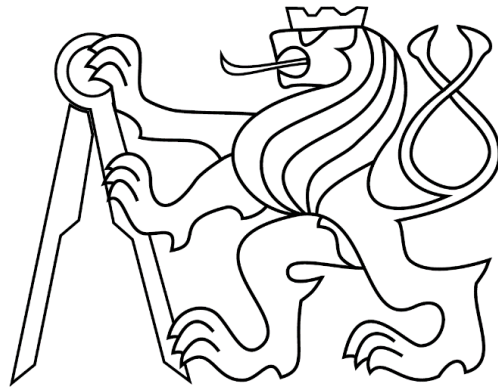


České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektroenergetiky



Obnovitelné zdroje a příklad jejich využití

Renewable resources and example of their use

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika

Vedoucí práce: Ing. Stanislav Bouček

Vypracoval: Kamil Mádle

Praha 2018

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Mádle** Jméno: **Kamil** Osobní číslo: **434878**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Obnovitelné zdroje a příklad jejich využití

Název bakalářské práce anglicky:

Renewable sources and an example of their use

Pokyny pro vypracování:

Historie a současnost obnovitelných zdrojů
Využívané obnovitelné zdroje
Obnovitelné zdroje v ČR (procentní zastoupení, výkony, výroba, trendy)
Příklad využívání malé FV elektrárny

Seznam doporučené literatury:

Obnovitelné zdroje elektrické energie; Doc Ing. Petr Mastný, Ph.D. a kol. ČVUT v Praze, 2011, ISBN 978-80-01-04937-2
Webové stránky ERÚ a MPO

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Stanislav Bouček, katedra elektroenergetiky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **26.09.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **25.05.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: **28.02.2019**

Ing. Stanislav Bouček
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

.....

Podpis

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Stanislavu Boučkovi za odborné vedení, trpělivost a za poskytnutí odborných rad, které jsem využil při tvorbě této práce. Také děkuji své rodině za podporu při studiu a poskytnutí důležitých informací, které byly nezbytné k vypracování mé bakalářské práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá tématem obnovitelných zdrojů energie. V první části je uvedeno, proč je nutné využívat obnovitelné zdroje. Dále jsou podrobně popsány jednotlivé obnovitelné zdroje s jejich základními vlastnostmi. Třetí část je zaměřena na vývoj výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů v České republice za posledních několik let. V poslední části je uveden příklad malé fotovoltaické elektrárny. V této části jsou uvedeny základní parametry fotovoltaické elektrárny, zapojení celého zařízení a výroba elektrické energie.

Klíčová slova

Obnovitelné zdroje energie, sluneční energie, větrná energie, vodní energie, geotermální energie, energie biomasy, fotovoltaický panel, fotovoltaický systém

Abstrakt

This bachelor thesis deals with the topic of renewable energy sources. The first part explains why it is necessary to use renewable sources. There are also described in detail the various renewable sources and their basic properties. The third part describes the development of electricity production from renewable sources over the last few years. The last part presents a specific example of small photovoltaic power plant. In this part there are presented the basic parameters of the photovoltaic power plant, such as the connection of the whole equipment and the production of electric energy.

Keywords

Renewable energy sources, solar energy, wind energy, water energy, geothermal energy, biomass energy, photovoltaic panel, photovoltaic system

Obsah

Seznam zkratk	1
Seznam obrázků	2
Seznam tabulek	3
Seznam grafů	4
1 Úvod	5
2 Význam obnovitelných zdrojů	6
2.1 Historie používání obnovitelných zdrojů	9
2.1.1 Historie jednotlivých obnovitelných zdrojů energie	9
2.2 Nástin využívání obnovitelných zdrojů energie v ČR	11
3 Obnovitelné zdroje energie	13
3.1 Sluneční energie	13
3.1.1 Sluneční záření	13
3.1.2 Využívání sluneční energie	14
3.1.3 Princip funkce fotovoltaického článku	15
3.1.4 Konstrukce fotovoltaických článků a modulů	17
3.1.5 Sluneční elektrárny	19
3.1.6 Využití v ČR	21
3.1.7 Výhody a nevýhody	21
3.2 Větrná energie	22
3.2.1 Větrné motory	23
3.2.2 Větrné elektrárny	24
3.2.3 Potenciál větrné energie v ČR	26
3.2.4 Výhody a nevýhody	27
3.3 Vodní energie	28
3.3.1 Využívání vodní energie v ČR	28
3.3.2 Vodní elektrárny	28
3.3.3 Výhody a nevýhody	32
3.4 Geotermální energie	33
3.4.1 Technologie využívání geotermální energie	33
3.4.2 Možnosti využívání v ČR	35
3.4.3 Výhody a nevýhody	35
3.5 Energie biomasy	36
3.5.1 Biomasa rostlinného a živočišného původu	36
3.5.2 Zpracování biomasy	37

3.5.3	Výhody a nevýhody.....	40
4	Využívání obnovitelných zdrojů a jejich podíl na výrobě elektrické energie v ČR	41
4.1	Pohled na brutto výrobu elektrické energie a instalované výkony elektráren v České republice.....	41
4.1.1	Pohled na zástupce OZE.....	46
4.1.2	Podíl paliv a technologií na brutto výrobě elektrické energie	47
4.2	Brutto výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů a její podíl na celkové tuzemské spotřebě.....	49
4.3	Bližší pohled na vybrané obnovitelné zdroje energie.....	51
4.3.1	Fotovoltaické elektrárny	51
4.3.2	Vodní elektrárny	53
4.3.3	Přečerpávací elektrárny	54
4.3.4	Větrné elektrárny	55
4.3.5	Výroba elektřiny z biomasy a bioplynu.....	56
5	Příklad použití fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům.....	57
5.1	Základní popis fotovoltaické elektrárny	57
5.1.1	Lokalita.....	58
5.2	Hlavní komponenty fotovoltaické elektrárny	58
5.2.1	Fotovoltaické moduly.....	58
5.2.2	Hlavní rozváděč výrobní.....	59
5.2.3	Fotovoltaický měnič	60
5.3	Propojení fotovoltaické elektrárny s rozvodnou sítí rodinného domu.....	61
5.3.1	Využívání vyrobené elektrické energie pro napájení rodinného domu	61
5.4	Výroba a spotřeba elektřiny od instalace FVE	65
5.4.1	Výroba a spotřeba elektřiny.....	66
5.4.2	Ekonomický pohled na FVE.....	68
6	Závěr.....	72
	Seznam použité literatury.....	74
	Seznam příloh.....	76

Seznam zkratek

AC	střídavé napětí
AM	air mass
BRKO	biologicky rozložitelná část komunálního odpadu
ČEZ	České Energetické Závody
ČR	Česká republika
ERÚ	Energetický regulační úřad
ES	elektrická soustava
EU	Evropská unie
FVE	fotovoltaická elektrárna
HDR	hot dry rock
JE	jaderná elektrárna
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MVE	malá vodní elektrárna
OZE	obnovitelné zdroje energie
PE	parní elektrárna
PPE	paroplynové elektrárna
PSE	plynová a spalovací elektrárna
PVE	přečerpávací elektrárna
TBS	tuzemská brutto spotřeba
TVSe	Technická vlastní spotřeba elektřiny na výrobu elektřiny
USA	United States of America
UV záření	ultrafialové záření
VE	vodní elektrárna
VTE	větrná elektrárna

Seznam obrázků

Obr. 1 Rozdělení energetických zdrojů [1].....	6
Obr. 2 Zdroje a možnosti využívání obnovitelných energií [2].....	8
Obr. 3 Struktura výroby elektrické energie v ČR pro rok 2010 [1].....	11
Obr. 4 Přehled využívání obnovitelných zdrojů v EU pro rok 2016 [10].....	12
Obr. 5 Spektrum slunečního záření [9].....	14
Obr. 6 Termický kolektor [8].....	15
Obr. 7 Solární systém pro kombinovaný ohřev pitné a topné vody [2].....	15
Obr. 8 Fotovoltaický jev – princip přímé přeměny sluneční energie na elektrickou energii [1].....	16
Obr. 9 Náhradní schéma pro fotovoltaický článek [11].....	16
Obr. 10 V-A charakteristika fotovoltaického článku [11].....	16
Obr. 11 Sluneční spektrum na Zemi a využitelné spektrum záření pro články Si [11].....	17
Obr. 12 Struktura fotovoltaického článku z krystalického Si [7].....	17
Obr. 13 Struktura fotovoltaického modulu [2].....	18
Obr. 14 Příklad zapojení fotovoltaických článků v modulu [7].....	18
Obr. 15 Příklad zapojení invertorů; A) Centrální měnič, B) Řetězcové měniče, C) Modulové měniče [12]...	19
Obr. 16 Autonomní systém s výstupem na síťové napětí [7].....	20
Obr. 17 Systém pro vlastní spotřebu [12].....	20
Obr. 18 Systém pro přímou dodávku elektrické energie [12].....	20
Obr. 19 Roční úhrn globálního slunečního záření v ČR (kWh/m ²) [13].....	21
Obr. 20 Princip Savoniova rotoru [15].....	23
Obr. 21 Funkční princip větrného motoru [2].....	24
Obr. 22 Princip funkce vztlakového rotoru (rovnice kontinuity) [1].....	24
Obr. 23 Konstrukce větrné elektrárny [2].....	25
Obr. 24 Větrná mapa ČR pro výšku 100 m nad povrchem [16].....	26
Obr. 25 Prostorové schéma VE [7].....	28
Obr. 26 Oblasti použití základních typů turbín [1].....	30
Obr. 27 Funkční schéma tepelného čerpadla [7].....	33
Obr. 28 Ideální levotočivý Carnotův cyklus [1].....	34
Obr. 29 Mapa vhodných geotermálních oblastí pro výrobu elektrické energie [7].....	35
Obr. 30 Možnosti energetického využití biomasy [7].....	38
Obr. 31 Pohled na fotovoltaickou elektrárnu [21].....	57
Obr. 32 Lokalizace fotovoltaické elektrárny v ČR [21].....	58
Obr. 33 Ukotvení nosné konstrukce [22].....	59
Obr. 34 Charakteristiky účinnosti PIKO 4,2 [Příloha 2].....	60
Obr. 35 Regulátor GreenBonO [26].....	62
Obr. 36 Princip fungování regulace pro spotřebu přebytečné elektřiny [25].....	63

Seznam tabulek

Tab. 1 Beaufortova stupnice síly větru [14].....	23
Tab. 2 Přehled instalovaných výkonů elektráren a brutto výroby elektřiny od roku 2004 do 2017 [18][19] ..	42
Tab. 3 Součinitel využití pro vybrané typy zdrojů.....	44
Tab. 4 Územní srážky v ČR [17]	46
Tab. 5 Podíl paliv a technologií na brutto výrobě elektřiny [18]	47
Tab. 6 Složení biomasy a bioplynu, které jsou určeny pro výrobu elektrické energie (květen 2017) [19]	48
Tab. 7 Brutto výroba elektrické energie z OZE a její podíl na tuzemské brutto spotřebě od roku 2004 do 2017 [18][19].....	49
Tab. 8 Podrobný přehled výroby elektřiny z fotovoltaických elektráren v roce 2017 [19].....	52
Tab. 9 Parametry použitých fotovoltaických modulů [24]	58
Tab. 10 Přehled technických údajů KOSTAL Piko 4,2 [Příloha 2]	60
Tab. 11 Teoretické hodnoty pro tuto FVE (Em - měsíční průměrná výroba, Hm - měsíční průměrná hodnota intenzity záření dopadající na 1m ² , SDm - standardní odchylka měsíční produkce elektřiny z důvodu meziroční variace) [23].....	65
Tab. 12 Výroba a spotřeba elektřiny v jednotlivých letech.....	67
Tab. 13 Výroba a spotřeba elektrické energie od zprovoznění FVE a pohled na zisk spojený s výrobou elektrické energie.....	67
Tab. 14 Soupis investičních nákladů spojených s výstavbou FVE	68
Tab. 15 Soupis cen elektřiny v jednotlivých rocích.....	69
Tab. 16 Výpočet zisků spojených s výrobou elektřiny	69
Tab. 17 Výpočet celkových dosavadních a teoretických zisků a návratnosti	70
Tab. 18 Součet všech zisků od roku 2013 do 2038.....	71

Seznam grafů

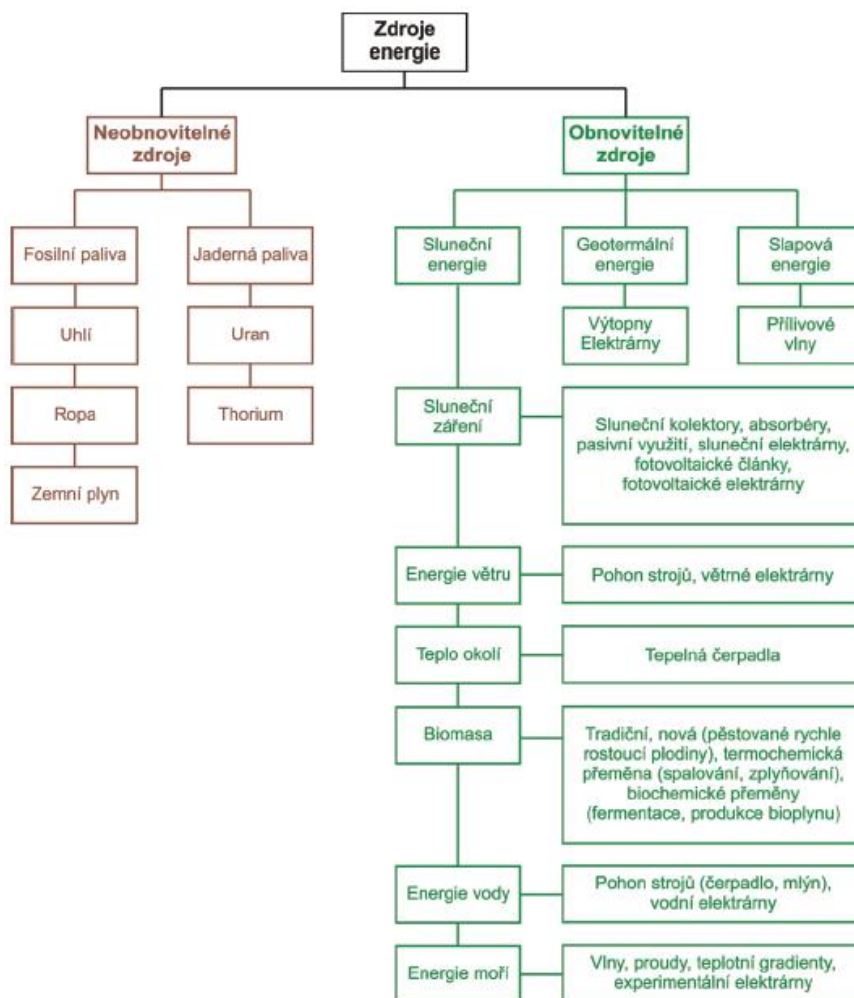
Graf. 1 Závislost výkonu na rychlosti větru pro větrnou elektrárnu o instalovaném výkonu 2MW [7]	24
Graf. 2 Instalované výkony jednotlivých zdrojů elektrické energie v ČR od roku 2004 do 2017	41
Graf. 3 Brutto výroba elektřiny v ČR s vyznačenou tuzemskou brutto spotřebou.....	43
Graf. 4 Instalované výkony a brutto výroba elektřiny v procentech pro roky 2009, 2014, 2017.....	44
Graf. 5 Instalované výkony a brutto výroba elektřiny pro tři zástupce OZE	46
Graf. 6 Závislost brutto výroby elektřiny na územních srážkách v ČR	46
Graf. 7 Podíl paliv a technologií na brutto výrobě elektřiny pro rok 2015 [18]	47
Graf. 8 Složení paliv pro výrobu z bioplynu pro květen 2017	48
Graf. 9 Složení paliv pro výrobu z biomasy pro květen 2017	48
Graf. 10 Vývoj brutto výroby elektrické energie z OZE a její podíl na tuzemské brutto spotřebě od roku 2004 do 2017	50
Graf. 11 Vývoj brutto výroby elektřiny z jednotlivých OZE od roku 2004 do 2017	50
Graf. 12 Fotovoltaické elektrárny do 30 kW instalovaného výkonu	51
Graf. 13 Fotovoltaické elektrárny od 30 kW do 1 MW instalovaného výkonu	52
Graf. 14 Fotovoltaické elektrárny nad 1 MW instalovaného výkonu	52
Graf. 15 Porovnání brutto výroby elektřiny s dodávkou elektřiny do ES z fotovoltaických elektráren za rok 2017	53
Graf. 16 Vodní elektrárny do 10 MW instalovaného výkonu	54
Graf. 17 Vodní elektrárny nad 10 MW instalovaného výkonu	54
Graf. 18 Přečerpávací elektrárny a brutto výroba elektřiny	54
Graf. 19 Přečerpávací elektrárny a rozdíl mezi výrobou a spotřebou elektřiny	55
Graf. 20 Větrné elektrárny do 2 MW instalovaného výkonu	55
Graf. 21 Větrné elektrárny nad 2 MW instalovaného výkonu	56
Graf. 22 Brutto výroba elektřiny z biomasy	56
Graf. 23 Brutto výroba elektřiny z bioplynu	56
Graf. 24 VA charakteristiky pro různé intenzity záření použitého fotovoltaického modulu [24].....	59
Graf. 25 Vliv teploty na VA charakteristiku použitého fotovoltaického modulu [24].....	59
Graf. 26 Teoretická vyrobená elektrická energie v jednotlivých měsících pro tento instalovaný systém [23]65	
Graf. 27 Výroba elektřiny od zprovoznění FVE	66
Graf. 28 Porovnání vyrobené a dodané elektřiny do sítě pro roky 2016 a 2017	68
Graf. 29 Návratnost fotovoltaické elektrárny	71

1 Úvod

Tématem této bakalářské práce jsou obnovitelné zdroje energie, v první řadě proto uvedu, proč tyto zdroje vlastně chceme využívat a jaké to má výhody. Jednotlivé obnovitelné zdroje energie, které v České republice využíváme, blíže představím a vysvětlím u nich principy získávání energie. Dále podrobněji popíšu vývoj využívání obnovitelných zdrojů pro výrobu elektrické energie a jejich podíl na celkové výrobě v České republice a tyto údaje porovnáám se současným stavem a zjistím, kolik se vyrobilo elektrické energie z jednotlivých OZE v posledních letech. V poslední části této práce uvedu příklad malé fotovoltaické elektrárny umístěné u rodinného domu, která je využívána i k pokrytí vlastní spotřeby domu. K tomuto příkladu zároveň doložím všechny současné údaje, které jsem měl k dispozici. Dále zde uvedu vývoj výroby elektrické energie z této elektrárny od jejího vytvoření.

2 Význam obnovitelných zdrojů

Elektrická energie je v této době spotřebovávána po celém světě pro mnoho různých účelů. Spotřebováváme ji ve všech možných oblastech od velkých průmyslových objektů až po domácnosti. Kvůli tomu, že elektrickou energii využíváme téměř všude, jsme na ní velmi závislí a bez ní bychom si už dnešní svět asi ani nedokázali představit. Světová populace stoupá a její nároky také, proto stoupá i celková spotřeba energií. Většina energie, kterou lidstvo využívá v současné době, pochází z neobnovitelných zdrojů. Pro získávání energie jsou dnes nejvíce využívány fosilní paliva, která potřebujeme ale i v jiných odvětvích, například v chemickém průmyslu jsou nenahraditelnou složkou. Zásoby fosilních paliv se postupně snižují a nemůžeme se spoléhat na nacházení dalších ložisek. Proto je nutné učinit nezbytné kroky k tomu, aby se spotřeba fosilních paliv co možná nejvíce snížila a toto nerostné bohatství vystačilo co možná nejdéle. Nevýhodou je také to, že při získávání energie z fosilních paliv vznikají skleníkové plyny a další emise, které jsou uvolňovány do atmosféry. Tyto látky, které vypouštíme do ovzduší, ovlivňují životní prostředí a přispívají ke globálnímu oteplování. V dnešní době se ve většině zemí prosazuje politika pro ochranu životního prostředí, proto chceme co možná nejvíce snížit emise a další látky vypouštěné do ovzduší. Což je další důvod, abychom pro výrobu energie využívali méně fosilní paliva a našli jinou vhodnou náhradu. [2]



Obr. 1 Rozdělení energetických zdrojů [1]

Pro snižování spotřeby fosilních paliv je tedy nalezení nových zdrojů nebo jiných alternativních způsobů získávání energie. Kroky ke snížení závislosti jednotlivých států na neobnovitelných zdrojích učinila i energetická politika Evropské unie. Evropská unie vydala požadavek, aby členské státy podnikly kroky k maximálnímu využívání obnovitelných zdrojů a jejich podpory. [2]

Využívání neobnovitelných zdrojů pro výrobu elektrické energie

Za neobnovitelný zdroj energie považujeme takový zdroj, který můžeme vyčerpát v horizontu maximálně stovek let, ale jeho obnova by trvala mnohonásobně déle. Naopak zdroje, které můžeme využívat dlouhou dobu (tisíce až miliardy let) a také se dokáží samy nebo za přičinění člověka obnovovat, nazýváme obnovitelnými zdroji. Mezi neobnovitelné zdroje řadíme jak fosilní paliva, tak i jaderná paliva. Fosilní paliva jsou koncentrovanou zásobou energie, která vznikla přeměnou rostlin a těl živočichů za nepřístupu vzduchu už před velmi dlouhou dobou. [1]

Využívané fosilní paliva jsou:

- Uhlí
- Ropa
- Zemní plyn
- Rašelina

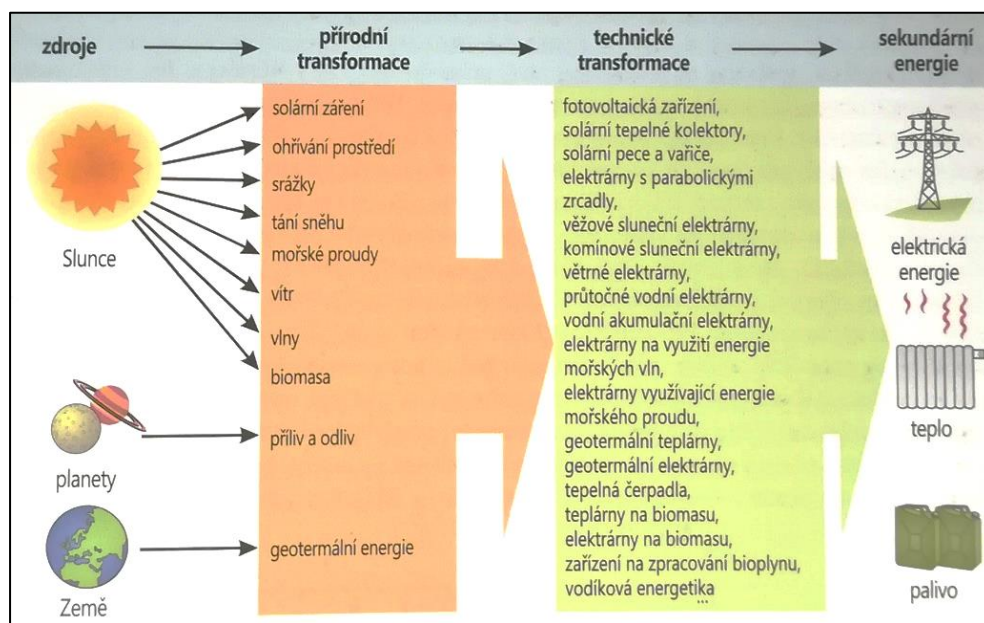
Když se podrobněji podíváme na to, jak dlouho nám mohou vydržet zásoby fosilního paliva, tak vidíme, že vyhlídky nejsou moc pozitivní. Například při současné spotřebě se odhaduje, že by zásoba ropy měla vydržet ještě asi 45 let a zemního plynu asi 70 let. Zásoby uhlí by měly vydržet o něco déle, a to asi 200 let. Tyto odhady nepočítají s nalezením dalších ložisek fosilních paliv, což je možné, ale nemůžeme se na to spoléhat. Když vezmeme situaci v ČR, tak jsme na tom ještě o trochu hůře. Pokud se nezmění uzemní limity, tak by mělo hnědé uhlí vydržet po dobu asi 23 let a při prolomení limitů je to asi 65 let. Zásoba černého uhlí by měla vystačit několik desítek let. Zásoby ropy a zemního plynu jsou u nás poměrně malé a nedá se s nimi příliš počítat, protože jejich současná těžba nestačí ani k pokrytí stávající spotřeby. [1]

Využívání obnovitelných zdrojů pro výrobu elektrické energie

Jako obnovitelné zdroje energie označujeme obnovitelné nefosilní přírodní zdroje, jimiž jsou energie větru, energie slunečního záření, energie vzduchu, energie vody, geotermální energie, energie půdy, energie biomasy, energie skládkového plynu, energie kalového plynu a energie bioplynu. Většina energie, která je na Zemi, pochází z jaderných přeměn ve Slunci, a to i fosilní paliva. Další energií je teplo uvnitř naší planety, které jsme získali už před dávnou dobou při vytváření naší planety. Dalším druhem je energie přílivu a odlivu, která je způsobena přitažlivostí těles ve vesmíru a velký vliv na to má hlavně přitažlivost Měsíce. [2]

Přechod na získávání energie z obnovitelných zdrojů je možný. Potenciál obnovitelných zdrojů na naší planetě je tak velký, že dokáže několikanásobně pokrýt celosvětovou spotřebu energie. Problém tedy není v tom, že by obnovitelné zdroje nedokázaly pokrýt spotřebu, ale je v jejich správném využívání. Musíme vytvořit takovou soustavu zdrojů a dalších zařízení, které by byly schopny stabilně dodávat potřebnou energii. Přechod na využívání obnovitelných zdrojů není proto vůbec snadný a nemůže být realizován okamžitě, ale pokud bude systém správně navrhnutý, tak se mohou OZE stát v budoucnu hlavním zdrojem energie. Většina obnovitelných zdrojů je velmi závislá na přírodních podmínkách, kterými jsou ovlivňovány. Proto tyto zdroje nemůžeme považovat za stabilní a kvůli tomu také není jednoduché navrhnout soustavu, která by se s těmito výkyvy dokázala správně vypořádat. Kvůli této nestabilitě, která se významněji projeví až při velkém využívání OZE, je dobré obnovitelné zdroje nenasazovat najednou ale postupně, abychom se mohli seznámit s těmito výkyvy a připravit na to celou soustavu. [2]

Dalšími faktory, které limitují obnovitelné zdroje, jsou jejich malá plošná koncentrace, nerovnoměrné rozložení a proměnlivá intenzita v průběhu dne a roku. Energie, kterou získáváme z obnovitelných zdrojů, není tak levná jako energie získávaná z neobnovitelných zdrojů. Vhodné lokace pro výstavbu zařízení na využívání obnovitelných zdrojů nejsou všude a jejich rozmístění je velmi nerovnoměrné. Například pro solární systémy je vhodná oblast výstavby tam, kde na zemský povrch dopadá sluneční záření s velkou intenzitou. Takovou vhodnou oblastí je například severní Afrika a také na Arabský poloostrov, zde je možné vyrobit pomocí solárních systémů velké množství energie, které by mohla využívat i Evropa. Při tomto příkladu se setkáváme s dalším problémem, a tím je doprava získané energie do místa spotřeby, protože místo výroby může být od místa konečné spotřeby velmi vzdálené. Tento přenos může nadměrně zatěžovat přenosovou soustavu a tím zvyšovat i ztráty v této soustavě. Abychom mohli přenášet potřebnou energii a zvládali i výkyvy této energie, je nutné mít správně navrženou přenosovou soustavu. To je pro vzdálenější přenosy problematictější a může to i vyžadovat rekonstrukci přenosové soustavy anebo její rozšíření. Díky těmto faktorům samozřejmě stoupá i koncová cena energie. [2]



Obr. 2 Zdroje a možnosti využívání obnovitelných energií [2]

K posouzení energetického potenciálu obnovitelných zdrojů potřebujeme znát některé jejich technické parametry. Součinitel využití K udává poměrně dobrou představu o využití zařízení v průběhu celého roku. Počítá se jako podíl skutečně vyrobené elektrické energie k teoretické maximální výrobě elektrické energie, která by mohla být vyrobena jmenovitým výkonem a při celoročním provozu. Níže jsou sepsány další využívané technické parametry. [1][27]

- Instalovaný výkon P_i [W]
- Špičkový výkon P_p [Wp]
- Průměrný celoroční výkon P_{cr} [Kw]
- Součinitel využití K [-]

$$K = \frac{W_R}{P_i * h} \quad [-] \quad (1)$$

W_R – vyjadřuje množství vyrobené energie za rok; h – počet hodin za rok (kalendářní rok – 8 760 h; přestupný rok – 8 784 h)

2.1 Historie používání obnovitelných zdrojů

Obnovitelné zdroje energie začal člověk využívat dříve než fosilní paliva, a to už v pravěku, když začal používat oheň. Po dlouhou dobu byly obnovitelné zdroje energie primárním zdrojem energie. Lidé využívali energii větru k pohánění lodí a k roztáčení lopatek větrných mlýnů, vodní energii pro splavování dřeva a také pro mlýny a energie biomasy byla využívána například pro vytápění. Asi od 19. století přestaly být obnovitelné zdroje hlavní energetickou základnou, protože se začalo využívat uhlí a později i další fosilní paliva jako hlavní energetické zdroje. [2]

S opětovným zájmem o obnovitelné zdroje se setkáváme při ropné krizi v 70. letech 20. století. V roce 2006 se vyrobilo ve světě z obnovitelných zdrojů asi 18 % z celkové spotřeby energie. Z toho velkou část tvořila výroba energie z biomasy, a to přibližně 13 %, a z vodní energie se vyrobily 3 % celkové spotřeby. Evropská unie v roce 2007 stanovila, že do roku 2020 se má v členských státech vyrobit alespoň 20 % energie z obnovitelných zdrojů. Hlavním důvodem byla snaha co možná nejvíce omezit vypouštění emisí a dalších látek do ovzduší. [10]

2.1.1 Historie jednotlivých obnovitelných zdrojů energie

Sluneční energie

Pasivně využíváme sluneční energie už velmi dlouho, například pro ohřev obydlí, vysoušení různých materiálů nebo pro vytváření prvních hliněných cihel.

Aktivně sluneční energii využíváme spíše až v posledních staletích. První solární termický systém byl celosvětově patentován v roce 1891 podnikatelem Clarence M. Kemp, jednalo se o jednoduchý termický systém. Dokonalejší solární termický systém byl prezentován v roce 1909 a skládal se ze slunečního kolektoru a zásobníku. Později byl jejich vývoj utlumen, protože nedokázaly konkurovat fosilním palivům. Po ropné krizi v 70. letech minulého století se opět zvýšil zájem o solární termické systémy a pokračoval jejich další vývoj. V dnešní době je už mnoho variant termických systémů. Tyto systémy mohou být využívány pro výrobu elektrické energie, ohřev vody nebo pro předehřev užitkové vody, která může být také využívána i pro vytápění budov. [1][2]

Za počátek fotovoltaických systémů se považují první experimenty, které prováděl francouzský fyzik Francouz Alexandre Edmond Becquerel. Fotovoltaický jev byl poprvé pozorován jako přírůstek napětí na kovových elektrodách, které byly ponořené v elektrolytu. První pevný článek byl vyroben Charlesem Fritzem, jednalo se o selenový fotočlánek, který byl ale velmi drahý a měl velmi malou účinnost, proto se nenašlo jeho větší uplatnění. Foelektrický jev byl objasněn a popsán až Albertem Einsteinem, který za to získal v roce 1921 Nobelovu cenu. Díky tomuto objasnění mohl pokračovat další vývoj fotovoltaických technologií. V 50. letech začal vývoj polovodičových materiálů a díky tomu jsme získali vhodný materiál pro výrobu fotovoltaických článků. První článek byl vyroben v roce 1954 v amerických Bell Laboratories, a tím se otevřela cesta i pro komerční využívání fotovoltaiky. Prvním větším uplatněním fotovoltaických článků bylo jejich využití v kosmonautice jako zdroj energie pro napájení satelitů. Komerčně byly využívány hlavně pro menší elektroniku. Fotovoltaické systémy pro energetické účely se začaly rychle rozvíjet po ropné krizi v 70. letech minulého století a tím se nastartoval efektivnější proces výroby elektrické energie. [1][2]

Větrná energie

Větrnou energii jsme začali nejdříve využívat pro pohon lodí, a to už před několika tisíciletími. První dochované zmínky o využívání větrných motorů se objevily už ve 3. století př.n.l v Egyptě. Jednalo se o větrný motor s vodorovnou osou určený pro čerpání vody. Do Evropy se větrné mlýny dostaly až ve 13. století a jejich největší rozmach byl v Holandsku. Využívaly se hlavně pro mletí obilí a čerpání vody. Velký rozvoj větrné energie nastal na začátku 19. století v USA, bylo zde postaveno více jak 6 milionů větrných motorů, hlavně pro čerpání vody. V této době proběhla také

první realizace zařízení, které využívalo větrnou energii pro výrobu elektrické energie. Následně ale došlo ke snížení využívání větrné energie kvůli vývoji jiných metod získávání energie. [1][2][7]

V posledních letech zájem o využívání větrné energie znovu roste, a to hlavně v oblasti energetiky pro výrobu elektrické energie. To souvisí se snahou snížení využívání fosilních paliv a jejich negativními účinky na životní prostředí. Rozvoj větrné energetiky byl celkem velký a rychlý, například v Německu se přibližně do roku 1995 postavilo 3 655 větrných elektráren s celkovým instalovaným výkonem přesahující 1 GW a v roce 2007 to bylo už 19 640 větrných elektráren s celkovým instalovaným výkonem přesahující 22 GW. [1][2]

Vodní energie

Vodní energii využívá lidstvo už více než 2 000 let, a to transformací kinetické energie vody na energii mechanickou. Byly budovány vodní mlýny, které měly velká otáčející se kola, zajišťující přeměnu kinetické energie vody. Mechanická energie z vodních kol byla používána například k mletí obilí, řezání dřeva nebo pro čerpání vody z dolů a jako pohon dalších strojů. V 18. století bylo v Evropě asi 500 000 až 600 000 vodních mlýnů. [1][2]

Po dlouhou dobu neprobíhal žádný velký vývoj využívání vodní energie, to se změnilo až s průmyslovou revolucí. Poté nastal vývoj vodních turbín, první byla Francisova turbína, která se začala využívat už v 19. století, další následovala Peltonova turbína a poté Kaplanova turbína. Vývoj těchto turbín vedl k výstavbě vodních děl a také k tomu, že jsme mohli začít vyrábět elektrickou energii z vodní energie. Při elektrifikaci na konci 19. století byla využívána hlavně vodní energie. První vodní elektrárna byla postavena v USA v roce 1882 a nacházela se u Velkých jezer. U nás se první vodní elektrárna objevila také v 19. století, a to ve městě Písku. Vynález parního stroje odsunul vodní energetiku na druhou kolej, ale využívání vodních turbín nikterak neupadlo. Až ve 20. století začala výstavba velkých vodních děl, která dosahovala instalovaných výkonů až několik set MW. [1][2]

Geotermální energie

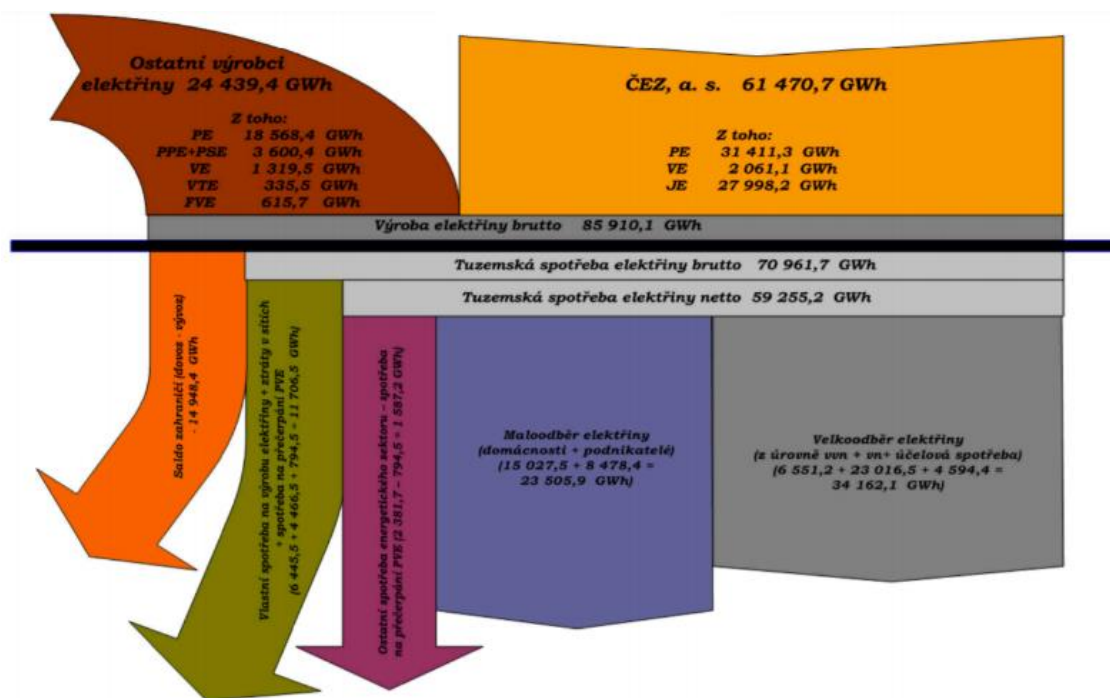
První stopy o využívání geotermální energie pochází už z doby před 10 000 lety, jednalo se o využití této energie jako zdroje tepla pro vaření na území Severní Ameriky v oblasti horských pramenů v oblasti Yellowstone. Další možné využití geotermální energie byly především lázeňské komplexy, kde byla teplá voda bohatá na minerály využívána pro léčebné účely. Další vývoj využívání geotermální energie nastal až ve 20. století, kdy Piero Ginori Conti představil princip geotermální elektrárny. Výstavba geotermálních elektráren a zařízení využívajících geotermální energii je velmi náročná a nelze ji provádět všude. Velký potenciál pro využívání geotermální energie má Island a také je zde velmi hojně využívána, jak pro výrobu elektrické energie a ohřev, tak i pro vytápění budov. [7][2]

Energie biomasy

Už od doby, kdy člověk objevil oheň, využívá lidstvo energii biomasy, a to spalováním dřeva a dalších rostlin. Biomasa je nejdéle používaný obnovitelný zdroj energie. Až do 18. století byla hlavním a nejdůležitějším zdrojem energie. Dokonce i v dnešní době je v některých méně rozvinutých zemích hlavním zdrojem energie. S rostoucím využíváním fosilních paliv začal zájem o biomasu klesat, hlavně ve vyspělých zemích. Například v Německu klesl podíl jejího využívání v roce 2000 pod 3 %. Biomasa se znovu začala více využívat s rostoucí cenou ropy a s rozvojem výroby elektrické energie pomocí obnovitelných zdrojů. V dnešní době ji už můžeme využívat v elektrárnách a teplárnách pro výrobu elektrické energie a tepla nebo k výrobě bioplynu a paliva. [2][7]

2.2 Nástin využívání obnovitelných zdrojů energie v ČR

Energetickou základnu v České republice tvoří hlavně fosilní paliva, obnovitelné zdroje energie jsou u nás zatím vnímána spíše jako doplňkový zdroj energie. Některé důvody, proč je jejich využívání problematické, byly zmíněny už dříve. V České republice se ale setkáváme i s dalším problémem jejich využívání. Na našem trhu zatím nejsou dostatečně konkurenceschopné, a proto musí být některé obnovitelné zdroje poměrně hodně podporovány. Negativní zkušenost ohledně podpory OZE v ČR byla hlavně s fotovoltaickými elektrárnami, toto téma bylo u nás velmi diskutované. Dokonce kvůli těmto problémům uvažuje skupina ČEZ o další výstavbě zařízení využívajících obnovitelných zdrojů v ostatních zemích Evropské unie. Hlavní důvod tohoto záměru je ale ten, že v jiných zemích jsou pro určité obnovitelné zdroje energie vhodnější podmínky pro výstavbu než u nás.



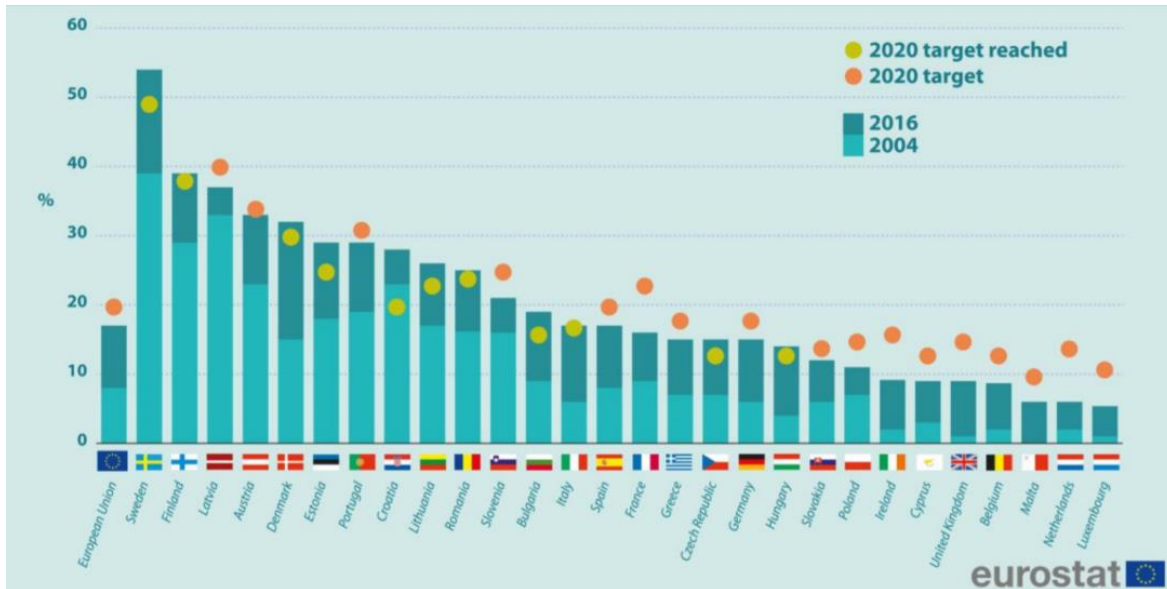
Obr. 3 Struktura výroby elektrické energie v ČR pro rok 2010 [1]

Strukturu výroby elektrické energie pro Českou republiku a rok 2010 znázorňuje Obr. 3. Je zde vidět, že většina elektrické energie je vyráběna v tepelných elektrárnách, což odpovídá 58,2 % celkové brutto výroby elektřiny. Téměř třetinu brutto výroby zastávají jaderné elektrárny (32,6 %) a brutto výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů energie je 6,9 %, což odpovídá 5 886,9 GWh. Z celkové výroby elektřiny 85 910,1 GWh je skoro 15 tisíc GWh prodáno do zahraničí. Tuzemská brutto spotřeba elektrické energie se dále dělí na maloodběr, velkoodběr elektřiny a vlastní spotřebu elektráren, ztráty v síti a spotřebu pro přečerpávání.

Evropská unie a její postoj k obnovitelným zdrojům

Využívání energie z obnovitelných zdrojů patří k významným cílům energetické politiky Evropské unie. Evropská unie stanovila, že do roku 2010 se mají obnovitelné zdroje energie podílet alespoň 12 % na pokrývání brutto spotřeby elektrické energie v EU. Další cíl byl stanoven do roku 2020, a to takový, že výroba z obnovitelných zdrojů energie pokryje brutto spotřebu minimálně z 22 %. Při vstupu do Evropské unie jsme se zavázali, že minimálně 8 % brutto spotřeby budou pokrývat obnovitelné zdroje energie. Tuto podmínku jsme splnili a ke konci roku pokrývaly obnovitelné zdroje energie 8,3 % brutto spotřeby elektrické energie. Pro rok 2020 bylo zvýšeno pokrytí brutto spotřeby z obnovitelných zdrojů v ČR na minimální hranici 13 %.

Na Obr. 4 vidíme přehled využívání obnovitelných zdrojů energie v jednotlivých Evropských státech. Hodnoty jsou zde uvedeny v podílu vyrobené energie z OZE ke konečné hrubé spotřebě. Také jsou zde vyznačeny body, které ukazují požadované procentuální využívání OZE a byly stanovené Evropskou unií pro každý jednotlivý stát. Některé země mají stanovený větší podíl výroby z OZE, protože to závisí na možném využitelném potenciálu daných zemích. Některé státy tento cíl splňují už v roce 2016, mezi nimi je i Česká republika.



Obr. 4 Přehled využívání obnovitelných zdrojů v EU pro rok 2016 [10]

3 Obnovitelné zdroje energie

Obnovitelné zdroje energie jsou definované v českém zákoně o životním prostředí takto: „Obnovitelné přírodní zdroje mají schopnost se při postupném spotřebování částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka“. Mezi obnovitelné zdroje energie patří hlavně sluneční, vodní, větrná, geotermální energie a biomasa. [1]

3.1 Sluneční energie

Slunce je nejdůležitějším zdrojem energie na Zemi. Sluneční energie je zářivá energie v celém rozsahu spektra od nejmenších vlnových délek rentgenového záření až po metrové délky rádiového záření. Předpokládá se, že Slunce by mělo svítit ještě přibližně 5 až 7 miliard let, proto tento zdroj považuje lidstvo za nevyčerpatelný. Slunce neustále produkuje ohromné množství energie a jeho výkon je zhruba 4×10^{26} W, ale z tohoto výkonu na zemi dopadá jenom asi 45 miliardtin. Na zemi je tato energie přeměňována na teplo a jiné formy energie. Sluneční energie, která dopadá na povrch Země, dokáže pokrýt energetické potřeby celé lidské společnosti a má vliv na celý chod naší planety.

Sluneční energii můžeme využívat pasivně, tak že budeme konstruovat budovy a různé objekty, aby zachytávaly co největší množství sluneční energie. V této práci se zabývám hlavně aktivním využívání sluneční energie. K aktivní přeměně sluneční energie využíváme fototermická a fotovoltaická zařízení. Fototermická zařízení přeměňují sluneční energii na vnitřní tepelnou energii pracovní látky a fotovoltaická zařízení přeměňují sluneční energii na elektrickou energii. [2]

3.1.1 Sluneční záření

V této oblasti používáme pojem *sluneční konstanta*, což je tok sluneční energie procházející kolmo jednotkovou plochou mimo zemskou atmosféru za jednotku času. Kvůli proměnné vzdálenosti mezi Sluncem a Zemí se stanovila průměrná hodnota sluneční konstanty na $I_0 = 1360 \text{ Wm}^{-2}$. Na zmenšení intenzity tohoto záření má vliv *součinitel znečištění* Z , ten závisí na obsahu různých látek ve vzduchu a také na tlaku. Díky těmto látkám v atmosféře dochází k pohlcování a odrazům slunečního záření a tím také ke snížení intenzity slunečního záření. [1]

Celkové sluneční záření se skládá ze dvou složek: [1]

- přímé sluneční záření [I_P]
 - záření, které je nerozptýlené a dopadá přímo na zemský povrch
- difúzní sluneční záření [I_D]
 - difúzní záření vzniká odrazem přímého záření od molekul plynů, částic prachu, vodních par v atmosféře, ale také od zemského povrchu
 - intenzita difúzního záření vzrůstá se součinitelem znečištění
 - difúzní záření na povrch Země dopadá ze všech směrů na rozdíl od přímého záření

Intenzitu přímého slunečního záření dopadajícího na plochu kolmou k paprskům (I_{PN}) můžeme popsat následující rovnicí.

$$I_{PN} = I_0 \times A^{-Z} \text{ [Wm}^{-2}\text{]} \quad (2)$$

kde I_0 je sluneční konstanta; A je součinitel závisící na výšce Slunce nad povrchem; Z je součinitel znečištění

Intenzita přímého slunečního záření pro obecně položenou plochu je dána:

$$I_P = I_{PN} \times \cos \gamma \text{ [Wm}^{-2}\text{]} \quad (3)$$

kde γ je úhel dopadu slunečních paprsků

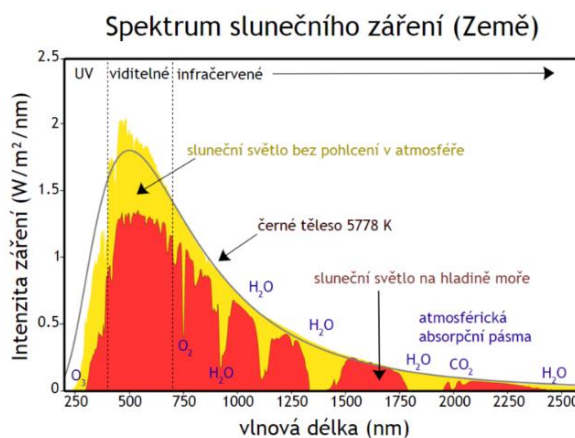
Z výše uvedených vzorců vyplývá, že množství dopadající energie je přímo závislé na sklonu kolektoru α a na součiniteli znečištění Z . Protože se Země v průběhu roku neustále pohybuje okolo Slunce, mění se také optimální úhel pro maximální využívání slunečního záření. [1]

Optimální úhel pro maximální využití slunečního záření v průběhu roku:

- letní období $30^\circ - 45^\circ$
- zimní období $60^\circ - 90^\circ$

Sluneční záření se téměř shoduje se zářením černého tělesa. Při průchodu atmosférou je sluneční světlo rozptylováno a absorbováno, pokud musí sluneční záření projít větší vrstvou atmosféry, dojde k většímu pohlcení tohoto záření. [11]

Spektrum slunečního záření je charakterizováno koeficientem AM (air mass). Koeficient vzdušné hmotnosti definuje přímou délku optické dráhy zemskou atmosférou. Tento koeficient využíváme k charakterizaci slunečního spektra po projití slunečního záření atmosférou. Využíváme hlavně tyto základní hodnoty $AM_0 = 1367 \text{ W/m}^2$, což odpovídá intenzitě záření na hranici atmosféry Země, a $AM_{1,5} = 1000 \text{ W/m}^2$, což odpovídá intenzitě po průchodu atmosférou. Pro charakterizaci solárních článků, které využíváme na družicích, používáme spektrum AM_0 . Pro hodnocení pozemských solárních článků a modulů využíváme v solárním průmyslu spektrum $AM_{1,5}$ určené pro standardizaci všech testů. [9]



Obr. 5 Spektrum slunečního záření [9]

3.1.2 Využívání sluneční energie

Sluneční energii využíváme dvěma způsoby, a to aktivně a pasivně. Mezi aktivní využití řadíme termické a fotovoltaické systémy.

Pasivní využívání sluneční energie

Tímto způsobem využíváme sluneční energii bez speciálního technického zařízení. Pasivní využívání sluneční energie spočívá ve vhodné konstrukci budov, to znamená v principech takzvané solární architektury. Domy postavené na těchto principech jsou projektované tak, aby zachytily co nejvíce sluneční energie. Tyto principy se využívají hlavně při stavbě pasivních a nízkoenergetických domů. [7][4]

Aktivní využívání sluneční energie

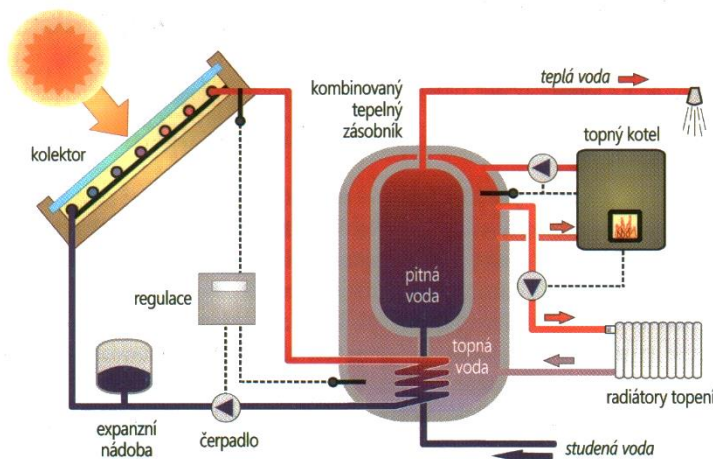
Termické systémy

Termické kolektory využívají sluneční energii, kterou přeměňují v tepelnou. Získané teplo se poté převádí do teplotnosného média, aby mohlo být transportováno do místa potřeby. Solární systémy se skládají z těchto základních částí: slunečních kolektorů, tepelného zásobníku a solárního okruhu (systém pro přenos tepla). Podle média dělíme kolektory na vzduchové a kapalinové. Tepelný zásobník má za úkol akumulaci získaného tepla a také slouží k vyrovnávání kolísání dodávek solární energie. Solární okruh slouží pro přenos tepla od slunečních kolektorů k tepelnému zásobníku nebo přímo ke spotřebě tohoto tepla, a to se děje přečerpáváním teplotnosného média. Médium se v kolektoru ohřeje, poté se přečerpá do zásobníku, kde se ochladí (přijaté teplo předá dál). Typické části solárního okruhu jsou typizované potrubí, ventily, pojistná zařízení, čerpadla, řídicí jednotky. [4] [7]

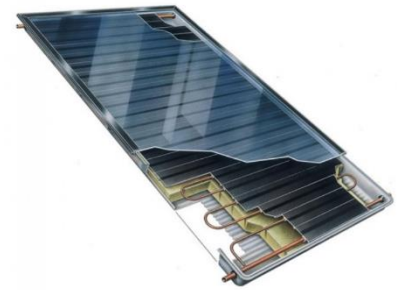
Sluneční záření, které dopadá na termický kolektor, je pohlcováno absorbérem a tím přeměňováno na tepelnou energii. Absorbér je zpravidla tvořen černou deskou, její povrch musí mít co nejlepší schopnost absorbovat sluneční záření (přeměnit na teplo) a přitom vyzářit co nejméně energie zpět. V absorbéru nebo na něm jsou připevněny trubky, kterými protéká médium. Aby docházelo k co nejlepšímu přenosu tepla z absorbéru do média, je nutné, aby materiály měly co nejlepší tepelnou vodivost. Proto jsou absorbéry vyráběny z mědi nebo hliníku a trubky jsou většinou měděné. [4] [7]

Solární soustavy se nejvíce uplatňují v následujících oblastech:

- Ohřev vody v bazénech
- Ohřev užitkové vody v letním období, předehřev v zimě
- Vytápění, nejvíce vodou (občas vzduchem)



Obr. 7 Solární systém pro kombinovaný ohřev pitné a topné vody [2]



Obr. 6 Termický kolektor [8]

Fotovoltaické systémy

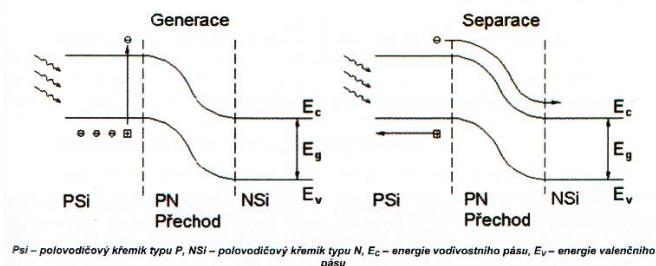
Fotovoltaické systémy využívají fotovoltaického jevu pro přímou přeměnu slunečního záření na elektrickou energii. Problematika ohledně fotovoltaických systémů bude probírána v dalších kapitolách.

3.1.3 Princip funkce fotovoltaického článku

Základním principem fotovoltaického článku je fotoelektrický jev, při němž jsou elektrony uvolňovány z látky v důsledku absorpce elektromagnetického záření látkou. Absorpce je způsobena interakcí světla s částicemi hmoty a nastávají tyto případy: [1]

- Interakce částice s mřížkou
 - Využití nízkenergetických fotonů, následkem je zvýšení teploty
- Interakce s volnými elektrony
 - Dochází pouze ke zvýšení teploty
- Interakce s vázanými elektrony
 - Vznikají volné nosiče náboje, může dojít k uvolnění elektronu z vazby

Pro správnou funkci fotovoltaického článku je důležité, aby dopadající foton uvolnil v látce elektron a vznikl pár elektron – díra. V kovech dojde k jejich okamžité rekombinaci, které je potřeba zabránit a vzniklý náboj odvést z článku. Kvůli tomu se používají polovodiče, protože v nich jsou elektrony a díry separovány vnitřním elektrickým polem PN přechodu. [1]

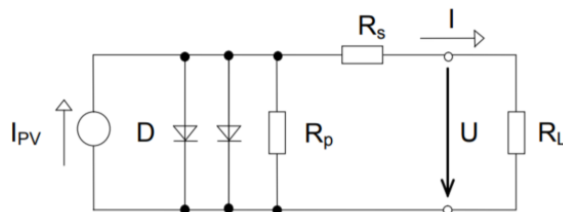


Obr. 8 Fotovoltaický jev – princip přímé přeměny sluneční energie na elektrickou energii [1]

V oblasti ozářené slunečním zářením jsou generovány nerovnovážné nosiče, které následně difundují směrem k PN přechodu. Hustota proudu J_{PV} je tvořena nosiči náboje, které byly zachyceny oblastí prostorového náboje. Nerovnovážné nosiče náboje jsou generované i mimo PN přechod, a aby se uplatnili při generaci fotovoltaického napětí, musí do oblasti PN přechodu difundovat. Nosiče na cestě k PN přechodu mohou zrekombinovat a potom se neuplatní. [1]

$$J_{PV}(\lambda) = J_{PVN}(\lambda) + J_{PVP}(\lambda) + J_{OPN}(\lambda) \quad (4)$$

$J_{PVN}(\lambda)$ – Hustota proudu v oblasti typu N; $J_{PVP}(\lambda)$ – Hustota proudu v oblasti typu P; $J_{OPN}(\lambda)$ – Hustota proudu v oblasti prostorového náboje přechodu PN

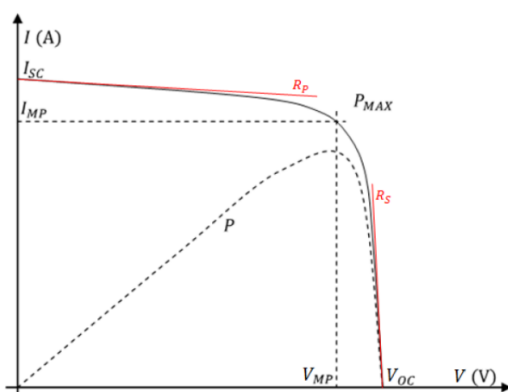


Obr. 9 Náhradní schéma pro fotovoltaický článek [11]

Fotovoltaický článek modelujeme pomocí náhradního obvodu, který je vidět na obrázku výše. V ozářené oblasti PN přechodu je generován proud o hustotě J_{PV} , přičemž se oblast typu N nabíjí záporně a oblast typu P se nabíjí kladně. Část generovaného proudu teče přes diody znázorněné ve schématu. První dioda ve schématu zastupuje difúzní proud a druhá zastupuje generačně – rekombinační proud. Svodový odpor R_p ve schématu zastupuje technologické nedokonalosti PN přechodu a vliv odporu materiálu je zastoupen sériovým odporem R_s . [1]

3.1.3.1 Voltampérová charakteristika fotovoltaického článku

Voltampérové charakteristiky se používají pro charakterizaci fotovoltaických článků a dodávají o nich informace. Základními body voltampérové charakteristiky jsou proud nakrátko I_{SC} , napětí naprázdno U_{OC} , napětí maximálního výkonu U_{MPP} a proud maximálního výkonu I_{MPP} . Parazitní odpory R_s a R_p velmi ovlivňují fotovoltaické články a jejich vliv je vidět i na voltampérových charakteristikách. Vzrůst sériového odporu má za následek pokles proudu a kvůli tomu dojde k poklesu účinnosti. Naopak zmenšení paralelního odporu má za následek pokles napětí, a proto také klesne účinnost. Odpory



Obr. 10 V-A charakteristika fotovoltaického článku [11]

jsou ovlivňovány teplotou, při vzrůstající teplotě sériový odpor roste a paralelní odpor klesá, kvůli tomu při vzrůstající teplotě účinnost klesá. [11]

Výkon pro fotovoltaický článek se počítá klasicky jako součin proudu a napětí. Každý fotovoltaický článek má pracovní bod maximálního výkonu, který je určen napětím U_{MPP} a proudem I_{MPP} . Výkon článku závisí na jeho ozáření a teplotě. [1]

$$P_{MPP} = U_{MPP} \times I_{MPP} \quad (5)$$

kde U_{MPP} je napětí článku v bodě MPP; I_{MPP} je proud článku v bodě MPP

Dalším parametrem, který nám udává informaci o fotovoltaických článcích, je činitel plnění (FF - Fill Factor).

$$FF = \frac{U_{MPP} \times I_{MPP}}{U_{OC} \times I_{SC}} \quad (6)$$

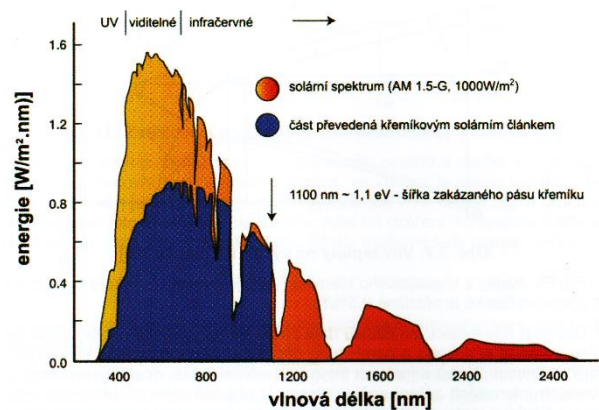
kde U_{OC} je napětí naprázdno; I_{SC} je proud nakrátko

Účinnost fotovoltaického článku je definována jako podíl maximálního výkonu k výkonu dopadajícího záření (P_{in}).

$$\eta = \frac{U_{MPP} \times I_{MPP}}{P_{in}} \quad (7)$$

Pro dosažení co největšího výkonu chceme co nejmenší ztráty. U fotovoltaických článků jsou tři základní dělení ztrát a těmi jsou ztráty optické, rekombinací a elektrické. [11]

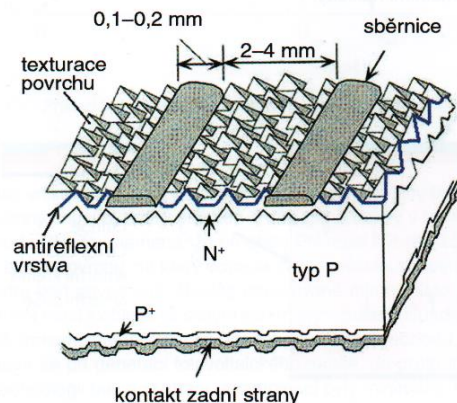
- optické ztráty
 - odrazem
 - zastíněním
 - neabsorbované záření
- ztráty rekombinací
 - oblast emitoru
 - oblast báze
 - povrch
- elektrické ztráty
 - sériový odpor
 - paralelní odpor



Obr. 11 Sluneční spektrum na Zemi a využitelné spektrum záření pro články Si [11]

3.1.4 Konstrukce fotovoltaických článků a modulů

Nejvíce používaným materiálem pro výrobu fotovoltaických článků je křemík. Tento materiál se používá kvůli tomu, že má poměrně široký zakázaný pás a díky tomu se při dopadu slunečního záření můžou generovat volné nosiče s vysokou účinností. U křemíku roste absorpční koeficient pozvolně s energií fotonu, proto je nutné mít pro absorpci dlouhovlnných částic slunečního spektra tloušťku materiálu v řádech stovek μm . Dalším materiálem, ze kterého se vytvářejí fotovoltaické články, je GaAs. U tohoto materiálu je sluneční záření plně absorbováno již při tloušťce v jednotkách μm .



Obr. 12 Struktura fotovoltaického článku z krystalického Si [7]

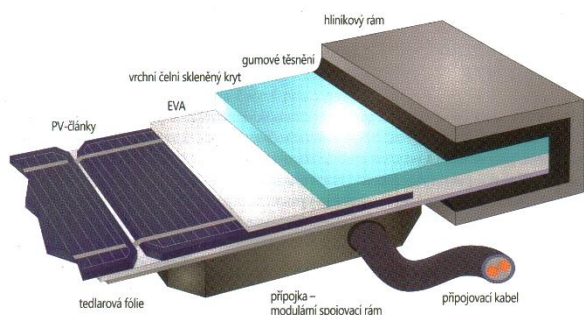
Články mají povrchovou strukturu takovou, aby docházelo k maximálnímu pohlcení slunečního záření a tím pádem k menším ztrátám. Taková struktura je zobrazena na Obr. 12. [1][7]

Články a moduly z krystalického křemíku

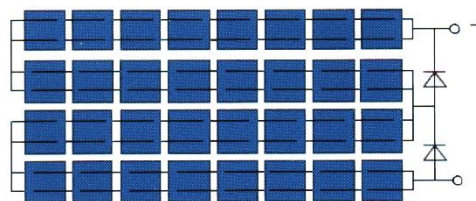
Křemíkové články jsou buď monokrystalické nebo multikrystalické. Monokrystalické křemíkové články mají lepší účinnost, ale jejich výroba je náročnější a hlavně dražší. Proto se začaly využívat články z multikrystalického křemíku, které jsou na výrobu jednodušší a levnější, ale z důvodu náhodné orientace krystalických zrn se zvyšují ztráty rekombinací, a proto tyto články mají oproti monokrystalickým horší účinnost. [11]

Výroba jednotlivých článků je realizována řezáním křemíkového ingotu o velké čistotě a jedná se většinou o polovodič typu P. Křemíkové destičky jsou čtvercové a jejich rozměry jsou do 200x200 mm, tloušťka destiček je přibližně 150–250 μm . Povrch článků je po řezání texturován, poté se vytvoří vrstva typu N pomocí difúze fosforu a následně je nanesena antireflexní vrstva. Kontakty jsou naneseny na stranu typu N pomocí sítotisku a opačná strana je pokryta celoplošným kontaktem. [11]

Vyrobený článek z krystalického křemíku má v pracovním bodě napětí okolo 0,5 V. Toto napětí je pro praktické využívání poměrně malé. K získání většího napětí se zapojují jednotlivé články do série a vytvářejí se tím moduly.



Obr. 13 Struktura fotovoltaického modulu [2]



Obr. 14 Příklad zapojení fotovoltaických článků v modulu [7]

Účelem fotovoltaických modulů není jenom dosáhnout většího napětí, ale také slouží k ochraně samotných fotovoltaických článků. Musí odolávat okolním vlivům, a to hlavně teplotním změnám, vodě, vlhkosti, mechanickému namáhání, UV záření a dalším. Ve fotovoltaickém modulu jsou sériově spojené články hermeticky zapouzdřeny ve folii EVA. Vrchní ochrannou vrstvu tvoří tvrzené sklo. Na zadní straně je většinou umístována další folie (Tedlar). Takto zapouzdřené články jsou vloženy do hliníkových rámců a opatřeny svorkovnicí s kabelovými vývody a překlenovacími diodami. Životnost těchto fotovoltaických modulů se pohybuje okolo 20 až 30 let a je nejvíce ovlivněna folií EVA, protože při působení slunečního světla dochází k její degradaci. Protože jsou články v modulu zapojovány do série, protéká všemi stejný elektrický proud, který je určen nejslabším článkem. Kvůli tomu se provádí rozřazení fotovoltaických článků tak, aby měli všechny články v jednom modulu stejný proud I_{MPP} . Je také důležité, aby všechny články v modulu byly stejně osvětleny. Pokud nejsou, snižuje se celkový výkon fotovoltaického modulu. Aby vliv lokálního zastínění byl co nejmenší, používají se překlenovací diody. Díky nim dojde při lokálním zastínění k tomu, že část proudu teče přes diodu a zbytek přes články, které jsou zastíněny. Tím pádem není proud omezen, ale dojde při tom k poklesu výstupního napětí o napětí překlenuté části. Kabelové vývody jsou opatřovány konektory, aby bylo možné fotovoltaické moduly spojovat. Tím, že spojíme moduly sériově, dosáhneme většího napětí na výstupu, a pokud je spojíme paralelně, dosáhneme většího proudu. U velkých fotovoltaických polí využíváme sériově – paralelní kombinace. [7][11]

3.1.5 Sluneční elektrárny

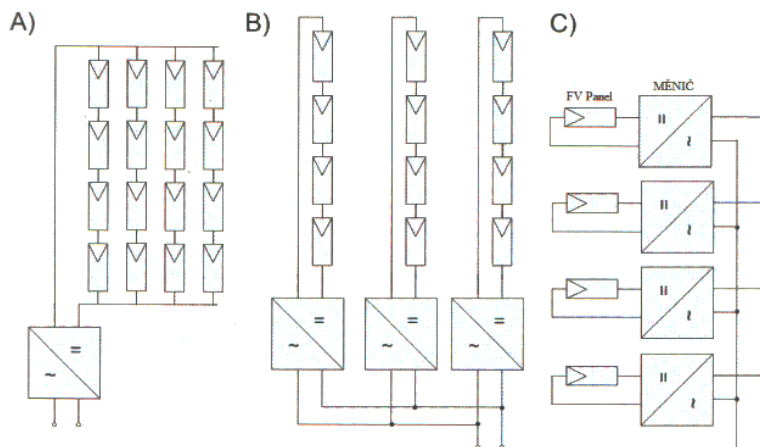
Pro sluneční elektrárny se z fotovoltaických modulů vytvářejí fotovoltaická pole, díky tomu se dosáhne většího výkonu. Instalovaný výkon sluneční elektrárny se počítá jako součet nominálních výkonů jednotlivých modulů. Fotovoltaické systémy rozdělujeme na následující: [7]

- autonomní systémy
- hybridní systémy s akumulací
- systémy přímo připojené do sítě

Uspořádání fotovoltaického pole a měničů

Fotovoltaické moduly vyrábí stejnosměrný proud a kvůli tomu je nutné mít další zařízení pro přeměnu stejnosměrného proudu na střídavý. K tomuto účelu se používají měniče, díky nim můžeme elektrickou energii dodávat do elektrické sítě. Měníče jsou vyráběny tak, aby dodávaly co největší množství energie, zařízení musí být také schopno sledovat bod maximálního výkonu. Sledování bodu maximálního výkonu je velmi důležité proto, abychom dosáhli maximálního výkonu dodávaného fotovoltaickými moduly. Měníče je možné rozdělit na ostrovní a síťové nebo také na jednofázové a třífázové. Ostrovní vytvářejí vlastní kmitočet odpovídající přibližně 50 Hz. Síťové měniče se synchronizují s parametry rozvodné sítě. Podle zapojení měničů s fotovoltaickým polem je můžeme dělit na: [1][7][11]

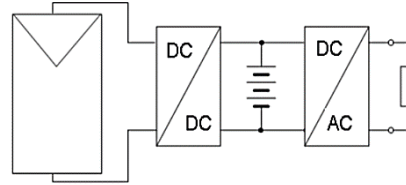
- Modulové měniče
 - Modulový měnič se instaluje ke každému modulu, proto je určen pro menší výkon. Výstupy všech měničů jsou spojeny a vyvedeny do sítě. Tento systém se snadno rozšiřuje a dovoluje dobře sledovat bod MPP. Nevýhodou je ale vyšší cena celého systému.
- Řetězcové měniče
 - Do každého měniče je zapojeno několik fotovoltaických modulů a výkon jednoho měniče může být až 15 kW. Měníčů může být v zařízení více a jejich výstupy se poté také spojují.
- Centrální měniče
 - Všechny fotovoltaické moduly, které jsou v systému, se zapojují do jednoho centrálního měniče. Výkon takového měniče je velký a může dosahovat až 500 kW. U tohoto způsobu zapojení se špatně sleduje bod MPP, protože většinou tento bod není pro jednotlivé panely stejný. Další nevýhodou je problematické rozšiřování výkonu. Měnič zvládne jenom určitý výkon, a pokud dojde k překročení jeho nominálního výkonu, je nutné měnič vyměnit za větší.



Obr. 15 Příklad zapojení invertorů; A) Centrální měnič, B) Řetězcové měniče, C) Modulové měniče [12]

3.1.5.1 Autonomní systémy

Tento systém je nezávislý na rozvodné síti a skládá se z fotovoltaických modulů, baterií a měniče. Baterie, které jsou v těchto systémech využívají, mohou být olověné, NiCd nebo NiFe. Velmi důležitá u těchto systémů je regulace nabíjení a vybíjení baterií, díky které nedochází k přebíjení ani podbíjení baterií a zároveň jsou baterie nabíjeny dle správných charakteristik. Zařízení napájená z ostrovního systému můžou být jak stejnosměrná, tak střídavá, záleží na zapojení a měniči. Tyto systémy jsou využívány hlavně v místech, kde není dostupná rozvodná síť. Autonomní systémy jsou poměrně drahé. Největší část nákladů tvoří cena baterií. [1][7]



Obr. 16 Autonomní systém s výstupem na síťové napětí [7]

3.1.5.2 Hybridní systémy s akumulací

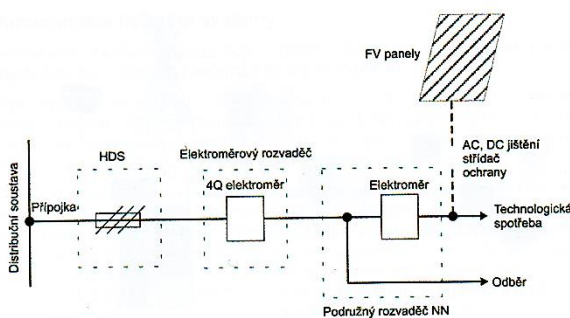
Hybridní systém je kombinací autonomního systému a systému připojeného přímo na síť. Tento systém je doplněn o další na síti nezávislý zdroj. Systém obsahuje baterie pro akumulaci elektrické energie a je konstruován tak, aby byla elektrická energie co nejlépe využita v místě spotřeby. Vyrobená elektrická energie je spotřebována nebo ukládána v bateriích. Přebytková elektrická energie, která není nijak využita, je dodána do elektrické sítě. [1][7]

3.1.5.3 Systémy přímo připojené do sítě

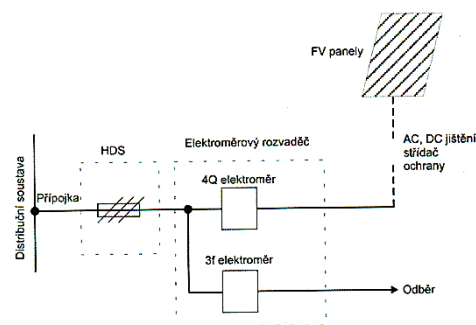
U tohoto systému je všechna vyrobená energie buď spotřebována, nebo dodána do rozvodné sítě. Tyto systémy využívají poměrně velkých fotovoltaických polí pro výrobu elektrické energie. Dalšími prvky těchto systémů jsou měniče, zařízení pro měření elektrické energie a pro regulaci a síťové ochrany. Propojení s rozvodnou sítí může být realizováno dvěma způsoby. [1]

První systém je určen i pro vlastní spotřebu a využívá takzvaného „Zeleného bonusu“. Celý objekt je za čtyřkvadrantovým elektroměrem, který měří jak spotřebu objektu, tak i výrobu z fotovoltaického systému. Pro přímé měření výroby je u samotného fotovoltaického systému umístěn další elektroměr. Přebytky jsou dodávány do sítě a v případě nedostatku v objektu je elektrická energie odebírána.

Druhý systém slouží pro přímou dodávku elektrické energie do sítě. Samotný systém je se sítí propojen přes čtyřkvadrantový elektroměr, objekt je k síti připojen přes samostatný elektroměr. Veškerá vyrobená elektrická energie je dodávána do sítě.



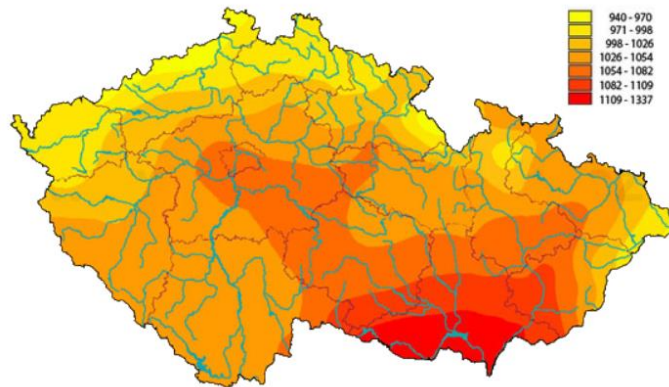
Obr. 17 Systém pro vlastní spotřebu [12]



Obr. 18 Systém pro přímou dodávku elektrické energie [12]

3.1.6 Využití v ČR

V ČR se pohybuje průměrný roční příkon mezi 1 000–1 200 kWh/m²/rok a průměrná roční hodnota slunečního svitu je 1 400 hodin. Česká republika je v mírném podnebném pásu a sluneční svit zde je velmi ovlivňován střídáním ročních období. V zimě je doba slunečního svitu kratší a oblačnost je zvýšená, proto fotovoltaické systémy v tomto období vyrábějí méně elektrické energie. To samé se samozřejmě týká i termických systémů. [13]



Obr. 19 Roční úhrn globálního slunečního záření v ČR (kWh/m²) [13]

Příklad fotovoltaické elektrárny – Ralsko Ra 1

Jedná se o největší fotovoltaickou elektrárnu o instalovaném výkonu 38,3 MW umístěnou v okrese Česká Lípa. V zásadě se nejedná o jedinou elektrárnu, ale o komplex tvořený z několika menších zdrojů o výkonech 14,3 MW, 12,9 MW, 6,6 MW a 4,5 MW. Jednotlivé zdroje jsou od sebe vzdáleny dokonce kilometry, ale všechny jsou připojeny do jednoho odběrného místa. Výroba této elektrárny by měla zvládnout pokrýt roční spotřebu více než 10 000 domácností. [28]

3.1.7 Výhody a nevýhody

Výhody sluneční energie:

- Slunce dodává na Zemi každý den velké množství energie a je zároveň považováno za nevyčerpatelný zdroj. Většina energie, která je na Zemi, pochází právě ze Slunce.
- Sluneční energie je na Zemi poměrně snadno dostupná.
- Sluneční energie se celkem snadno přeměňuje na jiné druhy energie, jako je třeba tepelná a elektrická.
- Při přímé přeměně sluneční energie na jinou nevznikají žádné škodlivé látky ani nečistoty.

Nevýhody sluneční energie:

- Sluneční energie na Zemi není dostupná v průběhu celého dne (střídání dne a noci).
- Při zatažené obloze nebo nečistotách v atmosféře výkon dodávaný od Slunce velmi klesá.
- Přímá přeměna sluneční energie na elektrickou zatím není příliš efektivní.

3.2 Větrná energie

Větrná energie je v podstatě jinou formou sluneční energie. Země přijímá od Slunce velké množství energie a část této energie způsobuje zahřívání atmosféry a povrchu. Země se nerovnoměrně ohřívá a důsledkem těchto různých teplot jsou i rozdílné tlaky v daných oblastech. Když dochází k vyrovnávání rozdílů tlaků v atmosféře, vzniká proudění vzduchu a jeho rychlost je přímo závislá na velikosti rozdílů tlaků. Vzduch proudí z míst vyššího tlaku vzduchu do míst, kde je tlak vzduchu nižší. Důvodem, proč dochází k nerovnoměrnému zahřívání, je například velmi rozmanitý povrch Země, významnou roli hraje také barva a charakter povrchu. Pohyb vzduchu je ještě ovlivňován rotací Země a střídáním dne a noci. [2]

Nejdůležitějším faktorem pro využití větrné energie je rychlost větru. Největší zdroj větrné energie se nachází nad otevřeným mořem, kde nejsou žádné překážky, které by vítr zbrzdily. Rychlost větru nad pevninou slábne vlivem nerovného území. Rychlost a směr větru těsně nad povrchem Země je hodně ovlivňován členitostí povrchu, například lesy, pohořími, horami, údolími ale také třeba městy. Využívání větrné energie se stává obtížnější s rostoucí vzdáleností od moře. Abychom získali z větru podobnou energii jako nad mořem, musíme vystoupit do větší nadmořské výšky. Proto pro budování větrných elektráren ve vnitrozemí využíváme místa jako vrcholky kopců a hor. [7]

Využití větru

Větrné elektrárny vyrábějí elektrickou energii tak, že přeměňují část kinetické energie vzdušného proudění na kinetickou energii rotoru větrné elektrárny, tím dochází ke snížení rychlosti vzdušného proudění. Pro kinetickou energii pohybující se hmoty vzduchu (E_k) platí: [1]

$$E_k = \frac{1}{2} \times m \times v^2 = \frac{1}{2} \times \rho \times V \times v^2 \text{ [J]} \quad (8)$$

kde m je hmotnost vzduchu, v je rychlost větru

Ačkoli větrnou energii využíváme již velmi dlouho, její velkou nevýhodou je, že její energetický potenciál značně kolísá. Je to způsobené tím, že výkon větru roste se třetí mocninou rychlosti větru. Pro výkon větrné turbíny (P_V) platí: [7]

$$P_V = \frac{1}{2} \times c_p \times \rho \times S \times v^3 \text{ [W]} \quad (9)$$

kde c_p je součinitel výkonu; ρ je hustota vzduchu; S je kolmá plocha k proudícímu větru

Moderní systémy využívají pouze část kinetické energie větru. Při tom dochází ke zpomalování rychlosti větru. Německý fyzik Karl Betz v roce 1920 uvedl, že maximální výkon lze získat z větru tehdy, když se jeho původní rychlost zbrzdí na třetinu. V tomto případě je možno získat 16/27, což odpovídá 59,3 % využitelného výkonu. Maximální hodnota součinitele výkonu c_p odpovídá takzvanému Betzovu limitu 0,593, ale reálně se hodnota c_p pohybuje do 0,5. [7]

Rychlost větru je klasifikována Beaufortovou stupnicí, která slouží pro odhad síly větru. Díky tabulce můžeme také přibližně určit rychlost větru jak na moři, tak na souši (znaky na moři jsem v tabulce neuváděl). Tato stupnice je uvedena v Tab. 1.

Stupeň	Označení	Rychlost větru [km/h]	Znaky na souši
0	bezvětří	0-1	kouř stoupá svisle vzhůru
1	vánek	1-5	kouř už nestoupá úplně svisle, korouhev nereaguje
2	slabý vítr	6-11	vítr je cítit ve tváři, listí šelestí, korouhev se pohybuje
3	mírný vítr	12-19	listy a větvičky v pohybu, vítr napíná prapory
4	dosud čerstvý vítr	20-28	vítr zvedá prach a papíry
5	čerstvý vítr	29-38	hýbe listnatými keři, malé stromky se ohýbají
6	silný vítr	39-49	pohybuje silnějšími větvemi, telegrafní dráty sviští
7	prudký vítr	50-61	pohybuje celými stromy, chůze proti větru obtížná
8	bouřlivý vítr	62-74	láme větve, vzpřímená chůze proti větru je již nemožná
9	vichřice	75-88	menší škody na stavbách
10	silná vichřice	89-102	na pevnině se vyskytuje zřídka, vyvrací stromy a ničí domy
11	mohutná vichřice	103-117	rozsáhlé zrušení plochy
12	orkán	118-133	ničivé účinky odnáší domy, pohybuje těžkými hmotami

Tab. 1 Beaufortova stupnice síly větru [14]

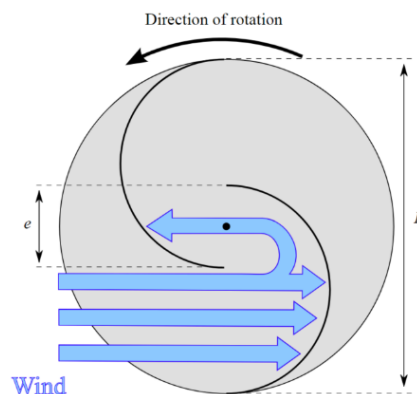
3.2.1 Větrné motory

Větrné motory jsou nezbytnou součástí větrné elektrárny, protože je používáme pro přeměnu kinetické energie větru na mechanickou energii. Mechanickou energii pak následně transformujeme na elektrickou energii. Větrné motory dělíme na dva základní typy: [1]

- motory odporové
- motory vztlakové

3.2.1.1 Větrné motory odporové

Odporové větrné motory patří z hlediska využití mezi nejstarší. Jejich podstatou je to, že plocha, která je nastavena proti větru, mu vytváří aerodynamický odpor. Tím dochází k vytváření síly na této ploše. U větrných elektráren tuto sílu obvykle mechanicky přeměňujeme na rotační pohyb. Větrné motory pracující na odporovém principu se používají pro zařízení zvané anemometr, které slouží k měření rychlosti větru a také k určení jeho směru. Příkladem odporového motoru je Savoniův větrný motor. Skládá se ze dvou svislých půlválcových lopatek, které jsou přes sebe přesazeny asi o 20–30 % průměru rotoru. [1]



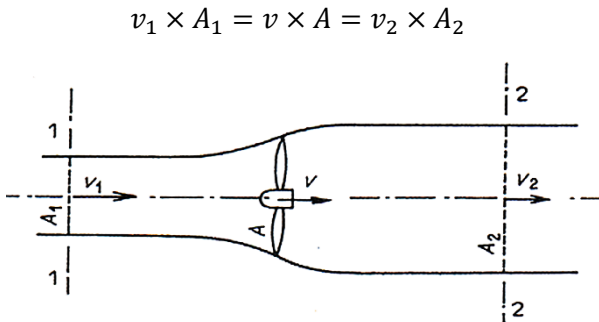
Obr. 20 Princip Savoniiova rotoru [15]

Odporové motory jsou v současnosti méně využívané, protože pracují s účinností pouze okolo 15-30 %. Za jejich další nevýhody považujeme malou rychloběžnost, nízké otáčky a malý dosažitelný elektrický výkon. Mezi výhody těchto větrných motorů patří jejich jednoduchá konstrukce, nezávislost na směru větru a využití širokého pásma síly větru. [5][15]

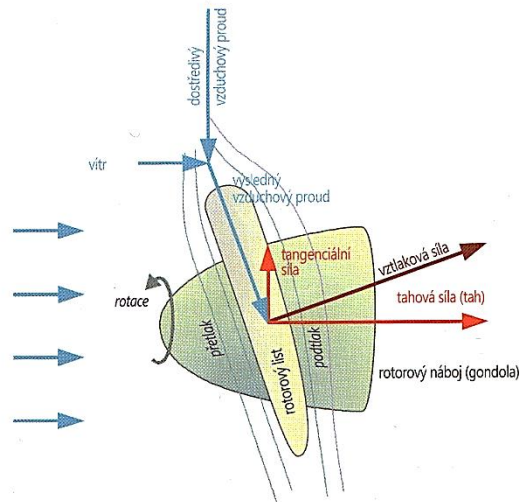
3.2.1.2 Větrné motory vztlakové

Vztlakové motory jsou v dnešní době nejpoužívanějším typem motorů pro větrné elektrárny. Obtékající vzduch vytváří na rotorových listech aerodynamické vztlakové síly, díky nim se vytváří rotační pohyb. Lopatky jsou speciálně tvarované, aby mohly tuto vztlakovou sílu využívat. Fungují na stejném principu jako křídla letadel. Větrné motory tohoto typu mohou mít jeden, dva nebo tři listy. V současnosti se nejvíce využívají větrné motory se třemi listy. [2][5]

Princip funkce vztakových motorů je založen na rovnici kontinuity. Větrné motory odjímají větru část kinetické energie a přeměňují ji na mechanickou, tím zpomalují proudění vzduchu. Schéma přeměny kinetické energie na výkon a rovnice kontinuity jsou uvedeny níže. [1]



Obr. 22 Princip funkce vztakového rotoru (rovnice kontinuity) [1]



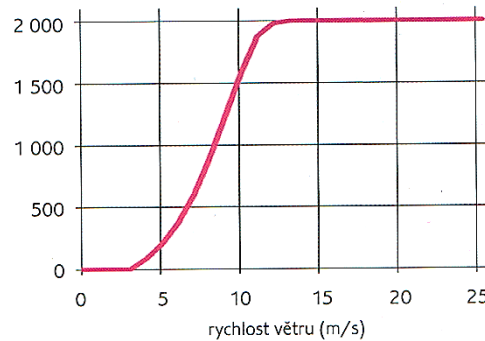
Obr. 21 Funkční princip větrného motoru [2]

3.2.2 Větrné elektrárny

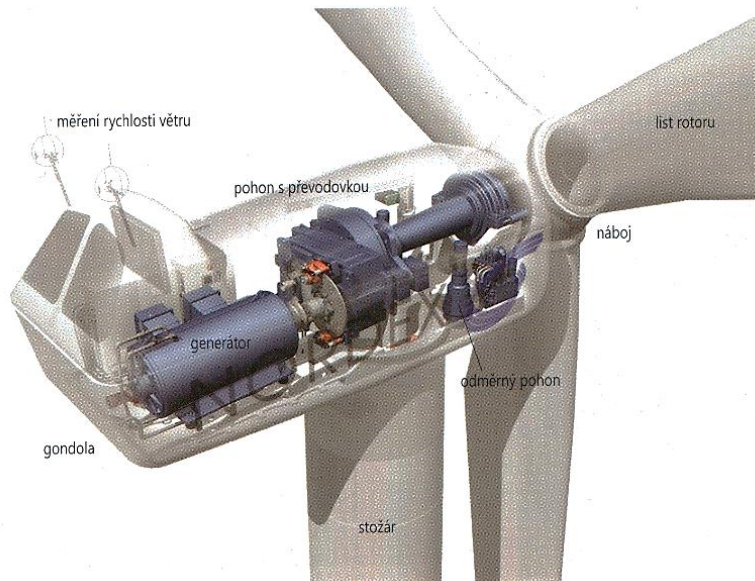
Typická větrná elektrárna začíná vyrábět při rychlostech větru kolem $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, poté výkon roste až do dosažení plného (jmenovitého) výkonu, to je většinou mezi 10 až $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Větrné elektrárny vyrábí elektrickou energii jenom při určitých rychlostech větru, například od $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ do $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Z toho důvodu se pro dané lokality provádějí dlouhodobé měření rychlosti větru. Pro samotný návrh a výstavbu větrné elektrárny jsou tato měření důležitá, protože se díky nim volí parametry větrných elektráren. [7]

V současné době má většina větrných elektráren stejné základní konstrukční prvky. Většinou se používají třílistové vztakové větrné motory s horizontální osou rotace. Základními částmi, ze kterých se každá větrná elektrárna skládá, jsou stožár, větrný motor a strojovna.

Stožár má většinou podobu tubusu, ale používají se také příhradové konstrukce. Nejčastěji se stožáry vyrábějí z ocelových tubusů postavených na betonové desce. Ocelové tubusy nejsou v celku, ale dělí se na segmenty o délce asi 20 m , které jsou na místě poté smontovány. Nejdůležitější částí větrného motoru neboli rotoru větrné elektrárny jsou listy. Jsou tvarovány tak, aby získávaly z protékajícího vzduchu co nejvíce energie. Průměr rotoru je velmi důležitý, protože ten určuje, kolik energie dokáže větrná elektrárna odebrat proudícímu vzduchu. Počet listů u rotoru může být v zásadě jakýkoliv, ale používají se hlavně třílistové rotory, které jsou optimálním kompromisem. Více listové rotory jsou účinnější při nízkých rychlostech proudění vzduchu a málo listové rotory jsou účinnější pro vyšší rychlosti proudění, proto je třílistový rotor vhodnou volbou. Další jeho výhodou oproti málo listovým rotorům je lepší vyváženost. Srdcem větrné elektrárny je strojovna, která je umístěna v gondole. V každé strojovně velké větrné elektrárny jsou systémy pro natáčení rotoru a strojovny, brzdný systém a samotný generátor. Pro větrné elektrárny se používají asynchronní a synchronní generátory. [7]



Graf. 1 Závislost výkonu na rychlosti větru pro větrnou elektrárnu o instalovaném výkonu 2 MW [7]



Obr. 23 Konstrukce větrné elektrárny [2]

Asynchronní generátor

Asynchronní generátor je levnější, spolehlivější a jednodušší než synchronní. Používají se asynchronní motory s kotvou nakrátko, které pracují v generátorickém chodu. Tyto motory se instalují spolu s převodovkou. Nevýhodou u tohoto generátoru je malé rozpětí otáček, pro zvětšení tohoto rozpětí se používají asynchronní motory s kroužkovou kotvou. Díky tomu může generátor vyrábět i při nižších otáčkách turbíny. U tohoto generátoru můžeme rotorové vinutí zapojit nakrátko nebo do rotorového vinutí zapojit přídavné odpory. Tím můžeme měnit skluz u tohoto generátoru, a proto můžeme vyžít větší rozpětí otáček pro výrobu elektrické energie. [1][5]

Synchronní generátor

Synchronní generátory se používají hlavně u větrných elektráren s velkým instalovaným výkonem. Pokud by byly synchronní generátory připojené přímo na síť, mohly by být využívány jenom při synchronních otáčkách. Abychom mohli využívat široké rozpětí otáček, musíme vyrobenou elektrickou energii nejdříve usměrnit. Poté elektrickou energii pomocí střídače převedeme na frekvenci sítě, aby mohla být distribuována do sítě. Synchronní generátory s budícím vinutím na rotoru jsou přímo poháněné větrnou turbínou. Tyto generátory jsou větších rozměrů nežli asynchronní, ale přesto je jejich celková hmotnost gondoly nižší, protože zde není potřeba převodovka. [1][5]

3.2.2.1 Regulace výkonu větrných elektráren

Při stále se zvyšující rychlosti větru je potřeba od určité rychlosti začít snižovat výkon dodávaný rotorem do generátoru, protože jinak by mohlo dojít k jeho poškození nebo i k úplnému zničení. Pokud větrné elektrárny dosahující nominálního výkonu okolo 15 m/s budou využívat regulaci pro vyšší rychlosti větru, tak mohou i při těchto větších rychlostech dodávat stále nominální výkon. Pro velmi vysoké rychlosti větru (okolo 25 m/s) je nutné učinit kroky pro ochranu samotné větrné elektrárny, například větrné elektrárny dokonce i zabrzdit a odstavit je, jinak by mohlo dojít i k uvolnění listů z rotoru. Pro snížení výkonu dodávaného rotorem se používají tyto způsoby regulace: [1]

- regulace STALL
- regulace PITCH
- regulace ACTIVE STALL

Regulace STALL

Při tomto způsobu regulace jsou využívány lopatky, které jsou přímo spojeny s rotorem. Samotná regulace je dána tím, že tvar lopatek je v závislosti na rychlosti větru proměnlivý a při zvýšení rychlosti větru dochází k elastické změně tvaru lopatky. Díky tomu se proud vzduchu odtrhne od lopatek rotoru a tím docílíme snížení výkonu. Nevýhodou je, že při vysokých rychlostech větru klesá výkon i účinnost rotoru. Při tomto způsobu regulace se nemůže rotor samostatně rozběhnout, a proto je potřeba další elektrický motor pro roztočení rotoru. [1]

Regulace PITCH

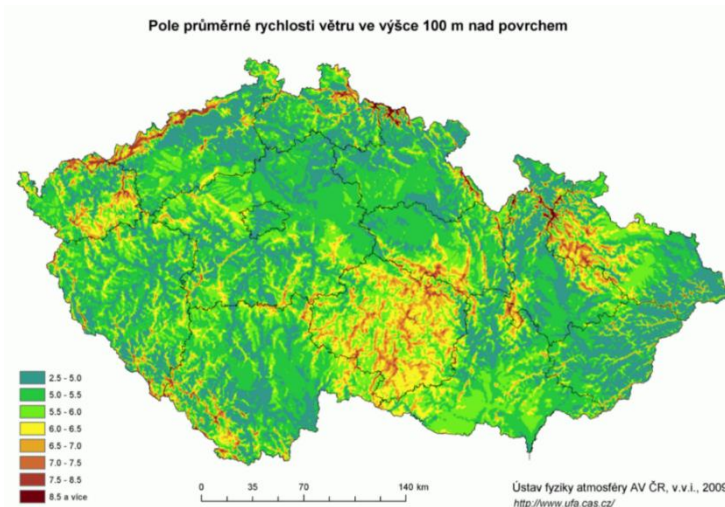
Tato metoda je založená na měření výkonu generátoru. Údaje z měření slouží jako vstupní signál pro regulaci. Pokud je výkon příliš velký, signál spustí hydraulický systém, kterým pootočí lopatkami rotoru tak, aby došlo ke snížení výkonu rotoru. Natočením lopatek se sníží vztlak a poklesne moment na hřídeli. V okamžiku, kdy dojde ke snížení výkonu generátoru, se lopatky natočí opačným směrem, aby došlo ke zvýšení výkonu. Tento způsob regulace je možný využít i pro samotný rozběh větrné elektrárny, ale je náročnější vyrobit takto konstruovaný rotor. Ačkoli při této regulaci nedochází k velkému poklesu výkonu, je tento způsob poměrně pomalý a při rychlých změnách rychlosti větru může docházet k přetěžování generátoru. [1]

Regulace ACTIVE STALL

Při této regulaci probíhá rozběh větrné elektrárny a její provoz při nízkých rychlostech větru stejným způsobem jako u regulace PITCH. Když ale výkon dosáhne až k limitním hodnotám, tak se lopatky otočí do opačného směru než u regulace PITCH, tím dojde k odtržení proudu vzduchu od lopatek rotoru. Úhel natočení nemusí být tak velký, proto je tato regulace rychlejší nežli regulace PITCH. [1]

3.2.3 Potenciál větrné energie v ČR

Jak již jsem uvedl výše, větrná energie je přímo závislá na proudění vzdušných mas, proto byly větrné poměry u nás podrobně měřeny a studovány. Získali jsme tak přesnější přehled o průměrných rychlostech větru na českém území. Tyto studie prováděl hlavně Ústav fyziky atmosféry, který vytvořil větrné mapy pro ČR. Jednu z těchto map pro průměrnou rychlost větru vztahenou pro výšku 100 m můžeme vidět níže. Za spodní hranici výhodnou pro výstavbu větrných elektráren u nás považujeme oblast s průměrnou rychlostí větru alespoň 6 m/s. Z mapy je patrné, že tyto oblasti se nachází hlavně na Českomoravské vrchovině a v Nížkém Jeseníku. Velký zájem o budování větrných elektráren byl v oblasti Krušných hor. [2]



Obr. 24 Větrná mapa ČR pro výšku 100 m nad povrchem [16]

Vhodná oblast nezávisí jenom na povětrnostních podmínkách, ale také na řadě dalších omezení. Tyto omezení mohou být technického nebo legislativního charakteru anebo omezení v souvislosti s životním prostředím. Pro vybudování větrné elektrárny v blízkosti obcí a měst je nutné získat souhlas pro výstavbu. V daném místě musí být také možnost vyvedení výkonu do sítě. Dále výstavba nesmí být prováděna v chráněných oblastech, kde by mohla narušovat okolní přírodu a živočichy.

3.2.4 Výhody a nevýhody

Výhody větrných elektráren:

- Vliv větrných elektráren na životní prostředí je minimální.
- Samotná výroba elektrické energie neprodukuje žádné skleníkové plyny, odpadní teplo a neznečišťuje okolní prostředí.
- Po výstavbě už nejsou potřeba žádné další velké investice.

Nevýhody větrných elektráren:

- Hlavní nevýhodou větrných elektráren je to, že se jedná o nestabilní zdroj elektrické energie. Náhlé změny rychlosti větru způsobují velké kolísání výkonu dodávaného do sítě.
- Větrné elektrárny vzhledově mění ráz krajiny.
- Počáteční investiční náklady jsou poměrně velké.
- Předrealizační fáze je poměrně dlouhá, a to hlavně z důvodu výběru vhodné lokality a měření rychlosti větru v daném místě.

3.3 Vodní energie

Vodní energie vzniká při přirozeném koloběhu vody na naší planetě. Koloběh vody na Zemi je způsoben dopadem sluneční energie, díky tomu je tento zdroj energie obnovitelný. Vodní energii využíváme ve vodních elektrárnách, kde přeměňujeme kinetickou a potenciální energii vody na elektrickou energii. [7]

Hydroenergetický potenciál vodních toků velmi závisí na podmínkách daného místa, například na geologickém území, reliéfu krajiny, osídlení a dalších.

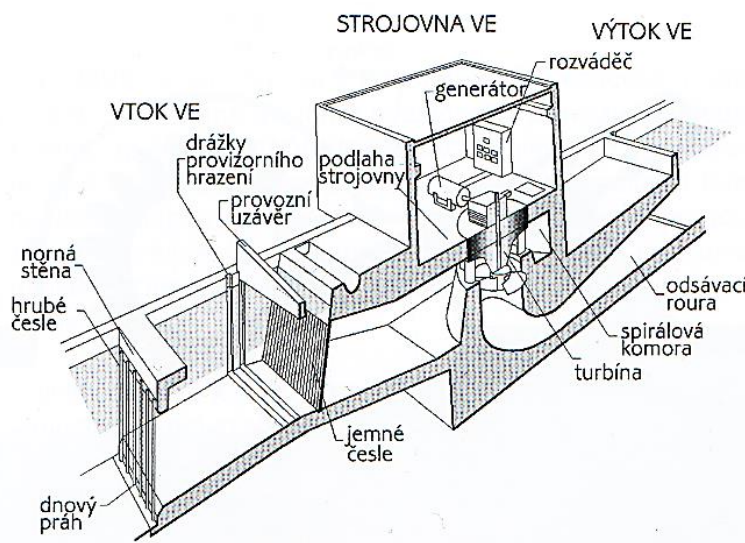
3.3.1 Využívání vodní energie v ČR

Vodní elektrárny v podmínkách ČR nedodávají takový objem elektrické energie jako v jiných zemích, ale i přesto z tohoto obnovitelného zdroje získává ČR velké množství elektrické energie. Vodní elektrárny na rozdíl od ostatních můžeme využívat i na další specifické činnosti. Vodní elektrárny jsou provozně poměrně levným a rychlým zdrojem elektrické energie, který využíváme převážně v době špičkové spotřeby a také k pokrývání rychlých výkonových změn. Při přebytečné elektrické energii v období nízké spotřeby využíváme přečerpávací vodní elektrárny k akumulaci přebytečné elektrické energie v elektrické soustavě. Dalším druhem vodní elektrárny je akumuláční, která zadržuje vodu pro výrobu elektrické energie. Tyto nádrže dále bývají využívány jako zdroje pitné, technické nebo zavlažovací vody. [7]

Díky vodním elektrárnám můžeme využívat hydroenergetický potenciál vody k výrobě elektrické energie, dále můžeme díky nim regulovat vodní tok a umožňují nám možnost lepšího hospodaření s vodou. Díky regulaci průtoku můžeme předcházet povodňovým vlnám a také udržovat minimální průtok v říčních korytě. Také mohou v daných lokalitách vznikat rekreační oblasti.

3.3.2 Vodní elektrárny

Vodní elektrárny jsou zařízení, které přeměňují vodní energii na elektrickou energii. Mechanická energie proudící vody roztáčí turbínu, která je spojena hřídelí s elektrickým generátorem a ten vyrábí elektrickou energii. Velmi důležitou součástí každé vodní elektrárny je turbína. Existují různé druhy vodních turbín a jejich výběr pro danou VE závisí na účelu a podmínkách celého vodního díla. Samotné umístění VE záleží na charakteru terénu, spádu a množství vody. Hlavními objekty každé VE jsou vtokový objekt, přivaděč, odpady a výrobní objekty. [7]



Obr. 25 Prostorové schéma VE [7]

Vodní elektrárny můžeme klasifikovat podle různých hledisek, nejčastěji se používá rozdělení dle velikosti instalovaného výkonu. Další možností je rozdělení podle velikosti spádu a možnosti hospodaření s vodou. [7]

Velikost instalovaného výkonu:

- malé vodní elektrárny (instalovaný výkon do 10 MW)
- střední vodní elektrárny (instalovaný výkon od 10 do 200 MW)
- velké vodní elektrárny (instalovaný výkon od 200 MW)

Velikost spádu:

- nízkotlaké (spád vody do 20 m)
- středotlaké (spád vody od 20 do 100 m)
- vysokotlaké (spád vody od 100 m)

Možnost hospodaření s vodou:

- průtočné
- regulační (přirozená nebo umělá akumulace)

Vtokový objekt slouží k zajištění dostatečného přítoku vody k elektrárně. Další jeho funkcí je zabránění vniknutí hrubých nečistot a předmětů k turbíně, kterou by mohla být poškozena. Proto mají vtokové objekty dnový práh, hrubé česle, jemné česle, nornou stěnu a provozní uzávěr.

Přivaděče a odpady slouží k přívodu vody k turbíně a také k jejímu odvodu. Konstruují se beztlakové a tlakové. Beztlakové jsou náhony, štolky s volnou hladinou a šachty, mezi tlakové patří potrubí, štolky a šachty.

Výrobními objekty se rozumí provozní budova, rozvodna, strojovna. Strojovna je srdcem VE a je v ní umístěn generátor napojený na turbínu.

3.3.2.1 Hydroenergetický potenciál

Technický potenciál celkového spádu není možný využít celý pro výrobu elektrické energie. Technicky využitelný potenciál v ČR je asi 50 %. Teoretický výkon (P_t) se počítá takto: [7]

$$P_t = Q \times \rho \times g \times H \text{ [W]} \quad (10)$$

kde ρ je hustota vody; g je gravitační zrychlení

Základní parametry hydroenergetického díla jsou: [1]

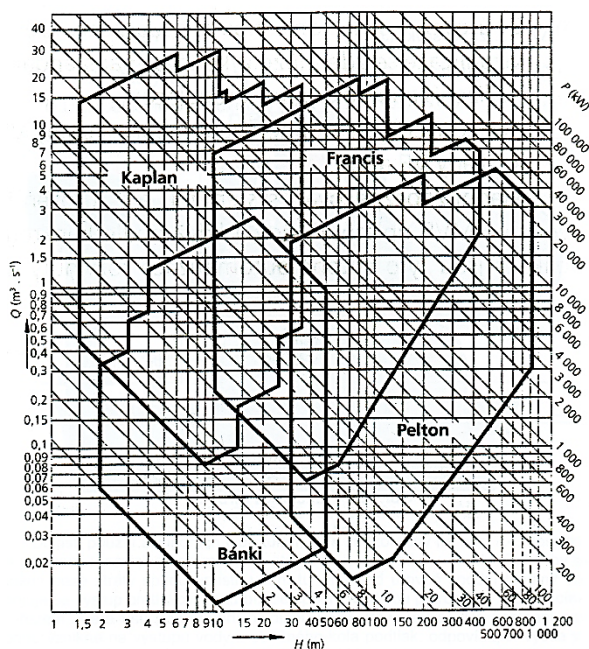
- průtok Q [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
- instalovaný výkon P_i [W]
- spád H [m]
- účinnost η [-]
- roční výroba elektrické energie E_r
- doba využití instalovaného výkonu $\tau_v = E_r / P_i$

Jedním z nejdůležitějších parametrů VE je průtok vody v říčním korytě. Pro získání hodnot průtokového množství v říčním korytě se provádí dlouhodobá měření. Z těchto měření se vyhodnocují průměrné denní a měsíční průtoky a z těchto hodnot se poté vytváří křivka trvání průtoků.

3.3.2.2 Vodní turbíny

Vodní turbína je jednou z nejdůležitějších součástí vodní elektrárny a slouží pro přeměnu energie vody na mechanickou energii. Nejčastěji se používá turbína Francisova nebo Kaplanova v různých modifikacích. Dále se používá akční Peltonova turbína pro vysoké vodní spády. U přečerpávacích elektráren je nutné použít reverzní turbíny, které mohou pracovat jak v turbínovém, tak i čerpadlovém provozu. Jsou to turbíny přetlakové, nejčastěji Francisovy. Volba optimální vodní turbíny závisí na vodním spádu a množství protékající vody. [1]

Základní dělení vodních turbín je na rovnotlaké (akční) a přetlakové (reakční). U rovnotlakých turbín se celá polohová energie vody mění už v přiváděcích kanálech na kinetickou energii. Ta poté roztáčí turbínu umístěnou nad dolní hladinou. Zástupci těchto turbín jsou například Peltonovy a Bánkiho turbíny. U přetlakových turbín se část polohové energie mění na kinetickou energii v přiváděcích kanálech a zbytek se přeměňuje až při průchodu vody turbínou. Přetlakové turbíny jsou Francisovy a Kaplanovy. Dále můžeme turbíny dělit dle polohy hřídele, a to na horizontální, vertikální a šikmé.[7]



Obr. 26 Oblasti použití základních typů turbín [1]

Kaplanova turbína

Kaplanova turbína se nejčastěji instaluje v průtokové VE s nízkým spádem, kde využívá tlaku vody. Turbína připomíná lodní šroub se třemi až osmi nastavitelnými lopatkami. Regulaci výkonu zajišťuje natáčení rozváděcích lopatek turbíny, které můžeme natáčet u menších turbín mechanicky a u větších i hydraulicky. Díky tomu dosahuje turbína účinnosti 80-95 %. [2][7]

Francisova turbína

Francisova turbína se používá pro větší vodní spády a velké průtoky, jedná se o nejdéle používaný typ moderní turbíny. Tyto turbíny se mohou používat i jako reverzní turbíny pro přečerpávací vodní elektrárny. Účinnost turbíny přesahuje 90 %. [2][7]

Peltonova turbína

Tyto turbíny jsou vhodné pro vysoké vodní spády a využívají se například ve vysokohorských přehradách. Proudící voda je vedena pomocí dýzy, ve které se tlaková energie vody mění na kinetickou energii proudu vody vstříkovaného na lžicové lopatky turbíny. Regulace je zajištěna pomocí změny velikosti výtokového otvoru dýzy. Její účinnost dosahuje 90-95 %. [2][7]

3.3.2.3 Druhy vodních elektráren v ČR

Jak už bylo zmíněno výše, hlavní parametry VE závisí na množství a výšce spádu vody. Pro lepší využití potenciálu vody jsou budovány jezy a přehrady. Dle využívání vodního toku dělíme VE na průtočné, akumuláční a přečerpávací.

Průtočné vodní elektrárny

Samotné přírodní toky obsahují velké množství vody a průtočné vodní elektrárny využívají její energii. Budují se tam, kde je na toku dostatečný spád vody, v těchto místech jsou budovány hráze, které zadržují část vody a tím vytvářejí ještě větší vodní spád. Tak dostáváme dostatečný výškový

rozdíl pro provoz VE. Pokud dojde k překročení průtoku v říčním korytě, pro který byla elektrárna dimenzována, nadbytečné množství vody je odvedeno mimo elektrárnu a není nijak využito. Větší průtočné VE využívají více paralelně běžících turbín. U těchto větších elektráren se při menším množství vody odstavují některé turbíny, aby ostatní pracovaly s co největší účinností. Kvůli nutnosti udržování minimálního průtoku v říčním toku se musí občas i MVE odstavovat. [7]

Průtočné VE můžeme dále dělit na jezové a derivační. Jezové elektrárny využívají vzedmutí vody pomocí jezu a díky tomu dosahují spádu mezi 10–20 m. Derivační elektrárny využívají přivaděčů vody, které odebírají vodu z koryta řeky a přivádí ji k turbíně. Poté je voda odvedena odpadním kanálem zpět do říčního koryta. [1]

Akumulační vodní elektrárny

Pro získání většího výkonu se budují akumulaci vodní elektrárny. Součástí každé takovéto elektrárny je přehradní hráz, která slouží k zadržování velkého množství vody, což zvětšuje vodní spád. Při vybudování přehradních hrází dochází k tvorbě velkých vodních ploch, proto se tyto přehrady budují v údolích. Díky tomu dosáhneme minimální vodní plochy a maximálního vodního spádu. [1]

Vodní elektrárna se nachází většinou hned pod přehradou. Voda je přiváděna k turbíně pomocí tlakového přívodního potrubí a díky velkému spádu vody dosahujeme vysokého tlaku. Přehradní hráže o výšce nad 100 m nejsou výjimečné. Zadržovanou vodu můžeme odebírat z akumulaci nádrže podle potřeb. Tyto elektrárny využíváme pro pokrývání potřeb elektrizační soustavy, například pro pološpičkové nebo špičkové zatížení. [7]

Tyto vodní nádrže dále využíváme ke stabilizaci vodních toků a jako zdroj vody pro průmysl nebo zemědělství.

Přečerpávací vodní elektrárny

Tento druh VE využíváme k akumulaci přebytečné elektrické energie v elektrizační soustavě a zpětně tuto akumulovanou energii využíváme pro pokrývání špičkového zatížení. Elektrárny využívají dvou nádrží, které jsou od sebe různě výškově položené. Když potřebujeme vyrábět elektrickou energii, tak nám voda proudí z výše položené nádrže přes turbínu do spodní nádrže. Pokud je v soustavě přebytečná elektrická energie, přechází elektrárna do čerpadlového režimu. Generátor začne pracovat jako elektromotor a pohánět turbínu, která tak zafunguje jako čerpadlo a přečerpává vodu ze spodní nádrže do horní. V poslední době význam přečerpávacích elektráren značně vzrostl, a to hlavně ve vyrovnávání změn v elektrické soustavě. [7]

3.3.3 Výhody a nevýhody

Vodní elektrárny hrají v naší energetice poměrně důležitou roli, a to nejenom jako zdroj elektrické energie, ale také je využíváme pro regulaci energetické soustavy.

Výhody vodních elektráren:

- Mají nízké provozní náklady.
- Reguluji průtok v řece a zajišťují jejich splavnost.
- Umožňují akumulovat vodu pro další účely (například pro zavlažování).
- Umožňují akumulovat energii.
- V jejich blízkosti vznikají rekreační oblasti.
- Umožňují regulovat výkon v elektrické soustavě.

Nevýhody vodních elektráren:

- Trvalé narušují vzhled krajiny.
- Vodní elektrárny ekologicky ovlivňují celé oblasti v okolí.
- Počáteční investiční náklady jsou vysoké.
- Narušují tok spodních vod.
- Na dně nádrží se tvoří usazeniny.

3.4 Geotermální energie

Geotermální energie je snadno dostupná a stálá, ale je značně rozptýlena v zemské kůře. O tom také svědčí to, že průměrný výkon, který můžeme získat ze zemské kůry, je přibližně $57 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$. Tato hodnota může v oblastech se zvýšenou sopečnou činností vystoupat až na $300 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Geotermální energii využíváme buď ve formě tepla nebo z ní vyrábíme elektřinu. [1]

Jak název napovídá, jedná se o tepelnou energii, která pochází z nitra naší planety. Největší část energie, která vystupuje ze Země, je kosmické teplo, které planeta získala v době svého vzniku. Při formování Země se kinetická energie srážejících se materiálů přeměňovala na teplo, a proto je teplota zemského jádra tak vysoká. Geotermální energie je dále tvořena teplem pocházejícím z jaderných pochodů, které probíhají v jádře planety. Z těchto pochodů pochází až 40 % tepelné energie Země. Sluneční energie, která dopadá na Zemi, se akumuluje jak v atmosféře, tak i v povrchových vrstvách zemské kůry, a tím také přispívá k potenciálu geotermální energie. Další tepelná energie vzniká při pohybu litosférických desek a jiných geochemických procesech. [2]

Zemská kůra je vrchní vrstvou Země, jejíž tloušťka se pohybuje až v desítkách kilometrů. Její teplotu ovlivňuje charakter hornin, tepelná vodivost hornin, oběh vody a plynů v zemské kůře, hloubka a velikost tepelného zdroje. Teplo ze zemského jádra je přenášeno směrem k povrchu pomocí konvekce a kondukce. Zemskou kůru tvoří několik litosférických desek, na jejichž hranicích vzniká obrovský tlak a může zde i vyvěrat magma. [1]

3.4.1 Technologie využívání geotermální energie

Získávat teplo ze zemské kůry není technologicky jednoduché, a to kvůli malé plošné hustotě energie. Čerpání geotermální energie je velmi nákladné, ale její velkou výhodou je nezávislost na přírodních podmínkách a díky tomu je zajištěna její stálá dodávka. [7]

Technologie využívající geotermální energii dělíme podle teploty na:

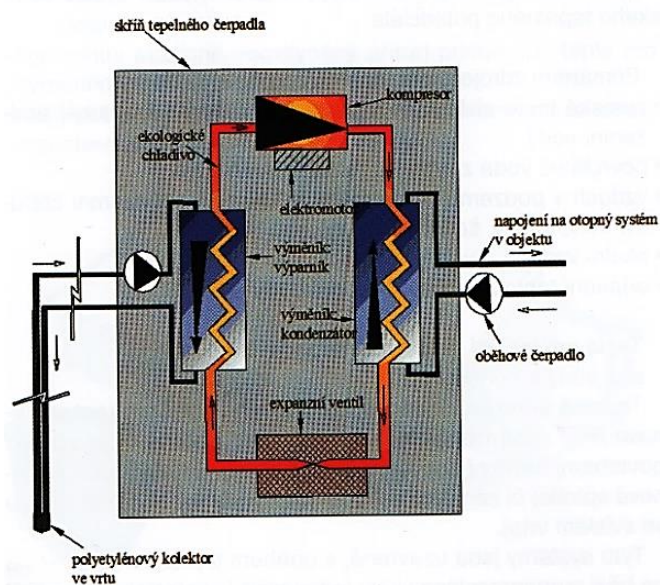
- nízkoteplotní zdroje – tepelná čerpadla a přímý zdroj tepla (do $100 \text{ }^\circ\text{C}$)
- středněteplotní zdroje – přímý zdroj tepla a výroba elektrické energie (od $100 \text{ }^\circ\text{C}$ do $150 \text{ }^\circ\text{C}$)
- vysokoteplotní zdroje – výroba elektrické energie (nad $150 \text{ }^\circ\text{C}$)

3.4.1.1 Nízkoteplotní zdroje

Nízkoteplotní zdroje jsou zatím nejrozšířenějším způsobem získávání geotermální energie a převážně se jedná o tepelná čerpadla. Tepelná čerpadla dělíme podle zdroje nízkopotenciálního tepla na:

- země \rightarrow voda
- voda \rightarrow voda
- vzduch \rightarrow voda

Tepelné čerpadlo je elektrický přístroj, který odebírá nízkopotenciální tepelnou energii z vnějšího prostředí a převádí ji na energeticky vyšší úroveň. Princip činnosti tepelných čerpadel je založen na odebírání tepla ze zdroje pomocí teplotnosné látky, která je



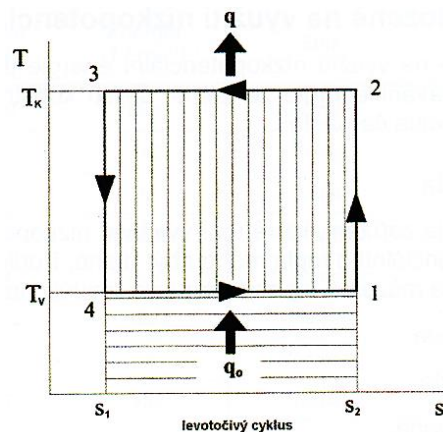
Obr. 27 Funkční schéma tepelného čerpadla [7]

následně odpařována. Páry jsou následně přečerpávány pomocí kompresoru do chladiče, tam zkapalní a odevzdají teplo, které má vyšší potenciál nežli teplo, které bylo odebráno ze zdroje. Tepelná energie na výstupu tepelného čerpadla je zvýšená oproti energii odebrané ze zdroje. Tento rozdíl odpovídá energii, kterou dodala elektrická energie. Tepelná čerpadla se uplatňují převážně pro vytápění objektů. Tepelná čerpadla využívají levotočivého Carnotova cyklu. Pracovní cykly levotočivého Carnotova cyklu jsou: [1]

- 1 – 2 izotermické vypařování; odběr přírodního tepla
- 2 – 3 izoentropická komprese; komprese teplotnosné látky
- 3 – 4 izotermická kondenzace; předání tepla a zkapalnění teplotnosné látky
- 4 – 1 izoentropická expanze

Přednosti využívání tepelných čerpadel:

- využití kdekoli na Zemi
- úspora tepelných zdrojů energie
- ochrana klimatu Země a životního prostředí
- snadná obsluha a nízké provozní náklady



Obr. 28 Ideální levotočivý Carnotův cyklus [1]

Tepelnými čerpadly nijak zásadně neřeší současnou energetickou situaci. Je to způsobené tím, že tepelná čerpadla jsou elektrická zařízení, která spotřebovávají elektrickou energii, ta je zároveň nutná i pro jejich provoz. Ideálním řešením by bylo, kdyby byla potřebná elektrická energie vyrobena jiným obnovitelným zdrojem energie. Díky tepelným čerpadlům můžeme výrazně snížit spotřebu energie pro vytápění. [7]

3.4.1.2 Vysokoteplotní zdroje

Vysokoteplotní zdroje na Zemi se nenachází ve všech lokalitách, pouze některé jsou pro získávání geotermální energie vhodné. Parametry, které musí oblasti splňovat, zahrnují například vhodné geologické složení, dostatečná teplota zemské kůry, proudění a výskyt vody nebo plynů. Mezi metody využívající vysokopotenciální energii Země patří metoda suchých par, metoda mokrých par a metoda využívající pozemní výměníky. [1]

Metoda suchých par

Tato metoda je založena na odběru páry, která stoupá přímo z vrtu. Pára pohání turbínu, tím předá část své energie. Poté je z kondenzována a voda je následně zavedena zpět do vrtu. Problémem této metody je, že v páře jsou obsaženy další látky, které snižují výkon turbíny. Tato metoda v současnosti už není příliš využívána. [1]

Metoda mokrých par

Tato metoda využívá vodu čerpanou ze zemské kůry alespoň o teplotě 160 °C, což zajistí větší energetická výtěžnost. Z této vody se vytvoří pára, která se následně používá v parním Rankin-Clausiusovu oběhu pro výrobu mechanické energie, která je následně transformována na elektrickou energii. Tento princip se využívá i v klasických tepelných elektrárnách. Většina zařízení je určena jak pro výrobu elektrické energie, tak i pro získání tepelné energie. [1]

Pozemní výměníky

Tento princip se zakládá na tom, že vyčerpaná voda je přivedena do výměníků na povrchu, kde předává svoji energii páře a následně je odvedena zpět do vrtu. Výměníky zde zastávají roli kotle. [7]

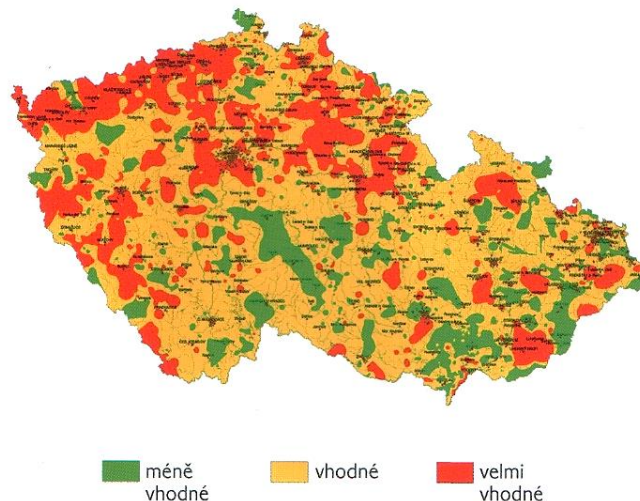
HDR – Hot Dry Rock

Metoda využívá geotermálního systému horkých suchých hornin. Základním principem je vytvoření podzemního výměníku tepla. Ten vytváříme tak, že v místě s dostatečně silnou horninou, která je zároveň nepropustná, se vyvrtají vrty. Jimi proudí voda, která rozrušuje okolní horninu. Poté je z okolních puklin odebírána voda o vysoké teplotě nebo pára zpět na povrch. Nevýhodou při tomto procesu je to, že bývá doprovázen malou seismickou činností. Podle hloubky podzemního výměníku tepla je určena teplota výstupního média. Při hloubce vrtu 5–6 km dosahuje teplota média asi 180–220 °C. Další nevýhodou je, že při tomto způsobu dochází k velkému úniku vody do podloží. [1]

3.4.2 Možnosti využívání v ČR

V České republice je geotermální energie využívána v lázních anebo jako nízkopotenciální energie. V ČR doposud geotermální elektrárna nebyla vybudována, ale jedna je připravována v Litoměřicích o instalovaném výkonu 5 MW. Toto zařízení by mělo sloužit jako náhrada za dosavadní teplárnu. Pro získávání geotermální energie zde bude využita metoda HDR a předpokládá se, že by teplárna měla pokrýt spotřebu až 8 000 domácností. [7]

V České republice se soustředíme na využívání nízkopotenciální energie a dále na získávání geotermální energie metodou HDR. Ostatní metody využití geotermální energie v České republice nejsou moc perspektivní.



Obr. 29 Mapa vhodných geotermálních oblastí pro výrobu elektrické energie [7]

3.4.3 Výhody a nevýhody

Výhody geotermální energie:

- Její využívání vyžaduje nízké provozní náklady.
- Ve vhodných zeměpisných oblastech je potenciál této energie enormní.
- Umožňuje využívání teplé vody i pro další účely, než je pouze zisk elektrické energie.

Nevýhody geotermální energie:

- Vybudování geotermální elektrárny je velmi nákladné (při porovnání ceny 1 kWe stejně nákladné jako vybudování jaderné elektrárny).
- Narušuje zemskou kůru a může způsobovat seismickou činnost.
- Je problematické najít vhodnou oblast pro výstavbu.
- Většinou je nutné provést hluboké vrty do zemské kůry.

3.5 Energie biomasy

Biomasu, využíváme už velmi dlouhou dobu a neodmyslitelně patří k námi využívaným zdrojům energie. Biomasa je vlastně přeměněná sluneční energie, kterou zachytily rostliny a uložily ji ve formě chemické energie. Rostliny nepotřebují pouze sluneční světlo, ale také potřebují vodu a hlavně půdu, ze které získávají živiny. Nadměrné pěstování biomasy půdu vyčerpává a může se z ní nakonec stát i půda neúrodná. Proto je nutné půdu využívat hospodárně, aby nedocházelo k jejímu znehodnocení a aby zůstala úrodná i po mnoho dalších generací. Využívání biomasy pro energetické účely je nevýhodné, protože tato plocha, kde jsou rostliny pěstovány jako palivo, by mohla být využita pro zemědělské nebo jiné účely. Při spalování biomasy se do ovzduší uvolňuje menší množství CO₂ nežli při spalování fosilních paliv. [1]

Spotřebovanou biomasu můžeme rozlišit dle získávání na záměrně pěstované energetické plodiny a na zbytky a odpady ze zemědělství nebo z lesního hospodářství. Mezi energetické plodiny patří například rychle rostoucí dřeviny (topoly, vrby, javory, akáty) a zemědělské plodiny (proso, kukuřice, čínský rákos). [7]

3.5.1 Biomasa rostlinného a živočišného původu

Biomasa nemusí pocházet jenom z rostlinných zdrojů, ale může být i živočišného původu. Biomasa živočišného původu je v podstatě biomasa, která prošla zaživacím traktem zvířat.

3.5.1.1 Biomasa rostlinného původu

Základní rozdělení biomasy rostlinného původu je na odpadní a záměrně pěstovanou pro energetické účely. Využívání odpadní biomasy je výhodné, protože by nebyla nijak jinak využita, zbavíme se tak díky tomu přebytečného odpadu, a navíc získáme energii.

Pěstovaná biomasa

Pěstovanou biomasu můžeme rozdělit na zemědělskou a lesní. Zemědělské plodiny mohou být využívány jako tuhé palivo pro energetické účely nebo jako vstupní materiál pro výrobu biopaliv a bioplynu. Zemědělské plodiny k těmto účelům jsou například obilniny, kukuřice, cukrová řepa nebo trvalé travní porosty. U obilnin se nekvalitní zrno spaluje a zbytková sláma se využívá pro tvorbu tuhých paliv. Kukuřici můžeme sklízet jako celou rostlinu, samotné palice nebo jenom zrna. Podle sklizení rozdělujeme i její další použití. Pokud nám jde jen o zrno, tak ho sklízíme v plné zralosti, pro siláž se sklízí v mléčně voskové zralosti. Další užitečnou plodinou je cukrová řepa, ze které běžně vyrábíme cukr. V souvislosti s OZE nás zajímá spíše její energetické využití, čímž je výroba bioetanolu (motorová paliva) a bioplynu. [1]

Cíleně pěstované plodiny jsou takové, které jsou pěstované jenom pro energetické účely, a proto u nich chceme dosáhnout co možná největšího výtěžku. Proto je věnována pozornost rostlinám, které vytvářejí velké množství nadzemní hmoty. Volíme takové rostliny, které dosahují výtěžnosti větší nežli 10 tun suché hmoty z hektaru. [7]

Rychle rostoucí dřeviny jsou jako energetický zdroj velmi výhodné, protože dosahují velké výtěžnosti v krátké době, i po seříznutí nadzemní části dokáží znovu vyrůst. Typickými zástupci těchto dřevin jsou topoly a vrby. Místům, kde jsou tyto rychle rostoucí dřeviny pěstovány, se říká výmladkové plantáže. [7]

Lesní biomasa je v ČR využívána převážně jako palivo. Jako palivové dřevo dostatečně poslouží méně kvalitní dřeviny, které se nehodí pro jiné účely. Dalšími palivy z lesní biomasy jsou štěpka a kůra, ty jsou spalovány spíše jako doplňkové palivo, například v elektrárnách. Dřevní štěpka se vyrábí ze zbytků po těžbě dřeva a po prořezech. [1]

3.5.1.2 Odpadní biomasa

Odpadní biomasa vzniká jako druhotná surovina při primárním zpracovávání biomasy. Rozdělit odpadní biomasu můžeme podle prvotního zpracovávání na následující: [1][7]

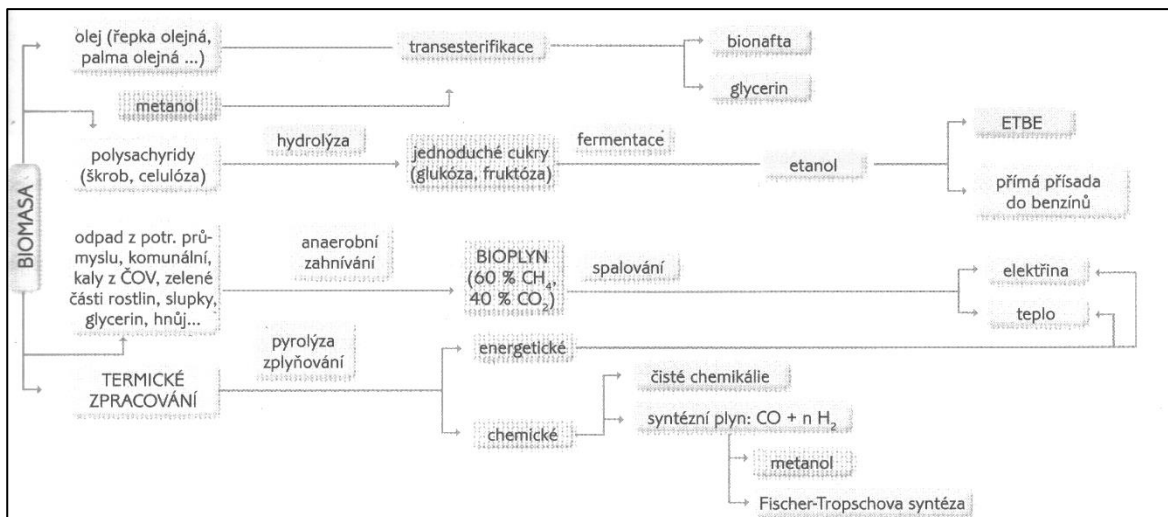
- Ze zpracovávání dřeva
 - Jedná se především o piliny, hobliny, štěpku a odřezy při zpracování dřeva. Z těchto materiálů vyrábíme dřevěné pelety a brikety. Zbytky při zpracování dřeva mohou být využity pro výrobu pevných biopaliv, aglomerovaných stavebních materiálů (dřevotřískové desky) nebo se mohou, pokud jsou odřezky dřeva bez kůry, dokonce využít i pro výrobu buničiny a papíru.
- Z rostlinné výroby
 - Jedná se například o slámu, obilné otruby a olejniny. Dříve byly využívány jako krmivo nebo stelivo, nyní slouží k výrobě průmyslových pelet nebo briket. Další možností jejich zpracování je kompostování nebo výroba bioplynu.
- Ze živočišné výroby
 - Jedná se o chlévskou mrvu, hnůj a močůvku. Už dlouho jsou využívány jako organické hnojivo nebo se přidávají do kompostů. Nyní je můžeme využívat i pro výrobu bioplynu. Chlévská mrva je směs výkalů, moče, steliva a krmiva. Fermentací chlévské mrvy vzniká hnůj a jeho kvalita závisí na druhu zvířete, krmení a stelivu.
- Z potravinářského průmyslu
 - Potravinářský průmysl produkuje například kaly a zbytky ze zpracování ovoce nebo zeleniny.
- Odpad z čistění odpadních vod a organický podíl komunálních odpadů
 - V těchto odpadech je obsažena biologicky rozložitelná část, kterou můžeme zpracovat pro kompostování nebo k výrobě bioplynu.

3.5.2 Zpracování biomasy

Pro zpracovávání biomasy využíváme velké množství procesů, kterými biomasu měníme na jiný druh paliva nebo ji využíváme pro získávání energie. Přehled procesů, kterými biomasu zpracováváme je uveden níže: [1]

- Termochemická přeměna biomasy – suché procesy
 - spalování
 - zplyňování (produkce plynu)
 - pyrolýza (produkce plynu a oleje)
- Biochemická přeměna biomasy – mokré procesy
 - alkoholové kvašení
 - metanové kvašení
- Fyzikální a chemická přeměna biomasy
 - mechanicky (štípání, drcení, lisování, peletování)
 - chemicky (esterifikace surových bioolejů)
- Získávání odpadního tepla při zpracování biomasy – ostatní procesy
 - kompostování
 - aerobní čištění odpadních vod
 - anaerobní fermentace pevných organických odpadů

Po zpracování biomasy získáváme různá paliva, která jsou následně využívána jako zdroje tepla, pohonné hmoty nebo slouží pro výrobu elektrické energie. Paliva, která z biomasy dostáváme, jsou biooleje, bioalkohol, bioplyn, palivové dříví a další paliva určená pro spalování (pelety, brikety, štěpka). [1]



Obr. 30 Možnosti energetického využití biomasy [7]

3.5.2.1 Spalování

Spalování biomasy sloužilo v minulosti v první řadě k tepelnému zpracování potravy a také jako zdroj tepla. Jako palivo pro spalování lze využít téměř jakoukoliv biomasu, ale to, co nejčastěji spalujeme, je dřevo a odpady ze dřevozpracujícího průmyslu, sláma, obilniny, rostlinné zbytky, organický a komunální odpad. V současnosti využití biomasy v zásadě nezměnilo a spalujeme ji hlavně pro získávání tepelné energie. Pro ulehčení práce s určitými druhy biomasy je výhodné je přetvořit třeba na pelety, brikety, balíky nebo pakety. Díky tomuto zpracování je možné biomasu snadněji převážet, uskladňovat a manipulovat s ní. Zároveň se její spalování stává jednodušším, protože můžeme palivo lépe dávkovat do kotlů. Biomasu přetváříme do pelet, briket a dalších forem stlačováním vstupní biomasy pomocí velkého tlaku. Tím se velmi zmenší objem prvotní biomasy energie se koncentruje. [1][7]

U biomasy používané pro spalování je zásadní, jaký má obsah vody, protože to určuje její výhřevnost. Pokud je v biomase obsah vody velký, je potřeba hodně energie pro její vypaření. Proto je důležité biomasu před spalováním dostatečně vysušit, abychom zbytečně neztráceli energii. Biomasu je dobré vysušit minimálně na 30 % vlhkost, nižší vlhkost je ale ještě výhodnější. [1][7]

Při spalování biomasy vzniká oxid uhličitý, vodní páry, oxidy dusíku a malé množství oxidu síry. V biomase je uložen dusík, který se při spalování uvolňuje do ovzduší. Také dochází k uvolňování oxidů síry, ale uvolňuje se jich o hodně méně než při spalování fosilních paliv. Při spalování biomasy vzniká popel, který je možný využít jako hnojivo, protože obsahuje dusík, draslík, vápník, fosfor a další. [1][7]

V posledních desetiletích se spalování biomasy začalo více využívat i pro výrobu elektrické energie. Pro výrobu elektrické energie slouží biomasa spíše jako doplňkové palivo, protože je spalována spolu s fosilními palivy. Tato varianta je ekologičtější a také dochází k částečné úspoře fosilních paliv. Při společném spalování biomasy a fosilního paliva se podíl biomasy pohybuje okolo 5–20 %. Nejvíce biomasy pro energetické účely je spalováno v ČR v Hodonínské elektrárně, která ročně spálí okolo 250 000 tun biomasy. V této elektrárně nedochází jenom ke společnému spalování, jeden z kotlů je totiž upraven pouze pro spalování biomasy. [1][7]

Velké množství biomasy se spálí také v domácnostech pro ohřev teplé vody k vytápění nebo ohřev pitné či užitkové vody. Mezi typické zástupce biomasy, kterou spalujeme v domácnostech, patří palivové dříví, brikety a paletky. Jejich spalování v domácnostech je umožněno proto, že jsou dobře dostupné a levné. U topidel na tuhé palivo se ale hůře reguluje dodávaný výkon, proto je výhodné mít dobře vytvořený topný okruh. Užitečné je například přebytečnou energii akumulovat

nebo ji předávat dále, k tomu se používají akumulární nádrže nebo boilery s výměníkem. Díky tomu můžeme lépe regulovat výkon a uchovávat v přebytečné teplo, které je následně využíváno i v době, když už žádné další teplo není dodáváno od kotle. [1][7]

3.5.2.2 Termo-chemická přeměna

Při této přeměně dochází ke zplyňování a částečné chemické přeměně pevného paliva na plynné za pomoci zplyňovacích látek (vodní par, H_2 , CO_2 , O_2). Tato přeměna organické hmoty na bioplyn je velmi složitá a probíhá v generátoru za vysokých teplot pohybujících se okolo 700–1 100 °C. Toto teplo je dodáno z vnějšího zdroje nebo je získáno pomocí oxidace zplyňovaného materiálu. Nejčastěji se uplatňuje technologie pro zplyňování na pevném loži. Dalšími metodami jsou zplyňování s fluidní vrstvou nebo proudové zplyňovače. Bioplyn, který takto získáme, je možné použít pro provoz motorů, turbín a kotlů. Z tohoto bioplynu můžeme vyrábět elektrickou i tepelnou energii. [1]

Jiným způsobem výroby bioplynu je pyrolýza. Jedná se o nejstarší způsob úpravy biomasy na kvalitnější palivo jako je například dřevěné uhlí. Při pyrolýze dochází k termickému rozkladu hmoty bez přístupu dostatečného množství vzduchu. Podstatou pyrolýzy je zahřátí biomasy nad mez termické stability, poté nám vznikne požadovaný produkt (dřevěné uhlí, plyn). Teplota, při které probíhá tento proces, se pohybuje od 400–700 °C. Jedná se o velmi perspektivní technologii. [1]

3.5.2.3 Biochemická přeměna

Anaerobní fermentací je možné zpracovávat mnoho druhů biomasy, právě takto je zpracovávána hlavně biomasa s větším podílem vlhkosti. Při této přeměně můžeme využívat i organické komunální odpady, exkrementy nebo organické odpady z potravinářského průmyslu.

Alkoholová fermentace

Pro alkoholovou fermentaci se využívají brambory, cukrová řepa a obilniny. Alkoholové kvašení probíhá v mokřém prostředí bez přístupu vzduchu. Při této fermentaci, jak už název napovídá, vzniká alkohol, který je následně získáván destilací. Při tomto procesu vznikají i další produkty jako je glycerín. Alkohol může být využit jako palivo pro spalovací motory. [1]

Aerobní fermentace

Základem aerobní fermentace je působení mikroorganismů na organické látky, které za přístupu kyslíku rozkládají a vzniká bioplyn. Tento proces probíhá také při výrobě kompostu. Klasické kompostování trvá i několik měsíců, proto je výhodné využít průmyslovou aerobní fermentaci, díky které se celý průběh může zkrátit řádově na týdny. Samotný proces fermentace je z chemického hlediska víceúrovňový a skládá se z těchto fází: hydrolýza, acidogeneze, acetogeneze a metanogeneze. Z tohoto procesu získáváme směs plynů, která obsahuje metan, oxid uhličitý a další. Nejdůležitější složkou bioplynu je právě metan. Tento bioplyn může být využit stejně jako ostatní plynná paliva. [7]

3.5.3 Výhody a nevýhody

Výhody využívání energie biomasy:

- Biomasa může sloužit jako náhrada fosilních paliv.
- Při spalování biomasy nevzniká tolik emisí jako při spalování fosilních paliv.
- Umožňuje využití odpadů ze zemědělství a průmyslu pro získání energie.
- Z biomasy můžeme vyrábět bioplyn a biopalivo.
- Biomasu a bioplyn je možné spalovat v dosud využívaných elektrárnách a teplárnách (nejsou nutné žádné další velké investice).
- Umožňuje vyrábět energii centrálně.
- Výrobu energie můžeme oproti ostatním obnovitelným zdrojům energie snadno řídit.

Nevýhody využívání energie biomasy:

- Biomasa má nižší výhřevnost nežli fosilní paliva.
- Účinnost spalování závisí na vlhkosti vstupního materiálu (čím větší vlhkost, tím menší výhřevnost).
- Pro získání biomasy se využívá zemědělská půda, která by mohla být využita jinak.
- Kvůli nižší výhřevnosti biomasy je nutné mít větší množství zásob, kvůli tomu jsou také potřeba větší sklady.
- S využíváním biomasy se pojí zvýšená pracnost, prašnost a náklady na dopravu.

4 Využívání obnovitelných zdrojů a jejich podíl na výrobě elektrické energie v ČR

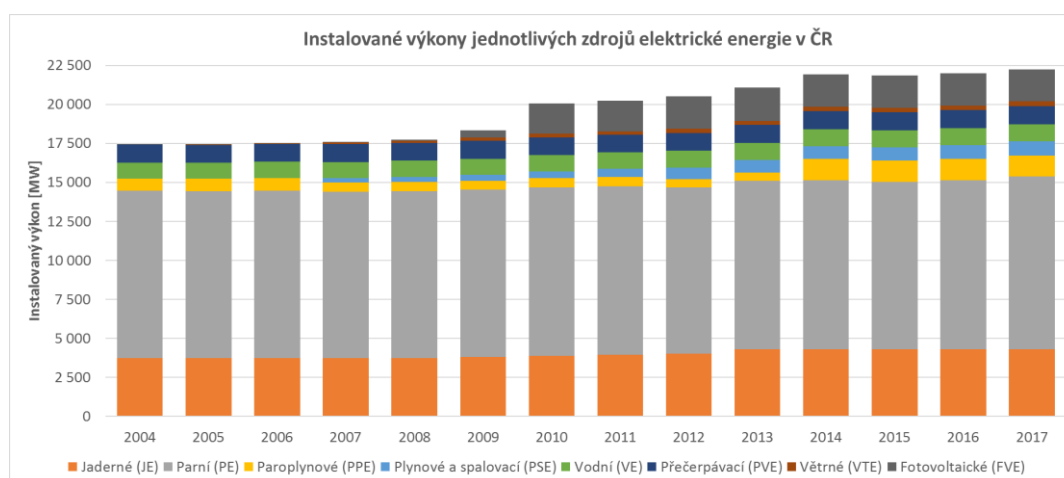
V této části se podrobněji zaměřuji na využití obnovitelných zdrojů v České republice a na to, jak se podílejí na celkové výrobě elektrické energie, jak je výroba efektivní a jak se vyvíjí jejich používání v posledních několika letech. Obnovitelné zdroje energie jsou využívány po celém světě a s velkou pravděpodobností i v každé zemi. Vzhledem k mému oboru a k příkladu využití obnovitelného zdroje energie, který uvádím v další části, se budu soustředit hlavně na výrobu elektrické energie. Ta nám dnes poskytuje veškerý komfort moderní doby. Také se její význam ve společnosti dále zvětšuje, protože moderní technologie jsou závislé na elektrické energii. Využívání elektrické energie se v posledních letech začíná více promítat i do osobní dopravy (vývoj elektromobilů). Většina elektrické energie v současné době je vyráběna z neobnovitelných zdrojů. Pro ochranu nerostného bohatství je nezbytné více využívat alternativní zdroje energie, kterými jsou právě OZE.

Jak už bylo zmíněno v první části, tak od vstupu do Evropské unie máme určité závazky, které musíme plnit. Do roku 2020 by se měly obnovitelné zdroje energie podílet na spotřebě energie v ČR minimálně 13 %.

Uvedu zde data v poměrně dlouhém časovém období pro lepší představu vývoje a podrobněji znázorním vývoj obnovitelných zdrojů v posledních pár letech. Uváděná data jsou získána ze stránek Energetického regulačního úřadu (ERÚ) a Ministerstva průmyslu a obchodu (MPO).

4.1 Pohled na brutto výrobu elektrické energie a instalované výkony elektráren v České republice

V této části podrobně popíšu, jak se vyvíjel instalovaný výkon jednotlivých zdrojů energie v období od roku 2004 do 2017 a kolik se za daný rok z těchto zdrojů vyrobilo elektrické energie. Uvádím zde brutto výrobu elektrické energie, což je vlastně vyrobená elektrická energie na svorkách generátoru nebo zdroje. Dodávaná elektrická energie do rozvodné sítě je snížena o ztráty a o technologickou vlastní spotřebu elektrické energie pro její výrobu. Také jsem v následující tabulce uvedl v procentech, jak se podílejí jednotlivé zdroje na brutto výrobě elektrické energie a také procentuální zastoupení instalovaných výkonů, pro lepší přehlednost.



Graf. 2 Instalované výkony jednotlivých zdrojů elektrické energie v ČR od roku 2004 do 2017

	2004				2005				2006				2007			
	Instalovaný výkon		Výroba elektřiny brutto		Instalovaný výkon		Výroba elektřiny brutto		Instalovaný výkon		Výroba elektřiny brutto		Instalovaný výkon		Výroba elektřiny brutto	
	[MW]	[%]	[GWh]	[%]	[MW]	[%]	[GWh]	[%]	[MW]	[%]	[GWh]	[%]	[MW]	[%]	[GWh]	[%]
Jaderné (JE)	3 760,0	21,6	26 324,7	31,2	3 760,0	21,6	24 727,6	29,9	3 760,0	21,5	26 046,5	30,9	3 760,0	21,4	26 172,1	29,7
Parní (PE)	10 705,2	61,4	52 811,0	62,6	10 664,0	61,2	52 137,2	63,1	10 690,7	61,1	52 395,4	62,1	10 648,1	60,6	56 728,2	64,4
Paroplynové (PPE)	789,8	4,5	2 624,6	3,1	800,0	4,6	2 665,4	3,2	837,7	4,8	2 612,1	3,1	569,7	3,2	2 097,8	2,4
Plynové a spalovací (PSE)																
Vodní (VE)	1 014,4	5,8	2 019,4	2,4	1 019,5	5,9	2 380,0	2,9	1 028,5	5,9	2 550,6	3,0	1 029,0	5,9	2 089,6	2,4
Přechřívání (PVE)	1 145,0	6,6	543,4	0,6	1 146,5	6,6	647,0	0,8	1 146,5	6,5	706,7	0,8	1 146,5	6,5	434,1	0,5
Větrné (VTE)	19,6	0,1	9,9	0,0	21,9	0,1	21,3	0,0	43,5	0,2	49,4	0,1	113,1	0,6	125,1	0,1
Fotovoltaické (FVE)	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	3,4	0,0	1,8	0,0
Celkem ČR	17 434,0	100,0	84 333,1	100,0	17 412,0	100,0	82 578,6	100,0	17 507,1	100,0	84 360,9	100,0	17 561,0	100,0	88 023,8	100,0
	2008				2009				2010				2011			
	Instalovaný výkon		Výroba elektřiny brutto		Instalovaný výkon		Výroba elektřiny brutto		Instalovaný výkon		Výroba elektřiny brutto		Instalovaný výkon		Výroba elektřiny brutto	
	[MW]	[%]	[GWh]	[%]	[MW]	[%]	[GWh]	[%]	[MW]	[%]	[GWh]	[%]	[MW]	[%]	[GWh]	[%]
Jaderné (JE)	3 760,0	21,2	26 551,0	31,8	3 830,0	20,9	27 207,8	33,1	3 900,0	19,4	27 988,2	32,6	3 970,0	19,6	28 282,6	32,3
Parní (PE)	10 685,2	60,3	51 218,8	61,3	10 720,1	58,5	48 457,4	58,9	10 769,0	53,6	49 979,7	58,2	10 787,5	53,3	49 973,0	57,1
Paroplynové (PPE)	569,7	3,2	2 431,7	2,9	560,7	3,1	2 250,9	2,7	590,7	2,9	2 349,6	2,7	590,7	2,9	2 344,4	2,7
Plynové a spalovací (PSE)	327,9	1,9	681,0	0,8	374,2	2,0	974,3	1,2	433,7	2,2	1 250,8	1,5	510,8	2,5	1 610,7	1,8
Vodní (VE)	1 045,3	5,9	2 024,3	2,4	1 036,5	5,7	2 429,6	3,0	1 056,1	5,3	2 789,4	3,2	1 054,6	5,2	2 134,1	2,4
Přechřívání (PVE)	1 146,5	6,5	352,0	0,4	1 146,5	6,3	553,1	0,7	1 146,5	5,7	591,2	0,7	1 146,5	5,7	700,9	0,8
Větrné (VTE)	150,0	0,8	244,7	0,3	193,2	1,1	288,1	0,4	217,8	1,1	335,5	0,4	218,9	1,1	396,8	0,5
Fotovoltaické (FVE)	39,5	0,2	12,9	0,0	464,6	2,5	88,8	0,1	1 959,1	9,8	615,7	0,7	1 971,0	9,7	2 118,0	2,4
Celkem ČR	17 724,2	100,0	83 516,4	100,0	18 325,8	100,0	82 250,0	100,0	20 072,9	100,0	85 900,1	100,0	20 250,0	100,0	87 560,6	100,0
	2012				2013				2014				2015			
	Instalovaný výkon		Výroba elektřiny brutto		Instalovaný výkon		Výroba elektřiny brutto		Instalovaný výkon		Výroba elektřiny brutto		Instalovaný výkon		Výroba elektřiny brutto	
	[MW]	[%]	[GWh]	[%]	[MW]	[%]	[GWh]	[%]	[MW]	[%]	[GWh]	[%]	[MW]	[%]	[GWh]	[%]
Jaderné (JE)	4 040,0	19,7	30 324,2	34,6	4 290,0	20,4	30 745,3	35,3	4 290,0	19,6	30 324,9	35,3	4 290,0	19,6	26 840,8	32,0
Parní (PE)	10 644,1	51,9	47 261,0	54,0	10 819,5	51,3	44 737,0	51,4	10 836,7	49,4	44 419,3	51,0	10 737,9	49,1	44 816,5	53,4
Paroplynové (PPE)	520,7	2,5	2 200,4	2,5	518,0	2,5	2 092,8	2,4	1 363,3	6,2	2 204,7	2,6	1 363,3	6,2	2 749,0	3,3
Plynové a spalovací (PSE)	750,1	3,7	2 234,7	2,6	820,1	3,9	3 179,6	3,7	833,3	3,8	3 494,4	4,1	859,9	3,9	3 574,7	4,3
Vodní (VE)	1 069,2	5,2	2 231,5	2,5	1 082,7	5,1	2 856,4	3,3	1 080,4	4,9	1 909,2	2,2	1 087,5	5,0	1 794,8	2,1
Přechřívání (PVE)	1 146,5	5,6	731,4	0,8	1 146,5	5,4	905,3	1,0	1 171,5	5,3	1 051,5	1,2	1 171,5	5,4	1 276,0	1,5
Větrné (VTE)	263,0	1,3	417,3	0,5	270,0	1,3	478,3	0,5	278,1	1,3	476,5	0,6	280,6	1,3	572,6	0,7
Fotovoltaické (FVE)	2 086,0	10,2	2 173,1	2,5	2 132,4	10,1	2 070,2	2,4	2 067,4	9,4	2 122,9	2,5	2 074,9	9,5	2 263,8	2,7
Celkem ČR	20 519,5	100,0	87 573,7	100,0	21 079,2	100,0	87 064,9	100,0	21 920,3	100,0	86 003,4	100,0	21 865,7	100,0	83 888,3	100,0
	2016				2017											
	Instalovaný výkon		Výroba elektřiny brutto		Instalovaný výkon		Výroba elektřiny brutto									
	[MW]	[%]	[GWh]	[%]	[MW]	[%]	[GWh]	[%]								
Jaderné (JE)	4 290,0	19,5	24 104,2	28,9	4 290,0	19,3	28 339,6	32,6								
Parní (PE)	10 850,0	49,3	45 704,1	54,9	11 075,4	49,8	45 433,6	52,2								
Paroplynové (PPE)	1 363,5	6,2	4 049,2	4,9	1 363,5	6,1	3 722,4	4,3								
Plynové a spalovací (PSE)	874,0	4,0	3 613,9	4,3	895,1	4,0	3 717,8	4,3								
Vodní (VE)	1 090,2	5,0	2 000,5	2,4	1 090,3	4,9	1 868,5	2,1								
Přechřívání (PVE)	1 171,5	5,3	1 201,5	1,4	1 171,5	5,3	1 170,5	1,3								
Větrné (VTE)	282,0	1,3	497,0	0,6	308,2	1,4	591,0	0,7								
Fotovoltaické (FVE)	2 067,9	9,4	2 131,5	2,6	2 040,3	9,2	2 188,5	2,5								
Celkem ČR	21 989,0	100,0	83 301,9	100,0	22 234,3	100,0	87 031,9	100,0								

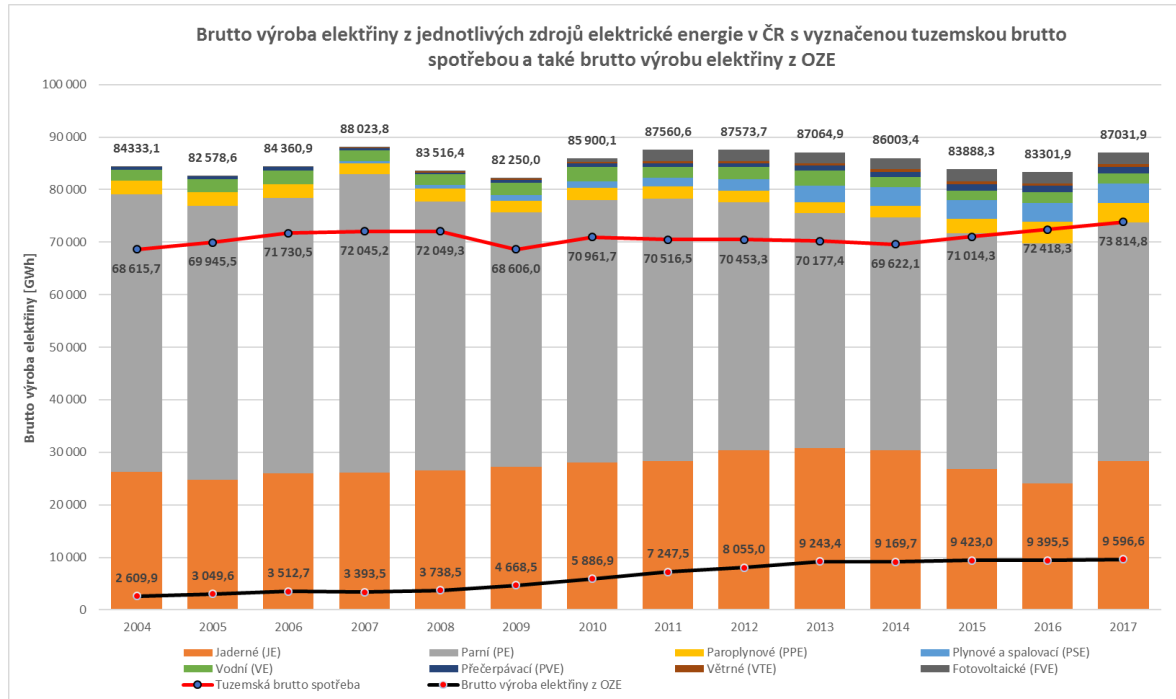
Tab. 2 Přehled instalovaných výkonů elektráren a brutto výroby elektřiny od roku 2004 do 2017 [18][19]

Nejdříve se podívám na to, jak se vyvíjely instalované výkony elektráren. Tato data jsou uvedena v Tab. 2. Z tabulky i z Graf. 2 je jasné, že celkový instalovaný výkon elektráren v ČR stále stoupá. Od roku 2004 do 2006 nedocházelo k rozlišování paroplynových elektráren a plynových a spalovacích elektráren, proto jsou v tabulce uvedeny souhrnné hodnoty u těchto typů elektráren. U všech typů elektráren došlo ke zvýšení instalovaných výkonů od roku 2004 do 2017, ale jejich nárůst je nerovnoměrný a u některých zdrojů dochází ke kolísání této hodnoty. Proto se zaměřím podrobněji jenom na ty nejvýraznější změny a také na zdroje, které patří k obnovitelným zdrojům energie.

Jaderné elektrárny se podílejí stále na celkovém instalovaném výkonu v zaznamenaném období okolo 20 % (od 21,6 do 19,3 %). Nejvíce využívané elektrárny u nás jsou parní, a proto také zastávají největší podíl instalovaného výkonu. U nás to v roce 2004 bylo dokonce 61,4 %, což odpovídá 10 705,2 MW. Jejich instalovaný výkon sice do roku 2017 mírně stoupl, ale jejich podíl klesl pod 50 %.

Nyní se zaměřím na zástupce obnovitelných zdrojů energie. U vodních elektráren jejich instalovaný výkon pozvolně stoupl z 1 014,4 MW až na hodnotu 1 090,3 MW v roce 2017, mírný propad nastal v roce 2009 a 2014. V roce 2017 byl jejich podíl na celkovém instalovaném výkonu 4,9 %. Využívání vodních elektráren se v ČR příliš nerozvíjí a vodní díla se u nás ve velkém množství nestaví. Je to způsobené tím, že většina velkých vodních děl byla postavena hlavně v minulém století a nyní už není mnoho vhodných lokalit pro výstavbu velkých vodních děl a pro menší jich také hodně ubylo. U větrných elektráren dochází ke stálému růstu instalovaného výkonu a od roku 2004 do 2017 stoupl jejich instalovaný výkon téměř 16krát na hodnotu 308,2 MW, přesto se jedná o zdroj, který se podílí nejméně na celkovém instalovaném výkonu, a to 1,4 %. Dalším zástupcem obnovitelných

zdrojů je asi ten nejvíce diskutovaný a jedná se o fotovoltaické elektrárny. Do roku 2007 je jejich význam nepatrný, poté už se jejich instalovaný výkon začal výrazněji zvětšovat a raketový nárůst nastal v roce 2010 a to skoro na 2 GW. Tento velký nárůst instalovaného výkonu byl dle mého názoru způsoben hlavně dotacemi na elektrickou energii vyrobenou pomocí fotovoltaických systémů, které v té době byly velmi vysoké. V posledních pár letech instalovaný výkon fotovoltaických elektráren kolísá, ale stále se drží nad 2 GW a podílí se na celkovém instalovaném výkonu přibližně 9–10 %.



Graf. 3 Brutto výroba elektřiny v ČR s vyznačenou tuzemskou brutto spotřebou

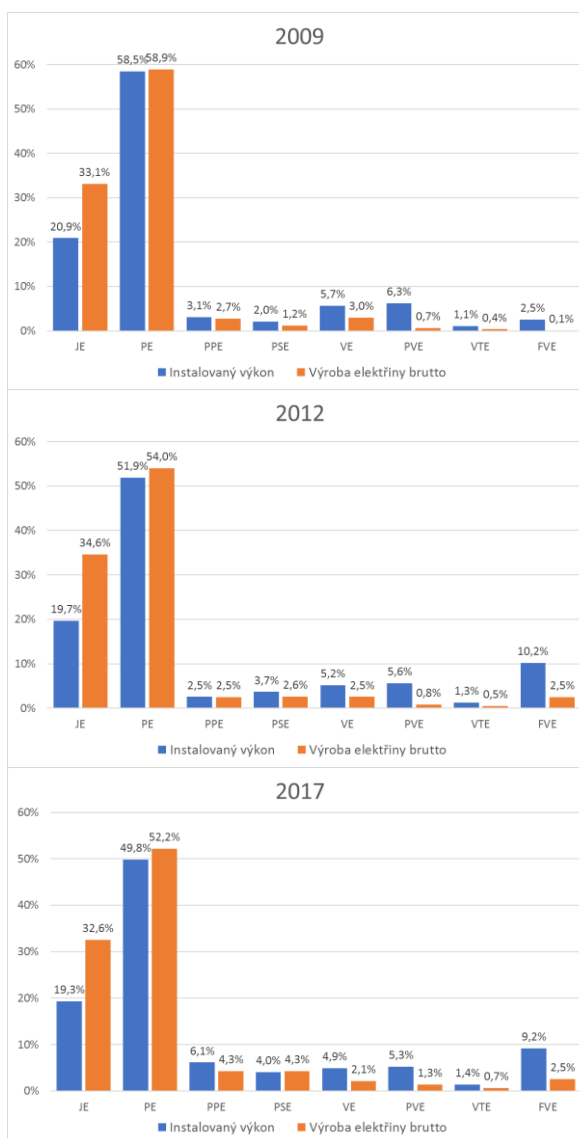
Dalším údajem v Tab. 2 je brutto výroba elektřiny, z těchto dat jsem vytvořil Graf. 3, také jsem přidal další data z Tab. 6, aby v grafu bylo možné vidět i tuzemskou brutto spotřebu (TBS) a také kolik se vyrobilo z obnovitelných zdrojů. Jak je vidět z Graf. 3 tak pro pokrytí TBS elektřiny by nám teoreticky stačilo, kdybychom využívali jenom parní a jaderné elektrárny, tedy až na poslední dva roky, ve kterých tyto zdroje nedokázaly sami pokrýt TBS. Z toho je zřejmé, že vyrábíme více elektřiny, nežli spotřebujeme, a přebytky prodáváme do zahraničí. Například dokonce i v roce 2016, kdy TBS nedokázaly pokrýt jenom parní a jaderné elektrárny, se u nás vyrobilo o 10 883,6 GWh více, než bylo spotřebováno, což znamená, že bylo vyrobeno o 13,07 % více elektrické energie. V tomto roce se také vyrobilo pomocí OZE 9 395,5 GWh, což by teoreticky jenom podle čísel mohlo znamenat to, že jsme všechnu takto vyrobenou elektrickou energii prodali do zahraničí.

Z tohoto pohledu by se dala položit docela dobrá otázka: „Musíme vyrábět takové množství elektrické energie?“ Kdyby se u nás nevyrobělo tolik přebytečné elektrické energie, tak bychom mohli trochu omezit využívání neobnovitelných zdrojů a díky tomu šetřit jejich zásoby a životní prostředí. Je samozřejmé, že to není tak jednoduché, protože nemůžeme vyrábět jenom přesně tolik, kolik spotřebujeme, protože při výrobě elektrické energie musíme dbát na mnoho faktorů a různých vlivů. Jedním z faktorů je ten, že jsme propojeni elektrizační soustavou s okolními státy a je potřeba tuto soustavu stále udržovat v provozu a vyrovnávat výkonové špičky a propady. Také není snadné některé typy zdrojů jednoduše odstavit nebo vypnout, například když je přebytek elektrické energie. Tímto jsem na tuto skutečnost chtěl jenom upozornit a podrobněji se tím dále zabývat nebudu, protože by se ohledně regulování naší elektrizační soustavy a nasazování zdrojů dala napsat další práce.

Jak také z dat vyplývá, tak se od roku 2014 postupně zvětšuje TBS, ale i tak se v roce 2017 vyrobilo o 13 217,1 GWh, takže i s dalším zvyšováním TBS bychom měli být schopni prozatím tuto spotřebu pokrýt.

Nyní se zaměřím na výrobu elektřiny pomocí parních a jaderných elektráren. Ke snižování výroby elektřiny pomocí parních elektráren nedocházelo rovnoměrně a výroba kolísala. Například v roce 2007 se vyrobilo nejvíce elektřiny v tomto zaznamenaném období, ale v roce 2017 došlo k celkovému snížení výroby o 7 377,4 GWh proti roku 2004. To způsobilo snížení podílu výroby parních elektráren na celkové výrobě, a to z 62,6 % na 52,2 %, což je velmi důležitý krok, pokud chceme snižovat naši závislost na fosilních palivech. Přesto, že došlo ke snížení o téměř deset procent, tak tvoří výroba v parních elektrárnách přibližně polovinu. Dalším zdrojem, díky kterému získáváme velké množství elektřiny, jsou jaderné elektrárny. U tohoto zdroje došlo naopak ke zvýšení výroby elektřiny v roce 2017. Jaderné elektrárny se podílejí na celkové výrobě v zaznamenaném období celou dobu okolo 30 %.

Pro zhodnocení využití jednotlivých zdrojů jsem vytvořil Graf. 4 pro roky 2009, 2012 a 2017. Z něho je vidět, že jaderné elektrárny na 1 instalovaný megawatt vyrobily více elektřiny nežli ostatní zdroje. Je to způsobené tím, že jaderné elektrárny jsou v provozu téměř neustále, odstavují se jen výjimečně a jsou určeny k pokrývání základní spotřeby elektřiny. Paroplynové, plynové a spalovací elektrárny vyrábějí na 1 instalovaný megawatt méně nežli jaderné. Je to způsobené tím, že všechny zdroje tohoto typu nejsou v provozu pořád a jsou nasazované dle potřeb. Důvodem, proč mají parní elektrárny větší tento poměr nežli další zdroje, je například ten, že se velké parní elektrárny nevyplatí často odstavovat, protože pro jejich opětovné spuštění je potřeba velké množství energie a tyto zdroje není možné ihned spustit a je potřeba určitá doba pro jejich spuštění. Zbylé zdroje mají tento poměr menší, protože nejsou využívány pořád nebo jsou závislé na klimatických podmínkách.



Graf. 4 Instalované výkony a brutto výroba elektřiny v procentech pro roky 2009, 2014, 2017

Rok	Součinitel využití K [%]				
	Jaderné	Parní	Vodní	Větrné	Fotovoltaické
2004	79,7	56,2	22,7	5,8	11,4
2005	75,1	55,8	26,6	11,1	11,4
2006	79,1	55,9	28,3	13,0	11,4
2007	79,5	60,8	23,2	12,6	6,0
2008	80,4	54,6	22,0	18,6	3,7
2009	81,1	51,6	26,8	17,0	2,2
2010	81,9	53,0	30,2	17,6	3,6
2011	81,3	52,9	23,1	20,7	12,3
2012	85,5	50,5	23,8	18,1	11,9
2013	81,8	47,2	30,1	20,2	11,1
2014	80,7	46,8	20,2	19,6	11,7
2015	71,4	47,6	18,8	23,3	12,5
2016	64,0	48,0	20,9	20,1	11,7
2017	75,4	46,8	19,6	21,9	12,2

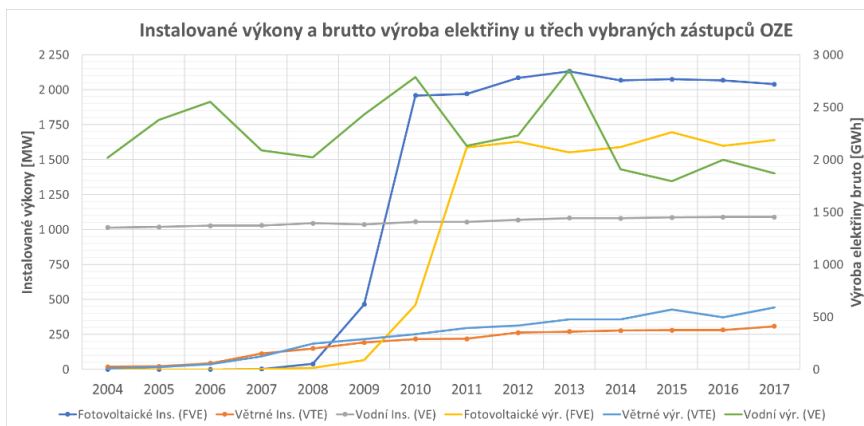
Tab. 3 Součinitel využití pro vybrané typy zdrojů

Abych mohl toto využívání zdrojů vyjádřit, použil jsem součinitel využití K , vzorec pro jeho výpočet je uveden v úvodu a spočítaná data jsou uvedena v Tab. 3. Tento součinitel využití je vlastně jedním z ukazatelů efektivnosti energetického zdroje. Díky němu víme, jak moc je využíván instalovaný výkon energetického zdroje v průběhu roku. V této tabulce uvádím už výše zmíněné typy zdrojů a také tři zástupce obnovitelných zdrojů. Určitý představu ohledně toho, jak jsou jednotlivé zdroje využívány, jsem získal už při tvorbě Graf. 4. Součinitel využití je dle předpokladu největší u jaderných elektráren a pohybuje se okolo 80 %, tedy až na roky 2005, 2015, 2016 a 2017, kdy jejich využití pokleslo. Těchto 80 % představuje celkové množství elektrické energie, které by dokázaly jaderné elektrárny vyrobit při jejich plném provozu za necelých 293 dní. U parních elektráren je součinitel využití menší než pro jaderné elektrárny, což odpovídá grafu, který je uveden výše. V tabulce je vidět, že dochází k postupnému zmenšování součinitele využití u parních elektráren, i když tento pokles není lineární. Při bližším pohledu je zřejmé, že se nejedná jenom o snižování, ale jsou zde i roky, kde došlo ke zvýšení. Přesto, když porovnám rok 2004 s 2015, je vidět, že součinitel využití klesl o 8,6 %. Tyto roky jsem vybral, protože v nich mají parní elektrárny skoro stejný instalovaný výkon oproti rokům 2016 a 2017. Přesto došlo ke snížení součinitele využití a je to způsobené hlavně tím, že dochází k omezování výroby elektřiny parními elektrárnami. V roce 2015 se vyrobilo pomocí parních elektráren o 7 994,5 GWh méně nežli v roce 2004.

Další zmíněné zdroje v Tab. 3 mají součinitel využití výrazně menší, což je způsobené tím, že jejich výroba je závislá na mnoha faktorech. Například vodní elektrárny jsou závislé na srážkách během roku. Pokud bude více vody během roku, tak díky tomu můžeme získat více elektrické energie. Ale tím samozřejmě nemyslím takové množství vody, které bychom nedokázali nijak využít pro výrobu elektrické energie, protože by tato přebytečná voda byla odváděna bez užitku. Součinitel využití je nejmenší u fotovoltaických elektráren, což je způsobené jak závislostí na klimatických podmínkách, tak i na tom, že fotovoltaické elektrárny nevyrábějí elektřinu přes noc. Součinitel využití pro fotovoltaické elektrárny se pohybuje mezi 11,1–12,5 %. To znamená, že když postavíme fotovoltaickou elektrárnu a parní se stejným instalovaným výkonem, tak fotovoltaická elektrárna vyrobí o mnoho méně elektřiny. Když se podíváme na součinitele využití u ostatních zdrojů v Tab. 3, tak je vidět, že u nich dochází k mnohem většímu kolísání, nežli je tomu u fotovoltaických elektráren. Pro roky 2007 až 2010 je součinitel využití ještě menší, toto je nejspíše způsobené tím, že uváděná hodnota instalovaného výkonu v Tab. 2 je vždy taková, jaká byla na konci daného roku. Může to být důsledkem toho, že v těchto letech se uvedlo do provozu mnoho nových fotovoltaických elektráren a pokud došlo k jejich spuštění třeba až ke konci daného roku, tak už nedokázaly vyrobit mnoho elektrické energie, ale jejich instalovaný výkon se při výpočtu součinitele využití započítal jako kdyby byly v provozu celý rok.

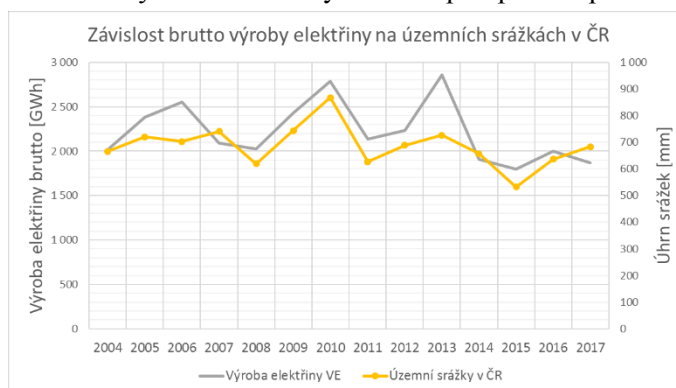
4.1.1 Pohled na zástupce OZE

V této části podrobněji popíšeme zástupce OZE, konkrétně fotovoltaické, větrné a vodní elektrárny. Vývoj instalovaných výkonů a brutto výroby elektřiny těchto OZE je zobrazen v Graf. 5. Tento graf je vytvořen z dat, které jsou uvedeny v Tab. 2.



Graf. 5 Instalované výkony a brutto výroba elektřiny pro tři zástupce OZE

Jak je z Graf. 5 vidět, tak instalovaný výkon vodních elektráren se pomalu zvětšuje, do roku 2017 došlo ke zvýšení o 75,9 MW oproti roku 2004. Také je zřejmé, že výroba elektřiny tento trend nekopíruje a celková výroba elektřiny se každým rokem mění. V roce 2013 bylo vyrobeno pomocí VE nejvíce elektřiny (2 856,4 GWh) a v roce 2015 nejméně (1 794,8 GWh), při skoro stejném instalovaném výkonu VE. Jak už jsem zmínil výše, tak výroba elektřiny u VE je závislá na množství vody, které jimi protéká, proto jsou tak ovlivňovány srážkami. Abych tento předpoklad potvrdil, vyhledal jsem územní srážky v ČR za poslední roky, tyto údaje jsou sepsané v Tab. 4. Úhrn srážek se udává v mm, 1 mm srážek odpovídá 1 l/m². Pro porovnání výroby se srážkami jsem vytvořil Graf. 6. Z něho lze vyčíst, že výroba elektřiny se zvyšuje s rostoucím úhrnem srážek, ale to neplatí pro všechny roky. Například v letech 2006, 2007 a 2017 tomu bylo naopak. Ale i přes tyto roky je vidět závislost výroby elektřiny VE na úhrnu srážek.



Graf. 6 Závislost brutto výroby elektřiny na územních srážkách v ČR

Dalším zdrojem, který je uveden v Graf. 5, jsou větrné elektrárny. U tohoto zdroje pozorujeme závislost výroby elektřiny na jeho instalovaném výkonu. Nárůst výroby elektřiny v letech 2011, 2013, 2015 a 2017 je vidět jak v tomto grafu, tak i v Tab.3, kde pro tyto roky je součinitel využití větší nežli 20 %.

Územní srážky v ČR							
Rok	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Úhrn srážek [mm]	666	720	703	741	619	744	867
Rok	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Úhrn srážek [mm]	627	689	727	657	532	637	683

Tab. 4 Územní srážky v ČR [17]

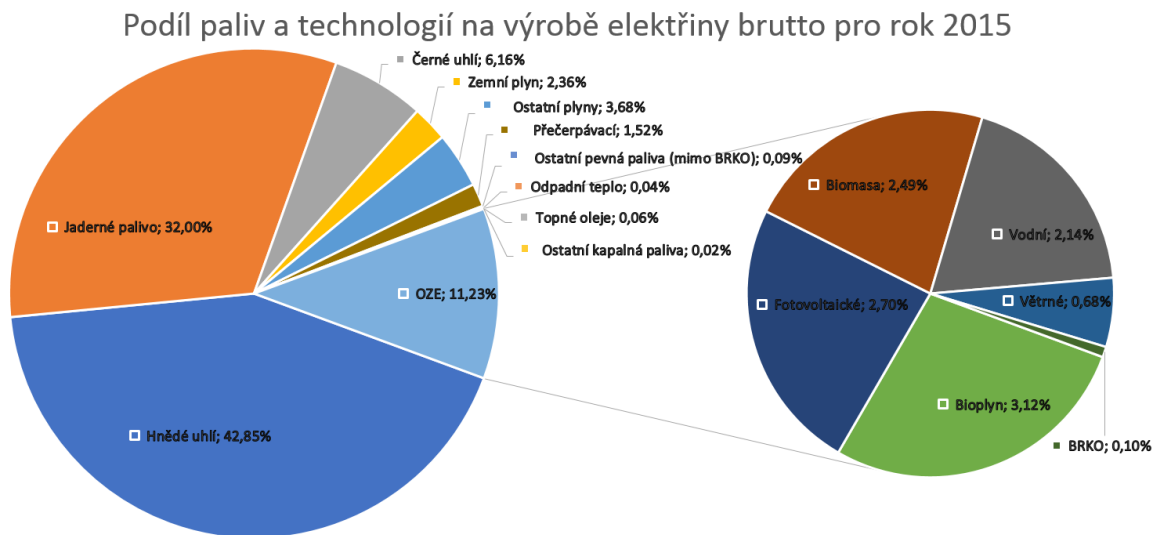
Posledním zdrojem, který je v tomto grafu uveden, jsou fotovoltaické elektrárny. U tohoto zdroje docházelo k velkému zvyšování instalovaného výkonu od roku 2007, které se zpomalilo v roce 2009 a skončilo v roce 2013. Od tohoto roku instalovaný výkon fotovoltaických elektráren pomalu klesá. Dále v tomto grafu je vidět, že pro roky 2007 až 2010 bylo na 1 MW instalovaného výkonu vyrobeno mnohem méně elektrické energie, což potvrzuje i součinitel využití v Tab. 3. Důvod, proč tomu tak nejspíše je, jsem uvedl už výše.

4.1.2 Podíl paliv a technologií na brutto výrobě elektrické energie

V předchozí kapitole jsem se zabýval tím, kolik jednotlivé typy elektráren vyrobily elektrické energie a jaký měly instalovaný výkon od roku 2004 do 2017. V této části bych chtěl ještě uvést skladbu paliv a technologií, které se podílejí na výrobě elektřiny. Například v parních elektrárnách se nespalují jenom fosilní paliva, jako je třeba hnědé uhlí, ale i některá další paliva. Druhy paliv a technologií, které využíváme pro výrobu elektřiny, jsou uvedeny s Tab. 5. Společně s tím je v ní také uvedeno, kolik elektřiny se z daného druhu vyrobilo. Z tabulky jasně vyplývá, že se u nás nejvíce využívá hnědé uhlí pro výrobu elektřiny a podílí se na její celkové výrobě více jak 40 %. Dalším palivem, které se výrazně podílí na výrobě elektřiny, je jaderné palivo. To se podílí na celkové výrobě elektřiny okolo 30 %. Takže jenom z těchto dvou paliv v ČR vyrobíme více než 70 % elektřiny. Proto je jasné, že jsme na těchto palivech velmi závislí a kdybychom je chtěli nějak nahradit, tak by to bylo velmi složité.

Druh paliv a technologií	Výroba elektřiny brutto [GWh]	
	2015	2016
Hnědé uhlí	35 944,5	36 228,1
Jaderné palivo	26 840,8	24 104,2
Černé uhlí	5 165,6	5 719,9
Zemní plyn	1 978,3	3 422,2
Ostatní plyny	3 088,8	3 036,2
Bioplyn	2 614,2	2 600,5
Fotovoltaické	2 263,8	2 131,5
Biomasa	2 090,9	2 067,4
Vodní	1 794,8	2 000,5
Přecherpací	1 276,0	1 201,5
Větrné	572,6	497,0
BRKO	86,6	98,6
Ostatní pevná paliva (mimo BRKO)	75,9	78,3
Odpadní teplo	32,4	46,0
Topné oleje	47,1	44,3
Ostatní kapalná paliva	16,1	25,0
Ostatní	0,0	0,8
Celkem	83 888,3	83 301,9

Tab. 5 Podíl paliv a technologií na brutto výrobě elektřiny [18]



Graf. 7 Podíl paliv a technologií na brutto výrobě elektřiny pro rok 2015 [18]

Pro rok 2015 jsem z dat, které jsou uvedené v Tab. 5, vytvořil Graf. 7, aby bylo na první pohled zřejmé, jakou měrou se podílejí paliva a technologie na výrobě elektřiny. Z grafu je dobře vidět naše závislost na hnědém uhlí a jaderném palivu, ze kterých se dohromady vyrobilo 74,85 % z celkového množství vyrobené elektřiny v ČR za rok 2015. Všechny ostatní technologie a paliva vyrábí dohromady pouze 25,15 %. Třetím nejvyužívanějším palivem je černé uhlí, které se podílí na výrobě elektřiny 6,16 %. Z grafu vyplývá, že všechny obnovitelné zdroje energie se podílejí dohromady 11,23 % na brutto výrobě elektřiny. Těchto 11,23 % představuje 9 423 GWh. Obnovitelné zdroje, které využíváme pro výrobu elektrické energie, jsou fotovoltaické, vodní a větrné elektrárny, také využíváme biomasu, bioplyn a BRKO. Z biomasy a bioplynu se vyrobilo 4 705,1 GWh, což je téměř polovina vyrobené elektřiny obnovitelnými zdroji. Z hodnot uvedených v Tab. 5 můžeme vyčíst, že nejvíce využívaným zdrojem z obnovitelných zdrojů energie je právě energie biomasy a tím pádem je také nejdůležitějším obnovitelným zdrojem v ČR. Tento OZE má v ČR nejspíše i největší potenciál ze všech OZE. Níže pro bližší představu ještě uvádím, z čeho se skládá využívaná biomasa a bioplyn. Podíl obnovitelných zdrojů na celkové výrobě elektřiny je vidět v pravé části Graf. 7.

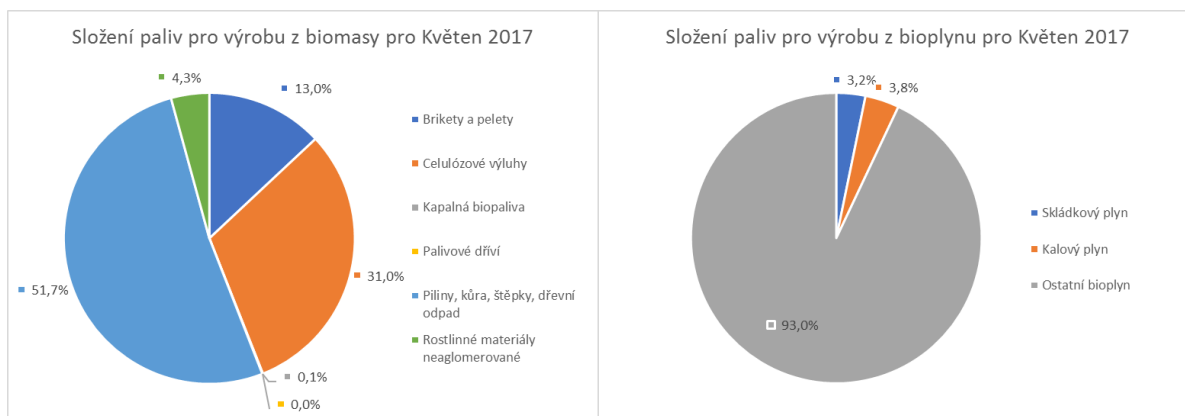
Složení paliv pro výrobu z biomasy pro Květen 2017	Výroba elektřiny brutto [MWh]	Výroba elektřiny netto [MWh]	Dodávka užitečného tepla [GJ]
Brikety a pelety	27 403,8	23 992,0	45 986,3
Celulózové výluhy	65 240,4	60 364,2	661 676,6
Kapalná biopaliva	144,8	137,9	397,4
Palivové dříví	2,1	1,9	0,0
Piliny, kůra, štěpky, dřevní odpad	108 790,1	97 813,1	453 199,9
Rostlinné materiály neaglomerované	8 952,2	8 101,2	12 735,0
Celkem	210 533,4	190 410,3	1 173 995,1
Složení paliv pro výrobu z bioplynu pro Květen 2017	Výroba elektřiny brutto [MWh]	Výroba elektřiny netto [MWh]	Dodávka užitečného tepla [GJ]
Skládkový plyn	7 240,4	6 768,8	10 183,6
Kalový plyn	8 487,7	7 824,1	18 318,3
Ostatní bioplyn	208 378,4	193 127,5	237 100,2
Celkem	224 106,6	207 720,5	265 602,2

Tab. 6 Složení biomasy a bioplynu, které jsou určeny pro výrobu elektrické energie (květen 2017) [19]

Biomasa, která se používá pro výrobu elektrické energie, se skládá z paliv, které jsou uvedené v Tab. 6. Z biomasy vyrábíme nejvíce elektřiny spalováním pilin, kůry, štěpky a dřevního odpadu. Z tohoto paliva bylo v květnu 2017 vyrobeno 108,8 GWh, což odpovídá téměř 52 % elektrické energie vyrobené z biomasy. Druhým nejvýznamnějším palivem jsou pro výrobu elektřiny celulózové výluhy, ze kterých se v tomto období vyrobilo 65,2 GWh. Z celulózy vyrábíme 31 % elektrické energie vyrobené z biomasy. Z těchto dvou paliv dohromady se vyrábí nejvíce elektrické energie, což v tomto uváděném měsíci tvořilo skoro 83 % celkové výroby elektrické energie z biomasy, proto jsou tyto dvě paliva těmi nejdůležitějšími palivy biomasy. Z těchto dvou paliv získáváme také poměrně velké množství užitečného tepla. Naopak palivové dříví se pro výrobu elektřiny téměř nevyužívá, největší uplatnění nachází v domácnostech pro výrobu tepelné energie.

Bioplyn se skládá ze skládkového a kalového plynu a ostatního bioplynu. Nejvíce elektrické energie z bioplynu získáváme z ostatního bioplynu, v tomto uváděném měsíci se z tohoto bioplynu vyrobilo 208 378,4 GWh, což odpovídá 93 % celkové výroby elektrické energie z bioplynu. V tomto uváděném měsíci, tedy květnu 2017, se vyrobilo ze skládkového a kalového plynu jenom 7 % celkové výroby elektřiny z bioplynu, což je mnohem méně nežli z ostatního bioplynu.

V Tab. 6 vidíme také celkovou výrobu elektřiny z biomasy a bioplynu. Z bioplynu bylo v tomto měsíci vyrobeno více elektřiny než z biomasy. To potvrzuje odhady, že z bioplynu získáváme stále více elektrické energie nežli z biomasy, což naznačuje i z Graf. 7 vypracovaný pro rok 2015.



Graf. 9 Složení paliv pro výrobu z biomasy pro květen 2017 Graf. 8 Složení paliv pro výrobu z bioplynu pro květen 2017

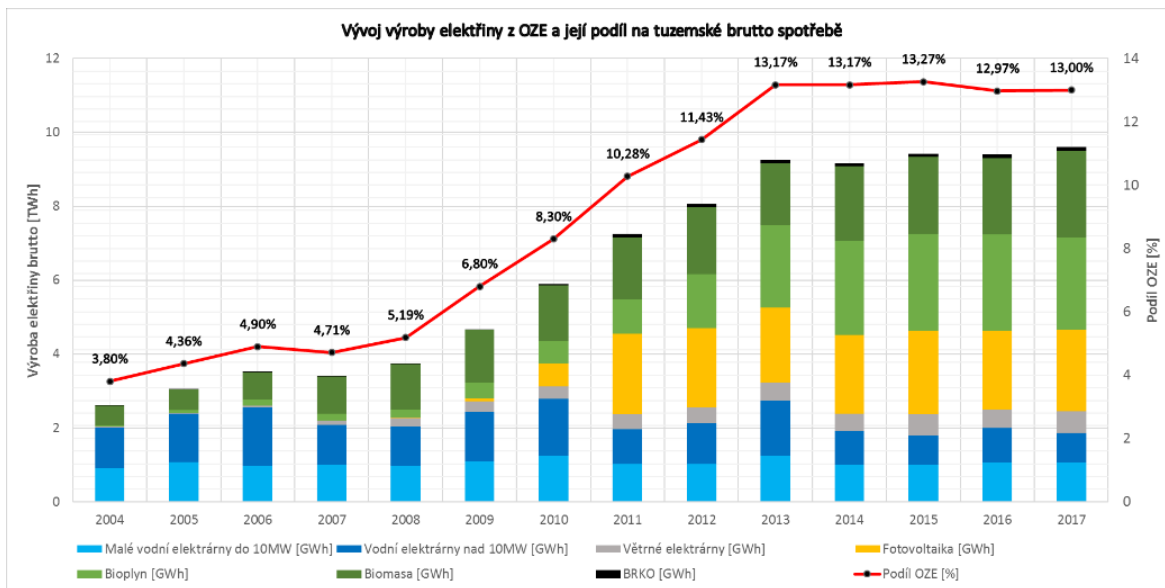
4.2 Brutto výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů a její podíl na celkové tuzemské spotřebě

V této části zhodnotím, jak se vyvíjela brutto výroba elektrické energie u jednotlivých obnovitelných zdrojů energie od roku 2004 do 2017. V Tab. 7 uvádím, jakou částí se brutto výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů podílela na pokrývání tuzemské brutto spotřeby a kolik elektřiny se z jednotlivých obnovitelných zdrojů vyrobilo. Z dat uvedených v Tab. 7 jsem pro lepší přehled vytvořil Graf. 10 a Graf. 11. Přesnou výrobu elektřiny z BRKO pro rok 2017 jsem nenašel, proto byla použita hodnota z předchozího roku.

Rok	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tuzemská brutto spotřeba [GWh]	68 615,7	69 945,5	71 730,5	72 045,2	72 049,3	68 606,0	70 961,7	70 516,5	70 453,3	70 177,4	69 622,1	71 014,3	72 418,3	73 814,8
Celkem OZE [GWh]	2 609,9	3 049,6	3 512,7	3 393,5	3 738,5	4 668,5	5 886,9	7 247,5	8 055,0	9 243,4	9 169,7	9 423,0	9 395,5	9 595,2
Podíl OZE [%]	3,80	4,36	4,90	4,71	5,19	6,80	8,30	10,28	11,43	13,17	13,17	13,27	12,97	13,00
Malé vodní elektrárny do 10MW [GWh]	903,2	1 070,7	964,4	1 001,9	966,9	1 082,7	1 238,8	1 017,9	1 026,3	1 237,0	1 011,7	1 001,8	1 053,1	1 059,1
Vodní elektrárny nad 10MW [GWh]	1 115,9	1 309,2	1 586,3	1 077,5	1 057,5	1 346,9	1 550,7	948,3	1 102,9	1 497,8	897,6	793,0	947,4	807,0
Větrné elektrárny [GWh]	9,9	21,3	49,4	125,1	244,7	288,1	335,5	397,0	415,8	480,5	476,5	572,6	497,0	591,0
Fotovoltaika [GWh]	0,1	0,1	0,2	1,8	12,9	88,8	615,7	2 182,0	2 148,6	2 032,7	2 122,9	2 263,9	2 131,5	2 188,5
Bioplyn [GWh]	37,4	85,4	172,6	182,7	213,6	414,2	598,8	932,6	1 472,1	2 241,3	2 566,7	2 614,2	2 600,6	2 510,0
Biomasa [GWh]	533,4	552,3	728,5	993,4	1 231,2	1 436,9	1 511,9	1 682,6	1 802,6	1 670,3	2 007,0	2 090,9	2 067,4	2 341,0
BRKO [GWh]	10,0	10,6	11,3	11,3	11,7	10,9	35,6	90,2	86,7	83,8	87,3	86,6	98,6	98,6

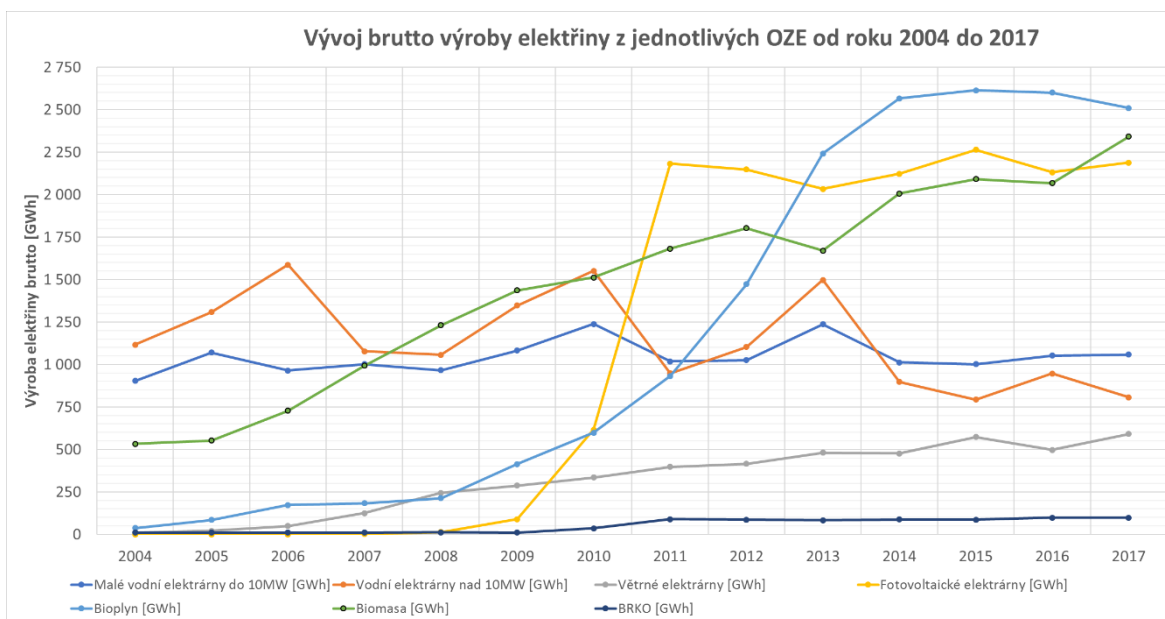
Tab. 7 Brutto výroba elektrické energie z OZE a její podíl na tuzemské brutto spotřebě od roku 2004 do 2017 [18][19]

Z Tab. 7 vyplývá, tuzemská brutto spotřeba se v tomto zaznamenaném období pohybovala okolo 70 TWh. V posledních dvou letech došlo ke zvýšení tuzemské brutto spotřeby oproti ostatním rokem, v roce 2016 to bylo 72,4 TWh a v roce 2017 to bylo dokonce 73,8 TWh. Z Tab. 7 i Graf. 10 je vidět, že od roku 2004 stoupl podíl vyrobené brutto elektřiny z OZE na tuzemské brutto spotřebě z 3,8 % až na 13,27 %, tohoto podílu jsme dosáhli v roce 2015. Nicméně v posledních dvou letech došlo dokonce ke snížení tohoto podílu a to na 12,97 % pro rok 2016 a 13 % pro rok 2017. V roce 2016 bylo toto snížení podílu způsobeno jak zvýšením tuzemské brutto spotřeby, tak také malým snížením brutto výroby elektřiny z OZE. V roce 2017 došlo k malému nárůstu podílu, a to i přes zvětšení tuzemské brutto spotřeby, protože se v tento rok vyrobilo skoro 9,6 TWh z OZE. Podíl se začal výrazně zvětšovat v roce 2008 a přestal růst v roce 2013. Od tohoto roku se podíl ustálil okolo 13 %. Toto výrazné zvětšování podílu bylo způsobeno hlavně zvyšováním výroby elektřiny z bioplynu a biomasy, také na to měly vliv fotovoltaické elektrárny. Také došlo k několikanásobnému zvýšení výroby elektřiny z větrných elektráren a BRKO. Jak je vidět, tak se výroba elektřiny z vodních elektráren v tomto zaznamenaném období poněkud snížila a také je patrné, jak výroba kolísá. V roce 2004 se většina elektřiny z OZE vyrobila pomocí vodních elektráren, a to 2 TWh. Celkem bylo vyrobeno z OZE 2,6 TWh. V roce 2017 se nejvíce elektřiny z OZE vyrobilo z bioplynu (2,5 TWh), pomocí fotovoltaických elektráren a z biomasy se vyrobilo více než 2 TWh z každého zdroje a celkem bylo vyrobeno z OZE 9,6 TWh. Naproti tomu pomocí vodních elektráren se v tomto roce vyrobilo „jen“ 1,9 TWh.



Graf. 10 Vývoj brutto výroby elektrické energie z OZE a její podíl na tuzemské brutto spotřebě od roku 2004 do 2017

V Graf. 11 jsem uvedl, jak se vyvíjela brutto výroba elektřiny z jednotlivých OZE. Hodnoty, ze kterých je graf vytvořen, jsou uvedeny v Tab. 7. V tomto grafu lze dobře pozorovat, jak narostla výroba elektřiny z bioplynu, biomasy a z fotovoltaických a větrných elektráren. Jak už bylo zmíněno, tak nejvíce elektřiny z obnovitelných zdrojů vyrábíme z bioplynu. Nicméně z Graf. 11 je vidět, že výroba z bioplynu v posledních dvou letech poklesla. Instalovaný výkon fotovoltaických elektráren se téměř nezměnil od roku 2010, a proto se dále výroba elektřiny nezvětšuje, ale kolísá okolo 2,1 TWh. U větrných elektráren roste výroba elektřiny v závislosti na jejich celkovém instalovaném výkonu, jak je vidět v Graf. 5. Z Graf. 11 je také patrné, že výroba elektřiny z biomasy stále roste. Jak už bylo zmíněno i v dalších částech, tak největší potenciál OZE v ČR má energie biomasy (bioplyn, biomasa). Největší nevýhodou využívání energie biomasy je, že využíváme zemědělskou půdu.



Graf. 11 Vývoj brutto výroby elektřiny z jednotlivých OZE od roku 2004 do 2017

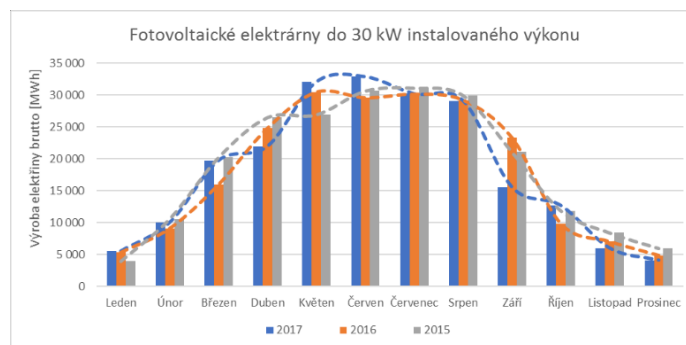
4.3 Bližší pohled na vybrané obnovitelné zdroje energie

V této části budu svoji pozornost soustředit na jednotlivé OZE v průběhu roku, protože je jasné, že většina OZE je závislá na přírodních podmínkách. Proto je zřejmé, že brutto výroba elektřiny se v průběhu roku bude v závislosti na počasí a ročním období měnit.

Rozhodl jsem se na zaměřit na tento vývoj výroby elektřiny v posledních třech letech, abych si mohl udělat jasnější představu o tom, jestli se změny ve výrobě elektřiny každý rok opakují a jak konkrétně střídání ročních období ovlivňuje výrobu. Data o brutto výrobě elektřiny a další informace o jednotlivých OZE jsou uvedeny v tabulkách, které jsou umístěny v Příloze 1, protože jsou velké a obsahují velké množství dat. Data a tabulky, o kterých se zmiňuji v následujících kapitolách, pochází z tabulek uvedených v Příloze 1.

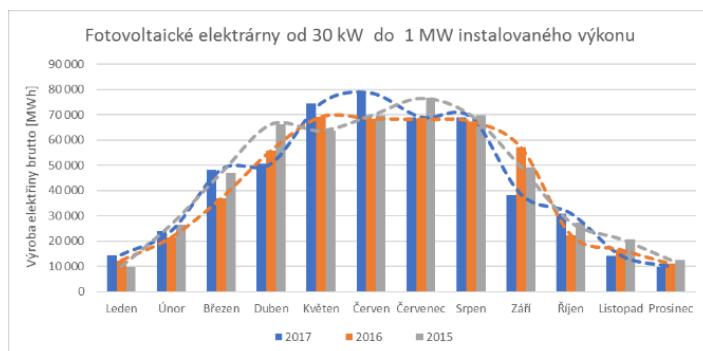
4.3.1 Fotovoltaické elektrárny

Z níže uvedených grafů je velmi dobře vidět závislost výroby elektřiny na daných měsících, tedy na ročních obdobích. V létě dopadá na zemský povrch mnohem více slunečního záření nežli v zimě. Přes léto je méně oblačnosti a také slunce svítí déle, kvůli natočení Země ke Slunci. Výroba elektřiny je také ovlivněna úhlem, pod kterým jsou instalované panely umístěny ve fotovoltaických elektrárnách. Většinou jsou panely instalované tak, aby tento úhel byl vhodný právě pro letní měsíce. I kvůli tomu také v zimních měsících výroba elektřiny klesá.

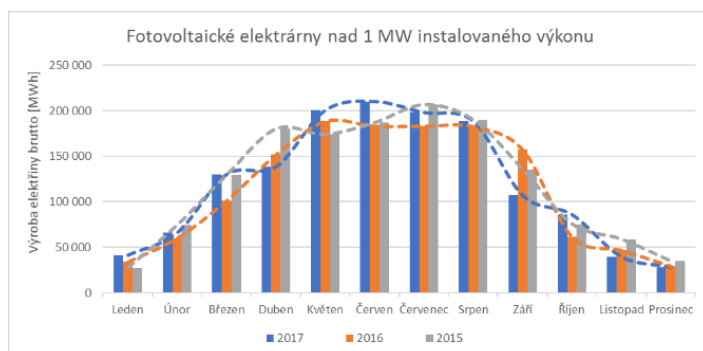


Graf. 12 Fotovoltaické elektrárny do 30 kW instalovaného výkonu

Tyto grafy jsou rozděleny podle instalovaného výkonu fotovoltaických elektráren do třech skupin. Na grafech 12 až 14 je vidět, že jsou velmi podobné, možná by se dalo říci, že jsou i identické. Například když se v jednotlivých grafech podíváme na březen, tak je jasné, že v roce 2016 se v ČR vyrobilo méně nežli v dalších zaznamenaných letech. Také je dobře vidět, že v květnu a červnu roku 2017 je brutto výroba elektřiny ve všech třech grafech vyšší nežli v předešlých letech. Důvodem toho je, že v tomto roce a těchto měsících dopadlo více slunečního záření na povrch. V daných měsících by měla být intenzita dopadajícího slunečního záření na atmosféru stejná a doba svitu také. Proto je tento rozdíl nejspíše způsoben tím, že v ostatních letech byla buď vyšší oblačnost nebo zvýšené množství částic v atmosféře.



Graf. 13 Fotovoltaické elektrárny od 30 kW do 1 MW instalovaného výkonu



Graf. 14 Fotovoltaické elektrárny nad 1 MW instalovaného výkonu

Dále jsem při zpracování tabulek s daty v Příloze 1 zaznamenal, že u fotovoltaických elektráren je znatelný rozdíl mezi brutto výrobou elektřiny a dodávkou elektřiny do elektrizační soustavy (dále jen ES). Pro zobrazení tohoto rozdílu jsem vytvořil Graf. 15. Hlavní, co normálně tvoří rozdíl mezi brutto výrobou elektřiny a dodávkou do ES u elektráren je technologická vlastní spotřeba elektřiny na výrobu elektřiny (dále jen TVSe). Tato vlastní spotřeba by u fotovoltaických elektráren měla být velmi malá, přesto je v Graf. 15 zřejmý velký rozdíl, a to hlavně pro fotovoltaické elektrárny do instalovaného výkonu 30 kW.

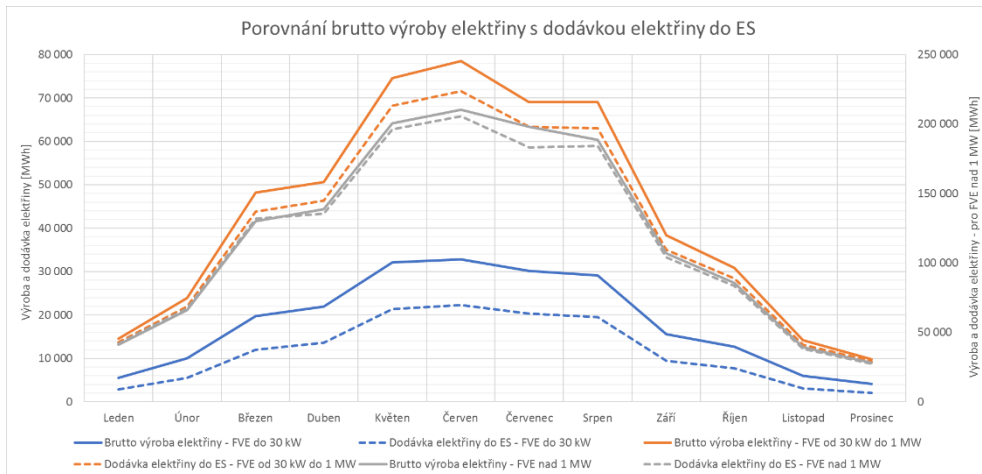
Instalovaný výkon	Do 30 kW			Od 30 kW do 1MW			Nad 1 MW		
	Duben	Květen	Červen	Duben	Květen	Červen	Duben	Květen	Červen
Výroba elektřiny brutto [MWh]	21 971,5	32 085,7	32 871,9	50 628,0	74 545,8	78 507,0	138 610,2	200 718,6	210 262,6
TVSe [MWh]	13,1	17,5	17,2	429,2	601,5	629,4	1 738,0	2 453,5	2 552,3
Výroba elektřiny netto [MWh]	21 958,4	32 068,2	32 854,7	50 198,8	73 944,3	77 877,6	136 872,2	198 265,1	207 710,3
Dodávka elektřiny do ES [MWh]	13 602,6	21 397,7	22 323,1	46 373,6	68 188,2	71 605,8	135 629,5	196 375,4	205 498,9

Tab. 8 Podrobný přehled výroby elektřiny z fotovoltaických elektráren v roce 2017 [19]

Pro zjištění, jak se pohybuje vlastní spotřeba u fotovoltaických elektráren, jsem vypsál data z ERÚ do Tab. 8. Z ní můžeme vyčíst, že TVSe je u fotovoltaických elektráren opravdu malá a samotná výroba elektřiny netto tímto není snížena. Přesto zde pozoruji velký rozdíl mezi výrobou elektřiny netto a dodávkou elektřiny do ES. U fotovoltaických elektráren, které mají instalovaný výkon nad 1 MW, je vidět, že dodávka elektřiny do ES není o tolik menší než u elektráren s nižším instalovaným výkonem. U fotovoltaických elektráren s instalovaným výkonem do 30 kW je tento rozdíl v květnu větší než 10 TWh. U fotovoltaických elektráren s instalovaným výkonem od 30 kW do 1 MW je tento rozdíl už menší.

Důvodem takových rozdílů mezi skupinami fotovoltaických elektráren je, že fotovoltaické elektrárny s menším instalovaným výkonem jsou většinou instalované na budovách a zároveň slouží také k pokrývání vlastní spotřeby budovy. Fotovoltaické elektrárny s větším instalovaným výkonem jsou umístovány na větší objekty a stavby. Pokud je fotovoltaická elektrárna postavena u domu nebo nějaké jiné budovy, tak se vyrobená elektrická energie využívá i k napájení budovy a když je této

elektřiny přebytek, tak je poté dodána do ES. Toto je tedy hlavní důvod, proč je u fotovoltaických elektráren výroba elektřiny netto a dodávka elektřiny do ES rozdílná.



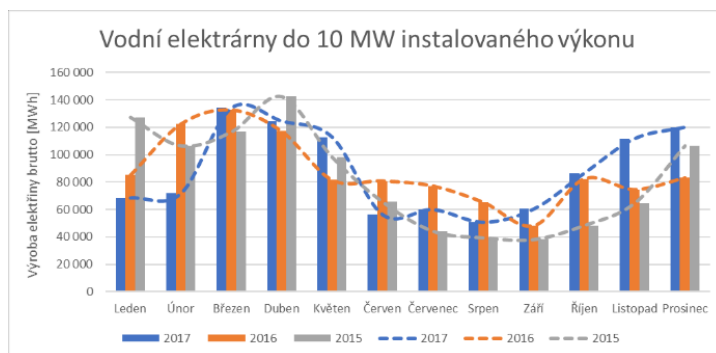
Graf. 15 Porovnání brutto výroby elektřiny s dodávkou elektřiny do ES z fotovoltaických elektráren za rok 2017

4.3.2 Vodní elektrárny

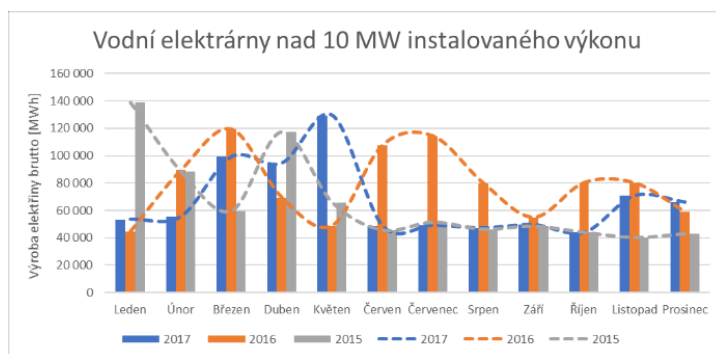
Dalším z obnovitelných zdrojů energie, který zde uvádím, jsou vodní elektrárny. Vodní elektrárny jsou nejstarším využívaným obnovitelným zdrojem pro výrobu elektrické energie. Pro znázornění změn ve výrobě elektřiny během roku jsem vytvořil Graf. 16 a 17. První je pro vodní elektrárny, které mají instalovaný výkon menší než 10 MW a které označujeme jako malé vodní elektrárny, druhý graf je pro vodní elektrárny s instalovaným výkonem větším než 10 MW. Malé vodní elektrárny jsou budovány přímo na řekách bez větších hrází a jedná se hlavně o průtočné vodní elektrárny.

Protože se jedná hlavně o průtočné vodní elektrárny, u kterých je výroba elektřiny závislá především na průtoku vody v říčních korytech, podléhají hlavně na množství srážek v dané lokalitě. V Graf. 16 dobře vidět, že výroba elektřiny v březnu a dubnu pro zaznamenané roky převyšovala výrobu v ostatních měsících a nejnižší výroba byla zaznamenána v letních měsících. V jarním období stále ještě roztává sníh na horách a úhrn srážek je větší než v letních měsících, tím se zvětšuje množství vody, které proudí koryty řek. Během letních měsíců výroba elektřiny pomocí malých vodních elektráren klesá, což je způsobené snížením množství protékající vody v říčních korytech hlavně v období sucha. Množství srážek roste ke konci roku, proto se opět zvětšuje výroba elektřiny.

Další graf, který zde uvádím, se vztahuje k vodním elektrárnám, které mají instalovaný výkon větší než 10 MW. Do této skupiny spadají akumulární vodní elektrárny. Vodní akumulární elektrárna s nejvyšším instalovaným výkonem u nás je Orlík (364 MW). Nejvíce takto velkých vodních elektráren je vybudováno na řece Vltavě. Tato větší i menší vodní díla dohromady tvoří Vltavskou kaskádu. Nejvíce elektřiny ve skupině VE s instalovaným výkonem nad 10 MW se vyrobí pomocí akumulárních vodních elektráren. Ty nejsou tolik závislé na toku vody v říčních korytech, protože mají možnost zadržování vody. Využívání takto akumulované vody je poté závislé jenom na našich potřebách.



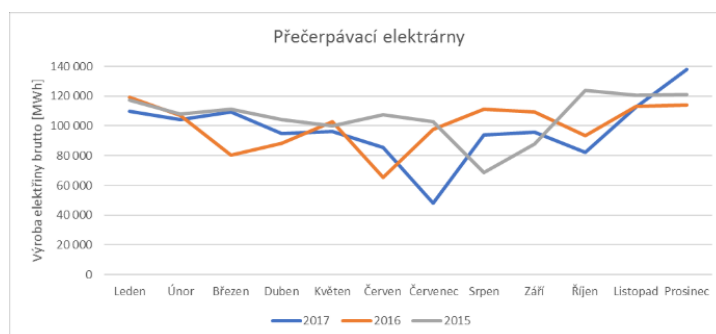
Graf. 16 Vodní elektrárny do 10 MW instalovaného výkonu



Graf. 17 Vodní elektrárny nad 10 MW instalovaného výkonu

4.3.3 Přečerpávací elektrárny

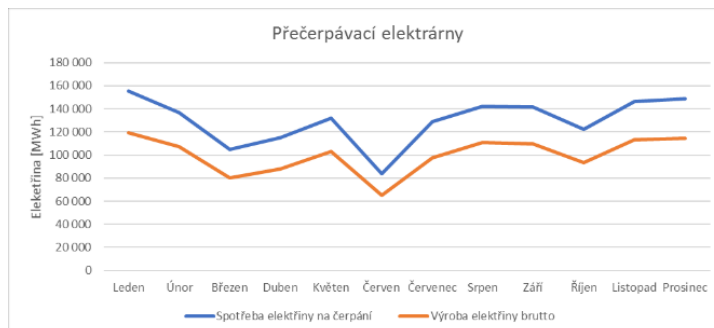
Přečerpávací elektrárny využívají energii vody k výrobě elektrické energie. Přestože tyto elektrárny využívají energii vody, neřadíme je v České republice k obnovitelným zdrojům elektrické energie. Důvodem, proč nejsou řazeny v ČR k obnovitelným zdrojům energie, je to, že jsou využívány hlavně pro regulaci výkonu v ES a tím zajišťují spolehlivou dodávku elektrické energie. Přesto zde přečerpávací elektrárny uvádím, abych je alespoň okrajově dostal do povědomí. Význam přečerpávacích elektráren stoupá s využíváním obnovitelných zdrojů energie, a to solárních a větrných elektráren. Protože solární a větrné elektrárny jsou velmi závislé na okolních podmínkách, nedodávají do elektrické soustavy stálý výkon. Ten kolísá je nutné ho kompenzovat. K tomuto účelu je možné využít právě přečerpávací elektrárny.



Graf. 18 Přečerpávací elektrárny a brutto výroba elektriny

Přečerpávací elektrárny jsou nejvíce využívanou technologií pro akumulaci elektrické energie v měřítku ES. Jedná se o jediný způsob akumulace tak velkého množství elektrické energie v ČR. Ve světě se experimentuje i s dalšími možnostmi akumulace elektrické energie, ale tento způsob zatím v ČR zůstává jedinou možností použitelnou v tak velkém měřítku.

Pro znázornění pohybu brutto výroby elektřiny z přečerpávacích elektráren v průběhu roku v letech 2015 až 2017 jsem vytvořil Graf. 18. Pozorujeme zde, jak výroba kolísá a mění se v průběhu roku, ale není zde vidět výraznější podobnost mezi lety 2015 až 2017. Je to způsobené tím, že tyto elektrárny využíváme podle aktuální potřeby. Například když je v noci v ES přebytečná elektřina, může být ukládána pomocí přečerpávacích elektráren a v průběhu dne ji můžeme využít pro pokrytí špičkové spotřeby.

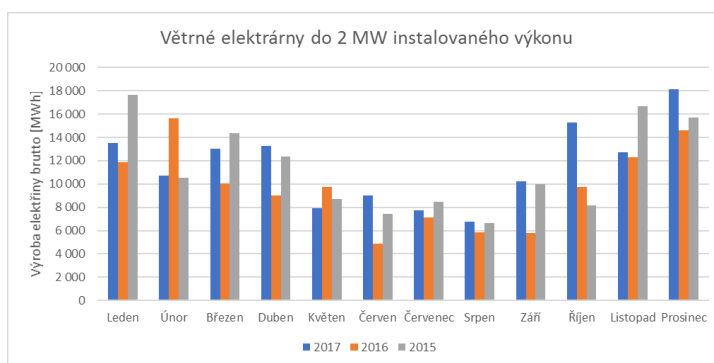


Graf. 19 Přečerpávací elektrárny a rozdíl mezi výrobou a spotřebou elektřiny

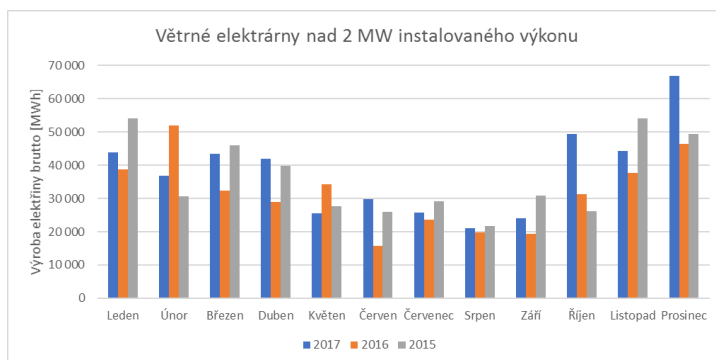
Graf. 19 porovnává spotřebu elektřiny vydanou pro čerpání vody s brutto výrobou elektřiny přečerpávacích elektráren. Závislost elektřiny spotřebované na čerpání odpovídá průběhu brutto výroby elektřiny. Při přečerpávání vody se spotřebuje více elektřiny, nežli je poté vyrobeno. I přes to je tento způsob ukládání elektřiny výhodný.

4.3.4 Větrné elektrárny

Dalším obnovitelným zdrojem energie jsou větrné elektrárny. Pro zobrazení brutto výroby elektřiny v průběhu zaznamenaných let jsou vytvořené Graf. 20 a 21. Graf. 20 zobrazuje výrobu elektřiny pomocí větrných elektráren, jejichž instalovaný výkon je menší než 2 MW, a Graf. 21 znázorňuje elektrárny s vyšším instalovaným výkonem. Při důkladnějším pohledu zjistíme, že jsou průběhy velmi podobné. Z porovnání těchto dvou grafů vyplývá, že větrné elektrárny s instalovaným výkonem větším než 2 MW vyrobí přibližně trojnásobně více elektřiny nežli větrné elektrárny s menším instalovaným výkonem než 2 MW. Přesto jsou průběhy v těchto grafech pro jednotlivé měsíce velmi podobné.



Graf. 20 Větrné elektrárny do 2 MW instalovaného výkonu



Graf. 21 Větrné elektrárny nad 2 MW instalovaného výkonu

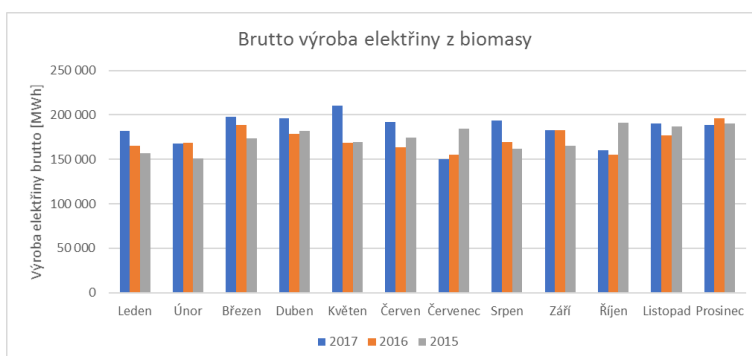
Jak je z těchto grafů také dobře vidět, dochází během letních měsíců k poklesu výroby elektřiny a v zimních měsících výroba elektřiny naopak roste. Pomocí větrných elektráren je v průměru nejméně elektrické energie vyrobeno v srpnu a nejvíce v prosinci.

4.3.5 Výroba elektřiny z biomasy a bioplynu

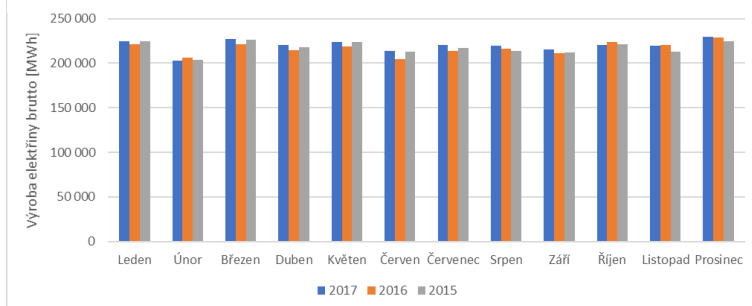
Poslední obnovitelný zdroj energie, který zde blíže představím, je energie biomasy. Pro výrobu elektřiny využíváme hlavně spalování biomasy a bioplynu. Pro zobrazení brutto výroby elektřiny v průběhu zaznamenaných let jsou vytvořené Graf. 22 a 23. Graf. 22 znázorňuje brutto výrobu elektřiny z biomasy a Graf. 23 brutto výrobu elektřiny z bioplynu. Jak bylo už uvedeno výše, tak z bioplynu vyrábíme více elektrické energie nežli z biomasy.

V Graf. 22 vidíme, že výroba elektřiny z biomasy mírně kolísá, v porovnání s ostatními OZE je ale stabilní.

U Graf. 23 je vidět, že výroba elektřiny z bioplynu nekolísá téměř vůbec oproti ostatním uváděným OZE. Výroba elektřiny v únoru je menší nejspíše kvůli tomu, že tento měsíc je o něco kratší nežli ostatní.



Graf. 22 Brutto výroba elektřiny z biomasy



Graf. 23 Brutto výroba elektřiny z bioplynu

5 Příklad použití fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům

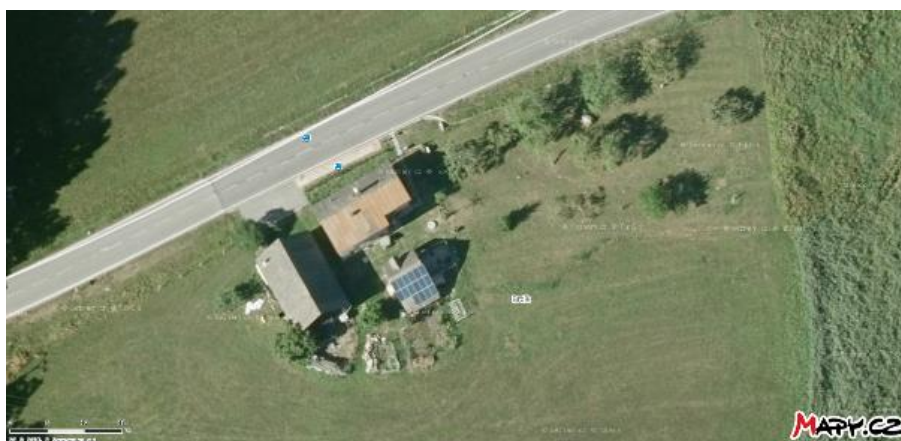
V této části práce chci uvést příklad využívání jednoho obnovitelného zdroje energie, a to malé fotovoltaické elektrárny, která je postavena u našeho rodinného domu. Fakt, že mám přístup k jednomu z obnovitelných zdrojů energie a také k údajům o výrobě a dodávce elektřiny, mě přivedl právě k tomuto tématu bakalářské práce a také to zvýšilo můj zájem o toto téma. K práci přikládám celou realizační projektovou dokumentaci této fotovoltaické elektrárny, která je vedena jako Příloha 2.

5.1 Základní popis fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaická elektrárna je postavena u města Lázně Bělohrad. Její vybudování si objednal můj otec Martin Mádle. Firma Proterra s.r.o. vyhotovila podle požadavků realizační projektovou dokumentaci a následně podle ní byla postavena zmíněná fotovoltaická elektrárna. Dokončena byla v roce 2013 a uvedena do provozu 24.6.2013. Hlavním požadavkem projektu bylo vytvořit fotovoltaický systém, který bude sloužit pro výrobu elektrické energie, tato energie bude spotřebovávána v daném objektu s možnými přetoky přebytečné elektrické energie do distribuční sítě. Výrobní byla připojena do sítě ČEZ Distribuce, a.s., s čímž počítala i projektová dokumentace.

Tento projekt řešil celou instalaci FVE v daném místě, od uchycení fotovoltaických modulů ke střeše, přes jejich propojení a připojení k fotovoltaickému měniči a následně vyvedení výkonu do rozvodné sítě rodinného domu. Také řešil hlavní rozváděč výroby (zkratka RDCAC), který obsahuje elektrická zařízení sloužící jak pro ochranu různých částí elektrárny, tak i objektu a také pro podružné měření vyrobené elektrické energie FVE.

Požadavek na tuto FVE byl, aby špičkový instalovaný výkon nepřekročil 5 kWp. Proto bylo nakonec vybráno 16 fotovoltaických modulů SL290TU-36P a díky tomu je špičkový instalovaný výkon FVE 4,64 kWp. Další nedílnou součástí FVE je jeden fotovoltaický měnič KOSTAL Piko 4,2, jehož maximální výstupní výkon dosahuje hodnoty 4,2 kW na AC straně.

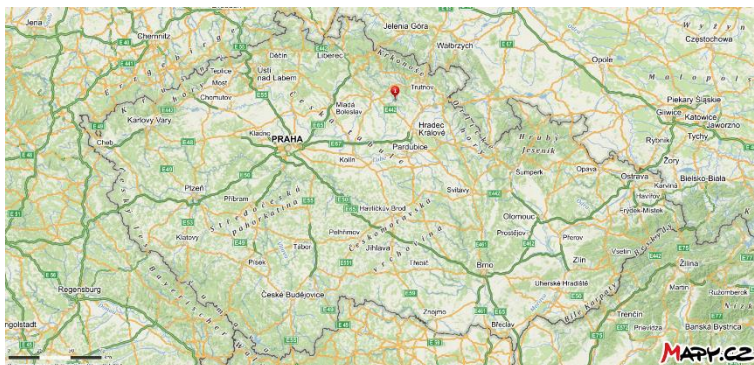


Obr. 31 Pohled na fotovoltaickou elektrárnu [21]

5.1.1 Lokalita

Tato malá fotovoltaická elektrárna je postavena u města Lázně Bělohrad, což je menší lázeňské město nacházející se v okrese Jičín v Královéhradeckém kraji. Přesná adresa je Brtev 65, Lázně Bělohrad 507 81 a GPS souřadnice jsou $50^{\circ}25'43.5''\text{N}$ $15^{\circ}36'44.7''\text{E}$. Pro znázornění, kde se tato fotovoltaická elektrárna v ČR nachází, slouží Obr. 32, pro bližší pohled na tuto fotovoltaickou elektrárnu slouží Obr. 31.

Fotovoltaické pole je umístěno na střeše budovy, která se nachází vedle obytné budovy. Tato střecha je orientována na jihovýchod a je odkloněna od jihu o $23,4^{\circ}$. Střecha, na které je umístěno fotovoltaické pole, má sklon $39,6^{\circ}$.



Obr. 32 Lokalizace fotovoltaické elektrárny v ČR [21]

Větší

5.2 Hlavní komponenty fotovoltaické elektrárny

Hlavními komponenty fotovoltaické elektrárny jsou fotovoltaické moduly a fotovoltaický měnič. Dalšími důležitými součástmi jsou rozvaděč a nosná konstrukce, na které jsou uchyceny fotovoltaické moduly.

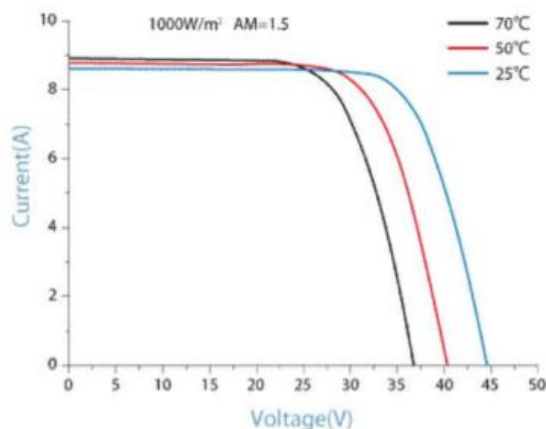
5.2.1 Fotovoltaické moduly

Prvním a základním prvkem každé fotovoltaické elektrárny jsou fotovoltaické moduly. V tomto případě se jedná o polykrystalické křemikové fotovoltaické moduly typu SL290TU-36P o výkonu 290 Wp. Pro vytvoření této fotovoltaické elektrárny bylo použito 16 kusů těchto modulů. Parametry těchto modulů jsou sepsané v Tab. 9. Tyto fotovoltaické moduly mají minimální životnost 25 let, což znamená, že by měly být schopny dodávat více jak 80 % výkonu po dobu jejich životnosti.

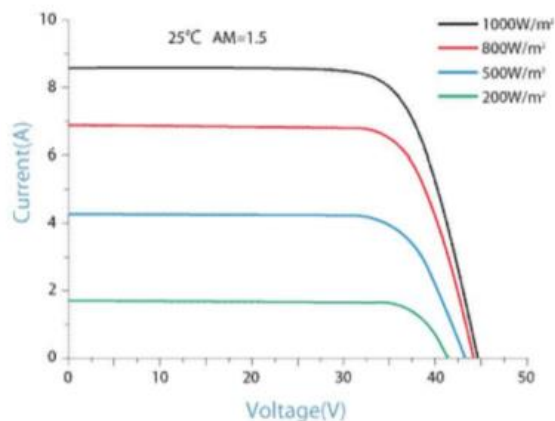
Fotovoltaické pole složené z těchto modulů je umístěno na střeše budovy, která stojí vedle rodinného domu. Rozmístění modulů na střeše je možné vidět na Obr. 31. Pro umístění fotovoltaického pole byla využita střecha, aby nebylo nutné vytvářet samostatnou konstrukci pro jeho uchycení. Fotovoltaické pole je tedy tvořeno ze 16 fotovoltaických modulů, které jsou zapojeny sériově, což znamená, že jsou v jedné smyčce a jsou umístěny ve třech řadách. Horní dvě řady jsou po 6 modulech, třetí řada po 4 modulech je umístěna nejnižší.

Model SL290TU-36P		
Rozměry	d x š x t [mm]	1960 x 990 x 46
Jmenovitý výkon	P_{WP} [Wp]	290
Optimální provozní napětí	U_{MPP} [V]	37,08
Optimální provozní proud	I_{MPP} [A]	7,82
Jmenovité napětí naprázdno	U_{OC} [V]	44,32
Proud nakrátko	I_{SC} [A]	8,37
Účinnost článku	η_c [%]	16,88
Účinnost modulu	η_m [%]	14,95
Činitel plnění	FF [%]	70-76
Teplotní koeficienty		
Teplotní koeficient I_{SC}	[%/°C]	0,04
Teplotní koeficient V_{OC}	[%/°C]	-0,35
Teplotní koeficient P_m	[%/°C]	-0,45

Tab. 9 Parametry použitých fotovoltaických modulů [24]



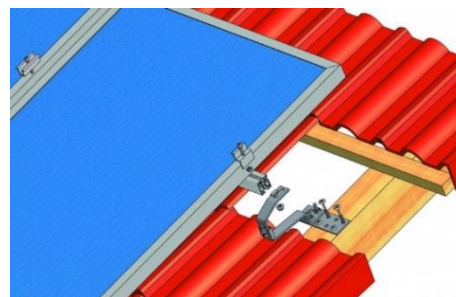
Graf. 25 Vliv teploty na VA charakteristiku použitého fotovoltaického modulu [24]



Graf. 24 VA charakteristiky pro různé intenzity záření použitého fotovoltaického modulu [24]

Konstrukce pro fotovoltaické panely

Fotovoltaické moduly jsou na střeše přichyceny pomocí hliníkové konstrukce, která je umístěna paralelně se střechou dané budovy. Tato konstrukce se skládá ze střešních háků, na kterých jsou přidělané hliníkové profily. Fotovoltaické moduly jsou k těmto hliníkovým profilům přichyceny pomocí středových a krajových svorek. Na některých místech bylo nutné použít také hliníkovou spojku k prodloužení hliníkových profilů. Samozřejmě je také ke spojení jednotlivých komponentů potřeba spojovací materiál. Jak je tato konstrukce zhotovena je možné vidět na Obr. 33.



Obr. 33 Ukotvení nosné konstrukce [22]

5.2.2 Hlavní rozváděč výroby

V rozváděči jsou dvě napěťové soustavy, a to stejnosměrná 2-720 V/IT a střídavá 3/N/PE, AC, 230/400 V, 50 Hz, TN-C-S.

Výstup z fotovoltaických modulů je připojen do fotovoltaického měniče přes pojistkový odpojovač, který je umístěn v tomto rozváděči. K výstupu pojistkového odpojovače je také připojen svodič přepětí. V pojistkovém odpojovači jsou umístěny pojistkové vložky PF10 ($I_n = 10 \text{ A}$), které jsou určeny pro jištění polovodičů, a proto jsou vhodné pro jištění fotovoltaických systémů.

Třífázový střídavý výstup z fotovoltaického měniče je veden do tohoto rozváděče. V něm jsou umístěny další ochrany, které mají chránit střídavou napěťovou soustavu, ochrana přepětí a proudová. Dále je zde umístěn třífázový elektroměr, který slouží k měření vyrobené elektrické energie, a dvě měřicí relé MRF1P-20 a MRG3P-20 od firmy BMR, které slouží pro měření parametrů sítě.

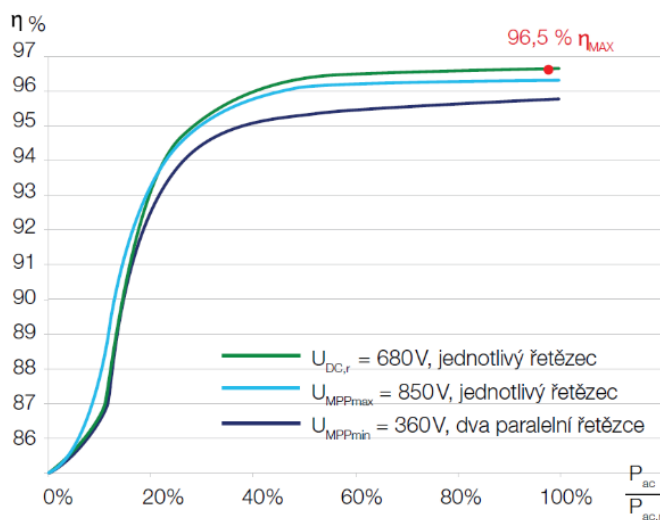
5.2.3 Fotovoltaický měnič

Dalším důležitým prvkem této FVE je fotovoltaický měnič, který slouží pro přeměnu stejnosměrného napětí vyráběného solárními články na střídavé, které je využíváno v rozvodné síti. Jak jsem už uvedl výše, byl použit měnič od firmy KOSTAL typu Piko 4,2. Jedná se o měnič s třífázovým střídavým výstupem a se dvěma nezávislými stejnosměrnými vstupy. Každý ze stejnosměrných vstupů je vybaven sledovačem MPP. Sledovač bodu maximálního výkonu je důležitou součástí měniče, protože díky němu může fotovoltaický měnič pracovat stále okolo bodu maximálního výkonu fotovoltaických modulů. Tento měnič sleduje sinusový průběh fází a sám se k síti přifází.

Základní přehled technických údajů o tomto měniči je uvedený v Tab. 10 a celý přehled technických údajů je přiložen s realizační projektovou dokumentací. Výstupní strana měniče je připojena do napěťové soustavy 3/N/PE, AC, 230/400 V, 50 Hz, TN-C-S.

Střídač PIKO 4,2		
Vstupní strana DC		
Počet vstupů DC/ počet sledovačů MPP		2/2
Maximální vstupní napětí	U_{DCmax} [V]	950
Jmenovité vstupní napětí	U_{DC} [V]	680
Maximální napětí MPP	U_{MPPmax} [V]	850
Minimální napětí MPP (jeden sledovač)	U_{MPPmin} [V]	500
Maximální vstupní proud	I_{DCmax} [A]	9
Výstupní strana AC		
Jmenovité výstupní napětí	U_{AC} [V]	400
Maximální výstupní proud	I_{ACmax} [A]	6,1
Jmenovitý výkon	P_{AC} [W]	4200
Maximální účinnost	η_{max} [%]	96,5
Jmenovitá frekvence	f [Hz]	50

Tab. 10 Přehled technických údajů KOSTAL Piko 4,2 [Příloha 2]



Obr. 34 Charakteristiky účinnosti PIKO 4,2 [Příloha 2]

5.3 Propojení fotovoltaické elektrárny s rozvodnou sítí rodinného domu

Vzájemné propojení fotovoltaických modulů a propojení fotovoltaického pole s měničem je popsáno výše. Důležitou součástí fotovoltaické elektrárny je hlavní rozváděč výrobní, do kterého je vyveden výstup z fotovoltaického měniče. Tento rozváděč je přímo propojený s hlavním domovním rozváděčem. Tato propojka je realizována kabelem CYKY 5Cx4. Zapojení hlavního rozváděče výrobní a jeho připojení do rozvodné sítě rodinného domu i propojení s fotovoltaickým měničem a fotovoltaickými moduly je možné vidět ve schématu zapojení FVE v Příloze 2.

V tomto rozváděči je připojena přepět'ová ochrana k výstupu měniče. Dalším zařízením, které je umístěno v tomto rozváděči, je stykač označený S1 (RSI-40-04-A230), který slouží k odepnutí fotovoltaického měniče od rozvodné sítě. Spínání tohoto stykače je řízené pomocí dvou měřících relé. První relé je asymetrické a napět'ové a je označeno jako MRG3P 3F. Je určeno pro hlídání asymetrie, sledování výpadku jakékoliv fáze a sled všech tří fází. Dále toto relé také slouží pro hlídání minimální a maximální nastavené napět'ové úrovně ve všech třech fázích. Toto relé je nastaveno, aby rozeprnulo pro napětí menší než $0,85 U_n$ a větší než $1,15 U_n$. Jestliže nedojde k výpadku některé z fází nebo nedojde k překročení nastavené maximální hodnoty asymetrie nebo se napětí ve všech fázích drží v nastavených mezích, je relé sepnuto. Pokud dojde k zaznamenání nějaké výše zmíněné chyby, tak se relé rozeprne. Jak je vidět ze schématu, tak relé spíná první fázi, která je poté přivedena k druhému měřícímu relé, a tím je frekvenční relé MRF1P. Toto relé slouží k hlídání frekvence sítě, pokud se frekvence sítě pohybuje v nastavených mezích, tedy spodní mez frekvence je 47,5 Hz a horní mez je 52 Hz, tak se relé sepne. Když tyto dvě měřící relé nevyhodnotí žádné odchýlení z měřených hodnot frekvence a napětí, tak jsou sepnuty a díky tomu se sepne i stykač S1, který připojí fotovoltaickou elektrárnu k rozvodné sítí. Obě tyto měřící relé mají nastaveno 20minutové zpoždění opětovného připojení k sítí po ustálení měřených hodnot v nastavených mezích.

V rozváděči je také zapojený třífázový elektroměr, který slouží k měření vyrobené elektrické energie této fotovoltaické elektrárny. Jedná se o třífázový statický činný elektroměr označený jako ED 310 sloužící pro sledování odběru i dodávky činné elektrické energie. Ve schématu vidíme také hlavní jistič FVE označený jako FAH, jedná se o třífázový jistič LPN-16B-3. V příložené schématu zapojení FVE nejsou zakresleny dva další jističe, které byly do tohoto rozváděče přidány až při samotné instalaci FVE. Důvodem přidání těchto jističů bylo vytvoření nových zásuvek a světelných okruhů při stavebních úpravách budovy pro FVE. Jističe jsou zapojeny za FAH, zásuvkový obvod je napájen z fáze L1 a jistěn jističem LTE-16B-1, světelný obvod je napájen z fáze L2 a jistěn jističem LTE-10B-1.

5.3.1 Využívání vyrobené elektrické energie pro napájení rodinného domu

Zapojení celé FVE je popsáno výše a s takto vytvořenou FVE nám v zásadě už nic nebrání ve využívání vyrobené elektrické energie. Při takovémto zapojení dochází ke spotřebovávání vyrobené elektrické energie v objektu pouze tehdy, kdy je v ten samý okamžik v objektu zapnuté nějaké elektrické zařízení, které může tuto elektřinu spotřebovávat. Protože pro tuto FVE byl použit fotovoltaický měnič se jmenovitým výkonem 4,2 kW a s třífázovým střídavým výstupem, měl by do každé fáze měnič dodávat přibližně 1,4 kW při jeho jmenovitém výkonu. To ale nestačí k napájení spotřebičů s větším výkonem, pokud se například zapne rychlovarná konvice nebo trouba, tak dodávaný výkon z fotovoltaického měniče nedostačuje k pokrytí této spotřeby a zbylou elektrickou energii je nutné odebírat ze sítě. Uvedl jsem pro příklad elektrické přístroje s velkým výkonem, aby bylo jasné, že takováto FVE nedokáže sama napájet rodinný dům.

Tento konkrétní příklad znázorňuje situaci, kdy fotovoltaický měnič dodává maximální výkon, který ale bude tato FVE vyrábět jenom občas během roku. Je zřejmé, že výrobu nedokážeme kontrolovat, takže pokud budeme potřebovat více elektrické energie, například pro vaření nebo pro nějaké velké elektrické spotřebiče, je dost pravděpodobné, že se nevyrobí dostatečné množství elektrické energie a budeme muset zbytek odebírat ze sítě. Naopak když bude spotřeba menší, nežli je výroba elektrické energie, tak bude přebytečná elektřina dodávána do distribuční sítě. Dle smlouvy je za dodání elektřiny do distribuční sítě vyplacena malá finanční odměna.

Ideální možností, jak vyrobenou elektřinu využít, je ji spotřebovat přímo v objektu a přebytečnou energii akumulovat. V současné době je asi nejlepším způsobem, jak skladovat přebytečnou elektrickou energii přímo v objektu, její ukládání do baterií. Pokud bychom chtěli využít tohoto způsobu skladování elektrické energie, bylo by potřeba další zařízení nebo jiný měnič, který by toto skladování umožnil a samozřejmě také další baterie. Tento způsob je výhodný v případě, že chceme využívat co nejvíce vyrobené elektřiny, nicméně další potřebná zařízení a baterie hodně zvětšují počáteční investici. Kvůli vysoké ceně takového systému s bateriemi se v našem případě využilo pouze regulátoru optimalizace spotřeby. Konkrétně byl použit regulátor s plynulou regulací výkonu pro využívání přebytků FVE, který se jmenuje GreenBonO (Green Bonus Optimizer).

5.3.1.1 Regulátor GreenBonO

Jak z výše zmíněných informací vyplývá, tak tato FVE byla vybudována za účelem výroby elektřiny, která se bude využívat k pokrývání vlastní spotřeby v objektu a přebytečná elektřina bude dodávána do distribuční sítě. Výhodné je vyrobenou elektřinu spotřebovávat přímo v objektu a dodávat jí do sítě co nejméně, protože výkupní cena přebytků je malá oproti cenám za odebíranou elektřinu. Bez regulace spotřeby vyrobené elektřiny nebo jejího ukládání je větší část vyrobené elektřiny dodána do distribuční sítě.

Pro zajištění optimální regulace je nutné spolehlivě oddělit dodávanou elektřinu od odebírané. Toto dokáže regulátor GreenBonO, protože dokáže měřit velikost a směr toku elektřiny v měřeném místě a podle toho plynule regulovat příkon elektrické zátěže. Díky tomu přebytečnou elektřinu z FVE nasměruje do velkých elektrotepelných spotřebičů a tím zajistí částečnou nebo úplnou energetickou potřebu odběrného místa. Tímto lze dosáhnout velkého využití vlastní vyrobené elektřiny, obvykle je tato elektřina využívána spotřebiči nočního proudu. Důvod, proč jsou využívány hlavně tyto spotřebiče, je ten, že mají možnost akumulovat energii, která může být poté využita v průběhu celého dne. Jedná se například o spotřebiče jako jsou: bojler k ohřevu TUV, topná tělesa akumulativního ústředního vytápění, elektrické podlahové topení, akumulativní kamna a přímotopy. Tato přebytečná elektřina dokáže částečně nebo úplně „nabít“ tyto spotřebiče a díky tomu dojde ke snížení odběru v NT. Tyto spotřebiče většinou způsobují největší odběr elektřiny v objektu, proto při takovéto regulaci dojde k výraznému snížení odběru elektřiny. [25]

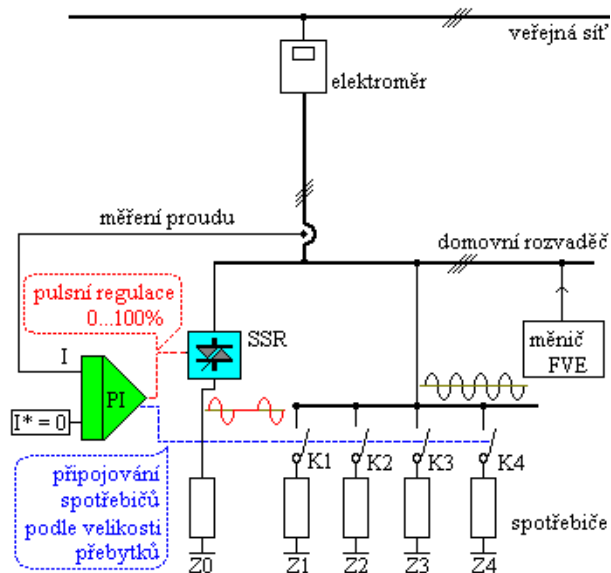


Obr. 35 Regulátor GreenBonO [26]

Popis funkce regulátoru GreenBonO

Aby se přebytky z FVE spotřebovaly a neodebírala se zbytečně elektřina z distribuční sítě, je nutné plynule regulovat okamžitý příkon daných spotřebičů. K této regulaci se využívá regulátor GreenBonO, který má možnost řízení výkonových tyristorových součástek (polovodičové relé SSR – Solid State Relay).

Regulaci zajišťuje proporcionálně-integrační regulátor, který průběžně měří činnou složku regulovaného proudu tekoucí mezi odběrným místem a veřejnou sítí a snaží se ji udržet v žádané hodnotě, která je obvykle nula. Výstupní signál z tohoto regulátoru řídí hustotu spínání jednotlivých celých sinusových period pomocí polovodičového relé SSR a umí touto formou zajistit řízení příkonu spotřebičů napojených na výstup SSR v plném rozsahu jejich jmenovitých hodnot (0...100%). Regulátor má také možnost postupného připojení dalších spotřebičů, které mohou spotřebovávat přebytečnou elektřinu. Jakmile regulátor dosáhne saturace v jedné z mezních hodnot svého výstupu, je jasné, že plynulá regulace se ocitla mimo říditelný rozsah a automaticky se po stanovené době nepřetržitého trvání tohoto stavu (2 s) provede korekce připojeného počtu spotřebičů (buď přidá další spotřebič sepnutím relé, které je právě na řadě, nebo odebere spotřebič vypnutím posledního sepnutého relé). Pokud poté saturace trvá, algoritmus korekce počtu spotřebičů se opakuje (připojí či odpojí další stupeň). [25]



Obr. 36 Princip fungování regulace pro spotřebu přebytečné elektřiny [25]

Je nutné pamatovat na to, že pulsní regulací můžeme regulovat jen elektrotepelné spotřebiče. Pokud by se takto regulovaly jiné druhy spotřebičů, mohlo by to mít vliv na jejich funkci nebo by to mohlo způsobit i jejich poškození. Takovými přístroji jsou například stykače, relé a motory. [25]

Podpůrné funkce GreenBonO

Tento regulátor také umožňuje řízení dobíjení spotřebičů v době nízkého tarifu. K tomuto účelu jsou v regulátoru dvoje virtuální spínací hodiny SH1 a SH2. První virtuální spínací hodiny SH1 slouží k omezení spínání nízkého tarifu. Tímto omezením docílíme zkrácení časového intervalu v době NT, během kterého jsou dobíjeny spotřebiče. Toho je možné využít, když víme, že přebytky elektřiny nahradí dostatečnou část nakupovaného proudu nebo není nutné mít dané přístroje zapojené po celou dobu trvání NT. [25]

Virtuální spínací hodiny SH2, které slouží pro kombinované řízení spotřebičů regulátorem přebytků a signálem NT. Takovéto spínání je vhodné pro spotřebiče, které chceme využít pro spotřebu přebytků, ale také je chceme dobíjet během doby NT. [25]

Další důležitou součástí GreenBonO je sériové datové rozhraní RS485, které umožňuje komunikaci s počítačem. Díky němu můžeme sledovat měření v reálném čase a měnit nastavení regulátoru.

Použité externí přístroje

SSR – Solid State Relay

Pro regulaci v uvedeném objektu byly použity doporučené SSR typu RM1A40D50 s chladičem RHS100. Pro správné fungování SSR spolu s GreenBonO je nutné splnit tyto parametry: [25]

- spínání v nule zajištěné vnitřní logikou SSR
- řídicí obvody jsou galvanicky odděleny od silových s elektrickou pevností minimálně 4 kV
- řídicí obvody musí reagovat na signál 4,5 V/10 mA

Modul 3f proudového snímače do 50 A

Tento modul je volitelné příslušenství k regulátoru GreenBonO a slouží pro 3f proudové měření do 50 A. V tomto modulu jsou použity měřicí transformátory s otvorem, který je určen pro provlečení izolovaného vodiče. [25]

5.3.1.2 Zapojení GreenBonO s příslušenstvím v objektu

GreenBonO s jeho příslušenstvím je umístěn v hlavním domovním rozváděči. Zapojení regulátor GreenBonO v tomto objektu je možné vidět v Příloze 3. Modul 3f proudového snímače je umístěn na hlavním přívodu do objektu, zde měří procházejí proud. Modul je přímo propojený s regulátorem GreenBonO, který podle naměřených hodnot a naprogramování nastavuje výstupy. Regulátor je nastaven tak, aby se snažil přebytečnou vyrobenou elektřinu spotřebovat přímo v objektu a aby zároveň zbytečně neodebíral elektřinu ze sítě. K tomuto regulátor využívá tři SSR. Každé z nich spíná jinou fázi a přebytky z dané fáze jsou dodávány do určeného elektrotepelného spotřebiče, což je možné vidět v Příloze 3.

Stykače S1, S3 a S4 slouží ke spínání daných elektrotepelných spotřebičů. Když nejsou sepnuty, tak je možné do spotřebičů dodávat přebytky, při jejich sepnutí dojde k připojení spotřebičů k síti a zamezí se dodávání přebytků. Stykač S2 slouží k tomu, aby GreenBonO mělo informaci o tom, kdy trvá NT. Virtuální hodiny SH1 ovládají relé K5, které spíná stykač S5. Tyto virtuální hodiny slouží ke zkrácení časového intervalu v době NT, aby dané spotřebiče byly napájeny jenom po určitou dobu v době NT. V současné době máme virtuální hodiny nastaveny tak, že jsou spotřebiče napájeny jenom polovinu doby, kdy trvá NT.

Mezi kontaktem stykače S5 a kontakty GreenBonO jsou ještě umístěny přepínače označené jako P1, P2 a P3. Díky těmto přepínačům je možné manuálně zamezit napájení jednotlivých spotřebičů v NT, i když to virtuální hodiny povolují. Důvodem je to, aby uživatel mohl zamezit jejich napájení i bez připojeného počítače. Pro sepnutí stykačů S1, S3 a S4 je ještě nutné, aby to povolovaly virtuální hodiny SH2, které spínají relé K1, K3 a K4.

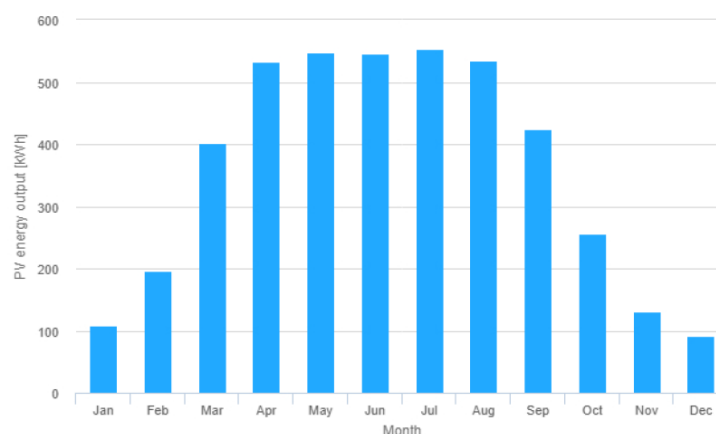
Jak je možné vidět ve schématu v Příloze 3, tak v bojleru jsou umístěny dva termostaty. První termostat TER2 je nastavený na teplotu 60 °C a bojler je přes něj ohříván jenom při NT. Druhý termostat TER3 je nastaven na teplotu 70 °C a je přes něj ohříván bojler při přebytcích.

5.4 Výroba a spotřeba elektřiny od instalace FVE

Zde uvedu výrobu a spotřebu elektrické energie z FVE a také se zhodnotím zisk spojený s touto výrobou. Data ohledně výroby a spotřeby byla kvůli přehledu o výrobě a dalším účelům zaznamenávána už od uvedení FVE do provozu v roce 2013. Při zaznamenávání těchto dat nebylo počítáno s jejich využitím v této bakalářské práci, proto byla data zaznamenávána jenom ke konci měsíce.

Nejprve zde uvedu předpokládanou výrobu této FVE. Pro tento účel jsem využil online program PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), který je přístupný na internetových stránkách Evropské komise. Program umí vypočítat předpokládanou výrobu elektrické energie při zadání parametrů fotovoltaické elektrárny. Kolik daný systém vyrobí elektrické energie, závisí nejvíce na množství dopadajícího slunečního záření a také na orientaci fotovoltaických panelů (natočení a sklon). Do zmiňovaného online programu je nutné zadat místo, kde se daný objekt nachází a typ fotovoltaických modulů, který je použit. Dále je nutné zadat špičkový instalovaný výkon FVE a upevnění a orientaci fotovoltaických panelů. [23]

Do tohoto programu jsem zadal parametry FVE. Zadal jsem krystalické moduly, špičkový instalovaný výkon 4,64 kWp, sklon 40°, orientace - 23°. Dále se musí zadat také ztráty tohoto systému, přesné ztráty neznám, pro výpočet jsem zadal 20 % ztráty. Tímto programem byl vytvořen Graf. 24 a hodnoty v Tab. 11. Také jsem nechal vytvořit PDF s vypočtenými daty a vytvořenými grafy. Toto PDF je přiloženo k této práci jako Příloha 4 [23].



Graf. 26 Teoretická vyrobená elektrická energie v jednotlivých měsících pro tento instalovaný systém [23]

Měsíc	Em [kWh]	Hm [kWh/m ²]	SDm [kWh]
Leden	109	30,1	18,6
Únor	196	52,7	58,1
Březen	402	110	63,9
Duben	532	151	85,6
Květen	548	159	85,1
Červen	546	162	41,1
Červenec	553	167	43,4
Srpen	534	159	49,4
Září	424	122	50,2
Říjen	257	72,3	51,4
Listopad	130	36,6	25,1
Prosinec	91,9	25,6	15,9
Celkem	4322,9	1247,3	587,8

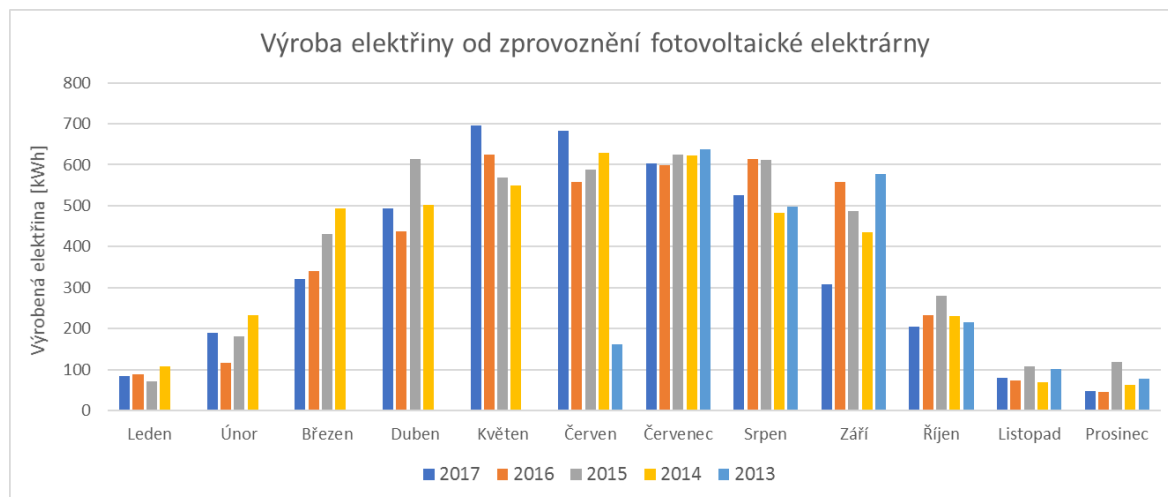
Tab. 11 Teoretické hodnoty pro tuto FVE (Em - měsíční průměrná výroba, Hm - měsíční průměrná hodnota intenzity záření dopadající na 1m², SDm - standardní odchylka měsíční produkce elektřiny z důvodu meziroční variace) [23]

Z Graf. 24 a Tab. 11 je vidět že teoretická výroba od dubna do srpna je velmi podobná a je i docela vysoká (přes 500 kWh/měsíc). Nejvíce elektrické energie by teoreticky mělo být vyrobeno v červenci, a to přes 550 kWh. V zimních měsících je vidět že výroba elektřiny velmi poklesne oproti letním měsícům. Roční ozáření v této lokalitě by mělo být 1250 kWh/m² a tato FVE by měla teoreticky vyrobit okolo 4320 kWh/rok. Také v Tab. 11 je vidět standardní odchylka produkce elektřiny, která je za rok téměř 590 kWh.

5.4.1 Výroba a spotřeba elektřiny

V této části komentuji přímo výrobu a spotřebu elektrické energie od zprovoznění FVE elektrárny do konce roku 2017. Data o výrobě, spotřebě, dodávce do ES a o ziscích spojených s touto výrobou jsou sepsaná v Tab. 13. Jako první se podívám na samotnou výrobu elektřiny, pro zobrazení této výroby jsem vytvořil Graf. 25.

Uvedený graf zobrazuje počátek výroby elektřiny v červnu 2013. FVE byla spuštěna až ke konci měsíce, proto je také vidět, že je výroba v tento měsíc velmi rozdílná oproti ostatním měsícům. Když porovnám Graf. 25 s teoretickým Graf. 24, je vidět podobnost. Ale i přesto je vidět, že v zimních měsících je výroba menší nežli v teoretickém grafu. Tento rozdíl částečně pokrývá odchylka, která je vedena v Tab. 11. Důvod odchylky skutečné výroba od teoretické během zimních měsíců je nejspíše takový, že v těchto měsících na tuto FVE dopadá během dne méně slunečního záření, než program předpokládal. S čím tento program nepočítal, je nedaleký les, který je vzdálen přibližně 200 m od FVE, ten způsobuje zkrácení doby svitu slunce, které je v zimních měsících nízko na obloze, a proto dochází k poklesu denní hodnoty intenzity záření. Výroba v letních měsících už více odpovídá teoretickému předpokladu. V květnu až červenci se vyrobilo každý rok minimálně 549 kWh. Nejvíce elektřiny bylo zatím vyrobeno v květnu a červnu v roce 2017, a to 695 kWh v květnu a 683 kWh v červnu.



Graf. 27 Výroba elektřiny od zprovoznění FVE

Data v Tab. 13 jsou rozepsané po měsících, proto jsem vytvořil ještě Tab. 12, kde ukazuje výrobu a spotřebu pro jednotlivé roky. Průměrná hodnota výroby od roku 2014 až 2017 je okolo 4 400 kWh/rok. Dále je možné v Tab. 12 vidět spotřebovanou a dodanou elektřinu do ES. V letech 2014 až 2017 bylo v tomto objektu spotřebováno okolo 2/3 vyrobené elektrické energie a do sítě je dodána 1/3. Tento fakt ukazuje, že je více elektřiny spotřebováno přímo v objektu, a to je z ekonomického hlediska výhodné. V roce 2013 se v objektu spotřebovalo méně elektrické energie, než bylo dodáno do sítě, přibližně 1/3 byla spotřebována a 2/3 z celkového množství vyrobené

elektřiny byly dodány do sítě. Vysvětlení tohoto zvratu v poměru spotřebované a odvedené elektřiny mezi roky 2013 a 2014 je následující, regulátor GreenBonO byl instalován v rodinném domě až v září roku 2013. To je dobře patrné i v Tab. 13, kde od září v roce 2013 vzrostlo množství spotřebované elektřiny z vyrobené elektřiny.

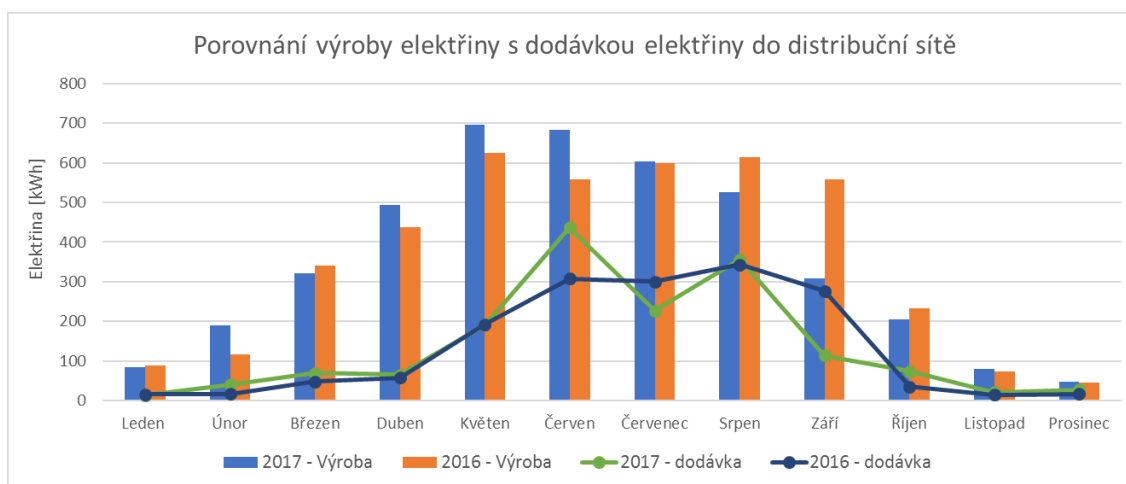
	2013	2014	2015	2016	2017
Výrobená elektřina z FVE [kWh]	2 270	4 417	4 682	4 288	4 235
Spotřebovaná elektřina z FVE [kWh]	789	2 958	2 994	2 661	2 595
Dodaná elektřina do ES [kWh]	1 481	1 459	1 688	1 627	1 640
Zisk z vyrobené elektřiny [Kč]	5 538,80	10 821,65	11 522,40	10 604,22	10 739,96
Zisk z dodané elektřiny [Kč]	444,30	437,70	573,92	601,99	852,80
Zisk z uspořené elektřiny [Kč]	2 611,59	8 410,58	8 473,02	7 450,80	7 231,40
Celkový zisk [Kč]	8 594,69	19 669,93	20 569,34	18 657,01	18 824,16

Tab. 12 Výroba a spotřeba elektřiny v jednotlivých letech

Výroba a spotřeba elektrické energie od zprovoznění FVE												
2017												
	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Vyrobená elektřina z FVE [kWh]	84	190	321	493	695	683	604	525	308	204	80	48
Spotřebovaná elektřina z FVE [kWh]	70	149	251	427	503	246	377	169	194	130	59	20
Dodaná elektřina do ES [kWh]	14	41	70	66	192	437	227	356	114	74	21	28
Spotřebovaná elektřina ve VT [kWh]	178	97	86	85	70	46	106	54	131	153	186	396
Spotřebovaná elektřina v NT [kWh]	779	507	264	248	101	47	71	73	190	297	427	934
Zisk z vyrobené elektřiny [Kč]	213,02	481,84	814,06	1 250,25	1 762,52	1 732,09	1 531,74	1 331,40	781,09	517,34	202,88	121,73
Zisk z dodané elektřiny [Kč]	7,28	21,32	36,40	34,32	99,84	227,24	118,04	185,12	59,28	38,48	10,92	14,56
Zisk z uspořené elektřiny [Kč]	195,07	415,21	699,45	1 189,91	1 401,69	685,52	1 050,57	470,95	540,61	362,27	164,41	55,73
Celkový zisk [Kč]	415,37	918,37	1 549,91	2 474,47	3 264,05	2 644,85	2 700,36	1 987,47	1 380,98	918,09	378,21	192,02
2016												
	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Vyrobená elektřina z FVE [kWh]	89	116	341	438	625	558	598	614	558	232	73	46
Spotřebovaná elektřina z FVE [kWh]	73	99	293	380	432	250	298	271	281	197	58	29
Dodaná elektřina do ES [kWh]	16	17	48	58	193	308	300	343	277	35	15	17
Spotřebovaná elektřina ve VT [kWh]	179	155	86	80	53	51	92	59	66	59	112	154
Spotřebovaná elektřina v NT [kWh]	581	408	317	220	52	115	83	63	66	266	494	603
Zisk z vyrobené elektřiny [Kč]	220,10	286,87	843,29	1 083,17	1 545,63	1 379,93	1 478,85	1 518,42	1 379,93	573,74	180,53	113,76
Zisk z dodané elektřiny [Kč]	5,92	6,29	17,76	21,46	71,41	113,96	111,00	126,91	102,49	12,95	5,55	6,29
Zisk z uspořené elektřiny [Kč]	204,40	277,20	820,40	1 064,00	1 209,60	700,00	834,40	758,80	786,80	551,60	162,40	81,20
Celkový zisk [Kč]	430,42	570,36	1 681,45	2 168,63	2 826,64	2 193,89	2 424,25	2 404,13	2 269,22	1 138,29	348,48	201,25
2015												
	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Vyrobená elektřina z FVE [kWh]	71	182	430	613	568	589	624	612	486	280	108	119
Spotřebovaná elektřina z FVE [kWh]	57	157	230	491	419	414	273	195	314	247	92	105
Dodaná elektřina do ES [kWh]	14	25	200	122	149	175	351	417	172	33	16	14
Spotřebovaná elektřina ve VT [kWh]	120	99	99	72	75	66	89	76	116	115	120	149
Spotřebovaná elektřina v NT [kWh]	435	315	287	124	65	55	47	60	95	240	385	422
Zisk z vyrobené elektřiny [Kč]	174,73	447,90	1 058,23	1 508,59	1 397,85	1 449,53	1 535,66	1 506,13	1 196,05	689,08	265,79	292,86
Zisk z dodané elektřiny [Kč]	4,76	8,50	68,00	41,48	50,66	59,50	119,34	141,78	58,48	11,22	5,44	4,76
Zisk z uspořené elektřiny [Kč]	161,31	444,31	650,90	1 389,53	1 185,77	1 171,62	772,59	551,85	888,62	699,01	260,36	297,15
Celkový zisk [Kč]	340,80	900,71	1 777,13	2 939,60	2 634,28	2 680,65	2 427,59	2 199,76	2 143,15	1 399,31	531,59	594,77
2014												
	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Vyrobená elektřina z FVE [kWh]	107	233	494	502	549	629	623	483	435	230	70	62
Spotřebovaná elektřina z FVE [kWh]	87	171	376	405	415	319	278	296	314	187	57	53
Dodaná elektřina do ES [kWh]	20	62	118	97	134	310	345	187	121	43	13	9
Spotřebovaná elektřina ve VT [kWh]	122	113	84	71	82	58	83	33	97	112	147	224
Spotřebovaná elektřina v NT [kWh]	569	503	237	122	60	65	77	62	72	153	327	475
Zisk z vyrobené elektřiny [Kč]	262,15	570,85	1 210,30	1 229,90	1 345,05	1 541,05	1 526,35	1 183,35	1 065,75	563,50	171,50	151,90
Zisk z dodané elektřiny [Kč]	6,00	18,60	35,40	29,10	40,20	93,00	103,50	56,10	36,30	12,90	3,90	2,70
Zisk z uspořené elektřiny [Kč]	247,37	486,21	1 069,09	1 151,55	1 179,98	907,02	790,45	841,63	892,81	531,70	162,07	150,70
Celkový zisk [Kč]	515,52	1 075,66	2 314,79	2 410,55	2 565,23	2 541,07	2 420,30	2 081,08	1 994,86	1 108,10	337,47	305,30
2013												
	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Vyrobená elektřina z FVE [kWh]	-	-	-	-	-	162	638	498	578	215	102	77
Spotřebovaná elektřina z FVE [kWh]	-	-	-	-	-	14	131	53	384	77	72	58
Dodaná elektřina do ES [kWh]	-	-	-	-	-	148	507	445	194	138	30	19
Spotřebovaná elektřina ve VT [kWh]	-	-	-	-	-	58	83	55	122	92	135	172
Spotřebovaná elektřina v NT [kWh]	-	-	-	-	-	43	87	89	254	254	454	542
Zisk z vyrobené elektřiny [Kč]	-	-	-	-	-	395,28	1 556,72	1 215,12	1 410,32	524,60	248,88	187,88
Zisk z dodané elektřiny [Kč]	-	-	-	-	-	44,40	152,10	133,50	58,20	41,40	9,00	5,70
Zisk z uspořené elektřiny [Kč]	-	-	-	-	-	46,34	433,61	175,43	1 271,04	254,87	238,32	191,98
Celkový zisk [Kč]	-	-	-	-	-	486,02	2 142,43	1 524,05	2 739,56	820,87	496,20	385,56

Tab. 13 Výroba a spotřeba elektrické energie od zprovoznění FVE a pohled na zisk spojený s výrobou elektrické energie

Pro porovnání vyrobené a dodané elektřiny do sítě zobrazuje Graf. 26. Je z něj možné vyčíst, že dodávka v lednu, únoru, březnu, dubnu, říjnu, listopadu a prosinci je malá, což je způsobené velkou spotřebou elektrické energie přímo v objektu. Velký vliv na to má hlavně využívání GreenBonO, protože je vyrobená elektřina v tyto měsíce využívána hlavně pro vytápění budovy. Velké množství z vyrobené elektrické energie bylo spotřebováno v březnu, dubnu a říjnu, díky čemuž nebylo potřeba tolik v domě topit tuhými palivy, protože se k vytápění hlavních místností využívala akumulací kamna. Je samozřejmostí, že nejsou využívány jako hlavní zdroj tepla, ale slouží jako druhotný zdroj tepla. Díky tomu dochází k úspoře tuhého paliva, které jinak slouží jako hlavní zdroj tepla. Například v dubnu 2017 je vidět že se spotřebovalo hodně vyrobené elektřiny, a to 427 kWh. Nevím, kolik přesně vyrobené elektrické energie bylo spotřebováno k výrobě tepla, protože ji nijak neměříme. Přitápění akumulací kamny je snadné a rychlé, a proto toho také využíváme, což má za následek zvýšenou spotřebu v NT hlavně v zimních měsících.



Graf. 28 Porovnání vyrobené a dodané elektřiny do sítě pro roky 2016 a 2017

5.4.2 Ekonomický pohled na FVE

V této části se budu věnovat nákladům, které byly s touto FVE spojeny, a ziskům, které z ní plynou. Pořizovací náklady lze rozdělit na tři položky. První náklady byly spojené se stavebními úpravami budovy, kde je umístěna FVE. Další a největší položkou je samotná cena celé FVE, tato cena zahrnuje jak jednotlivé komponenty FVE, tak i její instalaci. Poslední náklad spojený s FVE je samotné GreenBonO a další části, které potřebuje pro správné řízení spotřeby. Tyto náklady jsou vyčísleny v Tab. 14 a celkem bylo potřeba investovat do takto zapojené FVE 238 940 Kč.

Soupis investičních nákladů	
Druh	Investice [Kč]
Pořizovací cena FVE	210 540,00
Náklady spojené se stavebními úpravami	13 400,00
Pořizovací cena GreenBonO s příslušenstvím	15 000,00
Celkem	238 940,00

Tab. 14 Soupis investičních nákladů spojených s výstavbou FVE

	2013	2014	2015	2016	2017
Cena vyrobené elektřiny [Kč/MWh]	2 440	2 450	2 461	2 473	2 536
Cena dodané elektřiny [Kč/kWh]	0,3	0,3	0,34	0,37	0,52
Cena elektřiny ve VT [Kč/kWh]	5,47	4,71	4,69	4,58	4,54
Cena elektřiny v NT [Kč/kWh]	2,23	1,91	1,9	1,91	1,91

Tab. 15 Soupis cen elektřiny v jednotlivých rocích

Pro výpočet zisku z vyrobené elektřiny je nutné znát ceny elektřiny v jednotlivých letech. Tyto ceny jsou sepsané v Tab. 15 a většina těchto cen za elektřinu je pevně stanovena pro daný rok. Cena za dodanou elektřinu do sítě se ale mění každý den podle situace na trhu, proto cena za jednu kWh uvedená v této tabulce je průměrná cena za rok. Tato cena za vyrobenou elektřinu je vlastně podpora vyrobené elektřiny ze sluneční energie „Zelený bonus za elektřinu – sluneční energie“.

rok	Teoretická výroba [kWh/rok]	Vyrobena elektřina z FWh [kWh/rok]	Spotřebovaná elektřina z FVE [kWh/rok]	Dodaná elektřina do ES [kWh/rok]	Zisk z vyrobené elektřiny [Kč]	Zisk z uspořené elektřiny [Kč]	Zisk z dodané elektřiny [Kč]	Celkový zisk [Kč]
2038	3 450,0		2 105	1 346	8 749,20	5 864,54	497,84	15 111,58
2037	3 484,8		2 126	1 359	8 837,45	5 923,70	502,86	15 264,00
2036	3 519,6		2 147	1 373	8 925,71	5 982,85	507,88	15 416,43
2035	3 554,4		2 168	1 386	9 013,96	6 042,01	512,90	15 568,86
2034	3 589,2		2 189	1 400	9 102,21	6 101,16	517,92	15 721,29
2033	3 624,0		2 211	1 413	9 190,46	6 160,32	522,94	15 873,72
2032	3 658,8		2 232	1 427	9 278,72	6 219,47	527,96	16 026,15
2031	3 693,6		2 253	1 441	9 366,97	6 278,63	532,99	16 178,58
2030	3 728,4		2 274	1 454	9 455,22	6 337,78	538,01	16 331,01
2029	3 763,2		2 296	1 468	9 543,48	6 396,94	543,03	16 483,44
2028	3 798,0		2 317	1 481	9 631,73	6 456,09	548,05	16 635,87
2027	3 832,8		2 338	1 495	9 719,98	6 515,25	553,07	16 788,30
2026	3 867,6		2 359	1 508	9 808,23	6 574,40	558,09	16 940,73
2025	3 902,4		2 380	1 522	9 896,49	6 633,56	563,12	17 093,16
2024	3 937,2		2 402	1 536	9 984,74	6 692,72	568,14	17 245,59
2023	3 972,0		2 423	1 549	10 072,99	6 751,87	573,16	17 398,02
2022	4 006,8		2 444	1 563	10 161,24	6 811,03	578,18	17 550,45
2021	4 041,6		2 465	1 576	10 249,50	6 870,18	583,20	17 702,88
2020	4 076,4		2 487	1 590	10 337,75	6 929,34	588,22	17 855,31
2019	4 111,2		2 508	1 603	10 426,00	6 988,49	593,25	18 007,74
2018	4 146,0		2 529	1 617	10 514,26	7 047,65	598,27	18 160,17
2017	4 180,8	4 235	2 595	1 640	10 740,00	7 231,40	852,80	18 824,20
2016	4 215,6	4 288	2 661	1 627	10 604,22	7 450,80	601,99	18 657,01
2015	4 250,4	4 682	2 994	1 688	11 522,40	8 473,02	573,92	20 569,34
2014	4 285,2	4 417	2 958	1 459	10 821,65	8 410,58	437,70	19 669,93
2013	4 320,0	2 270	789	1 481	5 538,80	2 611,59	444,30	8 594,69

Tab. 16 Výpočet zisků spojených s výrobou elektřiny

Podrobný přehled elektřiny vyrobené, spotřebované a dodané do sítě v letech 2013 až 2017 je sepsán v Tab. 13. Zároveň tato tabulka obsahuje i zisk spojený s výrobou, úsporou a dodávkou elektrické energie. Pro výpočet skutečných zisků jsem využil ceny uvedené v Tab. 15. Pro výpočet jednotlivých teoretických zisků od roku 2018 jsem použil ceny elektřiny z Tab. 15 pro rok 2017, s výjimkou ceny za dodanou elektřinu, která byla zvolena 0,37 Kč/kWh.

Výpočtové vzorce k této části:

$$\text{Zisk z vyrobené elektřiny} = \text{Vyrobena elektřina z FVE} * \text{Cena vyrobené elektřiny} \quad (11)$$

$$\text{Zisk z dodané elektřiny} = \text{Dodaná elektřina do ES} * \text{Cena dodané elektřiny} \quad (12)$$

Zisk z uspořené elektřiny

$$= \text{Spotřebovaná elektřina z FVE} * \frac{1}{3} * \text{Cena elektřiny ve VT} \\ + \text{Spotřebovaná elektřina z FVE} * \frac{2}{3} * \text{Cena elektřiny v NT} \quad (13)$$

$$\text{Celkový zisk} = \text{Zisk z vyrobené elektřiny} + \text{Zisk z dodané elektřiny} + \text{Zisk z uspořené elektřiny} \quad (14)$$

$$\text{Spotřebovaná elektřina z FVE} = \text{Teoretická výroba} * 0,61 \quad (15)$$

$$\text{Dodaná elektřina do ES} = \text{Teoretická výroba} * 0,39 \quad (16)$$

Vzorke 17 a 18 budu potřebovat pro výpočty od roku 2018, protože pro toto období výrobu energie odhadnout. Z roků 2014 až 2017 jsem zjistil, že se v objektu spotřebuje přes 60 % z vyrobené elektrické energie, proto jsem stanovil že se v následujících letech spotřebuje v objektu 61 % z vyrobené elektřiny a 39 % se dodá do sítě.

Pro výpočty v nadcházejících letech jsem musel vložit teoretickou výrobu do Tab. 16, kterou jsem získal tak, že jsem věděl teoretickou hodnotu výroby při instalaci FVE a přibližnou po 25 letech. Protože by fotovoltaické moduly měli po dobu jejich životnosti stále dodávat minimálně 80 % jejich výkonu. Tím pádem by teoretická výroba v roce 2038 měla být přibližně 3 450 kWh. Z těchto dvou teoretických hodnot jsem dopočítal hodnoty i pro ostatní roky.

Nesmím také opomenout zmínit uspořené elektřinu. Bohužel nevím, kolik přesně elektřiny bylo a bude spotřebováno ve vysoké a v nízkém tarifu. Odhadl jsem, že ve VT se spotřebuje 1/3 ze spotřebované elektřiny v objektu z vyrobené FVE a 2/3 v NT. Důvod, proč jsem volil že v NT se spotřebuje více elektřiny je použití GreenBonO, který přebytečnou vyrobenou elektřinu ukládá do bojleru a akumulacních kamen, do kterých je vkládána kromě přebytečné elektřiny vyrobené z FVE jenom elektřina při NT.

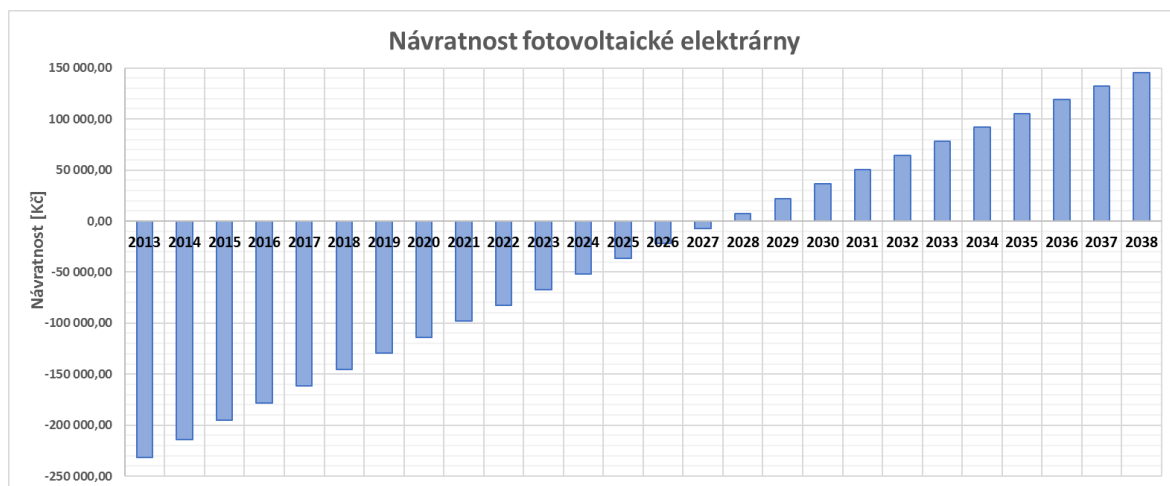
Jak je vidět v Tab. 16, tak skutečná výroba zatím vždy převyšovala teoretickou. Předpokládám tedy, že tomu bude tak i v nadcházejících letech. Zisky by tak mohly být i větší, než je uvedeno v tabulkách.

Výpočet dosavadního zisku a návratnosti					
Rok	Zisk z výroby elektřiny [Kč]	Provozní náklady [Kč]	Celkový příjem [Kč]	Návratnost [Kč]	
2038	15 111,58	2 000,00	13 111,58	145 561,84	
2037	15 264,00	2 000,00	13 264,00	132 450,26	
2036	15 416,43	2 000,00	13 416,43	119 186,26	
2035	15 568,86	2 000,00	13 568,86	105 769,82	
2034	15 721,29	2 000,00	13 721,29	92 200,96	
2033	15 873,72	2 000,00	13 873,72	78 479,67	
2032	16 026,15	2 000,00	14 026,15	64 605,94	
2031	16 178,58	2 000,00	14 178,58	50 579,79	
2030	16 331,01	2 000,00	14 331,01	36 401,20	
2029	16 483,44	2 000,00	14 483,44	22 070,19	
2028	16 635,87	2 000,00	14 635,87	7 586,75	
2027	16 788,30	2 000,00	14 788,30	-7 049,13	
2026	16 940,73	2 000,00	14 940,73	-21 837,43	
2025	17 093,16	2 000,00	15 093,16	-36 778,16	
2024	17 245,59	2 000,00	15 245,59	-51 871,32	
2023	17 398,02	2 000,00	15 398,02	-67 116,92	
2022	17 550,45	2 000,00	15 550,45	-82 514,94	
2021	17 702,88	2 000,00	15 702,88	-98 065,39	
2020	17 855,31	2 000,00	15 855,31	-113 768,27	
2019	18 007,74	2 000,00	16 007,74	-129 623,58	
2018	18 160,17	2 000,00	16 160,17	-145 631,32	
2017	18 312,60	2 000,00	16 312,60	-161 791,49	
2016	18 465,03	2 000,00	16 465,03	-178 615,69	
2015	18 617,46	2 000,00	16 617,46	-195 272,71	
2014	18 769,89	2 000,00	16 769,89	-213 842,05	
2013	8 594,69	1 166,67	7 428,02	-231 511,98	

Tab. 17 Výpočet celkových dosavadních a teoretických zisků a návratnosti

Celkový příjem spojený s výrobou elektřiny je sepsán v Tab. 17 pro jednotlivé roky. Dále je v této tabulce uvedena i návratnost, která je počítána jako suma celkových příjmů minus celková investice. Celkové investiční náklady jsou tedy 238 940 Kč.

$$\text{Návratnost} = \sum_{i=1}^{26} \text{Celkový příjem}_i - \text{Celkové investiční náklady} \quad (17)$$



Graf. 29 Návratnost fotovoltaické elektrárny

Jak je vidět z Tab. 17 a Graf. 27, investice do takovéto FVE se vyplatí, jestli nenastanou velké změny v cenách nebo nedojde k nějakému poškození částí FVE nebo dalších komponentů nutných pro správný provoz FVE.

Jak je vidět v Tab. 16 tak největší část celkových zisků je tvořena podporou vyrobené elektřiny ze sluneční energie. Tak jsem se ještě chtěl podívat na celkové zisky, které jsou sepsané v Tab. 18. Z ní je dobře že největší část z celkového příjmu je tvořena ziskem z vyrobené elektřiny a to přes 250 tis. Kč, což samo stačí na pokrytí celkových investičních nákladů této FVE. Kdyby ale nebyla výroba elektřiny podporována, tak by zisk z uspořené a dodané elektřiny nedokázal pokrýt celkové investiční náklady.

Zisk z vyrobené elektřiny [Kč]	Zisk z uspořené elektřiny [Kč]	Zisk z dodané elektřiny [Kč]	Příjem celkem [Kč]
251 493,36	169 870,89	14 404,45	435 768,70

Tab. 18 Součet všech zisků od roku 2013 do 2038

6 Závěr

V této bakalářské práci jsem se zabýval tématem využití obnovitelných zdrojů. Nejprve jsem se zaměřil na otázku, proč vlastně chceme využívat obnovitelné zdroje energie, a to nejenom pro výrobu elektřiny. V teoretické části jsem podrobněji představil jednotlivé obnovitelné zdroje energie, poukázal na jejich základní výhody a nevýhody a stručně nahlédl do jejich historie. Obnovitelné zdroje energie, kterým jsem v teoretické části věnoval pozornost, jsou energie sluneční, větrná, vodní, geotermální energie a energie biomasy. A podrobněji jsem se soustředil na sluneční energii, protože v současti mé práce je i příklad vlastní malé fotovoltaické elektrárny.

Ve třetí části jsem popsal, jak se vyvíjel instalovaný výkon jednotlivých zdrojů energie od roku 2004 a také kolik jednotlivé zdroje vyrobily elektřiny. V této části jsem také graficky znázornil, kolik procent z celkové výroby se z jednotlivých zdrojů vyrobilo. Jak jsem ukázal, tak nejvíce elektrické energie je v České republice stále vyráběno pomocí parních elektráren, a to něco přes 50 % v roce 2017. Druhým důležitým zdrojem jsou jaderné elektrárny, které vyrábějí více než 30 % elektřiny. Tyto fakta potvrzují, že je Česká republika zatím velmi závislá na neobnovitelných zdrojích energie a nejvíce na fosilních palivech. Také jsem v této části prokázal, že od roku 2004 se každý rok vyrobilo přes 10 TWh, které nebyly v České republice spotřebovány. Blíže jsem také zkoumal, jak byly vybrané typy elektráren využívány v průběhu jednotlivých let, pro hodnocení jejich využívání jsem použil součinitel využití.

Poté jsem se v této části zaměřil poněkud konkrétněji na samotnou výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, a to od roku 2004 do 2017. Dopočítal jsem, kolika procenty se v jednotlivých letech podílely obnovitelné zdroje na pokrytí tuzemské brutto spotřeby. Od roku 2004 do roku 2013 docházelo k nárůstu toho podílu ze 3,8 % až na 13,17 %. Od roku 2013 se tento podíl drží okolo 13 % i přesto, že dochází stále k nárůstu vyráběné elektřiny pomocí obnovitelných zdrojů. To je způsobené tím, že dochází i ke zvyšování tuzemské brutto spotřeby. V roce 2017 se vyrobilo pomocí OZE přes 9,5 TWh a to pokrylo 13 % tuzemské brutto spotřeby. Nejvíce elektřiny z OZE se v ČR vyrábí z bioplynu, poté z biomasy a třetím největším zdrojem elektřiny jsou fotovoltaické elektrárny. Z toho je patrné, že u nás je nejvýznamnější z obnovitelných zdrojů právě energie biomasy, z této energie se vyrobí více než polovina z celkového množství elektřiny vyráběné OZE.

Na konci této části jsem se podrobněji zabýval ještě na jednotlivými OZE v ČR, a to hlavně, jak se vyvíjí jejich výroba elektřiny během celého roku. Nejvíce jsem se zaměřil na FVE kvůli příkladu, který uvádím na konci této práce. Z grafů bylo patrné, že výroba během letních měsíců u FVE je mnohem větší, nežli je tomu v zimních měsících. Je to způsobené jak snížením intenzity záření v těchto měsících, tak i zkrácením dnů. Vliv na to má nejspíše také zvýšená oblačnost během těchto měsíců. Byl také značný rozdíl mezi vyrobenou a dodanou elektřinou, a to hlavně u elektráren do 30 kW instalovaného výkonu. Jak jsem ukázal, tak vlastní spotřeba FVE je poměrně malá, a proto tento rozdíl musí mít jiný důvod. Tím je to, že tyto menší FVE se používají i pro spotřebu objektů, u kterých jsou umístěny. Způsob využívání vyrobené elektřiny pro vlastní spotřebu v objektu jsem uvedl v poslední části.

V poslední části jsem uvedl příklad malé fotovoltaické elektrárny, která je postavena u města Lázně Bělohrad a byla uvedena do provozu 24.6.2013. Tato FVE slouží pro výrobu elektřiny, která je spotřebována v přilehlém objektu a přebytky elektřiny jsou dodávány do distribuční sítě. Tato FVE má špičkový instalovaný výkon 4,64 kWp. Výkon, který by elektrárna v tomto místě měla za rok teoreticky vyrobit, je okolo 4 320 kWh. V této části jsem uvedl jednotlivé komponenty, ze kterých je tato FVE složena, a také její zapojení.

Nejvíce jsem se zaměřil na GreenBonO, který slouží k zajištění účinné regulace přebytků elektřiny. Tyto přebytky jsou využívány pro vytápění pomocí akumulčních kamen a také pro ohřev teplé vody. Jak bylo zmíněno, tak to není úplně nejvhodnější využití těchto přebytků, ale prozatím lepší možnost v tomto objektu není. Lepší využívání přebytečné elektřiny je v tomto objektu v plánu realizovat v příštích letech.

Dále jsem uvedl, kolik elektřiny vyrobila FVE přímo od jejího zprovoznění do konce roku 2017. Také jsem porovnal skutečnou výrobu elektřiny s teoretickou výrobou, kterou jsem získal pomocí PVGIS. Jak bylo patrné z dat, tak přibližně 2/3 z vyrobené elektřiny byly spotřebovány přímo v objektu a 1/3 dodána do distribuční sítě, kromě roku 2013, kde byla situace opačná. Z Tab. 12, kde je sepsaná skutečná celková vyrobená elektřina v jednotlivých letech, vyplývá, že v letech 2014 a 2015 se vyrobilo více elektřiny, nežli se dle teoretického předpokladu uvažovalo.

Nakonec jsem v této části vypočítal zisky spojené s výrobou, úsporou a dodávkou elektřiny do distribuční sítě. V letech, pro které mám údaje, jsem zisky dopočítal a pro nadcházející roky byly zisky dle dostupných informací odhadnuty. Celkové investiční náklady spojené s výstavbou FVE a jejím uvedením do provozu byly 238 940 Kč. Jak je možné vidět v Tab. 16, tak dosavadní zisky nejsou malé. Například pro rok 2015 celkový zisk převýšil 20,5 tis. Kč. Důležité ale je se podívat na jednotlivé zisky. Největší část celkového zisku je tvořena ziskem z vyrobené elektřiny, je to více než polovina (11 522 Kč). Další významný podíl celkových zisků tvoří uspořena elektřina (8 473 Kč) a nejmenší část celkového zisku je tvořena ziskem z dodané elektřiny (574 Kč).

Investice do FVE byla výhodná, protože z dopočítané návratnosti je zřejmé, že investice do této FVE by se měla vrátit v roce 2028, což je poměrně dobré. V souvislosti s faktem, že je ale velká část celkových zisků tvořena právě ziskem z podpory výroby elektřiny, jsem vytvořil Tab. 18, abych zjistil celkové předpokládané zisky spojené s výrobou elektřiny. Díky tabulce je jasné, že zisk z úspory a z dodané elektřiny nedokáže pokrýt počáteční investici. Tím pádem by se investice do této FVE bez podpory do konce roku 2038 nevrátila.

Seznam použité literatury

- [1] MASTNÝ, Petr. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [2] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [3] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Solární energie: fotovoltaika - perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti*. V Praze: ČZU, 2005. ISBN 80-213-1335-8.
- [4] BERANOVSKÝ, Jiří a Jan TRUXA. *Alternativní energie pro váš dům*. Brno: ERA, 2003. ISBN 80-86517-59-4.
- [5] RYCHETNÍK, Václav, Jiří PAVELKA a Josef JANOUŠEK. *Větrné motory a elektrárny*. Praha: České vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-01-01563-7.
- [6] BROŽ, Karel a Bořivoj ŠOUREK. *Alternativní zdroje energie*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02802-x.
- [7] BENDA, Vítězslav. *Obnovitelné zdroje energie*. Praha: Profi Press, 2012. ISBN 978-80-86726-48-9.
- [8] Panou solar Thermosolar TS300. In: *Climatico.ro* [online]. [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <https://www.climatico.ro/panou-solar-thermosolar-ts300.html>
- [9] Spektrum slunečního záření. In: *Wikimedia.org* [online]. [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a4/Solar_spectrum_cs.svg
- [10] Share of renewables in energy consumption in the EU reached 17% in 2016. In: *Ec.europa.eu* [online]. [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/8612324/8-25012018-AP-EN.pdf/9d28caef-1961-4dd1-a901-af18f121fb2d>
- [11] Systémy pro využití sluneční energie - Podklady pro cvičení a přednášky. *Pasan.feld.cvut.cz* [online]. [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <http://pasan.feld.cvut.cz/a1b13svs/index.php>
- [12] MASTNÝ, Petr. Studijní podklady předmětu Malé zdroje elektrické energie, 2011, Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně
- [13] Fotovoltaika v podmínkách České republiky. In: *Isofenenergy.cz* [online]. [cit. 2018-04-03]. Dostupné z: <http://www.isoenergy.cz/slunecni-zareni-v-cr.aspx>
- [14] Beaufortova stupnice síly větru. *ConVERTER* [online]. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/beaufortova-stupnice.htm>
- [15] Princip Savoniova rotoru. In: *Wikipedia.org* [online]. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1a/Savonius-rotor_en.svg
- [16] Větrná mapa. In: *Ufa.cas.cz* [online]. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: http://www.ufa.cas.cz/imgs/DLouka/vetrna_mapa.gif
- [17] Územní srážky. *Portal.chmi.cz* [online]. [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky>
- [18] Roční zprávy o provozu. *Eru.cz* [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/elektrina/statistika-a-sledovani-kvality/rocn-zpravy-o-provozu>
- [19] Čtvrtletní zprávy o provozu. *Eru.cz* [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/elektrina/statistika-a-sledovani-kvality/ctvrletni-zpravy-o-provozu>
- [20] Obnovitelné zdroje energie. *Mpo.cz* [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/>
- [21] Mapy - letecký pohled. *Mapy.cz* [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.2167000&y=50.4832990&z=11>
- [22] Konstrukce pro FVE. *Shop.iftech.cz* [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://shop.iftech.cz/konstrukce-pro-fve/499-set-pro-6-panelu-15kw.html>

- [23] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). *Re.jrc.ec.europa.eu* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html
- [24] Model (SL280-300TU-36P) Specifications. *Enfsolar.com* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://cdn.enfsolar.com/Product/pdf/Crystalline/5024a64bf36c5.pdf>
- [25] GreenBonO. *Yorix.cz* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://www.yorix.cz/cz/greenbono/greenbono.htm>
- [26] GreenBonO. *Obchodsolar.cz* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.obchodsolar.cz/greenbono>
- [27] Součinitel využití. *Cez.cz* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/koeficient.html>
- [28] Fotovoltaická elektrárna Ralsko Ra 1. *Nazeleno.cz* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/5-nejvetsich-solarnich-elektren-v-cr.aspx>

Seznam příloh

- Příloha 1.**– Bližší pohled na instalované výkony, výrobu a dodávku elektřiny do ES z obnovitelných zdrojů energie (2015-2017)
- Příloha 2.**– Realizační projektová dokumentace FVE Brtev – Lázně Bělohrad od firmy ProTerra s.r.o.
- Příloha 3.**– Schéma zapojení GreenBonO
- Příloha 4.**– Vygenerovaný dokument z online programu PVGIS [23]