

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra technologií a měření

Diplomová práce

**Hodnocení provozu větrných elektráren připojených do
distribuční sítě VN**

Lukáš Javorský

Plzeň 2017

Originál (kopie) zadání DP

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce se zabývá hodnocením provozu větrných elektráren. Vytváří přehled o aktuálně využívaných obnovitelných zdrojích v ČR a jejich plánovaném rozvoji. Uvádí do legislativní problematiky připojení nových výroben elektřiny v České republice. Na devíti větrných parcích byla provedena krátkodobá měření sledující parametry kvality napětí z těchto měření. Výstupem práce je zpracování dat z měřících přístrojů a shrnutí výsledků měření.

Klíčová slova

Větrná elektrárna, obnovitelný zdroj, připojení k distribuční síti, zpětné vlivy, hodnocení výkonu.

Abstract

The diploma thesis solves the issue of the wind plant assessment. It creates a review of actually used renewable energy sources in the Czech Republic and of their planning in the future. The legislative problem of adding a new energy source to distribution network is described. There were practical short-time measurements observing parameters of the voltage quality made on nine wind plants parks. The aim of the thesis is to utilize the data of the measurements and to sum up the results of it.

Key words

Wind plant, renewable power plant, connection to distribution network, power factor, performance evaluation.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 22.5.2017

Lukáš Javorský

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Miloslavě Tesařové, Ph.D. za nabídku této práce a za rady při zpracování dat.

Dále konzultantovi Ing. Martinu Kašpírkovi, Ph.D. a společnosti E.ON Česká republika, s.r.o. za poskytnutí dat, díky kterým mohla tato práce vzniknout.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1 ZDROJ ENERGIE	11
1.1.1 Rozdělení zdrojů energie.....	11
2 OBNOVITELNÝ ZDROJ ENERGIE	12
2.1 ADAPTACE OZE DO STÁVAJÍCÍ PŘENOSOVÉ SOUSTAVY	12
2.2 ENERGETICKÝ MIX OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE V ČR	14
2.3 ENERGETICKÝ MIX OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE V EVROPĚ	16
2.4 ENERGETICKÝ MIX OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE VE SVĚTĚ.....	17
2.5 ENERGIE VĚTRU	17
2.5.1 Větrné elektrárny v ČR.....	20
2.5.2 Budoucnost větrných elektráren.....	22
2.6 SLUNEČNÍ ENERGIE	22
2.6.1 Fotovoltaické elektrárny v ČR	23
2.6.2 Budoucnost solárních elektráren	24
2.7 ENERGIE VODY	25
2.7.1 Vodní elektrárny v ČR.....	26
2.7.2 Budoucnost vodních elektráren.....	27
2.8 ENERGIE BIOMASY	28
2.8.1 Bioplyn v ČR	29
2.8.2 Biomasa v ČR.....	30
2.8.3 Budoucnost biomasy a bioplynu.....	32
2.9 GEOTERMÁLNÍ ENERGIE	32
2.9.1 Budoucnost geotermální energie v ČR.....	33
2.10 POROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN S OSTATNÍMI OBNOVITELNÝMI ZDROJI	33
2.10.1 Porovnání dle celkových měrných nákladů a využití instalovaného výkonu	34
2.10.2 Porovnání kapacitního faktoru	34
2.10.3 Porovnání nákladů vyrobené elektrické energie	35
3 LEGISLATIVNÍ RÁMEC PŘIPOJENÍ A PROVOZU VÝROBEN K SÍTI	36
3.1 PŘIHLAŠOVACÍ ŘÍZENÍ	36
3.1.1 Technické konzultace	36
3.1.2 Zahájení řízení o souhlas s připojením výroben/zdrojů do sítě DS	37
3.1.3 Posouzení žádosti o připojení výrobný.....	37
3.1.4 Projektová dokumentace.....	38
3.2 DÁLKOVÉ ŘÍZENÍ VÝROBNY V DS.....	39
3.2.1 Chování výrobný v DS.....	39
3.3 KODEX ENTSO-E	41
3.4 PODMÍNKY PŘIPOJENÍ	42
3.4.1 Zvýšení napětí	42
3.4.2 Změny napětí při spínání.....	44
3.5 ZPĚTNÉ VLIVY NA NAPÁJECÍ SÍŤ.....	45
3.5.1 Změna napětí - flickr.....	46
3.5.2 Harmonické proudy	48
3.5.3 Ovlivnění zařízení HDO.....	48
3.6 ÚVEDENÍ VÝROBNY DO PROVOZU A PROVOZOVÁNÍ	49

4	REPREZENTATIVNÍ MĚŘENÍ ZPĚTNÝCH VLIVŮ VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY	50
4.1	VTE PARKY NA KTERÝCH BYLO PROVEDENO MĚŘENÍ	50
4.1.1	<i>Břežany</i>	51
4.1.2	<i>Bantice</i>	51
4.1.3	<i>Pavlov</i>	51
4.1.4	<i>Pavlov II</i>	51
4.1.5	<i>Tulešice</i>	51
4.1.6	<i>Brodek u Konice</i>	51
4.1.7	<i>Protivanov II</i>	52
4.1.8	<i>Drahany</i>	52
4.1.9	<i>Rozstání</i>	52
4.2	POPIS METODIKY MĚŘENÍ	52
5	ANALÝZA VYBRANÝCH VÝROBEN Z HLEDISKA ZPĚTNÝCH VLIVŮ NA NAPÁJECÍ SÍŤ A Z HLEDISKA PROVOZNÍCH HODNOT ÚČINÍKU VÝROBNY	53
5.1	VYHODNOCENÍ KVALITY NAPĚTÍ	53
5.1.1	<i>Vyhodnocení odchylek napětí</i>	53
5.1.2	<i>Vyhodnocení flikru</i>	54
5.1.3	<i>Nesymetrie napětí</i>	55
5.1.4	<i>Harmonická napětí</i>	55
5.2	VYHODNOCENÍ VÝKONOVÝCH TOKŮ	56
5.2.1	<i>Vyhodnocení činného výkonu</i>	58
5.2.2	<i>Vyhodnocení jalového výkonu</i>	61
5.2.3	<i>Vyhodnocení účinníku</i>	63
5.2.4	<i>Vyhodnocení vlivu výkonových toků</i>	65
	ZÁVĚR	67
	SEZNAM LITERATURY	68

Seznam symbolů a zkratk

BPS	bioplynová stanice
BRKO	biologicky rozložitelné komunální odpady
ČR	Česká republika
DS	distribuční soustava
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity, Evropská síť provozovatelů přenosových soustav elektřiny
ERÚ	Energetický regulační úřad
ES	elektrizační soustava
EU	Evropská unie
EU 28	28 států Evropské unie
FVE	fotovoltaická elektrárna
HDO	hromadné dálkové ovládání
HDR	hot dry rock
NAP	národní akční plán
nn	nízké napětí
OZE	obnovitelný zdroj energie
P	činný výkon
PDS	provozovatel distribuční soustavy
P_{lt}	dlouhodobá míra vjemu flikru
PS	přenosová soustava
P_{st}	krátkodobá míra vjemu flikru
PVE	přečerpávací vodní elektrárny
Q	jalový výkon
THD	činitel harmonického zkreslení
U	napětí
VE	vodní elektrárna
vn	vysoké napětí
VTE	větrná elektrárna

Úvod

Obnovitelný zdroj energie, neboli OZE. Toto téma dělí dnešní Evropskou společnost na dva tábory, jedni podporu nových zdrojů vyzdvihují, za cenu ztráty přesně predikovatelného energetického mixu a přirozeného tržního hospodářství v elektro energetice. Druzí OZE proklínají i přes bezemisní výrobu elektřiny a rozvoj pracovních míst v daném sektoru. Avšak politice OZE se nedá upřít, že nastartovala obrovský technologický vývoj, ukazuje nám nové cesty a staví nás před velké výzvy, které se díky tomu učíme překonávat.

Trend OZE nastartovalo politické rozhodnutí v prosinci roku 1997 v japonském Kjótu. Jednalo se o první hromadnou smlouvu průmyslově vyspělých států, na novém společném tématu snižování produkce skleníkových plynů. Evropská unie přijala pro naplnění společných světových cílů politický program „20 20 20“ do roku 2020: „Šance pro zelenou Evropu“. Dohoda se markantně dotkla elektroenergetiky i jiných průmyslových odvětví. Evropská unie (dále jen EU) se stala díky - kvůli této politice v průběhu let motorem pokroku v energetice OZE a v zavádění nových technologií v elektroenergetice do praxe. Jednotlivé státy EU se vypořádaly s naplněním evropských směrnic individuálně, ale nový trend - podporu obnovitelných zdrojů výroby elektrické energie by měly plnit všechny členské státy EU. Na trendu rozvoje OZE se v posledních měsících negativně projevuje nejasná politika podpory po roce 2020, kterou má aktuálně jasně stanovenou přibližně jen čtvrtina států EU 28.

Politika OZE pomohla markantnímu rozvoji zdrojů, pro které je typická jejich decentralizovanost a nepredikovatelnost. Dvě vlastnosti, které zásadně změnily nároky na přenosovou a distribuční soustavu, která se musí vypořádat s aktuálním poměrem výroby versus spotřeby energie. Úkol je náročný z pohledu řízení přenosové (dále jen PS) a distribuční soustavy (dále jen DS) a klade vysoké nároky na samotnou síť při přenášení výkonových toků. Bohužel o posilování a rozvoji sítě se u politiky OZE nemluví tak hlasitě a kvůli časové náročnosti projekce a výstavby vedení není rozvoj elektrické sítě úměrný přírůstku decentralizované výroby. V České republice není tento problém tak markantní, protože doposud těžíme z historických koncepčních rozhodnutí, která byla přijata při výstavbě PS a DS.

Předložená práce se ve čtyřech kapitolách zabývá vlivem větrných elektráren (dále jen VTE) na distribuční síť. V první kapitole jsou krátce představeny jednotlivé obnovitelné zdroje a rozdíl mezi větrnou elektrárnou a ostatními výrobkami OZE. V druhé kapitole shrnuje legislativní rámec připojení výroby elektřiny k síti vysokého napětí. Práce mohla vzniknout díky datům, které poskytla za účelem vyhodnocení společnost E.ON ze svých větrných parků provozovaných na Moravě. Ve třetí části jsou popsány jednotlivé výrobny, na kterých proběhlo měření parametrů kvality a výkonů v časovém úseku dvou týdnů. V závěrečné kapitole je posuzován vliv vybraných výroben na distribuční síť.

1 Zdroj energie

Více než před sto lety popsal Albert Einstein množství energie, které obsahuje každá hmotná látka. Bohužel, umíme využít jen zlomek této energie, a to jen u vybraných látek, například u fosilních, či jaderných paliv.

Dle zákona zachování energie není možné energii vytvořit, ani zničit. Energie lze pouze přeměňovat z jednoho druhu na jiný, ale její celkové množství zůstane v uzavřené soustavě vždy stejné.

V energetice je používán obecně pojem zdroj energie, ale je si nutné uvědomit, že jde jen o zařízení na přeměnu nejčastěji chemické, či mechanické energie na elektrickou energii.

1.1.1 Rozdělení zdrojů energie

Zdroje energie můžeme dělit dle mnoha faktorů, podle vzniku zdroje energie (energie Slunce, energie Země, energie Země – Měsíc), podle způsobu získání, zvyklosti využití. Pro tuto práci je nevhodnější rozdělení energií podle povahy vzniku [1]:

- neobnovitelné zdroje energie:
 - fosilní paliva (tuhá, kapalná, plynná),
 - jaderná nebo termojaderná paliva,
- obnovitelné zdroje energie:
 - energie vodních toků,
 - energie mořských vln,
 - energie přílivu a odlivu,
 - sluneční záření,
 - větrná energie,
 - biomasa,
 - geotermální energie,
 - teplotní gradient vody, země.

Z výše uvedeného je patrné, že obnovitelné zdroje závisí přímo na působení sluneční energie a bez ní by nevznikly. Mezi zdroje počítáme energii slunečního záření dopadajícího na zem, geotermální a slapovou energii. Lidé v současné době spotřebují asi 87 000 TWh/rok celosvětově, energie z dopadajícího slunečního záření je dle [2] 1060×10^6 TWh/rok, tedy cca 12 000 násobně více. Na OZE se tedy nechá pohlížet jako na nevyčerpatelný zdroj energie v čase i objemu. Je si ale nutné uvědomit, že koncentrace obnovitelné energie může být v některých případech tak nízká, že ji není možné dále využít.

Neobnovitelné zdroje jsou produkty látkových přeměn v průběhu minulých geologických period, jejich zásoby jsou na naší planetě konečné (fosilní paliva, uranová ruda).

2 Obnovitelný zdroj energie

V druhé kapitole je čerpáno zejména ze zdrojů [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9].

Elektroenergetika využívala obnovitelné zdroje již od svého počátku. Žádost o osvětlení Frankfurtské elektrotechnické výstavy v roce 1891 stála za prvním dálkovým přenosem střídavé silové elektrické energie. Projekt osvětlení zrealizoval M. O. Dolivo-Dobrovolskij, který propojil frankfurtské výstaviště a 177 km vzdálený alternátor vodní turbíny v Lauffenu o výkonu tři sta koňských sil pomocí třívodičové přenosové sítě, účinnost přenosu byla 75 % [c, e]. Den 28. 8. 1891, kdy se konal Frankfurtský experiment, lze považovat za začátek elektroenergetiky, tak jak jí známe dnes.

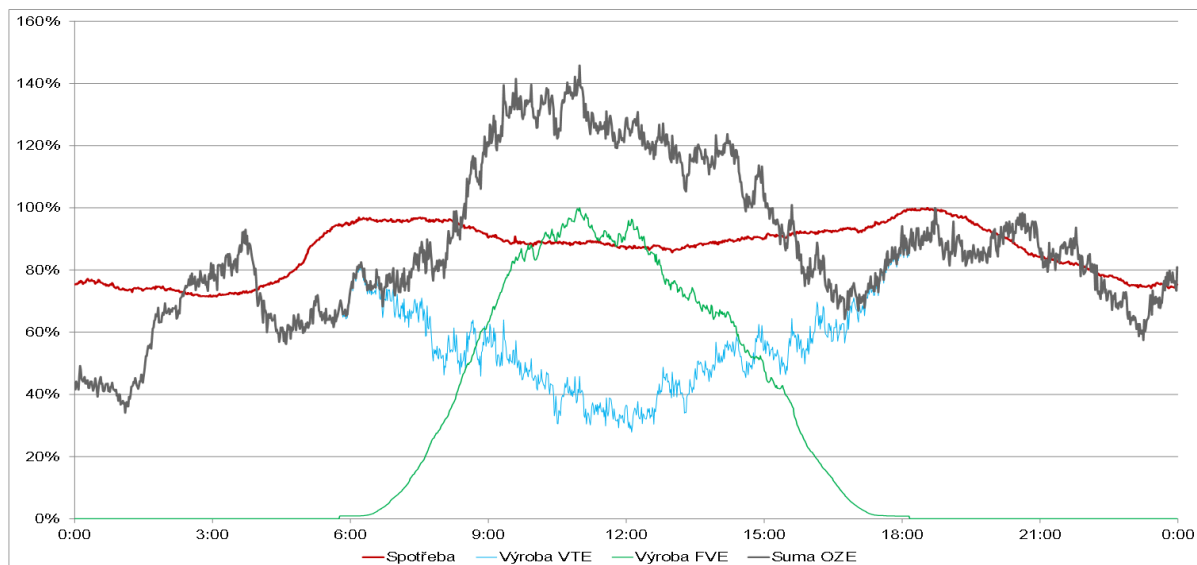
Vodní průtočné elektrárny patřily k prvním elektrárnám vůbec, v roce 1896 byla dostavěna velká vodní elektrárna (dále jen VE) v USA u Niagarských vodopádů. První větrné mlýny se začaly používat k výrobě elektrické energie okolo roku 1926 [10]. U nás nejčastěji osazovaný výrobce větrných elektráren (dále jen VTE) Vestas (35,4 % instalovaného výkonu v ČR [11]), začal s výrobou VTE v roce 1971 [12].

S rozvojem technologií se podařilo stabilizovat a převést do komerční praxe další OZE. Bioplynové stanice (dále jen BPS) se začaly stavět v 70. letech minulého století [13]. Fotovoltaické elektrárny (dále jen FVE) se pokusně začaly stavět v roce 1975 [13].

Jak je výše nastíněno, je několik způsobů získávání obnovitelné energie. Ale možnosti výstavby obnovitelných zdrojů jsou vždy ovlivněny geografickou polohou a podnebím. Česká republika patří mezi vnitrozemní státy, proto zde není možnost využít potenciálu slapové energie. Stejně tak není možné využít nejsilnějšího a nejstálějšího proudění větru v přímořských oblastech. Fotovoltaické elektrárny mají vyšší dobu ročního využití tam, kde jsou slunečné dny delší. S těmito fakty je samozřejmě nutné počítat při výstavbě OZE, ale také při vzájemném porovnávání množství vyrobené elektrické energie, nebo instalovaného výkonu ve vztahu ke geografickému území, nebo mezi jednotlivými státy.

2.1 Adaptace OZE do stávající přenosové soustavy

Obnovitelné zdroje se zatím nemohou samy prosadit na dnešním trhu se silovou elektřinou, kdy je výroba řízena spotřebou. Výrobní cena energie z nových OZE je vzhledem k technologii vysoká a predikovatelnost výroby u FVE, VTE zatím není dostatečná, jak je vidět na obr. č. 1. Při stávajícím modelu výroby, prodeje a distribuce dochází k situacím, kdy dispečer soustavy omezuje dispečerským řízením OZE, nebo je nucen využívat systémových služeb, či dalších nástrojů pro vybalancování přenosové soustavy. Politika řízení a využívání energie z OZE je nastavena státem.



Obr. č. 1: Denní výroba VTE a FVE ve vztahu ke spotřebě elektrické energie, zdroj [14].

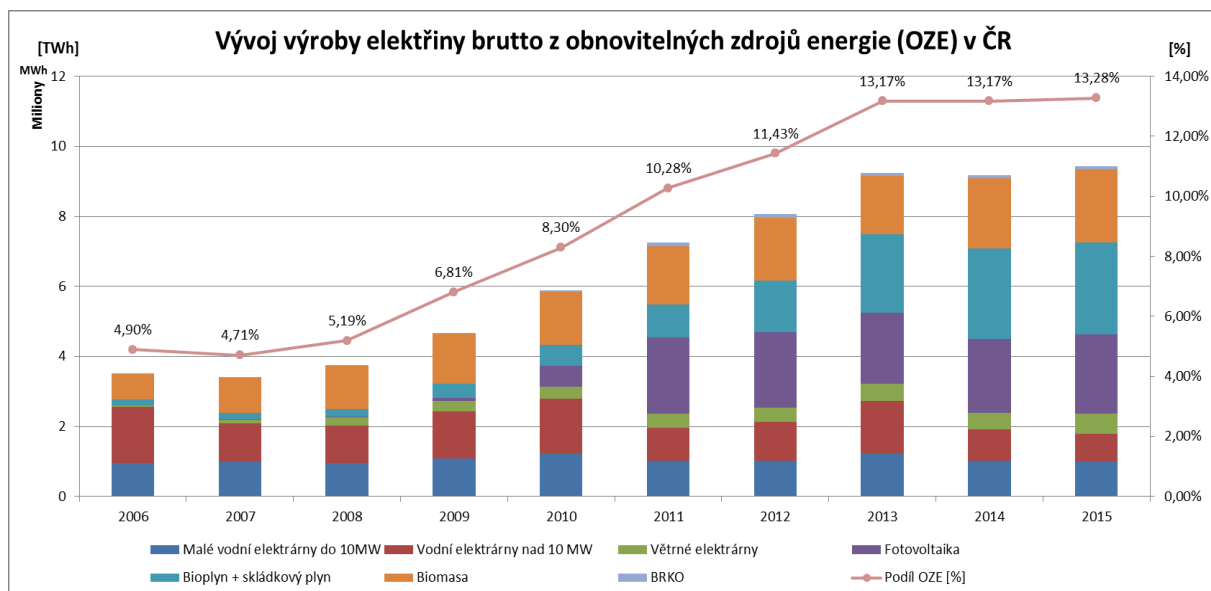
Z grafu je patrné, že OZE musí být regulovány, aby byl poměr výroby k spotřebě vyvážený. U FVE vidíme typický průběh dodávky ve slunný den, který začíná okolo šesté hodiny ráno, maximum dodávky je okolo dvanácté hodiny, dodávka ustává okolo šesté hodiny. Dodávka z VTE je kontinuální po celý den a kolísá mezi 40 % a 100 % maximální spotřeby.

Novým trendem pro začlenění OZE je zkracování délky obchodovaného úseku, aby trh mohl dostatečně dynamicky reagovat na situaci a vývoj odchylky mezi dodávkou a spotřebou, automatická regulace napětí přímo na elektrárně, seskupování OZE do virtuální elektrárny. Na úrovni spotřebitele se nabízí myšlenky řídit dle výroby spotřebu. Zde se ale rozcházejí názory, jak moc velká část zátěže by mohla být ještě regulovatelná. Podle práce [35] je dnes 81 % z teoreticky říditelné spotřeby v ČR řízeno pomocí HDO. V průměrné domácnosti dělíme spotřebu na striktně neříditelnou 58,8 %, říditelnou 17 % a ostatní 24,2 % [35]. Pro změnu poměrů říditelných spotřeb by byla potřeba výraznější zvýhodnění řízeného odběru energie. V budoucnu se očekává nárůst říditelného sektoru o elektromobily, u nich bude potřeba velmi přesného řízení nabíjení, protože počet nabíjecích cyklů je omezený.

V České republice těžíme z výhody robustní přenosové a distribuční sítě, připojování dalších OZE je často limitováno pouze splnění podmínek kvality popsanych v kapitole č.3.4 (pokud jde o první výrobní OZE připojovanou do uzlu). Oproti tomu v Německu se dlouhodobě potýkají s nedostatečně dimenzovanou PS, která kapacitně nezvládá přenášet energetické toky mezi místem výroby a spotřeby, svoji funkci zvládá plnit jen s pomocí PS sousedních států, tedy sítě ENTSO-E, které jsou využity k tranzitním přetokům energie. Příkladem jsou přetoky energie od severovýchodních VTE do Rakouska východního Německa, či balkánských států s nedostatečnou vlastní produkcí elektrické energie.

2.2 Energetický mix obnovitelných zdrojů energie v ČR

V této kapitole je čerpáno z „Roční zprávy o provozu elektrizační soustavy ČR“ [3], kterou vydává Energetický regulační úřad.



Obr. č. 2: Vývoj výroby elektřiny brutto z obnovitelných zdrojů energie (OZE) v ČR [3].

V grafu je patrný vývoj elektrické výroby brutto (na svorkách generátorů), která je dodaná do elektrizační soustavy v ČR, v roce 2006 byla na úrovni 4,9 %. Po státní podpoře byla v roce 2015 na úrovni 13,28 %. Rozdíl ve velikosti brutto dodávky jednotlivých OZE je pro přehlednost shrnut v následující tabulce.

Tab. č. 1: Rozdíl v brutto dodávce elektrické energie OZE do ES, zpracováno na základě [3].

	stav roku 2006		stav roku 2015		rozdíl let 2015 - 2006	
	[MWh]	MWh v [%]	[MWh]	MWh v [%]	[MWh]	Nárůst [násobek]
celkem OZE	3 512 650	100	9 422 950	100	5 910 300	2,7
Malé vodní elektrárny do 10MW	964 400	27	1 001 797	11	37 397	1,0
Vodní elektrárny nad 10 MW	1 586 330	45	793 010	8	-793 320	0,5
Větrné elektrárny	49 375	1	572 612	6	523 237	11,6
Fotovoltaika	170	0	2263846	24	2263676	13316,7
Bioplyn + skládkový plyn	172 589	5	2 614 188	28	2 441 599	15,1
Biomasa	728 526	21	2 090 855	22	1 362 329	2,9
BRKO	11 260	0	86 642	1	75 382	7,7

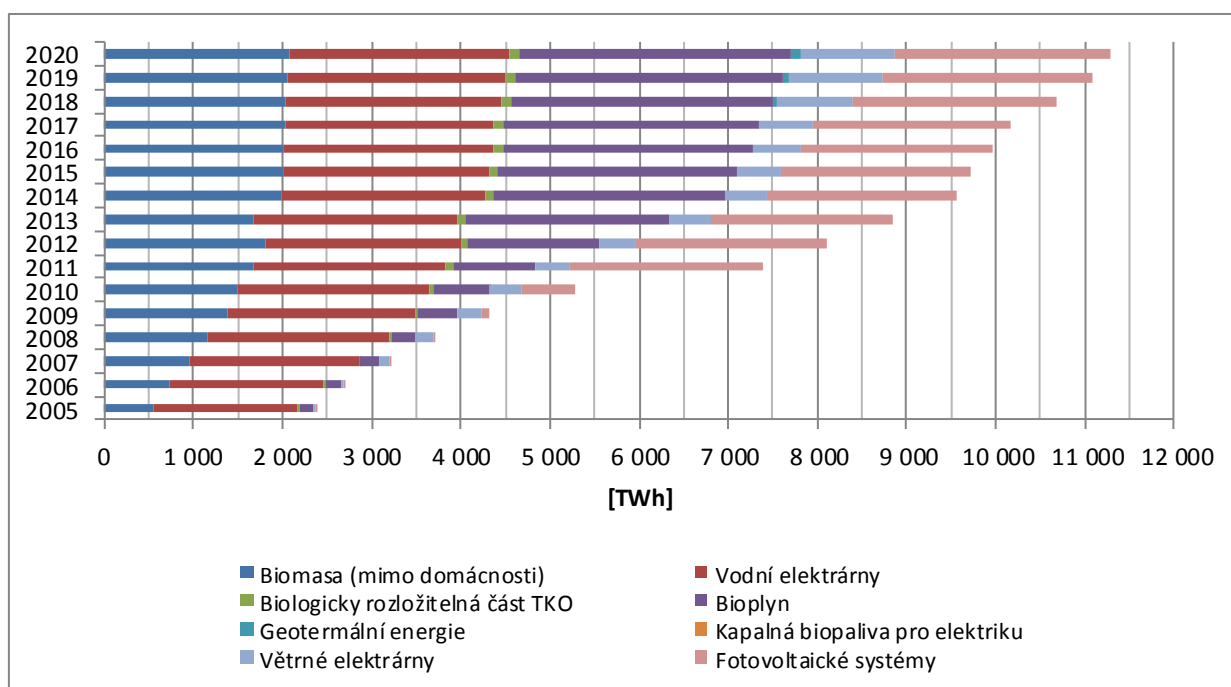
Jak je ze shrnutí patrné, v devítiletém srovnání byl celkový nárůst výroby v tomto období 2,7 násobek výroby roku 2009. Vyjma vodních elektráren, došlo u všech zdrojů k velkému nárůstu výroby. Nárůst výroby je úměrný nové výstavbě OZE. U malých vodních elektráren do 10 MW instalovaného výkonu byl nárůst jen 4 %, to je výsledkem vyčerpání možností instalace VE.

U velkých vodních elektráren nad 10 MW došlo k poklesu na 50 % původní výroby elektrické energie. Velké vodní elektrárny v kaskádním uspořádání umožňují v určité míře akumulovat energii vodního toku na denní bázi, jinými slovy jejich výrobu lze velice efektivně řídit a plánovat. Proto může být část výkonu využita místo trvalé výroby silové energie na konstantním diagramovém bodu k dobilancování ES.

Od roku 2013 byl v zásadě zastaven nárůst výroby z OZE. Hlavním důvodem je novela zákona č. 165/2012 Sb. zákonem č. 310/2013 Sb., kterým byla zastavena od 1. 1. 2014 podpora nových obnovitelných zdrojů energie s výjimkou malých vodních elektráren.

Na základě výše zmíněného zákona ERÚ nestanovil od roku 2014 v cenovém rozhodnutí podporu na elektřinu pro nové výrobní využívající sluneční záření, bioplyn, skládkový plyn a kalový plyn z ČOV a biokapaliny. Podporovány jsou nadále zdroje využívající biomasu, větrnou energii a geotermální energii, dle zákona č. 310/2013 Sb. ERÚ do roku 2016.

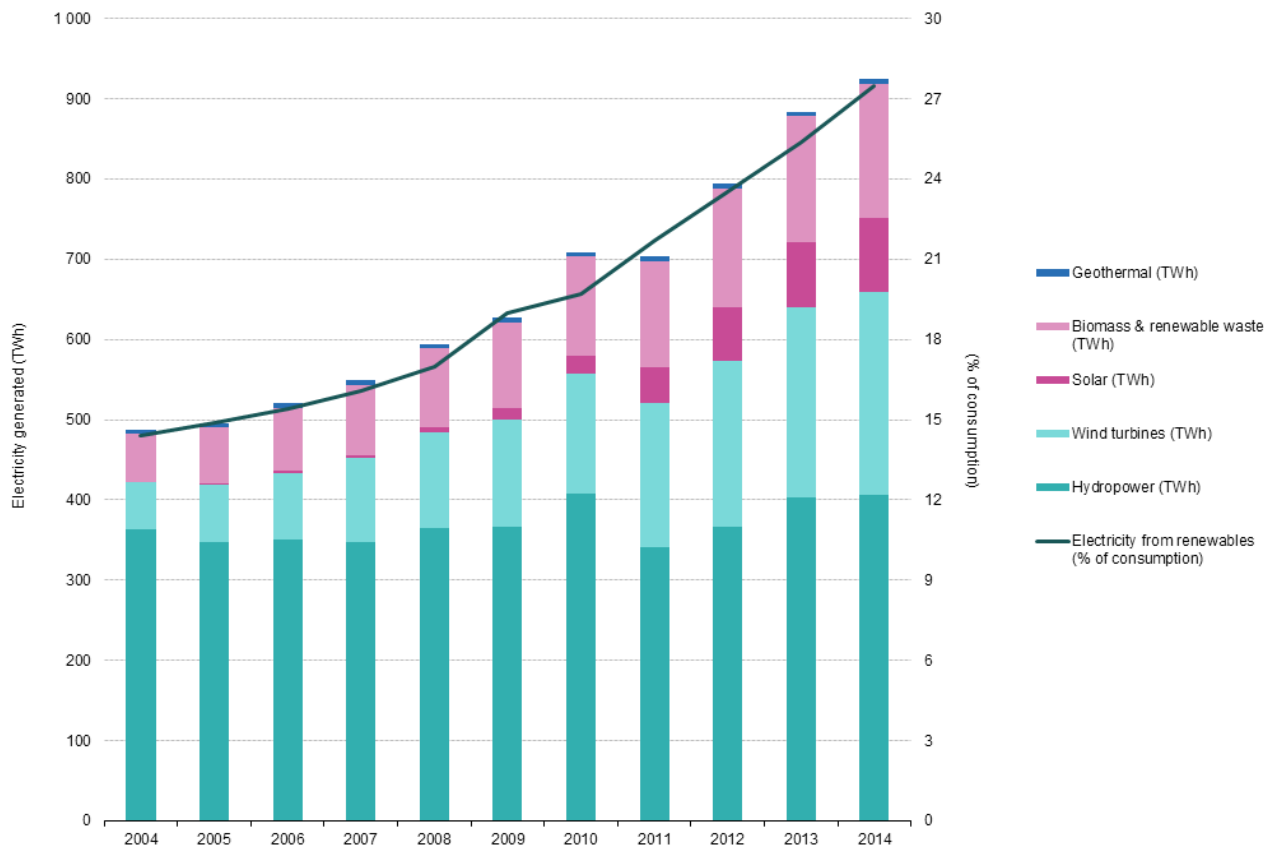
Smluvený cíl pro Českou republiku byl 13 % OZE na konečné roční hrubé spotřebě energie v roce 2020 (8 % do roku 2010). Od roku 2013 je hrubá brutto výroba elektrické energie nad 13 % a do roku 2020 má dle Národního akčního plánu (dále jen NAP) stoupnout na 15,3 % [5]. NAP definuje opatření pro naplnění závazných cílů, pro oblast elektroenergetiky predikuje následující rozvoj a skladbu zdrojů:



Obr. č. 3: Rozvoj a skladba OZE dle NAP ČR [5].

2.3 Energetický mix obnovitelných zdrojů energie v Evropě

V této kapitole je čerpáno ze statistiky evropského Eurostatu [4] a z dokumentu „Energy, transport and environment indicators — 2016“ [33] a „Reportu o vývoji OZE pro Evropskou komisi“ [16].



Source: Eurostat (online data codes: nrg_105a and tsdcc330)

Obr. č. 3: Vývoj výroby elektřiny brutto z obnovitelných zdrojů energie (OZE) v EU, zdroj [4].

V Evropské unii (v této kapitole je EU vnímána jako EU 28) bylo dle [15] odhadem 28,3 % dodané elektrické energie vyrobeno OZE. Vodní elektrárny mají stále největší podíl dodávky elektrické energie, v roce 2004 činila dodávka 74 %, v roce 2015 tvoří již jen 38 % z celkové energie dodané OZE, přestože celková dodávka vzrostla z cca 350 TWh na 400 TWh. Z celé EU-28 se Švédsko, Francie, Itálie, Rakousko a Španělsko podílí na celkové dodávce elektrické energie z vodních elektráren zhruba 70 %.

Větrná energie zvýšila ve srovnávaném období svůj podíl více než čtyřnásobně, v roce 2015 tvoří zhruba třetinu veškeré elektrické energie z OZE. Největší podíl pozemních (onshore) instalací má Německo a Španělsko. Rozvoj mořských (offshore) VTE byl pomalejší než se předpokládalo, první instalace provázely problémy s připojením k síti a s vyvedením výkonu. V posledních třech letech se trend změnil, mezi země s největším počtem instalací offshore parků patří Švédsko, Německo, Velká Británie a Dánsko. Podle [16] byly v EU-28 investice roku 2015 do výstavby VTE na úrovni 35 miliard Euro, v roce 2016 tento budget stoupl o dalších 22 %, přičemž 80 % prostředků investovaly

pouhé čtyři země – Spojené království (12,7 miliardy eur), Německo (5,3 miliardy eur), Belgie a Norsko. Investice do onshore elektráren v roce 2016 poklesly o 9,4 % na celkovou částku 9,4 miliardy eur. Dle asociace WindEurope byly investice posledních dvou let „nafouknuté“ vlivem blížícího se přechodu k systému aukcí na výstavbu zdrojů na klíčových trzích, což potvrzuje klesající trend investic v roce 2017 [16].

Solární energie v roce 2015 tvořila v energetickém mixu 12 % veškeré energie z OZE, 38 % této energie dodalo Německo, Itálie a Španělsko. Výrazný nárůst FVE umožnil velký technologický pokrok, zlevňování technologie, rychlé řešení od projektu do zprovoznění FVE. EU plánuje další podporu FVE, chce přepracovat směrnice obchodu s FVE energií plánuje otevření nové aukce pro FV energii [15].

Biomasa se podílela v EU 28 % na dodávce elektrické energie z OZE 7 %. Výroba vzrostla z 105 TWh v roce 2010 na 151 TWh v roce 2015, největší podíl na tom má výroba z bioplynu, která roste nad očekávání v Německu a Itálii.

2.4 Energetický mix obnovitelných zdrojů energie ve světě

Dle „Globálního reportu o postavení obnovitelných zdrojů 2016“ [18], ze kterého budou čerpány i další informace v této kapitole, bylo 23,7 % veškeré energie ve světě vyrobeno OZE. Vodní elektrárny vyrobily 16,4 % z celkové světově vyrobené energie, VTE 3,7 %, zdroje využívající Biomasu 2 %, solární elektrárny 1,2 % a zbylých 0,4 % dodaly geotermální a slapové elektrárny.

V EU je na obnovitelné zdroje pohlíženo jako na novou cestu, jak vyrábět elektrickou energii ekologičtěji. Je nutné si uvědomit, že jsme zvyklí na nejvyšší technologický standard. V části světa je na OZE pohled jako na zdroje energie, které pomáhají doplnit stávající výrobní kapacity, např. 30 % nové světově instalované kapacity FVE bylo v roce 2015 postaveno v Číně. V Indii se používají OZE pro náhradu technologicky zastaralých uhelných elektráren, protože uhlí se do země draze dováží a energie z OZE je levnější, v zemi si stanovili cíl vystavět mezi lety 2014 a 2017 18,5 GW nových vyroben OZE (11 GW VTE, 4 GW FVE) [17].

V zemích, kde není dostatečná elektrizační soustava, vznikají díky OZE „mini-grids“, tedy lokální elektrizační soustavy využívající často malé FVE, VE k čistému vaření a svícení v domácnostech v kterých do té doby elektrická energie nebyla vůbec zavedena.

2.5 Energie větru

V této kapitole je čerpáno převážně ze zdrojů [19], [6], [8], [9].

Větrná energie je kinetická energie proudícího vzduchu. Vzduch proudí z míst s vyšším tlakem do tlakových níží, tlak vzduchu se mění s jeho teplotou. Proudění rozdělujeme na turbulentní, kde se molekuly přesouvají nejen ve směru, ale i proti hlavnímu směru toku větru. Proto je snaha vystavovat VTE jen laminárnímu proudění, u kterého nedochází k víření vzduchu a rychlost vzduchu narůstá s výškou proudění. Proto se používají pro VTE vysoké stožáry.

Kinetická energie větru působí na plochu listů rotoru větrné elektrárny, kde se její část proměňuje na energii mechanickou. Množství energie se odvíjí z následujícího vztahu:

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2. \quad (1)$$

Kde je m je hmotnost vzduchu a v je jeho rychlost před turbínou. Využívá se dvou způsobů převodu energie větru na mechanickou energii, tedy dva druhy turbín [19]:

- **Odporové turbíny**

Jedná se o starší způsob využívání větné energie, který vykazuje nižší účinnost než vztlakové turbíny. Využívá se principu rozdílu působících sil na lopatky, které mají rozdílný odpor vzduchu. Rozdílného odporu se dosahuje různým tvarem nebo natočením lopatek. Tedy různým aerodynamickým odporem lopatek v závislosti na směru větru (příkladem jsou miskovité lopatky) nebo složitějším, ale účinnějším mechanismem, který cyklicky natáčí činnou plochu lopatek dle polohy rotoru.

- **Vztlakové turbíny**

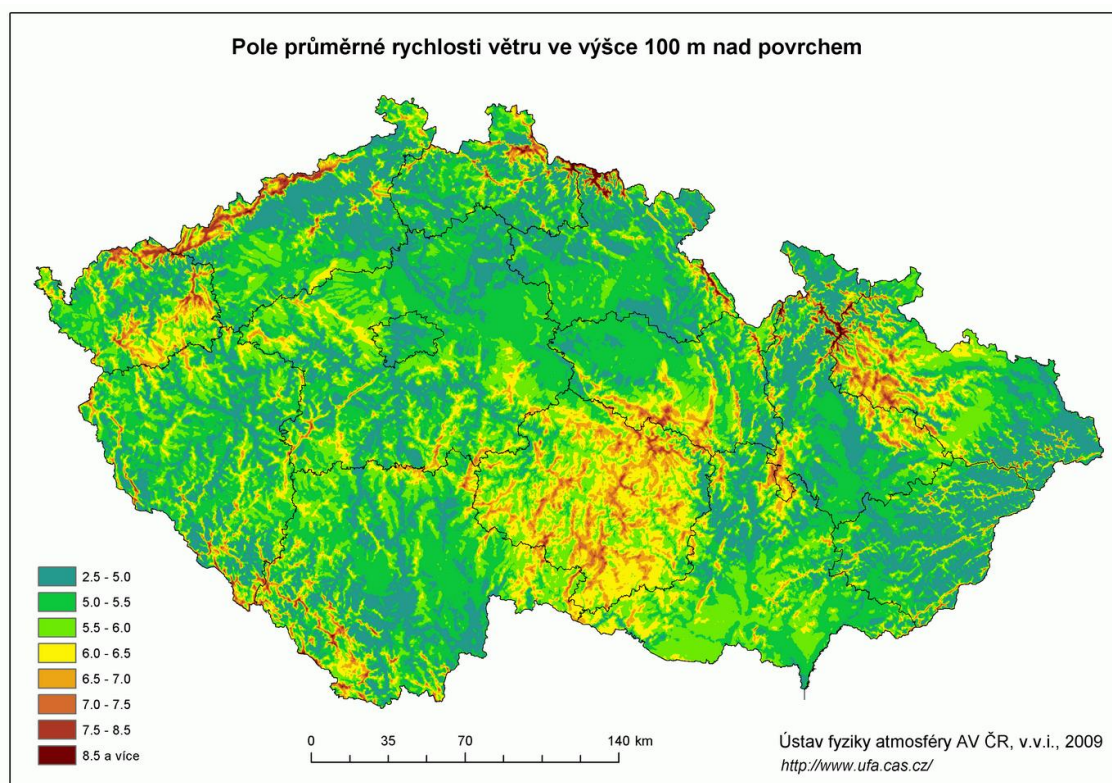
Turbíny využívají síly vznikající při obtékání rotorového listu vzduchem, tzv. aerodynamické vztlakové síly. Tato síla vzniká díky tvaru profilu lopatek, obdobně jako na křídlech letadla. Díky natočení úhlu náběhu lopatky se snažíme dosáhnout nejvyšší účinnosti, tedy poměru vztlakové síly zapříčiňující otáčení turbíny a odporové síly působící proti otáčení. Ze zákona o zachování hybnosti a zákona zachování energie určit maximální příkon předávaný ze vzduchu větrné elektrárně známý jako Betzova mez $P_o/P_{\max} = 16/27$ tedy cca 60 % [13], tento vztah respektuje skutečnost, že turbína může z proudícího vzduchu odebrat jen část energie (nedokážeme vzduch za turbínou zastavit). Vztlakové turbíny dosahují vyšší účinnosti, proto jsou používanější. Známe horizontální a vertikální provedení vztlakových turbín. Typickým reprezentantem vertikálních turbín je Darierova turbína, jejíž účinnost se uvádí okolo 35 – 38 % [19], pro svůj start vyžaduje vyšší rychlost větru a většina instalací je spíše nižšího výkonu. Výjimkou je Britský projekt Aero-Generator X, který by měl mít 10 MW [11]. Horizontální turbíny musí svůj rotor na rozdíl od vertikálních neustále natáčet do směru větru, ale mají nejvyšší účinnost dle [19] až 45 - 48 % při jmenovitých otáčkách. Drtivá většina světově instalované kapacity větrných elektráren jsou horizontální vztlakové turbíny.



Obr. č. 4: (vlevo) Darrieova vztlaková vertikální turbína, zdroj [19], autor: Carl von Canstein.
Obr. č. 5: (vpravo) Offshore park VTE, horizontální vztlakové turbíny, zdroj [38], autor: Sutterstock.

Větrná energie se vyznačuje svojí nízkou koncentrací, proto se instalace provádí jen v lokalitách, kde je dostatečná průměrná rychlost větru. Dle studie v [6] se vyplatí realizovat VTE parky s turbínami velkých výkonů od průměrné rychlosti $6,54 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, pro malé samostatně stojící turbíny je mezní průměrná mezní rychlost $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Ale díky novým technologiím, například tzv. Smart blades, je tato průměrná hranice postupně snižována.

Podle hybridních modelů VAS a WASP dosahuje ve 40 metrech nad povrchem vítr průměrné rychlosti $6,42 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ na 9 % území, dvojnásobné průměrné rychlosti $12,84 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ už jen na 1,2 % území ČR, situaci ve sto výškových metrech zobrazuje následující obrázek č. 6.



Obr. č. 6: Mapa průměrné rychlosti větru ve výšce 100 m na území ČR, zdroj [39].

Dle této mapy průměrná rychlost větru vysoce koreluje s nadmořskou výškou, nejvyšší průměrná rychlost je v kraji Vysočina.

Výkon větrné elektrárny je vyjádřen jako:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v^3 \cdot \eta. \quad (2)$$

Kde je P výsledný výkon, ρ zastupuje hustota vzduchu (obvykle $1,25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ na hladině moře), S vyjadřuje čelní plochu rotoru, v je rychlost větru před turbínou a η vyjadřuje účinnost větrné turbíny.

Průměrně větrné elektrárny vyrábějí elektrickou energii po většinu doby provozu (přibližně 70 % až 85 % provozní doby [6]), ale při výrobě značně kolísá výkon dle větrných podmínek. Výrobní začíná dodávat energii od $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a při 25 až $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ je zastavována (vichřice) [6]. Životnost větrných elektráren se uvažuje od 20 do 25 let.

Klady:

- provozem nevzniká žádný tuhý odpad a emise,
- nízký zábor zemědělské plochy,
- možnost umístění výroben do moře (jen u offshore).

Zápory:

- problém s regulovatelností výkonu,
- mění krajinný ráz,
- nízké roční využití viz kapitola 2.5.1,
- v ČR velmi zdlouhavý proces od schvalování projektu k realizaci.

V minulosti se často diskutovala hlučnost výroben (výrobní z první poloviny 90 let minulého století), díky pokroku v konstrukci VTE, dnes je plněn hygienický limit 40 dB ve vzdálenosti 500 m od stožáru výrobní [8]. Dle výzkumu britské Královské společnosti pro ochranu ptáků připadá na každých deset tisíc ptáků pouze jedna smrtelná kolize, větší hrozbou je pro ně automobilová doprava nebo vedení vysokého napětí [8]. Vliv stínu rotující vrtule je snaha eliminovat již ve fázi projektu samotným umístěním výrobní.

2.5.1 Větrné elektrárny v ČR

V roce 2015 vyrobily VTE 6 % z veškeré elektrické energie vyrobené OZE, přes tři čtvrtiny této energie vyrobily elektrárny s instalovaným výkonem přes 2 MW, přesné rozdělení a průměrná roční doba využití maxima je v níže zobrazené tabulce:

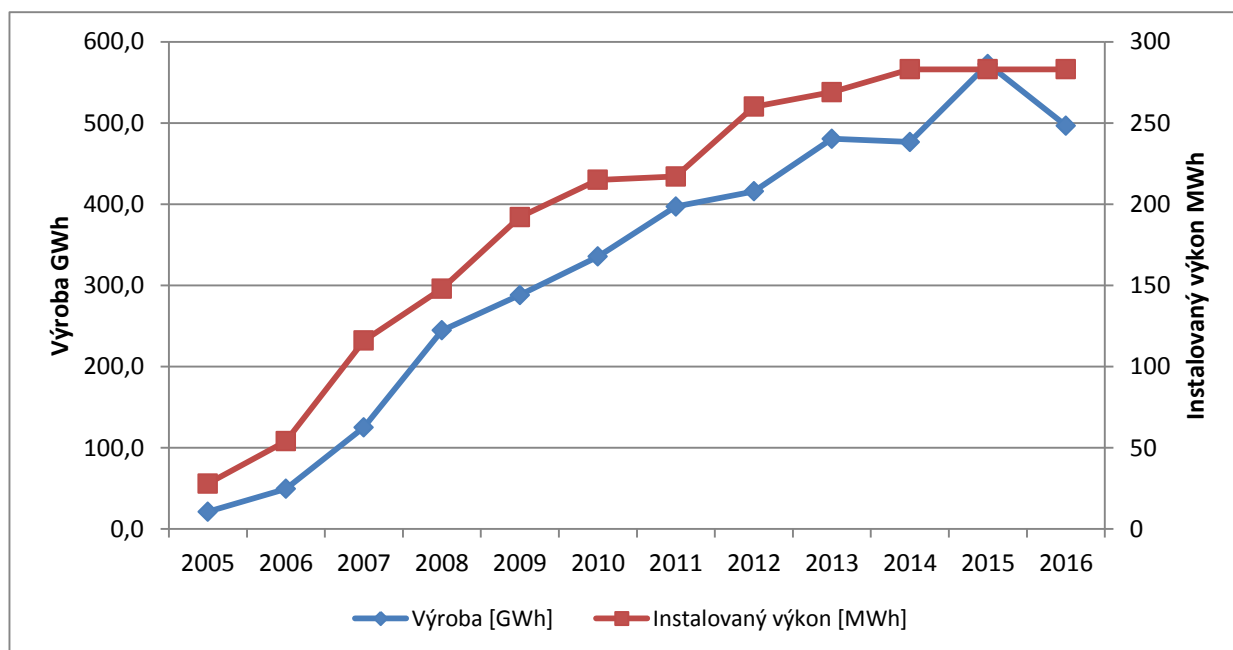
Tab. č. 2: Rozdělení instalovaného výkonu VTE a výroby energie roku 2015 dle velikosti výrobní, zpracováno na základě [3].

	Celkový instalovaný výkon [MW]	Celkový instalovaný výkon [%]	Výroba elektřiny brutto	Výroba elektřiny brutto [%]	Tech. vlastní spotřeba [MWh]	Roční využití [hod]
VTE celkem	280,6	100,0%	572 611,6	100,0%	9 142,1	2040,7
do 0,5 MW včetně	3,0	1,1%	1 876,0	0,3%	21,1	625,3
nad 0,5 do 1 MW včetně	5,8	2,1%	9 417,8	1,6%	131,4	1623,8
nad 1 do 2 MW včetně	58,4	20,8%	125 418,1	21,9%	773,3	2147,6
nad 2 MW	213,6	76,1%	435 899,6	76,1%	8216,3	2040,7

Zajímavé je nízké roční využití u malých VTE do výkonu 0,5 MW, vliv na to může mít to, že tyto elektrárny jsou celkově menší (velikost plochy rotoru odpovídá dle rovnice dva výkonu výroby), rotor je tedy v menší výšce nad povrchem. Čím níže je rotor, tím více je vystavován turbulentnímu proudění, které pro VTE není optimální, zároveň průměrná rychlost větru se snižuje spolu s výškou nad úrovní terénu.

Poslední nové elektrárny VTE byly v ČR uvedeny do provozu v roce 2013, od tohoto roku se instalovaný výkon ustálil na 283 MW [11] (dle [3] 280,6 MW).

Na pozastavení výstavby má vliv nižší úroveň vypsání podpory OZE od roku 2014. Investoři v ČR také často narážejí na odpor obyvatel a vlastníků pozemků v dané lokalitě. Prostor pro instalace je dále omezen chráněnými krajinnými oblastmi, vojenskými prostory, leteckými koridory.



Obr. č. 7: Vývoj instalovaného výkonu a vyrobené elektrické energie VTE v ČR, zpracováno na základě [3],[11].

V roce 2015 bylo přibližně 0,80 % hrubé domácí produkce vyrobeno větrnými elektrárnami. VTE se podílí na celkovém instalovaném výkonu v energetickém mixu ČR 6 % [9]. Největší podíl instalací VTE je v Ústeckém 30,8 % (86,8 MW), v Karlovarském kraji cca 18,6 % (52,1 MW), Olomouckém kraji cca 15,6 % [9].

2.5.2 Budoucnost větrných elektráren

Jak bylo uvedeno v předchozích kapitolách, v ČR jsou podmínky pro VTE omezené, dle NAP je počítáno s dalším rozvojem VTE. ČR se svými 283 MW zhruba v třetině instalovatelné kapacity, která dle [7] činí celkem 900 MW. V [7] ČEZ prezentoval své strategické plány, které se měly rozvíjet dle politické podpory, „malý“ počítal s instalací 100 MW, „velký“ s 500 MW VTE. Dle trendu posledních tří let, kdy nebyla postavena žádná nová výrobná, jsou podmínky pro investice do VTE nepříznivé. Dle NAP pro OZE [5] by měl být instalovaný výkon VTE 525 MW a roční brutto výroba na úrovni 1050 GWh. V roce 2016 je plnění výsledků na přibližně 50 % NAP pro OZE.

Pro VTE jsou nejvhodnějším místem přímořské lokality, kde je stálé větrné proudění, které dosahuje rychlosti 8 – 10 m.s⁻¹. Toho hojně využívají přímořské státy, které do těchto lokalit instalují offshore i onshore VTE parky. V EU byla přijata směrnice, podle které se v klíčových oblastech, kde se instaluje velké množství VTE (Německo, Dánsko, Belgie apd.) soutěží nejnižší náklady, s kterými bude VTE v budoucnu vyrábět. Investoři v klíčových zemích aktuálně vyčkávají, co tento nový mechanismus přinese a jak ovlivní trh, viz kapitola 2.3. Offshore VTE jsou prezentovány jako jeden z významných prvků evropského energetického mixu v budoucnu, největším dnešním limitem jsou náklady na vyrobenou MWh, které se průměrně pohybují kolem 140 EUR/MWh [20].

Dle [22] byla v roce 2016 největší větrná turbína Vestas V164 s instalovaným výkonem 8 MW. Tato turbína má průměr rotoru 164 metrů. Vestas počítá s tím, že po finálních optimalizacích stoupne výkon výrobní na 8,3 MW. Dle zprávy [4] jsou v budoucnosti reálné výrobní s instalovaným výkonem přes 20 MW.

2.6 Sluneční energie

Sluneční energie dopadající na zemský povrch překonává 12 000 x naši energetickou spotřebu (kapitola 1.), zároveň je pohonem většiny procesů na Zemi. Množství dopadající energie se liší zeměpisnou polohou, meteorologickými podmínkami, ročním obdobím, sklonem plochy a denní dobou. My jsme zatím schopni získat jen zlomek z energie dopadající na zemi.

Elektrickou energii lze získávat ze slunečního záření přímo či nepřímo. Přímá přeměna využívá fotovoltaického jevu, při kterém se v polovodičích působením světla uvolňují elektrony, díky tomu na fotovoltaickém článku vzniká napětí. Nepřímá přeměna je založena na získání tepla a využívá se jen v zemích poblíž rovníku s vysokým dopadem sluneční energie. V ČR průměrně dopadne energie 1081 kWh/m² [7].

V této kapitole jsou zmíněny fotovoltaické elektrárny (dále jen FVE), které jsou nejrozšířenější. Zásadní vliv na to má dostupnost elektrického záření na celé zemi a velikost spolu se snadnou instalací. Velká výhoda je, že panely začínají na malém výkonu a velikosti. Díky tomu je možné FVE osazovat na plochy střech, kde jde o malé instalace o výkonech v jednotkách kW, které se daří integrovat do vedení nízkého napětí (nn), protože větší část je rovnou spotřebována v přípojném místě.

Opakem jsou velké instalace v jednotkách až desítkách MW, které se instalují na zemědělskou půdu, např. FVE Ralsko, což je skupina pěti výroben o celkovém instalovaném výkonu 55,6 MW [9].

Výroba FVE je energeticky velmi náročná, účinnost elektrárny je možné zvýšit natáčením panelu za sluncem, FVE dodávají energii jen během svitu slunce - viz obrázek č. 1.

Klady:

- provozem nevzniká žádný tuhý odpad a emise,
- dostupnost zdroje, možnost malých instalací,
- nejrychlejší realizace, snadná montáž.

Zápory:

- dodávka výkonu jen během dne, nestabilita dodávky (fluktace výkonu od 0 – 100 %),
- zábor zemědělské půdy,
- energeticky náročný výrobní proces,
- malé roční využití (v ČR okolo 1000 hod.),
- nepřesná predikovatelnost výroby.

2.6.1 Fotovoltaické elektrárny v ČR

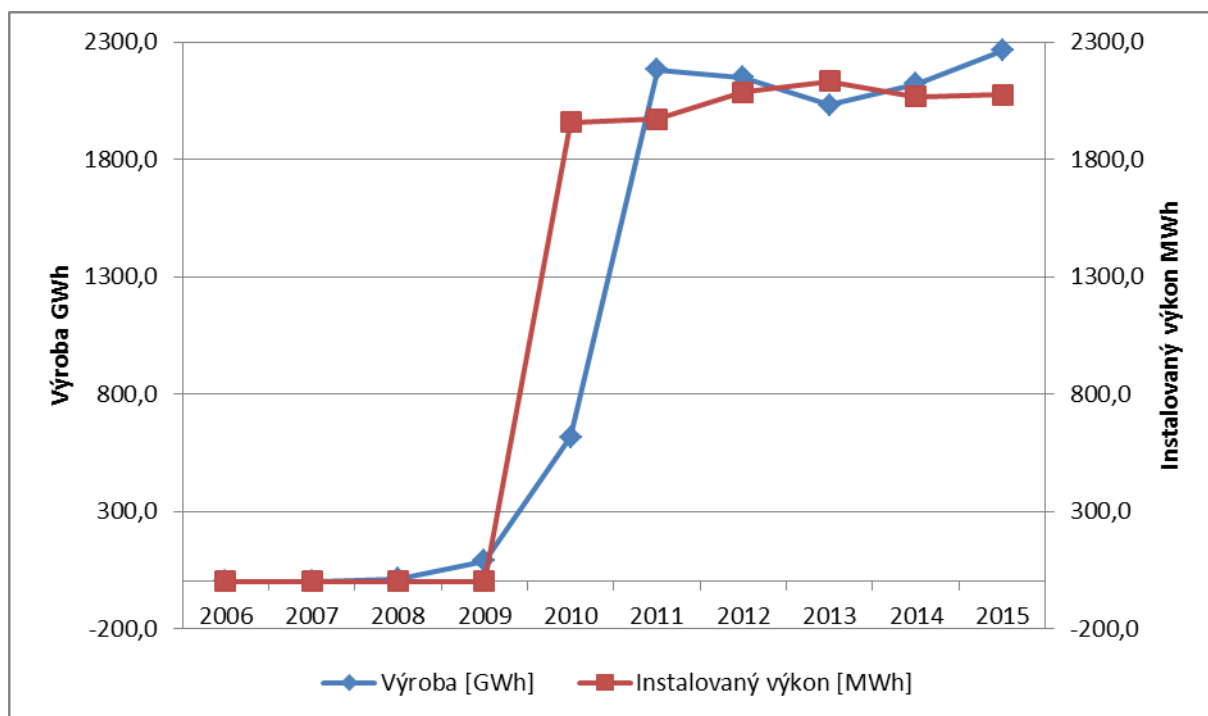
Fotovoltaické elektrárny zažily v posledním desetiletí extrémní nárůst instalovaného výkonu, tento druh výroby se postaral o masovou decentralizaci výroby elektrické energie. Dle [21] je v ČR 28 294 slunečních elektráren o celkovém výkonu 2 074,9 MW. Průměrný výkon elektrárny je tedy 73,3 kW, tato hodnota je zavádějící viz tabulka:

Tab. č. 3: Rozdělení instalovaného výkonu FVE a výroby energie roku 2015 dle velikosti výroby, zpracováno na základě [3].

	Celkový instalovaný výkon [MW]	Celkový instalovaný výkon [%]	Výroba elektřiny brutto [MWh]	Výroba elektřiny brutto [%]	Tech. vlastní spotřeba [MWh]	Roční využití [hod]
FVE celkem	2 074,9	100,0%	2 263 846	100,0%	19 651,3	1091,1
do 10 kW včetně	94,7	4,6%	96 328	4,3%	27,5	1017,2
nad 10 do 30 kW včetně	148,8	7,2%	148 550	6,6%	89,1	998,3
nad 30 kW do 100 kW včetně	52,0	2,5%	52 808	2,3%	108,6	1015,5
nad 100 kW do 1 MW včetně	450,3	21,7%	488 748	21,6%	4 012,8	1085,4
nad 1 do 5 MW včetně	990,2	47,7%	1 102 263	48,7%	8 020,2	1113,2
nad 5 MW	338,8	16,3%	375 147	16,6%	7393,1	1107,3

Polovina instalovaného výkonu jsou elektrárny o velikosti mezi 1 a 5 MW, výroba je ve všech kategoriích přímo úměrná instalovanému výkonu.

Historický vývoj instalací FVE je vyjádřen na obrázku č. 8. Za zmínku stojí skokový nárůst instalovaného výkonu mezi roky 2009 a 2010, kde z původních 464 MW vzrostl výkon na 1959,1 MW. Tento masivní nárůst byl způsoben velkou vysokou finanční podporou zdroje a zároveň možností zbudovat si libovolně velkou výrobu dle možností investora. Růst byl zastaven společností ČEPS a.s., která byla nucena požádat distribuční společnosti o pozastavení vydávání kladných stanovisek k žádostem o připojení neregulovatelných výroben FVE. Později reagovalo i ERÚ změnou výše vypisované podpory, nakonec i stát při novele staré legislativy zákonem č. 310/2013 Sb.



Obr. č.8: Vývoj instalovaného výkonu a vyrobené elektrické energie FVE v ČR, zpracováno na základě [3].

Fotovoltaické elektrárny přispěly v roce 2015 3,18 % z celkové brutto výroby elektřiny. Nejvyšší podíl instalovaného výkonu je v Jihomoravském kraji 21,5 % (447 MW), druhý je Středočeský kraj s 11,8 % (245,9 MW), výroba je rozptýlená, co se týče počtu výroben, nejrovnoměrněji ze všech zdrojů.

2.6.2 Budoucnost solárních elektráren

Dle predikce EU se mají stát v budoucnosti výrobní náklady na výrobu elektrické energie srovnatelné s aktuální tržní cenou. To by umožnilo zrušit podporu FVE a jejich další přirozený vývoj na trhu. Dodávka silové energie se ale neskládá jen z ceny samotné silové energie a právě poplatky za dodávku se díky vysokému nárůstu dodávky z FVE zvyšují, toto téma je podrobněji rozebráno v příloze č. 1.

Odhadovaný potenciál instalací FVE v ČR je 5500 GWh ročně, tedy dvojnásobek hodnoty vyrobené v roce 2015 [7]. Národní akční plán pro OZE má stanovené cíle instalovaných 2375 MW

a 2431 GWh, oproti skutečnostem roku 2015 je rozdíl 300 MW a 168 GWh. Solární energie má nejbližší k naplnění cílů Nap pro rok 2020 [5].

2.7 Energie vody

Koloběh vody je pravděpodobněji nejdéle využívaný přírodní zdroj energie. Nejčastěji využíváme energii vodního toku v průtočných elektrárnách, kde se část této energie kontinuálně přeměňujeme na elektrickou energii. V kapitole 2.7.1 budou popisovány průtočné elektrárny. Lidé začali budovat vodní díla z důvodu akumulace vody a snahy o řízení vodního toku, dnes je každá velká hráz vodního objektu osazena turbínou. Díky akumulaci vody je možné velmi rychlé řízení výroby elektrické energie a její částečné přizpůsobení pro regulaci denní spotřeby. Nejnovějším druhem jsou přečerpávací elektrárny, které vznikly z potřeby okamžitého zálohování velkých výrobních bloků, tato potřeba zdánlivě zanikla při spuštění společné evropské přenosové soustavy. Přečerpávací elektrárny jsou neustále jedinou smysluplnou možností, jak uskladnit elektrickou energii. Při nočním přebytku v PS přečerpávají PVE vodu do vyšší nádrže a při nutnosti krytí výpadků v PS využívají tuto zásobu k výrobě špičkové elektrické energie.

Díky těmto vlastnostem byli VE nejrozšířenější OZE před politickou podporou. VE mají při správném servisu velmi dlouhou životnost, zároveň mají vysokou dobu využití, díky tomu mají velmi nízké náklady na vyrobenou MWh.

Energie moře, tedy slapová energie, je z důvodu nevyužití v ČR vynechána.

Klady:

- umožňují velmi rychlou reakci, dle požadavků elektrizační soustavy,
- bezemisní a odpady neprodukující zdroj,
- vodní díla pomáhají k regulaci vodních toků při extrémních klimatických podmínkách,
- příspěvek zkratového výkonu točivých strojů,
- nejdelší životnost (dle [40]).

Zápory:

- omezená možnost výstavby výrobní v návaznosti na vodní tok,
- velmi vysoká vstupní investice, sektor, ve kterém je soukromé podnikání koncepčně omezeno,
- velká vodní díla zásadně změnila ráz krajiny a přinesla velké množství ekologických aspektů.

2.7.1 Vodní elektrárny v ČR

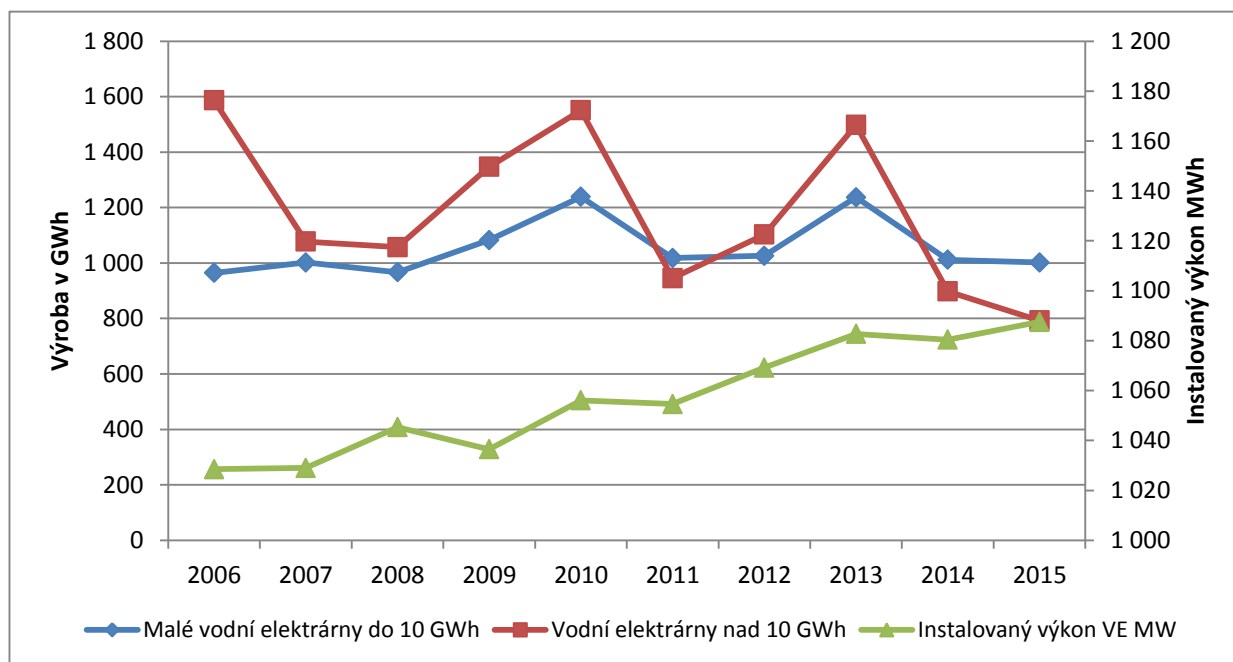
V této kapitole je čerpáno z [8]. Vodní elektrárny dělí [3] na malé vodní elektrárny do elektrického výkonu 10 MW, a velké elektrárny. Významnou většinu velkých vodních elektráren provozuje společnost ČEZ a.s. a jeho dceřiné organizace.

Obecně se považuje kapacita hydroenergetického potenciálu za vyčerpanou, to je do jisté míry pravda, protože na velkých tocích už jsou vodní díla postavena. Většina vhodných lokalit na Labi je již energeticky využívána, horní úsek Labe je plně využit. Spády nevyužitých lokalit se pohybují okolo dvou výškových metrů, tyto investice by měly velmi dlouhou návratnost, pokud by byly rentabilní. Na Vltavě je situace obdobná. Vltavská přehradní kaskáda, pravděpodobně nejznámější vodní dílo v ČR, v lokalitách Lipno, Orlick, Kamýk, Slapy, Štěchovice a Vrané je instalováno 706 MW elektrických (65 % z kapacity VE) [9]. V následující tabulce a grafu záměrně nejsou uvedeny PVE, protože nedodávají do ES standardní silovou energii, ale poskytují energii regulační, jejich instalovaný výkon je 1171,5 MW a v roce 2015 vyrobily 1275,9 GWh elektřiny [9].

Tab. č. 4: Rozdělení instalovaného výkonu VE a výroby energie roku 2015 dle velikosti výroby, zpracováno na základě [3].

	Celkový instalovaný výkon [MW]	Celkový instalovaný výkon [%]	Výroba elektřiny brutto [MWh]	Výroba elektřiny brutto [%]	Tech. vlastní spotřeba [MWh]	Roční využití [hod]
VE celkem	1087,5	100,0%	1 794 807	100,0%	16146,5	1650,4
do 1 MW	154,2	14,2%	445 888	24,8%	4724,2	2891,6
od 1 MW včetně do 10 MW	180,6	16,6%	555 909	31,0%	7834,7	3078,1
od 10 MW včetně	752,8	69,2%	793 010	44,2%	3587,7	1053,4

Dle tabulky č. 3 mají nejmenší dobu využití velké výroby s výkonem nad 10 MW, to je způsobeno tím, že část výkonu těchto výroben slouží jako záloha pro regulaci ES. Tento trend potvrzuje i obrázek č. 9, kde modrý trend reprezentující malé VE, které drží stabilní úroveň, zatímco červený trend meziročně výrazně kolísá (až o 300 GWh) a celkový trend pomalu klesá. Instalovaný výkon za tuto dobu narostl o 59 MW na celkových 1087,5 MW v roce 2015 (4,9 % instalovaného výkonu v ČR) [3].



Obr. č. 9: Vývoj instalovaného výkonu a vyrobené elektrické energie VE v ČR, zpracováno na základě [3].

Vodní elektrárny průtočné elektrárny přispěly v roce 2015 1,1 % z celkové brutto výroby elektřiny. Nejvyšší podíl instalovaného výkonu je v Jihomoravském kraji 664 MW, dále 156 MW v Jihočeském kraji.

2.7.2 Budoucnost vodních elektráren

Podle studie [7] je v ČR instalováno 2/3 teoreticky možné kapacity. Zbýlý potenciál je v lokalitách s malým spádem, nebo hrázích malých rybníků. Bez zásadnější podpory by tyto instalace nebyly rentabilní. Dle NAP pro OZE je cílem pro VE instalovaný výkon 1111 MW a roční brutto výroba 2471 GWh, v roce 2015 byl instalovaný výkon 1087,5 MW. I s přihlédnutím na pomalý trend výstavby a rekonstrukce stávajících OZE by tento trend byl dosažitelný. Brutto výroba již mez stanovenou NAP překročila v letech 2006, 2010 a naposledy v roce 2013 (2730 GWh), zde by stačilo provozovatele motivovat k podobnému režimu jako ve zmiňovaných letech.

Dle zprávy [4] je zhruba deset procent veškeré energie v EU vyrobeno díky VE. Mezi jednotlivými zeměmi jsou velké rozdíly v možnosti využití hydroenergetiky. Největší zastoupení VE v energetickém mixu má Norsko s 98 %, Island, Rakousko, Švýcarsko. Tyto země využívají vodních toků, které z velké části napájí tající pevninské ledovce. Ledovce jsou vyčerpatelným zdrojem.

S velkým očekáváním jsou tetovány výrobní využívající slapovou energii moře. Zdroje slapové energie mohou vzniknout jen s politickou podporou. Francouzská vláda avizovala přípravu 800 MW projektu, který by tuto energii přivedl do praxe. Již v minulosti se experimentovalo s přehrazením

zálivů a využití energie přílivu. Elektrárna La Race s instalovaným výkonem 240 MW předběhla dobu, bohužel elektrárna se potýkala s velkým negativním vlivem na ekosystém zálivu [7].

2.8 Energie biomasy

Na biomasu je kladena pozornost, jde o zdroj energie, v němž je „uložena“ sluneční energie. Pojmeme biomasu je obvykle myšlena látka biologického původu, jako je rostlinná biomasa pěstovaná v půdě či vodě, živočišná biomasa, vedlejší organické produkty nebo organické odpady. Ve smyslu biomasy, jako zbytků a odpadů, jsou chápány odpady z lesnictví, zbytky ze zemědělství a např. také biologicky rozložitelná část komunálního a průmyslového odpadu.

Energetické využití biomasy se z hlediska minimalizace ekologické zátěže považuje za vhodné. K nejčastěji používaným druhům biomasy patří rostliny pěstované pro energetické účely, dřevní odpad – štěpky, sláma obilovin, olejniny, exkrementy užitkových zvířat, nebo plynné produkty vznikající při provozu komunálních skládek a čistíren odpadních vod. Podle vlastností lze biomasu spalovat v kotli a vyvinutou párou roztáčet za výroby elektrické energie parní turbínu (při využití protitlaké, či odběrové turbíny může jít o kogenerační výrobu tepla a elektřiny). Při spalování je třeba dbát na vysoký obsah těkavé hořlaviny obsažené v biomase (u dřeva je 70 %, u slámy 80 %), protože při nesprávném spalování palivo skutečně neprohoří a může docházet k hoření až v komíně [8].

Další možností je anaerobní fermentace nebo termické zplyňování za účelem výroby bioplynu, který je následně spalován v kogenerační jednotce, kde se z něj vyrábí elektrická a tepelná energie.

Klady:

- efektivní nakládání s odpady, které minimalizuje ekologickou zátěž,
- zpracování biomasy může vhodně navázat na již existující zemědělskou či lesní výrobu a vhodně ji doplnit,
- zdroj podporující decentralizaci – lokální odpady se mohou zpracovat v místě tvorby, kogeneračně vyrobená energie může pokrýt spotřebu závodu a teplem je možné vytápět areál závodu, či přílehlé aglomerace.

Zápory:

- nedostatek lokálně produkované biomasy,
- nutnost likvidace popela (u spalování biomasy),
- náročnost sběru, dopravy, skladování a úpravy biomasy před spálením,
- při nevhodně nastavené politice podpory může dojít k vzájemné konkurenci na trhu (velký zákazník bude skupovat a svážet materiál z velké vzdálenosti a bude ji vykupovat za vysokou cenu), což může přinést deformaci trhů, která se promítne do sektorů, které dřív tyto levné odpady využívaly (např. papírenský průmysl).

2.8.1 Bioplyn v ČR

Bioplynová stanice je technické zařízení pro zpracovávání biomasy, bioodpadů nebo jiných biologicky rozložitelných materiálů. Vstupní suroviny jsou rozkládány anaerobní digescí, při které je produkován bioplyn, který se používá jako alternativní zdroj energie. To znamená, že za použití obnovitelných surovin vyrábí alternativu k zemnímu plynu, který patří mezi fosilní energetické zdroje.

Bioplynové stanice lze dělit podle použité technologie na výrobu bioplynu, nebo instalovaného výkonu výroby, zásadní je ale dělení dle druhu zpracovávaných vstupních surovin.

- **Zemědělská bioplynová stanice**

Jde o nejrozšířenější druh stanic, zejména v ČR. Vstupy tvoří zemědělské odpady a produkty. Základem jsou statková hnojiva (kejska, hnůj) a energetické plodiny (kukuřičné a travní senáže).

- **Průmyslová bioplynová stanice**

Bioplynové stanice jsou provozovány se záměrem výhradního nebo částečného zpracování rizikových odpadů). Jedná se o jateční odpady (krev, obsahy žaludků, tuk, střevní sliz), kaly z rozmanitých provozů (čistírny odpadních vod, palíren, škrobáren cukrovarů, droždářen) [23].

- **Komunální bioplynová stanice**

Slouží ke zpracování nejrůznějších komunálních bioodpadů. Komunální bioodpad tvoří odpad z údržby městské zeleně (větve a jiná forma dřevin není vhodná), vytríděné odpady z domácností a stravovacích provozů [23].

K 1. 1. 2017 je v ČR registrováno 554 zařízení zpracovávajících biomasu [24]. Z toho je 98 čistíren odpadních vod, 56 skládek jímajících skládkový plyn. Dále sedm komunálních, 11 průmyslových a 382 zemědělských bioplynových stanic [24]. V České republice bylo v roce 2015 vyrobeno 184,1 GWh spalováním bioplynu [3].

Tab. č. 5: Rozdělení výroby elektrické a tepelné energie BPS v roce 2015 dle typu výroby, zpracováno na základě [3]

	Výroba elektřiny brutto [MWh]	Výroba elektřiny brutto [%]	Tech. vlastní spotřeba el. [MWh]	Dodávka užitečného tepla [GJ]	Dodávka užitečného tepla [%]	Tech. vlastní spotřeba tep. [GJ]
Výroba z bioplynu	2 614 188,2	100,0%	184 120,1	2 336 434,2	100,0%	17 084,6
Skládkový plyn	104 476,6	4,0%	6 401,1	141 002,6	6,0%	18,3
Kalový plyn (ČOV)	93 275,4	3,6%	6 115,2	200 842,1	8,6%	2 238,5
Ostatní bioplyn	2 416 436,2	92,4%	171 603,8	1 994 589,6	85,4%	14 827,9

Bioplynové stanice se skládají z fermentorů, ve kterých probíhá anaerobní proces bez přístupu kyslíku. V tomto uzavřeném prostoru je jímán bioplyn, který je odváděn do kogenerační jednotky, kde je spalován. Kogenerační jednotka se skládá ze spalovacího motoru, který je spojený s elektrickým generátorem. Spalovací motor trvale běží optimálně na plný výkon, chlazením motoru je produkováno teplo, které se běžně používá k vytápění přilehlé infrastruktury. Kogenerační jednotka o jmenovitém

elektrickém výkonu má zhruba dvojnásobný tepelný výkon. Nešťastné bylo, že u výstavby bioplynových stanic byla podporována výroba elektrické energie. Kdyby byla podpora rozvržena mezi výrobu elektrické a tepelné energie, nutilo by to investory k hospodárnějšímu využívání tepelné energie, která se vyrábí v kogenerační jednotce.

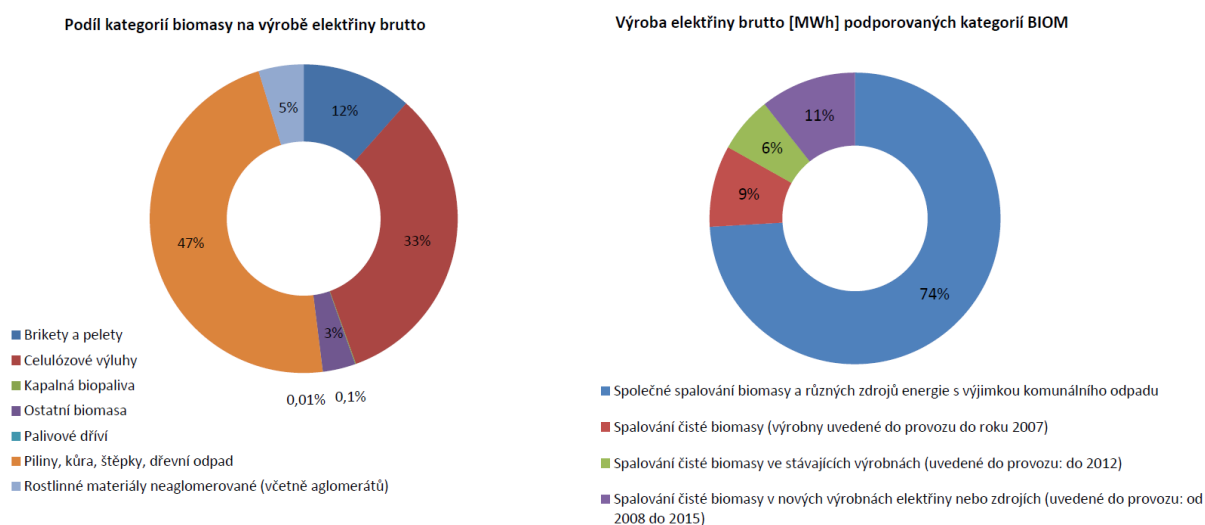
Bioplynové stanice jsou navrhovány pro trvalý chod a dodávku silové energie v BSLD pásmu. Přidáním plynojemu by bylo možné plyn jímat a provozovat BPS stanici jako špičkový zdroj elektrické energie. V současnosti není na trhu poptávka po malých decentralizovaných špičkových zdrojích elektrické energie.

2.8.2 Biomasa v ČR

Biomasa pro energetické použití dále zpracovává. Dřevo se tzv. štěpkuje, piliny se stejně jako sláma lisují do briket a pelet. Mezi energetické plodiny patří rychle rostoucí dřeviny (topol, akát, olše, atd.), jako nejperspektivnější se jeví uteuša - šťovík krmný, ale používají se např. i laskavec, konopí seté, sléz přeslenitý [8].

Spalováním bioplynu a biomasy bylo v roce 2015 vyrobeno 50 % energie z OZE (viz tabulka č. 1), přičemž z biomasy bylo vyrobeno 2090,8 GWh elektrické energie (22 % elektřiny vyrobené z OZE v roce 2015) [3]. V České republice se 74 % biomasy spaluje společně s uhlím, ve zbylých případech je spalována čistá biomasa, viz obrázek č. 11. Dle informací [8], Skupina ČEZ vyrobila v roce 2016 ve svých elektrárnách 500 GWh elektřiny, ČEZ začal se spalováním biomasy v roce 1999 v elektrárně Hodonín.

Přehled využívání jednotlivých druhů biomasy dává tabulka č. 5 a grafické srovnání je v obr. č. 10.



Obr. č. 10 (vlevo): Podíl jednotlivých typů biomasy na tuzemské výrobě elektřiny brutto OZE v roce 2015, zdroj [3].

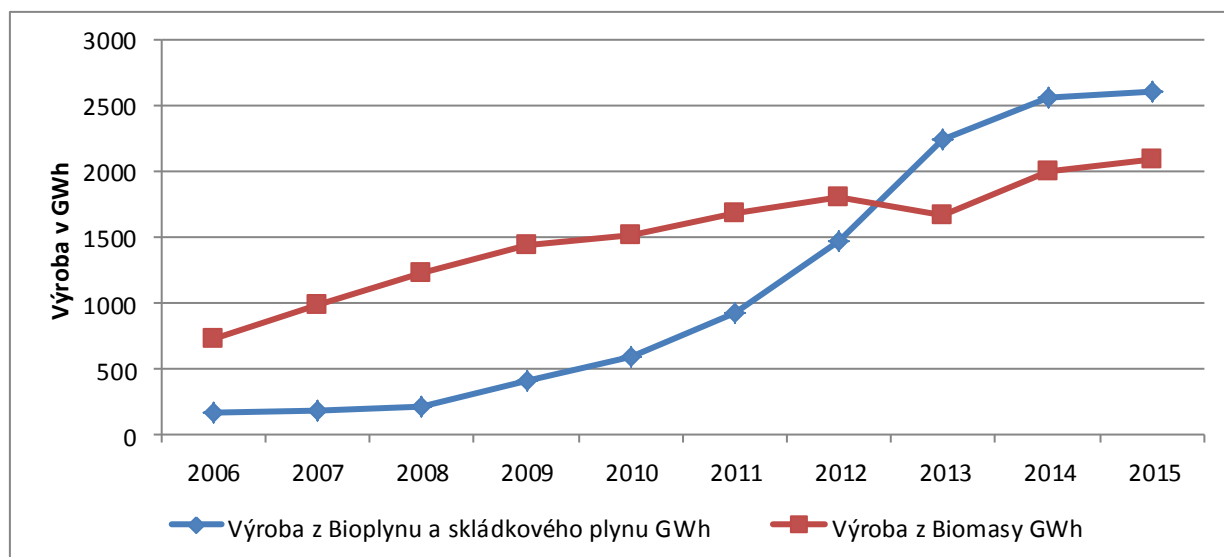
Obr. č. 11 (vpravo): Podíl jednotlivých druhů spalování biomasy na tuzemské výrobě elektřiny brutto v roce 2015, zdroj [3].

Nejvyužívanější druhem biomasy pro společnou výrobu tepla a elektřiny jsou celulózové výluhy a dřevní odpad (piliny, kůra, štěpky).

Tab. č. 6: Rozdělení výroby elektrické a tepelné energie biomasy v roce 2015 dle typu výroby, zpracováno na základě [3]

	Výroba elektřiny brutto [MWh]	Výroba elektřiny brutto [%]	Tech. vlastní spotřeba el. [MWh]	Dodávka užitečného tepla [GJ]	Dodávka užitečného tepla [%]	Tech. vlastní spotřeba tep. [GJ]
BIOM celkem	2 090 855,4	100,0%	195 568,7	13 728 108,3	100,0%	52 790,1
Brikety a pelety	242 404,9	11,6%	29 785,5	574 429,5	4,2%	3 364,2
Celulózové výluhy	687 900,6	32,9%	67 030,9	7 640 702,7	55,7%	23 012,7
Kapalná biopaliva	1 820,0	0,1%	23,4	5 132,2	0,0%	0,1
Ostatní biomasa	71 711,1	3,4%	757,8	565 946,8	4,1%	845,0
Palivové dříví	268,3	0,0%	6,5	0,0	0,0%	0,0
Piliny, kůra, štěpky, dřevní odpad	987 895,2	47,2%	96 005,0	4 761 336,5	34,7%	22 258,5
Rostlinné materiály neaglomerované (včetně aglomerátů)	98 855,5	4,7%	1 959,6	180 560,6	1,3%	3 309,6

Na následujícím obrázku č. 12 je zobrazen vývoj výroby z biomasy a bioplynu.



Obr. č. 12: Vývoj výroby elektrické energie z biomasy a bioplynu v ČR, zpracováno na základě [3].

Někteří zpochybňují ekologický přínos spalování biomasy. Naposledy toto téma konfrontoval generální ředitel Plzeňské teplárenské a.s. Mgr. Tomáš Drápela ve své přednášce na Dnech teplárenství a energetiky 2017. Narážel na logistickou náročnost, která je spjatá s vysokými emisemi dopravy, protože biomasa je mnohdy svážená z velkých vzdáleností. Například společnost ČEZ, uvádí v [8], že do svého Energetického centra Jindřichův Hradec (dříve závodní teplárna podniku Jitka) sváží balíky sena a slámy z okruhu 70 km. Pan Drápela uváděl, že Plzeňská teplárenská (dále jen PT) sváží dřevní štěpku z okruhu 60 km. Dle informací na svém webu PT uvádí, že ročně spálí až 285 000 tun biomasy, která je do společnosti dopravena automobilovou dopravou [25]. PT dále uvádí, že ve svém kotli K7, který spaluje čistě biomasu a využívá se k výrobě elektrické energie na 13,5 MW

generátoru, ročně spálí cca 115 000 t/rok biomasy, což ročně ušetří 80 000 tun uhlí. Spolu s nárůstem využívání biomasy nastávají obavy, zda bude na trhu dostatek paliva. Spalování biomasy přináší oproti spalování fosilních paliv zelený bonus z vyrobené energie a úlevy v oblasti emisních povolenek.

2.8.3 Budoucnost biomasy a bioplynu

Národního akční plán [5] nedefinuje u biomasy žádné cíle ohledně instalovaného výkonu. Na rozdíl od bioplynových stanic, kde počítá s instalovaným výkonem 403 MW.

Dle zprávy ERÚ [26] v roce 2016 dosáhla celková hrubá produkce elektřiny z bioplynu 2 600 GWh, o 10 GWh méně než v roce 2015. Národní akční plán počítá v roce 2020 s výrobou na úrovni 3041 GWh (výroba roku 2015 je 85 % plánu). Zdroje využívající biomasu byly s brutto výrobou v objemu 2090,8 GWh v roce 2015 na 95,6 % plánu NAP (2187 GWh) [5].

Největším limitem dalšího rozvoje spalování biomasy je dostatek cenově přijatelného paliva.

V roce 2016 byly zprovozněny dvě BPS, které zpracovávají biologicky rozložitelné odpady [26], z obrázku č. 12 je patrné, že trend velké výstavby BPS skončil spolu se státní podporou výkupní ceny elektřiny. Přitom kogenerační výroba je elegantní řešení na vytápění malých aglomerací, které postupně budou muset opustit staré fosilní vytápění, zde autor vidí zajímavý potenciál rozvoje, který se bude odvíjet od státní podpory.

2.9 Geotermální energie

V této kapitole je čerpáno z [8].

Geotermální energie je nejstarší energií na naší planetě. Nechá se využívat ve formě tepelné energie (pro vytápění), či pro výrobu elektrické energie v geotermálních elektrárnách. Obecně se řadí mezi obnovitelné zdroje energie, avšak některé zdroje geotermální energie jsou vyčerpatelné v horizontu desítek let.

V současnosti je celosvětově v geotermálních elektrárnách instalováno více než 10 000 MW [8], což je zlomkem celkového potenciálu. V Evropě je nejvhodnější zemí pro využití geotermální energie Island, s velkým odstupem také Itálie.

V našich podmínkách je možné využít pouze technologii HDR („hot dry rock“ – teploty kolem 200° C), tj. kdy dojde v příslušné hloubce k umělému vytvoření tepelného výměníku. Tento systém není do počtu instalací tak běžný jako přímé využívání hydrotermální energie (horká voda, pára).

U HDR se jedním vrtem k horké suché hornině v hloubce zhruba pět kilometrů přivede studená voda a dva boční vrty umožní ohřáté vodě cestu vzhůru. Tyto zdroje pohání turbínu generátoru a po ochlazení vody na povrchu se vrací prvním vrtem zpět do země. Při použití odběrových či protitlakých turbín je vedlejším produktem teplo, které lze využít např. k vytápění okolních aglomerací.

Obecně je vhodnou lokalitou v českých podmínkách místo s již narušenou podzemní horninou. Odborníci se shodují, že takovým místem mohou být Litoměřice, příp. Lovosice, Chomutov nebo Frýdlantský výběžek.

Klady:

- velmi malé vlivy na životní prostředí,
- nezávislost na dodávkách paliva,
- vysoká doba využití.

Zápory:

- jsou nejistoty v geologických podmínkách – zda se skutečně podaří vytvořit dostatečně velký tepelný výměník,
- omezení využití energie na vybrané lokality.

2.9.1 Budoucnost geotermální energie v ČR

Geotermální energie počítá s první instalací geotermálního zdroje o velikosti 10 MW v roce 2018, v roce 2020 je plánovaný nárůst na celkových 15 MW, výroba by měla začít na 40 GWh a v následujících letech stoupat na 80 GWh a na výsledných 111 GWh v roce 2020 [5].

Dle studie [7] je na našem území přibližně 60 vhodných lokalit, v kterých by se nechala instalovat zařízení o celkovém výkonu 250 MW.

2.10 Porovnání vlastností větrných elektráren s ostatními obnovitelnými zdroji

V České republice panují jen průměrné podmínky pro využití větrné energie, jak do rychlosti, tak do využitelných lokalit viz 2.5. V přímořských oblastech jsou podmínky nejideálnější, díky trvalému větrnému proudění ve směru od moře na pevninu. Proto dosahují přímořské VTE vyšší doby využití, než v ČR, kde je to přibližně 2000 hodin ročně. Horší dobu využití má FVE to, že mají oba zdroje nízkou dobu využití je, že přímo využívají energii, jejíž „dodávka“ je velmi těžko ovlivnitelná.

VTE vyrábějí elektrickou energii bezemisně, bez produkce odpadu při výrobě. Ve vztahu k instalovanému výkonu zabírají nejmenší zastavěnou plochu, avšak výroby musí stát v dostatečné vzdálenosti od aglomerací. Důvodem je dodržení hygienických norem hluku a vlivu stínu rotujícího rotoru na okolí. VTE dle názoru autora nejvýrazněji mění krajinný ráz, stožáry výroben jsou i přes 100 m vysoké.

2.10.1 Porovnání dle celkových měrných nákladů a využití instalovaného výkonu

Investoři nezveřejňují ceny realizovaných projektů, proto se v této kapitole vychází z indikativních hodnot technických a ekonomických parametrů z vyhlášky č. 338/2011 Sb., která nahrazuje přílohu č. 3 k vyhlášce č. 475/2005 [40], viz následující tabulka:

Tab. č. 7: Srovnání OZE z hlediska měrných investičních nákladů a poměrného ročního využití výkonu, zpracováno na základě [40]

Druh obnovitelného zdroje	Charakteristika výroby	Celkové měrné investiční náklady [Kč/kW _e]	Roční využití instalovaného výkonu [kWh/kW _e]
Energie vody		< 145 000	> 4 000
Energie biomasy	Spalující čistou biomasu	< 75 000	> 5 000
	Spalující plyn ze zplyňování	< 75 000	> 5 000
	Spalující skládkový, kalový plyn	< 50 000	> 7 000
	Spalující bioplyn	< 100 000	> 7 500
	Spalující důlní plyn	< 50 000	> 7 000
Energie větru		< 42 000	> 2 100
Geotermální energie		< 275 000	> 5 700
Energie slunce	Do 30 kW včetně	< 60 000	> 980
	Nad 30 kW	< 90 000	> 1 000

Dle srovnání má větrná elektrárna nejnižší měrné investiční náklady na jednotku výkonu. Nejdražší investice je do geotermální energie. Poměrně vysoké náklady, roční doba využití maxima jsou charakteristické pro vodní elektrárny. VE má jako jediný zdroj předpokládanou dobu životnosti 30 let, u ostatních OZE se uvažuje 20 let [40].

2.10.2 Porovnání kapacitního faktoru

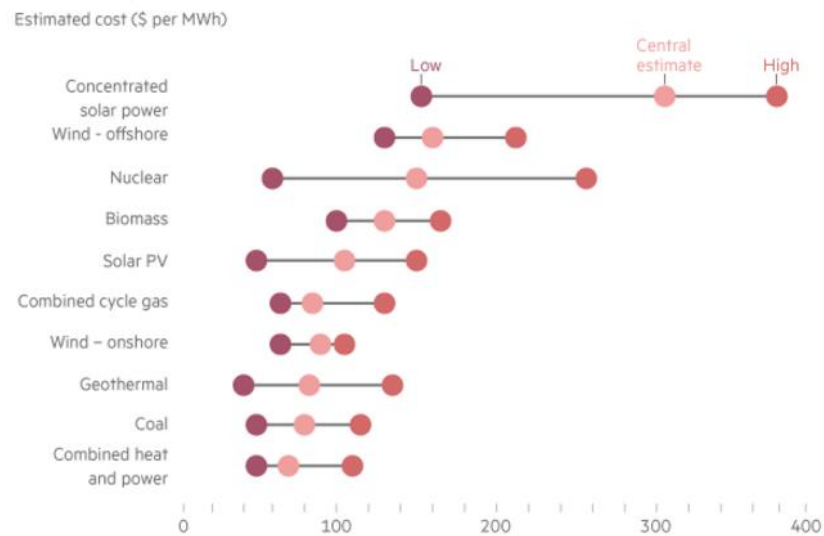
Kapacitní faktor (K) je další způsob vyjádření ročního využití instalovaného výkonu. Tento koeficient vyjadřuje poměr reálné doby výroby k maximální možné době výroby. Během provozu zařízení, kolísá výroba zařízení mezi 0 – 100 % jmenovité hodnoty. Ta se přepočítá na dobu provozu na úrovni výkonu 100 %, tzv. T_{max} . Koeficient K je poměrem T_{max} a počtem hodin kalendářního roku (8760). Tento faktor zároveň vyjadřuje, jak se která výrobná přispívá k úhradě spotřeby elektrické energie a jak moc je ho nutné zálohovat jinou výrobnou.

Tab. č. 8: Srovnání kapacitního faktoru jednotlivých OZE, zpracováno na základě [40].

Druh obnovitelného zdroje	Kapacitní faktor [%]	Doba využití maxima [hod/rok]
Bioplynové stanice	91,3	8000
Spalování biomasy	57,1	5000
Malé vodní elektrárny	45,7	4000
Větrné elektrárny	25,0	2190
Fotovoltaické elektrárny	11,4	1000

2.10.3 Porovnání nákladů vyrobené elektrické energie

U každé výroby se sleduje faktor ceny za vyrobenou MWh elektrické energie, srovnání je na následujícím obrázku č. 13.



Obr. č.13: Srovnání nákladů na vyrobenou MWh jednotlivých výroben elektrické energie, zdroj [20]

V grafickém porovnání je možné srovnat minimální (low), odhadnutý průměrný (Central estimate) a maximální (high) náklad na vyrobenou MWh. Nejnižší průměrnou cenu má dle odhadu v kogenerační výroba elektrické energie, na druhé pozici jsou klasické uhelné elektrárny. Onshore VTE elektrárny jsou v tomto srovnání páté z hlediska minimálních (cca dle [20] 62 EUR /MWh) i průměrně odhadnutých výrobních nákladů (cca dle [20] 90 EUR /MWh). Poslední instalace Offshore VTE dosahují dle Bloomberg New Energy Finance průměrných nákladů ve výši 140 EUR/MWh, ale dle prognóz které počítají s optimalizací evropské legislativy by mohly mít výroby instalované v roce 2025 variabilní náklady na úrovni 80 EUR/MWh [20]. Aktuálně nejlevnější projekt offshore by měla být dánský Horns Rev 3. Tento projekt s instalovaným výkonem 400 MW je považován za milník, protože náklady 103 EUR/MWh byly vysoutěženy v aukci, kterou vyhrála firma Vattenfall [37].

Z výše uvedeného je patrné, že OZE by se bez politické podpory nemohly prosadit v klasickém tržním prostředí.

3 Legislativní rámec připojení a provozu výroben k síti

Následující kapitola shrnuje hlavní hlediska, na které je třeba brát zřetel při připojování výrobní elektřiny do sítě vn. Tato kapitola je zpracována dle [27], [28], [29] a [34]. Každé zařízení, které je připojováno do distribuční soustavy ze své strany zpětně ovlivňuje kvalitu napětí v distribuční síti, ať jde o spotřebič, či zdroj elektrické energie. Zpětným ovlivňováním kvality napětí je myšlena změna frekvence napětí, změna amplitudy napětí, změna odchylek napětí, změna nesymetrie, emise flikru a emise harmonických do distribuční sítě. Tato změna poměrů kvality napětí – „rušivé emise“ se neprojevuje jen v místě připojení zařízení, ale dále se šíří distribuční soustavou. Stejně tak na připojované zařízení působí „rušivé emise“ způsobené ostatními zařízeními v DS. Proto při posuzování připojitelnosti jednotlivých zdrojů v dané DS rozhodují technické parametry a vlastnosti připojovaného zařízení a místo jeho připojení, neboli velikost zkratového výkonu nebo zkratové impedance v požadovaném místě připojení.

3.1 Přihlašovací řízení

Při zřizování vlastní výrobní je třeba dbát na platná nařízení a předpisy:

- Současné platné zákonné a úřední předpisy.

Především Zákon č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích (Energetický zákon) v platném znění, vyhlášku ERÚ 16/2016 ze dne 22. 1. 2016 (v této kapitole dále jen jako vyhláška [30]) o Podmínkách připojení k elektrizační soustavě a ČSN EN 50160 (33 0122): Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě.

- Platné normy ČSN, PNE, případně PN PDS.
- Předpisy pro ochranu pracovníků a bezpečnost práce.
- Nařízení a směrnice PDS.

Přihlašovací řízení má několik úrovní, kterými je nutno projít a splnit je před tím, než je možné výrobní vybudovat a začít ji provozovat.

3.1.1 Technické konzultace

Provozovatel DS na základě obecného požadavku poskytne žadateli informace o možnostech a podmínkách připojení výrobní k DS. Dále žadatele informuje o podkladech, které musí žádost o připojení obsahovat (viz kapitola č. 3.1.2). Poskytnuté informace ze strany PDS nejsou závazné a písemné vyjádření není použitelné pro zahájení územního a stavebního řízení. Vyjádření nemá časově vymezenou platnost.

3.1.2 Zahájení řízení o souhlas s připojením výroben/zdrojů do sítí DS

Pro zahájení řízení je potřeba včas předat PDS žádost o připojení k DS dle vyhlášky [30], dotazník s technickými údaji zařízení, který je k dispozici [28] v kapitole 17.1, dále:

- katastrální mapu s vyznačením pozemku nebo výrobní, výpis z katastru nemovitostí,
- údaje o zkratové odolnosti předávací stanice,
- požadovaná hodnota rezervovaného výkonu a rezervovaného příkonu,
- stávající hodnota rezervovaného příkonu a výkonu,
- popis ochran s přesnými údaji o druhu, výrobci, zapojení a funkci,
- příspěvek vlastní výrobní k počátečnímu zkratovému proudu v místě připojení k síti
- u střídačů, měničů frekvence a synchronních generátorů s buzením napájeným usměrňovači: zkušební protokoly k očekávaným proudům harmonických a meziharmonických, impedance pro frekvence HDO (183 až 283 Hz),
- u větrných elektráren: osvědčení a protokol k očekávaným zpětným vlivům podle [31] (jmenovitý výkon, činitel flikru, kolísání činného a jalového výkonu, vnitřní úhel zdroje, meze pro řízení účinníku - kapacitní/induktivní, emitované harmonické a meziharmonické proudy a náhradní schéma pro určení příspěvku do zkratu a vlivu na úroveň signálu HDO, vybavení ochranami a jejich vypínací časy).

PDS do 15 dnů posoudí, zda žadatel dodal kompletní žádost. Pokud žadatel některé z uvedených náležitostí nedodá, nebude žádost ze strany PDS posuzována a žadatel bude vyzván k doplnění žádosti o připojení výrobní.

3.1.3 Posouzení žádosti o připojení výrobní

Provozovatel DS po obdržení žádosti rozhodne ve lhůtě 20 dnů:

- zda je možné výrobní připojit s ohledem na:
 - rezervovaný výkon předávacího místa mezi PS/DS,
 - volnou distribuční kapacitu na úrovni trafostanice 110 kV/VN,
- zda je nutné, aby žadatel nechal možnost připojení výrobní k DS ověřit studií připojitelnosti.

Studie připojitelnosti

Studii si nechává zpracovat PDS na náklady žadatele. PDS poskytuje nutnou součinnost, tedy podklady v rozsahu potřebném pro zpracování studie. Studie musí obsahovat posouzení možného připojení výrobní s ohledem na:

- napěťové poměry ve všech posuzovaných uzlech sítě,
- zatížitelnost jednotlivých prvků,
- dodržení parametrů zpětných vlivů na DS dle kritérií v části 10 a 11 zdroje [34], tedy normy 50160, tj. – zejména změny napětí vyvolané trvalým provozem výrobní, změny napětí při spínání, útlumu signálu HDO, flikru, harmonických a dalších kritérií daných PPDS (dle

charakteru výroby), které jsou dále rozebrány v kapitole 3.3.

Obecně je rozsah připojení do sítí určen stanicí s napájecím transformátorem sítě, vedením s posuzovaným zdrojem a jeho doporučeným přípojným bodem a dalšími vedeními s provozovanými a plánovanými zdroji i zátěžemi těchto vedení. Posuzovány jsou provozní stavy definované stavy PDS. Posuzují se případné přetoky do vyšších napěťových hladin a jejich vliv na činnost regulace napětí transformátorů.

Výpočtu chodu sítě jsou dle požadavků provozovatele DS prováděny pro letní minimální zatížení, zimní maximální zatížení, případně takové zatížení, při kterém bude dosahováno maximum výroby v posuzované síti. Protože v době přípravy studie připojitelnosti nejsou k dispozici údaje o chování zdroje v ustálených a přechodových stavech, prokáže žadatel připravenost a vybavenost zdrojů doložením zkušebních protokolů výrobce.

Po předložení studie připojitelnosti s kladným výsledkem je žadateli zaslán dle vyhlášky [30] návrh smlouvy o připojení, nebo návrh smlouvy o budoucí smlouvě. Ve smlouvě je stanoven termín připojení výroby a další podmínky připojení výroby k DS.

V průběhu žádosti o připojení může žadatel snížit celkový instalovaný výkon, změnit typ a počet výrobních jednotek do výše původního požadavku na instalovaný výkon, změnit polohu výroby s podmínkou zachování původního přípojného místa k DS. Žadatel nemůže v průběhu žádosti zvýšit celkový instalovaný výkon, změnit druh výroby a místo připojení výroby k DS, pro tyto změny je potřeba podat novou žádost o připojení výroby k DS.

3.1.4 Projektová dokumentace

Žadatel je povinný předložit projektovou dokumentaci výroby elektřiny k odsouhlasení PDS, dle vyhlášky 499/2006. Projektová dokumentace musí obsahovat minimálně tyto základní podklady:

- realizaci požadavků PDS dle vyjádření (návrhu smlouvy o připojení, nebo SoSB),
- délky, typy a průřezy vedení mezi výrobnou a místem připojení k DS, parametry použitých transformátorů,
- situační řešení připojení výroby k DS,
- typy, parametry a navržené hodnoty nastavení elektrických ochranných zařízení souvisejících s DS,
- parametry a provedení řízení činného a jalového výkonu (pokud je požadováno podle části 9),
- parametry a provedení zařízení pro snížení útlumu signálu HDO, pokud vypočtené nebo naměřené hodnoty,
- přesahují limity povolené PPDS nebo technickými normami,
- návrh provedení fakturačního měření a jeho umístění,
- potřebné údaje k rozhraní pro dálkové ovládání, měření a signalizaci pro vazbu na řídicí systém DS. (bylo-li požadováno),
- zařazení vyhrazeného elektrického technického zařízení do tříd a skupin podle vyhlášky č. 73/2010 Sb.,
- popis funkcí ochranných a automatizovaných zdrojů majících vazbu na provoz DS.

Projektovou dokumentaci žadatel dodá PDS v papírové formě, PDS je oprávněn si celou dokumentaci ponechat pro kontrolu při uvádění výroby do provozu. Provozovatel DS se vyjádří k projektové dokumentaci do 30 dnů. V případě kladného vyjádření zašle PDS požadavek na předložení zpráv o výchozí revizi výroby, jejího připojení k DS, ochran souvisejících s DS a dále místních provozních předpisů.

3.2 Dálkové řízení výroby v DS

Připojení k síti PDS se děje na předávacím místě s oddělovací funkcí, přístupném kdykoliv personálu PDS. U zdrojů do 3,7 kVA a trojfázových do 30 kVA je tento požadavek splněn, pokud jsou zdroje osazeny zařízením pro sledování stavu sítě s přiřazeným spínacím prvkem.

U zdrojů s instalovaným výkonem 100 kVA a více musí být spínač s oddělovací funkcí vybaven dálkovým ovládáním a signalizací stavu –, tedy dispečerské řízení. Řízení musí být instalováno tak, aby zůstalo funkční i po silovém odpojení výroby z paralelního provozu s DS a umožnilo automatizaci celého procesu. Výrobna nad 100 kVA musí dále splňovat:

- řízení spínače s oddělovací funkcí (především vypnutí při kritických stavech v síti – „dálkově VYP“/ZAP),
- omezení dodávaného činného výkonu (s výjimkou MVE podle Zákona č. 458/2000 Sb. Energetický zákon),
- řízení jalového výkonu a napětí,
- rozhraní pro přenos dat.

Výrobna s PDS komunikuje pomocí rozhraní pro přenos dat, za tímto účelem striktně vymezila význam, pojmů:

- **Disponibilní výkon**

Datové slovo „disponibilní výkon“ udává hodnotu výkonu, který by mohl být dodáván bez omezování. K tomu je zapotřebí zvažovat jak povětrnostní podmínky (VTE, FVE), tak i stav výroben (revize, poruchy). Datové slovo „disponibilní výkon“ je hlášení PDS z výroby.

- **Jalový výkon**

Rozhraní může být provedeno tak, aby byly současně pokryty oba rozsahy jalového výkonu. Výrobna musí reagovat pouze ve smluvně dohodnutých rozsazích. Hodnota zadaná PDS bude potvrzena řídicím systémem výroby.

- **Činný výkon**

Ke snížení činného výkonu je předán řídicímu systému výroby regulační povel, který udává maximální činnou dodávku výrobních jednotek v procentech smluvně dohodnutého výkonu. Hodnota zadaná PDS bude řídicím systémem výroby potvrzena.

3.2.1 Chování výroby v DS

Výrobna připojená do sítě vn a 110 kV musí být schopna trvalého provozu, pokud je frekvence v přípojném bodě v mezních 49 až 51 Hz. V rozmezí 47 až 52 Hz musí být výrobna schopna zůstat připojená, pokud jí nevypne ochrana rozhraní DS.

Stejně tak musí výrobná připojená do sítě při změně napětí v místě připojení $\pm 10 \% U_n$. Pokud půjde o podkročení této mezní hodnoty, je přípustné snížení výkonu výrobní.

Výrobní zařízení se musí při dodávce do sítě podílet staticky či dynamicky na udržování napětí sítě.

Statické řízení napětí

Výrobná za normálního provozu dodržuje napětí ve smluvně stanovených mezích, při tom je výrobná povinna korigovat i jalový výkon ve stanovených mezích, vzhledem k dodávce činného výkonu.

Dynamická podpora sítě

Jako dynamická podpora je chápána schopnost výrobní udržovat napětí při poklesech napětí v sítích vvn a zvn, které přispívá zamezení nežádoucímu odpojování výkonu napájející sítí vn, tedy potencialem rozpadu sítě. Výrobní musí být schopné zůstat připojeny i při poruchách v síti, které vyvolávají pokles napětí. Na zdroje jsou kladeny rozdílné nároky, dle toho zda jsou připojeny za pomoci střídače/měniče, nebo pokud jde o synchronní jednotky, které z principu poskytují podporu při změnách napětí.

Dispečerské řízení

V následující kapitole je čerpáno ze zdroje [32]. Výrobná musí být provozovatelná se sníženým činným výkonem. Provozovatel distribuční soustavy (PDS) je ve smyslu Energetického zákona Zákona č. 458/2000 Sb. oprávněn ke změně činného výkonu v případech nebezpečí vzniku ostrovního provozu, ohrožení statické či dynamické stability, vzrůstu frekvence ohrožující systém, nebo z důvodu údržby a provádění stavebních prací.

Ve výše uvedených případech má PDS právo vyžadovat automaticky působící přechodné omezení dodávaného činného výkonu (např. na 60, 30 a 0 % instalovaného výkonu) nebo odpojení zařízení. PDS nezasahuje do řízení výrobní, nýbrž zadává požadovanou hodnotu snížení výkonu.

Specifikace dálkového řízení, elektroměrů, řídicího systému, spínacího zařízení, ochran a chování výroben v síti definují „Pravidla provozování distribučních soustav – příloha č. 4“ [28] v kapitolách č. 5 až č. 9.

Řízení jalového výkonu

Úroveň řízení jalového výkonu závisí vždy na konkrétním přípojním místě v DS a určuje ho PDS po konzultacích s výrobcem, samotné řízení vychází z norem [29]. V síti vn musí být účinník, za normálních provozních podmínek a při dovolených tolerancích jmenovitého napětí, mezi 0,90 kapacitní a 0,90 induktivní za předpokladu že činná složka výkonu je nad 10% jmenovitého výkonu zdroje. Výrobci druhé kategorie, do které je zařazuje PDS, se musí pohybovat v rozmezí 0,95

kapacitní a 0,95 induktivní za předpokladu, že činná složka výkonu je nad 10 % jmenovitého proudu (transformátor proudu) měřeného místa.

3.3 Kodex ENTSO-E

V EU byl za účelem spolehlivého provozu PS a DS přijat jednotný kodex ENTSO-E (evropských provozovatelů přenosových soustav) [34]. Tento kodex se snaží zajistit sjednocením technických parametrů i požadavků na výrobní bezpečný provoz při běžném provozu i při přechodových jevech v ES ČR a propojených ES okolních evropských zemí.

Dle kodexu jsou zdroje nově dělené do skupiny A-D dle instalovaného výkonu, výrobní musí být vybaveny řídicím systémem příslušným dané skupině. Provozovatel DS může stanovit odlišné mezní výkony, ty nemohou být vyšší než hodnoty dle [34].

Tab. č. 9: Rozdělení výroben elektřiny dle Pravidla provozování distribučních soustav – přílohy č. 4

Typ zdroje	Hranice P dle ENTSO-E	Podkategorie	Hranice P dle PDS	Požadavky na zařízení
A	800 W	A1	≥ 800 W	dle ENTSO-E [34]
		A2	≥ 11 kW	Komunikace s ŘS PDS, Snížení činného výkonu, Regulace U/Q s dálkovým zadáváním
B	1 MW	B1	≥ 100 kW	dle ENTSO-E [34]
		B2	≥ 1 MW	Rozšířený P-Q diagram
C	50 MW	C	≥ 30 MW	dle ENTSO-E [34]
D	75 MW	D	≥ 75 MW	dle ENTSO-E [34]

Vybrané technické parametry a řízení, kterými musí být výrobní dle zařazení do skupiny B–C vybaveny, jsou shrnuty v tabulce č. 3 a tabulce č. 4. Zdroje skupiny A se připojují k NN, proto v následující kapitole ani tabulkách nebudou uváděny. V tabulkách je k dispozici stručný přehled dispečerských prvků, kterými se budou nově postavené výrobní osazovat. Adaptaci kodexu ENTSO-E provede PDS a PPS, a to vydáním nové přílohy č. 4 *Pravidel provozování distribučních soustav*. Po schválení ERÚ bude aktualizovaná příloha č. 4 vydána dle ČEPS a.s. v červnu roku 2017.

Tab. č. 10: Vybrané požadavky na synchronní výrobní moduly, zdroj [36].

Vybrané požadavky na synchronní výrobní moduly	Typ zdroje		
	B	C	D
Dodávka Q dána schopností modulu a stanovením provozovatele soustavy	ano	ano	ano
Automatický systém regulace	ano	ano	ano
Schopnost obnovy P po poruše	ano	ano	ano
Dodávka dodatečného Q pro kompenzaci nab. výkonu	ne	ano	ano
Dodávka Q stanovená U-Q/Pmax profilem	ne	ano	ano
Schopnost přejít do nového pracovního bodu v rámci U-Q/Pmax	ne	ano	ano
Specifikaci automatického regulátoru napětí	ne	ne	ano

Tab. č. 11: Vybrané požadavky na nesynchronní výrobní moduly, zdroj [36].

Vybrané požadavky na nesynchronní výrobní moduly	Typ zdroje		
	B	C	D
Dodávka rychlého poruchového proudu (příp. nesymetrického poruchového proudu)	ano	ano	ano
Obnovit P po poruše (dáno kritériem napětí)	ano	ano	ano
Umělá setrvačnost – velmi rychlé odchytky frekvence	ne	ano	ano
Dodávat Q v rámci P-Q/Pmax v režimu regulace U, Q, nebo $\cos\phi$	ne	ano	ano
V režimu regulace – Q na výstupu nulové pokud U zadané se rovná U na svorkách	ne	ano	ano
Změna U po krocích $0,5\%U_n$ s nastavitelnou strmostí (U/Q)	ne	ano	ano
Při skokové změně U musí být dosaženo změny $90\%Q$ za 1-5s a ustálení se za 5-60s s přípustnou odchylkou $5\% Q_{max}$	ne	ano	ano
Tlumení výkonových oscilací (případně nezhoršovat stav)	ne	ano	ano

3.4 Podmínky připojení

Při posuzování výroben se vychází z předpokladu, že elektrická energie je ideálně vyráběna bez rušivých emisí a že se zpětné rušivé vlivy rozdělí na všechna zařízení připojená do sítě. Z toho důvodu platí pro výrobní zařízení přísnější kritéria zpětných vlivů. Podle těchto kritérií stanovených normou ČSN EN 50160 a PNE 33 3430 je posuzována každá výrobní připojovaná do elektrické sítě vn/ 110 kV. Při posuzování připojitelnosti je pohlíženo zejména na níže uvedená kritéria.

3.4.1 Zvýšení napětí

Základním kritériem pro posouzení výrobní k distribuční síti je zvýšení napětí. Za normálních podmínek připojená výrobní nesmí svým provozem ani za nejnepříznivějších podmínek způsobit odchylku napětí v porovnání se stavem před připojením:

$$\text{a) pro zdroje s připojením do sítě vn a 110 kV } \Delta u_{vn,110} \leq 2 \%, \quad (3)$$

$$\text{b) pro zdroje s připojením do sítě nn } \Delta u_{nn} \leq 3 \%. \quad (4)$$

Pokud je v síti nn a vn jen jedno přípojné místo, je možné tuto podmínku (2), (3) posoudit jednoduše pomocí zkratového poměru výkonů:

$$k_{k1} = \frac{S_{kV}}{\Sigma S_{A \max}}. \quad (5)$$

Kde je:

S_{kV} je zkratový výkon v příjinném bodu,

$\Sigma S_{A \max}$ je součet maximálních zdánlivých výkonů všech připojených/ plánovaných výroben.

V případě jediného předávacího místa v síti bude podmínka pro zvýšení napětí dodržena vždy, když zkratový poměr výkonů k_{k1} je pro výrobní s předávacím místem v síti vn:

$$k_{k1VN} \geq 50, \quad (6)$$

Pro výrobní s předávacím místem v síti nn:

$$k_{k1NN} \geq 33, \quad (7)$$

Při posuzování připojitelnosti výroben je nutné vycházet z podmínky dodržení účinníku v předávacím místě $\cos \varphi = 1$, pokud PDS vzhledem k místním podmínkám (bilance jalové energie v dané části sítě, úroveň napětí, příp. očekávaný dopad na ztráty v síti) nestanoví jinou hodnotu účinníku pro ověření připojitelnosti požadovaného výkonu výrobní.

Pokud je síť nn a vn silně induktivní, pak je posouzení pomocí činitele k_{k1} příliš konzervativní, tzn., že dodávaný výkon bude silněji omezen, než je zapotřebí k dodržení zvýšení napětí. V takovém případě je zapotřebí provést výpočet s komplexní hodnotou impedance sítě s jejím fázovým úhlem Ψ_{kV} , který poskytne mnohem přesnější výsledek.

Podmínka pro maximální výkon pak je pro výrobní s připojením do sítě vn:

$$S_{A \max} \leq \frac{2\% \cdot S_{kV}}{|\cos(\Psi_{kV} - \varphi)|} = \frac{S_{kV}}{50 \cdot |\cos(\Psi_{kV} - \varphi)|}, \quad (8)$$

Pro výrobní s předávacím místem v síti nn:

$$S_{A \max} \leq \frac{3\% \cdot S_{kV}}{|\cos(\Psi_{kV} - \varphi)|} = \frac{S_{kV}}{33 \cdot |\cos(\Psi_{kV} - \varphi)|}, \quad (9)$$

Kde je:

φ je fázový úhel mezi proudem a napětím výrobní při maximálním zdánlivém zatížení $S_{A \max}$.

U výroben, které dodávají do sítě jalový výkon (např. přebuzené synchronní generátory, pulzní měniče), přitom platí:

$$P > 0 \text{ a } Q > 0, \quad 0^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ. \quad (10)$$

U výroben, které odebírají ze sítě a dodávají do sítě jalový výkon (např. asynchronní generátory, podbuzené synchronní generátory, sítě řízené střídače) platí:

$$P > 0 \text{ a } Q < 0, \quad 270^\circ \leq \varphi \leq 360^\circ, \quad (-90^\circ \leq \varphi \leq 0^\circ). \quad (11)$$

Podmínkou provozu výroby je pak úspěšné provozní ověření uvedené funkce potvrzující výsledky studie.

V případě, že provozní ověření nebude splňovat předpokládané výsledky deklarované zpracovatelem studie, má provozovatel DS právo požadovat po výrobci provést taková technická opatření, aby výroba splňovala veškeré požadavky na ni kladenou v souladu s podmínkami připojení a PPDS.

Opatření

Krajním opatřením může být i snížení/omezení činného výkonu. Řešením by bylo také připojení výroby v bodě s vyšší zkratovým výkonem, nebo zvýšení zkratového výkonu technickým opatřením v stávající síti.

3.4.2 Změny napětí při spínání

Za normálních provozních podmínek by změny způsobené spínáním (připojováním a odpojováním) jednotlivých zařízení neměly v sítích nn způsobit větší změny napětí než 3 %,

$$u_{\max NN} \leq 3\%, \quad (12)$$

Pro výroby s předávacím místem v síti vn platí,

$$u_{\max NN} \leq 2\%, \quad (13)$$

Tyto podmínky platí pro spínání častější než jednou za 1,5 minuty. Při občasné spínání (např. jednou denně), může PDS připustit i větší změny napětí, pokud to povolí poměry v síti. Při spínání zdrojů v sítích nn a vn současně nesmí dojít k překročení limitní hodnoty $\pm 10\%$ un v předávacím místě zdroje.

V závislosti na zkratovém výkonu S_{KV} v síti PDS a jmenovitém zdánlivém výkonu S_{nE} jednotlivé výroby lze přibližně určit změnu napětí:

$$\Delta u_{\max} = k_{i\max} \cdot \frac{S_{nE}}{S_{KV}}. \quad (14)$$

Činitel $k_{i\max}$ se označuje jako “největší spínací ráz” a udává poměr největšího proudu, který se vyskytuje v průběhu celého spínání (např. zapínací ráz I_a) ke jmenovitému proudu generátoru nebo zařízení, např.

$$k_{i\max} = \frac{I_a}{I_{nG}}. \quad (15)$$

Pro větrné elektrárny platí lze uplatnit speciální “činitel spínání závislý na síti”, který musí výrobce prokazovat. Činitel zohledňuje spínání a respektuje velmi krátké přechodové jevy. Poklesy

napětí smí dosáhnout dvojnásobku jinak přípustné hodnoty, tj. pro sítě vn 4 %, pro sítě nn 6 %, pokud netrvá déle než dvě periody a následující odchylka napětí od hodnoty před poklesem napětí nepřekročí jinak přípustnou hodnotu.

Činitel $k_{i\max}$ respektuje nejen výši, ale i časový průběh proudu v průběhu přechodového děje a udává se jako funkce úhlu impedance sítě Ψ pro každé zařízení ve zkušebním protokolu. Díky němu je možné dopočítat fiktivní “náhradní změnu napětí”:

$$\Delta u_{ers} = k_{i\psi} \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}}, \quad (16)$$

kteřá rovněž (jako Δu_{max}) nesmí překročit hodnotu 2 % pro výroby s přípojným místem v síti vn a 3 % pro nn přípojná místa.

Vzhledem k minimalizaci zpětného vlivu výroby na síť PDS je zapotřebí spínat více generátorů v jednom odběrném místě postupně, využívá se časového odstupňování jednotlivých spínání. Zpoždění spínání je závislé na vyvolaných změnách napětí. Při maximálním přípustném výkonu generátoru musí být minimálně 1,5 minuty. Při zdánlivém výkonu generátoru do poloviny přípustné hodnoty postačí odstup 12 s.

Opatření

Nejjednodušším opatřením může být omezení spínacího proudu (tlumivkami, odpory, rozběhovým transformátorem). Řešením je také připojení výroby v bodě s vyšším zkratovým výkonem, nebo opatření stávající sítě pro zvýšení zkratového výkonu.

3.5 Zpětné vlivy na napájecí síť

Aby výroby nenarušovaly rušivými vlivy provoz PS a ostatních zařízení do ní připojených, je nutné dodržet limitní parametry zpětných vlivů tak, aby se do sítě ideálně nezanášely. Zpětné vlivy v síti se projevují jako změny napětí a harmonické. Lze je pozorovat zejména na připojených zařízeních nejčastěji v této podobě:

- kolísání jasu (flickr) žárovek a zářivek,
- ovlivnění zařízení dálkové signalizace a ovládání, zařízení výpočetní techniky, ochranných a měřících,
- kývání momentu u strojů,
- přidavné oteplení kondenzátorů, motorů, filtračních obvodů, hradících tlumivek, transformátorů,
- vadná činnost přijímačů HDO a elektronického řízení.

Ve vlastní soustavě se zpětné vlivy mohou projevovat jako:

- zhoršením účinníku,
- zvýšením přenosových ztrát,
- ovlivněním zhášení zemních spojení.

Pokud je poměr zkratového výkonu sítě S_{kV} ke jmenovitému výkonu celého zařízení S_{rA} je větší než 500, je možné výrobu připojit bez další kontroly zpětných vlivů. Pokud je zařízení ověřeno uznávaným institutem je možné připojit do sítě i zařízení s nižším činitelem S_{kV}/S_{rG} (< 500).

Při individuální posouzení připojení jedné nebo více vlastních výroben je nutné posoudit následující mezních parametry:

3.5.1 Změna napětí - flikr

Kolísající zatížení způsobuje změny napěťových úbytků na impedanci sítě, tím je vyvoláno kolísání napětí v odběrném místě. Pokud v odběrném místě dochází k rychlým periodickým změnám napětí, způsobí nestálost světelného toku u žárovkových svítidel. Jev vnímá každý zrakový orgán subjektivně, ale má na člověka neblahý vliv. Kritériem a měřítkem pro posuzování je míra vjemu flikru P_{fl} . Zjišťuje se buď měřením skutečného zařízení ve společném napájecím bodu, nebo předběžnými výpočty.

Maximální přípustné změny napětí jsou závislé na četnosti jejich výskytu (křivka flikru). Pro změnu napětí platí, že ve společném napájecím bodě nemůže výroba změnit napětí o více než 3 % v síti nn a o 2% v síti vn (viz kapitola 3.3.1).

Pro splnění podmínek připojení výroben v předávacím místě, je zapotřebí se zřetelem na kolísání napětí vyvolávající flikr dodržet pro nn a vn mezní hodnotu.

$$P_{fl} \leq 0,46 \quad (17)$$

P_{fl} je závislý na:

- zkratovém výkonu S_{kV} ,
- úhlu ψ_{kV} zkratové impedance,
- jmenovitému výkonu generátoru,
- činitelem flikru zařízení c ,
- při podrobnějším vyšetřování i na jalovém výkonu zařízení, vyjádřeném fázovým úhlem φ_1 .

Činitel flikru zařízení c charakterizuje spolu s fázovým úhlem i specifické schopnosti příslušného zařízení produkovat flikr. Obě hodnoty udává buď výrobce zařízení, nebo nezávislý institut a mají význam především u větrných elektráren. Činitel flikru výroby s generátorem může být stanoven měřením flikru za reálných provozních podmínek, ze kterých jsou vyloučeny spínací pochody. Je účelné takové měření provádět v síti s odporově-induktivní zkratovou impedancí, ve které vlastní výroba nevyvolává větší změny napětí než 3 až 5 %, jak se to doporučuje pro měření zpětných vlivů [28]. Dlouhodobá míra flikru P_{fl} jednoho zdroje se může určit pomocí činitele flikru c jako

$$P_{fl} = c \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}} \quad (18)$$

S_{nE} je jmenovitý výkon zařízení, v případě VTE se počítá jmenovitý výkon generátoru (pro větrné elektrárny je to hodnota S_{nG}). Pokud by dle rovnice 14 nevyhověl P_{fl} , zahrnují se do rovnice fázové úhly, viz [28].

Činitel flikru zařízení c vyjadřuje s fázovým úhlem také specifické vlastnosti zařízení produkovat flikr. Hodnotu udává výrobce zařízení nebo nezávislý institut a bere se v potaz zejména u větrných elektráren. Činitel flikru zařízení s generátorem může být stanoven na základě měření flikru v reálných provozních podmínkách, ze kterých jsou vyloučeny spínací pochody. Měření by se mělo provádět dle doporučeného postupu měření zpětných vlivů, tedy v síti s odporově-induktivní zkratovou impedancí, kde při vlastní výrobě nedochází k větším změnám napětí než 3 až 5 %.

Činitel flikru c získáme z měření rušivého činitele flikru P_{lt} s uvažováním výkonu generátoru S_{rG} a fázového úhlu generátorového proudu:

$$c = P_{lt \text{ nam}} \cdot \frac{S_{kv}}{S_{rG} \cos(\psi_{kv} + \varphi_i)}, \quad (19)$$

kde je:

ψ_{kv} fázový úhel síťové impedance při měření v odběratelsky orientovaném systému,

tj. $-90^\circ < \psi_{kv} < +90^\circ$ (při induktivní impedanci je $\psi_{kv} > 0$),

φ_i je fázový úhel proudů generátoru. Tedy změny proudu – proti generátorovému napětí ve zdrojově orientovaném (obvyklém u generátorů) systému, tj. $-90^\circ < \varphi_i < +90^\circ$ (pokud se generátor chová jako induktivní odběratel, tj. např. asynchronní generátor, pak je $\varphi_i > 0$). Určení fázového úhlu φ_i vyžaduje přesné měření velikosti a fáze proudu generátoru. Výpočetně se určí φ_i rozptýlených zdrojů jako arcustangenc z podílu měření kolísání činného výkonu ΔP ke kolísání jalového výkonu ΔQ .

Činitel flikru zařízení c vyjadřuje především stejnoměrnost chodu daného zařízení, která se odvíjí od typu výroby:

- turbínami poháněné generátory (např. vodními, parními nebo plynovými) mají obecně hodnoty c menší než 20, tedy nejsou proto, pokud jde o flikr, kritické,
- u pístových motorů má na hodnotu c vliv počet válců,
- čím větší je rotující hmota, tím menší je činitel flikru,
- činiteli flikru zařízení c ,
- u fotočlávkových zařízení nejsou k dispozici naměřené hodnoty c , žádné kritické působení flikru se však neočekává.

Dle zkušeností jsou z hlediska flikru nejhorší větrné elektrárny, kde byly naměřeny činitele flikru c až 40. Na činitel flikru c má vliv počet rotujících listů, čím je vyšší, tím je koeficient c nižší. Zařízení se střídači vykazují nižší hodnotu c , než výroby s přímo připojenými asynchronními nebo synchronními generátory. Pokud je větrný park vyveden do společného napájecího bodu, počítá se ještě výsledný činitel flikru:

$$c_{res} = \frac{\sqrt{\sum (c_i \cdot S_{rGi})^2}}{\sum S_{rGi}}. \quad (20)$$

Pokud jsou ve větrném parku všechny výroby stejné, vztah se zjednoduší:

$$c_{res} = \frac{c}{\sqrt{n}}, \quad (21)$$

z nového vztahu 21 je patrné, že pokud se připojené zařízení skládá z více dílčích generátorů, dochází k určitému vzájemnému potlačení flikru vůči společnému přípojnému místu.

Opatření

Pokud je emisivita flikru u zařízení neúnosná, je nutné instalovat dynamické kompenzační zařízení. Nejjednodušším opatřením je výběr typu výroby s nízkou produkcí flikru. Řešením je také připojení výroby v bodě s vyšší zkratovým výkonem, nebo opatření stávající sítě pro zvýšení zkratového výkonu.

3.5.2 Harmonické proudy

Harmonické proudy vznikají především u zařízení se střídači nebo měniči kmitočtu. Typický příkladem je fotovoltaická výroba. Skutečné hodnoty harmonických proudů udává výrobce střídače (např. zprávou o typové zkoušce), tyto hodnoty musí být nižší než normou udávaná emisní hodnota. Přenášením vyšších harmonických proudů dochází v síti k přídavným ztrátám, zkracují životnost transformátorů, chyby měření, chybné funkce ochran.

V *Pravidlech provozování distribučních soustav – příloha č. 4* [28] jsou přípustné harmonické proudy pro jediné zařízení v přípojném místě vypočítány jako součin $i_{v, pr}$ z tabulky č. 7, kapitoly 11.2.2, [28] a zkratového výkonu ve společném napájecím bodě.

Opatření

Šíření harmonických proudů lze omezit instalací filtru. Řešením je také připojení výroby v bodě s vyšším zkratovým výkonem, nebo opatření stávající sítě pro zvýšení zkratového výkonu.

3.5.3 Ovlivnění zařízení HDO

HDO neboli zařízení hromadného dálkového ovládní, tento signál se používá ke spouštění zařízení akumulárního charakteru, reagující na povel o nižším cenovém tarifu. Pro zajištění spolehlivé funkce tohoto systému, musí být v síti, která slouží k distribuci signálu ke koncovým zařízením, přenášen ovládací signál v dostatečné intenzitě, aby dokázal překonat náběhové napětí přijímacích prvků. HDO jsou typicky provozována na 183,3 až 283,3 HZ, vysílací úroveň je obvykle 1,6 % až 2,5 % U_n . Využívaný kmitočet je třeba zjistit od PDS. Výroby ovlivňují vysílače HDO přídavným zatížením, které vyplývá z:

- impedance vlastní výroby,
- zvýšeného zatížení sítě.

Posuzuje se vliv výroby na příslušný vysílače HDO, výchozí informaci o jeho zatížení poskytne PDS, pokud by zatížení bylo blízké maximu, není možné připojení výroby bez dalších opatření. Dle přílohy o připojení je přípustné zatížení vysílače do 5 A u vysílače do 110 KV do 2 A u vn. Výrobnou

vyvolaná rušivá napětí, jehož frekvence odpovídá frekvenci místního HDO, nebo leží v její blízkosti nesmí překročit 0,1 % U_n , pokud je frekvence o 100 Hz pod či nad frekvencí HDO, nesmí emise napětí překročit 0,3 % U_n .

3.6 Uvedení výroby do provozu a provozování

První paralelní připojení výroby k síti je možné pouze se souhlasem příslušného PDS, k jehož DS má být výroba připojena. Nejprve je výroba spuštěna v ověřovacím provozu, který je časově omezen a složí zejména k provedení potřebných zkoušek a měření, kde může být přítomný zástupce PDS.

Sepsáním smlouvy o připojení a smlouvy na výkup vyrobené energie je výroba v trvalém provozu.

4 Reprezentativní měření zpětných vlivů větrné elektrárny

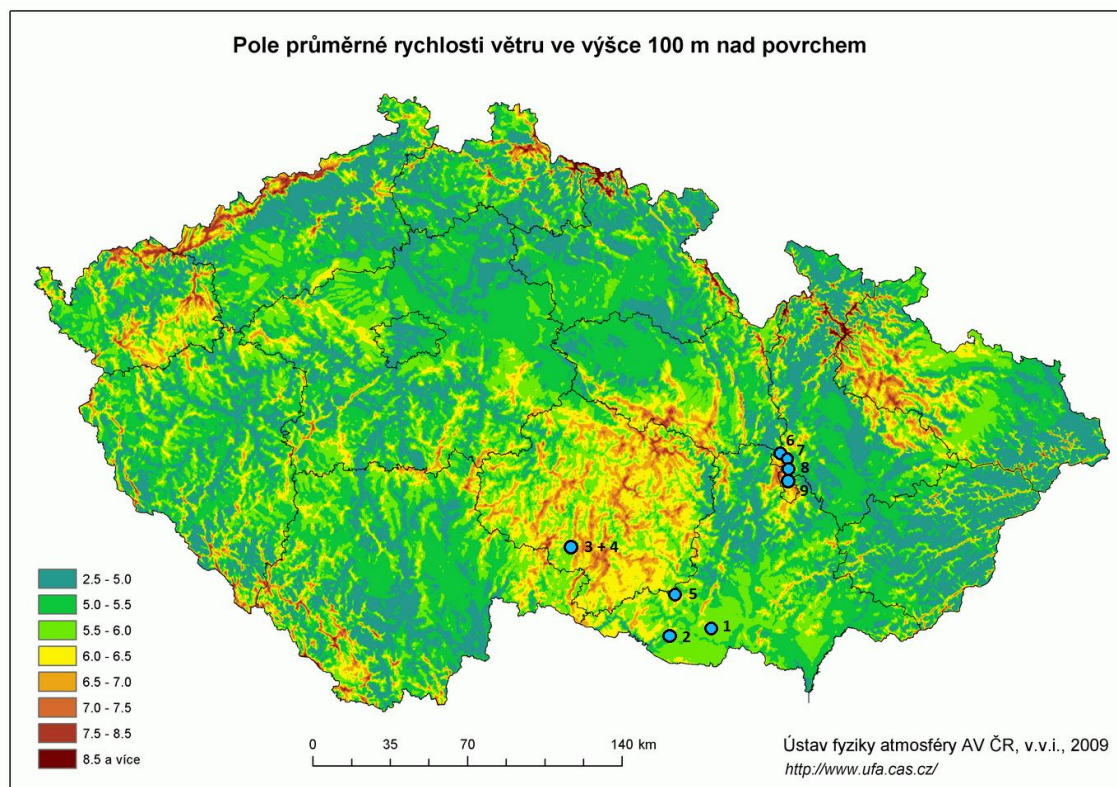
Společnost E.ON Distribuce, a.s. je provozovatelem distribuční soustavy v Jižních Čechách a na Jižní Moravě, v tomto zásobovaném území E.ON postavil několik VTE parků. Díky záznamům z krátkodobých měření, všech devíti větrných parků s instalovaným výkonem nad 1MW v PDS, mohl autor vyhodnotit v kapitole č. 5 vlivy výroben na síť VN. Celkem bylo provedeno 12 měření, ale vyhodnoceno.

4.1 VTE parky na kterých bylo provedeno měření

Tato kapitola čerpá ze zdroje [6].

Tab. č. 12: Technické údaje měřených větrných parků.

Mapa	Lokalita	Instalovaný výkon VTE (kW)	Počet generátorů	Instalovaný výkon VTE (kW)	Zkratový výkon v místě připojení (MVA)	Měřené období
1	Břežany	4250	5	850	86,0	3.7.-11.7. 2013
2	Bantice	2000	1	2000	103,0	28.3.-5.4. 2013
3	Pavlov (1)	4000	2	2000	47,0	11.7.-19.7. 2013
	Pavlov (2)					21.7.-2.8. 2016
	Pavlov (3)					2.8.-10.8. 2016
4	Pavlov II (1)	1700	2	850	60,0	11.7.-9.7. 2013
	Pavlov II (3)					2.8.-10.8. 2016
5	Tulešice	2000	1	2000	46,0	22.1.-29.1. 2014
6	rodek u Konic	1200	2	600	52,0	3.6.-12.6. 2014
7	Protivanov II	3000	2	1500	41,0	11.11.-19.11. 2013
8	Drahany	2000	1	2000	33,0	19.11.-3.12. 2013
9	Rozstání	1800	1	1800	54,0	3.12.-11.12. 2013



Obr. č. 13: Mapa průměrné rychlosti větru, s vyznačenými výrobny, zpracováno na základě [39], [6].

V tabulce č. 12 uvedené výrobní se nachází na území tří krajů, v Jihomoravském kraji (Břežany, Bantice, Tulešice), na Vysočině (Pavlov, Pavlov II) a v Olomouckém kraji (Brodek u Konice, Protivanov, Dražany, Rozstání). Přehled výroben je na obr. č. 13

Schématické zapojení jednotlivých VTE do rozvodny jsou přílohou č. 3 této práce.

4.1.1 Břežany

Větrný park Břežany je standardně připojen 7270 m dlouhým vedením z rozvodny 110 kV Hrušovany nad Jevišovkou. V místě připojení je zkratový výkon 86 MVA. Park se skládá z pěti větrných elektráren Vestas V52 o výkonu 850 kW. Rotor elektrárny má průměr 52 metrů a osa náboje rotoru je ve výšce 74 metrů. Instalace byla dokončena v prosinci roku 2005, vzhledem k plánované životnosti 20 let je VTE za polovinou své plánované životnosti.

4.1.2 Bantice

Větrný park Bantice obsahuje jedinou výrobní typu Vestas V90 o výkonu 2000 kW. Rotor má průměr 90 m a výška náboje se rovná 105 metrům. VTE je připojena do rozvodny 110 kV za pomoci 4334 m dlouhého vedení a má nejvyšší zkratový výkon ze všech výroben, 103 MVA. Instalace byla realizována v roce 2008.

4.1.3 Pavlov

Při standardním stavu je VTE park Pavlov připojen do rozvodny Kosov 110 kV, díky 18751 m dlouhému vedení. VTE park je osazen dvěma turbínami Vestas V90 o výkonu 2000 kW (celkem 4000 kW), zkratový výkon 47 MVA patří k nižším z měřených výroben. Stavba byla dokončena v roce 2006.

4.1.4 Pavlov II

Výrobní Pavlov II je podobná rozvodně Pavlov. Rozdíl je v instalaci menších větrných turbín Vestas V52, celkový výkon větrného parku (1700 kW) je přenášen přes 17496 m do rozvodny Kosov. Zkratový výkon je v místě připojení roven 60 MVA. Stavba byla postavena v roce 2006, stejně jako Pavlov.

4.1.5 Tulešice

Tulešice jsou připojeny do DS za pomoci 20258 metrů dlouhého vedení, zkratový výkon je roven 46 MVA. Jediná turbína má výkon 2000 kW, jde o typ Vestas V 90.

4.1.6 Brodek u Konice

Brodek u Konice vyrábí el. energii za pomoci dvou turbín značky DeWind o průměru 46 m a výkonu 600 kW. Výrobní byla uvedena do provozu v roce 2007. Vedení o délce 13734 m spojuje VTE Brodek u Konice a rozvodnu 110 kV Konice. Zkratový výkon je roven 52 MVA.

4.1.7 Protivanov II

Protivanov je také zapojen vedením o délce 20500 m do rozvodny Konice. V místě připojení je zkratový výkon 41 MVA. Dvě výrobní o výkonu 1500 kW každá dodala společnost Repower již v roce 2005. Typové označení elektráren je Repower MD77, Rotor je uložen ve výšce 85 m a průměr rotoru je roven 77 m.

4.1.8 Drahaný

Jedna výrobní typu Vestas V90 byla instalována v roce 2006. Zkratový výkon 33 MVA, je nejnižší ze všech VTE parků. Výše zkratového výkonu není překvapující vzhledem k délce přípojného vedení 27086 m. vTE je připojena do rozvodny 110 kV Konice.

4.1.9 Rozstání

V roce 2011 byla do provozu uvedena výrobní Vestas V100 se 100 metrovým rotorem VTE. Výrobní je za pomoci 17271 m dlouhého vedení připojena do rozvodny Blansko. Instalovaný výkon výrobní je 1800 KW.

4.2 Popis metodiky měření

Tato kapitola čerpá ze zdroje [6].

Měření kvality napětí a přídavných zpětných vlivů od provozu VTE bylo provedeno dle normy ČSN 50 160 na svorkovnici fakturačního měření. Pro měření byly použity s jedinou výjimkou měřicí přístroje Fluke 1744 s třídou přesnosti měření napětí A, k měření proudu byly použity „železné kleště“ se vstupním rozsahem 5 A.

U prvního měření na větrném parku Pavlov (11.7. až 19.7. 2013) byl použit měřicí přístroj MEg38C se stejnou třídou přesnosti měření napětí A, proud byl měřen obdobnými „železnými kleštěmi“ s rozsahem 5 A. Přístroj MEg38C dokáže dlouhodobě zaznamenávat sekundové intervaly měřených hodnot, ale všechny měření byla zaznamenávána s desetiminutovou periodou.

Všechny hodnoty jako napětí, proud, proudy vyšších harmonických, činitel harmonického zkreslení a podobně byli měřeny trojfázově. V analýze se pracuje s průměrem těchto tří fázových hodnot. Činný, jalový výkon spolu s účínkem měřicí přístroj v každém vzorku vypočítává.

5 Analýza vybraných výroben z hlediska zpětných vlivů na napájecí síť a z hlediska provozních hodnot účinníku výroby

Tato kapitola byla inspirována zdrojem [42].

Měření na VTE provedla společnost E.ON Distribuce, a.s. za účelem analýzy parametrů kvality napětí v místě připojení VTE k DS. Dle normy ČSN 50 160 musí takové měření mít měření 1008 desetiminutových vzorků (7 dní). Všechna měření trvala krátce přes týden, s výjimkou dvojnásobně dlouhého měření na výrobně Drahaný a Pavlov v roce 2016.

Je třeba brát v potaz, že měření na elektrárnách byla prováděna v průběhu přibližně tří let, proto nelze uvažovat podmínky pro měření srovnatelné. Měření mělo za cíl měřit nežádoucí emisivitu, kterou výroba může zatížit síť. S tímto vědomím je třeba posuzovat výsledky, zejména vyhodnocení výkonových toků.

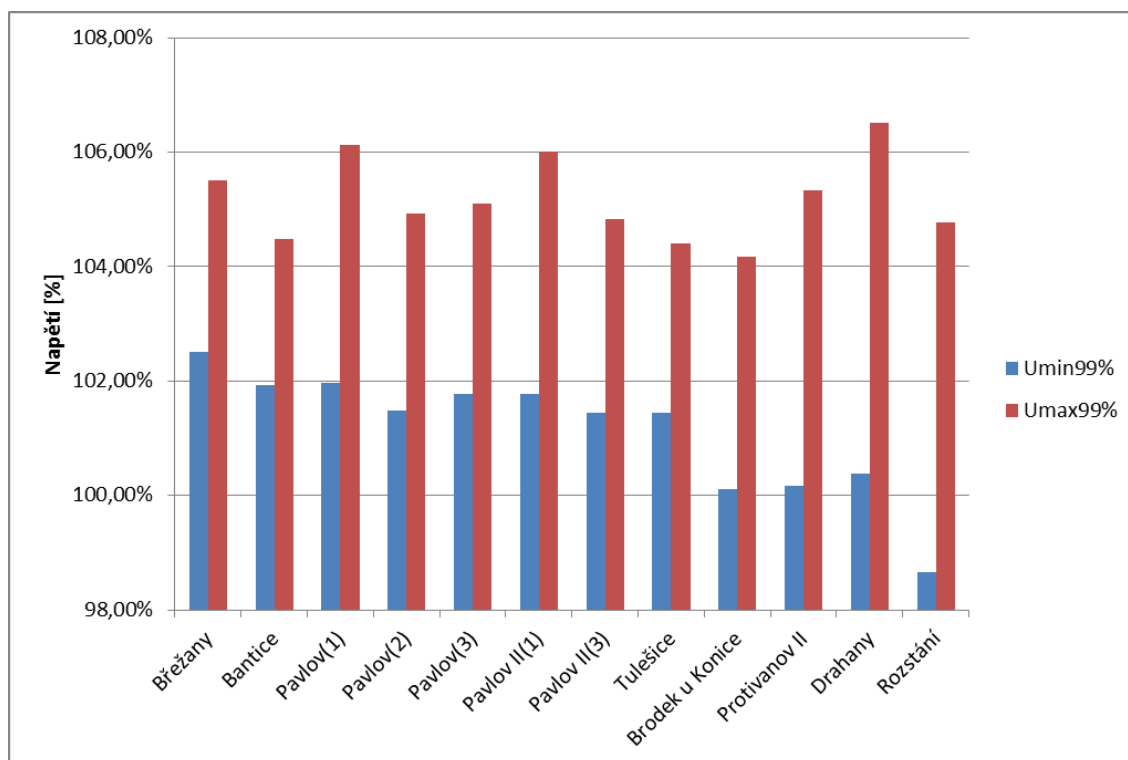
V kapitole se bude mluvit o výrobnách, nebo o měřeních. Měřením je zejména myšleno konkrétní měření na výrobně, kde byly k dispozici data z několika po sobě jdoucích měření. U výroben Pavlov a Pavlov II byly provedeny celkem tři měření každé výroby, posloupnost měření je vždy označena pořadovým číslem v závorce za názvem výroby. Měření Pavlov II (2) nebylo vůbec zpracováno, bylo rozhodnuto, že měření je nerelevantní, výroba nebyla po dobu měření ve standardním výrobním režimu.

Pro lepší orientaci mezi jednotlivými výrobnami a měřeními bude za název výroby uveden do závorky instalovaný výkon P_{inst} , zkratový výkon v místě připojení S_k a procentuální vyjádření výtěžnosti T_v (instalovaný výkon v poměru se skutečně vyrobenou energií). Na příklad, pokud bude v kapitole popisována výroba Březany, bude za ní uvedeno ($P_{inst}=4,25\text{MW}; S_k=86\text{MVA}; T_v=12,5\%$), tento doplňující popis je pro dobrou orientaci v textu uváděn bez mezer.

5.1 Vyhodnocení kvality napětí

5.1.1 Vyhodnocení odchylek napětí

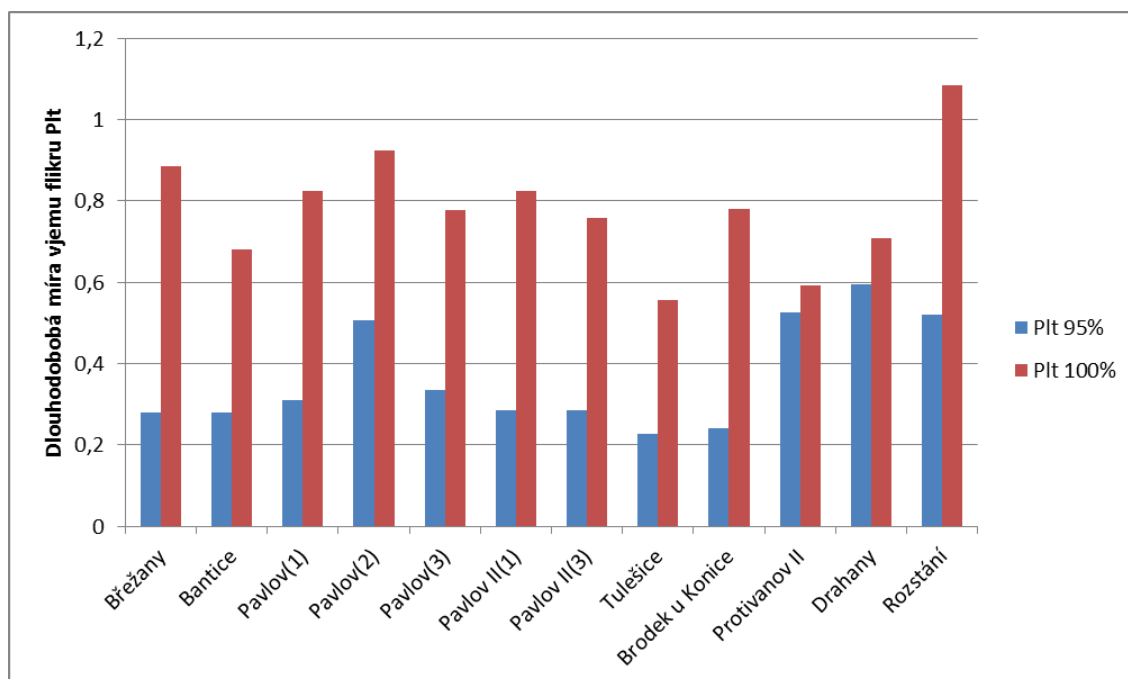
Všechny výroby vyhověly normě ČSN 50 160. Norma určuje, že 99 % týdenních hodnot musí být pod hodnotou $U_n \pm 10\%$, U_{max} a nesmí přesáhnout hodnoty $U_n \pm 15\%$. Maximální odchylka napětí byla naměřena ve výrobně Drahaný.



Obr. č. 14: Vyhodnocení dlouhodobého flikru a jeho maximální hodnoty pro jednotlivé VTE.

5.1.2 Vyhodnocení flikru

Za normálních provozních podmínek musí být po 95 % času dlouhodobá míra vjemu flikru Plt menší než 1. V grafu (obrázek č. 14) jsou vyneseny i maximální hodnoty flikru, jejichž hodnota přesahuje ve výrobě Rozstání hodnotu 1, ale protože je splněna podmínka 95 % času, je výroba stejně jako zbytek dle normy 50 160 vyhovující.



Obr. č. 15: Vyhodnocení dlouhodobého flikru a jeho maximální hodnoty pro jednotlivé VTE.

5.1.3 Nesymetrie napětí

Za normálních provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot zpětné složky napájecího napětí v rozsahu 0 až 2 % sousledné složky.

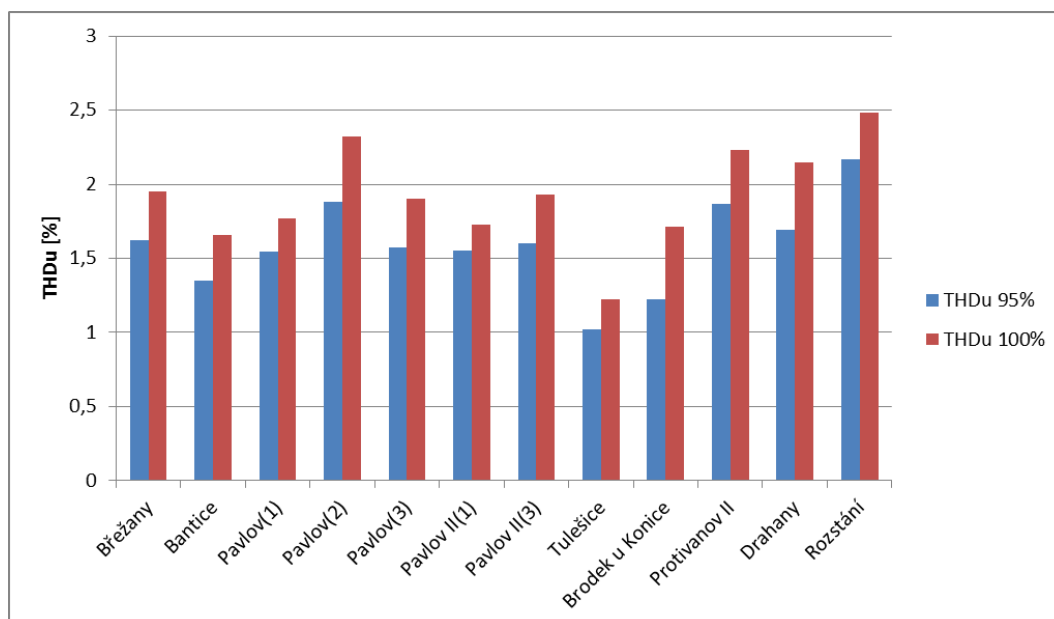


Obr. č. 16: Vyhodnocení činitele nesymetrie napětí pro jednotlivé VTE.

Největší nesymetrie byla na výrobně Rozstání ($P_{inst}=1,8\text{MW}; S_k=54\text{MVA}; T_v=48,8\%$), maximální hodnota nesymetrie napětí $u_2 = 1,47$, pro 95% percentil byla hodnota nesymetrie $u_2 = 1,36$. Lze sledovat souvislost s obsahem harmonických v průběhu napětí na obrázku č. 17 a č. 18.

5.1.4 Harmonická napětí

Za normálních provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot každého jednotlivého harmonického napětí menší nebo rovno hodnotě uvedené v tabulce č. 4 normy ČSN 50 160, která je jako tabulka 1.1 druhou přílohou této práce. Činitel harmonického zkreslení THD napájecího napětí (zahrnuje všechny harmonické složky až do řádu 40) musí být menší nebo rovná 8 %. Do grafu je pro porovnání zanesena i maximální naměřená hodnota THDu.



Obr. č. 17: Vyhodnocení činitele harmonického zkreslení THDu pro jednotlivé VTE.

Na obrázku č. 17 byly hodnoty větrného parku Rozstání ($P_{\text{inst}}=1,8\text{MW}$; $S_k=54\text{MVA}$; $T_v=48,8\%$) nejvyšší, nejvyšší hodnoty vykazovalo Rozstání i pro pátou harmonickou složku. Pátá harmonická složka přispívá ke zpětné složce napětí, z níž se vyčísluje činitel nesymetrie napětí jako poměr zpětné a sousledné složky napětí [41].

5.2 Vyhodnocení výkonových toků

Pro jednotlivá měření byla stanovena jejich výtěžnost po dobu měření (procentuální využití instalovaného výkonu). Výtěžnost se pohybuje mezi 48,8 % (Rozstání) a 1,6 % (Brodek u Konice). Jednotlivá měření jsou proti sobě časově posunuta, viz tabulka č. 13. Z důvodu časového posunutí není možné přímo porovnat jejich výtěžnosti, protože výtěžnost se během roku zásadně mění dle ročního období (obrázek č. 17).

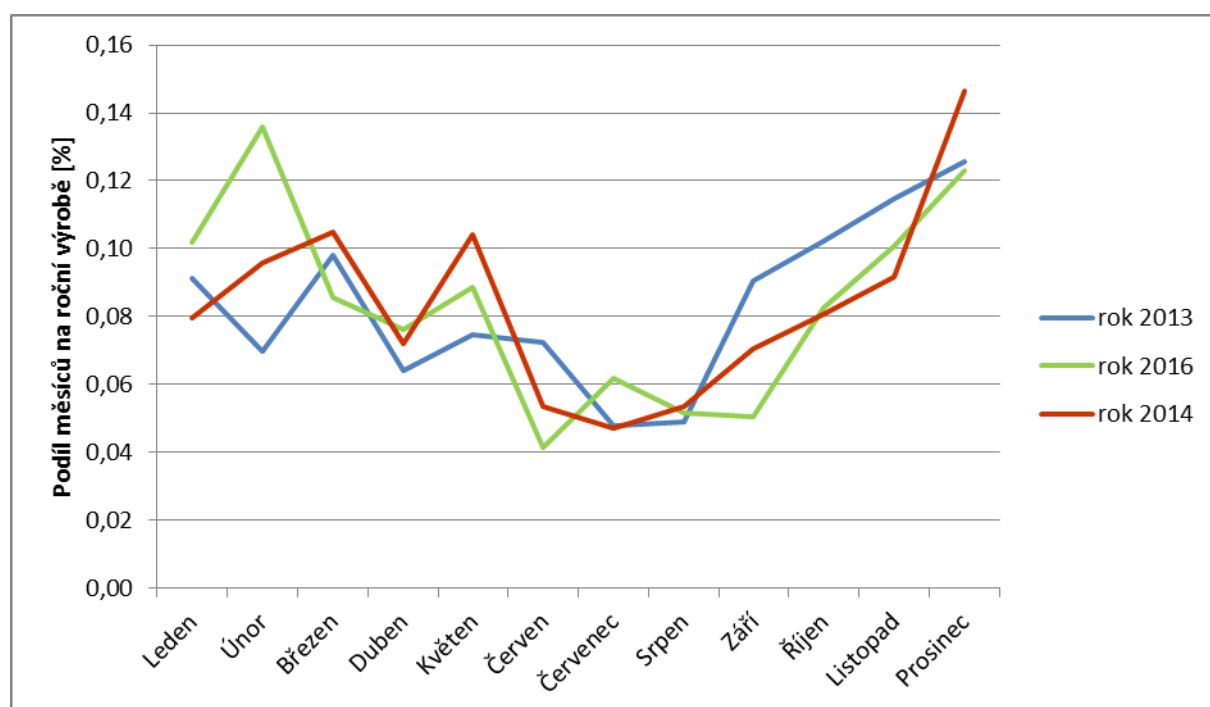
Tab. č. 13: Vyhodnocení dodaného výkonu, výtěžnosti a teoretické doby využití maxima VTE.

Lokalita	Instalovaný výkon VTE [kW]	č. Měření	Doba měření [min]	Dodaná energie [kWh]	Měřicí období	Výtěžnost [%]	Využití instalovaného výkonu [kWh/hod]
Břežany	4250	84583	11280	99491,3	3.7.-11.7. 2013	12,5	1091
Bantice	2000	78081	11350	119630,8	28.3.-5.4. 2013	31,6	2770
Pavlov(1)	4000	84964	11400	116795,4	11.7.-19.7. 2013	15,4	1346
Pavlov(2)	4000	134631	17020	216398,2	21.7.-2.8. 2016	19,1	1671
Pavlov(3)	4000	134942	11470	121906,7	2.8.-10.8. 2016	15,9	1397
Pavlov II(1)	4000	135003	10960	22059,5	11.7.-9.7. 2013	7,1	622
Pavlov II(3)	1700	134941	11490	29038,8	2.8.-10.8. 2016	8,9	781
Tulešice	2000	97541	10070	10861,3	22.1.-29.1. 2014	3,2	283
Brodek u Konice	1200	111121	12760	3966,1	3.6.-12.6. 2014	1,6	136
Protivanov II	3000	93081	11380	141127,8	11.11.-19.11. 2013	24,8	2173
Drahaný	2000	93902	20060	314219,8	19.11.-3.12. 2013	47,0	4116
Rozstání	1800	93861	11390	166663,8	3.12.-11.12. 2013	48,8	4273

Na obrázku č. 17 je vynesena poměrná výroba v jednotlivých měsících sledovaných let. Poměrná výroba je dopočtena dle dat [42], tedy z výroby všech VTE na území ČR. Je patrné, že se od sebe roky, v kterých bylo prováděno měření, liší. Nejmarkantnější meziroční rozdíl je v měsíci únoru, kdy v roce 2016 jde o nejproduktivnější měsíc (cca 13,5 % z roční výroby), v roce 2013 byla výroba poloviční (cca 7 % z roční výroby). Zároveň je patrný trend nejvyšší výroby v zimních měsících. Naopak nejslabší měsíce z hlediska výroby jsou červen, červenec a srpen.

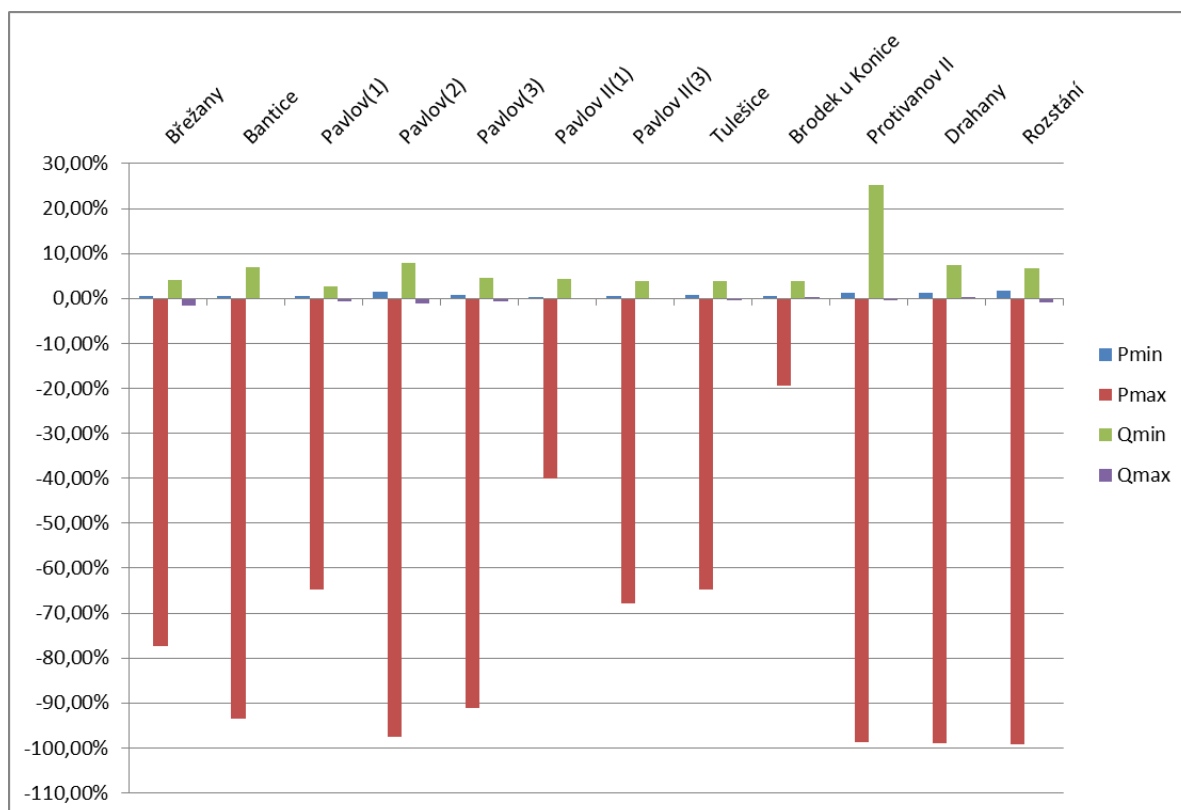
Dle vyhlášky č. 338/2011 Sb. (kapitola č. 2.10.1) je roční doba využití maxima 2100 kWh/kW (výtežnost 23,9 %), přepočtená roční doba využití maxima se pohybuje v jednotlivých měřeních mezi 136 a 4273 kWh/kW (vychází z výtežnosti 1,6 % až 48,8 %).

Po srovnání výtežnosti během měření a podílu výroby v měsících (obrázek č. 17), je odhad roční výtežnosti na úrovni 2000 kWh/kW, to odpovídá teoretické hodnotě z vyhlášky č. 338/2011 Sb.



Obr. č. 17: Poměrná roční výroba v roce 2013, 2014 a 2016, zpracováno na základě [41].

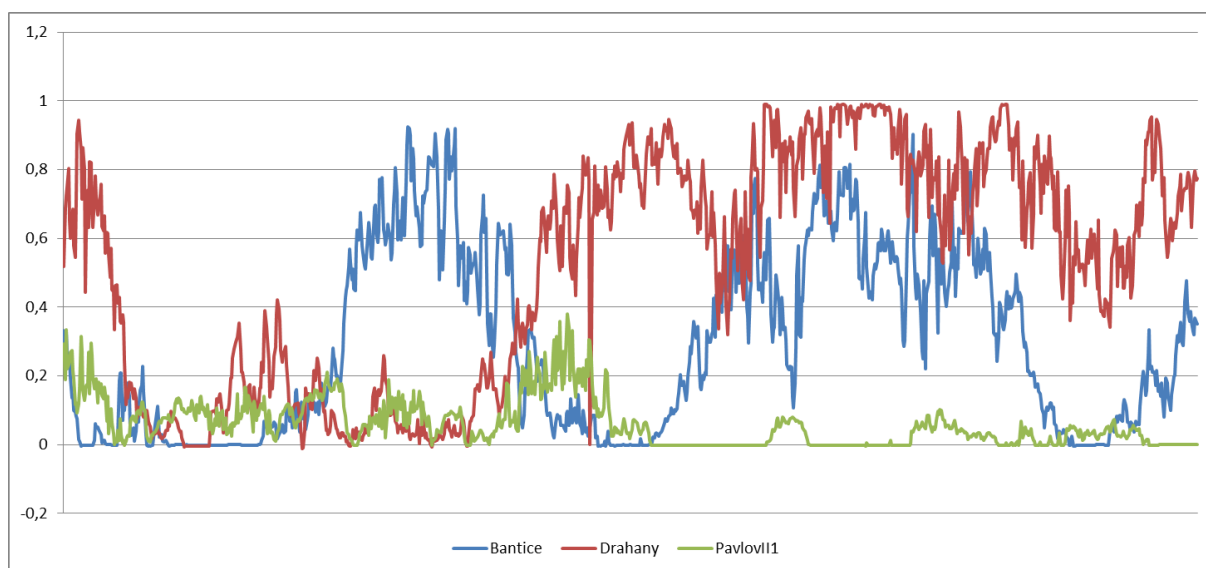
Na obrázku č. 18 jsou přehledně zobrazeny minimální a maximální hodnoty činného a jalového výkonu, které jsou procentuálně vztaženy k instalovanému výkonu výroby.



Obr. č. 18: Procentuální vyobrazení dosažených minim a maxim P a Q u jednotlivých VTE.

5.2.1 Vyhodnocení činného výkonu

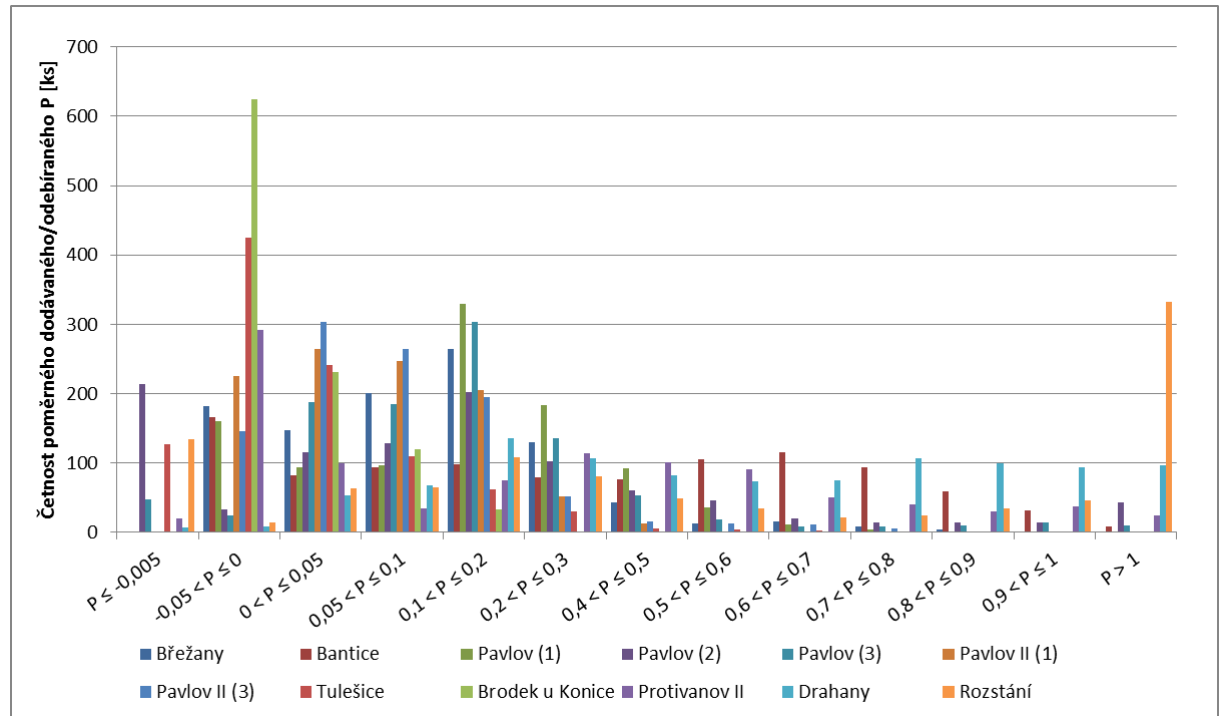
Na obrázku č. 19 je ukázka týdenního měření (1008 desetiminutových hodnot) na třech různých VTE (Bantice ($P_{inst}=2\text{MW}; S_k=103\text{MVA}; T_v=31,6\%$), Drahaný ($P_{inst}=2\text{MW}; S_k=33\text{MVA}; T_v=47\%$), Pavlov II (3) ($P_{inst}=1,7\text{MW}; S_k=60\text{MVA}; T_v=8,9\%$)). Je nutné podotknout, že nejde o soudobé měření, ale každá výrobná byla měřena jindy, viz tabulka č. 13. Pro přehlednost jsou zobrazeny jen tři výroby.



Obr. č. 19: Porovnání průběhu poměrového dodávaného výkonu VTE z hlediska času.

Souhrnně pro všechny větrné parky byl zpracován přehled četnosti poměrového dodávaného či odebíraného výkonu, obrázek č. 20. Dále je možné průběhy dodávek činného výkonu VTE porovnat na obrázku č. 22, kde jsou jejich distribuční funkce.

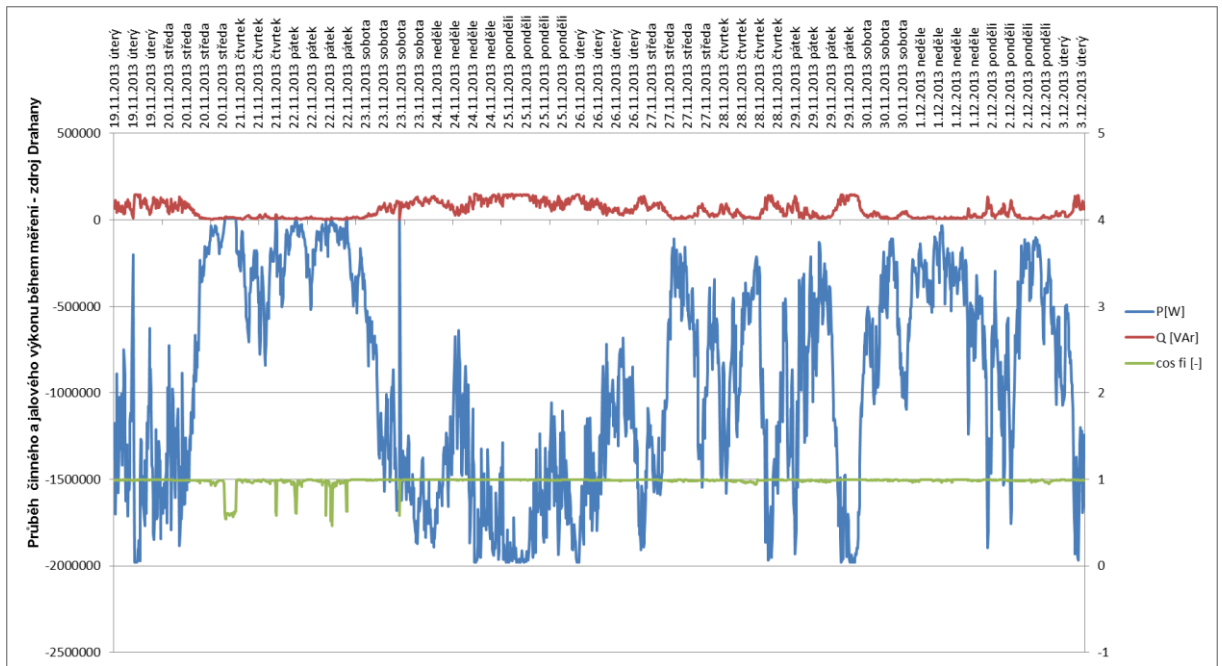
Dodávka výkonu je uváděna procentuálně, je poměrově vztažena k instalovanému výkonu výroby. Pro srovnatelnost je délka každého měření přepočtena ze své délky na 1008 vzorů, tedy na délku týdenního měření.



Obr. č. 20: Porovnání četnosti dodávaného nebo odebíraného výkonu VTE s rozdílnou velikostí instalovaného výkonu.

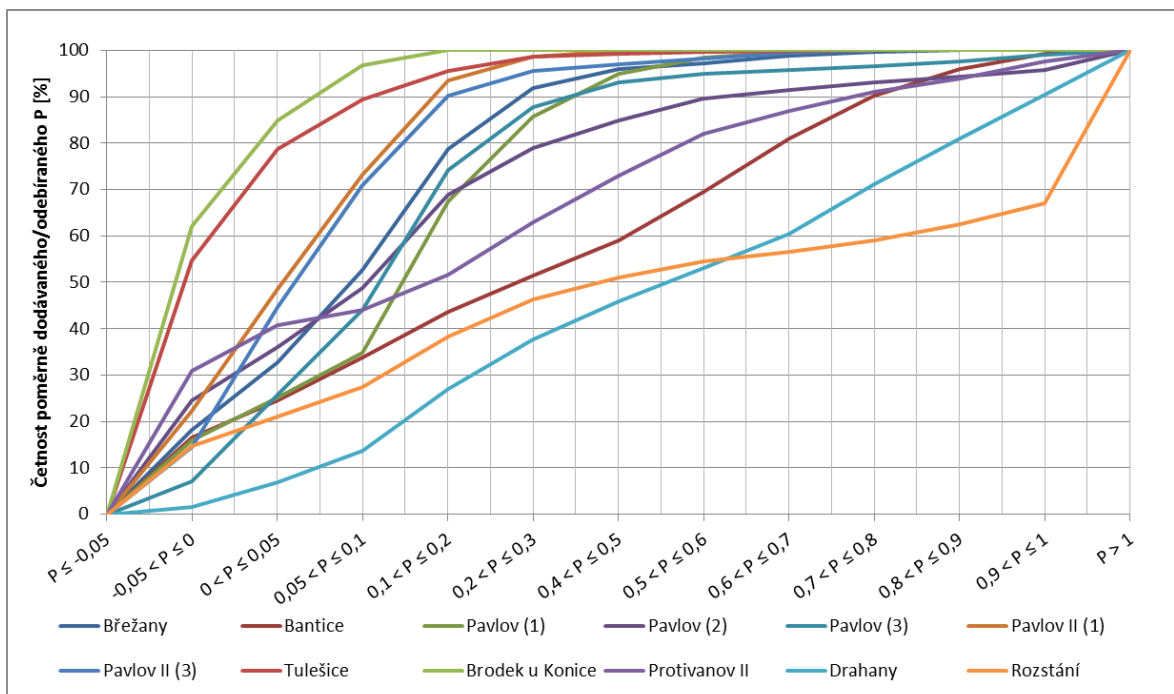
Obrázek č. 20 dává vyniknout několika specifickým průběhům dodávky:

- měření Pavlov (2) ($P_{\text{inst}}=4\text{MW}; S_k=47\text{MVA}; T_v=19,1\%$) vykazuje poměrně vysoké hodnoty odběru ze sítě. Maximální hodnota průměrného desetiminutového odběru byla 156 kW. Výrobna měla po 21,1 % měření průměrnou spotřebu větší než 5 % instalovaného výkonu,
- zdroj Brodek u Konice ($P_{\text{inst}}=1,2\text{MW}; S_k=52\text{MVA}; T_v=1,6\%$) po celou dobu vyráběl jen velmi málo, do sítě dodal jen 3,96 MWh.
- výrobna Rozstání ($P_{\text{inst}}=1,8\text{MW}; S_k=54\text{MVA}; T_v=48,8\%$) 33 % celého měření vyráběla na plný výkon.
- výrobna Drahany ($P_{\text{inst}}=2\text{MW}; S_k=33\text{MVA}; T_v=47\%$) má nejvyšší zastoupení napříč všemi kategoriemi poměrného výkonu, příčinou je největší fluktuace výkonu, viz obrázek č. 21.



Obr. č. 21: Průběh činného a jalového výkonu během celého měření na výrobně Drahaný.

Obrázek č. 21 je v tzv. orientaci spotřebiče, tedy záporný činný výkon značí dodávku do distribuční soustavy (kladný činný výkon značí spotřebu energie ve zdroji). Kladná hodnota jalového výkonu značí odběr jalového výkonu induktivního charakteru, záporná hodnota značí kapacitní charakter výkonu.



Obr. č. 22: Porovnání distribučních funkcí dodávaného činného výkonu pro všechny VTE s rozdílným využitím instalovaného výkonu.

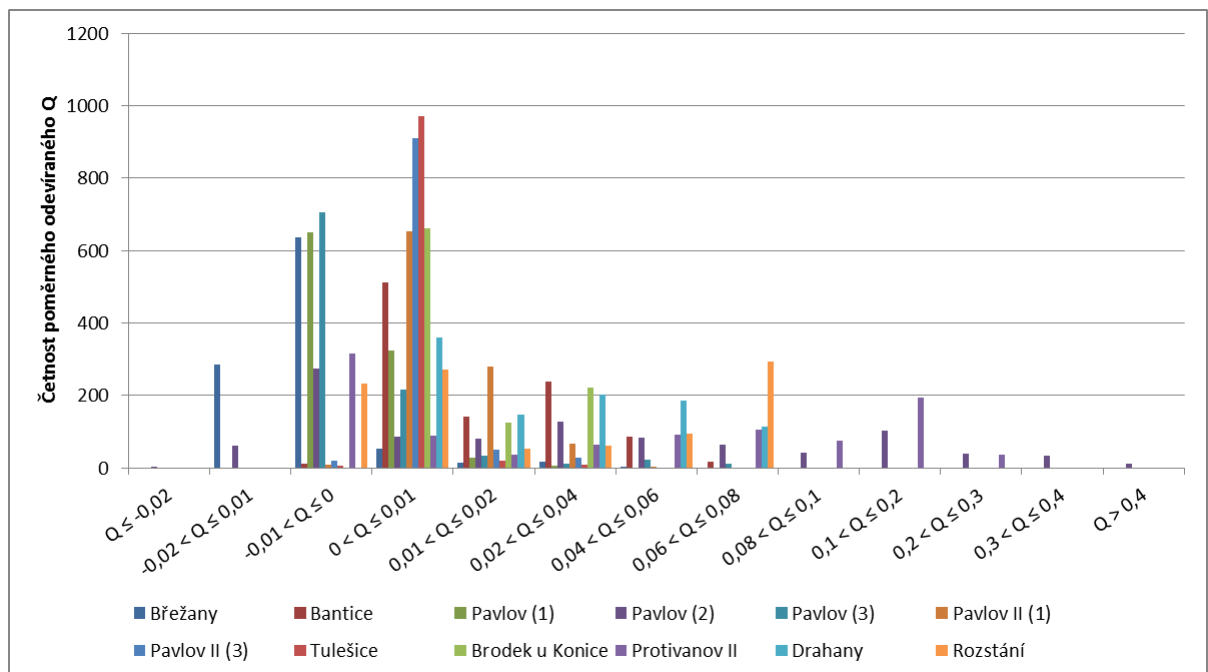
Obrázek č. 22 poukazuje na několik faktů:

- výrobní Brodek u Konice ($P_{\text{inst}}=1,2\text{MW}; S_k=52\text{MVA}; T_v=1,6\%$) nedosáhla během měření více než 20 % instalovaného výkonu,
- VTE Tulešice ($P_{\text{inst}}=2\text{MW}; S_k=46\text{MVA}; T_v=3,2\%$) 57,6 % celého měření nevyráběla a odebírala proud z vedení vn,
- zajímavý je téměř lineární průběh distribuční funkce výrobní Drahaný ($P_{\text{inst}}=2\text{MW}; S_k=33\text{MVA}; T_v=47\%$), jejíž fluktuace výroby je na obrázku č. 21.

5.2.2 Vyhodnocení jalového výkonu

Stejně jako pro činný výkon, byla i pro jalový výkon vyhodnocena četnost odebíraného jalového výkonu (obrázek č. 23). Aby mohly být jednotlivé výrobní porovnány, je jalový výkon vztažen na instalovaný výkon dané výrobní a četnost výskytu byla u každé výrobní přepočtena na 1008 vzorků.

Pro obrázek č. 23 a č. 26 kladná hodnota Q značí odběr induktivního jalového výkonu, záporná hodnota Q značí, že do sítě do výrobní přitéká kapacitní výkon.



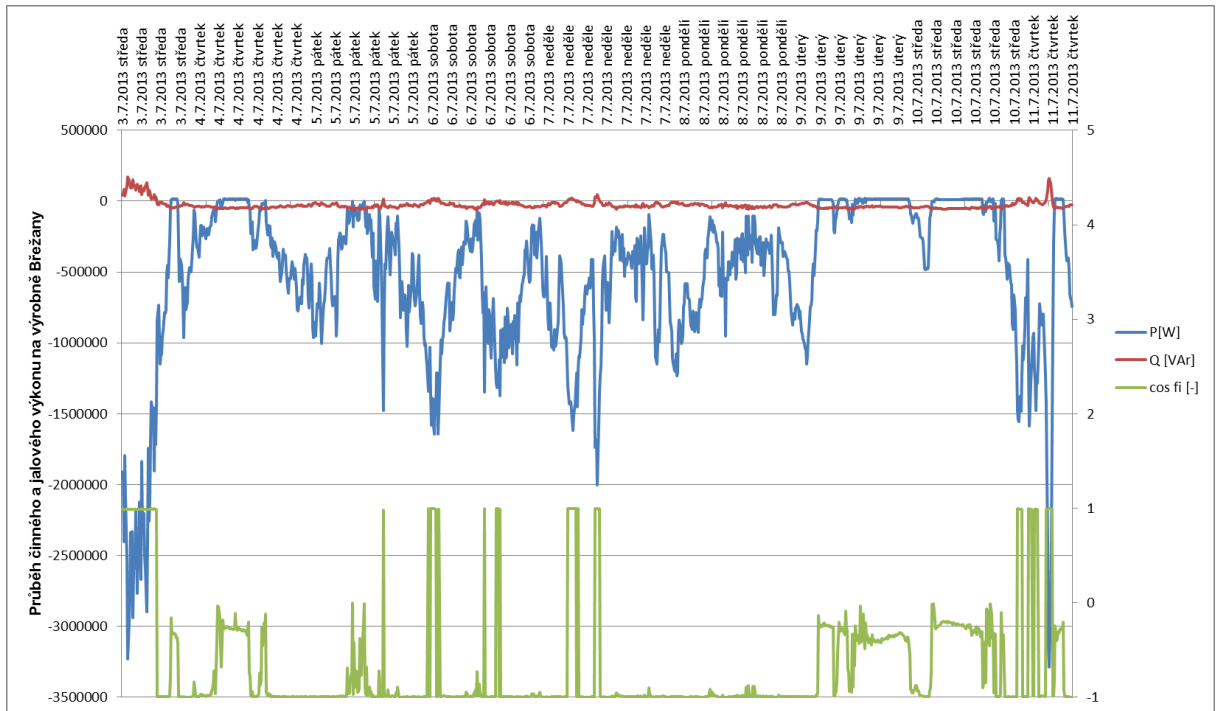
Obr. č. 23: Porovnání četností odebíraného jalového výkonu VTE s rozdílným využitím instalovaného výkonu.

Většina výroben odebírá jalový výkon induktivního charakteru. Ale stav, kdy výrobní neodebírá žádný Q , nebo $Q < 0$ (odebírání kapacitní Q), nastal v několika případech, šlo o výrobní Břežany ($P_{\text{inst}}=4,25\text{MW}; S_k=86\text{MVA}; T_v=12,5\%$), Pavlov ($P_{\text{inst}}=4\text{MW}; S_k=47\text{MVA}; T_v=15,4\%; 19,1\%; 15,9\%$) u všech tří měření, Rozstání ($P_{\text{inst}}=1,8\text{MW}; S_k=54\text{MVA}; T_v=48,8\%$), Protivanov II ($P_{\text{inst}}=3\text{MW}; S_k=41\text{MVA}; T_v=24,8\%$). Nejvyšším odběrem kapacitního Q je výrobní Břežany průběh P a Q je na obrázku č. 24. Kapacitní jalový výkon dosahuje nejvyšší hodnoty 66,3 kVar může způsobovat kabelizace napájecí linky výrobní.

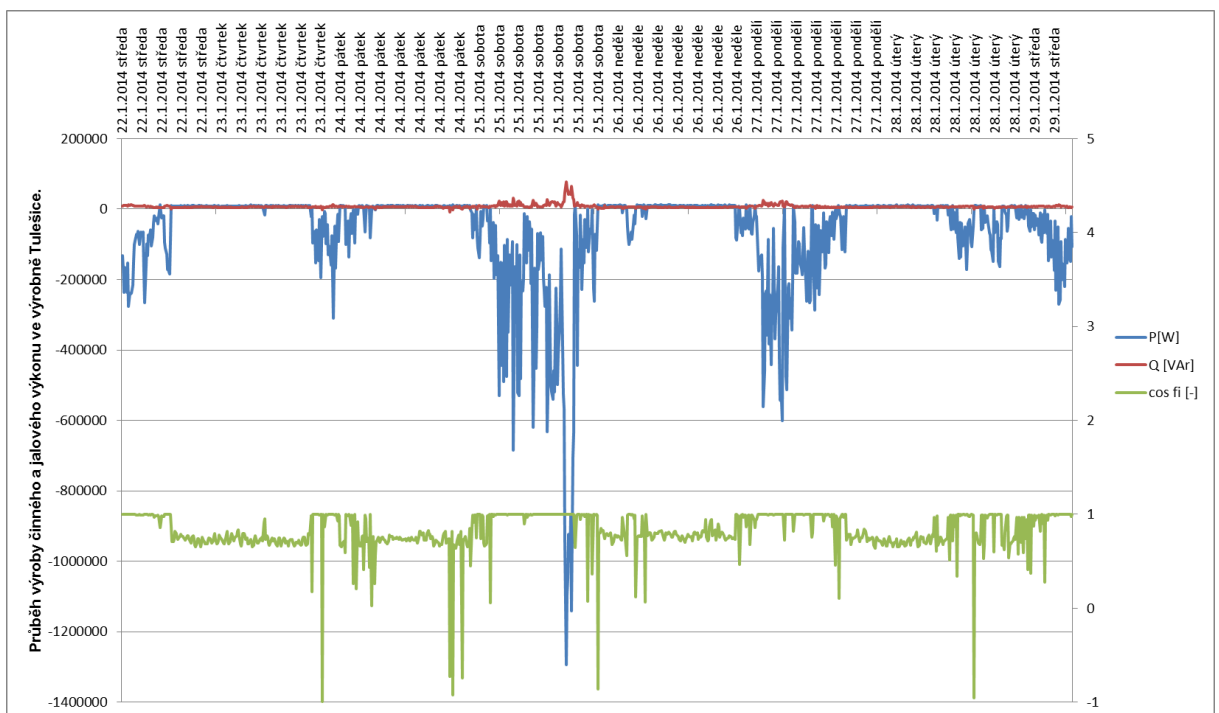
Větrný park Břežany čítá pět generátorů o výkonu 850 kW a je připojený k rozvodně 7270 m dlouhým vedením. Vedení se skládá z 6945 m nadzemního vedení s AlFe lany, zbylých 325 m je

realizováno kabelem AXEKVCEY 240 [6]. Není známé, jak dlouhé a jaké dimenze je napájecí kabelový rozvod mezi jednotlivými turbínami uvnitř větrného parku, vzhledem k velikosti rotorů 52 metrů nebude zanedbatelný.

Pro porovnání výroba Tulešice ($P_{\text{inst}}=2\text{MW}; S_k=46\text{MVA}; T_v=3,2\%$) o jedné 2 MW turbíně, je připojena samostatně 20258 m dlouhým vedením, a za pomoci dvou kabelů ANKTOYPV 240 v délce 799 m a AXEKVCEY 240 v délce 1101 m [6], průběh P a Q je na obrázku č. 25.

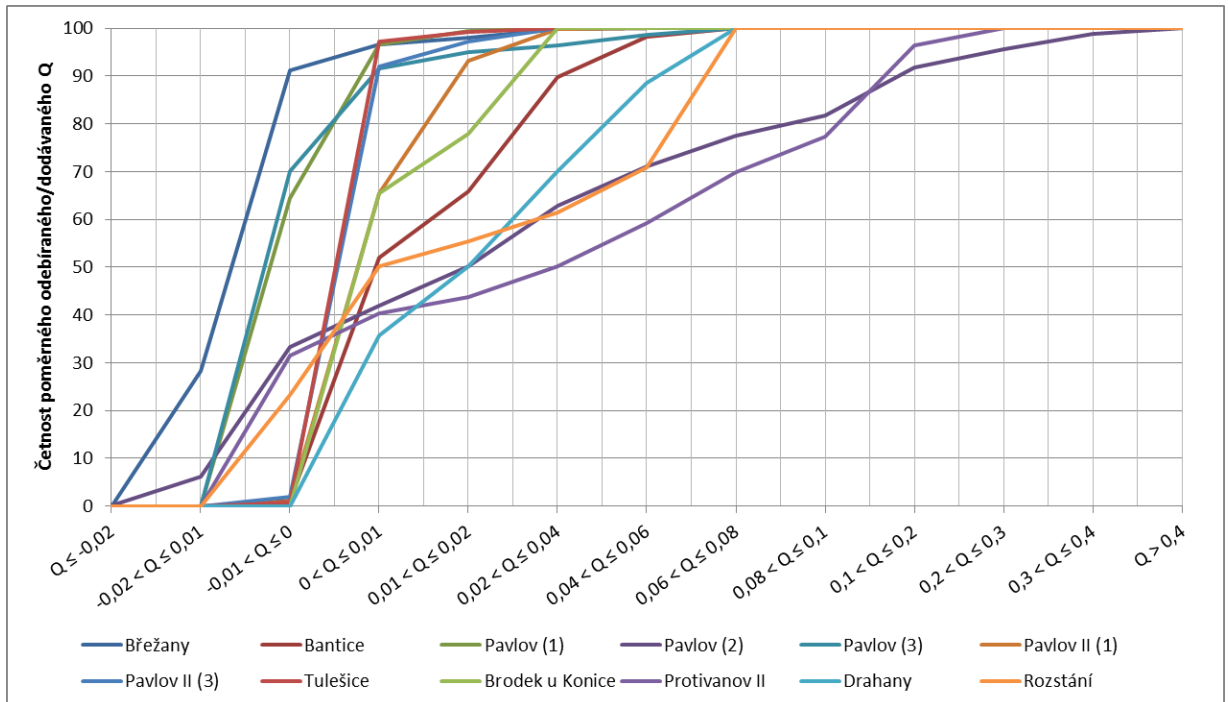


Obr. č. 24: Průběh činného a jalového výkonu během celého měření na výrobě Břežany.



Obr. č. 25: Průběh činného a jalového výkonu během celého měření na výrobě Tulešice.

Na obrázku č. 24 je vidět, že elektrárna Břežany začíná odebírat induktivní jalovou energii až po dosažení činného výkonu 1500 kW a více. Výrobna Tulešice měla dobu využití instalovaného výkonu pouze 3,2 %, ale i tak je vidět že při dodávce činného výkonu odebírala ze sítě jalový výkon induktivního charakteru.



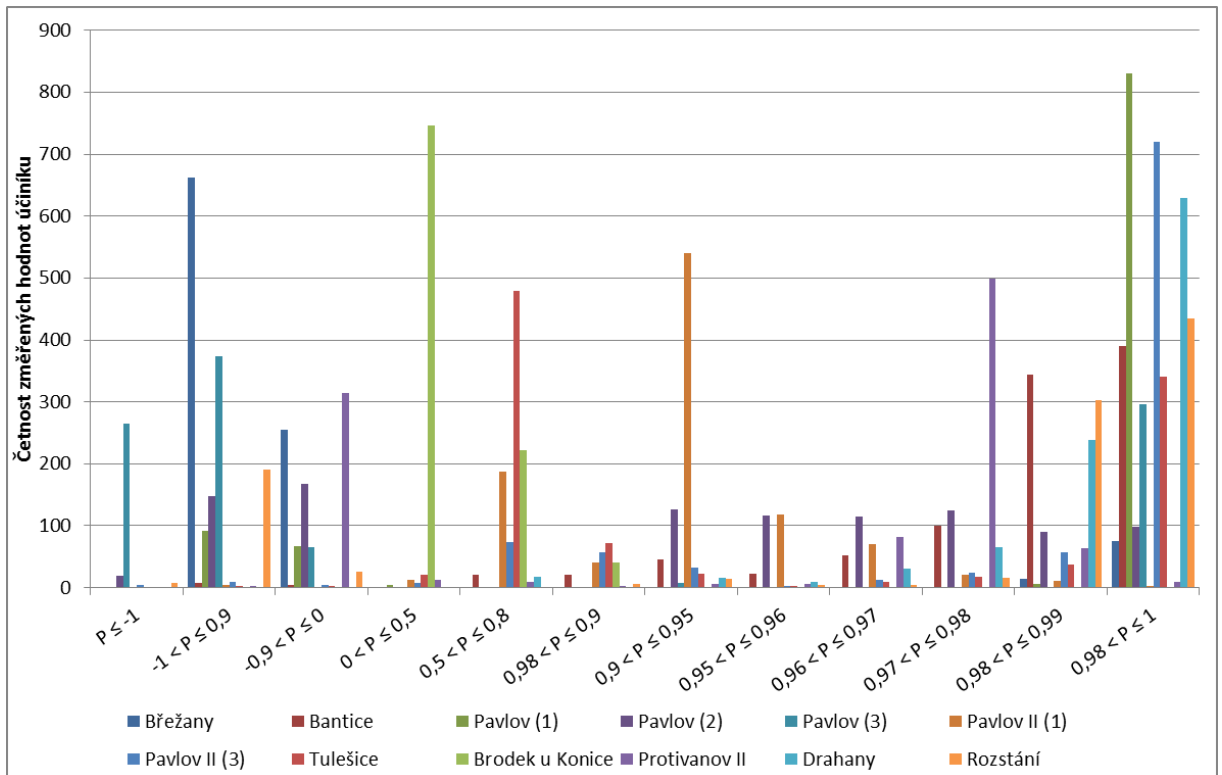
Obr. č. 26: Porovnání distribučních funkcí dodávaného jalového výkonu pro všechny VTE s rozdílným využitím instalovaného výkonu.

Obrázek č. 26 porovnává distribuční funkce dodávky jalového výkonu všech výroben, který je poměrně vztažen k instalovanému výkonu dané výrobny. Nejstrměji rostoucí distribuční funkci má elektrárna Břežany, je to způsobeno vysokým podílem Q kapacitního charakteru viz obrázek č. 23 a č. 24.

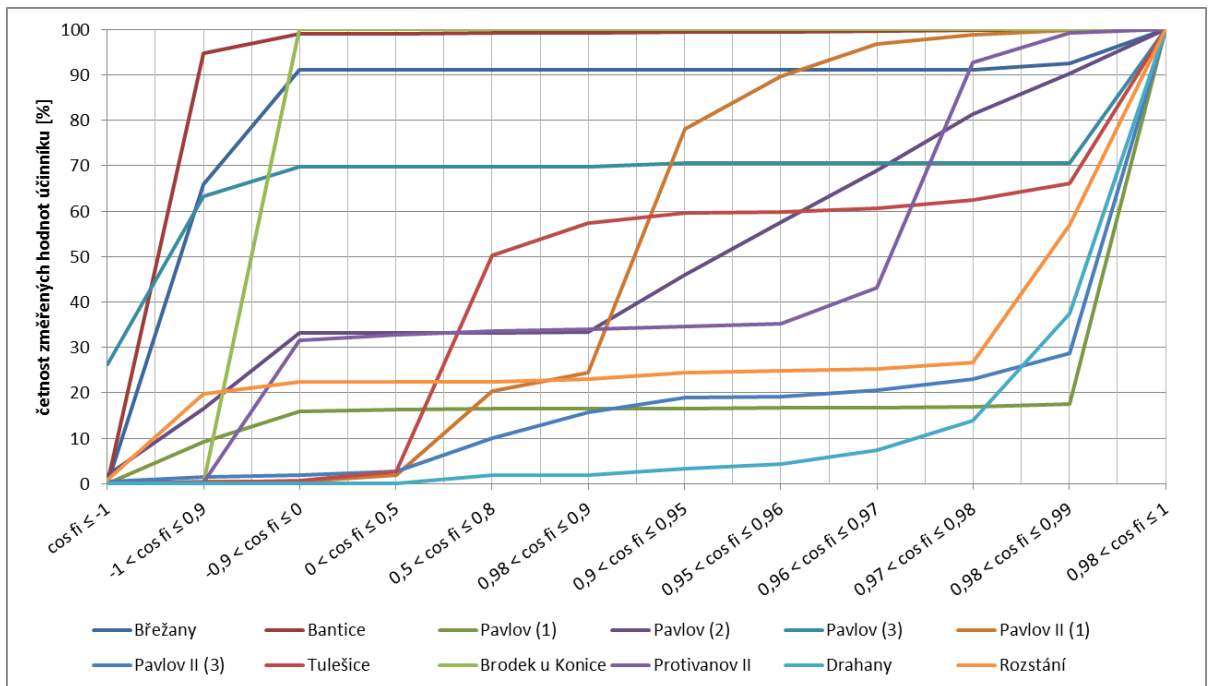
Nejpozvolnější distribuční funkce poukazuje na vyšší odběr Q induktivního charakteru. Vykazuje ho výrobna Protivanov II ($P_{\text{inst}}=3\text{MW}; S_k=41\text{MVA}; T_v=24,8\%$) a VTE park Pavlov ($P_{\text{inst}}=4\text{MW}; S_k=47\text{MVA}; T_v=19,1\%$), u kterého byl nejvyšší odběr Q ve druhém ze tří měření, přestože všechna měření měla dobu využití maxima mezi 15 a 19 %.

5.2.3 Vyhodnocení účinníku

Účinník byl vyhodnocen za pomoci četnosti naměřených hodnot obrázkem č. 27 a odpovídající distribuční funkcí, obrázek č. 28.



Obr. č. 27: Porovnání četnosti naměřeného účinníku VTE s rozdílným využitím instalovaného výkonu.



Obr. č. 28: Porovnání distribučních funkcí naměřeného účinníku s rozdílným využitím instalovaného výkonu.

Z předešlých obrázků je patrný trend, kdy výrobny při dodávce činného výkonu dodržují účinník na úrovni 1, proto výrobny s vyšším poměrem využití instalovaného výkonu mají vyšší četnost vzorků s účinníkem rovné 1.

5.2.4 Vyhodnocení vlivu výkonových toků

Z předešlých kapitol je patrné, že větrná elektrárna má vliv na distribuční soustavu, do které je zapojena. Míra ovlivnění distribuční soustavy je vyhodnocena v následující tabulce jako korelace jednotlivých parametrů naměřených v přípojném bodě.

Korelace popisuje za pomoci korelačního koeficientu míru změny jedné hodnoty v poměru k jiné hodnotě. V praxi korelací posuzujeme dvě číselné řady vůči sobě. Trend vzájemného vývoje může být přímo úměrný (korelační koeficient se rovná jedné), nepřímo úměrný (korelační koeficient je rovný mínus jedné), nebo jsou obě číselné řady vůči sobě náhodně uspořádané (korelační koeficient je rovný nule).

V tabulce č. 14 jsou vyhodnoceny korelace výkonu P vůči jalovému výkonu Q , napětí U , krátkodobé míře vjemu flikru P_{st} a dlouhodobé míře vjemu flikru P_{lt} pro všechny měření.

Porovnání výsledků korelace mezi jednotlivými měřeními ukazuje, že čím je nižší zkratový výkon DS v místě připojení, tím více výroba ovlivňuje síť, do které je připojena. Tento trend je zřejmý u výroben, které jsou v provozu, proto byly výroby s dobou využití instalovaného výkonu pod 5 % nebo nižší umístěny do druhé části tabulky. Výroby v první části tabulky jsou seřazeny podle velikosti zkratového výkonu.

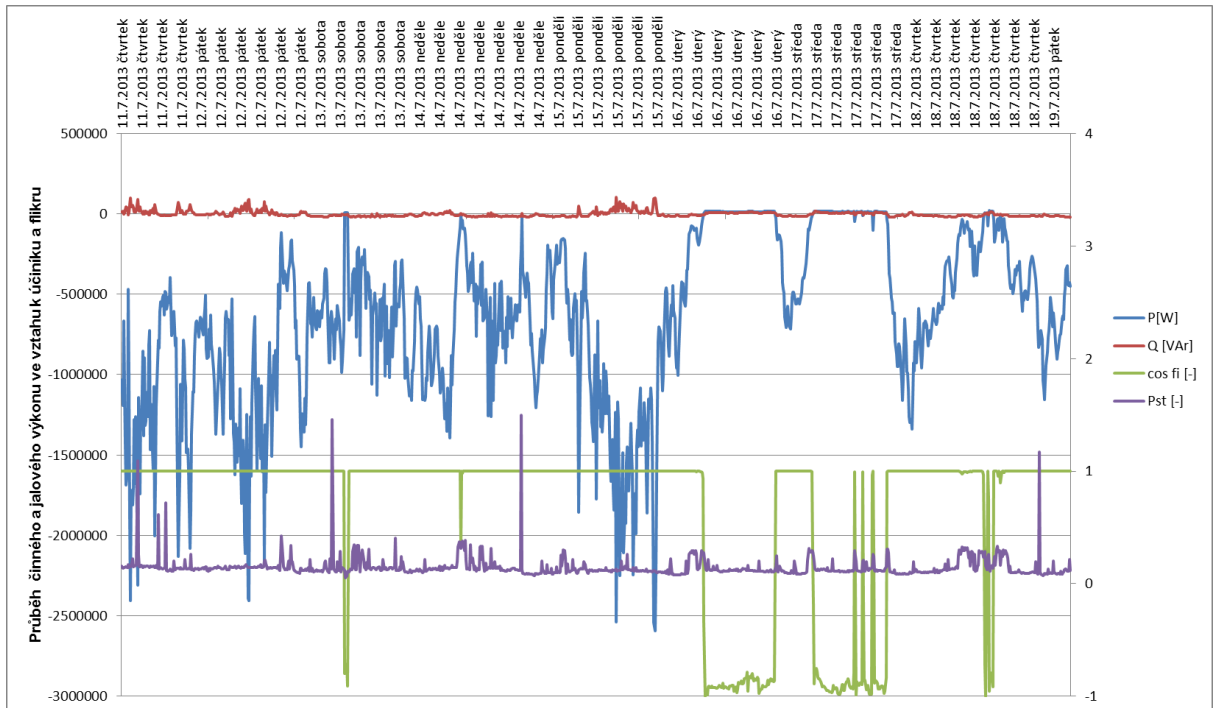
Tab. č. 14: Vyhodnocení korelací sledovaných veličin (P vs. Q, U, P_{st}, P_{lt}) všech měření VTE.

Měření	Instalovaný výkon VTE [kW]	Počet generátorů	Výtěžnost [%]	Zkratový výkon v místě připojení [MVA]	Měřené období	Korelační koeficient P verus			
						Q	U	Pst	Plt
Bantice	2000	1	31,6	103,0	28.3.-5.4. 2013	0,967	0,306	-0,014	0,043
Břežany	4250	5	12,5	86,0	3.7.-11.7. 2013	0,954	0,512	-0,074	-0,018
Pavlov II (3)	1700	2	8,9	60,0	2.8.-10.8. 2016	0,950	0,539	-0,282	-0,305
Pavlov II (1)	1700	2	7,1	60,0	11.7.-9.7. 2013	0,982	0,558	-0,018	-0,064
Rozstání	1800	1	48,8	54,0	3.12.-11.12. 2013	0,982	0,659	-0,085	-0,049
Pavlov (1)	4000	2	15,4	47,0	11.7.-19.7. 2013	0,573	0,586	-0,064	-0,033
Pavlov (2)	4000	2	19,1	47,0	21.7.-2.8. 2016	0,976	0,513	-0,148	0,039
Pavlov (3)	4000	2	15,9	47,0	2.8.-10.8. 2016	0,939	0,566	-0,355	-0,336
Protivanov II	3000	2	24,8	41,0	11.11.-19.11. 2013	0,992	0,803	0,842	0,788
Drahany	2000	1	47,0	33,0	19.11.-3.12. 2013	0,975	0,780	0,687	0,699
Tulešice	2000	1	3,2	46,0	22.1.-29.1. 2014	0,913	0,184	0,089	0,151
Brodek u Konice	1200	2	1,6	52,0	3.6.-12.6. 2014	0,872	0,119	0,033	0,053

Výsledky v tabulce jasně ukazují, že VTE ovlivňují napětí v místě připojení, míra ovlivnění je nepřímo úměrná zkratovému výkonu v místě připojení. U elektráren Protivanov II ($P_{inst}=3\text{MW}; S_k=41\text{MVA}; T_v=24,8\%$) a Drahany ($P_{inst}=2\text{MW}; S_k=33\text{MVA}; T_v=47\%$) je patrná velmi silná korelace mezi napětím a flikrem.

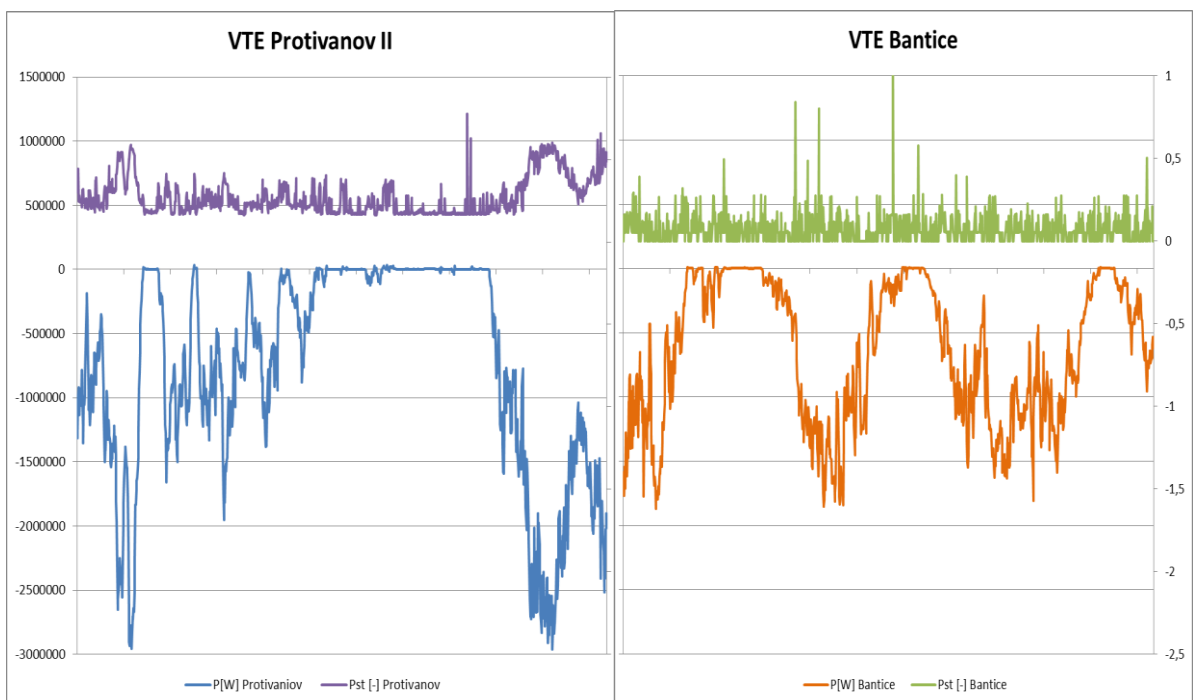
Všechny výroby mají silnou korelaci mezi činným a jalovým výkonem (s korelačním koeficientem v rozmezí 0,872 až 0,992), výjimkou bylo první měření na výrobě Pavlov (1) ($P_{inst}=4\text{MW}; S_k=47\text{MVA}; T_v=15,4\%$). Jde o jediné měření, ke kterému byl použit měřicí přístroj MEg38C, průběh veličin $P, Q, \cos \phi$ a P_{st} z tohoto měření je vyneseno v obrázku č. 31. Z obrázku je patrná vizuální souvislost při výrobě nad úrovní 1500 kW, pod tuto úroveň se jalový výkon držel na

nulové úrovni. Výrobná Pavlov při dalších dvou měření vykazovala vyšší korelaci mezi P a Q i přes obdobně nízké využití instalovaného výkonu (15,4 – 19,1 %).



Obr. č. 31: Průběh činného a jalového výkonu, účinníku a flikru během celého měření na výrobě Pavlov (1).

Na obrázku č. 32 je porovnání průběhu P a P_{st} na dvou výrobně s nízkým zkratovým výkonem (Protivanov II ($P_{inst}=3\text{MW}; S_k=41\text{MVA}; T_v=24,8\%$)) a výrobně s nejvyšším zkratovým výkonem (Bantice ($P_{inst}=2\text{MW}; S_k=103\text{MVA}; T_v=31,6\%$)). Vztah mezi P a P_{st} je u výroby Protivanov vizuálně zřetelný.



Obr. č. 32: Průběh činného výkonu a flikru na dvou výrobních s různým zkratovým výkonem.

Závěr

S ohledem na budoucí plány Evropské unie, kdy se postupně mluví o přechodu na výrobu elektrické energie pouze z obnovitelných zdrojů, je nutné znát úskalí, která tento krok přinese. Zmíněná politika již začala svými dílčími cíli. Je nutné ji vnímat jako příležitost, jak se naučit OZE využívat a začleňovat je do elektrizační soustavy.

V práci jsem popsal současný stav a krátkou historii jednotlivých OZE, které jsou v České republice využívány. OZE jsou porovnány dle svých vlastností, teoretických měrných investičních nákladů a nákladů na výrobu silové elektrické energie. Stav v České republice je porovnán se situací v Evropské unii, která je globálním leaderem v rozvoji OZE. Budoucí vývoj lze odhadovat z národních akčních plánů, ale jak je v práci uváděno, jen málo ze států EU_28 má aktuálně zpracovanou politiku rozvoje OZE po roce 2020.

Třetí kapitola je věnována problematice připojování nových výroben do elektrizační soustavy dle aktuálních regulí. Kapitola kodex ENTSO-E rámcově naznačuje nové standardy, které Česká republika uvede v létě v platnost vydáním nové přílohy č. 4 *Pravidel provozování distribuční soustavy*.

Poslední část práce vyhodnocuje vliv devíti větrných parků společnosti E.ON s instalovaným výkonem nad 1MW. Na výrobnách byly provedeny krátké jedno až dvoutýdenní měření za účelem ověření parametrů kvality v místě připojení k distribuční síti 22 kV.

Kvalita napětí (odchyly napětí, flickr, nesymetrie napětí a harmonické zkreslení) plní ve všech případech parametry dané normou ČSN EN 50 160. VTE byly posuzovány z pohledu toků činných a jalových výkonů, ty jsou silně ovlivněny režimem výroby elektrárny. Využití instalovaného výkonu po dobu měření se v posuzovaných případech pohybovalo od 1,6 % do 48,8 %, na což mělo vliv i rozdílné roční období, v kterém byly jednotlivé měření uskutečněny. Jalový výkon plně koreluje s dodávkou činného výkonu induktivního charakteru a v běžných případech nepřesáhl 10 % instalovaného výkonu výroby.

Z vyhodnocení v závěrečné kapitole jasně vyplývá, že všechny výrobní ovlivňují distribuční síť. A to slabě v případě vysokého zkratového výkonu sítě, nebo silně. V případě výroby Protivanov II byl korelační koeficient flickru a činného výkonu roven hodnotě 0,842, což značí silnou závislost. Výsledky analýzy změřených dat potvrdily ovlivňování kvality napětí a působení zpětných vlivů do sítě.

Seznam literatury

- [1] TESAŘOVÁ, Miloslava. *Průmyslová elektroenergetika*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-708-2703-3.
- [2] ŠKORPIL, CSC, Doc. Ing. Jan. OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE - vize, možnosti, meze. In: Možnosti využití energie větru v česko-německo-polské příhraniční oblasti: konference Boží Dar 6.6.-7.6.1997. Plzeň: Západočeská univerzita, 1997, s. 9-12. ISBN 80-7082-391-7.
- [3] Roční zpráva o provozu ES ČR 2015. In: . Praha: Oddělení statistiky a sledování kvality ERÚ, 2016, ročník 2015. Dostupné také z: http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2015.pdf/3769f65b-3789-4e93-be00-f84416e1ca03
- [4] Renewable energy statistics. *Eurostat Statistic Explained* [online]. Renewable energy statistics, 2017 cit. 2017-04-14]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable_energy_statistics
- [5] *Národní akční plán České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů*. Prosinec 2015. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu.
- [6] JAROŠ, Petr. *Analýza parametrů kvality napětí v místě připojení VTE k DS 22kV: Závěrečná zpráva*. České Budějovice, 2014.
- [7] MOTLÍK, Jan, Libor ŠAMÁNEK, Josef ŠTEKL, Tomáš PAŘÍZEK a A KOLEKTIV. *Obnovitelný zdroj energie: a možnosti jejich uplatnění v ČR* [online]. Praha: ČEZ, 2007 [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edec/content/file/energie-a-zivotni-prostredi/oze-cr-all-17-01-obalka-in.pdf>
- [8] Energie z obnovitelných zdrojů. *ČEZ: Výroba elektřiny* [online]. Praha: skupina ČEZ [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje.html>
- [9] *Čtvrtletní zpráva o provozu ES ČR: IV. 2016*. Jihlava: Energetický regulační úřad, 2016.
- [10] CROME, Horst. *Technika využití energie větru: svépomocná stavba větrných zařízení*. Ostrava: HEL, 2002. ISBN 80-86167-19-4.
- [11] *Česká společnost pro větrnou energii* [online]. Praha: Česká společnost pro větrnou energii, 2013 [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: <http://www.csve.cz>
- [12] Vestas History. Vestas [online]. Hedeager 42 8200 Aarhus N: Vestas, 2017 [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: <https://www.vestas.com/en/about/profile#!from=1971-1986>.
- [13] CENEK, Miroslav. *Obnovitelné zdroje energie. 2. upr. a dopl. vyd.* Praha: FCC Public, 2001. ISBN 80-901985-8-9
- [14] LINHART, Tomáš a Martin PISTORA. *Vliv DSR SFC na kvalitu regulace frekvence*. Praha: Čeps a.s., oddělení Analýzy PS, 2015.
- [15] EUROPEAN UNION. *Renewable Energy Progress Report: REPORT FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS*. In: . Brussels: European Commission, 2017, ročník 2017. Dostupné také z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52017DC0057&qid=1488449105433&from=EN>
- [16] MAJLING, Eduard. *Wind Europe: Po rekordních letech letos investice do větrných zdrojů v Evropě klesnou*. In: *O Energetice* [online]. OEnergetice.cz, 2017 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/vetrne-elektrany/windeurope-rekordnich-letech-letos-investice-vetrnych-zdroju-evrope-klesnou/>
- [17] KAMENÍK, Ivan. *Spoutaný indický vítr. Energetika*. 2015, 78. ISSN 0375-8842.

- [18] *RENEWABLES 2016 GLOBAL STATUS REPORT* [online]. Paris: REN21 Secretariat: REN21, 2016 [cit. 2017-04-17]. ISBN 978-3-9818107-0-7. Dostupné z: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_Full_Report.pdf
- [19] VOBOŘIL, David. Větrné elektrárny: princip, rozdělení, elektrárny v ČR. In: *O Energetice* [online]. Oenergetice.cz, 2015 [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: David Vobořil Více na: <http://oenergetice.cz/typy-elektraren/vetrne-elektrarny-princip-cinnosti-zakladni-rozdeleni/>
- [20] HANSEN, Kim. Offshore větrné elektrárny se do 10 let mohou dostat cenově na úroveň fosilních. In: *O Energetice* [online]. Oenergetice.cz, 2016 [cit. 2017-04-07]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/vetrne-elektrarny/offshore-vetrne-elektrarny-se-do-10-let-mohou-dostat-cenove-na-uroven-fosilnich/>
- [21] Tiskové zprávy: Solární asociace. In: *Solární asociace* [online]. Praha: Solární asociace, 2016 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <http://www.solarniasociace.cz/cs/promedia/tiskove-zpravy>
- [22] 10 of the Biggest Turbines. In: *Wind power awea* [online]. Wind power awea, 2016 [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://www.windpowermonthly.com/10-biggest-turbines>
- [23] SCHULZ, Heinz. Bioplyn v praxi: teorie - projektování - stavba zařízení - příklady. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2004, 167 s. ISBN 80-861-6721-6
- [24] Mapa bioplynových stanic. In: *Česká bioplynová asociace* [online]. Česká bioplynová asociace, 2017 [cit. 2017-05-2]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/mapa-bioplynovych-stanic/>
- [25] Zelená energie. In: *Plzeňská teplárenská* [online]. Plzeň: Plzeňská teplárenská, 2011 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.pltep.cz/index.php?goto=text&sekce=Ar5bXRIQ&tid=V8TSTGNc&lng=cz>
- [26] Hodnocení výroby elektřiny z bioplynu v roce 2016. In: *Česká bioplynová asociace* [online]. Praha: Česká bioplynová asociace, 2017 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/aktuality/hodnoceni-vyroby-elektriny-z-bioplynu-v-roce-2016.html>
- [27] *Pravidla provozování distribučních soustav*. ČEZ Distribuce, 2016.
- [28] *Pravidla provozování distribučních soustav: příloha č.4*. ČEZ Distribuce, 2016.
- [29] ČSN 50160. 3. 2011.
- [30] Vyhláška ERÚ 16/2016 ze dne 22.1.2016
- [31] ČSN EN 61400-21 (33 3160): Větrné elektrárny - Část 21: Měření a stanovení kvality elektrických výkonových charakteristik větrných elektráren připojených do elektrické rozvodné soustavy
- [32] Dispečerské řízení větrných elektráren. *EGÚ Praha Engineering* [online]. Praha: EGÚ Praha Engineering [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.egu-prg.cz/dispecerske-rizeni-vetrnych-elektraren>
- [33] JORTAY, Marcel. *Energy, transport and environment indicators — 2016 edition* [online]. Luxembourg: © European Union, 2016 [cit. 2017-04-14]. ISBN 978-92-79-60137-8. Dostupné z: <http://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-statistical-books/-/KS-DK-16-001>
- [34] Network Code for Requirements for Grid Connection applicable to all Generators (RfG), ENTSO E, 8March 2013
- [35] MACENAUER, Michal. *Potenciál říditelné spotřeby v ČR: možnost uplatnění smart technologií*. Cired, Pavlov: EGÚ Brno, a.s., 2014.
- [36] RYCHLÝ, Oldřich. *NOVÉ PODMÍNKY PRO PŘIPOJENÍ ZDROJŮ A ODBĚRŮ ELEKTRICKÉ ENERGIE DLE EVROP-SKÝCH SÍŤOVÝCH KODEXŮ*. Cired, Tábor:

- ČEPS a.s., Specialista oddělení Analýzy PS, 2015.
- [37] KRUTIŠ, Petr. Vattenfall postaví největší dánský offshore větrný park s nejlevnější energií. In: *O Energetice* [online]. OEnergetie.cz, 2016 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/vetrne-elektrarny/vattenfall-postavi-nejvetsi-dansky-offshore-vetrny-park-s-nejlevnejsi-energii/>
- [38] DICASTO, Cat. Scotland's wind turbines generated 106% of the country's electricity last Sunday. In: *Inbat* [online]. Inbat.com, 2016 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://inhabitat.com/scotlands-wind-turbines-generated-106-of-the-countrys-electricity-last-sunday/>
- [39] ÚSTAV FYZIKY ATMOSFÉRY. Větrná mapa. In: *Česká společnost pro větrnou energii* [online]. Praha: CSVE [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/cz/clanky/vetrna-mapa/35>
- [40] *Vyhláška č. 338/2011 Sb.: kterou se mění vyhláška č. 475/2005 Sb.* [online]. In: . [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=z&id=23334
- [41] Statistika VTE 2016. In: *Česká společnost pro větrnou energii* [online]. Praha: Česká společnost pro větrnou energii, 2017 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/clanky/statistika/281>
- [42] TESÁŘOVÁ, Miloslava, Martin KAŠPÍREK a Roman VYKUKA. Hodnocení provozu větrných elektráren připojených do distribuční sítě 22KV. In: *Konference ČK CIRED 2016*. Tábor: ČK CIRED, 2016, Sekce č. 2 / referát č.5.

Seznam příloh:

- Příloha č. 1** Porovnání výdajů za dodanou elektrickou energii
- Příloha č. 2** Tabulka hodnot harmonických napětí
- Příloha č. 3** Schématické zapojení výroben el. energie do rozvodny

Příloha č. 1

Porovnání výdajů za dodanou elektrickou energii

Důležitým srovnávacím faktorem implementace obnovitelných zdrojů může být i výsledná cena elektrické energie za dodanou kWh. V této ceně se zjednodušeně promítají tři základní složky:

- **Cena silové energie**

Cena silové energie na burze v posledním desetiletí klesla z cca 60 Eur za MWh na dnešních 33 Eur za MWh. Tento trend je výsledkem otevřeného Evropského trhu s elektrickou energií. Určitý vliv na dnešní cenu silové energie má i podporovaná dodávka energie z OZE, ta je však dodávána do sítě za cenu, která je na rozdíl od konvenčních fosilních paliv dotována.

- **Daň za energii**

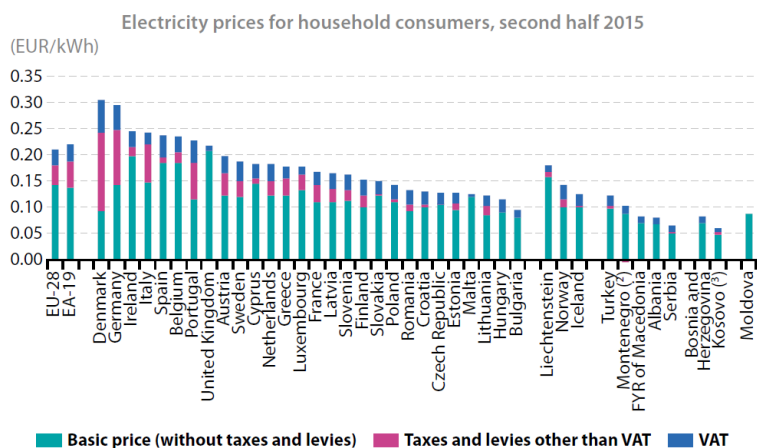
Každý stát EU daní odebranou elektrickou energií, v České republice je daň 15 % z výsledné ceny elektrické energie.

- **Poplatky za služby spojené s dodávkou elektrické energie**

Zákazník neplatí jen za energii, ale také za její dodávku do odběrného místa. V ceně energie je tedy zahrnut poplatek na výstavbu a udržování PS a DS, systémové služby, podporu OZE, funkci správních orgánů.

Standardem zemí EU je dvousložková platba za elektrickou energii, tedy platba za rezervovanou kapacitu (jistič) a za skutečně odebranou elektrickou energii. Cena se liší i dle místa připojení zákazníka k elektrizační soustavě.

Z výše uvedeného je parné, že cenu silové energie můžeme pokládat za stejnou ve všech státech EU, zdanění energie pro další úvahu budu považovat za stejnoměrné. Pokud neuvažujeme tyto dva faktory, zbývá v ceně poplatek na dodávku energie zákazníkovi. V České republice se v tomto poplatku zásadně promítá příspěvek na obnovitelné zdroje a rozvoj elektrizační soustavy. Z toho důvodu je zajímavé grafické porovnání cen na obr. č. 3. V grafu je vyobrazena cena pro domácnosti v zemích EU, za povšimnutí stojí zejména absolutní výše ceny za kWh. Z obrázku je patrná korelace výsledné ceny energie a mírou integrací OZE.



Obr. č. 1. 1: Cena kWh pro domácnosti v jednotlivých státech EU, zdroj [4]

Příloha č.2

Tabulka hodnot harmonických napětí

Tab. č. 2.1: Hodnoty jednotlivých harmonických napětí v předávacím místě v procentech u1 pro řády harmonických až do 25

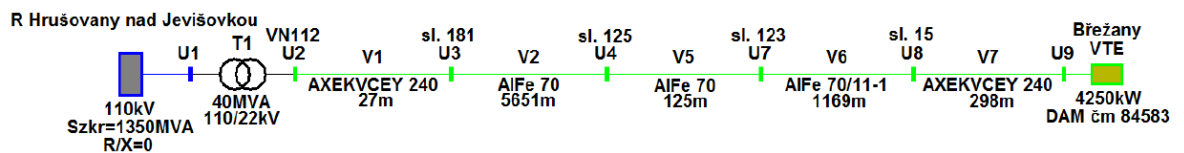
	PNE 33 3430	ČSN EN 50160
THDu	6,50%	8,00%
Uh2	1,80%	2,00%
Uh3	4,00%	5,00%
Uh4	1,00%	1,00%
Uh5	5,00%	6,00%
Uh6	0,50%	0,50%
Uh7	4,00%	5,00%
Uh8	0,50%	0,50%
Uh9	1,20%	1,50%
Uh10	0,47%	0,50%
Uh11	3,00%	3,50%
Uh12	0,43%	0,50%
Uh13	2,50%	3,00%
Uh14	0,40%	0,50%
Uh15	0,30%	0,50%
Uh16	0,38%	0,50%
Uh17	1,70%	2,00%
Uh18	0,36%	0,50%
Uh19	1,50%	1,50%
Uh20	0,35%	0,50%
Uh21	0,20%	0,50%
Uh22	0,33%	0,50%
Uh23	1,20%	1,50%
Uh24	0,32%	0,50%
Uh25	1,10%	1,50%

Příloha č.3

Schématické zapojení výroben el. energie do rozvodny.

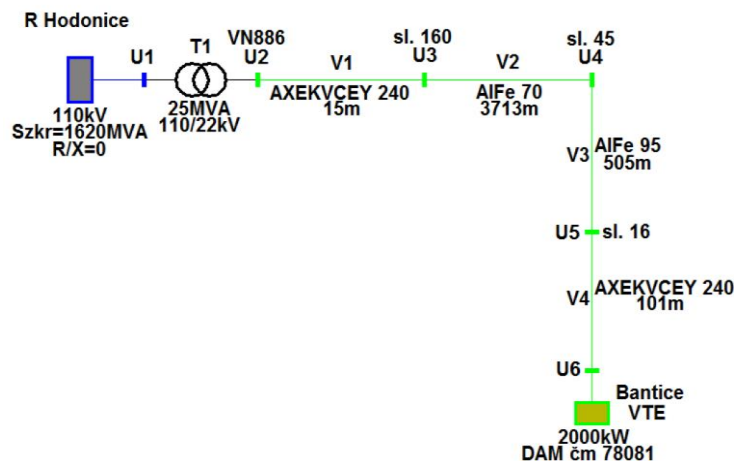
V této přílohy jsou citovány schémata ze zdroje [6].

Břežany



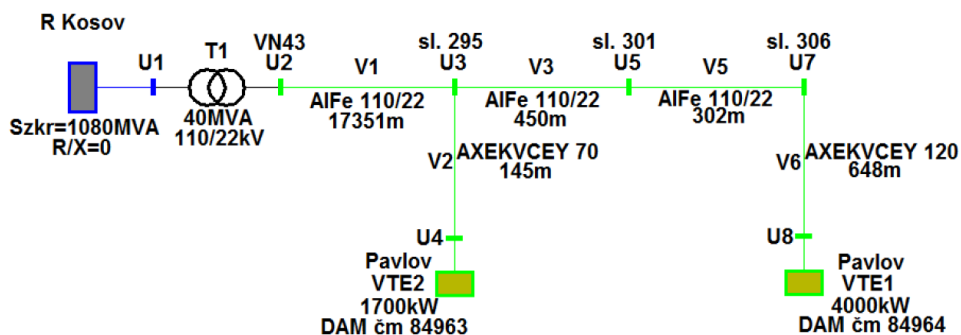
Obr. č.3.1: Schématické zapojení VTE Břežany, zdroj [6].

Bantice



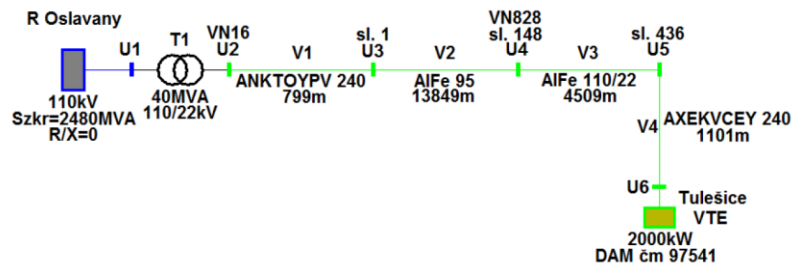
Obr. č.3.2: Schématické zapojení VTE Bantice, zdroj [6].

Pavlov a Pavlov II



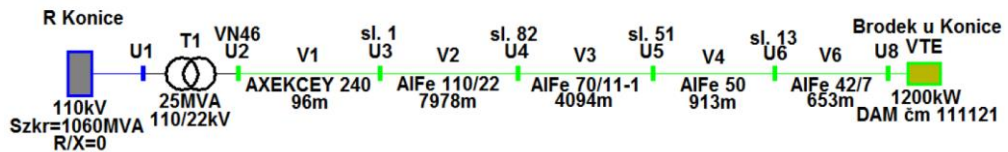
Obr. č.3.3: Schématické zapojení VTE Pavlov a Pavlov II, zdroj [6].

Tulešice



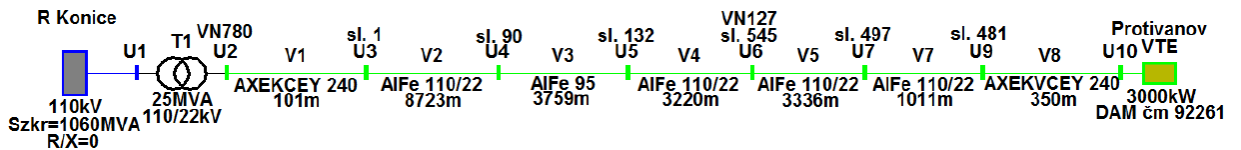
Obr. č.3.4: Schémazapojení VTE Tulešice, zdroj [6].

Brodek u Konice



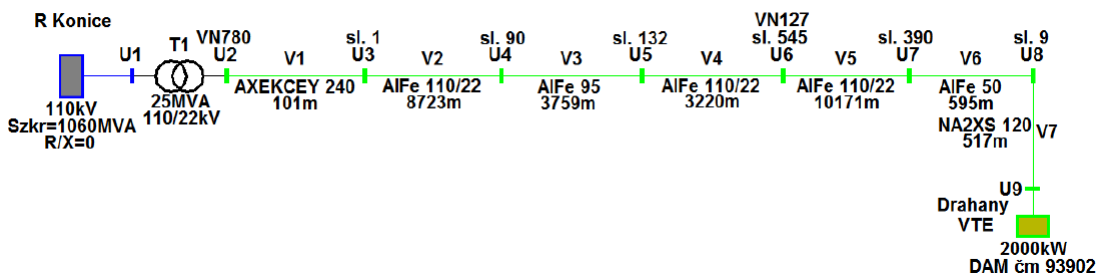
Obr. č.3.5: Schémazapojení VTE Brodek u Konice, zdroj [6].

Protivanov II



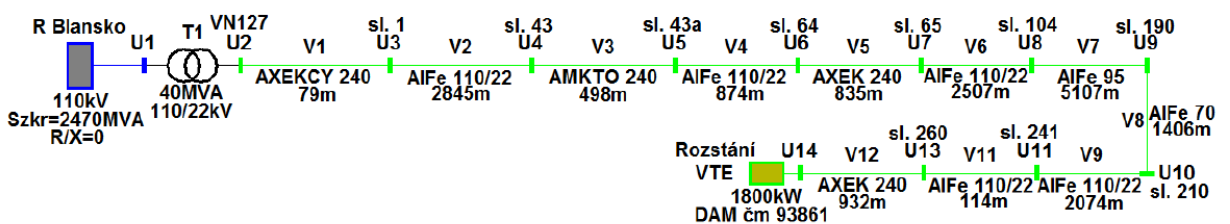
Obr. č.3.6: Schémazapojení VTE Protivanov II, zdroj [6].

Drahaný



Obr. č.3.7: Schémazapojení VTE Drahaný, zdroj [6].

Rozstání



Obr. č.3.7: Schémazapojení VTE Rozstání, zdroj [6].