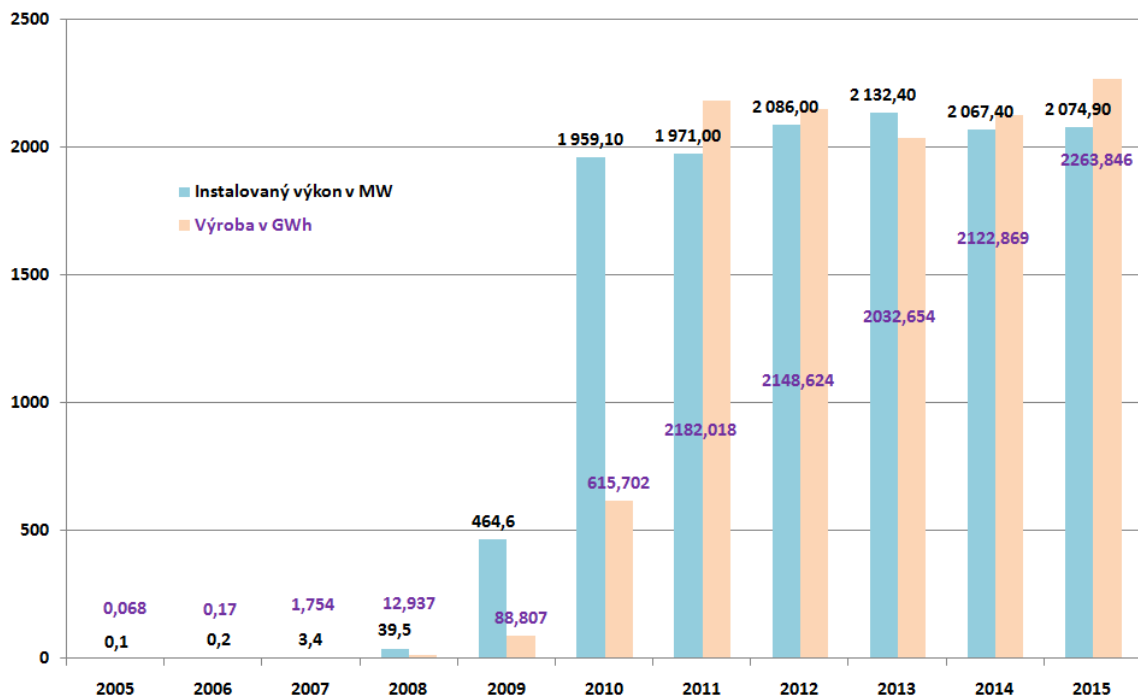
Fotovoltaická energie

Roční výroba elektřiny z fotovoltaiky byla až do roku 2008 velmi nízká. Zákonem č. 180/2005 Sb. byla stanovena poměrně vysoká výkupní cena elektřiny ze Slunce. Bohužel technologický vývoj byl rychlejší než právní a umožnil rychlý pokles ceny fotovoltaických panelů bez adekvátní legislativní reakce. Od roku 2008 začínají ceny FVE panelů velmi rychle klesat, aniž by přišla patřičná reakce v korekci výkupních cen, které zůstávaly na úrovni okolo 13Kč za vyrobenou kilowatthodinu. Zákonem bylo stanoveno, že maximální možný pokles výkupní ceny zelené elektřiny může činit nejvýše 5% ročně. Energetický regulační úřad tedy měl při snižování výkupních cen svázané ruce, což umožnilo obrovský nárůst instalovaného výkonu a výroby z fotovoltaiky. Tato situace významně poškodila obnovitelné zdroje v očích veřejnosti. Např. v roce 2015 tvořila celková podpora FVE 26,8 miliardy korun z celkových 41,1 miliard, jež získaly OZE[41]. To představuje asi 65%. Při-

tom FVE vyprodukují jen 2,26TWh, což tvoří asi 24% veškeré zelené elektřiny u nás.



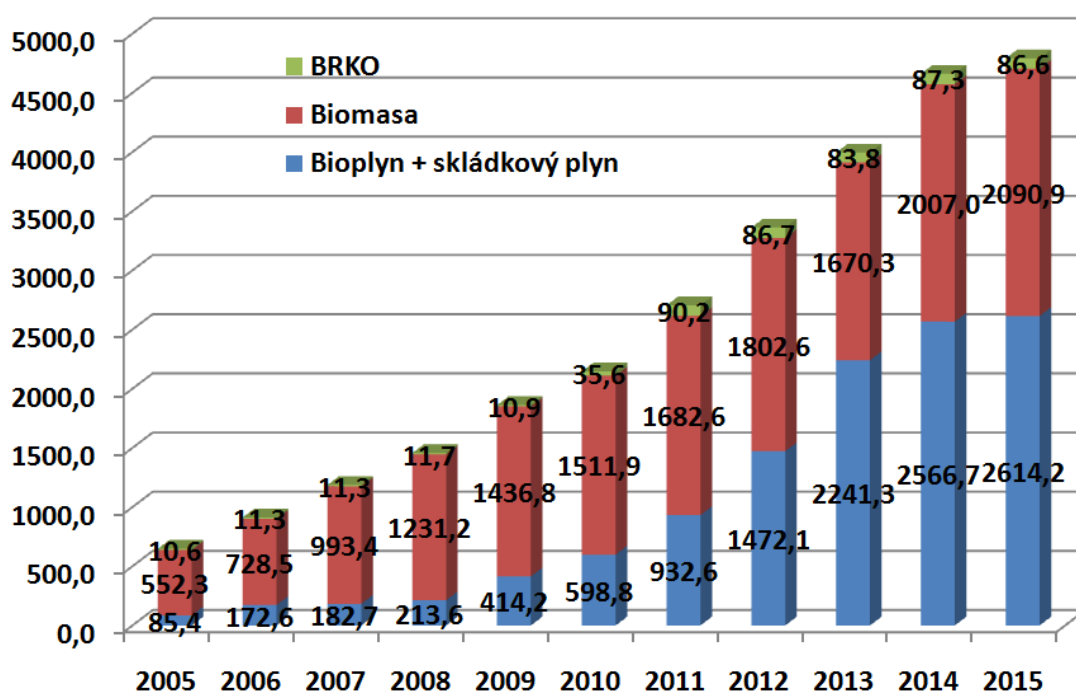
Obr. 6 Srovnání vývoje výkupních cen v Německu a v České republice pro velké FVE nad 100kWp na zemi, Zdroj: [42]



Obr. 7 Vývoj instalovaného výkonu a výroby FVE od roku 2005 v ČR, Zdroj: [43], [44]

Energie biomasy

Po rychlém nárůstu výkonu u fotovoltaiky se objevily obavy z podobného scénáře u biomasy. Nicméně podobný vývoj z hlediska finančních dopadů není příliš pravděpodobný. První důvod spočívá ve výrazně nižších výkupních cenách a druhý v potřebě někde získat rostlinnou hmotu, jež bude využita pro produkci energie. Navíc dochází k značnému odběru biomasy pro vytápění, křížení zájmu s produkcí potravin u zemědělské půdy a omezenému množství této hmoty, která je přímo vázána na produkční plochu. Vyšší poptávka po biomase zvýší její cenu, což se promítne do výhodnosti produkce elektřiny z tohoto zdroje. V neposlední řadě zde existují manipulační a dopravní náklady a servisní náklady zařízení.



Obr. 8 Vývoj výroby elektrické energie z bioplynu + skládkového plynu, biomasy a BRKA, Zdroj: [43], [44]

Ostatní OZE

Existují i méně využívané a méně známé zdroje energie, jež řadíme do kategorie obnovitelných zdrojů. Jedním z nich je energie vln využívaná např. v přílivových elektrárnách. Tato možnost je však pro Českou republiku nedostupná z důvodů geografických. Další možností je využití geotermální energie. Tato energie se však doposud u nás nevyužívá. Existují sice plány na využití geotermální energie u Litoměřic z vrtu o plánované hloubce cca 5km, nicméně doposud není v provozu. Odhady z roku 2007 hovořily o možném spuštění do roku 2010. Počítalo se s 5MW elektrického výkonu a 50MW tepelného[45], [46].

V současnosti se využívá pouze takzvané nízkopotenciální teplo pomocí tepelných čerpadel se systémem voda-voda, země-voda nebo vzduch-voda. Podobným způsobem odebírají teplo klimatizace, jež mohou fungovat obráceně v topné sezóně. V případě nízkopotencionálního tepla ovšem nemůžeme hovořit o výrobě elektřiny, naopak je během chodu zařízením spotřebovávána. I tak však může být tento způsob topení výrazně levnější v závislosti na okolní teplotě než běžné topení elektřinou.

Struktura spotřeby elektřiny v roce 2015

Než se pustíme do analýzy celkového potenciálu obnovitelných zdrojů na našem území, podívejme se na poslední známá data o výrobě a spotřebě elektřiny z roku 2015 uveřejněná Energetickým regulačním úřadem v Roční zprávě o provozu elektrizační soustavy České republiky za rok 2015.

Za rok 2015 bylo vyrobeno celkem 83 888GWh elektřiny. Tuzemská brutto spotřeba dosáhla 71014GWh. Export dosáhnul 12 516GWh. Od roku 2003 se výroba stabilně pohybuje mezi 80-90TWh. Překonání této hranice způsobilo plné zapojení výkonu jaderné elektrárny Temelín do výroby elektřiny. Tuzemská spotřeba zůstává bez větších změn přibližně od roku 2004 a pohybuje se okolo 70TWh. Dochází však ke změně struktury výroby. Mírně roste podíl jaderné energie a dochází k růstu podílu obnovitelných zdrojů. Pokles naopak vidíme u parních elektráren, což prakticky znamená útlum využívání uhlí. Zatímco od roku 2006 se navýšila výroba jaderné energie přibližně o 4TWh a obnovitelné zdroje zaznamenaly též nárůst o cca 6TWh, tak pokles v oblasti parních elektráren činil 12TWh¹⁷[43], [44].

¹⁷ Rok 2015 byl poněkud specifický pro výrobu elektřiny z jádra. Kvůli technickým problémům se výrazně snížila produkce v Dukovanech, což se projevilo poklesem nejen v oblasti výroby elektřiny z jádra, ale vedlo i k celkově nejnižší výrobě elektřiny od roku 2009. Tento stav však znamenal pouze odchylku od normálního stavu. Pokud by k této situaci nedošlo, dalo by se očekávat další snížení výroby z uhelných elektráren [47].

Rok	Jaderné (JE)	Parní (PE)	Paroplynové (PPE)	Plynové a spalovací (PSE)	Vodní (VE)	Přečerpávací (PVE)	Větrné (VTE)	Fotovoltaické (FVE)	Výroba elektřiny brutto
2006	26 046,5	52 395,4	2 612,1		2 550,6	706,7	49,4	0,2	84 360,9
2007	26 172,1	56 728,2	2 097,8	375,1	2 089,6	434,1	125,1	1,8	88 023,8
2008	26 551,0	51 218,8	2 431,7	681,0	2 024,3	352,0	244,7	12,9	83 516,4
2009	27 207,8	48 457,4	2 250,9	974,3	2 429,6	553,1	288,1	88,8	82 250,0
2010	27 988,2	49 979,7	2 349,6	1 250,8	2 789,4	591,2	335,5	615,7	85 900,1
2011	28 282,6	49 973,0	2 344,4	1 610,7	2 134,1	700,9	396,8	2 118,0	87 560,6
2012	30 324,2	47 261,0	2 200,4	2 234,7	2 231,5	731,4	417,3	2 173,1	87 573,7
2013	30 745,3	44 737,0	2 092,8	3 179,6	2 856,4	905,3	478,3	2 070,2	87 064,9
2014	30 324,9	44 419,3	2 204,7	3 494,4	1 909,2	1 051,5	476,5	2 122,9	86 003,4
2015	26 840,8	44 816,5	2 749,0	3 574,7	1 794,8	1 276,0	572,6	2 263,8	83 888,3

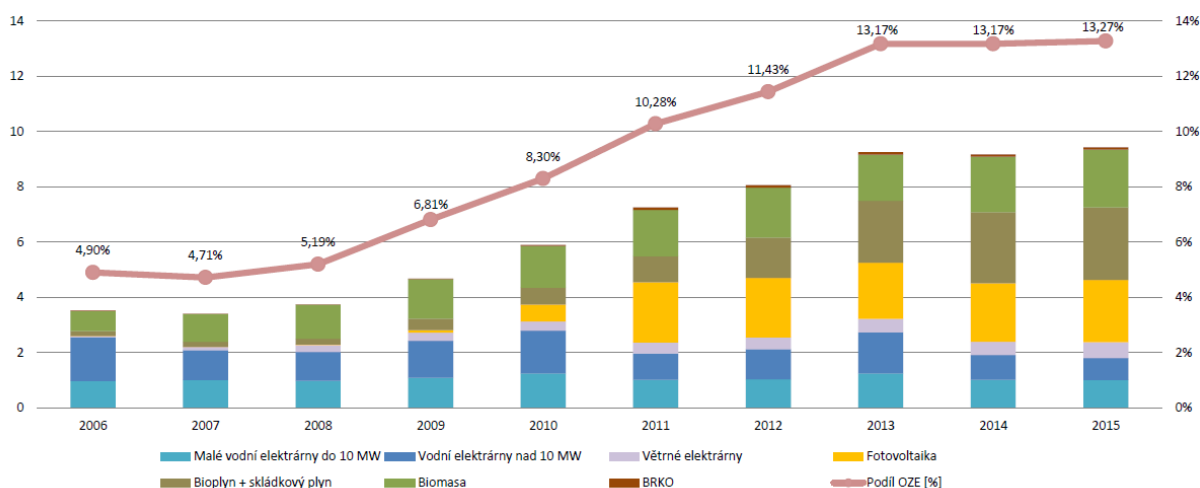
Tab. 2 Vývoj výroby elektřiny dle zdrojů v ČR od roku 2006, Zdroj: [43], [44]

Rok	Malé vodní elektrárny do 10MW	Vodní elektrárny nad 10MW	Větrné elektrárny	Fotovoltaika	Bioplyn + skládkový plyn	Biomasa	BRKO	Celkem OZE (MWh)
2006	964 400	1 586 330	49 375	170	172 589	728 526	11 260	3 512 650
2007	1 001 845	1 077 493	125 098	1 754	182 699	993 360	11 260	3 393 509
2008	966 884	1 057 451	244 661	12 937	213 632	1 231 210	11 684	3 738 459
2009	1 082 683	1 346 937	288 067	88 807	414 235	1 436 848	10 937	4 668 514
2010	1 238 819	1 550 655	335 493	615 702	598 755	1 511 911	35 580	5 886 915
2011	1 017 878	945 276	397 003	2 182 018	932 576	1 682 563	90 190	7 247 504
2012	1 026 254	1 102 912	415 817	2 148 624	1 472 142	1 802 591	86 686	8 055 026
2013	1 236 978	1 497 762	480 519	2 032 654	2 241 300	1 670 327	83 842	9 243 382
2014	1 011 674	897 549	476 544	2 122 869	2 566 699	2 007 039	87 335	9 169 709
2015	1 001 797	793 010	572 612	2 263 846	2 614 188	2 090 855	86 642	9 422 950

Tab. 3 Vývoj výroby OZE od roku 2006, Zdroj: [43], [44]

Druh zdroje	Instalovaný výkon	Výroba v GWh	Koeficient využití v %
Jaderné (JE)	4 290,00	30 324,9	80,7
Parní (PE)	10 737,90	44 816,5	47,6
Paroplynové (PPE)	1 363,30	2 749,0	23,0
Plynové a spalovací (PSE)	859,9	3 574,7	47,5
Vodní (VE)	1 087,50	1 794,8	18,8
Přečerpávací (PVE)	1 171,50	1 276,0	12,4
Větrné (VTE)	280,6	572,6	23,3
Fotovoltaické (FVE)	2 074,90	2 263,8	12,5
Výroba elektřiny brutto	21 865,70	83 888,3	43,8

Tab. 4 Instalovaný výkon, roční výroba a koeficient využití zdrojů elektrické energie za rok 2014, Zdroj: [43]



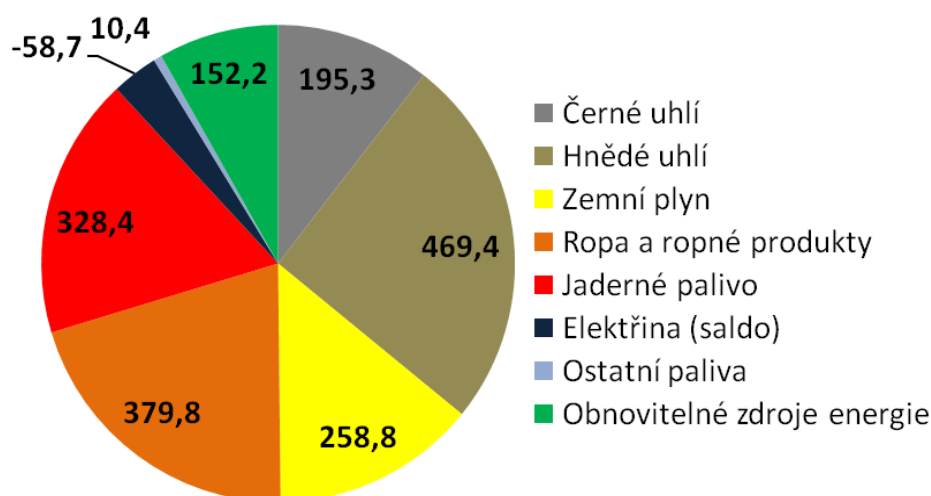
Obr. 9 Vývoj výroby elektřiny brutto z OZE a její podíl na tuzemské brutto spotřebě v TWh, Zdroj: [44]

Pokud porovnáme využití instalovaného výkonu dle druhu zdroje, tak nejvyššího koeficientu dosahují jaderné elektrárny, což odpovídá i jejich charakteru tvrdého zdroje zajišťujícího výrobu pro základní zatížení přenosové soustavy. Pokud by jaderné elektrárny pracovaly na plný výkon celý rok, pak by mohly vyprodukovat 37,58 TWh. Jedná se však pouze o teoretickou hodnotu, protože jsou nutné i technologické odstávky, výměny paliva atd. Na opačném konci stojí přečerpávací vodní elektrárny. Ty však i přes nízké využití instalovaného výkonu lze považovat za stabilizující prvek přenosové soustavy, protože kompenzují výkyvy způsobené odlišnou spotřebou elektrické energie v průběhu dne a v nočních hodinách a v posledních letech také kolísání dané některými druhy obnovitelných zdrojů. Jen o málo vyšší koeficient využití vykazují fotovoltaické elektrárny, které však patří naopak k destabilizujícím prvkům přenosové soustavy z důvodu proměnlivé výroby závislé na slunečním svitu, jež se může rychle změnit během několika minut. S nižší rychlostí kolísání se můžeme setkat u větrných elektráren, nicméně i zde jde o výrobu spíše destabilizující. Nižší koeficient využití vidíme u vodních elektráren, nicméně zde je zásadní rozdíl mezi malými a velkými vodními elektrárnami. Malé vodní elektrárny s výkonem do 10 MW dosahují koeficientu využití 34,2%, velké (nad 10 MW) pouze 12%. Vzhledem k tomu, že kolísání výkonu není příliš rychlé a často MVE působí v koncových bodech přenosové soustavy, tak lze na ně pohlížet jako na zdroj spíše neutrální. V případě elektráren, jež nejsou průtočné, ale přehradní lze manipulovat s odtokem z vodního díla a tím adekvátně snižovat či zvyšovat výkon elektrárny dle potřeb elektrizační soustavy (ES). Nicméně tato možnost je omezena manipulační řádem přehrady, který dává tomuto kolísání určité mantinely, protože účel přehrad je i vodárenský (pitná voda), závlahový a ochranný (povodně). Paroplynové zdroje jsou také využívány méně, než je průměr. Jedná se však o flexibilní zdroj, který také plní kompenzační funkci vůči OZE a nebo doplňuje chybějící výkon v době špiček. Parní zdroje lze považovat za zdroje s jistou mírou flexibility a hodí se pro základní zatížení i pro kompenzaci výkyvů. Podstat-

ný je typ turbíny v elektrárně a její různé pracovní charakteristiky v závislosti na stupni zatížení[48a].

Vztah výroby elektřiny a spotřeby primárních energetických zdrojů

Spotřeba elektrické energie je nepochybně významná, tvoří však pouze část energetického mixu. Celková spotřeba energií se vyjadřuje jako takzvaná spotřeba primárních energetických zdrojů. Jedná se o přírodní nijak netransformované zdroje energie. Poslední známa verifikovaná data za rok 2014 jsou uveřejněna na webových stránkách Ministerstva průmyslu a obchodu.

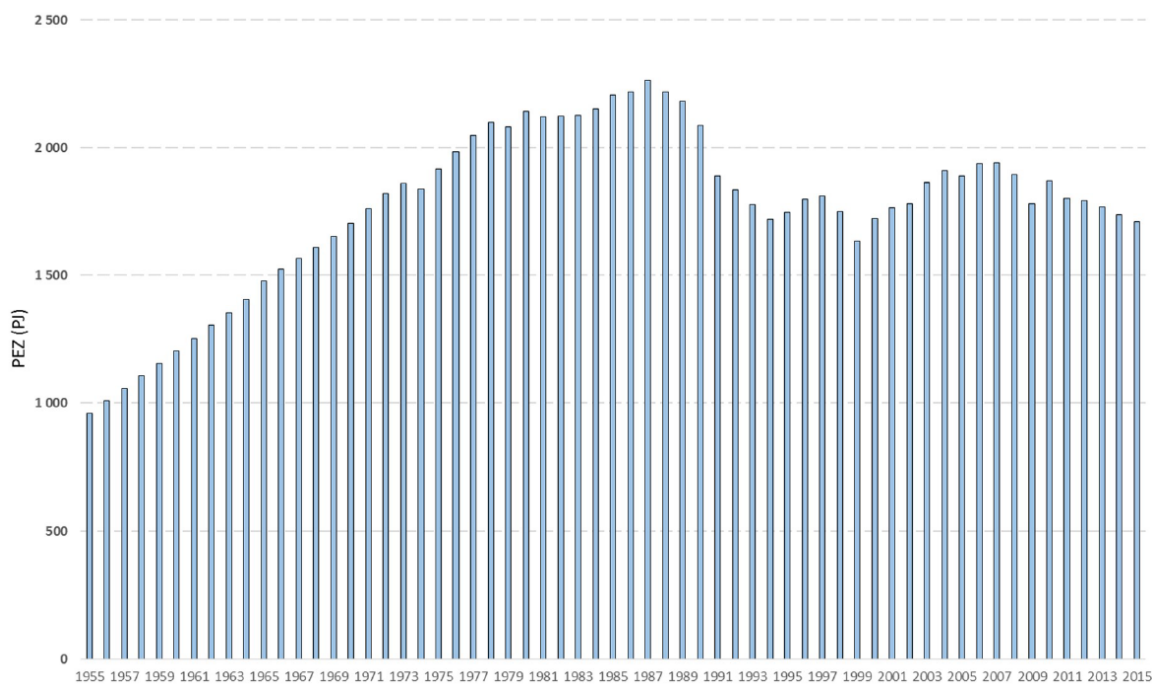


Obr. 10 Struktura spotřeby PEZ v ČR v roce 2014, Zdroj: [48b]

Celková spotřeba primárních energetických zdrojů (PEZ) dosáhla v roce 2014 1735,7 petajoulu (PJ). Uhlí se na této spotřebě podílelo asi 38%. Pokud bychom spočítali všechna fosilní paliva, pak by jejich podíl v energetickém mixu tvořil asi 75%. Jaderná energie se sice podílí více než 40% na celkové hrubé spotřebě elektrické energie u nás, ovšem její podíl v celém energetickém mixu tvoří pouze 19%. Obtížně se stanovuje, kolik z těchto zdrojů se spotřebuje při výrobě elektřiny a bohužel ani oficiální statistiky neexistují, nicméně pokud se podíváme na strukturu spotřeby uhlí a uvážíme, že část zemního plynu a obnovitelných zdrojů se používá k stejnému účelu, pak by se podíl PEZ mohl pohybovat okolo 50-60%, což je dokonce většina¹⁸. Aby byla celková bilance vyrovnaná, provádí se ještě odečet exportované energie ve formě elektřiny, které vyrobíme více, než spotřebujeme. Převodem joulů na jinou jednotku můžeme alternativně vyjádřit celkovou spotřebu energií. Např. v tunách ropného ekvivalentu by se jednalo o 41,5 milionu tun ropy (tons of oil equivalent, 1 TOE = 41,868×10⁹J), nebo jinými slovy se jedná o 482TWh

¹⁸ Pak je otázkou, zdali tlak na spotřebu pohonných hmot u automobilů má významnější smysl a jestli Energiewende v sousedním Německu skutečně pomáhá snižovat skleníkové emise, jestliže se chybějící jaderný výkon kompenzuje zejména uhlím.

elektrické energie. Zajímavý je i pohled na celkový vývoj spotřeby PEZ od roku 1955 do roku 2015. Z méně než 1000PJ se spotřeba vyšplhala až na přibližně 2200PJ na konci 80. let. Po ekonomické transformaci začala klesat, což vydrželo asi 10 roků. Přibližně od roku 2000 v dobrých ekonomických časech opět roste a cca od roku 2010 opět klesá, což také souvisí se snižováním energetické náročnosti průmyslu. Podíl průmyslu na HDP se však nezmenšuje.



Obr. 11 Vývoj spotřeby PEZ na území dnešní ČR od roku 1955 do roku 2015,
Zdroj: [48b]

3 Politika EU v oblasti OZE a závazky plynoucí pro ČR

Evropská unie patří mezi lídry v oblasti obnovitelných zdrojů energie. Důvodů proč zvyšovat podíl obnovitelných zdrojů v energetickém mixu najdeme více. Mezi hlavní můžeme zařadit snahu snížit závažnost klimatické změny, nahradit vyčerpá- telná fosilní paliva trvale udržitelnými alternativami a neposlední řadě zvýšit svoji energetickou bezpečnost snížením dovozní závislosti na fosilních palivech, jež čas- to pochází z geopoliticky nestabilních oblastí a nepřímo tak omezit i financování nedemokratických režimů. Pozitivním aspektem může být i uplatnění nově získa- ných poznatků mimo oblast energií, jako k tomu došlo např. u kosmického výzku- mu.

Podíl EU na emisích CO₂

Country	Emissions 2014	CO ₂ /cap in 1990	CO ₂ /cap in 2000	CO ₂ /cap in 2010	CO ₂ /cap in 2013	CO ₂ /cap in 2014	Change '90-'14	Change '90-'14 in %	Change in CO ₂ 1990-2014 in %	Change in population 1990-2014 in %
United States *	5,330	19.6	20.6	17.6	16.5	16.5	-3.1	-16%	7%	27%
EU-28	3,420	9.2	8.4	7.7	7.1	6.7	-2.5	-27%	-21%	8%
- Germany	770	12.5	10.3	9.7	9.8	9.3	-3.2	-26%	-24%	3%
- United Kingdom	420	10.1	9.3	7.9	7.2	6.5	-3.6	-35%	-28%	11%
- Italy	340	7.5	8.0	7.0	6.0	5.5	-1.9	-26%	-20%	7%
- France	320	6.7	6.7	6.0	5.5	5.0	-1.7	-25%	-15%	14%
- Poland	300	9.4	8.1	8.4	8.1	7.8	-1.6	-17%	-17%	0%
- Spain	240	5.8	7.6	6.1	5.2	5.1	-0.7	-12%	7%	21%
- Netherlands	160	10.7	10.8	10.9	10.0	9.4	-1.3	-12%	0%	13%
Russian Federation	1,770	16.1	11.3	12.0	12.5	12.4	-3.7	-23%	-26%	-4%
Japan	1,280	9.6	10.1	9.8	10.3	10.1	0.5	5%	9%	4%
Canada	570	16.2	17.9	16.0	16.1	15.9	-0.3	-2%	26%	28%
Australia	410	16.1	18.5	18.7	17.9	17.3	1.2	7%	48%	38%
Ukraine	250	15.1	7.2	6.6	6.6	5.5	-9.6	-63%	-68%	-13%
Other countries:										
China	10,590	2.1	2.9	6.6	7.5	7.6	5.5	262%	333%	20%
India	2,340	0.8	1.0	1.5	1.7	1.8	1.1	146%	259%	46%
Iran	620	3.6	5.3	7.7	7.8	7.9	4.3	117%	203%	39%
South Korea	610	6.2	10.4	12.3	12.4	12.3	6.1	98%	128%	15%
Brazil	500	1.5	1.9	2.2	2.4	2.5	1.0	71%	131%	35%
Saudi Arabia	490	10.4	12.9	15.5	16.0	16.8	6.5	62%	194%	81%
Mexico	460	3.4	3.6	3.8	3.8	3.7	0.3	10%	58%	44%
Indonesia	450	0.9	1.4	1.7	1.8	1.8	0.9	101%	184%	42%
South Africa	390	7.3	6.8	7.9	7.3	7.4	0.1	1%	46%	44%
Taiwan	280	6.2	10.5	11.8	11.8	11.8	5.7	91%	121%	16%
Thailand	270	1.6	2.7	3.7	3.9	4.0	2.4	147%	193%	19%

Tab. 5 Vývoj emisí mezi roky 1990-2014 u vybraných zemí, Zdroj: [49]

EU patří mezi největší emitenty CO₂. Po USA, jež nedávno předstihla Čína v pozici největšího znečišťovatele, se řadí na třetí místo v produkci oxidu uhličitého. Oproti

dvěma výše zmíněným ovšem kontinuálně snižuje emise CO₂ na obyvatele. Rozdíl mezi lety 1990-2014 činí -27%. Stejně tak její globální příspěvek k emisím CO₂ setrvale klesá. Zatímco v roce 1990 byla odpovědna za přibližně 19,3% emisí CO₂, o 24 let později její podíl klesl na 9,4%[49].

Závazky v ochraně klimatu

Jedním z významných kroků k omezení produkce CO₂, bylo přijetí Kjótského protokolu. Země se zavázaly snížit své celkové emise skleníkových plynů o 5% ve srovnání s rokem 1990 v prvním závazkovém období 2008-2012. Jeho platnost byla podmíněna ratifikací alespoň 55 zeměmi, mezi nimiž musí být alespoň tolik vyspělých zemí, aby jejich podíl na emisích skleníkových plynů v roce 1990 činil alespoň 55%. Vzhledem k odmítnutí Spojených států tento protokol ratifikovat, se čekalo na rozhodnutí Ruska, které svůj podpis připojilo v únoru 2005, a tím vešla dohoda v platnost.

Nahradiť Kjótský protokol měla roku 2009 konference v Kodani. Skončila však neúspěchem. Přesto vznikl závazek udržet vzestup globální teploty o maximálně 2°C do konce století. V návaznosti na nezdar v Kodani byl prodloužen Kjótský protokol na období 2013-2020 se závazkem snížit emise skleníkových plynů o 18% oproti stavu v roce 1990. Nebyl však doposud ratifikován.

V prosinci 2015 byla schválena Pařížská dohoda, jež má nahradit Kjótský protokol po roce 2020. Jejím cílem je udržet globální oteplení pod 2°C do konce století a co nejlíže k 1,5°C a dosažení uhlíkové neutrality¹⁹ ve 2. polovině tohoto století. V listopadu 2016 došlo k její ratifikaci²⁰. Dle páté hodnotící zprávy IPCC je však udržení cíle nepřekročit oteplení o 2°C možné pouze v případě, jestliže množství emitovaného uhlíku nepřekročí 800 gigatun. Od konce 19. století však již bylo vypuštěno 500 gigatun a roční produkce se nyní pohybuje okolo 10 gigatun [50].

Vývoj v Evropské unii

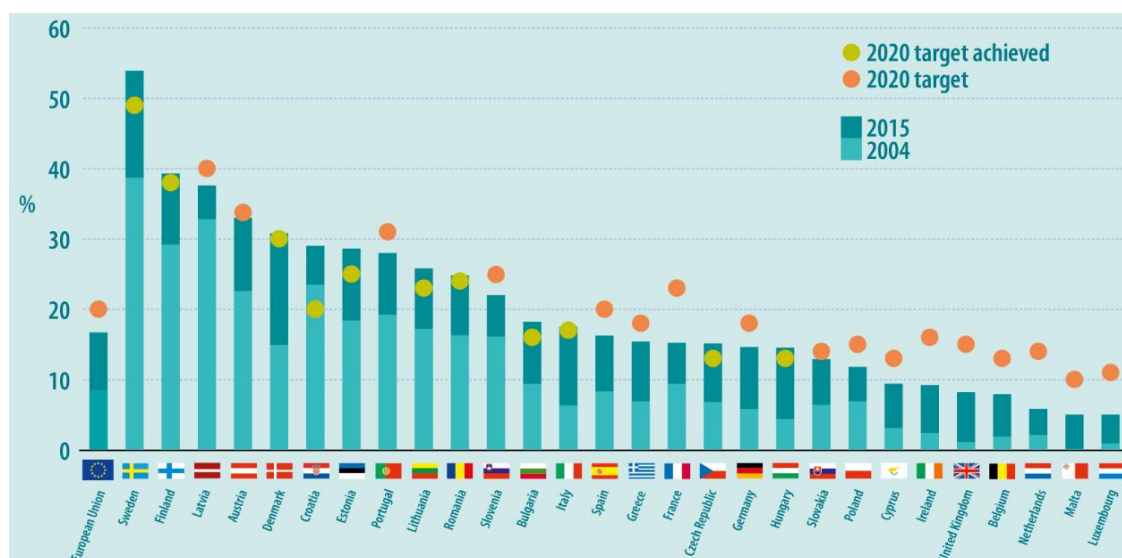
Evropská unie se snaží kontinuálně nezávisle na globálních dohodách snižovat svoji produkci emisí skleníkových plynů. Jedním z prvních kroků bylo přijetí bílé knihy o obnovitelných zdrojích energie v roce 1997, v němž si EU vytyčila cíl vyrábět 12% spotřeby energie a 12% spotřeby elektřiny z obnovitelných zdrojů do roku 2010. Cíl pro EU28 byl splněn s podílem 12,9% OZE na spotřebě energie a 19,7% ve výrobě elektřiny. ČR měla podíl OZE na celkové spotřebě energie 10,5% a v segmentu elektroenergetiky 7,5%[51].

¹⁹ Uhlíková neutralita je stav, kdy vypouštěné a pohlcované emise CO₂ jsou v rovnováze a koncentrace CO₂ v atmosféře se nemění.

²⁰ Ratifikace opět byla navázána na podpis alespoň 55 zemí a 55% emisí CO₂ u vyspělých ekonomik jak tomu bylo v případě Kjótského protokolu.

3.1 Cíle roku 2020

Roku 2009 byla přijata nová směrnice 2009/28/ES, která stanovila cíl zvýšit podíl OZE na celkové spotřebě energie na 20% do roku 2020. Zároveň se stanovuje navýšit v dopravě podíl biopaliv na 10% do roku 2020 s jejich dekarbonizací o 6%. Tento podíl byl rozdělen na závazné vnitrostátní cíle pro každý stát s ohledem na jeho výchozí pozici a jeho možnosti. Byly přijaty národní plány pro energii z OZE a Komise kontroluje průběžné plnění cílů. Souhrnně můžeme říci, že podíl OZE v celkovém energetickém mixu EU28 se výrazně zvýšil a většině států se daří plnit plán. 11 členských států již splnilo cíl roku 2020 v oblasti OZE. Mezi nimi i ČR. Zelené zdroje se za rok 2015 podílely 16,7% na spotřebě energie a v elektroenergetice se podíl zelené energie navýšil na 28,8%. Pro ČR byl stanoven cíl 13% OZE. Za rok 2015 jejich podíl činil 15,1% z celkové spotřeby energie a v oblasti elektřiny 14,1%. V oblasti dopravy je stanoven pro všechny země cíl 10% OZE. Splnit se však podařil pouze 3 zemím. Za rok 2015 dosáhl podíl OZE v tomto sektoru 6,7%. V ČR kolísá mezi 6-7% od roku 2012 bez zřejmého trendu[52], [53], [54], [55].



Obr. 12 Podíl celkové hrubé spotřeby OZE za rok 2015 v zemích EU, Zdroj: [54]

Dalšími významnými cíly dle integrované politiky pro klima a energetiku z března 2007 přijatého Evropskou radou je pokles produkce skleníkových plynů nejméně o 20% oproti roku 1990. Tento cíl je již nyní za celou EU28 také splněn. V roce 2014 se nacházely o 23% níže²¹. Třetí cíl k roku 2020 počítá se zvýšením energetické účinnosti o 20%. Jinými slovy předpokládá pokles spotřeby primárních energetických zdrojů o 20%. Při porovnání maxima spotřeby v roce 2007 ve výši 1887Mtoe a 1606Mtoe za rok 2014, dojdeme k poklesu spotřeby PEZ o 14,9%[56].

²¹ Jedná se o celkové emise skleníkových plynů. Nikoli pouze o CO₂.

Cíle stanovené pro rok 2020 se daří víceméně plnit. Dosažení podílu 20% OZE lze hodnotit jako reálné, velmi dobře se vyvíjí emise CO₂. Stejně tak snižování celkové spotřeby PEZ o 20% ve srovnání s rokem 2007 je nejspíše splnitelné. Avšak i pokud by se cíl nepodařilo splnit, obnovitelné zdroje a jaderná energie umožňují výrazně snižovat emise skleníkových plynů i bez snižování energetické náročnosti. Určitý problém může být dosažení stanoveného 10% podílu OZE v dopravě.

3.2 Cíle roku 2030

Dne 27. března 2013 představila Komise zelenou knihu Rámec politiky pro klima a energetiku do roku 2030, která zahájila diskuzi o cílech a politice po roce 2020[57].

Navrženo je dosažení těchto cílů:

- Snižit emise skleníkových plynů o 40% ve srovnání se situací v roce 1990
- Provést transformaci energetického systému EU, jež umožní zvýšit podíl obnovitelných zdrojů, zlepšit energetickou účinnost a umožní využívat lepší a inteligentnější energetickou infrastrukturu. Předpokládá se dosažení podílu obnovitelných zdrojů ve výši 30%
- Modernizovat energetický systém

Mezi témata k jednání patří způsob stanovení poklesu emisí skleníkových plynů a podílu OZE. Tj. zdali je vhodné definovat cíle na úrovni EU, pro členské státy nebo na úrovni jednotlivých odvětví a jejich právní závaznost. Dále je třeba stanovit nákladově efektivní způsob s ohledem na dosažení cílů, průmyslová odvětví a jejich konkurenceschopnost.

Po dlouhých jednáních byl Komisí 30. listopadu 2016 představen soubor opatření k dosažení cílů pro rok 2030 (tzv. zimní energetický balíček²²). V průběhu května až července 2017 bude posuzován Parlamentem a Radou EU (Radou ministrů) [58].

Seznam opatření

- **Zvýšení energetické účinnosti na 30%**

Cílem by mělo být snížení spotřeby energie o 30% do roku 2030 ve srovnání s rokem 2007. Tj. asi na 1321Mtoe. Komise tak navrhuje něco jiného, než na čem se shodla Evropská rada v říjnu 2014. Odsouhlasen byl pokles spotřeby o 27% a nebyl oproti návrhu Komise závazný. Cíle by mělo být dosaženo za EU jako celek. Do-

²² Někdy též nazývaný Čistá energie pro všechny Evropany.

sažení cíle by mělo stát navíc 9 miliard euro do roku 2030. Celkově by to však mělo vyjít levněji o 9 miliard euro do roku 2050 i díky úsporám na palivech. Ze strany Parlamentu však zaznívají i hlasy usilující o snížení spotřeby o 40% a stanovení tohoto cíle jako závazného i s poukazem na energetickou bezpečnost. Dle komise by však toto snížení spotřeby na 1132Mtoe vyžadovalo vynaložit dodatečných 77 miliard euro do roku 2030 a ani v delším horizontu do roku 2050 se nejeví jako nákladově efektivní s dodatečnými náklady 20 miliard euro oproti úspoře -9 miliard euro v základním scénáři[56].

- **Úsporné a efektivní budovy**

V EU jsou budovy odpovědné za 40% spotřeby energie. Cílem je urychlit renovaci budov. 2/3 totiž byly postaveny v době, kdy neexistovaly standardy na energetickou náročnost budov. V současnosti probíhá jejich renovace tempem asi 1% ročně. Cílem je dekarbonizovat budovy do poloviny století, což vyžaduje zvýšit tempo renovací asi na 3% ročně.

- **Fungování trhu s elektřinou**

Cílem je zajistit lepší fungování trhu s elektřinou, jež umožní větší flexibilitu a vyšší objemy přeshraničního obchodu cožlepší zapojení (zvýšení podílu) OZE ve výrobě elektřiny. Počítá se také se zrušením cenovým stropů pro elektřinu, která bude moci v případě nedostatku elektřiny výrazně zdražit a pobídnout flexibilní zdroje k její výrobě. Důležitá je však dostatečná kapacita rozvodných sítí, aby mohlo docházet k dostatečnému přeshraničnímu přetoku a krytí požadavků na spotřebu v jiném členském státě. V současnosti není přenosová soustava na takové situace dostatečně dimenzována. Souvisejícím požadavkem je i poskytovat podporu výrobcům elektřiny prostřednictvím kapacitních mechanismů za udržování výrobních kapacit v pohotovosti. Ti v případě potřeby doplní chybějící elektřinu v rozvodné soustavě z důvodu kolísání výroby spojené zejména s OZE. V návrhu komise je také požadavek neposkytovat tuto podporu zdrojům s emisemi CO₂ nad 550 gramů na vyrobenou kilowatthodinu, což prakticky vyjímá z podpory uhelné zdroje a také starší plynové. Tato podmínka naráží na odpor některých zemí²³.

- **Obnovitelné zdroje**

Dle Komise by měl podíl obnovitelných zdrojů dosáhnout 27% na celkové spotřebě energie pro rok 2030. Cíl je však stanoven pro EU jako celek, nikoli pro jednotlivé členské země. I z důvodu nezávaznosti cílů na národní úrovni se zároveň počítá se systémem správy energetické unie (tzv. governance). Podle něj mají členské státy už v roce 2017 připravit národní plány, jak chtějí zvyšovat podíl OZE, šetřit energiemi a plnit další dílčí cíle. Pokud by individuální cíle v oblasti OZE nedosahovaly

²³ Např. v Polsku díky vysokému podílu uhlí (28GW instalovaného výkonu) na výrobě elektřiny by kapacitní mechanismus způsobil nedostatek ve výši 25GW. Přenosová soustava totiž dovede přivést pouze 3GW elektřiny [59].

požadavků EU, pak by se vytvořil fond, do něhož by členské země přispívaly, aby podíl 27% bylo dosaženo.

Dále se předpokládá větší otevření OZE tržním principům a ukončení přednostního přístupu OZE do rozvodné sítě u nově zřízených větších instalací.

Počítá se také s významnějším zapojením OZE v oblasti výroby tepla a chladu, kde v současnosti mají fosilní paliva podíl 75%.

V oblasti biopaliv se ukončuje podpora paliv vyráběných z potravinářských plodin s tím, že od roku 2020 by již neměly dostávat podporu. Jejich podíl by měl klesnout z maximálně 7% v roce 2021 na 3,8% v roce 2030. Zároveň se ale počítá s nárůstem nízkoemisních paliv na 6,8% mezi něž řadíme vyspělejší typy biopaliv, ale i elektřinu z OZE[60].

Uvedené požadavky jsou v souladu s plánem EU snížit emise skleníkových plynů v roce 2050 o 80-95% ve srovnání s rokem 1990 a naplňují požadavky pařížské klimatické konference, jež počítá s dosažením uhlíkové neutrality ve druhé polovině tohoto století.

3.3 Výhled pro rok 2050

Přestože v současnosti probíhají jednání o energetických cílech pro rok 2030, existují už nyní predikce pro rok 2050.

Snížení emisí skleníkových plynů oproti roku 1990	2005	2030	2050
Celkem	-7 %	-40 až -44 %	-79 až -82 %
Odvětví			
Energetika (CO ₂)	-7 %	-54 až -68 %	-93 až -99 %
Průmysl (CO ₂)	-20 %	-34 až -40 %	-83 až -87 %
Doprava (včetně emisí CO ₂ z letecké dopravy; vyjma námořní)	+30 %	+20 až -9 %	-54 až -67 %
Domácnosti a služby (CO ₂)	-12 %	-37 až -53 %	-88 až -91 %
Zemědělství (bez CO ₂)	-20 %	-36 až -37 %	-42 až -49 %
Ostatní emise bez CO ₂	-30 %	-72 až -73 %	-70 až -78 %

Tab. 6 Snížení emisí dle odvětví, Zdroj: [61]

Jedním z klíčových prvků dekarbonizace je výroba elektřiny, která může nahradit mnoho oblastí, kde se v současnosti používají fosilní paliva a přitom ji lze získávat z nízkouhlíkových zdrojů, jako jsou OZE nebo jaderná energie. Kvůli kolísavosti zelených zdrojů se však předpokládají značné investice do přenosové soustavy. Dalším významným prvkem může být elektrifikace dopravy. Pravděpodobně zásadní bude míra pokroku v oblasti baterií a palivových článků a skladování energie obecně. Další technologií umožňující dekarbonizaci by dle Komise mohlo být zachytávání a ukládání uhlíku přibližně od poloviny 30. let tohoto století. Pomoci by

mělo i zvýšení energetické účinnosti. V důsledku snižování dovozní závislosti u fosilních paliv se očekává úspora 175-320 miliard euro pro země EU[61]. Pokud by probíhala dekarbonizace i v ostatních částech světa, platila by spíše nižší částka z důvodu menší poptávky po fosilních palivech a tím i jejich nižší ceně. Situace spíše napovídá nižší částce i z důvodu vývoje v USA oblasti těžby ropy a zemního plynu z břidlic i přes snahu zemí OPEC a některých dalších zemí redukcí těžby ropy situaci zvrátit. Zmiňován je též aspekt energetické bezpečnosti a ekonomických výhod omezení závislosti na dovozu fosilních paliv, jejichž negativní aspekty se projeví např. během ropných šoků 70. let (zapříčiněné politickými tlaky některých zemí vyvážejících ropu).

3.4 Energetická unie

V únoru 2015 byl představen Komisí balíček opatření k energetické unii. Cílem je zajistit cenově dostupnou, bezpečnou a udržitelnou energii pro Evropu a její občany. K dosažení cíle se předpokládá propojení ropovodů, plynovodů a přenosových soustav. Jedním z impulsů pro energetickou unii byla i plynová krize na Ukrajině z ledna 2009, kdy byly zcela zastaveny dodávky plynu přes Ukrajinu dále do Evropy.

Zlepšení propojení energetických soustav sníží zranitelnost některých zemí vůči výpadku dodávek. Např. u zemního plynu 6 zemí EU je zcela závislých na jednom externím dodavateli. Navíc země EU v současnosti dováží 53% spotřebované energie, což je stojí asi 400 miliard euro ročně.

Cílem pro rok 2020 je 10% propojení elektrických sítí, jež umožní mimo jiné více zapojit obnovitelné zdroje a lépe rozložit jejich kolísání mezi více členských zemí²⁴. Lepší propojení by také mělo vést k většímu (mezinárodnímu) trhu s energiemi a tlačit přes vyšší konkurenci na trhu energií také na jejich nižší cenu. Výhledově se plánuje propojení ve výši 15% v roce 2030[62].

²⁴ Postoje k energetickému mixu zemí EU se mezi sebou výrazně liší. Zatímco některé země upouští od jaderné energie (zejména Německo sázející na OZE) a jiné o jejím rozvoji ani v budoucnu neuvažují, jiné státy jako např. země V4 s ní dlouhodobě počítají a její podíl v energetickém mixu bude pravděpodobně vyšší než v případě OZE [63].

Míra propojení elektrických sítí v zemích EU v roce 2014			
LU	245%	DE	10%
HR	69%	FR	10%
SI	65%	IE	9%
SK	61%	IT	7%
DK	44%	RO	7%
FI	30%	PT	7%
AT	29%	UK	6%
HU	29%	EE	4%
SE	26%	LT	4%
BE	17%	LV	4%
CZ	17%	ES	3%
NL	17%	PL	2%
BG	11%	CY	0%
GR	11%	MT	0%

Tab. 7 Míra propojení rozvodných sítí v EU v roce 2014, Zdroj: [62]

Z tabulky je patrné, že v roce 2014 nesplňovalo podmínku alespoň 10% propojení 12 zemí EU. Pro rok 2030 je dostatečná míra propojení pouze ve 12 zemích včetně ČR.

4 Vodní energie

V České republice v současnosti najdeme 13 vodních elektráren, které mají 10MW a více instalovaného výkonu. Z toho 3 jsou přečerpávací a nelze je tedy považovat za běžné vodní elektrárny využívající přírodních podmínek k výrobě elektrické energie. Poslední elektrárny přirozeně využívající hydrologické poměry s výkonem vyšším než 10MW se uvedly do provozu v 60. letech minulého století[64]. Další výstavba takto vysokých výkonů by vyžadovala stavbu dalších přehrad, což však naráží na odpor ochránců přírody a často i místních obyvatel, jež by mohlo postihnout vystěhování z důvodu zatopení jejich obydlí. V územích, kde nejsou lidská sídla, často k výstavbě přehrad přistoupit nemůžeme z důvodu ochrany cenných přírodních lokalit, které by byly zatopením nenávratně ztraceny. Další faktor, který velkým vodním dílům nepřeje, je geografická poloha naší země. Prakticky všechny řeky od nás odtékají a nelze je srovnávat s vodností velkých evropských řek. Česká republika je tedy svou polohou rozvodnicí Evropy a můžeme se spoléhat pouze na vodu, která u nás naprší. Navíc pokud je sušší období, nejdříve se to projeví na řekách nízkými průtoky a až později na sušší půdě a chřadnoucí vegetaci. Navíc vyšší teploty v posledních letech zvyšují výpar nejen v letních, ale i v zimních měsících, kdy se voda přirozeně akumulovala v půdě a následně doplňovala spodní vodu²⁵. To však neznamená, že by potenciál vodní energetiky byl beze zbytku vyčerpán. Existuje spousta lokalit, bývalých mlýnů, pil a hamrů, kde je historicky doloženo využívání vodní energie a může dojít minimálně na části z nich k obnově výroby elektrické energie. Potenciál tedy hledejme zejména u malé vodní energetiky s instalovaným výkonem do 10MW. Vzhledem k tomu, že tyto malé vodní elektrárny fungují často v koncových bodech rozvodné soustavy, odlehčují páteřní rozvodné soustavě a fungují jako mnoho decentralizovaných zdrojů, které v případě výpadku dodávek elektrické energie zároveň mohou dobře posloužit na určitém území jako náhrada za chybějící dodávky z nadřazené rozvodné sítě²⁶.

²⁵ Problematická je i samotná schopnost krajiny zadržet vodu. V současnosti dovede zemědělská půda zachytit cca 5,04 mld. m³ vody. Pokud by byla správně obhospodařována, mohlo by to být až 8,4mld. m³. Rozdíl tedy činí 3,36mld. m³. Pro srovnání, naše největší přehrada Orlík je schopna zadržet cca 720 mil. m³. Opatření lze stejně tak provést u lesních pozemků. Přehradu tedy problém se suchem samy o sobě vyřešit nemohou. Voda by se spíše měla zadržovat v krajině nejen kvůli akumulaci podzemních vod, které dlouhodobě klesají [65].

²⁶ Podrobnější informace o účinnosti vodních turbín, minimálních zůstatkových průtocích, legislativě aj. nalezne čtenář v příloze číslo 2.

Název	Výkon	Výroba v roce 2010	Typ turbíny	Spád	Uvedení do provozu
1. Dlouhé Stráně - přečerpávací	650 MW	336,4 GWh	2*Francis Reversní	532,7-488,7 m	1996
2. Dalešice - přečerpávací	480 MW	294,71 GWh	4*Francis Reversní	90,7-60,5 m	1978
3. Orlík	364 MW	490,4 GWh	4*Kaplan	70,5-44 m	1962
4. Slapy	144 MW	393,9 GWh	3*Kaplan	56-27 m	1955
5. Lipno	120 MW	151,2 GWh	2*Francis	161,6-149,3 m	1959
6. Stěchovice II. - přečerpávací	45 MW	38,5 GWh	1*Francis Reversní	209,8-219,5 m	1948
7. Kamýk	40 MW	92,0 GWh	4*Kaplan	11,5-16 m	1961
8. Stěchovice	22,5 MW	120,1 GWh	2*Kaplan	20-14,5 m	1944
9. Vranov	18,9 MW	47,135 GWh	3*Francis	42 m	1936
10. Střekov	15 MW	97,324 GWh	3*Kaplan	3,0 - 8,6 m	1933
11. Vrané	13,88 MW	79,9 GWh	2*Kaplan	8-11 m	1936
12. Nechranice	10 MW	80,428 GWh	2*Kaplan	8,3-46 m	1968
13. Práčov	9,75 MW	20,916 GWh	1*Francis	75,7 - 98 m	2001
14. Hněvkovice	9,6 MW	30,7 GWh	2*Kaplan	14,8-9,3 m	1992
15. Meziboří	7,6 MW	7,382 GWh	2*Francis	257-217 m	1964
16. Vír I.	7,1 MW	20,846 GWh	2*Francis	18-65 m	1957

Tab. 8 Seznam největších vodních elektráren v ČR, Zdroj: [64], [66], [67]

4.1 Potenciál hydroenergetiky

Stanovení potenciálu energie vody bylo prováděno několikrát a ne vždy se shodnými výsledky. Ekologické organizace a příznivci OZE potenciál spíše nadhodnocují, jiní by naopak již raději žádné nové provozy nepovolovali. Často zmiňovaným dokumentem je Hydroenergetika v ČR 1983.

	Ukazatel	GWh/rok
1	Teoretický potenciál	13 100
2	Technicky využitelný celkem	3 384,6
	z toho, ,	
	potenciál využitelný ve VE (nad 10 MW)	1 813,6
	potenciál využitelný v MVE (do 10 MW)	1 571,0
3	Využitý potenciál celkem	1 559,7
	z toho, ,	
	VE nad 10 MW	1 152,3
	MVE do 10 MW	407,4
4	Nevyužitý potenciál celkem	1 824,9
	z toho, ,	
	VE nad 10 MW	661,3
	MVE do 0,2 MW	126,5
	0,2 až 1,0 MW	291,6
	1,0 až 5,0 MW	522,7
	5,0 až 10,0 MW	222,8
	MVE celkem	1 163,6
	% využití technicky využitelného potenciálu celkem	46,08
	z toho, ,	
	VE nad 10 MW	63,54
	MVE do 10 MW	25,93

Tab. 9 Rozdělení hydropotenciálu českomoravských řek, Zdroj: [68]

Hydropotenciál ČR se odhaduje na přibližně 3,4TWh²⁷[68]. Ve výkonové kategorii nad 10MW lze konstatovat, že i přesto, že analýza je již přes 30 let stará, tak je stále aktuální. Poslední vodní dílo s výkonem 10MW a více byly Nechranice postavené roku 1968²⁸. Možnosti, že by se znovu postavila díla stejných a vyšších výkonů není zcela vyloučena, nicméně bylo by třeba budovat nová velká vodní díla a možná přistupovat k vysídlování obyvatel. Navíc už nyní je potenciál z většiny využit a hydrologické podmínky již neumožňují zopakovat výstavbu takových vodních děl jako je Vltavská kaskáda. U malých vodních elektráren jistý potenciál stále existuje, nicméně koeficient využití se již přece jen navýšil. Pokud bychom uvažovali koeficient využití okolo 40%, pak při současném instalovaném výkonu cca 350MW by roční výroba mohla dosahovat asi 1,23TWh. Odhady o zbývajícím potenciálu cca 100MW instalovaného výkonu by odpovídaly dodatečné roční výrobě cca 0,35TWh. Celkově by teda mohla roční výroba dosáhnout asi 1,58TWh což se poměrně dobře shoduje s předchozí tabulkou. Otázkou je, jak se projeví klimatická změna ve výrobě vodních elektráren. Vzhledem k tomu, že klimatické modely předpokládají nižší i vyšší srážky nad územím ČR, ale shodují se na vyšších teplotách, lze očekávat negativní až neutrální výhled. Neutrální výhled by nastal v případě, že srážek bude více, protože možná vyšší vodnost toku bude neutralizována vyšším výparem, který omezí vodu dostupnou pro vodní toky. Pozitivně může působit rekonstrukce vodních elektráren, která může přinést nárůst výroby o 15-20%. Ne všechny elektrárny však mají zastaralou technologii. Proto tento faktor by mohl navýšit výrobu v řádu jednotek procent. I přes technologický pokrok, který umožňuje zpracovat i kolísavé průtoky které dříve zůstávaly nevyužity, celkový příspěvek opět nejspíš nepřesáhne pár procent. Celkový odhad potenciálu vodní energie by tedy mohl zůstat shodný s rokem 1983. Technologický průlom v této oblasti energetiky již není možno očekávat. Už nyní se pohybuje průměrná účinnost turbín okolo 80%.

²⁷ Jedná se o predikci pro průměrně vodný rok. Ve velmi suchém roce tedy může výroba klesnout i k 2TWh a případě dostatku vody lze dosáhnout výroby atakující 5TWh.

²⁸ Bez započtení přečerpávacích vodních elektráren.

5 Větrná energie

Moderní etapa využívání energie větru pro účely výroby elektřiny u nás prakticky nastala až v první polovině 90. let 20. století. Souhrn více faktorů však nevedl k jejímu většímu rozvoji. Asi nejvýznamnějším faktorem byla nízká výkupní cena okolo 1Kč/kWh. Změna nastala až od roku 2002, kdy došlo k zvýšení výkupních cen na 3Kč za vyrobenou kWh. Nyní její cena dosahuje pouze 1,93Kč/kWh a řadí se tím mezi nejlevnější podporovaný obnovitelný zdroj u nás. Při porovnání s tržními cenami elektřiny je dokonce cenově srovnatelná s rokem 2008²⁹ [38], [39].

5.1 Potenciál větrné energie

První podrobnější analýza potenciálu energie větru v ČR byla provedena roku 1994 pracovníky Ústavu fyziky atmosféry AV ČR. Předpokládala počet VTE na území ČR v rozmezí 880 až 1050 s celkovým instalovaným výkonem 340 - 410 MW a očekávanou roční výrobu elektřiny cca 0,5 až 0,6TWh ročně[69]. Reálně by tedy šlo o pouhý doplněk ke konvenčním zdrojům. Celková roční výroba by totiž odpovídala pouhému procentu celkové spotřeby. Analýza odpovídala tehdejší úrovni technologického pokroku, kdy se používaly turbíny o výkonu 300-400kW v nižší výšce nad povrchem a s tím spojenou nižší rychlostí větru a koeficientem využití.

O 14 let později, v roce 2007, byla provedena další analýza a výsledek významně revidován. Technický potenciál by umožnil instalaci asi 13 000 větrných elektráren s instalovaným výkonem asi 29GW a roční výrobou asi 71GWh [70]. Dokázal by tedy pokrýt celoroční spotřebu České republiky. Jedná se však o výsledky, které se nedají příliš dobře použít v praxi. Není v nich uvažován odlišný cyklus výroby a spotřeby, období přebytků výroby a naopak jejich nedostatku, kapacita rozvodných sítí a počítá se s využitím 100% lokalit, což z mnoha důvodů, včetně postoje místních obyvatel, není reálné³⁰. Proto je třeba počítat s potenciálem, který je realizovatelný s ohledem na stabilitu sítě, postoj veřejnosti, CHKO aj. Proto byly připraveny tři scénáře rozvoje VTE na našem území. Nízký, střední a vysoký. První způsob hodnocení vycházel z odvození realizovatelného potenciálu se zřetelem na hustotu VTE v sousedních zemích a druhý ze zhodnocení faktorů limitujících realizaci technického potenciálu. Souhrnné výsledky při porovnání nevykazují větší rozdíly, a proto můžeme rovnou porovnat jednotlivé scénáře.

²⁹ Podrobnější informace o stanovení výkonu elektrárny, větrné mapy ČR a legislativní podmínky nalezne čtenář v příloze číslo 3.

³⁰ Navíc zatím neexistuje technologie, která umožnila uskladnit elektrickou energii z obnovitelných zdrojů v takové míře, aby se dala později použít v době, kdy po ní bude poptávka. Např. přebytky z letních měsíců využít v zimě. Zatím jsou schopny takto fungovat ve větším rozsahu pouze přečerpávací vodní elektrárny a to pouze jako kompenzátory výkyvů na několik hodin.

redukce	způsob uplatnění	nízký scénář	střední scénář	vysoký scénář
1) souhlas obyvatel a obce	plošně - celá ČR	30 %	55 %	80 %
2) místní technická omezení	plošně - celá ČR	35 %	45 %	50 %
3) místa zvýšeného přírodního, kulturního či estetického významu	plošně - celá ČR	70 %	75 %	80 %
3a) lesy a přírodní plochy	plošně - dané území	25 %	50 %	100 %
3b) přírodní park	plošně - dané území	0 %	25 %	50 %
3c) Natura - ptačí oblast	plošně - dané území	0 %	25 %	50 %
3d) Natura - EVL	plošně - dané území	0 %	25 %	50 %
4) krajinný ráz a kapacita sítě - nad 400 m n.m.	počet VTE do vzdálenosti 15 km	max 15	max 30	max 60
4) krajinný ráz a kapacita sítě - do 400 m n.m.	počet VTE do vzdálenosti 15 km	max 30	max 60	max 120

Tab. 10 Metodika hodnotící realizovatelnost technického potenciálu na základě limitujících podmínek na území ČR, Zdroj: [69]

kraj	nízký scénář			střední scénář			vysoký scénář		
	počet	výkon [MW]	výroba [GWh/r]	počet	výkon [MW]	výroba [GWh/r]	počet	výkon [MW]	výroba [GWh/r]
Hl. město Praha	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Středočeský	40	80	194	108	219	480	229	460	1131
Jihočeský	44	95	238	100	209	474	200	435	1098
Plzeňský	20	40	101	56	112	256	119	240	614
Karlovarský	12	28	69	51	116	259	139	338	828
Ústecký	14	34	79	77	192	415	196	494	1180
Liberecký	13	28	73	28	58	131	61	131	334
Královéhradecký	8	16	42	18	37	82	40	82	205
Pardubický	37	77	194	73	156	357	182	391	983
Vysočina	110	231	580	230	494	1113	644	1417	3518
Jihomoravský	85	171	405	225	453	981	420	847	2053
Olomoucký	30	64	162	71	161	360	163	378	942
Zlínský	9	18	45	19	38	83	51	103	259
Moravskoslezský	50	109	261	123	269	586	292	656	1579
ČR	472	991	2443	1179	2516	5577	2736	5972	14723

Tab. 11 Odhad realizovatelného potenciálu větrné energie na území ČR, Zdroj: [69]

Ze souhrnných výsledků je zřetelný značný rozptyl zachycující odlišné postoje k větrné energii a obnovitelným zdrojům obecně. Přestože jde o analýzu z roku 2008, neztratila na své aktuálnosti a technologický průlom, který by výrazně proměnil následující čísla, nenastal a ani autory studie není příliš očekáván. Jako velmi perspektivní i nadále zůstává území kraje Vysočina, oblast Nízkého Jeseníku a Krušnohoří. Celkové naplnění realizovatelného potenciálu se však může značně lišit mezi jednotlivými kraji. Některé kraje nejsou příliš vstřícné k výstavbě nových

VTE a to i přes kladné stanovisko obcí, v jejichž bezprostředním okolí by nová VTE měla vyrůst³¹.

Shrnutí

Potenciál větrné energie na našem území nedosahuje hodnot jako např. v Dánsku či Německu, nicméně i tak je poměrně vysoký a jeho využití zůstává hluboko pod možnostmi. Důvody nesouvisí primárně s technickými omezeními na straně výroben a stále jsme daleko od technických omezení z hlediska stability přenosové soustavy. Hlavní příčina tkví v negativním postoji úřadů, zejména krajských samospráv. Vzhledem k tomu, že se podařilo dle metodiky EU splnit podíl OZE v ČR už v roce 2014 a čas na dosažení tohoto cíle byl do roku 2020, není příliš pravděpodobné, že by došlo ke změně postoje před tímto datem. Obratu nenahrává ani postoj veřejnosti, který je k obnovitelným zdrojům spíše negativní.

³¹ Může tedy docházet k situacím, kdy v kraji A bude technický potenciál z větší části využit, zatímco v kraji B téměř nenarazíme na větrnou elektrárnu, přestože instalovaná kapacita v kraji B může výrazně překonat možnosti kraje A. Odmítavý postoj k obnovitelným zdrojům silně vzrostl po boomu fotovoltaiky v letech 2009-2010. Hněv části obyvatel proti FVE s výkupní cenou přesahující 12Kč/kWh je pochopitelný, nicméně nedává velký smysl u větrných elektráren, které mají z obnovitelných zdrojů nejnižší výkupní ceny okolo dvou korun za kilowatthodinu. Spíše se jedná o odpor vůči obnovitelným zdrojům obecně, přehlížející environmentální aspekty využívání fosilních paliv.

6 Energie biomasy

Biomasa³² má poněkud specifické postavení mezi obnovitelnými zdroji. Dlouhodobě byla využívána jako hlavní zdroj energie ještě před nástupem uhelného věku. V poslední době z ní získávaný energetický obsah opět roste. Výroba elektřiny z ní se však dostává do určitého konfliktu jednak s lesní biomasou, která je často využívána pro účely vytápění, a jednak s biomasou získávanou na zemědělské půdě, která slouží primárně pro pěstování potravin a navýšení podílu energetických dřevin a plodin může vést ke konfliktu a nutnosti vyjasnit si produkční priority (a potravinovou soběstačnost/bezpečnost). Pěstování biomasy je navíc úzce spojeno s dostatkem vláhy. Sušší roky vedou k získání nižšího energetického obsahu až o desítky procent. Větší výkyvy lze očekávat u jednoletých sklizní. Tento problém se však netýká jen biomasy, ale částečně i vodních elektráren³³.

6.1 Potenciál biomasy

6.1.1 Lesní biomasa

V případě lesní (dřevní) biomasy lze počítat pouze s klasickým spalováním nebo tvorbou biopaliva. Dendromasu totiž nelze použít pro bioplynové stanice (BPS). Jedním ze zdrojů jsou lesní zbytky. V ČR ročně zbývá po těžbě dřeva a prořezávkách asi 8,9 mil. m³. Část dřeva je však nezbytné v lesích ponechat. Rozkládající se dřevní hmota totiž poskytuje útočiště např. pro hmyz a houby. Plnění mimoprodukčních a ekologických funkcí lesa neoddělitelně vyžaduje také dendromasu³⁴. Celkový využitelný podíl lesních zbytků činí asi 5,2 mil. m³. Z toho 3,2 mil. m³ tvoří zbytky po těžbě dřeva, 1,5 mil. m³ dřevo z probírek a 0,5 m³ dřevo z pařezů [72].

³² Biomasa je organická hmota rostlinného nebo živočišného původu. V souvislosti s energetickým využitím zahrnuje tento pojem zejména palivové a odpadní dřevo, slámu a další zemědělský a lesní odpad, záměrně pěstované dřeviny, byliny či plodiny, ale také odpady biologického původu, jako například trus a kejdu hospodářských zvířat, kaly z ČOV a produkty jejich zpracování (bioplyn). Zdroj: [71]

³³ Podrobnější informace o procesech a technologiích přeměny biomasy, perspektivní fyto-mase a dendromase a legislativní podmínky nalezne čtenář v příloze číslo 4.

³⁴ Uvádí se, že aby nedocházelo k degradaci půdy, je možno odebrat maximálně 75% lesních zbytků z mýtní těžby, 45% z předmýtní těžby (probírky) a 20% z pařezů.

Štěpka	Výhřevnost MJ/kg	Váha prms štěpky v kg	Energetický obsah MJ/prms	Rozdíl mokrá vs suchá štěpka v %, suchá = 100% energie
Smrková, w=45%	9,42	276	2 600	89,66
Smrková, w=17,5%	15,34	189	2 900	100
Borová, w=45%	9,23	325	3 000	88,24
Borová, w=17,5%	15,25	223	3 400	100
Buková, w=45%	8,68	403	3 500	87,50
Buková, w=17,5%	14,29	280	4 000	100

Tab. 12 Energetické parametry štěpky v závislosti na vlhkosti, Zdroj: [72]

Dle vypočtených dat z tabulky je vidět značný rozdíl ve výhřevnosti mezi suchou (vlhkost 17,5%³⁵) a mokrou štěpkou (vlhkost 45%) na kilogram hmotnosti. Pokud však porovnáme energetický obsah na 1m³ rozdíl již není tak výrazný a činí pouze 10-12,5%. V ČR výrazně dominuje štěpka smrková, což lze dovodit z těžby dříví. Např. v roce 2015, tvořila těžba smrkového dřeva 12,2 mil. m³. To představuje asi 75% celkové těžby. Listnaté stromy tvořily asi 1,8 mil m³ (11% celkové těžby) a z toho dvě tvrdé dřeviny buk (0,763 mil. m³) a dub (0,410 mil. m³) se podílely pouze 7%[73]. Vyšší energetický obsah tvrdého dřeva na krychlový metr je způsoben vyšší hustotou dřevní hmoty. Na kilogram ovšem ve výhřevnosti o něco zůstává a vede jehličnaté dřevo. Důvodem je obsah pryskyřic v jehličnanech, které se pozitivně podepisují na výhřevnosti. Budeme – li počítat se střední hodnotou výhřevnosti a přiřadíme-li váhu 80% dřevu smrkovému, 10% dřevu borovému a 10% dřevu bukovému jako zástupci tvrdých dřevin, pak průměrný obsah energie v jednom prostorovém metru sypaném (prms) dřevní štěpky dosahuje asi 2,895GJ. K dispozici je na našem území asi 5,2 mil. m³. Celkový energetický obsah štěpky tedy činí asi 15,054PJ. Při 40% účinnosti přeměny na elektrickou energii to je asi 6,02PJ. Jinými slovy **1,67TWh**.

Dalším zdrojem energie může být samotné vytěžené dřevo. V posledních letech se v ČR těží asi 16 milionů metrů krychlových dřeva ročně. V roce 2015 to bylo 16,16 mil. m³. Z toho se asi 30% (4,863 mil. m³) využije jako vláknina zejména pro papírenský průmysl. Z 90% se používá měkké dřevo horší kvality než kulatinové. Vzhledem k používání tiskařských barev a recyklaci můžeme považovat tuto položku z hlediska energetického využití za nebilanční. Dále přibližně 14% dřevní hmoty se spotřebuje jako palivo (2,336 mil. m³, z toho asi 65% tvoří měkké jehličnaté dřevo). Vzhledem k tomu, že palivo je používáno zejména domácnostmi opět s ním nemůžeme počítat. Navíc v posledních letech dochází k nárůstu poptávky po palivovém dřevu a začíná ho být na trhu spíše nedostatek. Zbývající část tj. 56% tvoří kulatina (8 964 m³, z 94 % ji tvoří jehličnany). Slouží zejména pro pilařské zpracování[74]. Část tohoto dřeva je později ošetřena barvami a laky a nelze jej použít k běžnému spalování. Další díl se později rozpadne působením povětrnostních vlivů, hub a škůdců a také se s ním nedá počítat. Významná část tohoto dříví

³⁵ Dřevo přirozeně vysychá na vlhkost 15-20%. Umělé dosoušení na nižší úroveň by nedávalo ekonomický ani energetický smysl. Navíc je schopno vodu opětovně vstřebávat nejen z deště, ale i z vlhčího vzduchu a mlhy.

však není nijak zásadně kontaminovaná jako např. střešní krovy, palety, odřezky na stavbách, dřevené části lešení, stavební prvky při lití betonu aj. Úhrnně by mohla tato část tvořit asi 50%. Tj. asi 4,482 mil. m³. Budeme-li předpokládat vlhkost paliva 30%, přiřadíme 80% váhu smrkovému dřevu (1888kWh/m³) a 20% borovici (2198kWh/m³). Pak dostáváme energetický obsah plnometru dřeva ve výši 1950kWh/m³³⁶. Poté dospějeme k obsahu energie 8,74TWh. Tu je třeba ještě očistit o účinnost přeměny na elektrickou energii. Budeme-li předpokládat účinnost 40%, pak by celková výroba elektrické energie dosáhla asi **3,496TWh**. Tj. asi 5% současné roční spotřeby. Tato hodnota je velmi blízká i vodnímu potenciálu ČR (cca 3,385TWh).

6.1.2 Biomasa z trvalých travních porostů (TTP)

V roce 1990 se nacházelo v ČR asi 833 tisíc hektarů trvalých travních porostů. Produkce TTP se primárně používala jako krmivo pro hospodářská zvířata. Postupně výměra TTP rostla a v roce 2016 to již bylo 1003 tisíc hektarů [75]. Vývoj počtu skotu je však přesně opačný. V roce 1990 jsme chovali 3506 tis. ks skotu. K roku 2016 se stav snížil na 1416 tis. ks [76]. Rostoucí rozdíl mezi požadavky živočišné výroby a travních ploch umožňuje část pozemků využít k jinému účelu. V současnosti je uvolněno pro energetické účely asi 440 tisíc hektarů, které mohou poskytnout asi 1,4 milionu tun senné sušiny [77]. V případě výroby bioplynu by se výtěžnost mohla pohybovat okolo 180m³ z tuny sušiny. Při výhřevnosti 22MJ/m³ by bylo možné získat 3,96GJ energie z tuny sušiny. Při zpracování 1,4 milionu tun by energetický obsah činil asi 5,544PJ. Při elektrické účinnosti 40% by výroba elektřiny dosáhla asi 2,218PJ, což představuje asi **0,616TWh** elektrické energie. Pokud bychom seno spálili klasicky jako v parní elektrárně a uvažovali výhřevnost 15MJ/kg, dosáhli bychom na energetický obsah cca 21PJ. Při uvažované účinnosti 40% a po převodu z joulů na watty by obsah energie činil asi **2,33TWh**. Výrazně lépe tedy vychází výroba elektřiny obyčejným spalováním.

6.1.3 Biomasa získaná z polí

Zbytky z osevních ploch

Dalším zdrojem biomasy je orná půda. Tu lze rozdělit na 2 části. Cíleně pěstovanou biomasu a rostlinné zbytky vzniklé při potravinářské produkci.

³⁶ Vzhledem k velmi malému podílu tvrdého dřeva tuto odchylku zanedbáme.

Plodina	M. j.	Výměra v ČR 2013	Produkce slámy		
			t/ha	koeficient energet. využití	celkem (tis.t)
Pšenice celkem	tis.ha	833	4,10	0,65	2220
Žito	tis.ha	42	4,40	0,65	120
Ječmen	tis.ha	349	2,80	0,65	635
Oves	tis.ha	45	3,30	0,65	97
Ostatní obiloviny	tis.ha	53	3,50	0,65	121
Řepka	tis.ha	416	5,50	0,45	1030
Sláma obilovin využitelná pro energetické účely					3192
Sláma řepky využitelná pro energetické účely					1030
Celkem					4222

Tab. 13 Zbytková biomasa z orné půdy, Zdroj: [77]

Z tabulky lze vyčíst značný potenciál zbytků zemědělské výroby. Pokud by se použila sláma obilovin a řepky k výrobě bioplynu a produkce by činila 200m³ z tuny sušiny při výhřevnosti 22MJ/kg, pak by energetický obsah dosahoval asi 4,4GJ na tunu sušiny. 4 222 tisíc tun pak obsahuje 18,577PJ energie. Analogicky jako v předchozích výpočtech by mohly tyto zemědělské zbytky vyrobit asi **2,06TWh** elektřiny. Pokud by se energetický obsah spálil, získali bychom 63,33PJ energie. Při převodu na elektrickou energii s účinností 40%, by bylo možno dodat do sítě asi **7,04TWh**.

Cíleně pěstovaná biomasa

V České republice je nyní nadbytek zemědělské půdy. V současnosti asi 27% celkové výměry může být využito pro jiné než potravinářské účely. V absolutních číslech se jedná asi o 680 tisíc hektarů[77]. Pro stanovení potenciálu biomasy provedeme snížení na 500 tisíc hektarů. Zbytek půdy by se mohl využít pro zalesnění, přeměnu na trvalé travní porosty (může sloužit i jako protierozní opatření v polích), remízky, zelené plochy za účelem zadržení vody v krajině a zlepšení mikroklimatu – malé vodní nádrže, mokřady, suché poldry atd. Tato přeměna půdy může zároveň sloužit jako ochrana před bleskovými povodněmi a zlepšit akumulaci podzemních vod, které dlouhodobě klesají. Bohužel část půdy je také nenávratně zastavěna³⁷.

³⁷ V posledních letech jde asi o 200 hektarů za rok. Pokles výměry zemědělské půdy je však mnohem rychlejší a dosahuje asi 7500 hektarů ročně. Což ovlivňuje i plochu dostupnou pro produkci biomasy[78].

Z 500 tisíc hektarů provedeme rozdělení na tři kategorie. 100 tisíc hektarů vyčleníme na produkci dřevní hmoty, která se může dále použít pro produkci elektrické energie, její význam však může být i v oblasti obecních vytopen a pro automatické kotle v domácnostech, kde může nahradit např. uhlí. Na exponovaných místech může sloužit i jako větrolam. Dalších 100 tisíc hektarů můžeme použít pro produkci různých druhů fytomasy, které mají dobré půdoochranné vlastnosti a vedou ke zvýšení osevní pestrosti. Dalších 300 tisíc hektarů může být oseto kukuřicí vzhledem k nejlepším dosaženým výsledkům při produkci bioplynu. V jejím případě je však třeba dbát na protierozní opatření a vhodnou agrotechniku, neboť riziko poškození půdy je značné.

U cíleně pěstované dřevní hmoty předpokládáme sklizení 15 tun sušiny z hektaru. To odpovídá 20 tunám dendromasy při vlhkosti 25%. Výhřevnost poté dosahuje asi 14GJ na tunu, tj. 280GJ/ha. Celkový obsah energie 28PJ se při 40% účinnosti přeměny v elektřinu převede na 11,2PJ energie, což je **3,11TWh** elektřiny.

V případě cíleně pěstované fytomasy předpokládáme výnos 12 tun na hektar při vlhkosti 17% (tj. 10 tun sušiny z hektaru). Energetický obsah předpokládáme na úrovni 15GJ/t (180GJ/ha). Celková energie tedy činí 18PJ, při převodu na elektrickou energii to je 7,2PJ, což v jednotkách obvyklých pro elektrickou energii představuje **2,00TWh**. Pokud bychom alternativně porovnávali výrobu elektřiny z bioplynu se stejnou účinností výroby elektřiny a uvažovali produkci 200m³ biometanu na tunu sušiny s výhřevností 22MJ/m³, pak výroba dosáhne pouze **0,49TWh**.

Dalším zástupcem pro produkci elektřiny byla zvolena kukuřice. Pro energetické účely by bylo využito 300 tisíc hektarů. Při spálení energetické kukuřice dosáhneme při 10% vlhkosti pouze 14,4GJ/t (310GJ/ha). Souhrnný obsah energie činí 93,14PJ. Z čehož lze získat asi **10,35TWh** elektřiny. Nejlepších výsledků v produkci bioplynu bylo dosaženo s odrůdou Atletico. Celková produkce metanu dosáhla 8940m³ na hektar osevní plochy[79]. Výhřevnost 1m³ 100% metanu je 35,8MJ³⁸. Celkové množství získané energie dosahuje 96,02PJ. Z toho elektrická energie tvoří 38,41PJ, což po převodu znamená asi **10,67TWh** elektřiny.

³⁸ Výsledek je uváděn po přepočtení na čistý metan (100% CH₄). Proto musíme provést konverzi při výpočtech energie také.

Zhodnocení

Druh biomasy	Energetický obsah v PJ při spálení	Energetický obsah v PJ při produkci bioplynu	Výrobená elektřina v TWh, Spálením/Bioplynem	Rozdíl spálení - bioplyn v PJ
Lesní zbytky	15,05	---	1,67/---	---
Dřevní zbytky a odpadní dřevo	31,46	---	3,496/---	---
Trvalé travní porosty	21	5,54	2,33/0,616	15,46
Zbytky z osevních ploch	63,33	18,58	7,04/2,06	44,75
Dendromasa	28,00	---	3,11/---	---
Fytomasa	18	4,40	2,00/0,49	13,60
Kukuřice	93,14	96,02	10,35/10,67	-2,88
Celková	269,984	124,537	29,996/13,8	70,93

Tab. 14 Souhrnné výsledky potenciálu biomasy v ČR

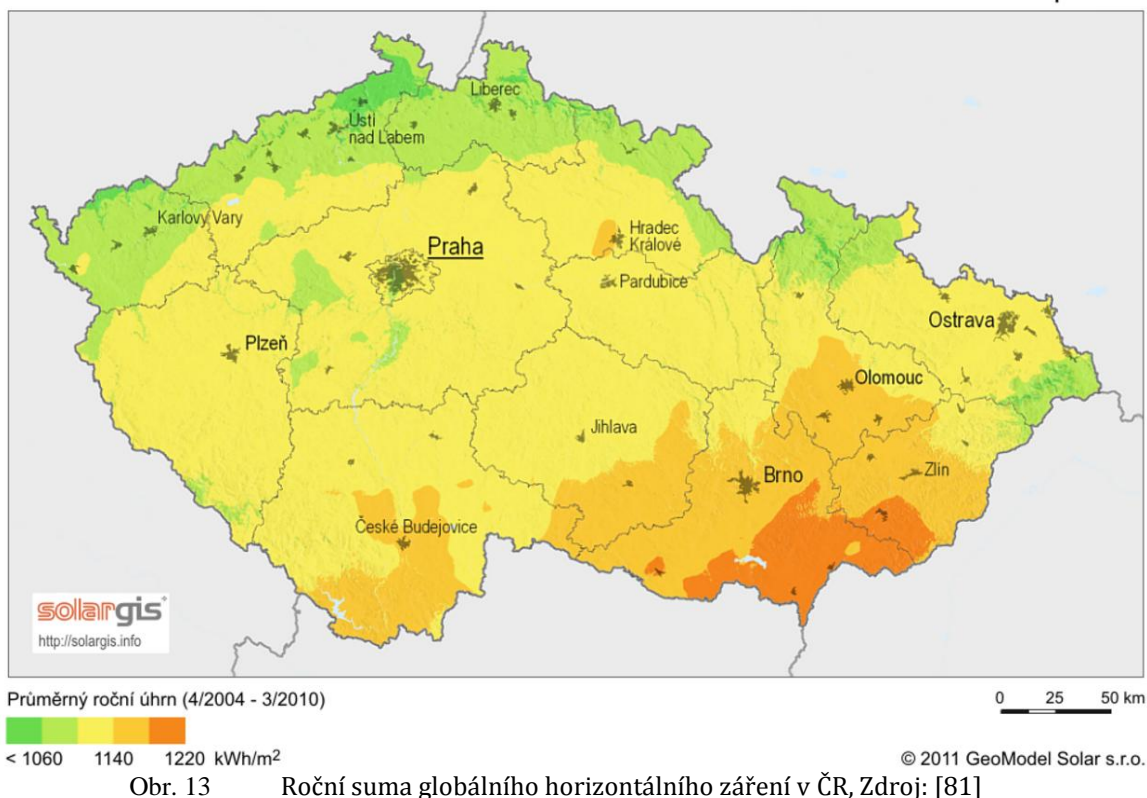
Celkový energetický obsah biomasy lze hodnotit jako velmi vysoký. Z přibližně 272PJ by bylo možné získat asi **30TWh**. Z hlediska hektarového výnosu si nejlépe vede kukuřice, avšak ani cíleně pěstovaná dendromasa příliš nezaostává. Nejmenší energetický potenciál vidíme u lesních zbytků a v případě trvalých travních porostů. V případě TTP jde však pouze o doplňkové využití a mají i jiné funkce ekologického charakteru, proto by intenzifikace produkce biomasy nemusela být ku prospěchu věci. Za zmínku rozhodně stojí rozdíl mezi jednoletou a víceletou produkcí. V případě jednoleté periody sklizně (týká se zejména fytomasy) je výnos silně závislý na počasí a např. u kukuřice může průměrný výnos 20t/ha kolísat mezi cca 15-25 tunami sušiny z hektaru. Sušší období se negativně projevuje i na produkci dendromasy, ale vzhledem k obvykle několikaleté periodě obmytí by měly být rozdíly menší a více vyhlazené (což částečně souvisí i s hlubším kořenovým systémem). I zde nelze vyloučit negativní dopad několikaleté periody suššího počasí, nicméně je přece jen méně častá než jednorocní výkyv³⁹. Při porovnání emisních charakteristik si stojí lépe spalování dendromasy než fytomasy. Zejména v oblasti NO_x, chloru a částečně síry. Na druhou stranu dendromasu nelze využít pro produkci bioplynu. Je však otázkou, zdali v rozptýlené venkovské zástavbě nebo na okraji měst má smysl se těmito emisními otázkami vůbec zabývat.

³⁹ Např. při obmytí době 6 let se roční pokles produkce biomasy o 30% projeví pouze 5% a je možné, že v průběhu těchto šesti let bude smazán naopak nadprůměrným přírůstkem v jednom či dvou dobrých letech.

7 Solární energie

Solární energii lze využít pro získání tepla nebo elektřiny. V prvním případě hovoříme o tzv. solárně-termických kolektorech. Z průměrné roční intenzity slunečního záření 1100kWh/m^2 v ČR mohou získat $250\text{-}500\text{kWh}$ ročně. Nemůžeme je však použít k výrobě elektřiny a dobrých parametrů dosahují pouze od dubna do září⁴⁰ [80].

7.1 Potenciál fotovoltaické energie



Pro stanovení potenciálu výroby elektrické energie ze slunce musíme znát celkový roční úhrn energie dopadající na 1m^2 plochy ČR za rok. Průměrný roční úhrn slunečního záření činí asi 1100kWh/m^2 , přičemž vyšší hodnoty platí pro jižnější části ČR a nižší pro severněji položené regiony a horské oblasti.

⁴⁰ Princip vzniku elektrického proudu a použitelné technologie výroby elektrické energie v ČR najde čtenář v příloze číslo 5.

Parametry FV panelu	
Účinnost FV článku při výrobě elektřiny	25%
Rozměry FV panelu v m (Š*V)	0,992*1,64
Plocha panelu	1,63 m ²
Wattpeak (Wp) FV panelu při intenzitě slunečního záření 1000W/m ²	406,7 W
Roční úhrn slunečního záření	1100 kWh/m ² /rok
Roční množství sluneční energie dopadající na FV panel	1789,57 kWh
Celková hrubá roční výroba elektřiny z FV panelu	447,39 kWh
Roční hrubá výroba elektřiny z 1m ² z FV panelu	275 kWh
Čistá roční výroba (ČRV) z 1m ² z FV panelu	222,75 kWh
Čistá roční účinnost přeměny slunečního záření na elektřinu za životní cyklus FV	18,2 %
Čistá roční výroba na 1m ² FV panelu s vlivem stárnutí (ČRV-10%) a odchylky od optimální orientace (ČRV-5%)	189,34 kWh
Roční koeficient využití instalovaného výkonu	8,65 %

Tab. 15 Stanovení celkové roční výroby elektrické energie FV panelu

Jestliže plocha FV panelu činí 1,63m², pak se celková energie dopadající na tuto plochu pohybuje okolo 1790kWh ročně. Při 25% účinnosti přeměny sluneční energie na elektřinu získáme asi 447kWh[82]. Hrubá roční výroba se však musí snížit o dalších přibližně 19%. Z toho 10% tvoří optické ztráty vlivem nekolmého dopadu slunečních paprsků během roku, dalších 5% ztráty na měniči a sledovači výkonového maxima a přibližně 2% tvoří ztráty DC a 1% AC vedení [83]. K dalšímu snížení výkonu dochází vlivem stárnutí FV článků. Pokles výkonu by neměl přesahovat 10% po 10 letech provozu a po 25 letech by neměl přesáhnout 20% [84]. Proto předpokládejme v průměru 10% snížení výroby za životní cyklus. Další snížení o přibližně 5% lze předpokládat z důvodu ne zcela optimálního umístění FVE z důvodu orientace střech a někdy může být provedena i záměrně např. z důvodu vyšší výroby v zimních měsících.

Pokud přepočítáme celkovou výrobu FVE na 1km² plochy, pak by dosáhla asi **0,19TWh**⁴¹. Teoreticky by tedy plocha FVE o velikosti 350km² pokryla celoroční spotřebu ČR. Nicméně vzhledem k tomu, že během 6 měsíců od dubna do září výroba dosahuje více 70% z celkové roční a akumulace energie není dostatečně rozvinuta, může se vyrobit jen tolik elektřiny, kolik je možné v krátké době spotřebovat. Akumulace elektřiny ve větším rozsahu je nyní možná pouze pomocí přečerpávacích vodních elektráren a to v řádech hodin. Prostor pro další nárůst výroby elektřiny ze slunce by dle Solární asociace mohl být u domácností okolo 2000MW instalovaného výkonu a v případě instalací na továrnách a obchodech dalších 5100MW. Jistý posun v poskytování podpory u fotovoltaiky nastal s programem Nová zelená úsporám, který podporuje instalaci fotovoltaických panelů formou dotace na instalaci FVE a nikoli ve formě výkupních cen[85]. V roce 2016 došlo k schválení investiční podpory pro 540 projektů o výkonu 4833kW, což představuje jen něco přes 2% instalovaného výkonu FVE [86].

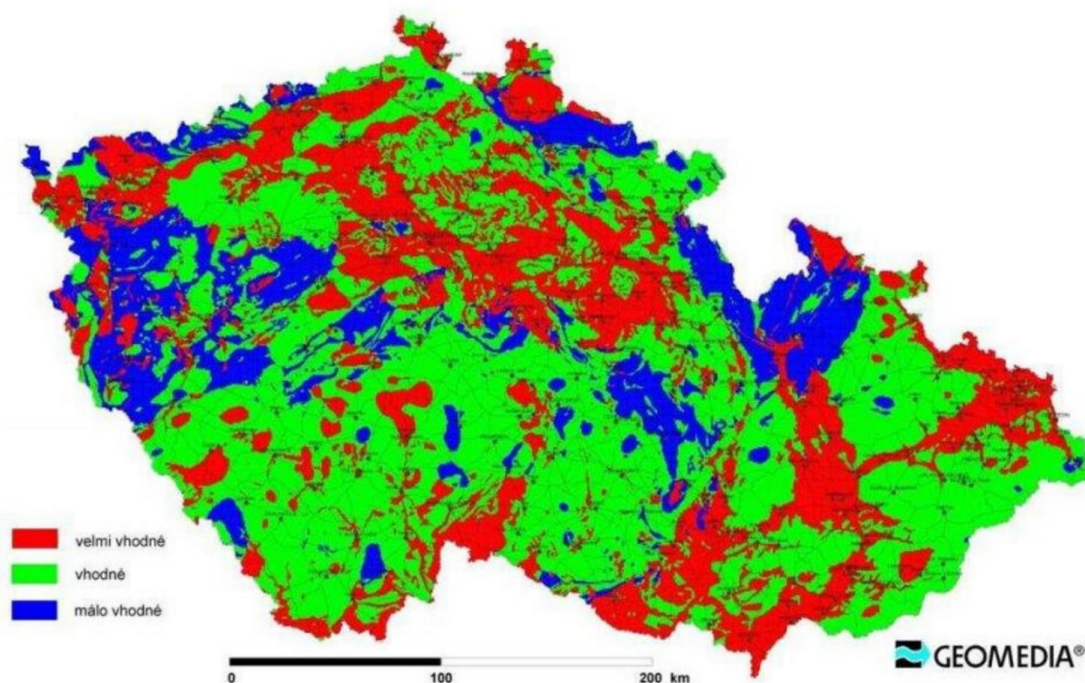
⁴¹ Při uvažování účinnosti běžně dostupných panelů okolo 18,5% by čistá výroba dosahovala asi 0,14TWh/km². Nicméně nejlepší účinnost jednovrstvého FVE panelu v současnosti dosahuje 26,6% a vzhledem k technologickému vývoji lze považovat zvolenou účinnost 25% za opodstatněnou.

Shrnutí

Potenciál výroby fotovoltaické energie v ČR je mimořádně vysoký a dovedl by nahradit celoroční spotřebu elektrické energie v ČR. Zatím je však tato možnost pouze teoretická. Velmi slabým místem zabraňujícím uskutečnění tohoto ambiciózního plánu lze vidět v nemožnosti uskladnit energii na delší dobu za ekonomicky přijatelné náklady a v dostatečném rozsahu. Určitý potenciál dalšího rozvoje fotovoltaiky zde nicméně existuje. Instalace na střechách budov, kdy se velká část vyrobené energie spotřebuje v místě spotřeby a pouze přebytky se vyvedou do sítě, omezuje možné dodatečné významné zatížení páteřní přenosové soustavy. Navíc již nyní i bez dotace se cena vyrobené elektřiny pohybuje kolem úrovně, za kterou spotřebitel nakupuje proud ze sítě. Je také možné souhlasit s tvrzením Solární asociace, že potenciál fotovoltaické energie u nových instalací se pohybuje okolo 7,3TWh vyrobené elektřiny. Celkový s již postavenými elektrárnami asi na úrovni **9,5TWh**. Další významný rozvoj nad rámec současného potenciálu závisí na rozvoji ukládání energie a částečně i možnostech přenosové soustavy.

8 Geotermální energie

Výroba elektřiny v geotermální elektrárně je založena na stejném principu jako v parní elektrárně. Teplo předané teponosnému médiu pod tlakem proudí směrem k turbíně a roztáčí její lopatky. Tímto dochází k přeměně části energie z tepelné na mechanickou a posléze za pomoci generátoru na elektrickou. Odlišný je zdroj takového tepla. V případě parní elektrárny dochází nejčastěji k jeho vzniku spaláním fosilních paliv. V případě geotermální elektrárny teplo přichází z nitra země. Jeho zdrojem je zejména teplo vzniklé formováním planety a rozpadem radioaktivních prvků. Zejména uranu. Pro posouzení vhodnosti lokality pro využívání geotermální energie potřebujeme znát tepelný gradient a tepelnou vodivost hornin v místě odběru energie. Nárůst teploty se pohybuje okolo 30°C na 1km hloubky vrtu. V seizmicky aktivních oblastech to ale může být i 50-70°C/km⁴² [87].



Obr. 14 Klasifikace vhodnosti lokalit z hlediska využití geotermální energie, Zdroj: [87b]

⁴² Metody využití geotermální energie v ČR najde čtenář v příloze číslo 6.

8.1 Potenciál geotermální energie

Území ČR lze označit za poměrně perspektivní pro využívání geotermální energie. Důvod spočívá mimo jiné v horninovém složení Českého masivu s výskytem hornin se zvýšenou radioaktivitou a zlomovými strukturami, kterými prostupuje teplo hlouběji uložené pod povrchem [87b].

Pokud by se ochladil Český masiv o 1°C do hloubky 4 kilometrů, pak bychom získali energii odpovídající 500 000PJ, přičemž spotřeba primárních energetických zdrojů se pohybuje v posledních letech okolo 1700-1800PJ ročně.

Geotermální potenciál je stanoven pro 4 kategorie

- Pro energii z hydrotermálních zdrojů s teplotou 130°C a více se odhaduje elektrický potenciál na 10MW.
- U tepla suchých hornin (HDR) s teplotou nad 130°C přibližně 3388MW (847 lokalit s výkonem 4MW a hloubkou vrtů do 5km).
- Pro účely vytápění (hydrotermální zdroje) s teplotou vody do 130°C asi 25MW.
- Pro nízkoteplotní systémy (tepelná čerpadla) celkem 11 140MW. Z toho 8750MW tvoří suché teplo hornin a 2390MW zdroje podzemních vod.

Pro účely výroby elektrické energie se považuje za bilanční suché teplo hornin o celkovém elektrickém výkonu 3388MW. Dále se předpokládá 11165MW tepelného výkonu zahrnujícího nízkopotenciální a hydrotermální a teplo. Výroba elektřiny se předpokládá až na úrovni **26TWh** s tím, že na přibližně 60 lokalitách by již ve střednědobém horizontu mohl být instalovaný elektrický výkon 250MW s roční výrobou 2TWh a tepelným výkonem 2000MW s roční výrobou 4TWh (14,4PJ) [88].

Geotermální vrt Litoměřice

Zatím nejdále je projekt na využití geotermální energie v Litoměřicích. Původní odhady z roku 2007 počítaly se zprovozněním geotermální elektrárny už v roce 2010, nejpozději do roku 2013. Nicméně doposud byl proveden pouze jeden vrt do hloubky 2111 metrů (rok 2007) a zjištěna teplota 63,4°C. Ve fázi příprav zůstává i vyvrtání 2-3 vrtů do hloubky 5km, kde se očekává teplota 150-180°C. Náklady projektu se odhadují na přibližně 2 miliardy korun, z toho 1,5 miliardy korun by měly stát 3 vrty do hloubky 5km (metoda HDR). Životnost projektu se očekává mezi 20 až 30 lety. Záviset však bude na rychlosti poklesu teploty okolních hornin [45], [89].

Shrnutí

Geotermální energii můžeme považovat za perspektivní zdroj energie. Je však otázkou, zdali je dává ekonomický smysl v českých podmínkách ji využívat pro výrobu elektrické energie. V metodice paní docentky Blažkové z univerzity Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem se uvádí potenciál výroby elektrické energie 26TWh při instalovaném elektrickém výkonu 3388MW. První úzké místo lze identifikovat v účinnosti výroby. Vzhledem k nízké teplotě výstupní vody z geotermálního vrtu okolo 150-180°C nelze použít klasickou parní turbínu poháněnou horkou párou, ale např. organický Rankinův cyklus (ORC) nebo Kalinův cyklus. Účinnost přeměny tepelné energie na energii elektrickou se však pohybuje pouze okolo 10-15%, což je výrazně méně než v případě klasických parních elektráren. Navíc v letních měsících by v případě výroby elektřiny většina získaného tepla byla bez užitku vypouštěna do okolí. Další negativní aspekt této výroby souvisí s životností geotermálního vrtu. Tím, jak se pumpuje do hornin studená voda, dochází postupem času k ochlazení okolních hornin a k snížení teploty výstupní vody, což dále zhoršuje účinnost elektrické výroby a vede ke snížení životnosti geotermálního vrtu. Navíc v současné situaci nízkých cen elektrické energie a výstavbě dalších zelených zdrojů po celé EU nelze pravděpodobně očekávat obrat tržních cen. Kromě geotermálního vrtu v Litoměřicích se uvažovalo o výrobě elektřiny a tepla stejným způsobem také u Liberce společností ČEZ[90]. Projekt však byl z ekonomických důvodů zastaven a ani v případě Litoměřic se již nepočítá s výrobou elektřiny, ale pouze s využitím tepelné složky. Potenciál geotermální energie se tedy nachází spíše v oblasti vytápění a to ve formě hlubinných vrtů pro centrální zásobování teplem anebo v případě domácností ve formě tepelných čerpadel. Oblast výroby elektřiny zůstává (a nejspíš i zůstane) v našich podmínkách neperspektivní. Potenciál výroby elektřiny z geotermální energie tedy můžeme stanovit jako nulový, tj. **0TWh**.

9 Celkový potenciál OZE

Kapitola je stručnějším souhrnem kapitol 4-8, na jejímž konci je proveden celkový součet všech dílčích potenciálů.

Vodní energie

Technicky využitelný potenciál vodní energie dosahuje asi **3,4TWh**. Současná výroba elektřiny z vodní energie pro průměrně vodný rok činí 2,4TWh. Přibližně 0,66TWh zbývajících potenciálů nalezneme v oblasti velkých vodních elektráren (nad 10MW instalovaného výkonu) a dalších cca 0,35TWh se nachází v oblasti MVE s instalovaným výkonem do 10MW. Celkové využití technického potenciálu dosahuje asi 71%. V oblasti velkých vodních elektráren je potenciál využit na cca 64% a u MVE asi na 78%.

Další rozvoj vodní energetiky je limitován přírodními podmínkami ČR. V případě velkých vodních děl navíc stavba dalších přehrad naráží na odpor ekologických organizací a nezřídka i místních obyvatel, což jejich další výstavbu výrazně komplikuje. Navíc dodatečná nejvýše 1TWh elektřiny v kontextu celkové spotřeby elektrické energie již nemůže významněji navýšit podíl zelené energie u nás.

Větrná energie

Technicky využitelný potenciál větrné energie dosahuje asi **14,7TWh**. Současná výroba elektřiny z větru se nachází hluboko pod potenciálem s roční výrobou okolo 0,5TWh. ČR tedy využívá svůj potenciál asi na 3,4%. Důvody takto nízké výroby elektřiny z větru nespočívají v nedostatku vhodných lokalit, ale v silně negativním postoji některých krajských samospráv, jež se snaží výstavbu nových VTE maximálně komplikovat, poměrně nízkých výkupních cen (1,93Kč/kWh) a lehce nižšího koeficientu využití než je obvykle plánováno (reálně cca 20% místo v prospektech uváděných 25%).

Poměrně vzdálený je instalovaný výkon od bodu, kdy by mohl způsobovat problémy v přenosové soustavě. Např. v sousedním Německu dosahuje instalovaný výkon asi 50GW (v ČR 0,28GW) [91]. Do celkového využitelného potenciálu nebyly započteny oblasti, jež podléhají ochraně přírody a místa, kde by další instalace z důvodu menší zásoby větrné energie na vybrané lokalitě vedla k nižšímu koeficientu využití, což by negativně ovlivňovalo ekonomiku provozu a posouvalo instalaci za hranici rentability při současných výkupních cenách. Navíc i přes nízké využívání potenciálu větrné energie se ČR svými přírodními podmínkami nemůže rovnat oblastem např. u Severního moře, kde koeficient využití může dosahovat až 50%.

Energie biomasy

Stanovení je poněkud obtížnější z důvodu několika faktorů, které nenajdeme u některých OZE. Oproti výše zmíněným je zde zastoupena tepelná složka, která vzniká spalováním samotné biomasy nebo vyrobeného bioplynu a najde uplatnění např. při vytápění. Významně negativní vliv na celkovou produkci biomasy může mít i sucho, které dovede podstatně snížit výnos. Část biomasy je již nyní využívána pro topné účely např. v domácnostech a snaha navýšit podíl vyrobené elektřiny z biomasy může způsobit nedostatek biomasy pro tyto účely. Pro stanovení celkového potenciálu je tedy vhodné uvažovat nejen vyrobenou elektřinu, ale i celkový obsah energie, jež se může použít pro vytápění. Oproti vodě, větru a fotovoltaice lze zároveň odložit výrobu tepla nebo elektřiny na příhodnou dobu formou skladování biomasy. Negativem biomasy oproti zbývajícím OZE jsou však skladovací a přepravní náklady a její rozptýlenost např. ve srovnání s uhelnou slují.

Pro stanovení celkového potenciálu byla zvolena účinnost přeměny primární energie na elektrickou ve výši 40%. Což odpovídá reáliím bioplynových stanic i moderních spalovacích zařízení.

U lesní štěpky potenciál dosahuje asi **15PJ** ročně, což umožňuje spálením získat asi **1,67TWh** elektřiny.

Dřevní hmota pocházející z kulatinového dřeva (trámy, palety, odřezky atd.), jež není kontaminována látkami znemožňujícími běžnou likvidaci spalováním má energetický obsah asi **31,5PJ**, z čehož lze získat asi **3,5TWh** elektřiny.

Biomasa z trvalých travních porostů (TTP) při spálení uvolní asi **21PJ** energie, což umožňuje vyrobit asi **2,33TWh** elektřiny. Při využití ve formě bioplynu je energetický obsah nižší.

Zbytky slámy ze zemědělské činnosti z osevních ploch obsahují asi **63PJ** energie, což umožňuje získat asi **7TWh** elektrické energie. V případě využití ve formě bioplynu se získá nižší energetický obsah než prostým spálením.

U cíleně pěstované biomasy na zemědělské půdě lze využít 3 možností. První je pěstování rychle rostoucích dřevin, další je pěstování fytomasy, která nedosahuje maximálního možného výnosu, ale má lepší půdoochranné vlastnosti a vyhovuje např. pro svažité pozemky a třetí možností je maximalizovat výnos užitím rostlin, které dávají vysoký energetický obsah z plochy. Z kalkulovaných 500 tisíc hektarů bylo přiděleno 100 tisíc hektarů dendromase, 100 tisíc hektarů ostatní fytomase a 300 tisíc hektarů kukuřici.

U dendromasy energetický obsah dosahuje **28PJ**, což postačuje k výrobě asi **3,1TWh** elektřiny.

U ostatní fytomasy lze získat asi **18PJ** a spálením získat asi **2TWh** elektřiny. Výroba bioplynu umožňuje získat méně energie než v případě spalování.

U kukuřice mírně lépe oproti spálení vychází výroba bioplynu. Celkový obsah energie dosahuje asi **96PJ** a postačuje k výrobě asi **10,67TWh** elektřiny.

Určitý prostor k zlepšení by nastal, pokud by se podařilo omezit plýtvání potravinami a uvolnit ornou půdu k nepotravinářskému využití. Pro hodnocení se však uvažuje s v současnosti dostupnou výměrou orné půdy.

Celkový obsah energie dosahuje při součtu všech druhů biomasy asi **272PJ**, což umožňuje vyrobit asi **30TWh** elektřiny. V současnosti je vyrobeno z biomasy asi 4,7TWh elektřiny, potenciál je tedy využit asi na 16%.

Fotovoltaická energie

U fotovoltaické energie není limit dán přírodními podmínkami, ale schopností přenosové soustavy zvládnout její kolísání a schopností ukládat energii. Současnou roční výrobu okolo 2,2TWh lze navýšit o přibližně 7,3TWh na **9,5TWh**. Je však třeba další instalace provádět v koncových bodech sítí primárně pro samospotřebu, aby přenosová soustava byla schopna další zvyšování FVE zvládnout. Do sítě by se pak mohly vyvést pouze nespotřebované přebytky. V podobném duchu je koncipována i Nová zelená úsporám. Určitým měřítkem výroby může být produkce vztažená na 1km² plochy FV panelu. Pak by roční výroba odpovídala asi 0,19TWh na 1km² a teoreticky by cca 350km² FV panelů dovedlo pokrýt roční spotřebu ČR.

Geotermální energie

U geotermální energie je sice stanoven potenciál až na 26TWh, nicméně je otázkou, zdali dává ekonomický smysl používat tepelnou energii z hornin na území ČR právě pro výrobu elektrické energie. Díky předpokládaným výstupním teplotám okolo 150-200°C je nutno použít organický Rankinův nebo Kalinův cyklus. Účinnost takové výroby elektrické energie dosahuje 10-15% a při současných cenách elektřiny nedává příliš velký ekonomický smysl. Navíc dochází ke zkracování životnosti vrtu a jako rozumnější se spíše jeví využití pro vytápění. Dokonce ani v jediném zamýšleném geotermálním vrtu v Litoměřicích se s výrobou elektřiny již nepočítá. Navíc takto neefektivní nakládání s energií jde proti návrhům Komise o snižování energetické náročnosti o 30% do roku 2030 ve srovnání s rokem 2007. Proto předpokládejme potenciál v oblasti elektroenergetiky na úrovni **0TWh**. Tj. nebilanční. Pro teplárenské využití to však rozhodně platit nemusí.

Celkový potenciál OZE v ČR

Druh OZE	Průměrná současná roční výroba	Potenciál v TWh
Vodní	2,4	3,4
Větrná	0,5	14,7
Biomasa	4,7	30,0
Fotovoltaika	2,2	9,5
Geotermální	0,0	0,0
Celkem	9,8	57,6

Tab. 16 Celkový potenciál výroby elektřiny z OZE

Potenciál výroby elektřiny z OZE je v současnosti využíván asi z 17%. Z tabulky je patrný určitý rozpor výroby elektrické energie ve srovnání s reálnými údaji roku 2015. Většinu rozdílu lze přičíst nepříznivé hydrologické situaci na tocích (- 0,6TWh), mírně lepší výsledek zaznamenaly FVE (+0,14TWh) a lépe si vedly i větrné elektrárny (+0,07TWh). Jistý nárůst potenciálu by mohl být u zemědělské půdy při omezení plýtvání potravinami a výrazný by mohl nastat u fotovoltaiky v závislosti na technologickém pokroku při skladování energie.

10 Diskuze

Požadavky Evropské unie v ochraně klimatu míří správným směrem a zmírňují dopad klimatické změny. Snižování množství vypouštěných skleníkových plynů, zvyšování energetické účinnosti a navyšování podílu OZE vedou k větší energetické bezpečnosti a trvale udržitelnému zdroji energie.

Příspěvek České republiky k požadavkům EU v oblasti OZE

Potenciál České republiky v oblasti obnovitelných zdrojů se významně liší v závislosti na druhu.

U vodní energie i přes technologický pokrok, modernizace stávajících provozů a nové druhy turbín nelze očekávat významný přírůstek výroby elektrické energie a její dodatečný nárůst se může pohybovat okolo 1TWh (celkově cca 3,4TWh). I přes dlouhou tradici jejího využití u nás přírodní podmínky neumožňují její významnější rozvoj.

Větrná energie je schopna pokrýt až 20% roční spotřeby ČR (14-15TWh). Její potenciál však zůstává nevyužit zejména z důvodu postoje veřejnosti a krajských samospráv. Přírodní podmínky umožňují její další rozvoj. Nevýhodou představuje kolísavost jejího výkonu. K vyšší výrobě však dochází v zimních měsících, což se lépe kryje s poptávkou po elektřině a v kombinaci s předpovědí rychlosti větru by se mělo podařit tyto výkyvy absorbovat.

Energie biomasy patří v oblasti výroby elektrické energie k velmi perspektivním a díky možnosti uskladnit palivo ji lze využívat i v době špiček poptávky po elektrické energii. Tato flexibilita umožňuje nahradit fosilní paliva obnovitelnou alternativou a vést k optimalizaci výroby z hlediska požadavků na spotřebu. Dle odhadu by mohla zajistit více než 40% výroby elektrické energie (celkově až 30TWh).

Fotovoltaická energie by mohla zvýšit svůj podíl až na 10TWh. Uplatnění najde zejména ve střešních instalacích a na nezemědělských pozemcích. Zvolením vhodné orientace a sklonu lze přizpůsobit výrobu požadavkům odběratele. V delším období vzhledem k nenáročnosti instalace bude její podíl na celkové výrobě pravděpodobně narůstat.

Geotermální energii z hlediska elektroenergetiky lze vnímat na našem území jako nepřilíš perspektivní. Nízké dosažitelné výstupní teploty vody a vysoké vstupní náklady zejména v oblasti geotermálních vrtů limitují její použití.

Souhrnný potenciál všech obnovitelných zdrojů energie by tedy umožňoval pokrýt přes 80% spotřeby ČR. Jedná se však zatím o nedosažitelnou hodnotu. Úzkým místem je nestálost dodávek a možnosti skladování elektřiny. Tento problém ovšem neplatí pro biomasu, kterou lze uskladnit.

Pokud by ČR chtěla navýšit podíl výroby elektrické energie z OZE na 27% do roku 2030 a za výchozí budeme považovat rok 2015 s brutto spotřebou 71TWh, pak by výroba zelené elektřiny měla dosáhnout cca 19,2TWh. Rozdíl oproti roku 2015 činí

asi 9,8TWh. Příspěvek vodní energie bude spíše symbolický v řádu desetin terawatthodiny a pravděpodobně pouze v oblasti malých vodních elektráren. Větrná energie při koeficientu využití 25% by při dodatečně instalovaném výkonu cca 2000MW mohla vyrobit asi 4,4TWh elektřiny. Zbývající navýšení by mohlo být dosaženo fotovoltaickou energií. Biomasa z důvodu širšího použití by se mohla použít zejména v dopravě ve formě kapalných a plyných paliv. Existují plány na elektrifikaci dopravy, nicméně cena a kapacita baterií v současnosti nedokáže uspokojivě nahradit spalovací motor. Možná je kombinace obojího ve formě plug-in hybridu, který využívá elektřinu i spalovací motor. Část energie biomasy v oblasti bioplynu lze po vyčištění bioplynu na biometan použít jako klasický zemní plyn. Rafinace spotřebuje asi 5-10% energie biometanu, nicméně poté se může použít infrastruktura pro zemní plyn, využívat podzemní zásobníky a generovat elektřinu účinnějším paroplynovým cyklem pro výrobu elektřiny. V neposlední řadě může energetické využití biomasy pomáhat udržovat zaměstnanost ve venkovských oblastech.

Změna struktury výroby elektřiny

Výroba elektřiny s ohledem na požadavky EU do roku 2030 a dekarbonizační rámec do roku 2050 bude muset projít výraznými změnami. Lze doporučit zahájení výstavby nových jaderných bloků v Dukovanech. Životnost stávajících se odhaduje na 50-60 let⁴³, což znamená ukončení jejich provozu okolo roku 2040. V případě výstavby 2 nových bloků a náhrady stávajících a dostavění 1 bloku v Temelíně by dosáhla výroba elektřiny z jádra asi 41TWh⁴⁴. Celkový podíl na výrobě elektřiny by dosáhl asi 58%. Tyto zdroje vyhovují pro základní zatížení sítě a slouží jako bezemisní zdroj. Lepšímu zpracování výkonu díky kolísavosti spotřeby by měla pomoci energetická unie, která počítá s mírou propojení sítí na úrovni 15% v roce 2030. Slabým místem může být rychlost výstavby nových jaderných bloků a k jejich zprovoznění může dojít až po roce 2030. Důsledkem by bylo intenzivnější používání fosilních paliv. Další 27% by mohly v roce 2030 zajišťovat OZE, což je reálné i z časového hlediska pro jejich výstavbu. Skladba je podrobněji rozepsána v předchozím odstavci. Zbývajících 15% spotřeby by mohlo být zajišťováno elektrárnami na zemní plyn nebo uhlí, které by fungovaly jako flexibilní zdroj.

Návrhy Komise v oblasti energetického mixu

Pozitivně hodnotit můžeme návrh Komise na dostatečné propojení rozvodných soustav, který umožní lépe zvládat kolísavost OZE napříč EU. Např. v případě vysokého výkonu větrných elektráren v Německu a Dánsku se jejich výroba rozprostře mezi několik zemí a vede k nižší potřebě využívat fosilní zdroje a tím navýšit podíl nízkoemisní výroby. Vysoký výkon větrných elektráren zejména v zimních měsí-

⁴³ Dukovany byly uvedeny do provozu v letech 1985-1987.

⁴⁴ Pro porovnání byly vybrány reaktory stejné konstrukce, jako jsou nyní v Dukovanech a Temelíně jen s výkonem 1200MW (VVER1200).

cích umožní čerpat výhody i ostatním zemím, které podobně příznivé podmínky nemají. Naopak v letním období se může situace obrátit a můžeme využívat výhod jižních zemí Evropy, kde stabilní sluneční svit zajišťuje stálé dodávky elektřiny pro potřeby severněji položených zemí s rozkolísanějším počasím, mezi něž patří i ČR.



Obr. 15 Projekt Desertec, Zdroj: [92]

Přestože se např. projekt Desertec nezrealizoval, ukazuje možné propojení přenosových soustav pro lepší zvládnání výroby elektrické energie v rámci evropských zemí.

Cíl Komise snížit produkci skleníkových plynů o 40% oproti stavu v roce 1990 není přehnaný a s pomocí obnovitelných zdrojů a jaderné energie ho lze naplnit. Určitým úskalím může být odklon některých zemí od jádra v čele s Německem, který snižování emisí skleníkových plynů prodlužuje. Obnovitelné zdroje sice pomáhají dekarbonizaci, nicméně odstavování jaderných zdrojů jde opačným směrem a nevede k nižšímu spalování uhlí. Pokles snižování emisí CO₂ se tím např. v Německu dokonce zastavil [93]. Jejich další snižování do roku 2050 o 80-95% oproti roku 1990 si vyžádá výrazné změny a to zejména oblasti změny skladby výroby elektřiny, úspor v budovách a nejspíše i nové technologie v oblasti skladování energie, ukládání uhlíku apod.

Další návrh týkající se zvyšování energetické účinnosti o 30% může způsobit některým zemím potíže (včetně ČR). Vzhledem k tomu, že spotřeba primárních energetických zdrojů je počítána za území daného státu, může být poněkud nespraved-

livá. Např. v případě ČR je spotřeba PEZ za rok 2014 asi 1736PJ. Ze spotřeby je odečten vývoz elektrické energie ve výši 16,3TWh (58,7PJ). Na vstupu by se však při uvažované účinnosti přeměny elektrické energie 35% nacházelo asi 168PJ. Při ukončení exportu elektřiny by došlo k snížení spotřeby na 1568PJ. Tj. snížení energetické náročnosti o cca 9,7%. Příspěvek ČR k celounijnímu cíli snížení energetické náročnosti je tedy možný ukončením exportu elektřiny. Vyrovnaná bilance by však mohla způsobit problémy s dostatkem elektřiny v rozvodných sítích okolních zemí. Důležitým faktorem českého hospodářství je také silná průmyslová základna, která je nejvyšší v EU s podílem 37,8% za rok 2015. Snižování spotřeby energie by tedy mělo mít nastaveno výrazně měkčí podmínky pro ČR i přes závazný cíl 30% pro EU28.

Návrh Komise směřující k navýšení podílu OZE na 27% do roku 2030 je poměrně ambiciózní, na úrovni EU by však měl být splnitelný. Některé země mohou přispět díky svým přírodním podmínkám více, jiné jako např. ČR i s ohledem na ekonomickou efektivnost spíše méně. Navýšit podíl OZE pouze v oblasti výroby elektrické energie na 27% do roku 2030 by však neměl být problém ani pro ČR jako příspěvek k celounijnímu cíli. Nicméně např. ve výrobě elektřiny z větru se nemůžeme rovnat některým pobřežním oblastem, kde koeficient využití offshore elektráren dosahuje až 50%. U nás se za ideálních podmínek pohybuje okolo 25%. Stejně tak v oblasti sluneční energie oproti nejjižnějším oblastem Evropy vyrobíme až o polovinu méně elektřiny. Navíc v ČR se kvůli nestálosti počasí nemůžeme na sluneční svit spolehnout ani v letních měsících oproti zemím Středomoří a může vyvstat potřeba vyrobit elektřinu jinak nebo ji přivést odjinud.

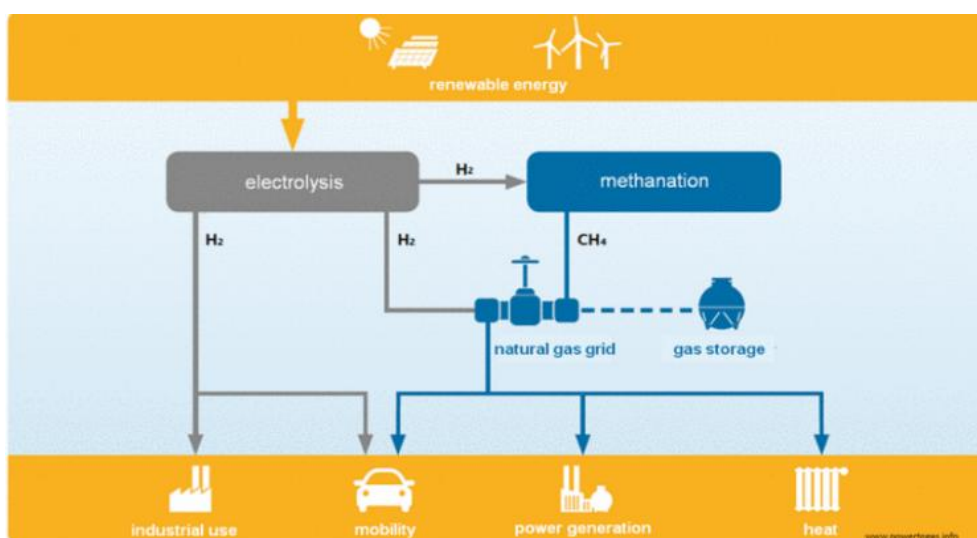
Snaha EU dále snižovat produkci skleníkových plynů je nepochybně správná, nicméně v kontextu celkových emisí nemůže významně ovlivnit klimatickou změnu. V současnosti jsou členské státy EU odpovědné za méně 10% vypouštěných skleníkových plynů. Důsledky transformace v oblasti elektroenergetiky a energetického mixu obecně mohou zhoršovat pozici evropského průmyslu a vytvářet konkurenční nevýhodu. Navíc stále přísnější ekologické limity mohou vést k odchodu některých průmyslově náročných odvětví za hranice EU. Např. v roce 2015 stála pro průmysl 1kWh elektřiny v USA 6,4 eurocentu (6,9 US centu) zatímco v EU cena činila 11,9 eurocentu. Podobný rozdíl najdeme i u zemního plynu. V roce 2015 v USA stála 1kWh asi 0,79 eurocentu, zatímco v EU pro průmyslové odběratele 3,4 eurocentu [94], [95], [96].

Kombinace vysokých cen energií, ekologických regulací a vysokého zdanění práce může přispívat k přesunu průmyslové výroby do zemí třetího světa, kde ekonomické a ekologické podmínky produkce jsou výrazně mírnější nebo platí pouze na papíře.

10.1 Další možnosti, jak zvýšit podíl OZE při výrobě elektrické energie

Power to Gas (P2G)

Tato technologie umožňuje přeměnit elektrickou energii na plynné palivo ve formě metanu nebo vodíku[97]. Technicky je tak možné překonat problém nedostatečné kapacity baterií a omezené kapacity přečerpávacích vodních elektráren. Využití této technologie umožňuje dlouhodobější skladování energie a také využít stávající infrastruktury používané pro dopravu zemního plynu.



Obr. 16 Technologie Power to Gas, Zdroj: [97]

Účinnost přeměny vodíku dosahuje až 80%, následná metanizace⁴⁵ přibližně 90%. Celý proces dosahuje účinnosti okolo 70%. Technologie by mohly být dostupné přibližně v horizontu 10 let [97].

Praktické využití v České republice může představovat např. paroplynová elektrárna Počerady, která dosahuje elektrické účinnosti 57,4% [98]. Zbývající tepelný výkon, by se mohl využívat pro vytápění. Vzhledem k ekologičnosti zemního plynu by se podobná technologie mohla používat poblíž center měst a nahradit současné teplárny. Zároveň díky flexibilitě provozu dokáže pružně reagovat na poptávku po elektřině. Praktickou komparaci můžeme provést např. pro brněnskou teplárnu Špitálka. Její tepelný výkon dosahuje 411MW, elektrický 80,6MW[99]. Paroplynová elektrárna Počerady disponuje elektrickým výkonem 838MW. Pokud bychom uvažovali účinnost 85% kombinované výroby elektřiny a tepla, pak by tepelný výkon

⁴⁵ metanizace=přeměna vodíku na metan

dosahoval 403MW (celkový 1460MW) a bylo by možné nahradit starší výrobní moderními poblíž velkých měst.

Důležitým faktorem je také dostupná kapacita pro uložení energie. Zde lze uvažovat o využití podzemních zásobníků pro zemní plyn. V posledních letech se pohybuje spotřeba zemního plynu v ČR asi na úrovni 8 miliard m³, kapacita zásobníků na zemní plyn dosahuje asi 4 miliard m³ (výhledově až 4,6 mld. m³) [100]. Zásoby tedy stačí asi na 180 dnů. Energetický obsah zemního plynu, jenž se spotřebuje na území ČR, dosahuje asi 84,4TWh ročně. Množství energie v podzemních zásobnících tedy dosahuje asi 42,2TWh. Pokud bychom chtěli tuto energii porovnat s PVE Dlouhé stráně, pak do horní nádrže lze uložit asi 3,9GWh. Tj. asi 10820x méně. Přestože se velká část zemního plynu v současnosti užívá na vytápění, tak zateplováním budov a úsporami lze využít část zásobníků pro jiné než topné účely. V neposlední řadě lze hledat další vhodná místa pro vybudování dalších podzemních zásobníků např. v opuštěných dolech a navyšovat tak kapacitu pro ukládání energie. Zvládnutí těchto technologií by mohlo výrazně pomoci řešit kolísavost OZE a nesoulad mezi cyklem výroby a spotřeby v rámci ročního cyklu nebateriovým ukládáním energie, což v konečném důsledku umožní zvýšit podíl OZE v energetickém mixu.

Lepší využití bioplynu

V současnosti bioplynové stanice produkují bioplyn, jenž je většinou ihned spálen a vyrobená elektřina prodána do sítě. Pokud by došlo k vyčištění bioplynu na biometan, bylo by možné využít stávající infrastrukturu pro dopravu zemního plynu a opět akumulovat tento plyn v zásobnících na zemní plyn. Za pozornost rozhodně stojí možnost využít paroplynové elektrárny s účinností o 44% vyšší než kogenerační jednotky v bioplynových stanicích (40% vs. 57,4%) a dosáhnout tak lepší elektrické výtěžnosti. Např. pro kukuřici pěstovanou na 300 000 hektarech by toto zlepšení znamenalo zvýšení výroby z 10,67TWh elektřiny na 15,31TWh. Celková ztráta energie při konverzi z bioplynu na biometan by se mohla pohybovat mezi 5-10%.

Další možností je po vyčištění bioplynu uskladnit v zásobnících oxid uhličitý a v době nadbytku elektrické energie Sabatierovou reakcí provést sloučení elektrolyticky vyrobeného vodíku s uskladněným oxidem uhličitým⁴⁶ a vzniklý zemní plyn dodat do sítě.

E-diesel

Přestože se daná technologie vyvinula pro automobilový průmysl, její využití je možné i pro výrobu elektrické energie v diesel agregátech. Principem této technologie je metoda power to liquid. Za pomoci elektrické energie, CO₂ a vody se vyrábí syntetická nafta. Zdrojem CO₂ může být např. bioplynová stanice, nebo i okolní

⁴⁶ CO₂ tvoří asi 25-50% biometanu.

vzduch. V případě využití vzduchu jako zdroje CO₂ je však na zvážení ekonomická stránka věci. Nespornou výhodou tohoto paliva je jeho vysoká energetická hustota, absence síry a aromatických uhlovodíků a uhlíková neutralita (CO₂). Výhodou paliva je též vysoké cetanové číslo. Tato syntetická nafta by měla stát okolo 1-1,5 euro za litr [101]. V neposlední řadě může také snížit dovozní závislost na fosilních palivech (energetická bezpečnost).

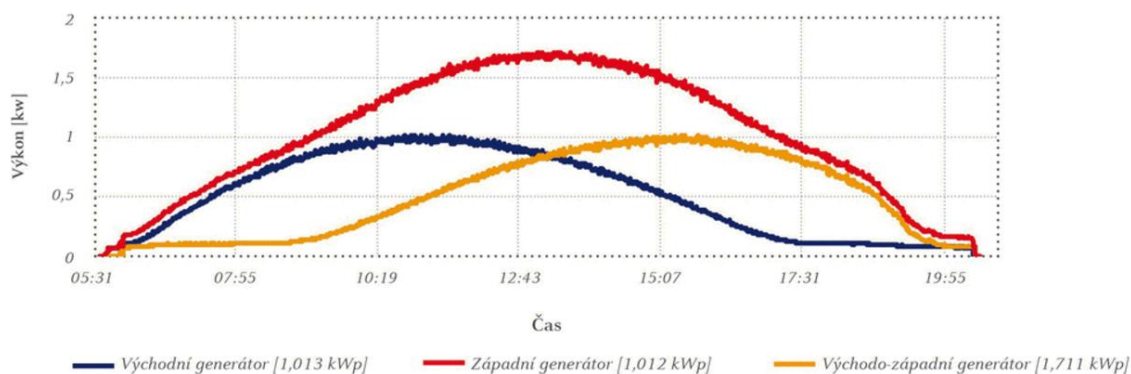
Další aspekty energetického mixu

Elektrifikace dopravy

Úvahy o větším používání elektromobilů mohou významně změnit poptávku po elektřině. V roce 2016 se v ČR spotřebovalo 1650 tisíc tun benzínu a 4733 tisíc tun nafty [102]. Celkový obsah energie dosahuje 76TWh (273,6 PJ). Při uvažované 40% účinnosti spalovacích motorů by efektivně využitá energie dosahovala asi 30,4TWh. Je otázkou, jaký podíl připadne v budoucnu na elektromobily a jakým způsobem bude získávána elektrická energie. Zdrojem by mohly být např. jaderné elektrárny. Souhrnně se však nástup elektromobilů může projevit nárůstem spotřeby elektřiny v řádu několika TWh v horizontu 20 let. Neméně důležitá je i skladba výroby elektřiny. Představa, že elektromobily jsou ekologičtější než klasický spalovací motor je poněkud zkreslená. Např. v některých státech USA by měli občané za pořízení elektromobilu platit ekologickou daň až 5000 dolarů [103].

Orientace a sklon FV panelů

Správnou orientací FV instalací lze docílit lepšího sladění spotřeby a výroby. Např. u podniků, které mají směny od 6 do 14h lze doporučit orientaci FV panelu mezi východem a jihem, pro kancelářské budovy (pracovní doba cca 9-18h) od jihu po jihozápad a pro domácnosti, kdy spotřeba dosahuje svého maxima v podvečerních až večerních hodinách až západní orientaci. I přes nižší výrobu u čistě východních nebo západních orientací o 15-20% oproti optimální orientaci dojde k vyššímu využití výroby pro samospotřebu. Např. v Kalifornii je pro domácnosti dokonce možno získat bonus až 500 dolarů, pokud je FVE instalace umístěna na západ[104]. Další možností, jak lépe přizpůsobit výrobu spotřebě je zvýšit sklon FVE panelu, což sníží výrobu v letních měsících (i celkovou roční výrobu), ale zlepšuje výrobu elektřiny v zimních měsících až o 30%, kdy celková výroba většinou nepostačuje k pokrytí elektrických potřeb ani v slunných dnech. Lepších parametrů v českých podmínkách s výjimkou letních měsíců je dosaženo při sklonu okolo 55° místo obvyklých 30-35° a s jihozápadní orientací, která zlepšuje roční produkci o 5-7% oproti JV orientaci. V zimních měsících se však tento rozdíl navyšuje až na 30% [105].



Obr. 17 Výkonový profil AC fotovoltaického systému s východo-západní orientací a tenkovrstvými panely, Zdroj:[106]

Vliv OZE v decentralizaci výroby elektřiny

Pozitivem OZE je mimo jiné také vyšší počet decentralizovaných výroben elektřiny, které mohou působit v koncových bodech sítě, čímž dochází k uvolnění kapacity v páteřních přenosových soustavách, klesají ztráty při rozvodu elektřiny a dále se zlepšuje bezpečnost dodávek, kdy např. vlivem terorismu nemusí dojít k jejich úplnému přerušení při poškození páteřních sítí velmi vysokého napětí.

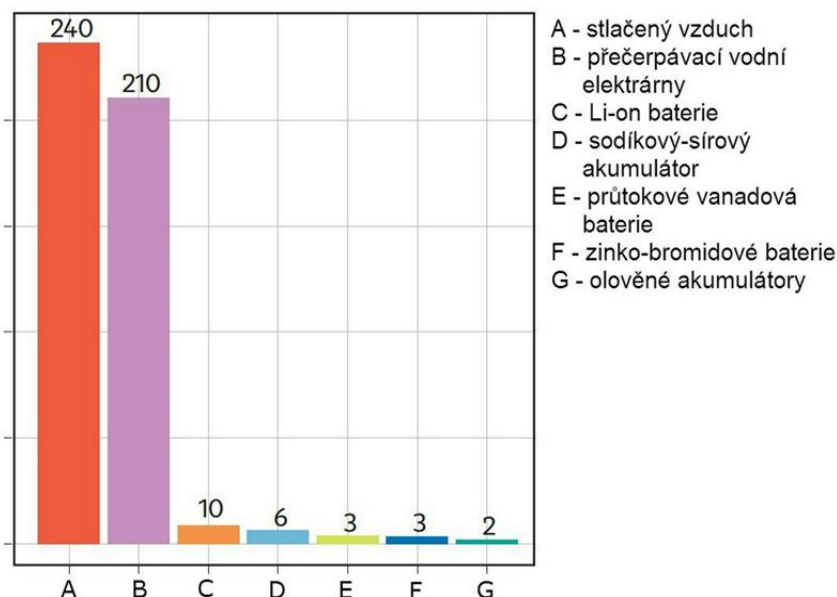
Aplikovatelnost postupů a technologií v širším měřítku

Mnohá řešení v oblasti výroby elektrické energie a obecně nových technologií jsou nezdědka prezentována jako široce použitelné postupy. Např. poukázat na soběstačnost v jedné obci neznámá možnost podobným způsobem postupovat v širším měřítku. Pokud je např. schopna vybraná vesnice získat dostatek elektřiny a tepla z energie vody, větru, biomasy a slunce, nemusí být možné získat podobné výsledky v celostátním měřítku. Např. ve městech a pro průmysl celkový obsah energie nemusí být dosažitelný v takové míře a čase, aby to umožnilo se v současnosti oprostit od konvenčních zdrojů energie. Pro větší názornost lze uvést tyto příklady: topení dřevem na úrovni domácnosti či obce neznámá dostatek dřevní hmoty pro užití tohoto postupu na celonárodní úrovni a nahrazení např. uhlí, výroba biopaliva pro místní použití nemusí stačit pro celonárodní potřeby a náhradu ropných produktů pro celou ČR. Stejně tak nahrazení fosilních paliv vodíkem naráží na problémy v oblasti skladování vodíku z důvodu jeho významných úniků do okolí z důvodu velmi malé velikosti molekul, které prochází molekulární mřížkou většiny materiálů, což limituje jeho dlouhodobější skladování. Např. dle společnosti BMW se do poloviny naplněná nádrž na vodík vyprázdnila za 9 dní [107]. Obecně se uvádí ztráty vodíku asi 3% za den. Dalším možným příkladem může být soběstačnost ve výrobě elektřiny za pomoci větru. Čistá výroba sice může překonávat spotřebu vybrané obce nebo regionu, nicméně pomíjí potřebu propojení sítě s okolím pro zajištění dodávek elektřiny a energií obecně. Dalším příkladem mo-

hou být baterie. V malém měřítku pro elektrická zařízení mají své využití, nicméně pro síťové použití jsou příliš drahé a trpí zmenšováním kapacity v průběhu času např. oproti PVE. Bohužel mnohé novinové články mají tendenci předkládat určitá řešení jako univerzálně uplatnitelná a upozadují problémy technologií, což v konečném důsledku vede k matení veřejnosti a nesprávným závěrům o realizovatelnosti.

Technologie stlačeného vzduchu

Jedna z perspektivních možností spočívá v ukládání stlačeného vzduchu (CAES-compressed air energy storage). Oproti jiným technologiím pouze pomocí kompresorů dochází k uložení vzduchu do opuštěných dolů a jiných podzemních prostor. Vzhledem k předpokládanému podzemnímu skladování by zmizel problém s ochranou přírody, s níž se alespoň v ČR potýkají PVE. Velmi dobře vychází také poměr ESOI (energy stored on investment) a překonává dokonce i PVE.



Obr. 18 ESOI index u vybraných druhů skladování energie, Zdroj: [108]

Výroba uhlovodíků

Geneticky vyvinutá bakterie *Ralston eutropha* absorbující vodík a CO_2 za přístupu slunečního záření umožňuje s 10x vyšší účinností oproti rostlinám vyrábět alkoholové palivo. Objev byl učiněn harvardským profesorem Danielem G. Nocerou. V reaktoru o objemu 1 litr může být zachyceno až 500 litrů CO_2 denně, přičemž na 1kWh energie je absorbováno asi 237 litrů CO_2 [109].

Lze si představit podobnou technologii např. u technologických provozů, nebo u kancelářských budov, kde FV články získají elektrickou energii, elektrolýzou vo-

dy se získá vodík a z rekuperační jednotky se do reaktoru přivede odpadní vzduch obsahující vyšší množství CO_2 než je běžně ve vzduchu.

Další alternativním způsobem by mohly být nanohroty složené z částecek uhlíku a měděných štípek, které jsou překryty vrstvou silikonu. Při průchodu proudem dochází k přitahování částic CO_2 ze vzduchu a oxid uhličitý reaguje za vzniku alkoholu [110].

Výroba alternativních uhlovodíkových paliv v sobě snoubí výhody konvenčních uhlovodíkových paliv, ale přitom přináší uhlíkovou neutralitu. Zachován je vysoký energetický obsah, „dobití“ nádrže tankovací pistolí zabere nejvýše pár minut oproti bateriím, nedochází ke zkracování kapacity jako u bateriových systémů, zachována je dobrá čerpatelnost a všestrannost paliva tak jako tomu je např. u diesel agregátů pro výrobu elektřiny a lze rozložit dobu výroby a dobu spotřeby energie. Přestože alternativní získávání uhlovodíků se může ukázat jako slepá ulička a zůstane pouze v laboratořích, pokrok v některých oblastech OZE, jako je např. fotovoltaika při porovnání ceny a účinnosti v 70. letech a dnes, nám dává šanci, že některé technologie se časem objeví i ve větším měřítku a pomohou naplnit cíle EU k roku 2030 a dekarbonizační cíl roku 2050.

11 Závěr

Dosažení 27% podílu obnovitelných zdrojů na hrubé spotřebě energie do roku 2030 je i pro ČR reálný. Nárůst výroby elektrické energie z OZE ve srovnání s rokem 2015 ve výši 9,4TWh na 19,2TWh znamená navýšení o 9,8TWh. Nyní ČR patří mezi 11 zemí EU, které splnily cíle k roku 2020 v oblasti OZE. Na další navýšení podílu zelené elektřiny máme více než 10 let. Ohlédneme-li se zpět v čase, pak od roku 2007 do roku 2015 se nám podařilo zvýšit výrobu z OZE z 3,4TWh na 9,4TWh, tj. asi o 6TWh. Poněkud nepříjemná dynamika rozvoje fotovoltaiky v letech 2009 až 2010 však ukazuje na schopnost alespoň u některých obnovitelných zdrojů rychle jejich podíl navýšit.

U vodní energie další výrazný nárůst výroby elektřiny již očekávat nemůžeme. Do roku 2030 lze očekávat nárůst výroby řádově v desetinách TWh a to spíše v oblasti malých vodních elektráren. Důvody spočívají zejména v přírodních podmínkách ČR, která je rozvodnicí Evropy a má málo dostatečně vodních toků. Navíc v posledních letech se zejména v letních měsících projevuje spíše nedostatek vody než její nadbytek. Pokud by byl enormní zájem maximalizovat výrobu z vodních elektráren, pak by v oblasti MVE do 10MW bylo možno navýšit výrobu o cca 0,35TWh s realizovatelností do roku 2030. V případě velkých vodních děl (výkon turbín nad 10MW) lze očekávat problémy např. z důvodu ochrany přírody, výkupu pozemků, vyvlastňování atd. a obtížně lze stanovit realizovatelný potenciál do roku 2030. Ve výkonové kategorii nad 10MW potenciál dosahuje cca 0,65TWh. Celkové navýšení výroby u vodních elektráren tedy může činit nejvýše **1TWh** ročně v průměrně vodném roce.

U větrných elektráren se současná míra využití nachází hluboko pod realizovatelným potenciálem. Příčiny však nehledejme v přírodních podmínkách nebo technologiích, ale v postoji úřadů, zejména na úrovni krajů. Přestože větrná energie patří k nejlevnějším obnovitelným zdrojům, její další rozvoj je limitován přístupem krajských samospráv i postojem veřejnosti obecně. V současnosti se roční výroba elektřiny ve větrných elektrárnách pohybuje okolo 0,5TWh, přičemž potenciál se odhaduje na přibližně **14,7TWh**. Současná instalovaná kapacita se též pohybuje pod hranicí, kdy by mohla způsobovat problémy v přenosové soustavě a její další rozvoj do roku 2030 by mohl zvýšit výrobu i na 5TWh.

Energie biomasy patří mezi velmi perspektivní zdroje na území ČR. Mezi pozitiva patří možnost uskladnit palivo a použít ho v době, kdy bude žádoucí přeměnit palivo na elektrickou energii. Oproti ostatním obnovitelným zdrojům s výjimkou geotermální poskytuje i tepelnou složku při výrobě elektřiny a lze ji využít i pro vytápění a ohřev teplé vody. Možnost vyrábět elektřinu v době potřeby ji posouvá do pozice obnovitelného zdroje, který pomáhá zvládat kolísání poptávky po elektřině v průběhu času. Její využití je však možno spatřovat i v oblasti dopravy. Celková roční výroba elektrické energie z biomasy dosahuje v ČR asi 4,7TWh, přičemž realizovatelný potenciál činí cca **30TWh**. Pokud by byl její potenciál plně využit, pak z hlediska primárních energetických zdrojů obsahuje asi 272PJ energie, dalších

73PJ zajišťuje biomasa v domácnostech již nyní. Souhrnně by umožňovala pokrýt asi 22% celkové spotřeby energie v ČR.

Potenciál fotovoltaické energie není omezen dostupným množstvím slunečního záření, ale je limitován možnostmi uložení elektrické energie a přenosovou soustavou. Teoreticky by plocha FV panelů o velikosti 350km² dovedla pokrýt celoroční spotřebu elektrické energie v ČR. Bohužel další úzké místo spočívá v kolísavosti a nerovnoměrnosti výroby v průběhu roku. V období od dubna do září vyrobí FV panely více než 70% z roční produkce. Zbývajících necelých 30% naopak připadá na zimní půlrok, kdy naopak poptávka po elektřině dosahuje svého maxima. K současné výrobě ve výši asi 2,2TWh lze přidat přibližně 7,3TWh. Instalace je však třeba provádět v koncových bodech sítí s vysokou mírou samospotřeby s ohledem na přenosovou soustavu. V podobném duchu je koncipována i Nová zelená úsporám, jež požaduje využití alespoň 70% výroby pro samospotřebu pro úspěšné přiznání dotace. Celkový potenciál dosahuje za současného stavu technologií asi **9,5TWh**.

Geotermální energie není v současnosti v ČR využívána. Nejdále je projekt geotermálního vrtu v Litoměřicích, nicméně i zde se upouští od výroby elektrické energie. Při současných nízkých cenách na trhu s elektřinou, nízké účinnosti přeměny tepelné energie na elektřinu mezi 10-15% (paroplynové dosahují až 60%) a negativním dopadem na životnost geotermálního vrtu (vyčerpávání tepla okolních hornin) se nejeví v českých podmínkách jako smysluplné při dosažitelných teplotách okolo 150-200°C stavět geotermální elektrárny. Navíc provozování zařízení s takovou mírou účinnosti jde i proti požadavkům EU snížit energetickou náročnost o 30% do roku 2030 ve srovnání s rokem 2007. Celkový potenciál v oblasti elektřiny můžeme tedy označit jako nulový, tj. **0TWh**. V případě teplárenského využití to však může být jiné.

Celkový realizovatelný potenciál obnovitelných zdrojů na území ČR do roku 2030 dosahuje asi **57,6TWh**, což je výrazně více než požadavky EU. Budoucí vlády České republiky tedy mají značný manévrovací prostor, jakým způsobem chtějí dále zvyšovat podíl OZE.

Vzhledem k nestabilitě OZE a omezeným možnostem skladování energie, by se však další vývoj v oblasti dekarbonizace nemusel ubírat pouze směrem k obnovitelným zdrojům, ale měl brát do úvahy i jadernou energetiku jako bezemisní stabilní zdroj. Podobným způsobem již směřují další země EU jako např. Slovensko, Maďarsko nebo Finsko. Důležitá však bude i zvolená forma investiční podpory pro dosažení rozumných nákladů za nový jaderný zdroj. Např. pro jadernou elektrárnu Hinkley Point ve Velké Británii se počítá s výkupní cenou okolo 110EUR/MWh, zatímco maďarský Paks bude schopen dodávat energii do sítě s přibližně polovičními náklady. Dalším aspektem, který znevýhodňuje ČR je vysoká energetická náročnost tuzemského hospodářství, což souvisí s nejvyšším podílem průmyslu na HDP v EU okolo 38% a vysokou energetickou náročností některých odvětví a mělo by to být zohledněno při jednání o cílech pro rok 2030 v rámci EU. Dalším důvodem proč ČR dosahuje vysokých emisí skleníkových plynů a vysoké energetické náročnosti obecně můžeme hledat v exportu elektrické energie. ČR

patří společně s Francií, Německem, Švédskem a Norskem k největším čistým výrozcům elektřiny v Evropě. Pokud by došlo k ukončení spalování hnědého uhlí pro výrobu elektřiny na export, pak by mohla spotřeba PEZ klesnout až o 175PJ a snížení energetické náročnosti by dosáhlo asi 10%, což by nejspíš mírně zahýbalo s cenou elektřiny i v Evropě. V České republice by ukončení vývozu elektřiny vedlo k poklesu spotřeby hnědého uhlí asi o 37%, což je bezpochyby zajímavý poznatek směrem k nedávné diskuzi o potřebě prolamovat uhelné limity na severu Čech a případném posílení jaderných zdrojů. Pro zajímavost, při úplném ukončení těžby hnědého i černého uhlí v ČR by potřebnou energii dokázaly zastat nové jaderné bloky o výkonu 6370MW. Z několika důvodů podobný scénář není reálný, nicméně prostor pro omezení využívání uhlí zde nepochybně existuje. Současná těžba hnědého i černého uhlí by mohla klesnout o 80% a stále by zbývalo dost uhlí pro pokrytí současné spotřeby domácností i tepláren.

Jedna z možností, jak lépe zapojit OZE, jádro a omezit např. uhlí je i energetická unie, která v oblasti trhu s elektřinou požaduje navýšení přepravní kapacity mezi členskými zeměmi, což umožní intenzivnější výměnu přebytků elektřiny a lépe absorbuje kolísavost OZE rozložením mezi více zemí.

Další návrh EU snižovat spotřebu energie o 30% do roku 2030 lze přijímat s určitými rozpaky. Jestliže se podíl EU28 na globálních emisích skleníkových plynů snížil od roku 1990 o polovinu a dnes již nedosahuje ani 10%, další snižování emisí již může ohrožovat konkurenceschopnost EU. Jednak existuje bezuhlíková alternativa ve formě jádra nebo OZE a vynaložené prostředky nebo sdílení technologií by mohly mít větší dopad v rozvojových zemích než v EU. Např. ČR by zvýšení úspor o 30% místo 27% v porovnání s rokem 2007 do roku 2030 stálo navíc až 650 miliard korun. Proti návrhu snížit emise skleníkových plynů do roku 2030 o 40% nelze nic zásadního namítat, nicméně např. Energiewende v Německu pokles emisí zcela zastavilo a dokonce emise mírně vzrostly z důvodu odstavení jaderných bloků.

Průlom v oblasti využívání OZE by nastal v případě lepšího skladování energie, nicméně např. bateriové systémy jsou příliš drahé s nízkým koeficientem ESOEI a vývoj by se měl spíše ubírat jiným směrem. Teoreticky by mohl být použit vodík, nicméně díky velmi malým molekulám rychle uniká z nádrží a v řádu dnů až týdnů jsou zásobníky prázdné a o sezónním skladování ukládáním energetických přebytků v letním období pro zimní měsíce v době vyšší spotřeby nemůže být řeč.

Pro ČR nejenom do roku 2030, ale všeobecně, lze v oblasti elektroenergetiky považovat za perspektivní biomasu, v případě lepšího skladování energie i elektřinu ze slunce a do jisté míry i větrnou energii. Naopak vodní energie již svůj potenciál prakticky vyčerpala a pro geotermální to platí v oblasti elektřiny také.

12 Literatura

[1] KASÍK, Pavel. Oheň přinesl lidem svobodu, počátky ale byly únavné i výbušné. *IDNES* [online]. 9.2.2008 [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/ohen-prinesl-lidem-svobodu-pocatky-ale-byly-unavne-i-vybusne-p5m-/tec_technika.aspx?c=A080208_002642_tec_technika_pka.LP

[2] Sailing. *Wikipedia* [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Sailing>

[3] KOLO, KOLO MLÝNSKÉ . . . ČEZ [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/04/kolo_1.html

[4] Water wheel. *Wikipedia* [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Water_wheel#History

[5] Výskyt ropy ve starověku. *Petroleum* [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/ropa/vyskyt-ropy-starovek.aspx>

[6] BOUŠKA, Jan. Poznámky k historii výroby elektřiny v českých zemích [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: http://www.spvez.cz/pages/history/history_01.htm#h01

[7] Z historie využívání energie větru v českých zemích. *Česká společnost pro větrnou energii* [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/clanky/z-historie-vyuzivani-energie-vetru-v-ceskych-zemich/36>

[8] Zaniklý větrný mlýn ve Vážanech u Vyškova. [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: <http://www.dvanakole.cz/index.php?page=mlyn-vazany>

[9] *Stručná historie elektřiny* [online]. [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://remeslnici.profiweb.cz/historie-vzniku-elektriny/>

[10] PRVNÍ ELEKTRÁRNÝ [online]. [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=5.5.2

[11] TŮMA, Jan. *1882 První veřejná parní elektrárna* [online]. [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://vtm.e15.cz/clanek/1882-prvni-verejna-parni-elektrarna>

[12] Válka proudů. *Wikipedia* [online]. [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1lka_proud%C5%AF

[13] *NIAGARA FALLS: HISTORY of POWER* [online]. [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://www.niagarafontier.com/power.html>

[14] Hydropower Program: The History of Hydropower Development in the United States. *United States Bureau of Reclamation* [online]. [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: <https://www.usbr.gov/power/edu/history.html>

[15] Žárovka. *ArtliteStudio* [online]. [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://www.artlite.cz/novinky-zarovka-detail-82>

[16] ŽIDKOVÁ, Klára. Edison? Přijel, aby si prohlédl vlastní dílo. *Brněnský deník* [online]. 12.9.2011. [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: http://brnensky.denik.cz/zpravy_region/edison-prijel-aby-si-prohledl-vlastni-dilo20110912.html

[17] Křížíkova elektrárna v Jindřichově Hradci. *Kudy z nudy - Czechtourism* [online]. [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://www.kudyznudy.cz/Cestovani-po-CR/Ceska-nej/Krizikova-elektrarna.aspx>

[18] Městská elektrárna v Písku [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/M%C4%9Bstsk%C3%A1_elektr%C3%A1rna_v_P%C3%ADsku

[19] První veřejná elektrárna v českých zemích v provozu [online]. 1.12.2009 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/ct24/archiv/1370073-prvni-verejna-elektrarna-v-ceskych-zemich-v-provozu>

[20] Elektrárna města Žižkova [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.hornictvi.info/techpam/elziz/elziz.htm>

[21] Ústřední elektrická stanice královského hlavního města Prahy [online]. [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <http://www.hornictvi.info/techpam/elhol/elhol.htm>

[22] Zaniklé elektrárny v Česku. *Wikiwand* [online]. [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: http://www.wikiwand.com/cs/Zanikl%C3%A9_elektr%C3%A1rny_v_%C4%8Cesku

[23] Významná data: Významná data z historie české elektroenergetiky. ČEZ [online]. [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyzkum-a-vzdelavani/pro-zajemce-o-informace/historie-a-soucasnost/vyznamna-data.html>

[24] STRAKOŠ, Martin. Historie Ervěnické elektrárny [online]. 31.1.2011 [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <http://litvinov.sator.eu/kategorie/zanikle-obce/ervenice/historie-ervenicke-elektrarny>

[25] Ervěnice. Wikipedia [online]. [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Erv%C4%9Bnice>

[26] Statistiky - energetika: Dlouhodobý vývoj spotřeby elektřiny v ČR (1919 - 2013). ČEZ [online]. [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/pro-media/statistiky-energetika-cr.xls>

[27]GALETKA, Martin. Vznik a vývoj přenosové soustavy elektrické energie. TZB info [online]. 4.1.2016. [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/13645-vznik-a-vyvoj-prenosove-soustavy-elektricke-energie>

[28]ČEZ má v Ledvicích problém se struskou. IUHLI [online]. 13.8.2016. [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: <http://iuhli.cz/cez-ma-v-ledvicich-problem-se-struskou/>

[29] ČEZ dokončil obnovu uhelných elektráren. IUHLI [online]. 9.11.2016. [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: <https://iuhli.cz/cez-dokoncil-obnovu-uhelnych-elektraren/>

[30] ZAPLETAL, Miloš. HISTORICKÝ VÝVOJ ATMOSFÉRICKÉ DEPOZICE SÍRY A DUSÍKU V ČESKÉ REPUBLICE [online]. SLEZSKÁ UNIVERZITA OPAVA. 2014. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.slu.cz/slu/cz/projekty/webs/historizace/vystupy-2/publikace/Zapletal%20Milos%20-%20Historicky%20vyvoj%20atmosfericke%20depozice%20-%20OBSAH.pdf>

[31] MACOUN, Jiří. *Atomový věk začal přesně před 70 roky. Reaktorem ze dřeva* [online]. 2.12.2012 [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/fermi-a-prvni-jaderny-reaktor-d21-/veda.aspx?c=A121130_170709_veda_mla

[32] Chicago Pile-1. Wikipedia [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Chicago_Pile-1

[33] Jaderná energie. *Wikipedia* [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Jadern%C3%A1_energie

[34] Historie a předchůdci SÚJB [online]. STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/o-sujb/15-let-sujb/historie-a-predchudci-sujb/>

[35] JANKŮ, Josef. K prvnímu reaktoru se přistupovalo jako k „uhelce“, říká pamětník [online]. IDNES. 21.2.2017. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/nehoda-na-jaderne-elektrarne-a1-dee-tec_tecnika.aspx?c=A170220_124525_tec_tecnika_mla

[36] AE BOHUNICE. Slovenské elektrárne [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <https://www.seas.sk/ae-bohunice-v2>

[37] BŘEŠŤAN, Robert. *Jaderný expert František Hezoučský: Dva jaderné bloky se dají postavit za 250 miliard* [online]. 2.11.2016. [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://hlidacipes.org/jaderny-expert-frantisek-hezoucky-dva-jaderne-bloky-za-250-miliard/>

[38] OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE: a možnosti jejich uplatnění v České republice. *ČEZ* [online]. 2007 [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/energie-a-zivotni-prostredi/oze-cr-all-17-01-obalka-in.pdf>

[39] Vývoj výkupních cen větrné energie a ostatních obnovitelných zdrojů. *Česká společnost pro větrnou energii* [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/clanky/vyvoj-vykupnich-cen-vetrne-energie-a-ostatnich-obnovitelných-zdroju/278>

[40] Aktuální instalace: Funkční větrné elektrárny - instalovaný výkon a výroba v jednotlivých letech. *Česká společnost pro větrnou energii* [online]. [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/clanky/aktualni-instalace-vte-cr/120>

[41] Poskytnutá podpora 2013-2015. Operátor trhu s elektřinou [online]. [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <http://www.ote-cr.cz/statistika/statistika-poze/poskytnuta-podpora-2013-2015>

[42] BECHNÍK, Bronislav. Obnovitelná energie a úspory energie / Fotovoltaika / Byly výkupní ceny elektřiny z fotovoltaiky stanoveny přiměřeně?: Aneb po bitvě je každý generál. *TZB info* [online]. 25.3.2013. [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/9698-byly-vykupni-ceny-elektriny-z-fotovoltaiky-stanoveny-primerene>

[43]Roční zpráva o provozu ES ČR 2014. Energetický regulační úřad [online]. [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2014.pdf/933fc41a-ad79-4282-8d0f-01eb25a63812

[44]Roční zpráva o provozu ES ČR 2015. Energetický regulační úřad [online]. [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2015.pdf/3769f65b-3789-4e93-be00-f84416e1ca03

[45], Starosta si zaplavil ve vodě z geotermálního vrtu [online]. 16.11.2007. [cit. 2017-04-1]. Dostupné z: http://litomericky.denik.cz/zpravy_region/20071116vrt.html

[46] Špičky mezinárodního výzkumu budou jednat v Litoměřicích. Litoměřice, Geotermální energie [online]. 14.3.2016. [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: <https://prvnigeotermalni.cz/cz/aktualne/spicky-mezinarodniho-vyzkumu-budou-jednat-v-litomerich-prijde-s-nimi-diskutovat-o-vyuzivani-zemskeho-tepla-ve-svete-a>

[47] BROŽ, Jan. PŘEHLEDNĚ: Příčiny problémů ČEZ a jak je chce gigant vyřešit. IDNES [online]. 10.8.2016. [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: http://ekonomika.idnes.cz/mizerna-kontrola-svaru-prijde-cez-draho-f06-ekoakcie.aspx?c=A160810_2265242_ekoakcie_fih

[48a]KARAFIÁT et al., Jan. SBORNÍK TECHNICKÝCH ŘEŠENÍ ZDROJŮ S KOMBINOVANOU VÝROBOU ELEKTŘINY A TEPLA. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. 2006 [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/15.pdf>

[48b]Vývoj primárních a obnovitelných energetických zdrojů v letech 1990-2015. Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. 23.8.2016. 2006 [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/54201/64299/658425/priloha001.pdf>

[49]OLIVIER ET AL, Jos G.J. TRENDS IN GLOBAL CO2 EMISSIONS: 2015 Report [online]. Netherlands Environmental Assessment Agency, 2015 [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: http://edgar.jrc.ec.europa.eu/news_docs/jrc-2015-trends-in-global-co2-emissions-2015-report-98184.pdf

[50] Klimatická dohoda z Paříže. EurActiv [online]. 30.11.2015. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://euractiv.cz/factsheet/klima-a-zivotni-prostredi/klimaticka-konference-v-parizi-2015-cop21-000137/>

[51] KEREBEL, Cécile a Dagmara STOERRING. Energie z obnovitelných zdrojů. Evropský parlament [online]. 12/2016. [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/cs/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.7.4.html

[52] Komise zavádí systém certifikace udržitelných biopaliv. European Commission [online]. [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-10-711_cs.htm

[53] BUDÍN, Jan. 11 členských států EU již dosáhlo národního cíle podílu OZE pro rok 2020. O ENERGETICE [online]. 16.3.2017. [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/11-clenskych-statu-eu-jiz-dosahlo-narodniho-cile-podilu-oze-rok-2020/>

[54] Energy from renewable sources. Eurostat [online]. 16.3.2017. [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_from_renewable_sources

[55] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2009/28/ES. Evropský parlament [online]. 23.4.2009. [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=EN>

[56] DENKOVÁ, Adéla. Vyšší cíl pro energetickou účinnost se Unii podle Komise vyplatí víc. *EurActiv* [online]. 29.11.2016. [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/cs/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.7.4.html

[57] ZELENÁ KNIHA: Rámec politiky pro klima a energetiku do roku 2030. European Commission [online]. 27.3.2013. [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: [http://www.europarl.europa.eu/RegistreWeb/search/simple.htm?reference=COM_COM\(2013\)0169](http://www.europarl.europa.eu/RegistreWeb/search/simple.htm?reference=COM_COM(2013)0169)

[58] Commission proposes new rules for consumer centred clean energy transition. European Commission [online]. 30.11.2016. [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/energy/en/news/commission-proposes-new-rules-consumer-centred-clean-energy-transition>

[59] DENKOVÁ, Adéla. Maciej Burny: Představa Komise o novém trhu s elektřinou je mírně utopická. *EurActiv* [online]. 14.12.2016. [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://euractiv.cz/rozhovory/energetika/maciej-burny-predstava-komise-o-novem-trhu-s-elektřinou-je-mirne-utopicka/>

[60] DENKOVÁ, Adéla. Zimní balíček k energetické unii: čistá energie pro všechny Evropany. *EurActiv* [online]. 20.3.2017. [cit. 2017-04-07]. Dostupné z: <http://euractiv.cz/factsheet/energetika/zimni-balicek-k-energeticke-unii-cista->

energie-pro-vsechny-evropany/

[61] Plán přechodu na konkurenceschopné nízkouhlíkové hospodářství do roku 2050. EUR-Lex [online]. 8.3.2011. [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0112&from=CS>

[62] BALÍČEK OPATŘENÍ K ENERGETICKÉ UNII: Dosažení cíle 10% propojení elektrických sítí. European Commission [online]. 25.2.2015. [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:a5bfdc21-bdd7-11e4-bbe1-01aa75ed71a1.0013.03/DOC_1&format=PDF

[63] DENKOVÁ, Adéla. Zimní energetický balíček: ČR a Slovensku záleží na jádru, Maďarsku na regulovaných cenách. EurActiv [online]. 6.12.2016. [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: <http://euractiv.cz/clanky/energetika/zimni-energeticky-balicek-cr-a-slovensku-zalezi-na-jadru-madarsku-na-regulovanych-cenach/>

[64] LUKÁŠ, Jaroslav. Roční zpráva o provozu ES ČR 2010. *Energetický regulační úřad* [online]. 2011 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2010.pdf/e33fe1d5-b15c-4a0e-bcc8-08cfaf3252ae

[65] VOPRAVIL, Jan a Tomáš KHEL. Stav půdy ČR a její vliv na retenci vody [online]. VÝZKUMNÝ ÚSTAV MELIORACÍ A OCHRANY PŮDY. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: http://www.cuzk.cz/O-resortu/Nemoforum/Akce-Nemofora/Seminare/BPEJ-a-pozemkove-upravy/01122016_BPEJ_Vopravil_Khel.aspx

[66] HRMADA, Adam. 20 nejvýkonnějších vodních elektráren v ČR [online]. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://www.tv-adams.wz.cz/vykon.html>

[67] Seznam vodních elektráren v Česku [online]. WIKIPEDIA. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam_vodn%C3%ADch_elektr%C3%A1ren_v_%C4%8Cesku#cite_note-rop11-1_top_20_roku_2010

[68] Hydroenergetika (malé vodní elektrárny) [online]. UNIVERZITA KARLOVA. [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: <https://web.natur.cuni.cz/sbv/soubory/t/hydra.pdf>

[69] HANSLIAN, David, Jiří HOŠEK a Josef ŠTEKL. ODHAD REALIZOVATELNÉHO POTENCIÁLU VĚTRNÉ ENERGIE NA ÚZEMÍ ČR. Ústav fyziky atmosféry AV ČR [online]. Praha, 2008 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: http://www.ufa.cas.cz/files/OMET/potencial_ufa.pdf

[70] HANSLIAN ET AL, Určení technického potenciálu větrné energie na území České republiky. Výzkumná zpráva. Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha, 2007 [cit. 2017-04-14]

[71] JAKUBES, Jaroslav, Helena BELLINGOVÁ a Michal ŠVÁB. MODERNÍ VYUŽITÍ BIOMASY: TECHNOLOGICKÉ A LOGISTICKÉ MOŽNOSTI. Česká energetická agentura [online]. 2006 [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/02.pdf>

[72] STUPAVSKÝ, Vladimír, ed. Zpracování lesních těžebních zbytků [online]. CZ BIOM, MPO EFEKT. 2009 [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Prirucka_zpracovani_lesnich_zbytku.pdf

[73] Těžba dřeva v ČR loni vzrostla na 16,2 milionu kubíků [online]. SILVARIUM. 12.6.2016. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://www.silvarium.cz/lesnictvi/tezba-dreva-v-cr-loni-vzrostla-na-16-2-milionu-kubiku>

[74] PODÍL KULATINOVÝCH SORTIMENTŮ NA DODÁVKÁCH DŘÍVÍ ROSTE [online]. ÚSTAV PRO HOSPODÁŘSKOU ÚPRAVU LESŮ. 30.9.2016. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://www.silvarium.cz/lesnictvi/tezba-dreva-v-cr-loni-vzrostla-na-16-2-milionu-kubiku>

[75] Bilance půdy - územní srovnání. Český statistický úřad [online]. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/index.jsf?page=vystup-objekt&pvo=ZPR16&z=T&f=TABULKA&katalog=30842&evo=v451!_VUZEMI97-100mv_1&c=v3~2_RP2016MP12DP31

[76] Vývoj stavů hospodářských zvířat v letech 1987 až 2016. Český statistický úřad [online]. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/36741279/2701421601.pdf/6297f435-e95a-44fc-9daa-bea4bfcd5afd?version=1.0>

[77] ABRHAM, Zdeněk, David ANDERT a Milan HEROUT. ENERGETICKÉ VYUŽITÍ ZEMĚDĚLSKÉ BIOMASY. Výzkumný ústav zemědělské techniky [online]. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://www.vuzt.cz/svt/vuzt/publ/P2015/060.pdf>

[78] ROD, Aleš. ČR a vývoj pozemků v čase – ubývá orné půdy, přibývá lesů, rybníků i zastavěných ploch, boom zažívají vinice [online]. 9.10.2015. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://www.malostranskadrbna.cz/zivot-a-styl/spolecnost/1351-cr-a-vyvoj-pozemku-v-case-ubyva-orne-pudy-pribyva-lesu-rybniku-i-zastavenych-ploch-boom-zazivaji-vinice.html>

[79] Pěstování kukuřice na výrobu bioplynu. Mendelova univerzita v Brně [online]. 16.9.2013. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <https://is.mendelu.cz/ds/slozka.pl?id=70116;download=123657>. Str. 55.

[80] BECHNÍK, Bronislav. Příprava teplé vody – fotovoltaika nebo solární tepelné kolektory? *TZB info* [online]. 14.10.2013. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/10453-priprava-teple-vody-fotovoltaika-nebo-solarni-tepelne-kolektory>

[81] Solar resource maps for Czech Republic. Solargis [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/download/czech-republic>

[82] MOLEK, Tomáš. Rekord Panasonicu v účinnosti solárních článků překonán. *OENERGETICE* [online]. 24.3.2017. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/rekord-panasonicu-ucinnosti-seriove-vyrabenyh-panelu-prekonan/>

[83] MATUŠKA, Tomáš. Zjednodušený bilanční výpočet ročních přínosů fotovoltaických instalací. *TZB info* [online]. 7.3.2016. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13878-zjednoduseny-bilancni-vypocet-rocnich-prinosu-fotovoltaickych-instalaci>

[84] BECHNÍK, Bronislav. Recyklace fotovoltaických panelů na konci životnosti. *TZB info* [online]. 26.9.2011. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/7868-recyklace-fotovoltaickych-panelu-na-konci-zivotnosti>

[85] Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory z podprogramu Nová zelená úsporám: RODINNÉ DOMY. Nová zelená úsporám [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: http://www.novazelenausporam.cz/file/818/nzu_zavazne-pokyny-pro-zadatele-rd-3-vyzva_11-2016.pdf

[86] Česká solární energetika pomalu ožívá - potenciál výroby energie ze slunce je u nás ale mnohem větší. Solární asociace [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/15564-ceska-solarni-energetika-pomalou-oziva-potencial-vyroby-energie-ze-slunce-je-u-nas-ale-mnohem-vetsi>

[87a] VOBOŘIL, David. Geotermální energie. *OENERGETICE* [online]. 13.5.2015. [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/geotermalni-energie/>

[87b] VOBOŘIL, David. Geotermální energie v ČR. *OENERGETICE* [online]. 27.5.2015. [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: Geotermální energie v ČR Více na:

<http://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/geothermalni-energie-v-cr/>

[88]BLAŽKOVÁ, Miroslava. Metodika k hodnocení geotermálního potenciálu v modelovém území Podkrušnohoří. *První geotermální* [online]. 2010. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: https://prvnigeothermalni.cz/upload/4084e9a33cc28c0fe8e25501a8bcbc01/metodik_a_ujep_4.pdf

[89]Jaký projekt připravují Litoměřice? *První geotermální* [online]. 29.11.2013. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <https://prvnigeothermalni.cz/cz/otazky-a-odpovedi/jaky-je-hlavni-cil-projektu-a-jak-pomuze-lidem-v-litomerich>

[90]TRDLA, Martin. ČEZ stopl výstavbu geotermální elektrárny v Liberci, byla by drahá. IDNES [online]. 12.2.2011. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: http://liberec.idnes.cz/cez-stopl-vystavbu-geothermalni-elektrarny-v-liberci-byla-by-draha-1cr-/liberec-zpravy.aspx?c=A110210_135455_liberec-zpravy_alh

[91]GLOBAL WIND STATISTICS [online]. GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. 10.2.2017. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC_PRstats2016_EN_WEB.pdf

[92]MORAVEC, Jan. Nejvýkonnější solární elektrárna světa ožívá, první část je již zprovozněna. OENERGETICE [online]. 5.2.2016. [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/nejvykonnejsi-solarni-elektrarna-sveta-oziva-pvni-cast-je-jiz-zprovoznena/>

[93] WAGNER, Vladimír. Vítr nefoukal, Němci přitopili. Co nám zima říká o energetické revoluci. IDNES [online]. 6.2.2017. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/vitr-nefoukal-nemci-pritopili-co-nam-zima-rika-o-energeticke-revoluci-12h-/tec_technika.aspx?c=A170202_140455_tec_technika_mla

[94] Energy price statistics. Eurostat [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_price_statistics

[95] Natural gas prices in the United States and Europe from 1980 to 2030 (in U.S. dollars per million British thermal units). Statista [online]. 7/2016. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/252791/natural-gas-prices/>

[96] Average U.S. retail prices of electricity between 1998 and 2016, by sector (in cents per kilowatt hour). Statista [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/200197/average-retail-price-of-electricity-in-the-us-by-sector-since-1998/>

[97] VOBOŘIL, David. Power to Gas – budoucnost akumulace elektřiny? OENERGETICE [online]. 24.6.2015. [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/akumulace-energie/power-to-gas-budoucnost-akumulace-elektriny/>

[98] VOBOŘIL, David. Paroplynové elektrárny v ČR. OENERGETICE [online]. 27.4.2015. [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/paroplynove-elektrarny-v-cr/>

[99] Dodávka tepla ze zdrojů SZTE. Teplárny Brno [online]. [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.teplarny.cz/provozy>

[100] Plyn do Evropy – kolik, od koho, kudy? Energie info [online]. 27.3.2017. [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <https://www.energieinfo.cz/2017/03/plyn-do-evropy-kolik-od-koho-kudy/>

[101] VOBOŘIL, David. Audi začalo vyrábět ekologickou naftu z CO₂ a vody. OENERGETICE [online]. 4.5.2015. [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/audi-zacalo-vyrabet-ekologickou-naftu-z-co2-a-vody/>

[102] Spotřeba nafty i benzínu loni v Česku vzrostla. K čerpacím stanicím lákaly i nízké ceny. Česká televize [online]. 6.3.2017. [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/ct24/ekonomika/2050372-spotreba-nafty-i-benzinu-loni-v-cesku-vzrostla-k-cerpacim-stanicim-lakaly-i-nizke>

[103] HOLLAND ET AL, Stephen P. Are There Environmental Benefits from Driving Electric Vehicles? The Importance of Local Factors [online]. 16.5.2016. [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: https://www.dartmouth.edu/~mansur/papers/Holland_Mansur_Muller_Yates_ElecCarSubsidy.pdf

[104] WALD, Matthew L. Why More Solar Panels Should Be Facing West, Not South. The New York Times [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: https://www.nytimes.com/2014/12/02/upshot/why-more-solar-panels-should-be-pointing-west-not-south.html?_r=0

[105] Vliv sklonu a orientace. Ekowatt [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://fotovoltaika.ekowatt.cz/vliv-sklonu-orientace.php>

[106] STAUDACHER, Dietmar. Fotovoltaické systémy s východo-západní orientací a pouze jedním střídačem. TZB info [online]. 18.3.2013. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/9667-fotovoltaiicke-systemy-s-vychodo-zapadni-orientaci-a-pouze-jednim-stridacem>

[107] POLNICKÝ, Václav. VODÍK JAKO PALIVO PRO SPALOVACÍ MOTORY. VUT Brno [online]. 2010. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=28849

[108] LÁZŇOVSKÝ, Matouš. Kam se solární elektřinou? Do stlačeného vzduchu nebo na kopec. IDNES [online]. 23.8.2013. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/skladovani-energie-pro-sitove-sluzby-d8p-/veda.aspx?c=A130822_141253_veda_mla

[109] VOBOŘIL, David. Geneticky vyvinutá bakterie pohlcuje CO₂ a produkuje alkoholové palivo. OENERGETICE [online]. 31.5.2016. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/geneticky-vyvinuta-bakterie-pohlucuje-co2-a-produkuje-alkoholove-palivo/>

[110] Vědci omylem obrátili spalovací proces. CO₂ přeměnili na alkohol. Echo24 [online]. 23.10.2016. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://echo24.cz/a/iEm8n/vedci-omylem-obratili-spalovaci-proces-co2-premenili-na-alkohol>

[111] Vodní elektrárny (instal. výkon do 10 MWe), stav k 31.12.2016. Energetický regulační úřad [online]. [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/463106/VE_16_12.pdf/3b79f4cd-12a0-43f5-803c-32093e25f668

[112] KORNIAK, Daniel. POTENCIÁL VODNÍ ENERGETIKY V ČR - NÁVRH MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY. VUT Brno [online]. [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29788

[113] LAIKA, Viktor. Abeceda malých vodních pohonů [online]. [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz> Olbramice na Olomoucku.

[114] METODICKÝ POKYN odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí ke stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích. Ministerstvo životního prostředí [online]. [cit. 2017-04-12]. Dostupné z:

[http://www.mzp.cz/web/edice.nsf/B978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/\\$file/metod.html](http://www.mzp.cz/web/edice.nsf/B978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/$file/metod.html)

[115] Sanační průtok. Wikipedia [online]. [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Sana%C4%8Dn%C3%AD_pr%C5%Aftok

[116] Dvoukomorová průtoková turbína. CINK hydro energy [online]. [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: <http://cink-hydro-energy.com/cs/dvoukomorova-prutokova-turbina/>

[117] Konstrukterům turbín se v Brně daří. Česká televize [online]. 24.11.2011. [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/zpravodajstvi-brno/zpravy/154394-konstrukterum-turbin-se-v-brne-dari/>

[118] Vírová turbína Františka Pochylého. Wikipedia [online]. [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%ADrov%C3%A1_turb%C3%ADna_Franti%C5%A1ka_Pochyl%C3%A9ho

[119] Vírová elektrárna. Wikipedia [online]. [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%ADrov%C3%A1_elektr%C3%A1rna

[120] Nemůže to fungovat, říkali vynálezci Sedláčkovi o jeho turbíně. Česká televize [online]. 30.4.2016. [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/ct24/domaci/1770268-nemuze-fungovat-rikali-vynalezci-sedlackovi-o-jeho-turbine>

[121] Turbína Setur. MECHANIKA Králův Dvůr [online]. 30.4.2016. [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: <http://www.mechanikakd.cz/>

[122] Velikost větrné elektrárny a její vývoj. Česká společnost pro větrnou energii [online]. [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/clanky/velikost-vetrne-elektrarny-a-jeji-vyvoj/110>

[123] Assessing the Effect of Gear Ratio and Blade Angle on Wind Turbine Efficiency [online]. [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/energygroupweb/labs/lab02>

[124] ŠPIČÁK, Jiří. Větrná elektrárna vše o „Ní“ a kolem „Ní“ [online]. 27.1.2011. Hradec Králové [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: <http://www.stredniskola.cz/ekoweb/alba/2010-11/zel-m-hk11/Spicak-VtE.pdf>

[125] Mapa všeobecných větrných podmínek či výroby energie malou větrnou elektrárnou ve výšce 10 m nad povrchem. *Ústav fyziky atmosféry* [online]. [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://vitr.ufa.cas.cz/male-vte/>

[126] Mapa větru ve výšce 100 m. *Ústav fyziky atmosféry* [online]. [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://www.ufa.cas.cz/struktura-ustavu/oddeleni-meteorologie/projekty-egp/vetrna-energie/vetrne-mapy.html>

[127] ŠKORPÍK, Jiří. 4. Využití energie větru. VUT Brno [online]. [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/04.html#menu>

[128] VOKÁČ, Martin. Vedení kraje Vysočina nechce další větrné elektrárny, žádosti ztěžuje. *IDNES* [online]. 14.6.2014. [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: http://jihlava.idnes.cz/zakaz-vetrnych-elektraren-na-vysocine-dhs-/jihlava-zpravy.aspx?c=A140614_172942_jihlava-zpravy_kol

[129] KOLÁŘ, Michal. Jak jsem stavěl větrnou elektrárnu – příběh úřednické zvěle. *Ekologické bydlení* [online]. 22.9.2011. [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://www.ekobydleni.eu/vetrna-energie/jak-jsem-stavel-vetrnou-elektrarnu-pribeh-urednicke-zvule>

[130] Od myšlenky k výstavbě a provozu větrné elektrárny. Česká společnost pro větrnou energii [online]. [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/img/wysiwyg/file/CSVE-brozura-v08-preview-timeline.pdf>

[131] PŘÍKRYL, Jiří. Jak se budují větrné elektrárny v České republice? Alternativní energie. Czech renewable Energy agency [online]. [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/vetrna-energie/ve-v-cr>

[132] STUDENÍK, Jiří a Michal SVITAVSKÝ. Legislativa výstavby větrných elektráren [online]. 2016 [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/90/06.html>. ISBN 978-80-88058-08-3

[133] MACHOLDA, F. a K. SRDEČNÝ. INTERNETOVÁ PORADNA I-EKIS - ODPověď. MPO efekt [online]. 24.5.2016. [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/cz/ekis/i-ekis/69231>

[134] MOLEK, Tomáš. Pyrolýza – princip, historie a současnost. OENERGETICE [online]. 21.2.2017. [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/pyrolyza-princip-historie-a-soucasnost/>

[135] KÁRA, Jaroslav, Zdeněk PASTOREK a Evžen PŘIBYL. Výroba a využití bioplynu v zemědělství. Výzkumný ústav zemědělské techniky [online]. Listopad 2007. Praha [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://www.vuzt.cz/svt/vuzt/publ/P2007/086.PDF>

[136] Technologie bioplynových stanic [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://www.bioplynovestanice.cz/technologie-bps/>

[137] KRŤŽ, Maxmilián. Využití biomasy [online]. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2919433/>

[138] NOVOTNÝ, Petr. Historie a perspektivy OZE - bioplyn. TZBinfo [online]. 4.5.2009. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/biomasa/5610-historie-a-perspektivy-oze-bioplyn>

[139] PETŘÍKOVÁ, Vlasta: Současné uplatnění energie z fytomasy - z Rumexu OK 2. Biom.cz [online]. 2012-10-29 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/soucasne-uplatneni-energie-z-fytomasy-z-rumexu-ok-2>>. ISSN: 1801-2655.

[140] PETŘÍKOVÁ, Vlasta: Jak krmný šťovík odolává suchu. Biom.cz [online]. 2015-12-18 [cit. 2017-04-22]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/jak-krmny-stovik-odolava-suchu>>. ISSN: 1801-2655.

[141] MOUDRÝ, Jan. 4.3. Energetické byliny. Jihočeská univerzita [online]. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/skripta/4/energeticke_byliny.html

[142] Topolovka růžová [online]. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <https://us.123rf.com/450wm/jakgree/jakgree1403/jakgree140300077/26684552-field-of-hollyhock-althaea-rosea-blossoms.jpg?ver=6>

[143] O INVAZNÍCH ROSTLINÁCH [online]. BOTANICKÝ ÚSTAV AV ČR. 2014 [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://www.invaznirostliny.cz/druhy>

[144] KOLIK SE PLÝTVÁ: Tržní cena potravin, které se na světě za rok vyhodí, odpovídá HDP Švýcarska [online]. ZACHRAŇ JÍDLO [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://zachranjidlo.cz/kolik-se-plytva/>

[145] KULIŠ, Jan. Vyhodí se až třetina potravin – jak vypadá současné plýtvání jídlem? E15 [online]. 19.3.2016. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z:

<http://student.e15.cz/agora/vyhodi-se-az-tretina-potravin-jak-vypada-soucasne-plytvani-jidlem-1284200>

[146] Japonský topol - pěstování [online]. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://www.japonskytopol-rk.cz/pestovani-japonsky-topol/>

[147] WEGER, Jan: Výmladkové plantáže topolů a vrb. Biom.cz [online]. 2011-01-05 [cit. 2017-04-23]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vymladkove-plantaze-topolu-a-vrb>>. ISSN: 1801-2655.

[148] TRNKA, Miroslav: Zkušenosti s pěstováním rychle rostoucích dřevin v mikroregionu Bystřice n. P.. Biom.cz [online]. 2010-03-24 [cit. 2017-04-23]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zkusenosti-s-pestovanim-rychle-rostoucich-drevin-v-mikroregionu-bystrice-n-p>>. ISSN: 1801-2655.

[149] Vrba (Salix). Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, VÝZKUMNÉ ENERGETICKÉ CENTRUM [online]. 17.11.2015. [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/vrba.pdf>

[150] ČERMÁKOVÁ, Martina. Zasadíte paulovnií a za rok máte čím topit. Bude te sklízet dřevo. IDNES [online]. 24.1.2013. [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: http://hobby.idnes.cz/biomasa-na-topeni-rychlerostouci-drevo-paulovnie-fvb-/hobby-zahrada.aspx?c=A130122_140917_hobby-domov_mce

[151] ČERMÁKOVÁ, Martina. Plantáže topolů či paulovnií se nám nemusí vyplatit, varují odborníci. IDNES [online]. 29.1.2013. [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: http://hobby.idnes.cz/energeticke-dreviny-invazni-rostliny-paulovnie-topoly-p23-/hobby-zahrada.aspx?c=A130128_101637_hobby-zahrada_mce

[152] CELJAK, Ivo: Pěstování topolů pro energetické účely – 3. Biom.cz [online]. 2010-09-06 [cit. 2017-04-23]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/pestovani-topolu-pro-energeticke-ucely-3>>. ISSN: 1801-2655.

[153] Hlavní platby zemědělcům pro letošní rok 2016. *Agroreport* [online]. 16.10.2016. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.agroreport.cz/article/535-hlavni-platby-zemedelcum-pro-letosni-rok-2016>

[154] CELJAK, Ivo: Pěstování topolů pro energetické účely – 2. Biom.cz [online]. 2010-08-30 [cit. 2017-04-24]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/pestovani-topolu-pro-energeticke-ucely-2>>. ISSN: 1801-2655

[155] ŠVEC ET AL, Jan. VYUŽITÍ OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE V ZEMĚDĚLSTVÍ ZEMĚDĚLSKÉ BIOPLYNOVÉ STANICE. *EAGRI* [online]. 2010. Chrudim [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/59655/Sbornik_prispevku.pdf. ISBN 978-80-86832-49-4.

[156] Energetický regulační věstník: Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 11/2016. Energetický regulační úřad [online]. 22.12.2016. Jihlava [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/2041142/ERV_13_2016/5488c8b8-4e85-4b38-9c40-7db16649dc03

[157] Sortiment hybridů kukuřice 2017. KWS osiva [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: https://www.kws.cz/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaaawizvi

[158] KOSMÁK, František. Princip fotovoltaického článku [online]. 3.9.2009. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/princip-fotovoltaickeho-clanku>

[159] DUS, Ondřej. VLIV ZASTÍNĚNÍ NA PARAMETRY SOLÁRNÍCH MODULŮ. VUT Brno [online]. 2008. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=8691

[160] Amorfní panely. IfTECH [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <https://shop.iftech.cz/15-amorfni-panely>

[161] Polykrystalické panely. IfTECH [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <https://shop.iftech.cz/14-polykrystalicke-panely>

[162] Monokrystalické panely. IfTECH [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <https://shop.iftech.cz/13-monokrystalicke-panely#>

[163] BECHNÍK, Bronislav. Historie a perspektivy OZE - fotovoltaika, méně rozšířené technologie. TZBinfo [online]. 30.3.2009. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5517-historie-a-perspektivy-oze-fotovoltaika-mene-rozsirene-technologie>

[164] VOBORIL, David. Nejúčinnější solární systém na světě? OENERGETICE [online]. 10.7.2015. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/nejucinnejsi-solarni-system-na-svete/>

[165] KRONEISL, Jan. Maroko odložilo zprovoznění 1. části největší solární elektrárny na světě. OENERGETICE [online]. 1.1.2016 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/maroko-odložilo-zprovozneni-nejvetsi-solarni-elektrarny-na-svete/>

[166] KNÁPEK, Martin. SolarReserve představilo svůj projekt 2GW solární termální elektrárny. OENERGETICE [online]. 5.11.2016. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/solarreserve-predstavilo-svuj-projekt-2gw-solarni-termalni-elektrarny/>

[167] KRUTIŠ, Petr. V nejsušší poušti světa vyroste přečerpávací vodní elektrárna. OENERGETICE [online]. 6.12.2015. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrarny-svet/v-nejsussi-pousti-na-svete-vyrosteprecerpavaci-vodni-elektrarna/>

[168] Co ovlivňuje výrobu elektrické energie ze solární elektrárny. SILEKTRO energy [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.silektro.cz/solarni-elektrarny/o-fotovoltaice/co-ovlinuje-vyrobu-elektricke-energie-ze-solarni-elektrarny>

[169] Střešní fotovoltaické elektrárny jsou osvobozeny od daní. Solarni experti [online]. 7.3.2016. [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <https://www.solarniexpert.cz/osvobozeni-od-dane-z-prijmu-pro-fotovoltaicke-elektrarny-na-rodinnych-domech/>

[170] Potřebujete stavební povolení na montáž FVE? Solarni experti [online]. 31.10.2015. [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <https://www.solarniexpert.cz/je-potreba-stavebni-povoleni-nebo-ohlaska-na-instalaci-fotovoltaickych-panelu/>

[171] Legislativa. Sunwave [online]. [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <http://www.sunwave.cz/legislativa00>

[172] Distributed Temperature Sensing (DTS) in Geothermal Energy Applications. SENSORSONLINE [online]. [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <http://www.sensorsmag.com/components/distributed-temperature-sensing-dts-geothermal-energy-applications>

Přílohy

Příloha 1: Statistiky - energetika: Dlouhodobý vývoj spotřeby elektřiny v ČR (1919 - 2013)

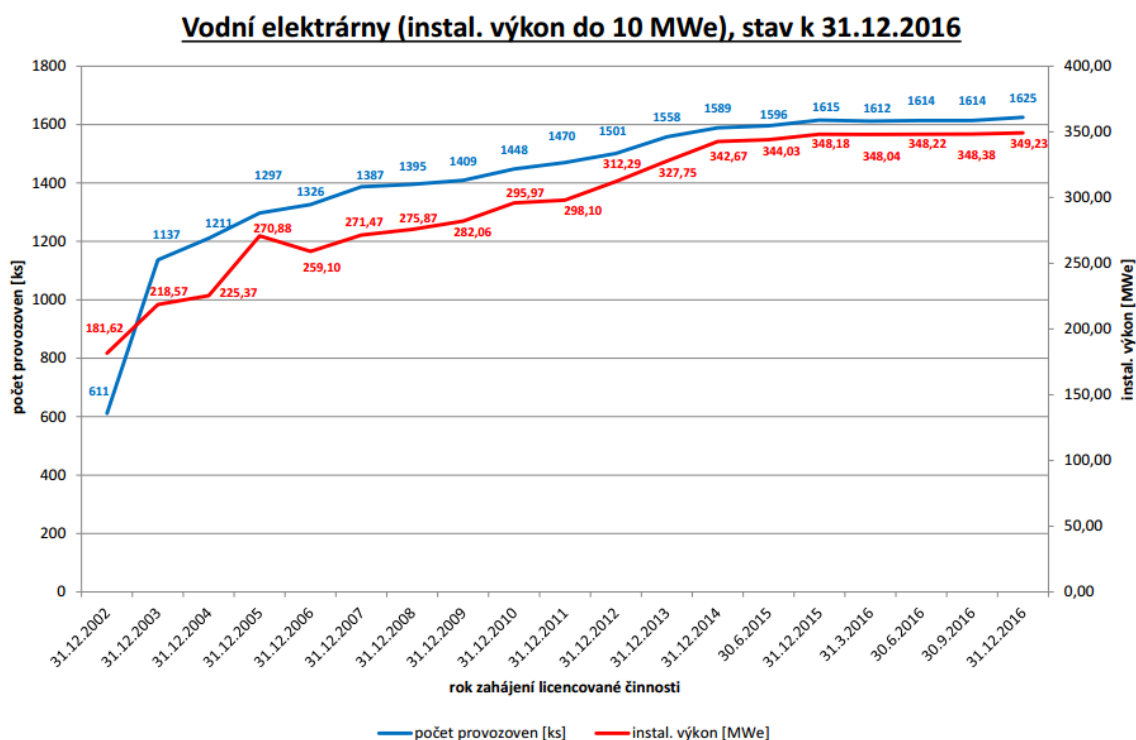
Zdroj: [26]

Rok	Spotřeba brutto v GWh	Spotřeba netto v GWh
1919	1093	-
1920	1267	-
1921	1283	-
1922	1246	-
1923	1373	-
1924	1621	-
1925	1794	-
1926	1932	-
1927	2189	-
1928	2534	-
1929	2738	-
1930	2738	-
1931	2623	-
1932	2384	-
1933	2363	-
1934	2572	-
1935	2725	-
1936	3090	-
1937	3682	-
1938	3639	-
1939	4083	-
1940	4389	-
1941	4751	-
1942	5142	-
1943	6023	-
1944	6230	-
1945	4123	-
1946	5030	-
1947	5971	-
1948	6679	-
1949	7351	-
1950	8281	-
1951	9149	-
1952	10290	-
1953	10857	-

1954	11769	-	
1955	12509	-	
1956	13993	-	
1957	14504	-	
1958	15738	-	
1959	17976	-	
1960	20342		17189
1961	22764		19236
1962	24058		20329
1963	25043		21161
1964	26546		22431
1965	27471		23213
1966	28251		23872
1967	29260		24725
1968	31602		26704
1969	33536		28338
1970	34700		29368
1971	36724		31035
1972	39053		32667
1973	40631		34126
1974	42085		35436
1975	44249		37320
1976	46103		38865
1977	47547		40106
1978	50031		41897
1979	49187		41188
1980	51150		43123
1981	51889		43944
1982	52413		44412
1983	53926		45570
1984	55681		47108
1985	57445		48844
1986	58787		50079
1987	60857		51821
1988	61518		52477
1989	62349		53271
1990	61866		53024
1991	57998		49708
1992	56257		48148
1993	56778		47765
1994	58260		49312
1995	61265		52155

1996	64254	54146
1997	63410	53163
1998	62651	52196
1999	61092	50855
2000	63450	52292
2001	65108	53775
2002	64872	53581
2003	66992	54781
2004	68616	56388
2005	69945	57664
2006	71730	59421
2007	72045	59752
2008	72049	60478
2009	68606	57112
2010	70962	59112
2011	70517	59381
2012	70453	58708
2013	70177	58333

Příloha 2: Technicko-legislativní aspekty vodní energie



Obr. 19 Vývoj výroby a instalovaného výkonu MVE od roku 2002, Zdroj: [111]

Výkon elektrárny

Pro stanovení výkonu elektrárny používáme následující vzorec:

$$P_h = Q_v \cdot H \cdot g \cdot \rho$$

kde je P_h hrubý elektrický výkon ve wattech

Q_v průtok v m^3/s

H výška užitečného spádu v metrech

g tíhové zrychlení (můžeme považovat za konstantu, kdy $g=9,81 m/s^2$)

ρ hustota vody (opět ji lze považovat za konstantní $\rho=1000kg/m^3$)

Součinem těchto veličin získáváme hodnotu výkonu na zvoleném toku. Jedná se však pouze o hrubý výkon, který se dále snižuje o účinnost turbíny (η_t), převodu (η_p) a generátoru (η_g). Vynásobením těchto tří účinností dostáváme výslednou hodnotu elektrického výkonu, již můžeme změřit na svorkách generátoru[112].

$$P_{el} = P_h \cdot \eta_t \cdot \eta_p \cdot \eta_g$$

Účinnost turbíny se liší v závislosti na typu, ale pohybuje se okolo 80%. Účinnost převodu dosahuje cca 95% a účinnost generátoru činí asi 80-95%. Rozdíl mezi hrubým a čistým výkonem by se měl pohybovat okolo 30%. Nicméně tato účinnost platí pouze v případě optimálního zatížení turbíny. Jestliže se průtok turbínou pohybuje pod optimálním plněním, klesá její účinnost i účinnost generátoru a rozdíl mezi hrubým výkonem a čistým elektrickým výkonem se zvyšuje. Pokles výkonu se liší mezi jednotlivými typy turbín a je namístě k tomu přihlížet při instalaci typu a výkonu turbíny. Kolísavost průtoku může být na různých tocích i na různé části toku značně odlišná. Obecně se turbína vybírá na hodnotu průtoku mezi Q_{90d} až Q_{180d} ⁴⁷[113].

Dalším významným prvkem je výše sanačního průtoku (minimální zůstatkový průtok (MZP) nebo také hygienický průtok), který je definován ve vodním zákoně (zákon č.254/2001 Sb.) v §36 jako průtok povrchových vod, který ještě umožňuje obecné nakládání s povrchovými vodami a ekologické funkce vodního toku. Tento průtok je stanoven vodoprávním úřadem při udělení povolení k nakládání s vodami. Pro stanovení tohoto průtoku se vychází z plánů oblastí povodí, z metodického pokynu vydaného Ministerstvem životního prostředí a přihlédne se k zjištěnému stavu povrchových a podzemních vod, zejména k výsledkům vodní bilance v daném povodí [114], [115].

Metodický pokyn od odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí ke stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích uvádí následující:

průtok Q_{355d}	minimální zůstatkový průtok
$< 0,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Q_{330d}
$0,05 - 0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$(Q_{330d} + Q_{355d}) \cdot 0,5$
$0,51 - 5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Q_{355d}
$> 5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$(Q_{355d} + Q_{364d}) \cdot 0,5$

Tab. 17 Stanovení minimálního zůstatkového průtoku, Zdroj: [114]

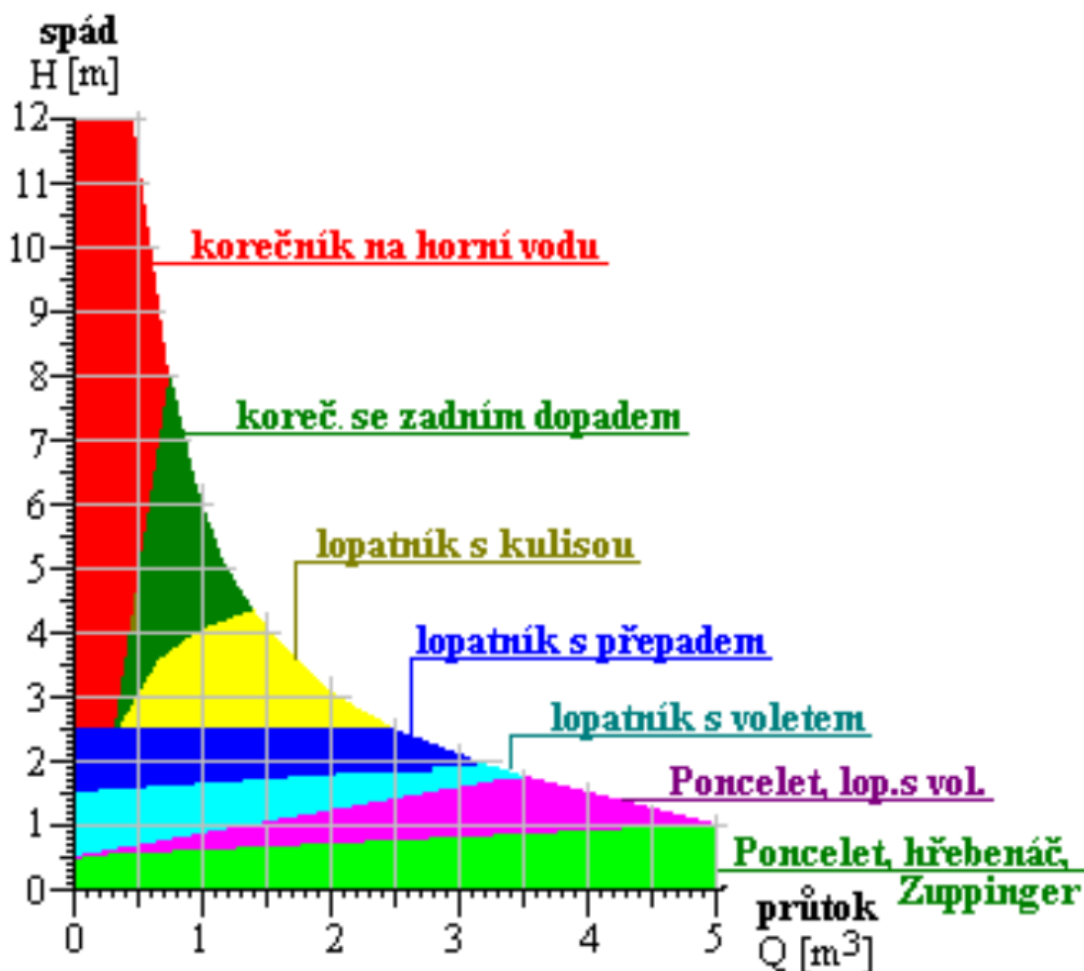
Z tabulky je patrné, že nejpřísnější podmínky jsou stanoveny pro nejmenší vodní toky, kde je požadováno zachování průtoku Q_{330d} .

⁴⁷ Tato hodnota nám říká, po jakou dobu v roce je dosažen nebo překročen daný průtok. Např. $Q_{120d}=200\text{l/s}$ znamená, že vodní tok má průtok (vodnost) 200l/s a více 120 dní v roce. Např. $Q_{355d}=15\text{l/s}$ pak tedy analogicky znamená, že po dobu 10 dní je průtok nižší než 15l/s. Při poklesu průtoku pod Q_{355d} již hovoříme o tzv. hydrologickém suchu.

Typy vodních pohonů

Vodní kolo

Až do 19. století nebyl znám jiný způsob využití vodní energie než za pomoci vodního kola. Ačkoliv by se mohlo zdát, že je to již překonaný způsob výroby elektřiny, který patří tak leda do muzea, není tomu tak. Jednoduchost vodního kola má své přednosti. Není zde mnoho věcí, co by se mohly pokazit. Kromě odolnosti si také obstojně vede v případě nízkých a kolísavých průtoků, které jsou typické pro české toky. Dále okysličuje vodu a nehrozí únik ropných látek. Pozitivně lze vnímat i jejich estetickou hodnotu. Oproti turbínám jsou však náchylnější na ledové kry a při studeném počasí se mohou obalit ledem, což vede až k riziku rozlomení vodního kola. Nehodí se též pro větší výkony a spády. Zde lépe pracují klasické turbíny. Jisté využití tedy mají i v 21. století [113].



Obr. 20 Použití vodních kol dle průtoků a spádu, Zdroj: [113]

typ kola	účinnost
korečník na horní vodu s obráceným chodem	až 85%
korečník na horní vodu obyčejný	65-80%
korečník se zadním dopadem	65-75%
lopatník s kulisou	65-70%
lopatník s přepadem	60-75%
lopatník s voletem	45-55%
Zuppingerovo kolo	70-78%
Ponceletovo kolo	60-65%
Sagebienovo kolo	až 80%
stříkový hřebenáč	30-35%
belík (valach)	25-30%

Obr. 21 Účinnost vodních kol, Zdroj: [113]

Vodní turbíny

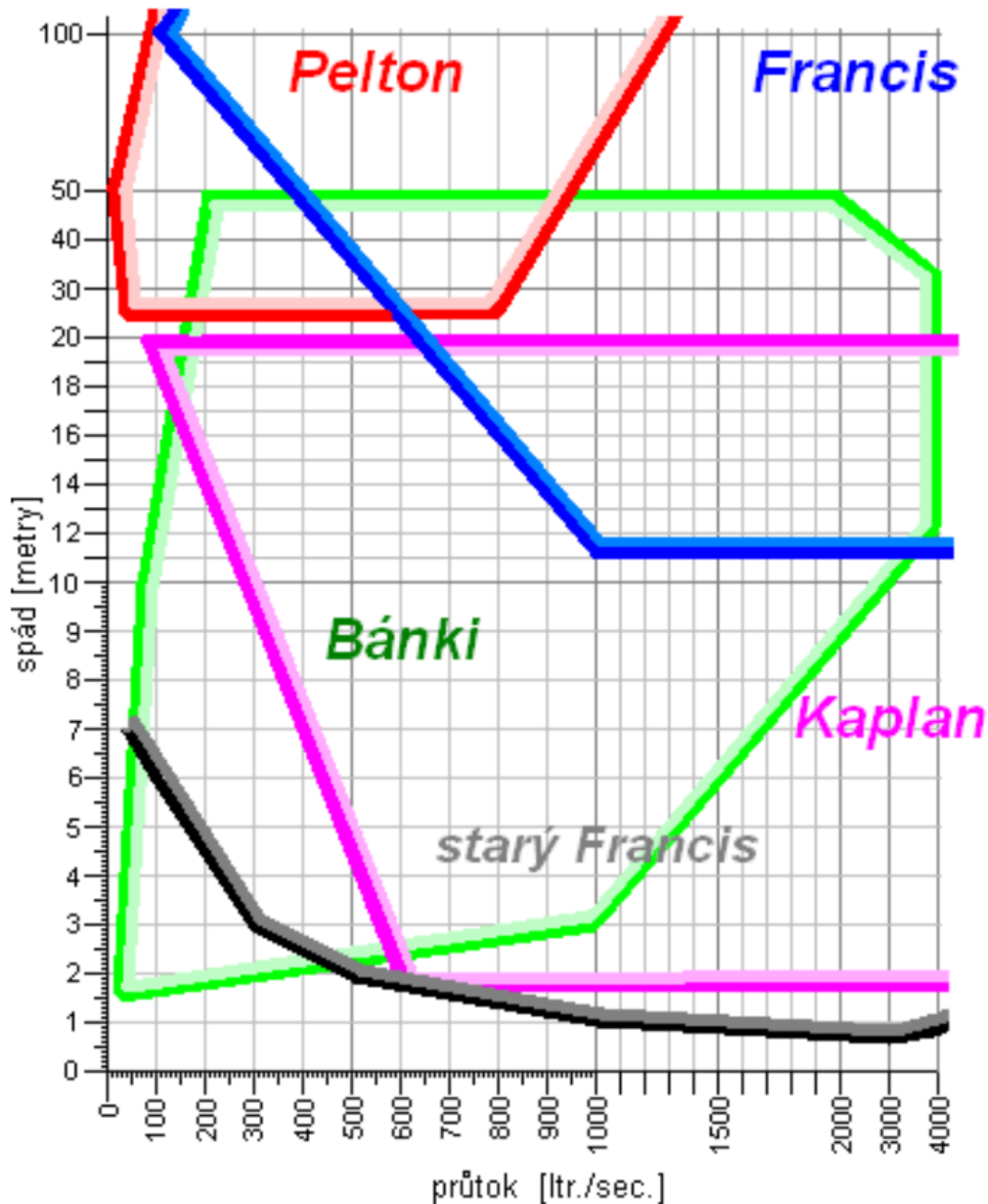
Turbíny jsou technologicky vyspělejší než vodní kola. Existuje mnoho různých typů. Liší se svou maximální možnou účinností a jejím poklesem v závislosti na snížení jejich plnění, hltností, použitím pro různé spády, náchylností k poškození, cenou, životností, otáčkami atd.

Francisova turbína

Jedná se o nejstarší vynalezenou turbínu (1847), která se dodnes používá. Najdeme ji v místech, kde máme k dispozici velké spády a průtoky (přehradní nádrže atd.)⁴⁸. Ložiska jsou umístěna pod vodou, proto se příliš nehodí pro zpracování pitné vody a je náchylná ke kavitaci. V 1. polovině 20. století byl u nás velmi častý i tzv. starý Francis. Jeho předností byla schopnost pracovat v širokém rozsahu průtoků s dobrou účinností. Pomaluběžnost a masivní provedení stroje rovněž zaručovalo jeho dlouhou životnost⁴⁹.

⁴⁸ Použita je také u PVE Dlouhé Stráně. Výkon dvou reverzních turbín, každé o výkonu 325MW, je nejvyšší v Evropě. Spád dosahuje cca 510 metrů a hltnost každého soustrojí dosahuje 68,5m³/s.

⁴⁹ Mnohé stroje mají za sebou i století provozu. Přesto není vždy nutné se jich zbavovat. Po generální opravě mohou sloužit dalších 50 i více let.



Obr. 22 Použití turbín dle spádu a průtoku, Zdroj: [113]

Peltonova turbína

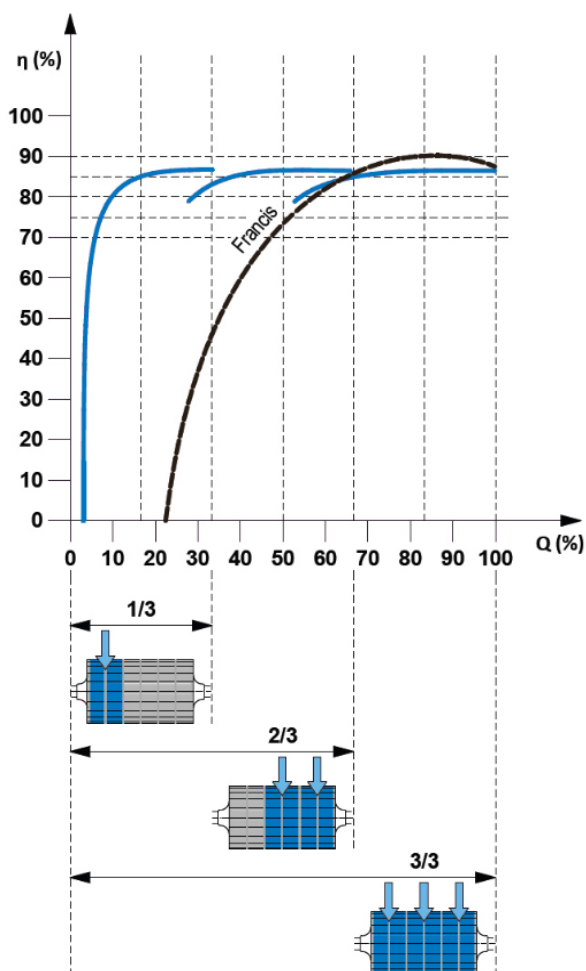
Další hojně užívaná turbína. Vynalezena byla roku 1880. Dokáže zpracovat malé i velké průtoky. Vykazuje dobrou účinnost při velkém rozsahu plnění. Může zpracovávat i pitnou vodu (ložiska se nachází mimo vodu), není náchylná ke kavitaci, lépe odolává otěru pískem a dobře okysličuje vodu. Je však konstrukčně náročnější na výrobu. Vyžaduje velké spády, proto je její využití v ČR omezené.

Kaplanova turbína

Vynalezena profesorem brněnské technické univerzity Viktorem Kaplanem roku 1913. Vykazuje velmi dobrou účinnost v širokém spektru průtoků. Je však konstrukčně složitější a dražší na výrobu a údržbu. Dále je citlivější na mechanické nečistoty a vyplatí se ji instalovat pouze tam, kde by ztráty způsobené nižší účinností znamenaly významnější pokles výroby.

Bankiho turbína

Byla vynalezena maďarským profesorem Donátem Bankim roku 1919. Teoreticky však již byla představena australským inženýrem A. G. M. Mitchelem roku 1903. Jedná o turbínu velmi vhodnou pro české podmínky. Vykazuje vcelku plochou charakteristiku účinnosti již od nízké míry plnění, což je dáno možností provést její sekční dělení pro udržení optimální účinnosti i po sušší letní měsíce. Při sekčním dělení 25:75% nominální hltnosti dosahuje dobré účinnosti již od 8% plnění. Její konstrukční jednoduchost se příznivě projevuje na ceně. Lze ji vyrobit i z obyčejného plechu. Dobře okysličuje vodu, není náchylná na nečistoty, abrazi pískem, kavitaci a díky uložení ložisek mimo vodu ji lze užít i pro pitnou vodu bez rizika kontaminace. I přes nižší účinnost např. oproti Kaplanově umí dobře zpracovat i nízké průtoky, což její relativně nižší účinnost zmírňuje [113].



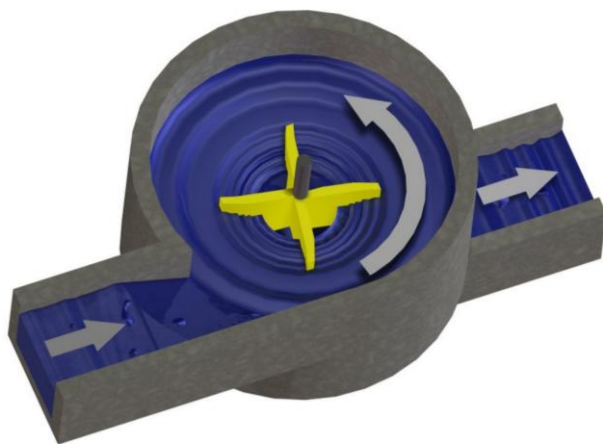
Vírová turbína

Byla vyvinuta roku 2000 v Brně týmem profesora Františka Pochylého z Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně. Vznikla zjednodušením Kaplanovy turbíny. Pracovní nasazení je v rozsahu spádu cca 1-3 metry. Při větších spádech je již lepší z důvodu účinnosti využít turbínu Kaplanovu [117], [118].

Obr. 23 Porovnání účinnosti dvousekční Bankiho turbíny s Francisovou turbínou v závislosti na stupni plnění, Zdroj: [116]

Zotlötererova turbína

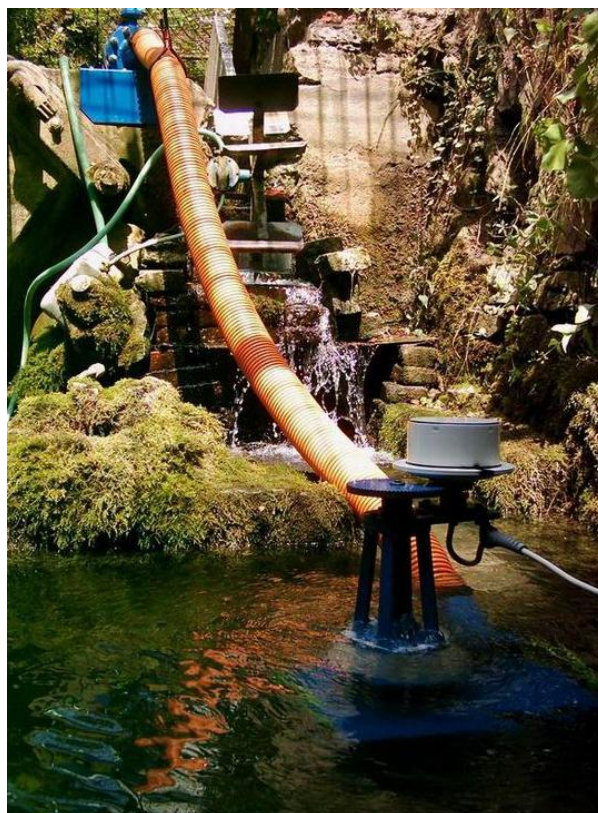
Byla vynalezena Rakušanem Franzem Zotlötererem v roce 2005. Konstrukčně se jedná o jednoduchou turbínu s možnou účinností přibližně 80% využívající energii rotace vodního víru. Použitelná je přibližně od spádu 0,7m při průtoku od 1m^3 . Ekonomicky je zajímavá pro využití do cca 150kW instalovaného výkonu [119].



Obr. 24 Zotlötererova turbína, Zdroj: [119]

Turbína Setur

Byla vynalezena inženýrem Miloslavem Sedláčkem z Vyškova. První prototypy se objevily na počátku 90. let 20. století. Nyní se již komerčně vyrábí. Jedná se konstrukčně o velmi jednoduchý a spolehlivý stroj s účinností mezi 40-75%, který lze připojit i na obyčejnou hadici. Může provzdušňovat vodu a není náchylná na znečištění s výjimkou většího výskytu abrazivních částic. Výhodou je možnost zpracovat velmi nízké průtoky již od 4l/s . V případě vyšších průtoků od desítek litrů za sekundu je již lepší kvůli účinnosti použít např. Bánkiho turbínu se seklemi [113], [120].



Obr. 25 Turbína Setur,
Zdroj: [121]

Typ vodního motoru	Plnění stroje (poměr mezi průtokem skutečným a jmenovitým)									
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
vodní kolo (korečník)	68	75	75	75	75	75	75	75	75	75
Kaplanova turbína	15	70	85	88	90	90	90	90	88	85
Francisova turbína pomaloběžná	/	35	60	71	78	80	82	82	80	79
Francisova turbína rychloběžná	/	/	15	58	72	78	82	82	82	80
Bánkiho turbína jednosekční	/	40	60	68	72	74	75	74	72	70
Archimedův šroub	60	74	77	78	80	80	80	80	80	78
účinnost (malých strojů) v %										

Obr. 26 Srovnání účinnosti některých strojů poháněných vodou, Zdroj:[113]

Existuje ještě mnoho dalších turbín, které se však z různých důvodů příliš nepoužívají. Jmenujme např. Fourneyronovu turbínu, Henschel-Jonvalovu, Girardovu, Hänelovu, Knopovu, Schwamkrugovu, Zuppingerovu, turbínu Turgo aj.

Legislativní požadavky na malé vodní elektrárny (MVE)

Aby bylo možno provozovat vodní elektrárnu, je třeba se zaobírat nejen přírodními podmínkami zkoumané lokality a technickým řešením, ale i legislativou, což bohužel bývá často ten nejtěžší proces někdy doprovázený požadavky bez jasného opodstatnění.

Pro zřízení MVE je třeba získat povolení k nakládání s vodami (obvykle vykonává stavební úřad, případně vodoprávní úřad). Podrobnosti jsou upraveny ve vodním **zákoně č. 254/2001 Sb.** Zde se k záměru o výstavbu MVE vyjadřují dotčené subjekty jako je správce toku (povodí), rybáři, ochranáři atd. V případě kladného stanoviska pravděpodobně získáme i manipulační řád, kde bude stanoveno kdy a kolik vody můžeme odebrat z toku. Dále je vhodné již nyní konzultovat připojení k distribuční síti (ČEZ, E.ON). Pokud je stanovisko v obou případech kladné, následuje vypracování stavebního projektu a jeho předložení k posouzení stavebnímu úřadu. Podrobnější informace lze nalézt ve stavebním **zákoně č. 183/2006 Sb.** K žádosti o stavební povolení je potřeba přiložit i dokumentaci s technickým řešením. Další požadavkem může být zpracování vlivu na životní prostředí (EIA) dle **zákona č. 100/2001 Sb.** Zde je důležité, jaký instalovaný výkon a v jaké lokalitě chceme umístit. Dle přílohy číslo 1 k tomuto zákonu vodní elektrárny nikdy nespádají automaticky do tzv. velké EIA (vždy provádět hodnocení vlivu na životní prostředí), ale v případě, že instalovaný výkon přesáhne 10MW, pak se provádí tzv. zjišťovací řízení (malá EIA), kdy se vyhodnocuje, zdali MVE podléhá dalšímu posouzení vlivu na životní prostředí či nikoliv. I pokud je plánovaný projekt do

10MW, stále je možné, že si úřad vyžádá provedení zjišťovacího řízení. Neděje se tak už ale automaticky jako v případě výkonů nad 10MW. Obecně vyšší pravděpodobnost takového posouzení je v případech instalace v přírodně cenných oblastech a stavby na nových lokalitách, než u obnovy zaniklých elektráren nižších výkonů. Dále je třeba získat licenci pro podnikání v energetice dle **zákona č. 458/2001 Sb.** V případě výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů s instalovaným výkonem do 20kW není nutné osvědčení k provozování malých energetických zdrojů. Mezi 20 až 200kW jsou též zjednodušené podmínky, ale již s osvědčením k provozování malých energetických zdrojů.

Obecná úprava podpory výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie (**zákon č. 180/2005 Sb.**) byla účinná od 1. 8. 2005 do 31. 12. 2012. Tento zákon byl nahrazen od 1. 1. 2013 zákonem o podporovaných zdrojích energie (**zákon č. 165/2012 Sb.**). V případě vodních elektráren je garantována výkupní cena po dobu 30 let od uvedení do provozu (**příloha č. 3 k vyhlášce č. 475/2005 Sb.**, kterou se provádějí některá ustanovení zákona o podpoře využívání obnovitelných zdrojů, účinná od 7. 12. 2005 do 31. 12. 2012, aktuálně platná je **vyhláška č. 296/2015 Sb.**, o technicko-ekonomických parametrech pro stanovení výkupních cen pro výrobu elektřiny a zelených bonusů na teplo a o stanovení doby životnosti výroben elektřiny a výroben tepla z obnovitelných zdrojů energie (vyhláška o technicko-ekonomických parametrech) a její novela **č. 266/2016 Sb.**).

Výkon elektrárny

Pro stanovení výkonu elektrárny používáme následující vzorec:

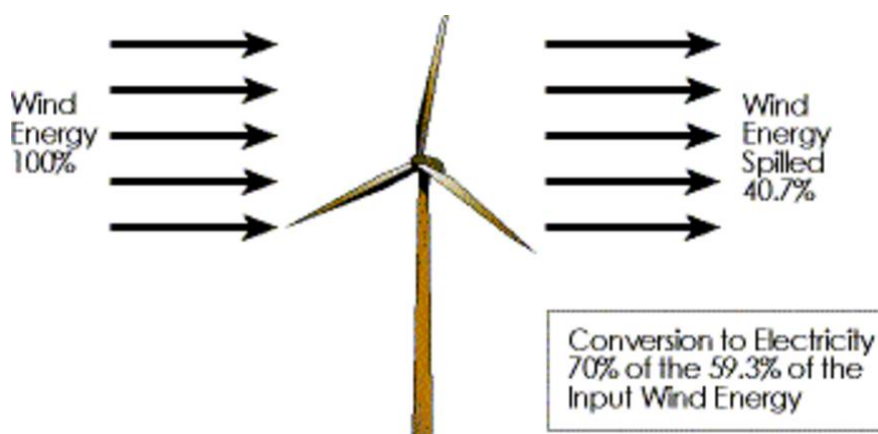
$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \cdot c_p \cdot S$$

P	...	výkon VtE	[W]
ρ	...	hustota vzduchu	[kg.m ⁻³]
V	...	rychlost proudění vzduchu	[m.s ⁻¹]
c_p	...	účinnost stroje	[-]
S	...	plocha rotoru	[m ²]

Obr. 27 Stanovení výkonu VTE, Zdroj: [122]

Ze vzorce je patrné, že nejdůležitější je rychlost větru. Oproti jiným obnovitelným zdrojům je zde nejpatrnější extrémní citlivost na tuto veličinu a její i mírně nižší hodnoty zásadně ovlivňují celkovou roční výrobu elektrické energie. S vyššími nadmořskými výškami dochází k nárůstu rychlosti větru, což příznivě ovlivňuje celkovou roční výrobu. Nepatrně negativní vliv přináší nižší hustota vzduchu, která však nemá zásadní význam. Významnější negativní vlivy mohou nastat v souvislosti s extrémními meteorologickými jevy, které jsou čtenější ve vyšších nadmořských výškách (údery blesku, obtížná dostupnost techniky v zimních měsících pro případnou opravu poruch, poškozených elektrických vedení atd.). Důležitá je také účinnost stroje zachytit větrnou energii, tedy schopnost přeměnit energii větru na energii elektrickou. Teoreticky může dosáhnout hodnoty 59,3% (Betzova konstanta). Reálně se však pohybuje okolo 40%⁵⁰. Jak ukazuje i následující obrázek.

⁵⁰ Pokud by účinnost byla 100%, pak by za větrnou elektrárnou nastalo bezvětří. To však není fyzikálně možné. Teoretické maximum je 59,3%. I tato hodnota je však nedosažitelná. Pokud by účinnost zachycení energie dosáhla 70%, jak uvádí obrázek, pak by výsledná hodnota dosáhla cca 41,5%. Tu je však dále snížit o účinnost generátoru (cca 95%) a transformátoru (cca 98%). Čistá účinnost by pak dosahovala cca 38,6%.



Obr. 28 Přeměna energie větrné na energii elektrickou, Zdroj: [123]

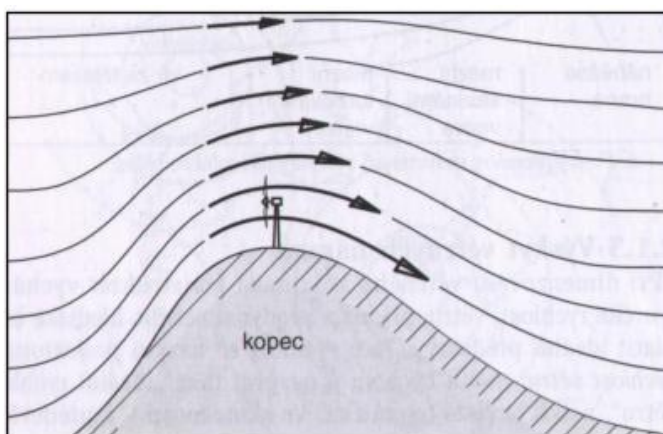
Výběr vhodných lokalit dle dostupného množství energie

Za vhodné lokality pro umístění větrné elektrárny jsou obecně považovány oblasti, ve kterých roční průměrná rychlost větru dosahuje minimálně 4m/s ve výšce asi 10 metrů nad povrchem. S rostoucí vzdáleností od země dochází k nárůstu průměrné rychlosti větru. Ve výšce 100 metrů nad povrchem o asi 2m/s. Průměrná rychlost větru ve výšce 100 metrů nad povrchem by tedy měla pro VTE v ose rotoru dosahovat minimálně 6m/s. Dalším významným faktorem je i tvar reliéfu a nadmořská výška. Vzhledem k vyšší hustotě vzduchu v nižší nadmořské výšce se za dostatečnou považuje průměrná rychlost větru 5,8m/s a více v polohách do 300 m. n. m. Naopak v nadmořských výškách nad 900 m. n. m. se za dostatečnou průměrnou rychlost větu považuje 6,3m/s a více, což nesouvisí pouze s hustotou vzduchu a meteorologickými podmínkami, ale i náklady na vyvedení výkonu do přenosové soustavy. Pokud bychom hodnotili pouze vliv klesající hustoty vzduchu, pak oproti hladině moře v nadmořské výšce 500 m. n. m. dochází k poklesu výkonu o asi 5%, při nadmořské výšce 800 m. n. m. asi o 7% a v 1200 m. n. m. pokles činí asi 11%. Dalším významným parametrem je koeficient drsnosti terénu. Ten je závislý na členitosti terénu a hustotě vegetačního krytu. Pro otevřené polohy platí hodnota +0,0m/s, pro střídavou krajinu přičítáme asi +0,3m/s a pro lesní porosty +0,7m/s⁵¹. Za pozornost stojí i umístění lokality. Průměrná rychlost větru ve výšce 780 m. n. m. totiž klesá v poledníkovém směru od severu k jihu asi o 0,77m/s. Rozdíl mezi nejsevernějšími a nejižnějšími oblastmi Čech je ve prospěch Čech severních asi 2m/s. Tento gradient je významnější v zimním období a dosahuje asi 1,2m/s a asi 0,5 m/s v období letním. Dalším faktorem je blízkost různých geologických masivů. Identifikovat můžeme vliv orografie velkých

⁵¹ Vegetačního pokryv ovlivňuje větrné proudění až do 5 násobku jeho výšky. V případě lesního porostu to tedy může být až 150 metrů nad povrchem. Nejvyšší přičítaná hodnota +0,7m/s tedy má své odstatnění.

rozměrů (Alpy, Karpaty)⁵². Dále rozlišujeme vliv orografie středních (Krušné hory, Českomoravská vrchovina) a menších rozměrů (jednotlivé osamělé kopce s převýšením oproti okolní krajině o 50-100m, kde dochází na návětrné straně k zhuštění větrného proudění a tím i k příznivějším podmínkám pro výstavbu větrných elektráren. Nezřídka je ve zvolené lokalitě provedena výstavba více než jedné elektrárny. Pokud by došlo k jejich nevhodnému umístění, pak by se vzájemně omezovaly a vyrobily by méně, než by tomu bylo v případě instalace pouze jedné VTE. Hovoříme o tzv. efektu stínění. Proto minimální vzdálenost mezi jednotlivými elektrárnami nesmí klesnout pod 450 metrů v lokalitách bez výrazně převládajícího směru větru. Při stavbě ve směru převládajícího větru je třeba dodržet rozestup alespoň 540 metrů a alespoň 270 metrů ve směru kolmém na něj⁵³ [38] str. 94-95, [69], [124].

Výše uvedené parametry je pak třeba potvrdit praktickým měřením ve vybrané lokalitě⁵⁴. Ideálně víceletým.

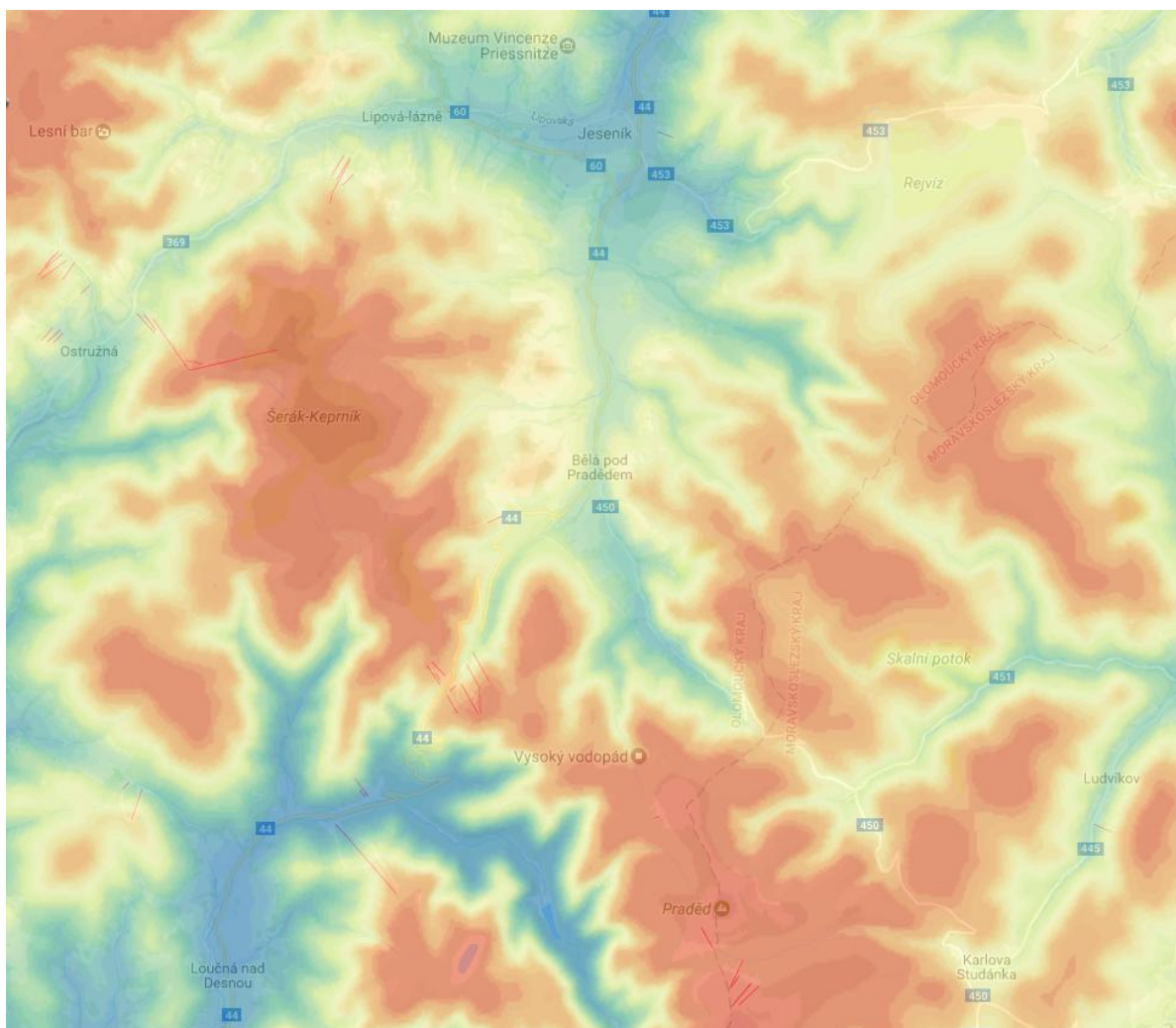


Obr. 29 Příklad správného umístění VTE pro využití zhuštěného větrného proudění, Zdroj: [124]

⁵² Např. v jihozápadních Čechách v nadmořské výšce 780 m. n. m. dochází vlivem alpského masivu k zeslabení roční průměrné rychlosti větru o cca 1m/s.

⁵³ Uvedené rozestupy jsou platné pro nejčastější typ instalace o průměru rotoru 90 metrů. Tj. výkonu asi 2MW. Dodržení vzdáleností neznamená, že by efekt stínění zcela vymizel, nicméně jeho efekt je již tak malý, že nevede k podstatným změnám v celkové výrobě VTE. Na druhé straně stojí snaha efektivně využít větrně příznivou lokalitu.

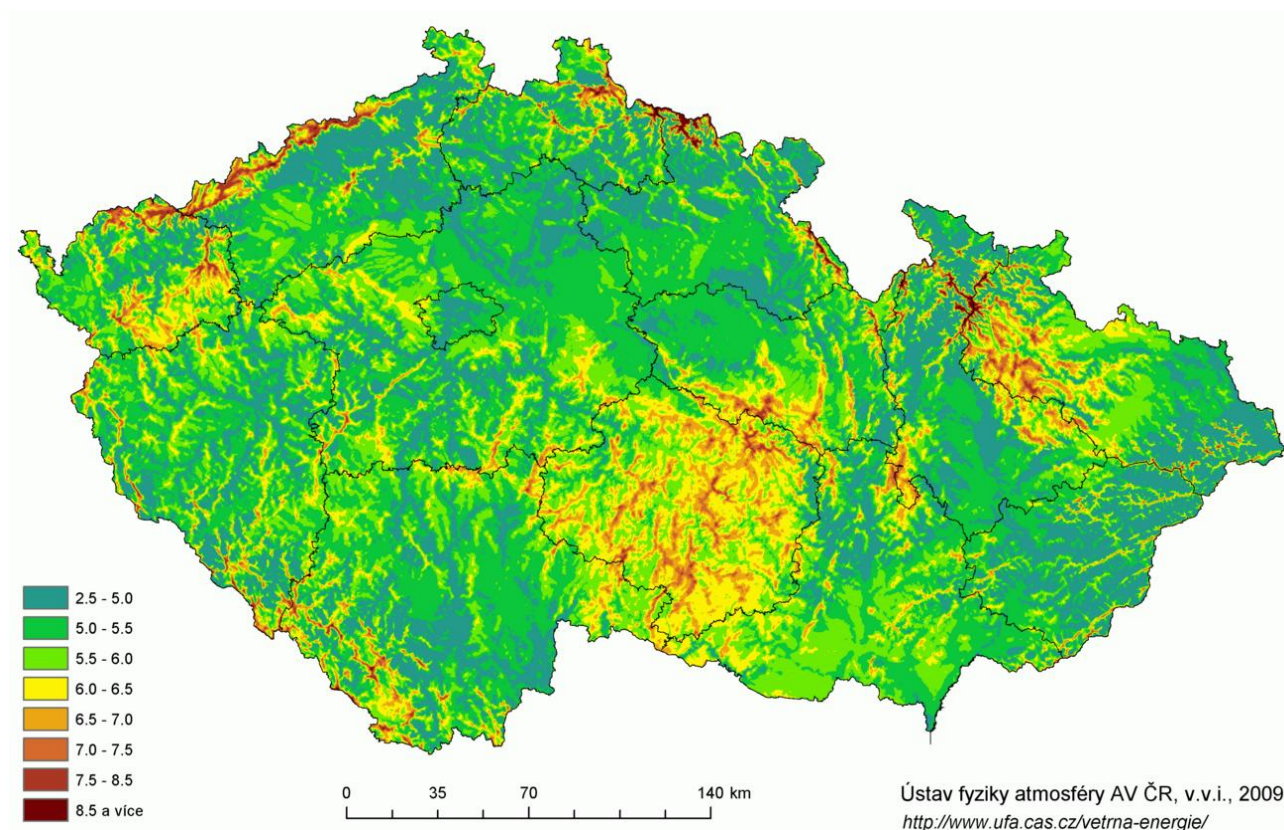
⁵⁴ Souhrn všech těchto faktorů v konečném důsledku vede k instalaci výkonnějších zařízení umístěných výše nad povrchem, než tomu bylo v minulosti. Např. při srovnání takřka totožných lokalit umístění rotoru o průměru 52 metrů a 74 metrů nad povrchem (výkon 0,85MW) vede ke koeficientu využití 13% (kapacitní faktor). Pokud použijeme stožár o velikosti 80 metrů s průměrem rotoru 90 metrů (výkon 2MW) koeficient využití dosáhne již 28% a pokud použijeme identickou turbínu jako v předchozím případě a jen navýšíme výšku stožáru o 25 metrů na 105 metrů, pak dosáhneme kapacitního faktoru dokonce 35% [122]. Praktická měření rychlosti větru vztah mezi výškou nad povrchem a rychlostí větru potvrzují. Např. v Dukovanech se ve výšce 10 metrů nad zemí dosahuje průměrné rychlosti větru asi 4,1m/s, ve 40m asi 5,3m/s, v 80m asi 6,3m/s a ve výšce 160m asi 7,2m/s. Předpokládaný trend je tedy zřejmý a potvrzený i praktickým měřením [124].



Obr. 30 Mapa hustoty výkonu v kWh/rok pro větrnou elektrárnu s průměrem rotoru 5 metrů a výkonem 5kW ve výšce 10 metrů nad povrchem v oblasti Jeseníků, Zdroj: [125]

Praktická ukázka obrovských rozdílů dostupné energie může být např. oblast Jeseníků. V oblasti Koutů nad Desnou by větrná elektrárna o průměru rotoru 5 metrů (výkon 5kW) by vyrobila pouze 200kWh, ale v oblasti chaty Jiřího na Šeráku by to bylo až 20 000kWh. Tedy stokrát více. Přitom vzdušná vzdálenost mezi těmito dvěma místy nedosahuje ani 10 kilometrů⁵⁵.

⁵⁵ Do úvahy je brán pouze energetický aspekt, nikoli aspekt ochrany přírody, který pochopitelně neumožňuje stavět větrné elektrárny v přírodně nejceněnějších oblastech. Jako reprezentativní příklad variabilnosti však postačí. Navíc kolísavost může být značná i na jednom místě v jednotlivých letech. Např. průměrná rychlost větru na kopci Milešovka 837 m. n. m. z let 1961-2003 dosahuje 8,5m/s (min. 7,7m/s, max. 9,4m/s). 90% hodnot se nachází mezi 8,0 až 8,9m/s. Pokud bychom provedli přepočítání na možnou výrobu energie, tak mezi roky 1961-1990 dosahuje výroba 70-130% průměru, což může znamenat značné riziko, pokud je projekt financován z úvěru a výroba se negativním směrem odchýlí od dlouhodobých hodnot [38] str. 104.



Obr. 31 Pole průměrné rychlosti větru ve výšce 100 metrů nad povrchem,
 Zdroj: [126]

Další důležité aspekty větrné energetiky

Kapacita sítí pro vyvedení výkonu větrné elektrárny

Jedním z klíčových faktorů, který ovlivní další možný rozvoj větrné energetiky je schopnost přenosové soustavy absorbovat dodatečný výkon kolísavého charakteru, jak tomu u většiny obnovitelných zdrojů bývá. Nejde totiž pouze o to vyvést výkon do přenosové soustavy, ale také ho zvládnout do té míry, aby nezpůsobil výpadek v přenosové soustavě. V tomto případě největší schopnost absorpce mají vedení s velmi vysokým napětím tj. 400kV a 220kV⁵⁶. Situaci lze řešit postavením dalších rozvodných sítí, nicméně toto vyžaduje nemalé finanční prostředky a také naráží z estetických důvodů na odpor obyvatel, v jejichž blízkosti má nové vedení stát. Možností je vést vedení pod zemí, nicméně tato varianta je výrazně dražší, a proto zase naráží na ekonomické mantinely, které neumožňují uplatnit dané ře-

⁵⁶ Do sítí o napětí lze 22-35kV připojit cca 6-10MW instalovaného výkonu, v případě 110kV lze připojit výkon o desítkách MW [69].

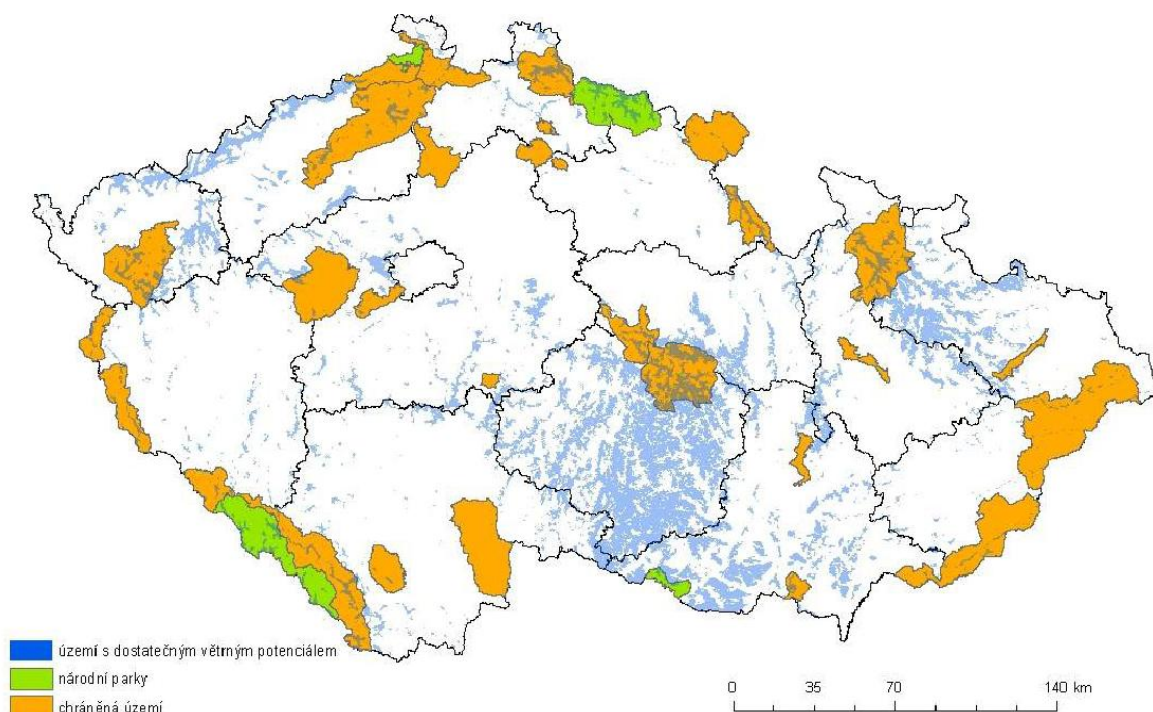
šení plošně⁵⁷. Dalším limitujícím faktorem je bezesporu i postoj místních občanů a samospráv, které si často nepřejí stavbu VTE ve své blízkosti, což daný projekt zablokuje. Významným důvodem, proč často nelze snadno vyvést výkon do rozvodné sítě je odlehlost vhodných lokalit. Tato skutečnost souvisí s dobou vzniku vysokonapěťových rozvodných sítí u nás. V době, kdy obnovitelné zdroje zastupovala takřka výhradně vodní energie, se stavěla přenosová soustava z míst výroby do míst spotřeby a nedávalo ekonomický smysl budovat přenosovou soustavu v hornatých oblastech s nepříznivými meteorologickými podmínkami, které zvyšují rizika poruch a prodraží jejich údržbu. Dnes je to jeden z limitujících faktorů, který komplikuje v ekonomicky únosných mezích dovést výkon do páteřních rozvodných sítí s dostatečnou kapacitou. Dalším faktorem je kolísavost výkonu a výroby. Schopnost předpovědět očekávaný výkon VTE s pomocí meteorologických předpovědí dnes není příliš velký problém a umožňuje se na změny výroby připravit i s očekávaným denním a ročním chodem spotřeby. Větší problémem je však predikovatelnost síly větru na delší období. Obecně můžeme z měsíčních dat výroby VTE u nás vyčíst, že v zimních měsících vyrobíme více energie než v letních měsících a poměr je přibližně poloviční až třetinový, nicméně i v zimních měsících občas nastávají situace, kdy spotřeba je maximální a výkon VTE minimální. Typicky se jedná o bezvětrné situace, kdy se nad naše území nasune tlaková výše z Ruska a přinese velmi nízké teploty nezřídka klesající pod -20°C . I s tímto musíme počítat a mít připravenou dostatečnou výkonovou rezervu, která plně nízkou výrobu z VTE zastoupí. Taková meteorologická situace může trvat i týdny a vzhledem k nízkému výkonu slunečních elektráren v zimním období (pokud zrovna není nízká oblačnost, kdy výkon je skoro nulový) je jejich příspěvek spíše symbolický. Tyto tuhé mrazy též vedou k zámrazu vody a výkon vodních elektráren také nedosahuje vysokých hodnot (ty přichází až v předjaří a jarním období se zvýšenou vodností řek z tání sněhu). Za výše zmíněných podmínek je nutné se spoléhat na zdroje fosilní a jaderné⁵⁸. Podrobnější informace o volné kapacitě pro připojení je třeba získat u distributorů E.ON a ČEZ, popř. PRE.

⁵⁷ Jako dobrý příklad může posloužit PVE Dlouhé Stráně. Přestože se jedná o přírodně cennou lokalitu nedaleko od Pradědu, přistoupilo se k stavbě nadzemního vedení o napětí 400kV. A přitom zhoršené meteorologicko-klimatické podmínky jako silný vítr, námraza, přívaly sněhu atd. zde nejsou nic výjimečného.

⁵⁸ Pokud dojde k výskytu těchto tuhých mrazů, často je doprovází nepříznivé rozptylové podmínky, které vedou ke kumulaci škodlivin v ovzduší a vzniku smogových situací (zimní smog).

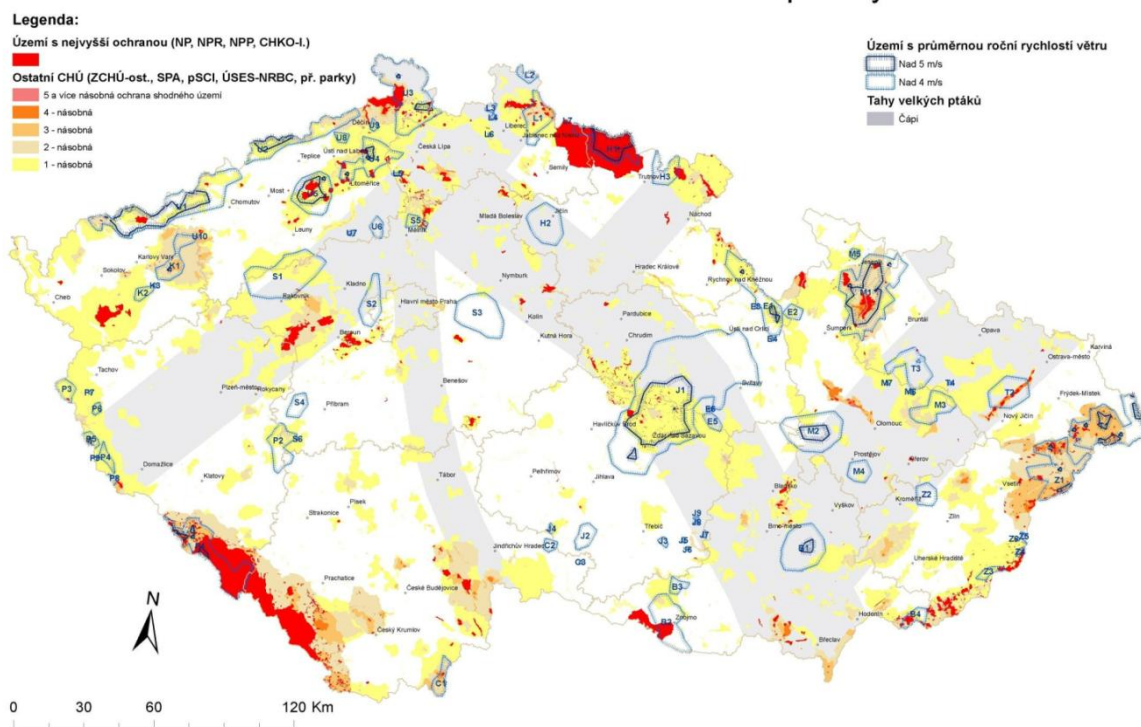
Ochrana přírody

Dalším limitujícím faktorem je ochrana přírodně cenných lokalit. Většina našich pohraničních hor je vedena jako chráněné krajinné oblasti, nebo dokonce jako národní parky a výstavba větrných parků v těchto místech je obtížná, nebo je dokonce zcela vyloučená a lze na ně pohlížet jako na nebilanční oblasti z hlediska rozvoje větrné energetiky. Dalším omezujícím faktorem je křížení vhodných míst pro výstavbu VTE s migračními trasami ptáků. Toto však působí spíše jako zveličený problém. Větším problémem jsou spíše jiní antropogenní činitelé jako automobilismus, budovy, dráty elektrického vedení nebo třeba i chov koček. K zamítnutí výstavby nicméně může dojít nejen z důvodu ochrany přírody, ale i např. kvůli blízkosti letiště, ochranného pásma či vyhrazení dané lokality pro stavbu ve veřejném zájmu (dálnice, železnice atd.).



Obr. 32 Porovnání vhodných míst pro stavbu VTE a chráněných území, Zdroj: [69]

Území vhodná pro umístění větrných elektráren rozbor závažnosti střetů s ochranou přírody



Obr. 33 Mapa míst vhodných pro umístění VTE, Zdroj: [127]

Legislativa a jednání s úřady

Pokud se investor rozhodne postavit větrnou elektrárnu, jedná se o proces, který je poměrně zdlouhavý a většinou finančně náročný. Nezřídka je snaha celý povolovací proces maximálně protáhnout a prodražit. Bohužel některé kraje otevřeně deklarují, že sice nemohou proces výstavby VTE zcela zablokovat, ale budou se ho snažit maximálně zkomplikovat a to i proti vůli obcí, jež o výstavbu VTE mají zájem [128], [129]. Pokud se podíváme na vývoj výstavby, lze si všimnout nulového nárůstu instalovaného výkonu od roku 2014. Stát sice deklaruje podporu výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů, nicméně jeho postoj se po boomu fotovoltaiky významně změnil. Jestliže se dnes rozhodne někdo postavit větrnou elektrárnu, pak je velmi dobrý výsledek, pokud se podaří stihnout proces za 4 roky [130]. Předpokládejme, že lokalita s dobrými větrnými podmínkami již byla vybrána. Poté je třeba se domluvit s majitelem vhodného pozemku, jestli by souhlasil s výstavbou VTE. Je tedy zapotřebí dosáhnout dohody mezi investorem, zhotovitelem a majitelem pozemku (nezřídka jde o pozemek obecní). Dále je třeba jednat se zastupitelstvem obce a místními obyvateli a získat kladné stanovisko k projektu. Pokud není v územním plánu počítáno s výstavbou VTE v dané lokalitě, musí v pozdější fázi

povolovacího procesu dojít i ke změně územního plánu. Dále je třeba oslovit místního distributora elektrické energie a domluvit se za jakých podmínek by bylo možné elektrárnu připojit do rozvodné sítě. Jedná se o základní úkony, bez nichž nelze v projektu dále pokračovat.

Následně se zpracuje dokumentace, která hodnotí vliv na životní prostředí – EIA (**zákon č. 100/2001 Sb.**). Dokumentace je po určitou dobu dostupná veřejnosti na krajském úřadě a veřejnost ji může připomínkovat. Následně je opět odborně způsobilou osobou vypracován oponentní posudek, dokument je opět zpřístupněn veřejnosti a dojde k veřejnému projednání. Po uplynutí zákonných lhůt vydá krajský stavební úřad na základě vyjádření krajského referátu životního prostředí stanovisko k plánované stavbě.

Hodnocen je zejména ornitologický dopad, vliv na krajinný ráz a interakce s blízkými chráněnými územími různého stupně ochrany. I přes kladné stanovisko EIA může dojít ke zpochybnování závěrů ze strany stavebního úřadu nebo místně příslušného odboru životního prostředí a požadují opětovné posouzení některých částí EIA anebo rovnou opakované vypracování celé studie⁵⁹. Pokud je již EIA definitivně uzavřena, mohou si krajské úřady vyžádat ještě studii SEA, která je však obsahově blízká studii EIA. Vyžádá si však další čas a finance. Pokud se podařilo uzavřít hodnocení EIA s kladným výsledkem, následuje změna územního plánu, na jehož konci je vydáno územní rozhodnutí⁶⁰ [131], [132].

Dalším krokem je zahájit stavební řízení, na jehož konci získá investor stavební povolení. Tento úkon se řídí stavebním zákonem (**zákon č. 183/2006 Sb.**). Ještě před započítáním stavby je třeba získat vyjádření úřadu pro civilní letectví, který se vyjadřuje ke stavbám a zařízením, jež přesahují okolní terén o více než 75 metrů. Limit je snížen na 30 metrů, pokud se má stavba umístit na vyvýšené místo a součet výšek je 75m a více nad okolní krajinou [133]. Vzhledem k současným parametrům VTE je tedy takřka samozřejmé, že k posouzení dojít musí. Výjimka by byla možná pouze v případě velmi malých elektráren, které se však již dneska prakticky nestaví. Poté by již mohlo dojít k samotné realizaci stavby a jejímu připojení do sítě. Po několikaměsíčním zkušebním provozu a odstranění případných nedostatků je možno požádat o kolaudační řízení, a pokud je vše v pořádku, je VTE zkolaudována. Stejně jako v případě provozování MVE je třeba získat licenci pro podnikání v energetice dle **zákona č. 458/2001 Sb.**

Obecná úprava podpory výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie (**zákon č. 180/2005Sb.**) byla účinná od 1. 8. 2005 do 31. 12. 2012. Tento zákon byl nahrazen od 1. 1. 2013 zákonem o podporovaných zdrojích energie (**zákon č. 165/2012 Sb.**). V případě větrných elektráren je garantována výkupní cena po dobu 20 let od uvedení do provozu (**příloha č. 3 k vyhlášce č. 475/2005Sb.**, kte-

⁵⁹ Celý proces EIA je poměrně finančně nákladný a může vyjít na více než 1 milion korun. Výsledek je navíc nejistý.

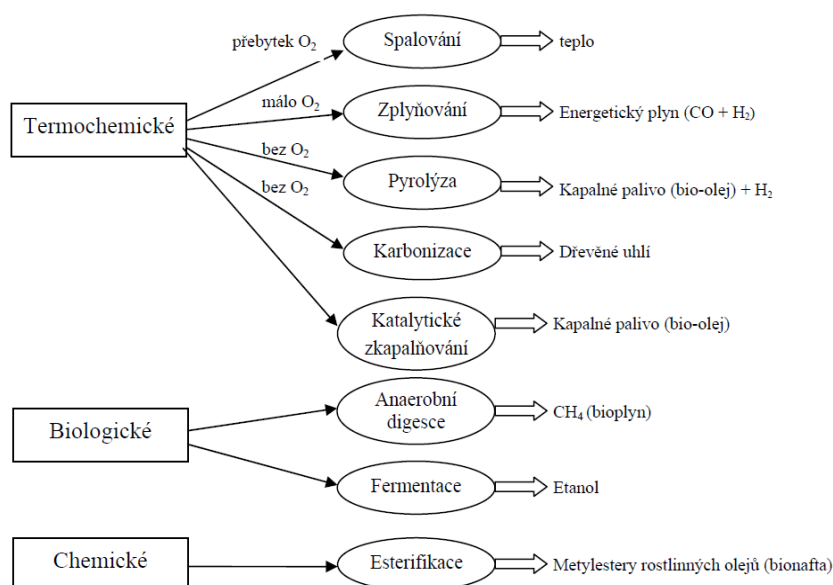
⁶⁰ Někdy je možné zahájit proces změny územního plánu již v době posuzování EIA. Některé krajské úřady však takovou možnost nepřipouští a trvají zahájení změn územního plánu až po ukončení procesu EIA. Změna územního plánu může trvat řádově měsíce, ale i více než 2 roky.

rou se provádějí některá ustanovení zákona o podpoře využívání obnovitelných zdrojů, účinná od 7. 12. 2005 do 31. 12. 2012, aktuálně platná je **vyhláška č. 296/2015 Sb.**, o technicko-ekonomických parametrech pro stanovení výkupních cen pro výrobu elektřiny a zelených bonusů na teplo a o stanovení doby životnosti výroben elektřiny a výroben tepla z obnovitelných zdrojů energie (vyhláška o technicko-ekonomických parametrech).

Základní procesy a technologie přeměny biomasy

Při zpracování biomasy se používají procesy termochemické (suché), biochemické (mokrý) a chemické procesy. Obvykle je hranice mezi mokřými a suchými procesy dána obsahem vody. Pokud je obsah vody v sušině nižší než 50%, využívají se procesy termochemické, v opačném případě se jedná o procesy biochemické. Dalším typem je fyzikální (mechanické) zpracovávání biomasy, tj. štípání, drcení, lisování, balíkování, briketování, peletování, mletí, rozduřování atd. [71]. Cílem je uzpůsobit biomasu takovým způsobem, aby se snadněji přepravovala a následně dobře spalovala nebo fermentovala.

Obrázek 9: Základní procesy a technologie přeměny biomasy



Obr. 34 Základní procesy a technologie přeměny biomasy, Zdroj: [71]

Termochemické procesy

Spalování

Jedná se o nejčastější a nejběžnější způsob využití biomasy. Při spalování (oxidaci) biomasy dochází k uvolnění tepla, které je využito k vytápění nebo k výrobě elektrické energie. V případě obou procesů v jednom zařízení hovoříme o tzv. kogeneraci (kombinovaná výroba elektřiny a tepla – KVET).

Zplyňování

Další metodou jak přeměnit biomasu je její zahřátí na vyšší teploty s omezeným přístupem vzduchu, což vede k uvolnění prchavé hořlaviny. Vzniklý plyn má nízkou výhřevnost (cca 4 až 6 MJ/m³) a obsahuje cca 18-20% CO, 18-20% H₂, 2-3 % CH₄ a zbytek dusíku. V plynu se dále nachází i dehty, fenoly a tuhé částice

V současnosti se používají dva základní způsoby zplyňování. A to zplyňování v generátorech s pevným ložem a ve fluidních generátorech. Oba dva typy pracují při atmosférickém tlaku. První metoda je jednodušší a méně investičně náročná, avšak použitelná jen pro nižší výkony. Pracovní teplota činí asi 500°C. Nevýhodou je značná tvorba dehtů a fenolů, které se pak obtížně odstraňují.

U fluidních generátorů se pohybuje pracovní teplota okolo 850-950°C, což omezuje obsah dehtových zbytků a vyšších uhlovodíků v plynné směsi.

Pyrolýza

Pyrolýza je termický rozklad za nepřístupu kyslíku. Její podstatou je ohřev přítomných organických sloučenin nad mez termické stability, což vede k jejich štěpení až na stále nízkomolekulární produkty a tuhý zbytek.

Z technologického hlediska ji členíme na nízkoteplotní (do 500°C), středněteplotní (500-800°C) a vysokoteplotní (nad 800°C).

Za zmínku stojí ještě tzv. rychlá pyrolýza. Biomasa jako např. dřevo a jiné odpadní materiály se přemění na jiná hodnotnější paliva jako je plyn, kapalina a pevný zbytek⁶¹. Princip spočívá v přívodu vzduchu o teplotě 450-900°C a tlaku 0,1MPa do pyrolýzního rektoru s biomasou na velmi krátkou dobu (do 2 sekund). Tím dochází k uvolnění par a aerosolů, v menší míře pak i plynů a tuhých částic. Tato směs se rychle ochladí a dochází ke vzniku velkého podílu (60-75%) tmavohnědé kapaliny o nízké viskozitě s hustotou asi 1200kg/m³ a výhřevností okolo 16-20MJ/kg. Lze ji snadno skladovat a po vyčištění ji lze používat jako palivo. Vlastnostmi odpovídá topnému oleji, nebo naftě. Jen má asi poloviční výhřevnost. Při výrobě této „bionafity“ je však třeba dbát na nízký obsah vody v biomase (do 10%), aby se tím omezila jedna z nevýhod tohoto paliva a tím je vyšší obsah vody (do 15-20%).

Karbonizace

Dochází při ní k termické přeměně (suché destilaci) tuhé biomasy bez přístupu vzduchu, jejímž hlavním produktem je dřevěné uhlí. Tato nejstarší známá termická přeměna biomasy eliminuje obsah těkavých složek a zvyšuje podíl uhlíku nad 80%,

⁶¹ Pro výrobu kapalných paliv se nemusí používat pouze biomasa. Využít lze i odpadky, pneumatiky, plasty nebo uhlí. Poslední jmenované se používalo v době nedostatku ropy např. během druhé světové války. Na našem území byl v Záluží u Litvínova závod na výrobu pohonných hmot [134].

přičemž čím vyšší je karbonizační teplota, tím vyšší je obsah uhlíku a uhlí je také tvrdší. Měrná hmotnost činí asi $200\text{kg}/\text{m}^3$ při výhřevnosti kolem $27\text{MJ}/\text{kg}$.

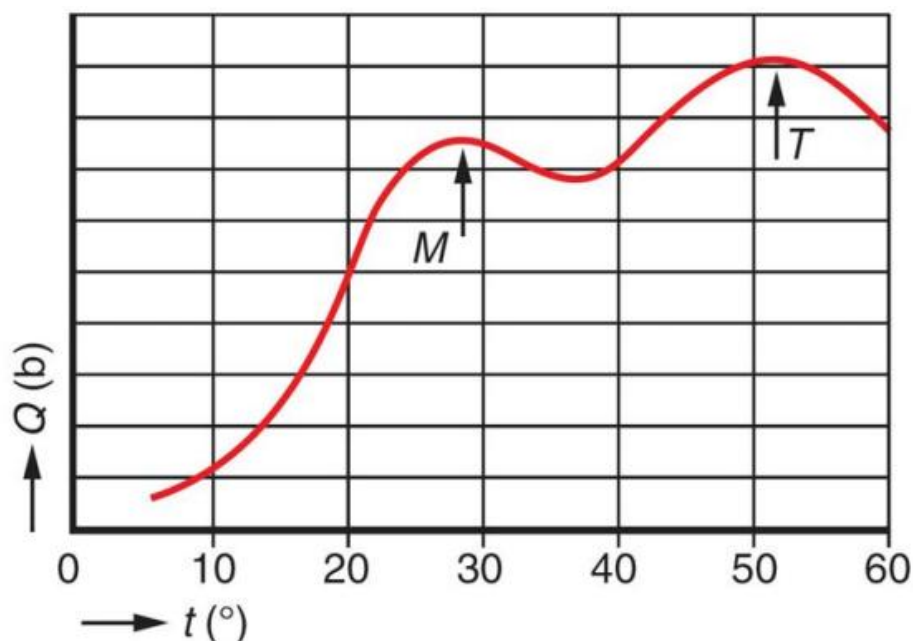
Katalytické zkapalňování (hydrolýza)

Jedná se o proces, založený na nízkoteplotním, vysokotlakém, termochemickém, konverzním procesu, který probíhá při teplotě cca $300 - 350^\circ\text{C}$ a tlaku $12-20\text{MPa}$ ve vodním prostředí. Je však třeba použít katalyzátor nebo vysoký parciální tlak vodíku. Důvodem používání této pracnější metody oproti pyrolýze je vyšší kvalita výsledných produktů.

Biochemické procesy

Anaerobní metanová fermentace

Anaerobní fermentace (digesce, vyhnívání) je založena na mikrobiologické transformaci organických látek. Jako surovinu můžeme použít biologicky rozložitelné složky komunálního odpadu, zvířecí exkrementy, kaly z ČOV a jiné druhy biomasy,

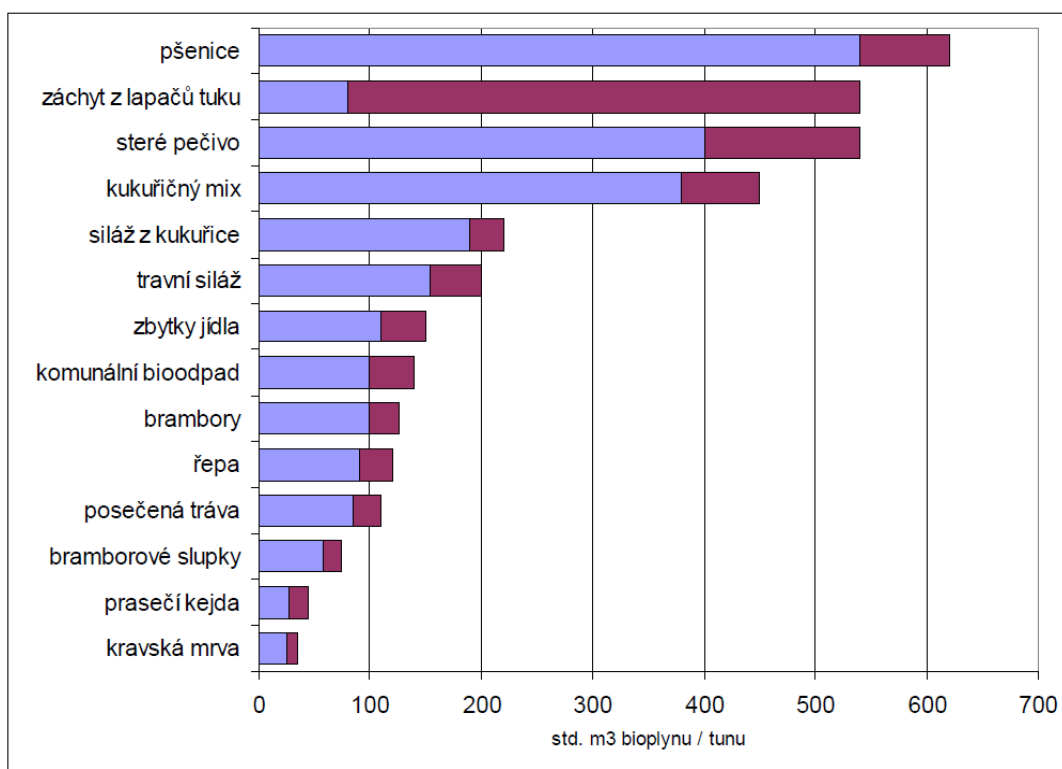


Obr. 35 Závislost produkce bioplynu na teplotě fermentačního procesu,
Zdroj: [135], str. 42

které v bezkyslíkatém prostředí vedou ke vzniku bioplynu a digestátu. Bioplyn tvoří směs plynů s výhřevností obvykle mezi $20-24\text{MJ}/\text{m}^3$, kde největší zastoupení má metan (50-80%), dále oxid uhličitý (20-40%) a zbytek okolo 1-3% tvoří plyny jako dusík, sirovodík nebo vzácné plyny. Výhodou oproti běžnému používání organických hnojiv v zemědělství je využití energetického obsahu ve formě bioplynu

a zlepšení vlastností hnojiva. Dochází k zachování hlavních živin a humusotvorných komponent při současném zničení patogenních zárodků a semen plevelů. Po procesu fermentace je výsledný produkt bez zápachu a neohrožuje podzemní ani povrchové vody možnou kontaminací [71], [136].

Významným faktorem metanogenního procesu je také zvolené teplotní pásmo. Dělí se na 3 oblasti - psychrofilní 15 – 20°C, mezofilní 30 – 40°C a termofilní okolo 55°C. Proces tvorby bioplynu se spouští při teplotě 4°C, nicméně jak je patrné z grafu, z důvodu nižší výtěžnosti se nízké teploty nepoužívají, přestože je při nich dosaženo vyšší koncentrace metanu v produkovaném bioplynu. Nejčastěji používaná provozní teplota je mezi 30-40°C, tj. v mezofilním pásmu teplot. Z hlediska celkové energetické výtěžnosti se nejlepších výsledků dosahuje v termofilním pásmu teplot (45-60°C). Dochází také k rychlejšímu rozkladu organických látek a možnosti více zatížit bioreaktor. Nevýhodou je vyšší spotřeba tepla oproti mezofilnímu procesu, nižší procentická koncentrace metanu a vyšší náchylnost metanogenních bakterií na výkyv teplot, kdy mikroorganismy snášejí výkyv cca 1°C. Při výrobě bioplynu je důležitá také koncentrace sušiny v reaktoru. Pokud je podíl pouze 3-5%, nedosahuje množství vyrobeného tepla potřebám bioreaktoru a musí se dodávat i externě. Většinou je obsah sušiny 4-8% u kejdy hospodářských zvířat a u energetických plodin při použití speciálních čerpadel může být až 14% [135], str. 42-43.



Obr. 36 Výtěžnost bioplynu z různých surovin, Zdroj: [71]

Anaerobní alkoholová fermentace

Alkoholové kvašení lze využít nejen v potravinářství, ale i pro výrobu paliv. Cukry a škroby obsažené např. v cukrové řepě, obilí nebo bramborách se rozkládají za působení kvasinek na alkohol a oxid uhličitý. Výtěžnost z 1kg cukru dosahuje asi 0,65l etanolu [137]. Výroba etanolu je však možná i z lignocelulózové biomasy jako je např. sláma, dřevo a různé energetické plodiny. Svoji výhřevností nedosahuje parametrů automobilového benzínu, a proto je spotřeba vyšší než u konvenčního paliva.

Chemické procesy – esterifikace

Posledním hojně rozšířeným způsobem zpracování biomasy je esterifikace. Používá se zejména při úpravě rostlinných olejů na bionaftu. Podstatou je záměna molekuly glycerinu za metanol (případně i etanol). Nejčastěji se používá řepkový olej⁶². Může se však použít i olej slunečnicový, nebo zbytky olejů z restaurací a potravinářských závodů. Výsledný produkt se svými vlastnostmi a výhřevností podobá motorové naftě.

palivo	bionafta	bioetanol		biometan			biometan	
	řepka olejka	cukrová řepa	pšeničné zmo	cukrová řepa	pšeničné zmo	kukuřice	triticale celá rostlina	triticale celá rostlina *
<i>energetický poměr (energie získaná/energie vložená)</i>	1,84	2,2	2,36	5,5	3,79	6,36	6,84	8,34
čistá vyprodukovaná energie (GJ/ha)	18,5	63,7	35,1	102,1	65,5	132,4	141,7	146,1
ekvivalentní litry nafty (diesel equivalent)	517	1779	980	2704	1726	3514	3764	3885

Tab. 18 Podíl získané a vložené energie (EROEI index) u vybraných druhů fytohmoty, Zdroj: [138]

Energetické rostliny a dřeviny

Biomasu lze získat jak z lesních porostů, tak i cíleným pěstováním na zemědělské půdě. V případě lesů je produkce biomasy pro energetické účely spíše druhotná. Primárním cílem je získat kvalitní dřevo, které lze následně prodat za mnohem vyšší cenu (pro výrobu nábytku, stavební řezivo atd.) než dřevo a lesní zbytky, které mají hodnotu danou svojí výhřevností a mohou být nahrazeny jiným druhem paliva s nižší cenou např. uhlím⁶³. Potenciál lesní biomasy je v zásadě daný, protože je determinován produkcí dřeva pro neenergetické využití a energetickým vyu-

⁶² Vzhledem k záměně molekuly glycerinu a metanolu je vedlejším produktem glycerin. Název výsledného produktu methylester řepkového oleje (MEŘO) je možná řidičům povědomý.

⁶³ Biomasa má výhřevnost okolo 15-20MJ/kg u prosušené hmoty. Při porovnání s fosilními palivy tedy dosahuje asi poloviční výhřevnosti.

žitím lesních zbytků. V případě zemědělské půdy se situace liší. Lze volit mezi cíleným pěstováním stébelnaté biomasy (fytomasa) a dřevní biomasy (dendromasa). Možnosti využití se mohou mezi sebou lišit. Zatímco fytomasa se může jak spalovat, tak ji lze využít i pro bioplynové stanice. Oproti tomu dendromasa se asi bude převážně využívat termicky, nejspíše k přímému spalování. Na druhou stranu, výhodou dendromasy může být i její výška, která může omezovat větrnou erozi a zastat roli větrolamu v krajině. Případně by mohla být do určité míry použita i jako protihluková stěna a větrolam v okolí silnic. Výhodou je také kratší obmýtní doba než u lesních porostů. V případě fytomasy může dojít ke sklizni již v témže roce a v případě rychle rostoucích dřevin můžeme hovořit o letech dle způsobu použití (štěpka x polena). Existuje velké množství různých rostlin a dřevin, které lze použít pro energetické účely a není možné je všechny zmínit. Navíc některé poznatky není možné univerzálně přenášet do českých podmínek. Mnohé velmi zajímavé rostliny a dřeviny mohou u nás trpět nedostatkem vody, slunce, nižšími teplotami nebo mrazíky na začátku a konci vegetačního období anebo i přes výborné parametry se nemohou používat z důvodu rizika nekontrolovatelného šíření (invasivní druhy)⁶⁴. Zmínění tedy budou pouze někteří zástupci říše rostlin.

Čiroky (Sorghum Adams)

Čirokovité patří mezi rostliny s nízkými nároky na vodu (spadají do kategorie C4). Na produkci 1kg sušiny potřebují pouze 200 litrů vody, což je ještě o 100 litrů méně než u kukuřice. Jsou poměrně náročné na teplo a hnojení. Pro energetické účely lze použít čirok – súdánská tráva. Dorůstá do výšky 2-3 metry. Oproti čiroku cukrovému rychleji ztrácí vodu a lze jej sklízet již v časném podzimu. Dobře zvládá pěstování i na důlních výsypkách a zrekultivovaných plochách. Výhodou je velmi vysoký **výnos 14-18 tun sušiny na hektar** plochy.

Kukuřice

Poměrně oblíbená plodina také z kategorie C4. Kromě pěstování na zrno a siláž pro hospodářská zvířata se v poslední době hojně používá i do bioplynových stanic. Výnos činí asi **19,6 tuny** sušiny na hektar⁶⁵. Jedná se o širokořádkovou plodinu, a proto není vhodná na svažité pozemky z důvodu vodní eroze. Poměrně náročná na dodávky hnojiv.

⁶⁴ Často i ten samý druh rostliny se může významně lišit na jednotlivých stanovištích v ČR. Důvody lze hledat v klimatických podmínkách lokality, půdním typu, druhu apod.

⁶⁵ Výnos odpovídá odrůdě Atletiko, která dosáhla vynikajících výsledků pro výrobu bioplynu 8940m³ metanu na hektar plochy.

Konopí seté (*Cannabis sativa*)

Jedná se o víceúčelovou plodinu. Kromě energetického využití z ní lze získávat i textilní vlákna. Semena zase obsahují zdravotně hodnotný olej, který lze získávat lisováním. Dobře snáší i vyšší polohy, kde zužitkuje dostatek srážek a vysadit jej lze i na rekultivovaných plochách. Dorůstá výšky cca 2-3m. Mírně problematictější může být provedení sklizně z důvodu vláken, které se zamotávají do žacího ústrojí. Výnos nadzemní suché hmoty se pohybuje okolo **8,5-16 tun** na hektar.

Krmný sléz – sléz přeslenitý (*Malva verticillata* L.)

Krmný sléz je vysoká dobře se rozvětvlující plodina. Používá se i jako zelené krmi-vo. Dobře odolává zaplevelení a vlivem samovýsevu je možno ji považovat za více-letou rostlinu. Sklízet lze podobně jako obilí. Patří mezi nenáročnou rostlinu a dobře se jí daří i ve vyšších polohách. Výnos suché hmoty činí asi **8-12 tun** na hektar.

Komonice bílá (*Melilotus alba* Medikus)

Po výsevu je schopna se udržet na stanovišti i 7-8let. Pro krmení není příliš vhodná. Hustě se větví lodyha může v dobrých podmínkách dosáhnout vzrůstu i více než 2,5 metru. Výnos suché nadzemní hmoty se pohybuje okolo **12-15 tun/ha**.

Mužák prorostlý (*Silphium perfoliatum* L.)

Tato víceletá žlutě kvetoucí rostlina dorůstá výšky 1,8-2,5m. Lépe prosperuje v teplejších oblastech, ale zvládá i střední polohy. Sklízet lze stejně jako kukuřici silážní řezačkou, optimálně až po částečném vyschnutí v srpnu nebo září. Výnos suché nadzemní hmoty se pohybuje okolo **12-15 tun/ha**.

Obr. 37 Ukázka půdochranné funkce šťovíku v době růstu a po seči, Zdroj: [139]

Šťovík krmný (*Rumex tianshanicus* x *rumex patientia*)

Na stanovišti může vydržet až 18 let, což příznivě ovlivňuje náklady na založení za celý pěstební cyklus. Od druhého roku dosahuje vzrůstu kolem 2 met-



rů. Nemá vyhraněné nároky na stanoviště, je odolný proti vymrzání (vyšlechtěn byl v Rusku), dobře prosperuje i ve vyšších polohách. Jen na chudších půdách vyžaduje vyšší hnojení. Má vysokou pícninářskou hodnotu a hodí se i do siláže. Oproti kukuřici má dobré protierozní vlastnosti. Zelenou hmotu lze sklízet až 5x do roka, což je příznivé pro účely výroby bioplynu i krmné účely. Pro účely spalování je vhodná pouze 1 sklizeň při dostatečně vyzrálém porostu. Výnos suché nadzemní hmoty se pohybuje okolo **15-25 tun** na hektar⁶⁶.

Křídlatka

Svémi výnosy se jí obtížně hledá konkurent s podobnými přírůstky fytomasy. Problematická je však její invazivnost, která značně komplikuje její využití. Existují i méně expanzivní druhy křídlatek jako např. křídlatka sachalinská (*Polygonum sachalinense*), nicméně její masivní pěstování nelze v současnosti doporučit i přes výnosy sušiny až **30tun/ha**.

Bělotrn kulatohlavý (*Echinops sphaerocephalus* L.)

Tato vytrvalá rostlina se u nás vyskytuje i planě zejména na sušších lokalitách. Výhodou je vysoká pevná a rychle vysychavá lodyha. Příznivě vychází i hodnota spalného tepla (19,6MJ/kg). Sklízet lze běžnou silážní řezačkou a materiál lze použít i jako štěpku. Dosahuje vysokých výnosů sušiny okolo **14-16tun/ha**.

Topolovka růžová (*Alce rosea* L.)

Vysoká statná rostlina dorůstající okolo 2 metrů, která se udrží na stanovišti po řadu let. Ceněna je také pro svoji estetickou hodnotu (kvete celé léto) a léčivé účinky. Sklízet se může zpravidla od září např. silážní řezačkou. Díky síle stébel jako u kukuřice ji lze použít i jako štěpku pro vytápění. Výnos suché nadzemní hmoty se pohybuje okolo **13-16 tun/ha**.

⁶⁶ Přestože obvykle kukuřice poskytuje vyšší výnosy, v případě suchého a horkého počasí se výnosy mohou vyrovnat, nebo dokonce i snížit pod úroveň šťovíku. Vděčí za to jednak svému hlubokému kořenovému systému a také tím, že je zde posunuta doba vysoké produkce biomasy do června, čímž předstihne možná letní sucha oproti kukuřici, která tvoří biomasu později. Odolností proti suchu předstihuje i jetel, vojtěšku a trvalé travní prostory. Dále pěstební náklady jsou méně než poloviční oproti kukuřici [140]. Jedná se také o dobrou předplodinu, protože po ukončení jejího pěstování zůstává v půdě až 60 tun organické hmoty na hektar [141].



Obr. 38 Topolovka růžová, Zdroj: [142]

Ozdobnice čínská – miscanthus (*Miscanthus sinensis* Anderss.) (sloní tráva)

Tato vysoká robustní tráva, dorůstající až 4 metrů, vzhledově připomíná rákos. Na stanovišti by se měla udržet až 20let. Poskytuje velmi vysoké výnosy sušiny kolem **20 tun/hektar**. Je však poměrně náročná na založení (u nás lze množit pouze vegetativně) a následnou péčí. Sklízet se může od listopadu do března po přemrznutí. Výhodou je nízká vlhkost materiálu bez nutnosti dosoušení. Bohužel však zároveň dochází při přemrznutí ke ztrátě asi 30-40% hmoty⁶⁷. Vyžaduje teplá a vlhká stanoviště. Teplé oblasti našeho státu ovšem patří k těm sušším. Ve vyšších polohách je zase limitujícím faktorem nižší teplota. V ČR trpí na vymrzání. Praktické zkušenosti u nás vedly dle stanovišť k značně odlišným výsledkům – **Ruzyně 18,05t/ha, Troubsko u Brna 14,47t/ha, Lukavec u Pacova na Vyšochině pouze 6,16t/ha**.

Chrastice – lesknice rákosovitá (*Phalaroides arundinacea*)

Tato bylina se u nás přirozeně vyskytuje, zvláště na stanovištích s dostatkem půdní vláhly. Dorůstá až do dvou metrů. Je náročná na živiny, ne však na agrotechniku. Vytváří dlouhé podzemní výběžky, což ji činí značně vytrvalou s dobrou protierozní ochranou a odolnou proti suchu (ale snáší i zamokření). Sklízí se většinou koncem léta po plném vyzrání semen, kdy bývá nejsušší. Výnos sušiny se pohybuje okolo **9-10 tun/ha**, při dobrém hnojení i **13-15 tun/ha**.

Kostrava rákosovitá (*Festuca arundinacea*)

Tato tráva dorůstá do výšky 1,2-1,5 metru. Je nenáročná, s dobrou mrazuvzdorností, příznivě na výnos působí vlhčí stanoviště, nevadí však ani sušší podmínky. Dobře prosperuje i na zamokřených loukách a jiných okrajových stanovištích. Vy-

⁶⁷ Pro účely výroby bioplynu není třeba čekat na zimní období – vlhkost nevadí.

tváří statné trsy, bohatý a široce rozvětvený kořenový systém sahající až do hloubky 150cm. Kromě dobré protierozní schopnosti se tedy hodí i pro udržení vody v krajině. Výnos suché hmoty se pohybuje mezi **8-14 tunami**/ ha.

Sveřep bezbranný (*Bromus inermis*)

Vytváří hustou síť podzemních výběžků, což lze zužitkovat i v protierozní ochraně, pro tvorbu protierozních a zasakovacích pásů v polích apod. Např. u odrůdy Tribun dosahuje výnos **12-15 tun** sušiny na hektar.

Rákos obecný (*Phragmites australis*)

Statná vytrvalá bylina se stébly dorůstajícími 1 až 4 metrů běžně se vyskytující na březích potoků a bažinatých nebo jinak silně zamokřených stanovištích. Dosahuje dobrých výnosů okolo **10-15 tun** sušiny na hektar (výjimečně až 40 tun). Výhodou je možnost použití pozemků pro jiné využití nevhodných. Na druhou stranu silně zamokřené pozemky představují komplikaci z hlediska mechanizované sklizně a mohou vyžadovat provedení sklizně až po zamrznutí půdy [71].

Druh rostliny	Spalné teplo (s popelovinami) MJ/kg	Průměrný výnos suché hmoty t/ha	Energetický obsah GJ/ha
Řepka sláma	17,484	4,5	78,68
Čirok Hyso	18,840	16,0	282,51
Kukuřice	18,100	19,6	354,76
Konopí seté	18,060	12,0	216,72
Krmný sléz	17,581	10,0	175,81
Komonice bílá	19,892	13,5	268,54
Mužák prorostlý	17,941	13,5	242,20
Šťovík krmný	17,751	20,0	355,02
Křídlatka	19,444	30,0	583,32
Bělotrn kulatohlavý	19,610	15,0	294,15
Topolovka růžová	17,000	14,5	246,50
Ozdobnice čínská	18,500	16,0	296,00
Chrastice rákosovitá	17,5 (odhad)	12,0	210,00
Kostřava rákosovitá	17,5 (odhad)	11,0	192,50
Sveřep bezbranný	17,5 (odhad)	13,5	236,25
Rákos obecný	17,5 (odhad)	15,0	262,50

Tab. 19 Energetický obsah v GJ/ha dle druhu rostliny

Z tabulky je možno vyčíst přibližný energetický výnos různých druhů fytomasy. Nicméně jedná se o průměrné hodnoty a na jednotlivých stanovištích se mohou mezi sebou významně lišit v závislosti na klimatických podmínkách, půdě a hnoje-

ní. V případě posledních čtyř druhů energetických trav jsem odhadnul možnou hodnotu výhřevnosti, protože jsem nenašel odpovídající hodnoty. Nicméně s ohledem na hodnoty spalného tepla nelze očekávat významnější odchylky od odhadnutých hodnot. Vzhledem k přirozenému obsahu vlhkosti ve fytomase lze očekávat výhřevnost při 20% vlhkosti okolo 15MJ/kg, tedy přibližně tolik, jako má dřevní hmota při stejném obsahu vody. Při sušším počasí ovšem může vlhkost klesnout i pod 20%, což se pozitivně odrazí na výhřevnosti⁶⁸. Dalším důležitým aspektem je náročnost založení produkční plochy, agrotechnická náročnost v průběhu vegetační sezóny, odolnost vůči vymrzání a požadavky na hnojení. Pak mohou být vhodnější i rostliny s nižším výnosem. Volba vhodné plodiny může záviset i na svažitosti pozemku z důvodu protierozní ochrany, vlivu sucha na výnos, schopnosti zadržet v krajině vodu atd. S výjimkou řepkové slámy se průměrný energetický obsah pohybuje okolo 281GJ/ha. Velmi perspektivní se zdá být kukuřice, šťovík, bělotrn a čirok. S velkým odstupem před nimi stojí křídlatka, která by se však z důvodu své expanzivnosti mohla začít nekontrolovatelně šířit a zahlušovat ostatní ekosystémy. Problémy např. s bolševníkem nebo i pajasanem žlaznatým jsou mnohým známy [143].

Další možností jak získávat biomasu je cílené pěstování dřevní hmoty. V současnosti je v ČR spíše nadbytek zemědělské půdy a část nevyužitých ploch lze použít i k jiným účelům než k produkci potravin⁶⁹. Nejčastěji se používají japonské topoly a vrby. Poměrně novým zástupcem je i Paulownie, nicméně zatím není dostatek relevantních dat pro objektivní srovnání výnosů této dřeviny v našich klimatických podmínkách.

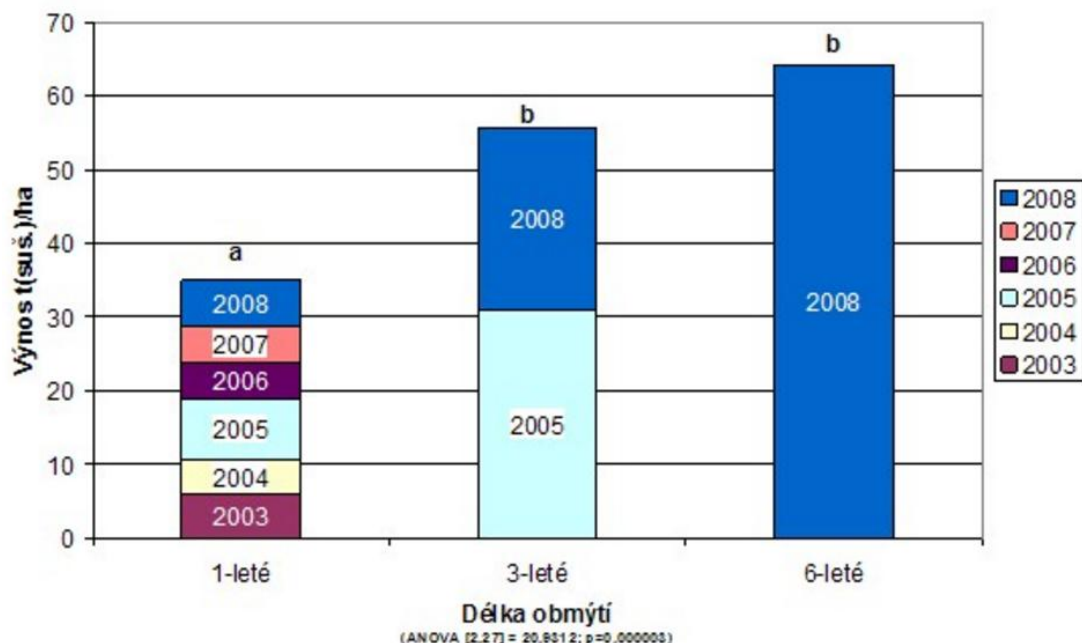
Japonský topol

Tato energetická dřevina se sází v řadách v počtu 7-10 tisíc jedinců na hektar. Vyšší hustota sadby se provádí v případě záměru produkovat dřevní štěpku. Obmýtní doba pro přípravu štěpky dosahuje asi 2-3 let, pro přípravu polínek asi 5-7 let. Životnost plantáže činí asi 15-25 let. Při jejím rušení se odstraní pařezy a kořenový systém se vyorá hlubokou orbou. Pokud by na stanovišti došlo k poklesu živin v půdě, doporučuje se půdu dohnojit nebo osít jetelo-travní směsí nebo vojtěškou [146].

Celkový výnos suché dřevní hmoty se liší v závislosti na klonu a obmýtní době. V porovnání s vrby plocha plantáží topolů významně vede v poměru 9:1 [147].

⁶⁸ V případě použití u bioplynových stanic není vlhkost fytomasy při sklizni příliš důležitá.

⁶⁹ Významná část potravin se zejména v bohatých zemích vyhazuje. V podstatě jde o nadbytečnou produkci. Celkem může jít o 5-40% dle regionu. ČR se vyhazuje asi 1/3 potravin. Jinými slovy 1/3 zemědělské půdy v ČR se používá pro výrobu potravin, které se vyhodí. Půda by se tedy dala využít i jinak, nicméně jak omezit plýtvání a uvolnit půdu i pro nepotravinářské využití by bylo na samostatné téma mimo rozsah této práce [144], [145].



Obr. 39 Kumulovaný výnos biomasy dosažený klonem J-104 při různé délce obmýti v pokusném porostu na lokalitě Peklov, Zdroj: [147]

Z grafu je patrné, že každoroční obmýti v případě klonu J-104 není vhodné z důvodu nižší výnosnosti a při srovnání obmýtní doby 3 a 6 roků vychází lépe 6 letý cyklus. Průměrný roční výnos dosáhl 5,7 tuny sušiny na hektar při každoroční sklizni, při 3 letém cyklu se dosáhlo výnosu 9,2 tuny/ha a nejlepší výsledky poskytla sklizeň po 6 letech s přírůstkem 11,7 tuny sušiny na hektar.

Zajímavé výsledky s různými klony topolů přineslo pěstování v lokalitě Domanínek v katastru obce Bystřice nad Pernštejnem.

Znak Klon	délka kmene (m)	průměr kmene (cm)	výnos štěpky z 1 ha		sušina (%)	výnos sušiny	
			(t)	(%)		(t/ha)	(t/ha/rok)
1.JAP 104	11	9	203,2	75,8	46,4	94	16
2.JAP 105	11	10	268	100	47,5	127	21
3.P 524	8,9	8	135,6	50,6	51,8	70	12
4.P 473	10	10	222,3	82,9	48,5	108	18
5.P 494	8,7	7	232,5	86,7	49,9	116	19
6.STY 6	5,6	6	185,6	69,3	49,9	93	16
7.P Nigra	6,7	7	153,1	57,1	45,5	70	12
8.Generosa	8,3	4	136,7	51	55,6	76	13
MD 0,05			29,47	15,3			
MD 0,01			40,12	20,9			

Tab. 20 Vybrané výsledky zkoušení RRD z let 2001-2006 stanoviště Domanínek – topoly, Zdroj: [148]

Výsledky významně překonaly výnosy z lokality Peklov. V případě klonu J-105 (JAP-105) se dosáhlo ročního výnosu 21 tun sušiny/ha a druhý v pořadí, klon P-494, dosáhl na výnosu 19 tun sušiny/ha.

Vrby

Vrby jsou méně často pěstovaným zástupcem RRD. Podrobnější srovnání výnosů z různých stanovišť je tedy při vyšší míře reprezentativnosti trochu obtížnější. Svými vlastnostmi a výhřevností se podobá japonskému topolu, nicméně ve výnosnosti mírně zaostává. U některých klonů se však téměř může vyrovnat. Výsadba se provádí v rozsahu 6-15 tisíc jedinců na hektar. Vyhovují jí spíše vlhčí stanoviště okolo řek. Pěstuje se většinou k produkci štěpky [149]. Obmýtní doba je tedy spíše kratší. Jisté srovnání můžeme opět provést z lokality Domanínek. Nejlepších výnosů dosáhl klon S 123. S celkovou produkcí 17 tun sušiny na hektar. Dobrých výsledků dosáhl i Viminalis, S 270 a SDK MN. Všechny tři klony dosáhly výnosu 14 tun suché hmoty na hektar [148].

Znak Klon	délka kmene (m)	průměr kmene (cm)	výnos štěpky z 1 ha		sušina (%)	výnos sušiny	
			(t)	(%)		(t/ha)	(t/ha/rok)
1.S 234	7	5	83,7	50,9	52,1	44	7
2.SDK MN	8,5	6	164,3	100	50,8	83	14
3.Viminalis	7,5	5	155,5	94,6	54,2	84	14
4.S 110 MN	4,3	3	96,6	58,8	54,4	53	9
5.Swim 519	7,8	4	106,4	64,8	54,5	58	10
6.Swim 337	8,9	6	142,3	86,6	52,5	75	12
7.Swim 218	8,7	6	131,1	79,8	52,6	69	11
8.S 417	5,7	4	140,4	85,5	54	76	13
9.S DAPY	5,6	3	160,5	97,9	50,4	81	13
10.S 123	8,4	8	214,3	130,4	48,5	104	17
11.S270	9,6	7	160	97,4	51,1	82	14
12.S237	7,3	5	103,1	62,8	51,6	53	9
13.S 457	6,8	6	93,1	56,7	52,1	49	8
14.S 699	5,3	4	103,7	63,1	51,4	53	9
15.S 310	7,1	5	109,5	66,6	51	56	9
MD 0,05			30,4	18,5			
MD 0,01			40,8	24,7			

Tab. 21 Vybrané výsledky zkoušení RRD z let 2001-2006 stanoviště Domanínek – vrby, Zdroj: [148]

Paulownie

Poměrně nový zástupce mezi RRD. Svými parametry je určena pro produkci dřeva. Vytváří totiž statný kmen. Po 5- ti letech by mohla dosáhnout obvodu kmene až

70cm⁷⁰. Jistým rizikem by mohla být invazivnost zejména v teplejších oblastech ČR. Přestože se semena považují spíše za neživotaschopná, i v našich klimatických podmínkách může dojít ke změně vlivem přicházející klimatické změny⁷¹. Prozatím není dostatečné množství informací, které by dokázaly relevantně zodpovědět otázku, jaký je získatelný energetický obsah z hektaru v naší krajině [150], [151].

Dřevina	Spalné teplo (s popelovinami) MJ/kg	Průměrný výnos suché hmoty t/ha	Energetický obsah GJ/ha
Japonský topol	20,000	10,0	200,00
Japonský topol	20,000	15,0	300,00
Japonský topol	20,000	20,0	400,00
Vrba	18,200	11,0	200,20
Vrba	18,200	14,0	254,80
Vrba	18,200	17,0	309,40

Tab. 22 Energetický obsah vybrané dendromasy na hektar v závislosti na výnosu sušiny

Na základě dostupných dat o produkční schopnosti RRD byly vytvořeny 3 varianty výnosu. A to průměrný, nadprůměrný a optimální. Reálná data potvrzují možnost dosáhnout výnosu přibližně 20 tun sušiny na hektar u topolů a až 17 tun v případě vrb. Více pravděpodobný je však prostřední scénář. I přes snahu dosáhnout vysokých výnosů se nemusí podařit vybrat nejlepší klon pro danou lokalitu a podmínky na místě mohou být mimo vegetační optimum dané dřeviny, což se projeví na výnosu. Pravděpodobně bude častěji limitujícím faktorem voda než teplota. Dokonce na chladnějším stanovišti z důvodu dostatku vláhy může být dosaženo lepších výsledků než v teplejších oblastech ČR. Celkový energetický obsah byl stanoven na základě dat z webu biom.cz [148], [152] a na základě dat z prospektu VŠB [149]. Autor si dovede představit hodnoty pro spalné teplo mezi 18 až 20MJ/kg bez rozdílu pro obě dřeviny. I přes určitou míru nejistoty lze považovat za reálné dosažení energetického zisku z hektaru okolo 300GJ. Nevýhodou dřevin je delší čas potřebný k dosažení nižší vlhkosti oproti fytomase. Celkově lze RRD hodnotit jako konkurenceschopné vůči fytomase.

⁷⁰ Uvedené údaje však třeba brát s rezervou. Dle různých autorů se výnos biomasy různých rostlin pohybuje ve značném rozpětí a i u jednoho druhu v závislosti na stanovišti mohou být značné rozdíly, které vedou i k třeba dvojnásobnému odhadu výnosnosti.

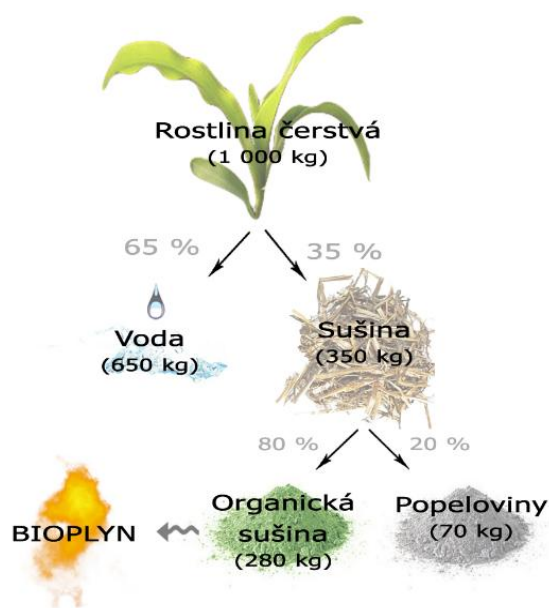
⁷¹ Dokonce v okolí Brna a v sousedním Rakousku již od 60. let pozorují jistou míru invazivnosti tohoto stromu. Navíc Paulovnie podobně jako trnovník akát vede k eutrofizaci půdy a má negativní dopad na biodiverzitu. Stejně tak introdukované druhy dřevin mohou být nezajímavé pro domácí faunu a vést ke snížení biodiverzity v krajině z důvodu nedostatku přirozené potravy. Celá problematika je poněkud multidisciplinární a není možno ji zde podrobněji analyzovat.

Převod energetického obsahu na energii

Snaha dosáhnout maximálního energetického zisku je pochopitelná. Převod dostupné energie na elektrickou a tepelnou je možný v různých poměrech. Většinou však můžeme považovat za hodnotnější formu energii elektrickou. Je přenositelná na velké vzdálenosti, poptávka po ní zůstává relativně vysoká i v teplých letních měsících a není nutné ji přepravovat po silnici či železnici jako by tomu bylo u biomasy.

V případě parní elektrárny se účinnost výroby v moderních zařízeních pohybuje okolo 40%. Časté je kogenerační využití, které umožňuje využít i tepelnou složku, přičemž celkové ztráty pak dosahují asi 10-20%. V letních měsících, kdy je poptávka po elektrické energii v ČR nižší, lze zdroj nechat odstavený, nebo používat jako špičkový s nevyužitím tepelné složky. Další možností je ponechat zdroj v pohotovostním režimu pro výrobu v mimořádných situacích.

Dalším velmi častým využitím biomasy je výroba bioplynu. Bioplyn se vyrábí z fytomasy anaerobní fermentací a následně se spálí za vzniku elektřiny a tepla. Elektrická účinnost kogenerační jednotky se pohybuje okolo 40%⁷². Celková mezi 80-90%. Vhodným způsobem produkce bioplynu by mohla být i kombinace šťovíku a kukuřice. Šťovík se využije i přes mírně nižší výnos na svažitých pozemcích (sklon nad 7°), kde hrozí splachy půdy a zároveň oproti kukuřici poskytuje první sklizeň již v polovině června. Tím setří náklady na skladování a požadavky na skladovací prostor (kukuřice se sklízí až na podzim).



Obr. 40 Podíly složek v kukuřici, Zdroj: [136]

⁷² Můžeme konstatovat, že kogenerační jednotky menších výkonů nedosahují takové účinnosti přeměny na elektrickou energii jako větší stroje. U kogenerací s instalovaným elektrickým výkonem do 250-500kW se účinnost pohybuje přibližně do 40%. U větších výkonů nad touto hranicí. U nejlepších strojů s vysokými výkony to může být i 45%. Např. při tepelném příkonu 1200kW činí rozdíl 5% v elektrické účinnosti, výkupní ceně 3Kč za 1kWh a ročním provozu 8000 hodin 1 440 000Kč.

Legislativa

Využívání lesní biomasy není legislativně nijak speciálně upraveno. V zásadě jde o běžný smluvní vztah mezi dodavatelem a odběratelem biomasy za sjednanou cenu a v požadovaných parametrech jako je např. maximální přípustná vlhkost, požadovaná zrnitost štěpky aj. Platí obecné právní úpravy jako je lesní zákon **č. 289/1995 Sb.** a zákon **č. 114/1992 Sb.**, o ochraně přírody a krajiny. Důležité je také dbát na opatrné nakládání s pohonnými hmotami, minimalizovat rizika, kdy by mohlo dojít k poškození strojů a úniku provozních kapalin jako je benzín, nafta, nebo různé druhy olejů např. u harvestorů. Přestože zákon mnohdy ukládá povinnost používat biooleje, není to zcela dodržováno z důvodu levnější ceny a delší životnosti minerálních olejů a následně jsou kontaminovány vodní zdroje a půda.

Pokud je využívána biomasa pro energetické účely z polí a luk, opět zde není žádná speciální úprava. Platí obecná úprava dle zákona České národní rady o ochraně zemědělského půdního fondu **č. 334/1992 Sb.** a zákon o zemědělství **č. 252/1997 Sb.**

V případě rychle rostoucích dřevin se již oproti dřívějšímu nemusí plocha RRD vyjímat ze zemědělského půdního fondu (vyhláška **č. 357/2013 Sb.**) Před založením plantáže RRD, je však třeba získat souhlas místního orgánu životního prostředí k její výsadbě a pěstování. Tato podmínka by neplatila, pokud by se nejednalo o nepůvodní druh nebo kříženec (zákon **č. 114/1992 Sb.**). Zároveň již není možné zakládat RRD na zemědělské půdě v prvním a druhém stupni ochrany (zákon **č. 334/1992 Sb.**). Dále se smí využívat zemědělská půda k pěstování RRD (v zákoně výmladková plantáž dřevin) maximálně po dobu 30 let a pěstební cyklus nesmí přesáhnout 10 let, po ukončení pěstební činnosti se musí plantáž zrušit do 1 roku (zákon **č. 41/2015 Sb.**). Dále je zde nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) **č. 1307/2013**, kterým se stanovují pravidla pro přímé platby zemědělcům. Dále je zapotřebí zajistit alespoň 1000 životaschopných jedinců RRD na hektar plochy (nařízení vlády **č. 307/2014 Sb.**, o stanovení podrobností evidence využití půdy podle uživatelských vztahů). Dále je zde možnost poskytnutí dotace na plochu pěstované výmladkové plantáže RRD. Ta je poskytována jako jednotná platba na plochu zemědělské půdy - SAPS (Single Area Payment Scheme)⁷³. Dále sadba podléhá zákonu o oběhu osiva a sadby **č. 219/2003 Sb.** RRD jsou kategorizovány jako rozmnožovací materiál okrasných druhů - intenzivní kultury rychlerostoucích dřevin pro energetické účely. Sadební materiál mohou dodávat pouze producenti registrovaní u ÚKZÚZ. Dodržování podmínek kontroluje státní rostlinolékařská správa

⁷³ Platbu SAPS dostane zemědělec obhospodařující alespoň 1 hektar orné půdy, travního porostu, vinice, sadu atd. Pro rok 2016 dosahuje 3 514 korun na hektar, sazba platby za zemědělské postupy příznivé pro klima a životní prostředí (greening) dosahuje 1 928 korun na hektar a pro mladé zemědělce do 40 let je připraveno dalších 878 korun/ha [153].

(SRS) nebo ÚKZÚZ. Za zmínku stojí i nařízení č. **505/2000 Sb.**, které říká, že u výmladkových plantáží je třeba také založit izolační pásy okolo vysazovaného porostu a v případě větších plantáží ji rozčlenit na menší celky rozčleňovacími pásy uvnitř. Cílem je začlenit porosty do okolní krajiny a zároveň působit i jako retardační bariéra proti šíření reprodukčních orgánů nepůvodních druhů nebo jiných nevhodných prvků do okolí. Jako izolační bariéru lze použít např. olši lepkavou (*Alnus glutinosa*), javor klen (*Acer pseudoplatanus*), břízu bradavičnatou (*Betula verocosa*), habr obecný (*Carpinus betulus*), buk lesní (*Fagus sylvatica*), dub letní (*Qercus*) a jilm horský (*Ulmus*). Doporučit lze také obrývání plantáže, aby se části rostliny (zejména kořeny) nedostávaly mimo plantáž RRD. Kořeny RRD také mohou začít obrůstat i několik metrů za krajem plantáže.



Obr. 41 Ochranná orba zamezující šíření kořenů mimo plantáž RRD, Zdroj: [154]

Bioplynové stanice

Pokud chceme postavit bioplynovou stanici, může být požadováno posouzení vlivu na životní prostředí (EIA), (**zákon č. 100/2001 Sb.**). Automatické posouzení by bylo provedeno, pokud by tepelný výkon přesáhl 200MW. Prakticky se však takové BPS alespoň v ČR nestaví. K žádosti o stavební povolení se předkládá platné integrované povolení, které stanoví podmínky provozu zařízení dle zákona **č. 76/2002 Sb.**, o integrované prevenci. Integrované povolení je třeba pro zařízení, jež mají kapacitu 50 a více tun denně na zpracování jiného než nebezpečného odpadu a pro zařízení na zpracování s kapacitou 10 a více tun denně, pokud se jedná o odpad živočišného původu. S platným integrovaným povolením se podává žádost o stavební povolení na příslušný stavební úřad. Podmínky upravuje stavební zákon **č. 183/2006 Sb.** o územním plánování a stavebním řádu. Pokud v místě plánované bioplynové stanice s ní územní plán nepočítal, pak je třeba iniciovat jeho změnu. Pokud obec vůbec nemá územní plán pro nezastavěné a nezastavitelné území, pak zde nelze povolit stavbu BPS. Při stavbě BPS je možné úřad požádat o vyhlášení ochranného pásma s návrhem na vydání územního rozhodnutí, kdy minimální vzdálenost od plánování rodinné výstavby v případě zemědělské BPS činí 300 metrů a u ostatních BPS 800 metrů. Obecně lze doporučit pro omezení možných budoucích problémů stavět BPS za obytnou zástavbou po směru převládajícího větrného proudění na konci obcí. Dále je nutné mít od vodoprávního úřadu povolení k vypouštění odpadní vod z BPS do povrchových nebo podpovrchových vod (dle

zákona o vodách č. 254/2001 Sb.). Vodoprávní úřad stanoví emisní limity odpadních vod nebo lhůtu k jejich dosažení. Dále je dle zákona č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší potřeba doložit odborný posudek a rozptylovou studii. Tento zákon dále vyžaduje u středních (spalovací technologie) a velkých (fermentační provoz) stacionárních zdrojů znečištění také schválení provozního řádu. Investor také musí dodržovat přípustnou míru obtěžování zápachem. Ještě stojí za zmínku vyhláška č. 13/2009 Sb., kterou se stanoví požadavky na kvalitu paliv z hlediska ochrany ovzduší. Dalším relevantním zákonem je zákon o odpadech č. 185/2001 Sb., kdy provozovatel BPS provozuje toto zařízení v souladu s tímto zákonem. Pokud jsou v BPS zpracovávány živočišné odpady, je nutné získat souhlasné stanovisko orgánu ochrany veřejného zdraví ke zpracování provozního řádu. Kladně posouzený provozní řád se pak posílá na posouzení krajskému úřadu. Dále je třeba splnit zákon o hnojivech (zákon č. 156/1998 Sb.), pokud se digestát má použít jako hnojivo. Lze ho ukládat i na zemědělské půdě až po 24 měsíců, ale nesmí docházet ke splachu do povrchových vod a na okolní pozemky. Vyhláškou č. 474/2000 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva, jsou dány limitní hodnoty obsahu rizikových prvků, tedy i pro digestát. Pokud je výstupem z BPS i čistírenský kal, pak je příslušná vyhláška č. 437/2016 Sb., která upravuje podmínky použití upravených kalů na zemědělské půdě. Pokud výstup z BPS není použit jako hnojivo na zemědělské půdě, ani zpracován jako hnojivo, pak se s ním nakládá jako s odpadem dle zákona č. 185/2001 Sb. o odpadech a také dle vyhlášky č. 341/2008 Sb. o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady [155]. Dále je zde vyhláška č. 477/2012 Sb. o stanovení druhů a parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny, tepla nebo biometanu a o stanovení a uchovávání dokumentů. Dalším souvisejícím zákonem je zákon o podporovaných zdrojích energie (zákon č. 165/2012 Sb.). V případě bioplynových stanic je garantovaná výkupní cena na 20 let od uvedení do provozu (vyhláška č. 296/2015 Sb. o technicko-ekonomických parametrech pro stanovení výkupních cen pro výrobu elektřiny a zelených bonusů na teplo a o stanovení doby životnosti výroben elektřiny a výroben tepla z obnovitelných zdrojů energie). Dále je třeba mít souhlas distributora s připojením do distribuční soustavy a licenci pro podnikání v energetice dle zákona č. 458/2001 Sb. Od roku 2014 je však výkupní cena elektřiny pouze informativní a nelze ji nárokovat. De facto to znamená ukončení podpory výroby elektřiny z bioplynu [156].

Zhodnocení

Druh biomasy	Energetický obsah v PJ při spálení	Energetický obsah v PJ při produkci bioplynu	Výrobená elektřina v TWh, Spálením/Bioplynem	Rozdíl spálení - bioplyn v PJ
Lesní zbytky	15,05	---	1,67/---	---
Dřevní zbytky a odpadní dřevo	31,46	---	3,496/---	---
Trvalé travní porosty	21	5,54	2,33/0,616	15,46
Zbytky z osevních ploch	63,33	18,58	7,04/2,06	44,75
Dendromasa	28,00	---	3,11/---	---
Fytomasa	18	4,40	2,00/0,49	13,60
Kukuřice	93,14	96,02	10,35/10,67	-2,88
Celková	269,984	124,537	29,996/13,8	70,93

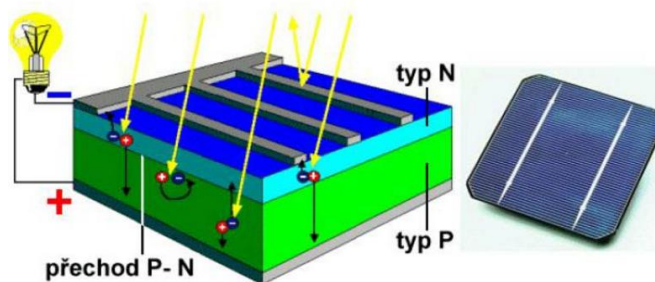
Tab. 23 Souhrnné výsledky potenciálu biomasy v ČR

Celkový energetický obsah biomasy lze hodnotit jako velmi vysoký. Z přibližně 272PJ by bylo možné získat asi **30TWh**. Z hlediska hektarového výnosu si nejlépe vede kukuřice, avšak ani cíleně pěstovaná dendromasa příliš nezaostává. Nejmenší energetický potenciál vidíme u lesních zbytků a v případě trvalých travních porostů. V případě TTP jde však pouze o doplňkové využití a mají i jiné funkce ekologického charakteru, proto by intenzifikace produkce biomasy nemusela být ku prospěchu věci. Za zmínku rozhodně stojí rozdíl mezi jednoletou a víceletou produkcí. V případě jednoleté periody sklizně (týká se zejména fytomasy) je výnos silně závislý na počasí a např. u kukuřice může průměrný výnos 20t/ha kolísat mezi cca 15-25 tunami sušiny z hektaru [157]. Sušší období se negativně projevuje i na produkci dendromasy, ale vzhledem k obvykle několikaleté periodě obmytí by měly být rozdíly menší a více vyhlazené (což částečně souvisí i s hlubším kořenovým systémem). I zde nelze vyloučit negativní dopad několikaleté periody suššího počasí, nicméně je přece jen méně častá než jednorocní výkyv⁷⁴. Při porovnání emisních charakteristik si stojí lépe spalování dendromasy než fytomasy. Zejména v oblasti NO_x, chloru a částečně síry. Na druhou stranu dendromasu nelze využít pro produkci bioplynu. Je však otázkou, zdali v rozptýlené venkovské zástavbě nebo na okraji měst má smysl se těmito emisními otázkami vůbec zabývat.

⁷⁴ Např. při obmýtní době 6 let se roční pokles produkce biomasy o 30% projeví pouze 5% a je možné, že v průběhu těchto šesti let bude smazán naopak nadprůměrným přírůstkem v jednom či dvou dobrých letech.

Princip fotovoltaického článku

K výrobě elektřiny se užívá fotovoltaický panel. Ten je složen ze sériově zapojených fotovoltaických článků. FV články jsou v podstatě polovodičové diody, jejichž základem je tenká křemíková destička typu P. Na ní je nanášena tenká vrstva polovodiče typu N. Při osvětlení dochází ve vrstvě typu N k „vyrazení“ elektronu energií přicházejícího fotonu z příměsi pětimocného prvku, jehož poslední valenční elektron je velmi slabě vázán. Hovoříme o tzv. elektronové vodivosti. Aby k tomuto jevu došlo, musí mít dopadající foton energii větší než 1,1 eV⁷⁵. Naopak z vodiče typu P, který díky příměsi trojmocných prvků má kladný náboj a nedostatek elektronů, dochází k průchodu elektronů přes hradlovou vrstvu a vzniku elektrického proudu v elektrickém obvodu. Hovoříme o tzv. děrové vodivosti [158], [159].



Obr. 42 Fotovoltaický článek, Zdroj: [158]

Typy fotovoltaických panelů

Amorfní panel

Vyrábí se napařováním tenké křemíkové vrstvy na sklo, což se pozitivně projevuje na jejich ceně. Dobře zvládají difúzní světlo, oproti krystalickým panelům vykazují nižší pokles výkonu při odklonu od optimální orientace a vykazují nižší pokles výkonu při vyšších teplotách vlivem teplého počasí. Nevýhodou je nízká účinnost okolo 8% a rychlejší degradace oproti krystalickým panelům [160].

Polykrystalický panel

Při výrobě se krystaly lisují do forem, a tudíž nemají stejnou orientaci. Oproti monokrystalickým panelům lépe zpracovávají difúzní záření a jsou mírně levnější. Účinnost se pohybuje okolo 16% [161].

Monokrystalický panel

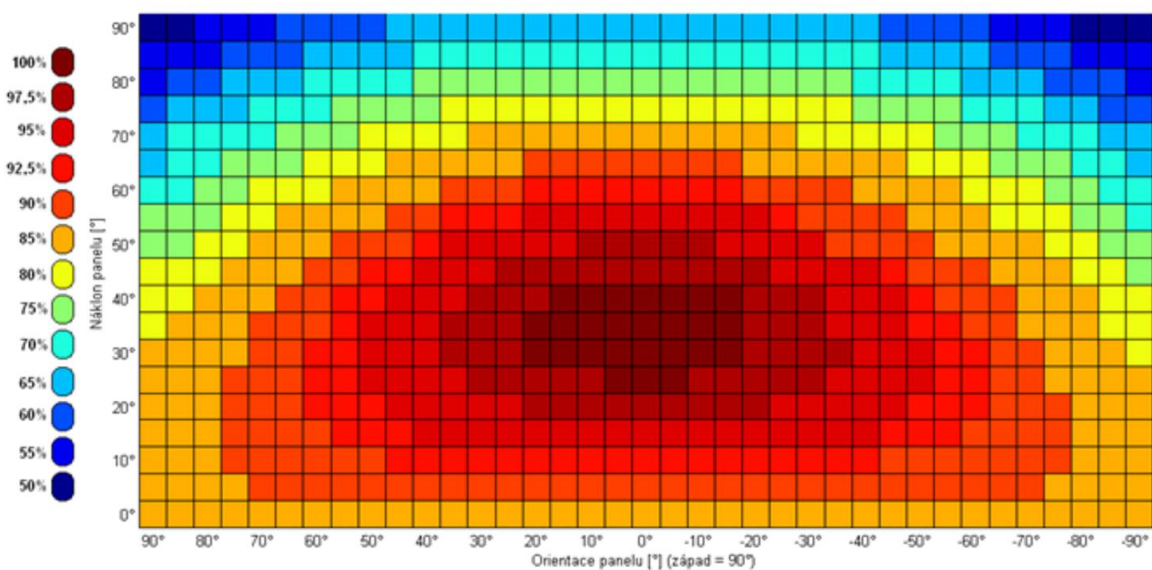
Nejpokročilejší technologie. Vyrábí se z jednoho kusu monokrystalického křemíku. Vykazuje z křemíkových technologií nejpomalejší degradaci, mírně nižší citlivost

⁷⁵ Jedná se o vlnové délky kratší než 1105nm. eV = elektronvolt

na vyšší provozní teplotu oproti polykrystalickému panelu a nejvyšší účinnost pohybující se okolo 20%. Nevýhodou je mírně vyšší cena[162].

Existují i vícevrstvé fotovoltaické články, které překonávají teoretické maximum účinnosti asi 33% pro jednovrstevnou technologii (Shockleyův-Queisserův limit), nicméně z ekonomických důvodů se pro běžné použití nehodí [163].

Další možnosti výroby elektrické energie jsou např. parabolická zrcadla, která směřují sluneční záření do jednoho bodu a za pomoci Stirlingova motoru vyrábí elektrickou energii nebo koncentrační elektrárny, které usměrněním slunečního záření do určitého bodu rozežřejí teplotnosné médium a za pomoci parní turbíny vyrábí elektřinu způsobem jako v klasické parní elektrárně. Při akumulaci energie do roztavených solí mohou dodávat energii i několik hodin po západu slunce. Pro ČR se však podobné technologie nehodí, protože výše zmíněné systémy i přes dobré parametry nedovedou zpracovávat difúzní záření (které u nás tvoří přes 50%) a vzhledem k nestálosti slunečního svitu a jeho intenzitě v našich zeměpisných šířkách nemohou FV panelům konkurovat [92], [164], [165], [166], [167].



Obr. 43 Vliv sklonu a orientace panelů na celkovou výrobu FVE, Zdroj: [168]

Legislativa

Od roku 2014 je ukončena podpora výroby elektřiny ze slunce formou výkupních cen [156]. Je však možno využít podporu až 105 000Kč z programu Nová zelenám úsporám. Maximální instalovaný výkon FVE pro přiznání podpory nesmí přesáhnout 10kW a využití elektrické energie musí dosáhnout aspoň 70% z vyrobené [85]. Zároveň při instalaci od roku 2016 u FVE do výkonu 10kW (mikrozdroj) není nutné získat licenci Energetického regulačního úřadu dle zákona č. **458/2000 Sb.** Dále je třeba uzavřít s provozovatelem distribuční soustavy smlouvu o připojení,

a pokud budou přebytky dodávány do sítě, pak také smlouvu o odprodeji elektřiny s obchodníkem s energiemi, který tuto možnost nabízí. Je možné zvolit i jednodušší typ připojení do sítě jako mikrozdvoj, nicméně provozovatel FVE pak musí zabránit přetokům energie do sítě pod hrozbou pokut. V případě prodeje přebytků elektřiny jsou tyto příjmy do 30 tisíc korun dle zákona o daních z příjmů (**č. 586/1992 Sb.**) osvobozeny od daně bez nutnosti podávat daňové přiznání. Pokud instalovaný výkon elektrárny nepřesahuje 20kW, lze ji na pozemek umístit i bez ohlášení a stavebního povolení. Tato podmínka ovšem neplatí, pokud se pozemek nachází v CHKO nebo památkovém území [169], [170], [171].

Příloha 6: Metody využití geotermální energie v ČR

Metody využití geotermální energie

Hydro-geotermální

K přenosu tepla dochází geotermální vodou nebo párou, případně obojím. V ČR je využívána oblast Děčínska (teplota vody 32-35°C) a perspektivní je i oblast Vídeňské pánve a Moravsko-karpatské předhlubně (teplota vody 50-70°C). Tyto oblasti nejsou v ČR příliš časté a navíc jejich teplota pro další využití není příliš vysoká.

Teplo suchých hornin – HDR (hot dry rock)

Vybrána oblast je navrtána minimálně dvěma vrty do hloubky několika kilometrů. Vrty jsou od sebe vzdáleny od stovek metrů až po více než kilometr a voda je jedním vrtem vháněna do podzemí a druhým již ohřátá čerpána zpět na povrch. Teplota v hloubce 5km se pohybuje okolo 150-200°C se značnými regionálními rozdíly v teplotním gradientu. Využívání metody HDR je možné skoro kdekoliv v ČR.

Teplo horkých porušených hornin – HFR (hot fractured rock)

Vyskytuje se v oblasti tektonických pásem. Získávání tepla je stejné jako v případě HDR metody. Problematické mohou být ztráty vháněné vody z důvodu rozpukání hornin. Většinou je zapotřebí ještě provést úpravu horniny hydraulickým štěpením (frakování), nicméně ve většině evropských zemí je omezeno a v ČR je na něj uvaleno moratorium. HFR oblasti nalezneme na Karlovarsku (projevem jsou horké prameny). V rámci ČR jsou tyto oblasti ještě méně zastoupeny než hydrotermální a navíc jsou většinou využity pro lázeňské účely [87a], [87b].

Způsoby přeměny na elektrickou energii

Suchá pára (dry steam)

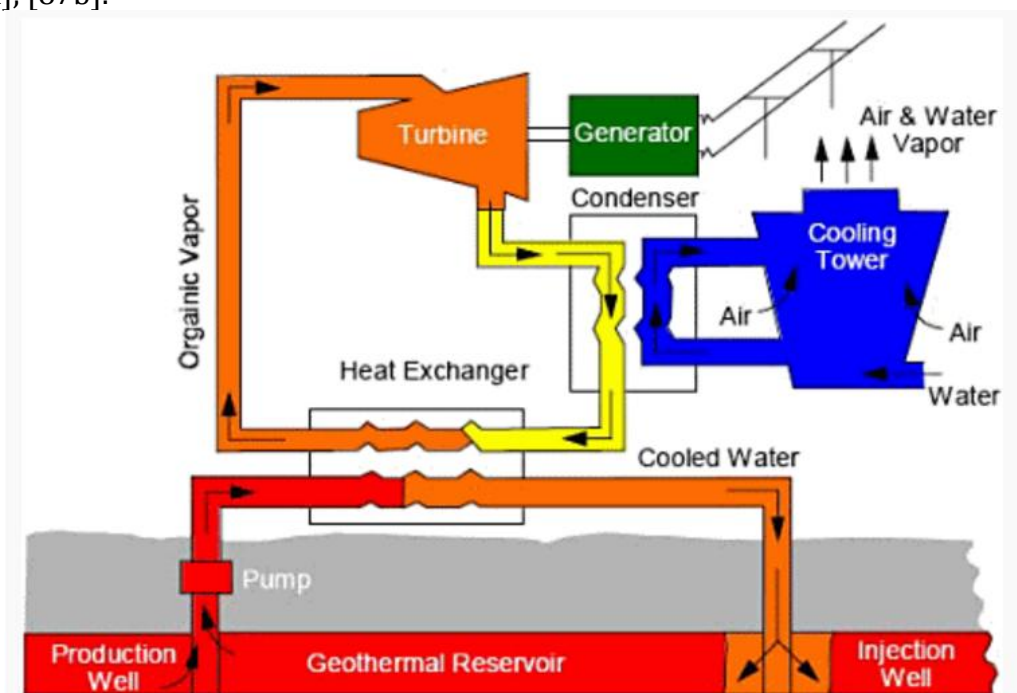
Geotermální pára se používá přímo pro pohon turbíny. Nezbytná je vysoká vstupní teplota, která je většinou dostupná v tektonických oblastech (USA, Island, Itálie). Pro ČR nelze z důvodu nižších teplot použít.

Flash steam (blesková pára)

Nejčastější typ geotermálních elektráren. Voda o teplotě nad 160°C je poklesem tlaku přivedena k varu a pára je použita k pohonu turbíny.

Binární elektrárna

Ohřátá voda předá přes teplosměnnou plochu teplo látce s nízkým bodem varu a vysokým tlakem par (uhlovodíky, čpavek). Plynná směs poté pohání turbínu. Tento způsob výroby elektřiny se využívá v případě nižších výstupních teplot vody z vrtu. Využíváno např. v organickém Rankinově cyklu nebo Kalinově cyklu. Pro ČR velmi vhodný způsob výroby elektřiny z důvodu nižších výstupních teplot z vrtu [87a], [87b].



Obr. 44 Binární elektrárna, Zdroj: [172]

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AC – střídavý proud (alternating current)

BPS – bioplynová stanice

BRKO – biologicky rozložitelný komunální odpad

CAES – compressed air energy source

ČR – Česká republika

DC – stejnosměrný proud (direct current)

EU – Evropská unie

EIA - Environmental Impact Assessment (Vyhodnocení vlivů na životní prostředí)

ESOEI - energy stored on energy invested

EROEI - energy returned on energy invested

FV – fotovoltaický článek

FVE – fotovoltaická elektrárna

GW – gigawatt

HP – horse power

CHKO – chráněná krajinná oblast

JE – jaderná elektrárna

MW – megawatt

MWh - megawatthodina

OZE – obnovitelné zdroje energie

PEZ – primární energetické zdroje

RES – renewable resources

RRD – rychle rostoucí dřeviny

SAPS - Single Area Payment Scheme (jednotná platba na plochu zemědělské půdy)

SRS - státní rostlinolékařská správa

SEA – Strategic Environmental Assessment (Posuzování vlivů na životní prostředí)

TWh – terawatthodina

ÚKZÚZ - Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

VTE – větrná elektrárna

