

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONNOVÉ
ELEKTRONIKY**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**VYHODNOCENÍ PROVOZU ENERGETICKÝCH
ZDROJŮ**

Originál (kopie) zadání

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce má za úkol popsat často používané ukazatele provozu a efektivity energetických zdrojů a vhodně je aplikovat při vyhodnocení provozu konkrétního zdroje.

Klíčová slova

Energetický zdroj, elektrárna, větrná elektrárna, ukazatel provozu, efektivita provozu, instalovaný výkon, diagram výroby

Abstract

This bachelor's thesis aims to describe the most commonly used indicators of operation and efficiency of energy sources and apply them appropriately in evaluating the operation of a particular source.

Key words

Energy source, powerplant, wind power station, indicators of operation, efficiency of operation, installed capacity, production diagram

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 19.6.2020

Martin KREISSL

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Miloslavě Tesařové, Ph.D. za veškerá data o provozu konkrétních zdrojů, která byla podkladem pro kapitulu zabývající se jejich vyhodnocením.

Obsah

OBSAH	7
ÚVOD	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
1 ENERGETICKÝ ZDROJ – PROVOZNÍ POJMY A UKAZATELE	11
1.1 VÝKON ENERGETICKÝCH ZAŘÍZENÍ.....	11
1.2 PRÁCE ENERGETICKÝCH ZAŘÍZENÍ	15
1.3 ČASOVÉ UKAZATELE	17
2 VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA - POPIS TECHNOLOGIE A AKTUÁLNÍ SITUACE V ČR	21
2.1 ENERGIE VĚTRU	21
2.2 VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY V ČR.....	26
3 VYHODNOCENÍ PROVOZU VTE – SEZNÁMENÍ SE ZDROJI A PRÁCE S NAMĚŘENÝMI	
DATY	29
3.1 VTE NA KTERÝCH BYLO PROVEDENO MĚŘENÍ	29
3.2 VÝSLEDKY MĚŘENÍ.....	33
3.3 VYHODNOCENÍ PROVOZU A EFEKTIVITY	37
4 SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ – ÚDAJE Z VÝROČNÍCH ZPRÁV A OSTATNÍ ZDROJE	39
4.1 SROVNÁNÍ S DATY Z ERÚ	39
4.2 SROVNÁNÍ S FVE.....	43
4.3 SROVNÁNÍ S MVE	45
4.4 SROVNÁNÍ S KOGENERAČNÍ BPS	46
4.5 OSTATNÍ ZDROJE INFORMACÍ	47
ZÁVĚR	48
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	50

Úvod

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na provoz energetického zdroje, jeho vyhodnocení a následné porovnání vypočtených údajů s hodnotami uvedenými v ročních zprávách o provozu elektrizační soustavy ČR vydávaných Energetickým regulačním úřadem.

Text je rozdělen do čtyř částí; první se zabývá popisem provozních pojmů, ukazatelů provozu a efektivity energetických zdrojů a způsoby jejich výpočtu, druhá část popisuje technologii výroby elektrické energie pomocí větrných turbín a uvádí se zde konkrétní data z instalací v ČR i ve světě, třetí část seznamuje s konkrétními instalacemi větrných elektráren, graficky znázorňuje naměřená data a řeší vyhodnocení provozu jednotlivých zdrojů, čtvrtá část srovnává vypočtená data s hodnocením provozu ostatních zvolených zdrojů OZE a s hodnotami uvedenými ve zprávách o provozu ES ČR.

Seznam symbolů a zkratek

ES ČR.....	Elektrizační soustava České republiky
ERÚ	Energetický regulační úřad
P_v	Elektrický výkon [W]
P_p	Elektrický příkon [W]
η	Účinnost
S	Zdánlivý výkon [VA]
P	Činný výkon [W]
Q	Jalový výkon [VAr]
$\cos\varphi$	Účinník
P_i	Instalovaný výkon
P_d	Dosažitelný výkon
P_{poh}	Pohotový výkon
P_{opt}	Optimální (hospodárný) výkon
P_{min}	Technické minimum
P_z	Záložní výkon
MZ ₅	Minutová záloha (poskytnutí záložního výkonu do 5 minut)
MZ ₁₅	Minutová záloha (poskytnutí záložního výkonu do 15 minut)
PVE.....	Přečerpávací vodní elektrárna
A	Celková vyrobená energie brutto [Wh]
A_v	Vlastní spotřeba elektrárny [Wh]
k_v	Součinitel vlastní spotřeby
A_p	Celková vyrobená energie netto [Wh]
T_i	Roční využití instalovaného výkonu [h]
k_i	Koeficient využití instalovaného výkonu
P_{max}	Maximální výkon diagramu [W]
P_{min}	Minimální výkon diagramu [W]
P_s	Střední výkon diagramu [W]
τ_{max}	Doba využití maxima [h]
ξ	Zatěžovatel soustavy
t(P)	Křivka trvání výkonů
A(P)	Výrobní čára
A_z	Energie ztrát [Wh]

R	Rezistence (elektrický odpor) [Ω]
i	Okamžitá hodnota střídavého proudu [A]
τ_{\max}	Doba využití maxima [h]
ξ	Zatěžovatel soustavy
τ_z	Doby plných ztrát [h]
I_{ef}	Efektivní hodnota střídavého proudu [A]
$I_{\text{stř}}$	Střední hodnota střídavého proudu [A]
K_v	Činitel využití
K_s	Činitel současnosti
$P_{\Sigma, \max}$	Dosažené maximum skupiny zařízení [W]
β	Koeficient náročnosti
η_r	Účinnost rozvodu
η_z	Účinnost zařízení
VTE	Větrná elektrárna
E_k	Kinetická energie
m	Hmotnost [kg]
v	Rychlost [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
ρ	Hustota [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
S_r	Plocha rotoru větrné turbíny [m^2]
FVE	Fotovoltaická elektrárna
OZE	Obnovitelný zdroj energie
MVE	Malá vodní elektrárna
BPS	Bioplynová stanice
KVET	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla

1 ENERGETICKÝ ZDROJ – provozní pojmy a ukazatele

Energetickým zdrojem zde rozumíme soubor strojů a zařízení sloužících k výrobě elektrické energie. Elektrárny, jak tyto celky nazýváme, lze rozdělit do několika kategorií podle použitých technologií přeměny energií, nebo podle druhu primárního zdroje energie. Série provozních pojmů a ukazatelů nám dávají představu o technických možnostech těchto zdrojů a zároveň jsou podkladem pro jejich centrálně řízené a hospodárné nasazování do provozu.

1.1 Výkon energetických zařízení

V elektrárenské praxi se v souvislosti s provozem elektrických strojů a zařízení často setkáváme s pojmy:

- **Elektrický výkon - P_v [W]**

Elektrický výkon je fyzikální veličina, která nám udává množství vykonané elektrické práce za jednotku času. V elektrárenské praxi je to jeden ze základních údajů vypsanych na výrobních štítcích elektrických zařízení.

- **Elektrický příkon - P_p [W]**

Elektrický příkon je fyzikální veličina, která vyjadřuje množství dodané elektrické práce za jednotku času. Jedná se opět o „štítkový údaj“, který vychází ve stejných jednotkách a stejném značení, jako elektrický výkon. Na výrobních štítcích i ve výpočtech se označení nejčastěji rozlišuje vhodným indexem.

- **Účinnost - η**

Účinnost je bezrozměrná veličina, která udává poměr mezi výkonem a příkonem. Lze ji vyjádřit i procentuálně, a jelikož žádný stroj ani zařízení používané v energetice není bezztrátové, tak se pohybuje v intervalu od 0 do 100%.

- **Zdánlivý výkon - S [VA]**

Zdánlivý výkon je výkonem střídavého proudu, který udává velikost průběhu okamžitého výkonu. Je definován, jako součin efektivních hodnot napětí a proudu a také jako vektorový součet činného a jalového výkonu. Ve třífázových soustavách se často používá součet zdánlivých výkonů všech tří fází, označovaný také jako aritmetický zdánlivý výkon. [1]

- **Činný výkon - P [W]**

Činný výkon je složkou zdánlivého výkonu, která se trvale zužítkovává ve spotřebičích a je tedy nevratně dodaný zdrojem do obvodu. Je za všech okolností střední hodnotou okamžitého výkonu. [2] V ideálním případě může nabývat nejlépe hodnoty zdánlivého výkonu.

- **Jalový výkon - Q [VAr]**

Jalový výkon je výkon jalové složky střídavého proudu. Tato složka nabývá během periody kladných i záporných hodnot, které odpovídají periodickým vratným výměnám energie mezi zdrojem a obvodem. Na rozdíl od výkonu činného se trvale nezužítkovává ve spotřebičích. Zásadní je však při vzniku stacionárních i rotujících magnetických polí.

- **Účinnost - $\cos\varphi$**

Účinnost je poměr činného a zdánlivého výkonu, který v obvodech střídavých proudů a napětí vyjadřuje, jak velkou část zdánlivého výkonu zaujímá výkon činný. V hodnotě 1 nám říká, že veškerý výkon dodaný zdrojem je využit, naopak v hodnotě 0 se vodiči bez užitku pouze přenáší energie ze zdroje do zátěže, a zpět.

- **Instalovaný výkon - P_i**

Instalovaný výkon je součtem jmenovitých činných výkonů všech alternátorů elektrárny, včetně případných alternátorů pokrývajících vlastní spotřebu elektrárny. U fotovoltaických elektráren se jedná o součet jmenovitých činných výkonů všech panelů zapojených do společné výroby elektrické energie. V České republice je největší instalací Jaderná elektrárna Temelín se dvěma bloky o instalovaném výkonu 1055 MW. [3]

- **Dosažitelný výkon - P_d**

Dosažitelný výkon je nejvyšší činný výkon, kterého může daná instalace dosáhnout v kalendářním roce. Odlišnost od instalovaného výkonu vzniká nejčastěji u elektráren s plánovanou dlouhodobou odstávkou provozu. U vodních elektráren může být ovlivněn vodním hospodářstvím. U fotovoltaických elektráren se setkáváme s přirozeným stárnutím jednotlivých článků, to má pak vliv na snížení dosažitelného výkonu celé instalace. U nových instalací se instalovaný a dosažitelný výkon obvykle rovnají.

- **Pohotový výkon - P_{poh}**

Pohotový výkon je nejvyšší činný výkon, kterého lze dosáhnout v konkrétním období s ohledem na všechny provozní a technické podmínky. Je to dosažitelný výkon snížený o výrobní kapacity krátkodobě zastavených strojů v případě plánovaných i havarijních odstávek provozu. U vodních elektráren jej významně ovlivňují vodní stavy jednotlivých energetických děl.

V některých případech může pohotový výkon nabývat vyšších hodnot, než výkon instalovaný. Stává se tak u vodních elektráren, kdy zvýšený stav vody, spolu s částečným odbuzením, dovolí zvýšit činný výkon hydroalternátorů. U tepelných elektráren se tak může stát v případě, že instalovaná technologie dovoluje alternátory přetížít na dobu delší než půl hodiny.

Hodnotu pohotového výkonu lze také označit za pohotový **výkon brutto**, počítáme-li jej včetně vlastní spotřeby elektrárny. Pohotový **výkon netto** je pak hodnota, kterou je elektrárna schopna předat elektrické síti na prahu elektrárny.

- **Optimální (hospodárny) výkon - P_{opt}**

Hospodárného výkonu elektrárna dosahuje, když stroje, které se podílí na výrobě, pracují v oblasti nejvyšší účinnosti. Hospodárny výkon obvykle dosahuje hodnot 70 – 80% dosažitelného výkonu.

- **Technické minimum - P_{min}**

Technické minimum je hodnota nejmenšího možného zatížení stroje, při které je možné jej provozovat bez ohrožení technického stavu stroje, nebo stability jeho provozu.

- **Záložní (regulační) výkon - P_z**

Záložní výkon je podpůrnou službou Elektrizací soustavě ČR, kterou disponují některé elektrárny za účelem krytí plánovaných odstávek výroby, nepředvídaných poruch a neočekávaného zvýšení či snížení spotřeby.

Elektrárna poskytující tyto služby musí mít instalované takové technologie, které se vyznačují možností rychlé reakce na požadavky dispečinku provozovatele ES ČR. Výkon této technologie je pak smluvně trvale rezervován pro potřeby provozovatele ES ČR. Takto rezervovaná kapacita je placená smluvní taxou i v případě, že za dané účetní období nebyla její aktivace realizována. Potřebný záložní výkon se elektrárna zavazuje dodat v tarifu MZ_5 do pěti minut a v tarifu MZ_{15} do patnácti minut od zadání pokynu pro aktivaci.[4]

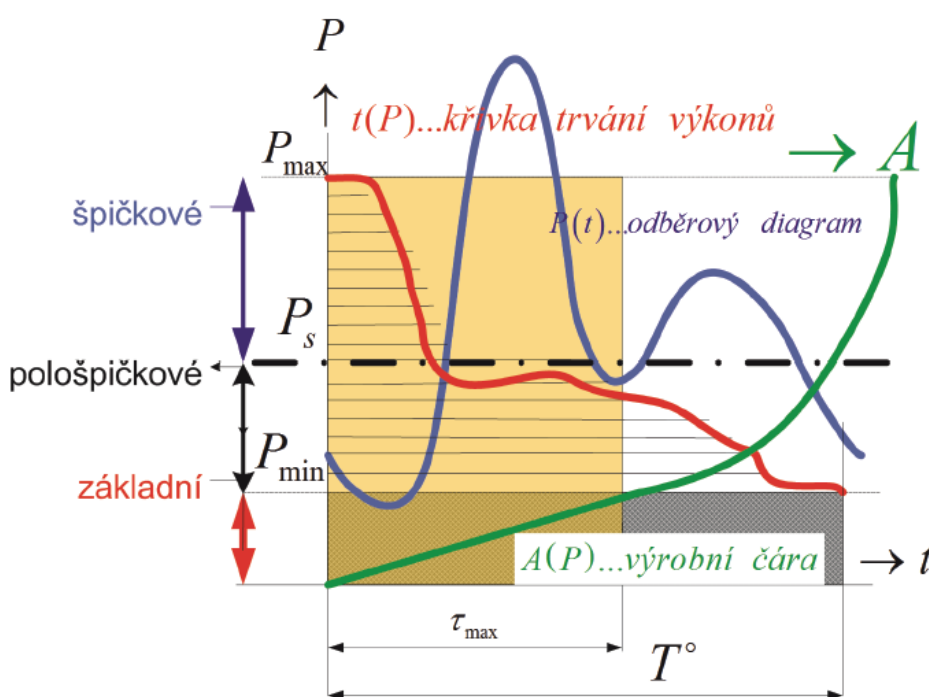
Pro tarif MZ_5 jsou výkony nejčastěji drženy u přečerpávacích vodních elektráren, jejichž technologie umožňuje dodat smluvní záložní výkon ve lhůtě jednotek minut. V ČR je takovým příkladem PVE Dlouhé stráně s instalovaným výkonem 650 MW, která je schopna přejít z klidu do plného výkonu za 100 sekund. Výhodou technologie PVE je schopnost tento záložní regulační výkon nejen dodat, ale i odebrat, kdy z klidu do plného čerpadlového provozu přejde za 400 sekund. [5] Tuto službu poskytují i jiné instalované technologie, a to zejména tzv. **točivá záloha**, kterou představují provozované nezatížené alternátory, které jsou schopné, v řádech jednotek minut, přejít na svůj plný výkon. Další z častých technologií jsou dieselagregáty, kde jsou vznětové motory s převodovým ústrojím spřaženy s alternátory. Tato technologie však vyžaduje stálé temperování na potřebnou provozní teplotu, která zabezpečí vlastnosti konstrukčních materiálů a schopnost správné distribuce maziv, před vlastním uvedením do plného provozu. Provozovatel výše zmíněných technologií se zároveň smluvně zavazuje dodávat záložní regulační výkon po celou dobu aktivace tarifu, nejvýše však po dobu 4 hodin.

Tarif MZ_{15} již ve většině případů nevyžaduje přítomnost speciálních technologických celků. V 15 minutách je na regulaci výkonu schopen reagovat celý výrobní blok tepelné elektrárny. Doba držení aktivního tarifu není na rozdíl od MZ_5 nijak omezená.[6]

1.2 Práce energetických zařízení

Za účelem vyhodnocení provozu energetického zdroje nás nezbytně zajímá množství elektrické práce vykonané daným zdrojem ve sledovaném období. Množství dodané (odebrané) energie v hodině, dni, měsíci, nebo kalendářním roce nám dává ucelený provozně ekonomický údaj, který musíme uvažovat v řadě dalších výpočtů.

Pro lepší představu zde graficky vyneseme běžný průběh zatížení v závislosti na čase, který má na svislé ose okamžité hodnoty výkonu a na vodorovné ose čas.



Obr. 1.1 - Diagram zatížení

- **Celková vyrobená energie brutto - A [Wh]**

Celková energie, vyrobená ve sledované periodě (24h-denní, 168h-týdenní, 720h-měsíční, 8760h-roční), je plochou pod křivkou diagramu zatížení danou vztahem:

$$A = \int_0^T P(t) dt \quad (1.1)$$

- **Vlastní spotřeba elektrárny - A_v [Wh]**

Vlastní spotřeba elektrárny je množstvím spotřebované energie při výrobě elektřiny, tj. v hlavním výrobním zařízení i v pomocných provozech, včetně ztrát v rozvodech vlastní spotřeby. Zahrnuje zejména spotřebu elektrické energie při výrobě páry (doprava a úprava paliv, doprava vzduchu a spalin, napájení kotlů, úprava napájecí vody aj.) a při vlastní výrobě elektřiny ve strojovně (úprava vody, čerpání, chlazení aj.). Počítáme ji od vstupní strany transformátoru vlastní spotřeby nebo od místa, kde je vlastní spotřeba napojena k jiným elektrickým zařízením (např. odbočky alternátorů). Do této hodnoty však nezapočítáváme spotřebu elektrické energie vedlejších provozů a nevýrobních objektů. Tyto spotřeby se zahrnují pod odběry elektrárny.[7]

Vlastní spotřeba elektrárny se obvykle udává v množství spotřebované energie, nebo též jako procentuální podíl z vyrobené elektrické energie ve sledovaném období. U uhelných tepelných elektráren se tato hodnota pohybuje mezi 7 až 11%, naopak u vodních elektráren je tato hodnota zřídka vyšší než 1%. Tyto procentuální údaje se nazývají součinitel vlastní spotřeby, který je daný vztahem:

$$k_v = \frac{A_v}{A} \cdot 100 \quad (1.2)$$

- **Celková vyrobená energie netto - A_p [Wh]**

Hodnotu celkové vyrobené energie netto dostaneme tak, že od hodnoty celkové vyrobené energie brutto odečteme energii vlastní spotřeby. Tuto hodnotu též označujeme jako dodávku na prahu elektrárny, danou vztahem:

$$A_p = A - A_v \quad (1.3)$$

- **Ztrátová energie – A_z [Wh]**

Ztrátovou energii rozumíme sumu energií ztracených při výrobě elektrické energie. Máme tím na mysli energii ztrát A_{z0} , která reprezentuje energie ztracené ventilací, třením a také hysterezní a dielektrické ztráty. Energie ztrát A_{zv} představuje energii ztracenou vlastním průchodem střídavého proudu konstantní rezistencí R . Tato energie je dána vztahem:

$$A_{zv} = \int_0^T R \cdot i^2(t) dt \quad (1.4)$$

$$A_z = A_{z0} + A_{zv} \quad (1.5)$$

1.3 Časové ukazatele

Abychom mohli získávat ucelené představy o provozu jednotlivých energetických zdrojů, musíme jejich výkony a odvedenou práci promítnout v čase tak, aby bylo možné, je na základě několika relevantních provozních ukazatelů porovnat.

- **Roční využití instalovaného výkonu - T_i [h]**

Roční využití instalovaného výkonu nám říká, po jakou dobu jsme ve sledovaném období (jeden kalendářní rok) využívali plného instalovaného výkonu. Jedná se o důležitý provozně ekonomický údaj, který má podstatný vliv na stanovení výrobních nákladů elektrické energie, a ty se s vyšším využitím instalovaného výkonu snižují. Tento ukazatel je dán vztahem:

$$T_i = \frac{A}{P_i} \quad (1.6)$$

- **Koeficient využití instalovaného výkonu - k_i**

Koeficient využití instalovaného výkonu je poměr celkové vyrobené elektrické energie k množství elektrické energie, kterou by elektrárna vyrobila při provozu v plném instalovaném elektrickém výkonu. Koeficient využití instalovaného výkonu se obvykle vztahuje k jednomu kalendářnímu roku a vyjadřuje se poměrnou hodnotou od 0 do 1, nebo procentuálně.[3] Hodnota koeficientu využití instalovaného výkonu závisí především na typu elektrárny a její schopnosti dosahovat hodnot instalovaného výkonu nezávisle na okolních podmínkách. Těmito podmínkami zde myslíme především podmínky klimatické, které schopnost dosahovat plného instalovaného výkonu, především u instalací obnovitelných zdrojů elektrické energie, značně omezují. Koeficient využití instalovaného výkonu je dán vztahem:

$$k_i = \frac{A}{P_i \cdot T} \quad (1.7)$$

- **Doba využití maxima – τ_{max}**

Doba využití maxima je údaj, který nám říká, za jak dlouho bychom vyrobili stejnou celkovou energii, kdybychom zdroj provozovali v maximálním výkonu diagramu. V *Obr. 1.1* vidíme, že přeměníme-li plochu diagramu zatížení na rovnoploché obdélník o výšce P_{max} , pak základna představuje dobu využití maxima τ_{max} . Velikost τ_{max} je rovněž dána vztahem:

$$\tau_{max} = \frac{A}{P_{max}} = \frac{\int_0^T P(t) dt}{P_{max}} \quad (1.8)$$

Plochu rovnoplochých obdélníků z *Obr. 1.1* lze též vyjádřit vztahem:

$$A = P_{max} \cdot \tau_{max} = P_S \cdot T \quad (1.9)$$

Hodnotu P_{max} obvykle reprezentuje skutečné maximální zatížení v periodě T , dané 15 minutovým průměrem, nebo okamžitou hodnotou. Hodnota P_s je v periodě T prezentovaná trvalým zatížením, které dosáhne stejné práce, jako proměnlivé zatížení $P(t)$. Toto střední zatížení je také dáno vztahem:

$$P_s = \frac{\int_0^T P(t) dt}{T} \quad (1.10)$$

- **Zatěžovatel soustavy – ξ**

Zatěžovatel soustavy je hodnota, která je poměrem středního výkonu diagramu P_s k maximálnímu výkonu diagramu P_{max} . Hodnota zatěžovatele soustavy se pohybuje v intervalu od 0 do 1, kdy vyšší hodnota ukazuje hospodárnější provoz. Z rovnice (1.9) vyplývá pro zatěžovatele soustavy následující vztah:

$$\xi = \frac{P_s}{P_{max}} = \frac{\tau_{max}}{T} \quad (1.11)$$

- **Čára trvání výkonů – $t(P)$**

V *Obr. 1.1* vidíme, že setřídíme-li výkony z diagramu od nejmenších k největším podle doby jejich trvání, tak dostaneme křivku $t(P)$, kterou nazýváme čára trvání výkonů. Plocha pod touto křivkou udává množství vyrobené energie ve sledovaném období. Nejmenší výkon diagramu, zde trvá celou periodu T . Integrací této křivky (podle svislé osy) získáme výrobní čáru $A(P)$. Množství vyrobené energie pod čárou trvání výkonů je dáno vztahem:

$$A(P_{max}) = \int_0^{P_{max}} t(P) dP \quad (1.12)$$

- **Doba plných ztrát – τ_z**

Doba plných ztrát je časový ukazatel, který nám říká, jak dlouho bychom provozovali daný zdroj na maximálním zatížení P_{max} tak, abychom dosáhli stejných ztrát elektrické energie ve sledovaném období T , jako při provozu s proměnlivým zatížením $P(t)$.

Použijeme-li alternativní vyjádření ztracené energie (pomocí rovnoplochých obdélníků):

$$A_{zv} = R \cdot I_{ef}^2 \cdot T = R \cdot I_{max}^2 \cdot \tau_z \quad (1.13)$$

Doba plných ztrát závisící na tvaru zatížení bude definována takto:

$$\tau_z = T \cdot \left(\xi \cdot \frac{I_{ef}}{I_{stř}} \right)^2 \quad (1.14)$$

V praxi není zařízení pro výrobu elektrické energie vždy plně zatíženo, proto se pro respektování těchto poměrů v procesech dimenzování definují tyto činitele:

$$\text{Činitel využití: } K_v = \frac{P_{max}}{P_i} \leq 1 \quad (1.15)$$

$$\text{Činitel současnosti: } K_s = \frac{P_{\Sigma, max}}{\sum_{\forall i} P_{i, max}} \leq 1 \quad (1.16)$$

$$\text{Koeficient náročnosti: } \beta = \frac{K_s \cdot K_v}{\eta_r \cdot \eta_z} \leq 1 \quad (1.17)$$

2 VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA – popis technologie a aktuální situace v ČR

Větrná elektrárna je zařízení přeměňující kinetickou energii větru na elektrickou energii. V dnešní době existuje mnoho druhů VTE s vertikální či horizontální osou otáčení.[8] Následující kapitola se bude obsahovat popis technologií VTE, údaje dostupné z ERÚ a seznámení s konkrétními zdroji.

2.1 Energie větru

Energií větru rozumíme kinetickou energii proudícího vzduchu. Vzduch proudí z tlakových výší do tlakových níží a jeho tlak se mění s jeho teplotou. Proudění rozdělujeme na turbulentní a laminární. U turbulentního proudění 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 proudění narůstá s nadmořskou výškou. Proto je snaha umisťovat VTE na vysoké stožáry tak, aby expozice proudění byla co nejvyšší.

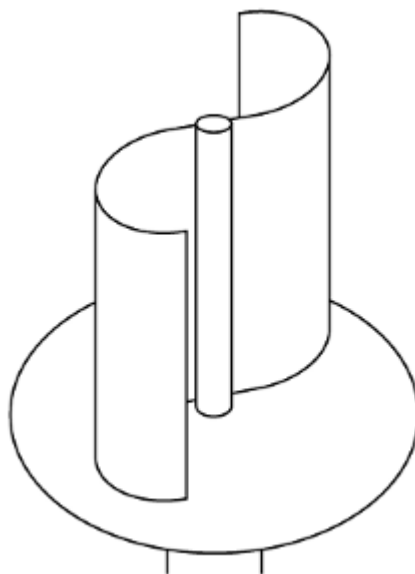
Kinetická energie větru působí na plochy listů rotoru větrné elektrárny, kde se se část této energie změní na energii mechanickou. Velikost kinetické energie větru je dána tímto vztahem:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (2.1)$$

K přeměně části této energie v energii mechanickou využíváme dvou druhů větrných turbín:

- ***Odporové turbíny***

Jedná se o starší a méně účinnou technologii, která využívá principu rozdílu sil působících na lopatky. Tyto lopatky mají z obou svých stran rozdílný aerodynamický odpor. Typickým příkladem odporové turbíny může být Savoniova turbína zachycená na *Obr. 2.1*.



Obr. 2.1- Savoniova (odporová) turbína [9]

Existuje také technologie, která u odporových turbín cyklicky natáčí exponovanou plochu lopatek dle polohy rotoru. Tento mechanismus je složitější, ale dosahuje vyšší účinnosti.

- ***Vztlakové turbíny***

Vztlakové turbíny jsou v dnešní době zřejmě nepoužívanější technologií pro přeměnu kinetické energie větru na energii mechanickou. Využívá se zde síly vznikající na listu rotoru, když je obtékán vzduchem. Tato tzv. aerodynamická vztlaková síla může vznikat díky speciálně navrženému profilu rotorových listů. Podobného principu se používá i při konstruování křídel letadel. Nejvyšší účinnosti pak dosahují takové konstrukce, které umožňují těmto listům měnit úhel náběhu lopatky tak, že v určitém rozsahu s nimi lze rotovat kolem jejich osy. Tímto způsobem se synchronně u všech (nejčastěji tří) listů rotoru mění velikost větru exponované plochy. [8]

Skutečnost, že veškerou kinetickou energii nelze zúžitkovat při tvorbě energie mechanické (proudění větru se za turbínou nezastaví), respektuje maximální příkon předávaný větrné turbíně, známý též jako Betzova mez. Fyzik Alfréd Betz takto vypočítal, že kinetická energie vzduchu dokáže předat teoretické maximální množství energie ve výši cca 59,3 %. [10]

Vztlakové turbíny obecně dosahují vyšších účinností, než turbíny odporové. Pohybujeme se zde v intervalu od 35 – 48 % při jmenovitých otáčkách rotoru.[8] Vztlakové turbíny lze podle osy otáčení rotoru rozdělit do následujících dvou kategorií:

- **Vertikální turbíny**

Tato konstrukce má zásadní výhodu v tom, že zde není nutné měnit směr natočení turbíny tak, aby byla v optimální poloze vůči proudění větru, které se velmi často mění. Výhodný je i snadný přístup pracovníků údržby k výrobní technologii, kterou lze umístit na zemský povrch. Ve srovnání s rozměrným rotorem horizontálních turbín jsou citelně méně náročné na prostor. Lze je tedy snáze uspořádat do tzv. větrné farmy, aniž by se z aerodynamického hlediska navzájem významně ovlivňovaly. Při provozu vykazují též menší hlučnost.

Nevýhodou je vyšší pořizovací cena, než u turbín horizontálních se srovnatelným výkonem. Z pohledu energetiky však zaostávají svojí nízkou účinností, která dosahuje běžně hodnoty 38 %. Pohybují se tedy u spodní meze výše zmíněného intervalu.

- **Horizontální turbíny**

Horizontální turbíny, na rozdíl od vertikálních, vyžadují správnou orientaci rotoru, který se pomocí servo pohonů natáčí vždy proti směru proudění větru. U malých VTE může být natáčení realizováno též pomocí tzv. směrovky, která se staví vždy tak, aby měla nejmenší aerodynamický odpor. Této technologie využívají ty opravdu nejmenší instalace s výkonem v řádech jednotek kW. Umístění výrobního agregátu ve výšce středu rotoru ztěžuje práce údržby a zároveň zvyšuje nároky na parametry nosné konstrukce.

Výhodou v porovnání s vertikálními turbínami je vyšší účinnost. U horizontální turbíny se účinnost pohybuje mezi 45 – 48 %. Instalací, které využívají vztlakovou horizontální turbínu, je proto dnes drtivá většina. [8] Trendem posledních let je sdružovat velké počty (řádově stovky i tisíce) větrných turbín do tzv. větrných parků. Tyto jsou pak většinou umísťovány tam, kde to reliéf povrchu umožňuje. Toho využívají zejména přímořské státy,

keré staví tyto parky na svá pobřeží a využívají setrvalé proudění vzduchu směrem z moře (oceánu) na pevninu. Populární jsou též instalace **offshore**, kde se VTE umisťují do pobřežních vod a stožáry jsou kotveny do mořského dna. Průkopníkem v této technologii je Dánsko, které už v roce 2000 představilo offshore větrnou farmu Middelgrunden s instalovaným výkonem 20 x 2 MW. [11]



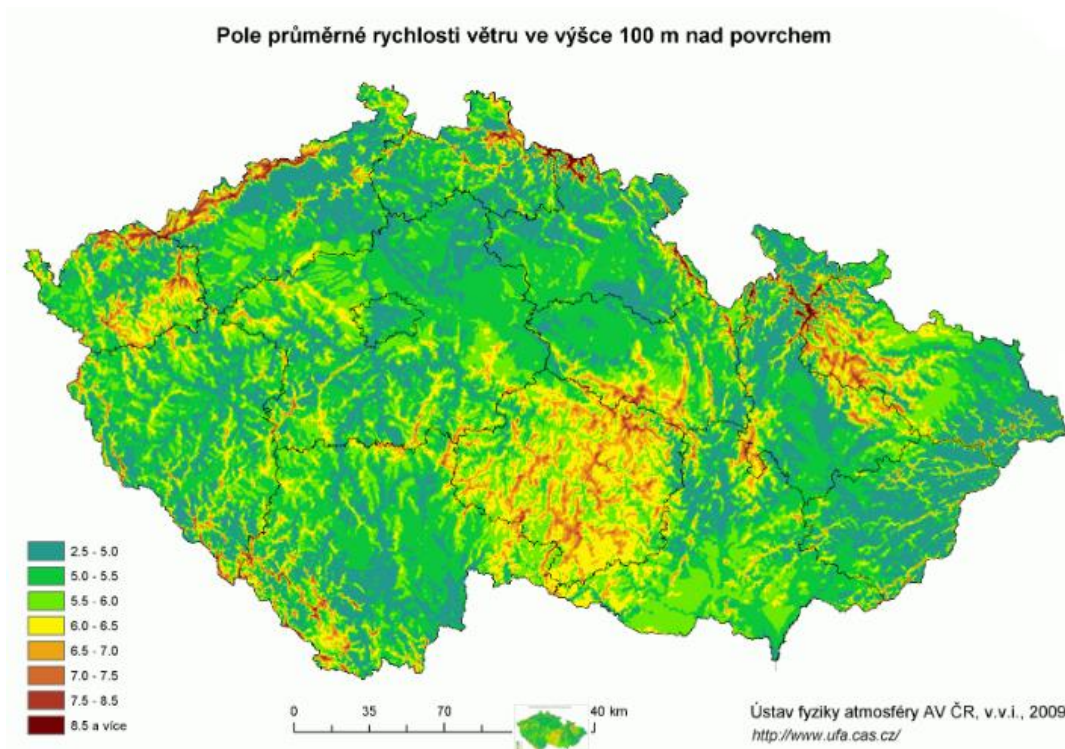
Obr. 2.2 - Horizontální vztaková turbína u VTE Middelgrunden [11]

Hlavní podmínkou pro efektivitu a hospodárnost instalací je dostatečná průměrná rychlost větru. Ta by měla být vyšší, než $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Tato hodnota však neříká, že s nižší rychlostí proudění větru VTE provozovat nelze. Pouze se poukazuje na to, jak velký vliv má rychlost proudění na dosažitelný výkon elektrárny, který je daný vtahem:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S_r \cdot v^3 \cdot \eta \quad (2.2)$$

Silná závislost výkonu na rychlosti proudění větru je z rovnice (2.2) zřejmá. Rychlost proudění vzduchu je v této rovnici třikrát umocněna. Hustotu vzduchu ρ uvažujeme obvykle hodnotou $1,25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Průměrná rychlost větru v ČR dosahuje ve 40 metrech nad povrchem hodnoty $6,4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Tato rychlost je průměrem pro 9 % rozlohy našeho území. Dvojnásobná průměrná rychlost se pak vyskytuje už jen na 1,2 % území ČR.[12]



Obr. 2.3 - Mapa průměrné rychlosti větru ve výšce 100 m nad povrchem ČR [12]

Mapa v *Obr. 2.3* ukazuje, že průměrná rychlost větru koreluje s nadmořskou výškou, kdy nejvyšších hodnot průměrné rychlosti větru dosahujeme v kraji Vysočina.

Rychlost větru je zásadní z hlediska efektivity výroby elektrické energie, má ale význam i z hlediska bezpečnosti jejich provozu. Většina instalovaných turbín je proto vybavena systémem, který při příliš vysokých rychlostech větru natočí stavitelné lopatky rotoru tak, aby jejich aerodynamický odpor byl co nejmenší, a zároveň brzdami zastaví otáčení rotoru. Hranicí uvedení do provozu je hodnota $4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Při $25 - 30\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ dochází naopak k odstavování větrných turbín výše popsaným způsobem. [13]

Životnost instalovaných VTE se uvažuje v rozmezí 20 – 25 let. Dle údajů poskytnutých jednatelkou společnosti W.E.B., která provozuje VTE na jižní Moravě, je návratnost jejich investice počítaná na 15 let. [14] Tyto údaje se však mohou lišit u každé instalace.

Kladnou stránkou provozu VTE je zejména absence tuhých odpadních materiálů, které provozem vůbec nevznikají stejně tak, jako vypouštěné emise. Ve srovnání s FVE musíme vyzdvihnout i nízký zábor zemědělsky obhospodařovaných ploch.

Často zmiňovaným záporem je přílišná změna krajinného rázu. Relevance tohoto argumentu je však sporná, protože výstavbu jakýchkoli zdrojů energie většinou změna rázu krajiny nezbytně provází. Z hlediska provozování ES ČR se u VTE vyskytují problémy s regulováním dodávané elektrické energie. Často vytýkaným jevem při provozu VTE je hluchost, která dnes musí být nižší, než je stanovený limit 40 dB ve vzdálenosti 500m od paty stožáru VTE. Četností kolizí ptactva narážejícího do rotujících lopatek turbín se zabývala Královská společnost pro ochranu ptáků, jejíž studie říká, že jedna smrtelná kolize připadá na každých deset tisíc ptáků. Vyšší míru nebezpečí tedy představují venkovní rozvody vysokého napětí, či kolize s jedoucimi automobily. [3]

2.2 Větrné elektrárny v ČR

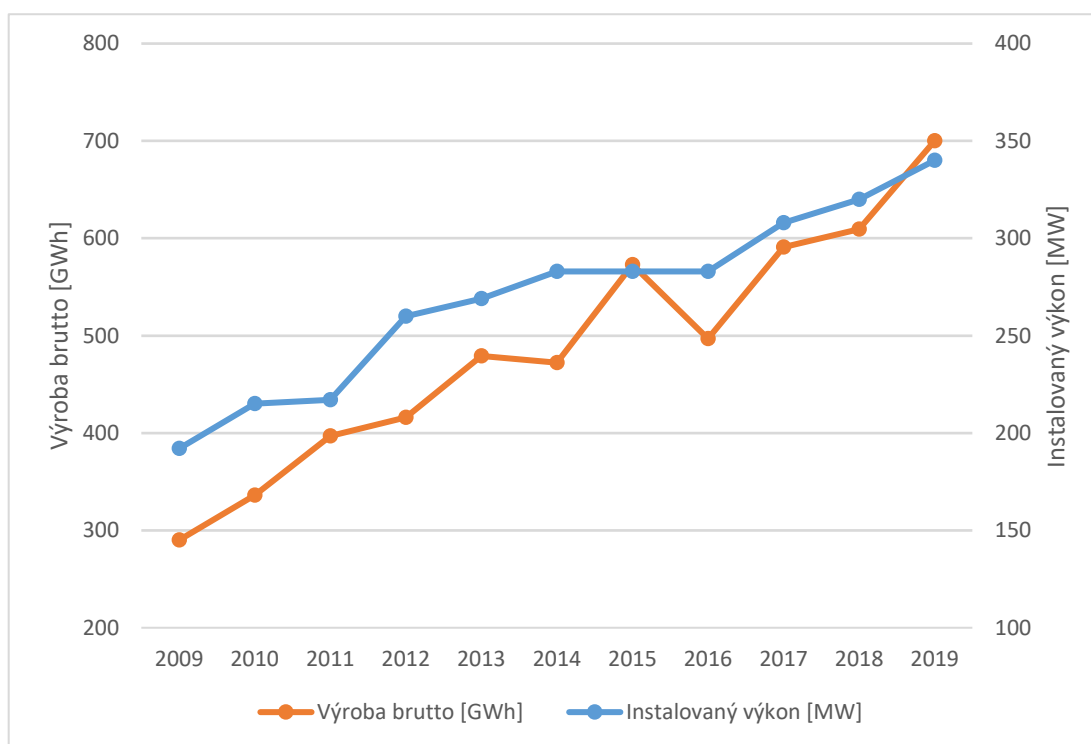
V roce 2018 činila brutto výroba z OZE 9 404 GWh, což je zhruba 10,7 % z celkové brutto výroby, která činila 80 TWh. Instalované technologie VTE se podíleli 6,5 % na brutto výrobě OZE a 0,7 % na celkové brutto výrobě. Celkový instalovaný výkon VTE je 316,2 MW. [15]

	Celkový instal. výkon [MW]	Celkový instal. výkon [%]	Výroba elektřiny brutto [MWh]	Výroba elektřiny brutto [%]	Tech. vlastní spotřeba [MWh]	Roční využití výkonu [h]
VTE celkem	316,2	100	609 329,7	100	8 660,6	1 927
do 0,5 MW včetně	2,3	0,73	1 805,3	0,30	42,1	785
nad 0,5 do 1 MW včetně	5,8	1,83	9 129,7	1,50	130,2	1 574
nad 1 do 2 MW včetně	61,9	19,58	120 615,2	19,79	119 534,3	1 948
nad 2 MW	246,3	77,86	477 779,5	78,41	470 372,2	1 940

Tab. 2.1 - Údaje o výrobě VTE [15]

Z tabulky *Tab. 2.1* vidíme, že více než 75 % energie vyrobené VTE vyrobily instalace s výkonem nad 2 MW. Tyto VTE mají také nejvyšší roční využití instalovaného výkonu. Koeficient ročního využití instalovaného výkonu vypočtený dle rovnice (1.7) je cca 22 %. Nízké využití instalovaného výkonu u VTE s výkonem do 0,5 MW je důsledkem toho, že umístění těchto instalací nebývá vždy optimální. Plochy rotorů větrných turbín jsou menší a jsou umístovány níže, než u instalací velkých výkonů. V nižších polohách je průměrná rychlost proudění vzduchu z pravidla menší a více se zde vyskytuje turbulentní proudění, které není pro vztlkové horizontální turbíny vhodné.

K 31.12. 2019 bylo v provozu 209 VTE o celkovém instalovaném výkonu 340 MW. Za poslední dekádu evidujeme 77 % nárůst instalovaného výkonu VTE, kdy se podle České společnosti pro větrnou energii podařilo brutto vyrobit 700 GWh elektrické energie. [16]



Obr. 2.4 - Vývoj instalovaného výkonu a vyrobené energie VTE v ČR [16]

Z grafu v *Obr. 2.4* je patrné, že v posledních třech letech je trend instalovaného výkonu rostoucí, což se kladně promítá i do rostoucího množství vyrobené elektrické energie. Podíl na stagnaci instalovaného výkonu mezi lety 2014 – 2016 má nižší úroveň vypsanych dotací pro podporu instalování zdrojů OZE a také komplikovanost vyřízení stavebních povolení.

Procentům instalované kapacity vévodí Ústecký kraj, kde instalovaný výkon 86,8 MW představuje 25,5 % z celkového instalovaného výkonu. V kraji Karlovarském je pak soustředěno 20 % v podobě 69 MW a třetí místo zaujímá kraj Liberecký s 15 %, které reprezentují instalovaných 50 MW. [16]

Mezi výrobci technologií instalovaných v ČR musíme vyzdvihnout dánského výrobce větrných turbín firmu Vestas. Ke konci roku 2019 zaujímá právě tato firma první místo v žebříčku velikostí instalovaného výkonu, které jí vysloužila hodnota 131 MW, což odpovídá bez mála 40 % celkového instalovaného výkonu VTE v ČR. Vestas se rovněž pyšní celkovým instalovaným výkonem všech svých technologií, který začátkem roku 2019 činil 100 GW. Druhé místo v žebříčku instalací VTE v ČR zaujímá německý výrobce Enercon s instalovanými 82 MW. Na třetím místě se s mírným odstupem umísťuje rovněž německá firma Repower – Senvion, která má v ČR instalováno 63 MW. Na přední příčky světového žebříčku se však pomalu propracovávají výrobci z Číny. Těmto výrobcům v čele se společností Goldwin se daří především na domácím trhu, kde je již nyní instalováno 140 GW ve VTE. Růst těchto společností má na svědomí především přístup čínské vlády, která tuzemské výrobce hojně podporuje při domácích projektech.

Budoucnost výstavby nových VTE bude pravděpodobně záviset na podmínkách pro přidělování dotací projektům, které se zaměřují na výstavbu OZE. Dle dostupných informací bude třeba změn v oblasti vyřizování stavebních povolení, které je ve srovnání se sousedními státy poměrně obtížné získat. Přesto lze počítat s postupným rozšiřováním již instalovaných VTE a i s výstavbou nových projektů. Odhad realizovatelného větrného potenciálu pro ČR je počítán na cca 900 MW, což odpovídá téměř trojnásobku aktuální výstavby VTE. [17] Tato studie počítá s realizovatelným větrným potenciálem 340 MW jen v regionu severních Čech. V zemích EU, kde je možnost instalovat VTE výše zmiňovanou technologií offshore, je vize velkých instalovaných výkonů již nyní realitou. V sousední spolkové republice Německo je vize ročního přírůstku nového instalovaného výkonu 5000 MW. Německo je spolu s Dánskem, které je v oblasti VTE považováno za technologického průkopníka, největšími trhy pro investory do technologií VTE. Mezi další lukrativní evropské trhy se řadí i Belgie a Velká Británie. Světu však v instalovaném výkonu vévodí Čína s 236 GW. Druhou příčku zaujímají Spojené státy Americké, kde suma instalovaných výkonů činí 119 GW.

3 VYHODNOCENÍ PROVOZU VTE – seznámení se zdroji a práce s naměřenými daty

Data, se kterými se pracuje v této kapitole, byla měřena pracovníky společnosti E.ON Distribuce, a. s. v průběhu let 2013 – 2016. U devíti konkrétních zdrojů bylo provedeno celkem 12 měření v průměrné délce sledovaného období 209,2 hod.. V této době měřicí technologie odebraly celkem 15 063 vzorků s intervalem odečtu 10 min.

3.1 VTE na kterých bylo provedeno měření

Veškerá měření probíhala na VTE, jejichž popisem se zabývá následující část této kapitoly. Předměty popisu jsou především místa, na kterých jsou VTE instalovány, dále použítá technologie a popis technických provozních parametrů, který bude shrnut do přehledné tabulky.

- **VTE Břežany**

Větrný park Břežany, který se nachází v Jihomoravském kraji nedaleko Znojma, je souborem pěti třílistých horizontálních vztlakových turbín se stavitelnými lopatkami, které provozuje brněnská společnost W.E.B Větrná energie s. r. o.. V roce 2005 zde byla nainstalována technologie dánské firmy Vestas, a to konkrétně pět VTE Vestas V52, každá o výkonu 850 kW. Průměry rotorů jsou 52 m a výška stožáru činí 74m. Investor předpokládá roční brutto výrobu 6 200 000 kWh, která by měla pokrývat spotřebu 2 477 domácností a zároveň ušetřit více, než 50 000 tun hnědého uhlí, které by bylo potřeba pro ekvivalentní výrobu energie. Cena projektu zde přesáhla 127 Mil Kč a jeho předpokládaná konstrukční životnost je 20 let.[19]

- **VTE Bantice**

V Banticích, které jsou vzdáleny necelých 20 km od parku VTE Břežany, byla v roce 2008 instalována jedna turbína typu Vestas V90. Tato instalace je 105m vysoká a průměr jejího rotoru činí 90 m. Od instalovaného výkonu 2 MW si provozovatel (W.E.B) slibuje roční brutto výrobu 4 284 000 kWh. Unikátní užitá technologie s obchodním názvem Optispeed™ umožňuje plynule regulovat náklon náběžné hrany stavitelných lopatek, což přispívá k optimalizaci provozu a zvýšení množství vyráběné energie.[19]

- ***VTE Pavlov***

V Pavlově na Jihlavsku se VTE stavěly v roce 2006. Instalované turbíny Vestas V90, jejichž instalovaný výkon 2 x 2000 kW, byly svého času prvními instalacemi v kraji Vysočina a zároveň nejvyššími VTE v ČR. Hrot listu rotoru zde dosahuje výšky 150 m. Cena projektu byla cca 150 Mil Kč. Příspěvky do pokladen přilehlých obcí se pohybují v řádech statisíců, což dle zdroje [20] výrazně pomáhá tamním rozpočtům. Roční výroba by dle odhadů měla pokrýt spotřebu 4 000 čtyřčlenných domácností. Montáž zde zajistila plzeňská firma APB a provozovatelem je společnost KV Venti.

- ***VTE Pavlov II***

Nedaleko VTE Pavlov stojí sesterská instalace VTE Pavlov II. Pomocí dvojice strojů Vestas V52 je zde od roku 2006 instalován výkon 1 700 kW. Průměr stožáru u paty činí 4 m a na vrcholu 2,2 m. Na věži je osazena gondola natáčená servomotory proti směru větru. Listy rotoru jsou hydraulicky stavěny do potřebného úhlu. Snímání hodnot větru je vyhodnocováno počítačem, který automaticky řídí chod VTE a sleduje dálkově i místně hlášení provozních a poruchových stavů. U této instalace vyvstal problém s rušením televizního a rozhlasového signálu, kdy turbíny byly instalovány v zákrytu s rakouským vysílačem. Situace byla vyřešena instalováním satelitních přijímačů ke spokojenosti místního obyvatelstva.[3]

- ***VTE Tulešice***

Tulešice jsou obcí v Jihomoravském kraji poblíž Znojma. Energetická koncepce kraje vyhodnotila oblast Tulešic, jako vhodnou právě pro výstavbu VTE. V roce 2009 zde byla instalovaná turbína Vestas V90 o výkonu 2 000 kW. Listy rotoru jsou zde vyrobeny z epoxidové pryskyřice vyztužené skelným a uhlíkovým vláknem. Každý list se skládá ze dvou profilovaných skořepin svírajících nosnou konzolu. Speciální ocelové vložky spojují listy rotoru s jejich ložiskem. Ložisko listu rotoru je provedeno jako čtyřbodové kuličkové ložisko sešroubované s hlavou listu.[19] Investor zde utratil 85 Mil Kč a očekává roční výrobu ve výši 5 200 000 kWh. V roce 2009 byla VTE Tulešice již sedmou instalací na Znojemsku spolu s VTE Břežany a Bantice. [21]

- **VTE Brodek u Konice**

Na vrcholcích Dražanské vrchoviny mezi obcemi Brodek u Konice a Horní Štěpánov stojí dvě větrné turbíny s technologií D4 německé společnosti DeWind. Tyto turbíny, které byly instalovány v roce 2007, mají celkový instalovaný výkon 1 200 kW. S výškou umístění gondoly 42 m a s průměrem rotoru 46 m se řadí mezi nejmenší instalace, které budou předmětem vyhodnocení provozu v této práci.

- **VTE Protivanov II**

Lokalita u Protivanova (Olomoucký kraj) má nadmořskou výšku 680 m. n. m. a průměrnou roční rychlost větru $5,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (ve výšce 40 m nad terénem). Větrný park zde tvoří dvě VTE německého výrobce REpower, který zde v roce 2005 instaloval své modely MD 77 každý o výkonu 1 500 kW. Jedná se o 77 m široký třílistý rotor umístěný na 85 m vysokém stožáru. Turbína se uvádí do provozu při rychlosti větru $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a vypíná se při rychlosti $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Konstrukce je navržena tak, aby byla zaručena její bezpečnost ještě při rychlosti větru $51,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. [22]

- **VTE Dražany**

V roce 2006 byla uvedena do provozu VTE Dražany. Jedná se o samostatně stojící VTE, nacházející se v severní části Dražanské vrchoviny (645 m. n. m.), nedaleko vojenského újezdu Březina. Společnost Větrné farmy a. s. zde instalovala technologie dánské firmy Vestas a to model V90 o výkonu 2 000 kW. Provozovatel uvádí, že díky provozu této VTE je v přepočtu ušetřeno 90 000 tun hnědého uhlí a zároveň zásobuje více než 3 100 domácností. Cena tohoto projektu dosáhla výše 85 Mil Kč a roční výnosy se pohybují v rozmezí 6 – 8%. Projekt byl realizován prostřednictvím Operačního programu CENTRAL EUROPE a byl spolufinancován z Evropského fondu pro regionální rozvoj.

Do budoucna zde investor vytvořil záměr instalace větrného parku, který by měl čítat až 13 VTE typu Vestas V112 o celkovém výkonu 39 MW. Obyvatelům přílehlých obcí chce investor nabídnout spoluúčasť formou akciového podílnictví. [23]

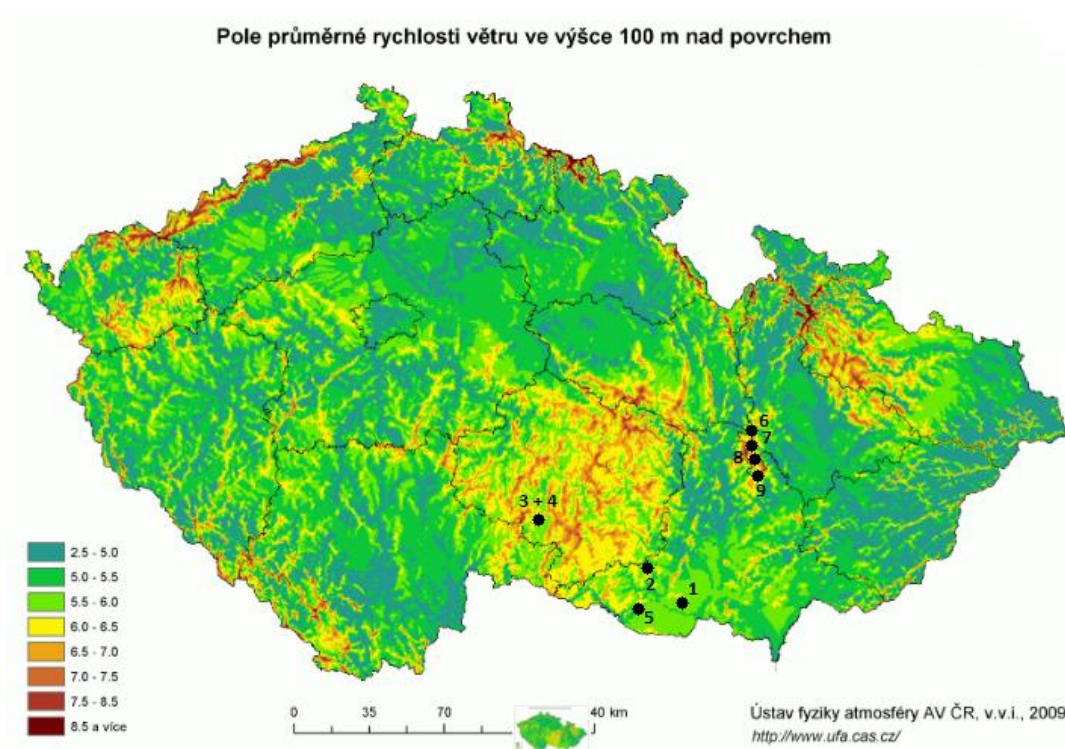
- **VTE Rozstání**

VTE byla v roce 2011 umístěna poblíž obce Rozstání na Dražanské vrchovině (Olomoucký kraj). Je zde instalována jedna turbína typu V100 dánského výrobce Vestas. VTE s průměrem rotoru 100 m a výškou náboje 95 m má instalovaný výkon 1 800 kW. Turbína je uváděna do provozu při rychlosti větru 3 m.s^{-1} a jmenovitého výkonu dosahuje při 12 m.s^{-1} .

Jedná se o projekt, ve kterém investor nabídl občanům okolních obcí spoluúčast formou akciového podílnictví. Občané zde tedy vystupují v roli minoritních akcionářů. Občané zde nakoupili 6 000 ks akcií a podíleli se částkou 6 Mil Kč na celkové investici ve výši 120 Mil Kč.

Poloha na mapě	Lokalita	Instalovaný výkon [kW]	Počet VTE	Uvedení do provozu
1	Břežany	4250	5	2005
2	Bantice	2000	1	2008
3	Pavlov	4000	2	2006
4	Pavlov II	1700	2	2006
5	Tulešice	2000	1	2009
6	Brodek u K.	1200	2	2007
7	Protivanov II	3000	2	2005
8	Drahany	2000	1	2006
9	Rozstání	1800	1	2011

Tab. 3.1 - Základní údaje měřených VTE



Obr. 3.1 - Umístění VTE zasazené do mapy průměrné rychlosti větru

Z *Obr. 3.1* je patrné, že investoři situují své projekty s ohledem na průměrné rychlosti větru v daných oblastech. Všechny vyznačené instalace se nacházejí v místech, kde je dle legendy mapy v *Obr. 2.3* a *Obr. 3.1* vyšší průměrná rychlost větru, značená přechodem žluté barvy v oranžovou.

3.2 Výsledky měření

Obsahem této podkapitoly jsou data exportovaná z měřicích technologií, kdy u každé z výroben proběhlo jedno měření v délce trvání jednoho, až dvou týdnů. Výjimkou jsou provozy Pavlov a Pavlov II, kde u každého jsou k dispozici data ze třech měření. U provozovny Pavlov II budeme však pracovat s daty ze dvou měření, neboť třetí měření bylo označeno za irelevantní z důvodu nastalého nestandardního provozního režimu.

Při porovnávání dat z jednotlivých provozů je třeba uvažovat, že měření byla prováděna v různých časových úsecích a různých ročních obdobích. Statistická hodnota takových měření je tedy sporná. S jistou mírou nepřesnosti lze tedy porovnávat pouze takové ukazatele provozu a efektivity, které lze vyjádřit procentuálně.

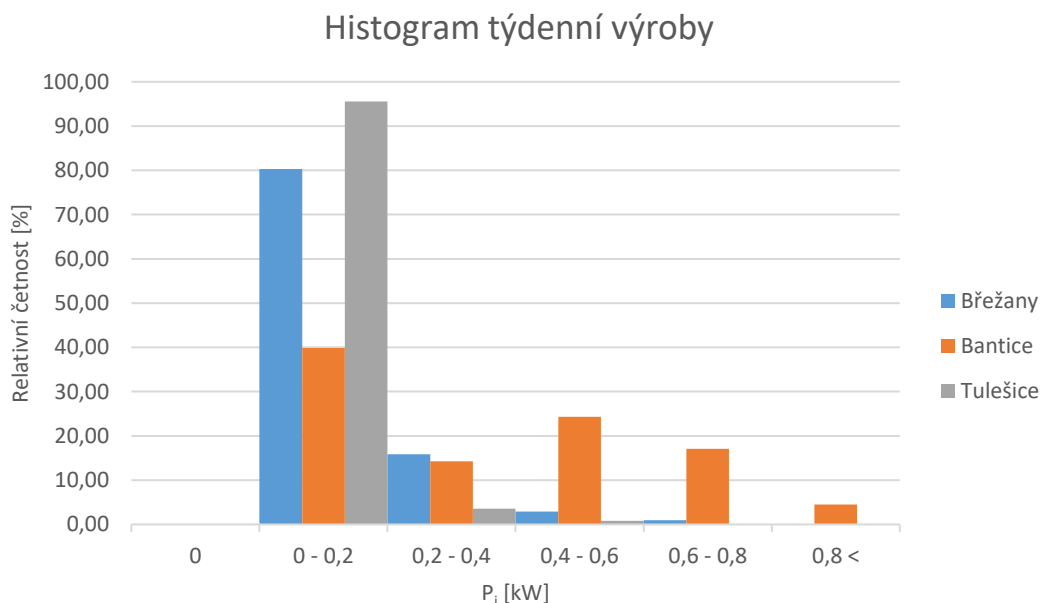
- **Výkony dodávané do sítě**

Hodnoty celkových brutto dodávek v Tab. 3.2 vychází z měřených desetiminutových vzorků třífázových středních výkonů.

Instalace:	Měření:	P_i [kW]	Datum měření:	Doba měření [h]	Celková dodaná energie brutto [kWh]
Břežany	1	4250	3.7.-11.7. 2013	188,0	99491,3
Bantice	1	2000	28.3.-5.4. 2013	189,2	119894,1
Pavlov	1	4000	11.7.-19.7. 2013	190,0	117578,2
	2		21.7.-2.8. 2016	283,7	223072,9
	3		2.8.-10.8. 2016	191,2	122462,5
Pavlov II	1	1700	11.7.-19.7. 2013	182,7	22427,7
	2		2.8.-10.8. 2016	191,5	28738,4
Tulešice	1	2000	22.1.-29.1. 2014	167,8	12513,0
Brodek u Konice	1	1200	3.6.-12.6. 2014	212,7	4791,2
Protivanov II	1	3000	11.11.-19.11. 2013	189,7	141591,7
Drahany	1	2000	19.11.-3.12. 2013	334,3	314332,9
Rozstání	1	1800	3.12.-11.12. 2013	189,8	167279,9

Tab. 3.2 - Hodnoty celkové brutto energie

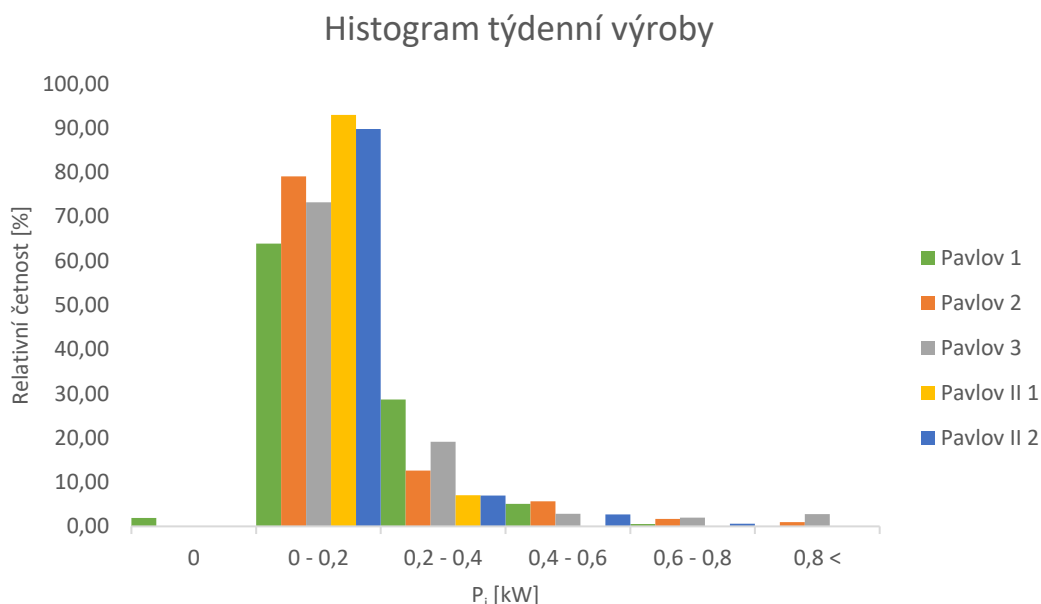
V tabulce Tab. 3.2 vidíme, že doba měření má poměrně velký rozptyl, proto nelze další měřené údaje přímo porovnávat..



Obr. 3.2 - Histogram výroby VTE Břežany, Bantice, Tulešice

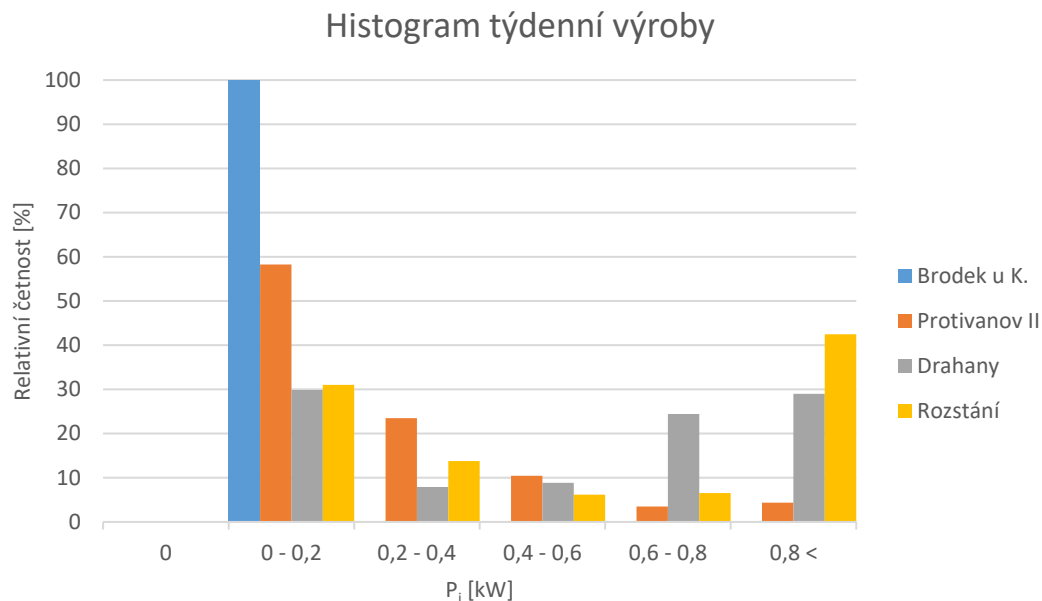
Pro účely grafického znázornění dodávaných výkonů jsme přepočítali data tak, aby byla v daném časovém úseku porovnatelná. Budeme tedy uvažovat 1 008 desetiminutových odečtů (týdenní výrobu), ve kterých zjistíme četnost výskytu hodnot výkonů, které roztrídíme do šesti intervalů pokrývajících hodnotu instalovaného výkonu.

Z grafu v *Obr. 3.2*, ve kterém jsou pro přehlednost vyobrazeny pouze instalace v Jihomoravském kraji, je patrné, že nejdéle VTE pracovaly v hodnotách do 20 % instalovaného výkonu. Pouze VTE Bantice ($P_i = 2000$ kW) využila ve sledovaném období více, než 80 % instalovaného výkonu. Zároveň vidíme, že všechny VTE byly po celou dobu měření v provozu (v nulovém intervalu je nulový výskyt četností).



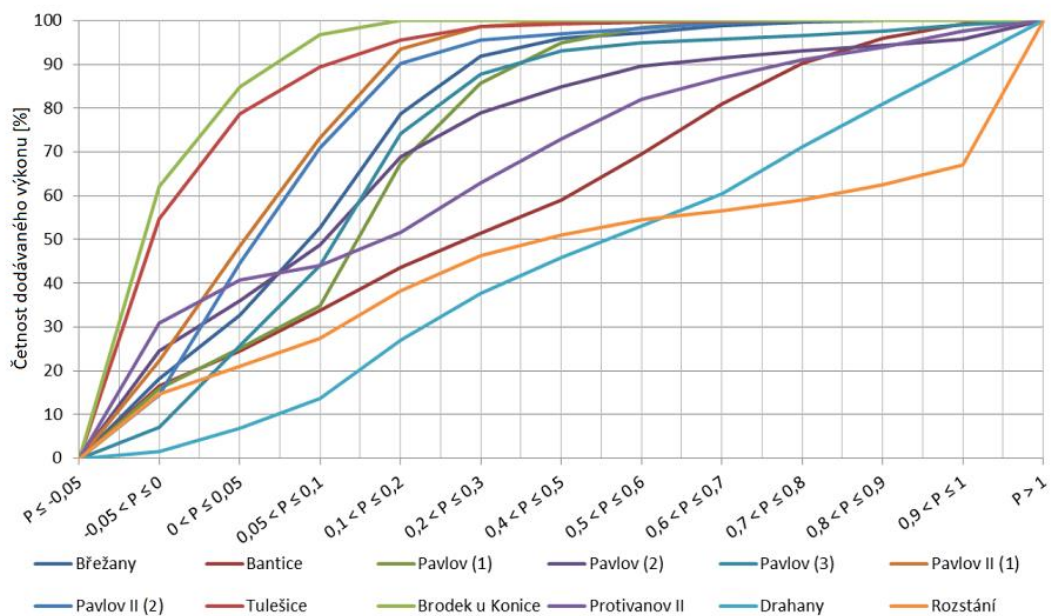
Obr. 3.3 - Histogram výroby VTE Pavlov a Pavlov II

Graficky znázorněná výroba VTE Pavlov a Pavlov II (kraj Vysočina) v *Obr. 3.3* nám ukazuje, že všechna měření (číslovaná arabskými číslicemi za názvem VTE) zaznamenala podobné hodnoty přesto, že rozdíl mezi měřeními 1 a 2 jsou tři roky. Majoritní podíl na vyrobené energii zde mají opět výkony do výše 20 % instalovaného výkonu. VTE Pavlov v průběhu 1. měření byla krátký čas mimo provoz, což zachycuje výskyt hodnot v prvním intervalu. V průběhu 2. i 3. měření se však dopracovaly i k provozu nad 80 % instalovaného výkonu. VTE Pavlov II byly při obou měřeních celou sledovanou dobu v provozu a při 2. měření pracovaly část doby i nad 60 % instalovaného výkonu.



Obr. 3.4 - Histogram výroby VTE Brodek u Konice, Protivanov II, Drahany a Rozstání

Čtveřice VTE v Olomouckém kraji, jejichž týdenní výroba je graficky vyobrazená v *Obr. 3.4*, vykazuje v porovnání s předchozími grafy dvě odlišnosti. VTE Brodek u Konice pokryla celou svou týdenní výrobu výkony do hodnoty 20 % svého instalovaného výkonu (1 200 kW). VTE Rozstání naopak značnou část týdne pracovala v úrovních nad 80 % instalovaného výkonu, kde ji částečně podpořily i VTE Drahany a Protivanov II.



Obr. 3.5 - Distribuční funkce dodávaných výkonů

Z grafu distribuční funkce dodávaných výkonů v *Obr. 3.5* lze dobře vyčíst určitou rovnoměrnost využívání instalovaného výkonu, děleného do intervalů. Nejvíce se lineárnímu průběhu blíží distribuční funkce výkonů VTE Drahany. Této zdánlivé rovnoměrnosti si lze všimnout i v grafu v *Obr. 3.4*. Na první pohled je patrný i zlom v průběhu distribuční funkce VTE Rozstání, což lze na základě *Obr. 3.4* přisoudit značné části sledovaného období, ve kterém VTE Rozstání pracovala nad 80 % instalovaného výkonu.

3.3 Vyhodnocení provozu a efektivity

Z dostupných dat, lze za účelem jejich porovnání, vyhodnotit následující ukazatele provozu a efektivity:

- *Využití instalovaného výkonu*

Pro tento ukazatel využijeme vztahu (1.6). Sledovaným obdobím však nebude kalendářní rok, ale bude dané délkou proběhlého měření. Příkladem výpočtu je VTE Břežany (4 250 kW) s délkou měření 188 hodin.

$$T_i(188h) = \frac{A}{P_i} = \frac{99491,3}{4250} = 23,41 h \quad (3.1)$$

VTE	Doba měření [h]	Využití P_i [h]
Drahany	334,3	157,17
Rozstání	189,8	92,93
Bantice	189,2	59,95
Pavlov (2)	283,7	55,77
Protivanov II	189,7	47,20
Pavlov (3)	191,2	30,62
Pavlov (1)	190,0	29,39
Břežany	188,0	23,41
Pavlov II (2)	191,5	16,90
Pavlov II (1)	182,7	13,19
Tulešice	167,8	6,26
Brodek u Konice	212,7	3,99

Tab. 3.3 - Doba využití instalovaného výkonu

V tabulce *Tab. 3.3* jsme obsáhli měření na všech zmíněných VTE. Elektrárny Pavlov a Pavlov II mají v kulatých závorkách též číslo provedeného měření označeného arabskou číslicí. Toto číslo slouží především ve spojení s *Tab. 3.2*, kde jsou rozlišeny jednotlivá měření podle data konání.

Z hodnot využití instalovaného výkonu je patrné, že všechny zdroje, které by vyráběly hodnotou plného instalovaného výkonu, by vyrobily stejnou energii za podstatně menší čas, než je doba, po kterou probíhalo měření.

- **Koeficient využití instalovaného výkonu**

Abychom míru, se kterou měřené VTE využívají svůj instalovaný výkon, mohli vzájemně porovnat, musíme jí vyjádřit koeficientem využití instalovaného výkonu, který pro účely této práce vyjádříme procentuálně. Jako podklad pro výpočet nám bude sloužit známý vztah (1.7). Pro příklad výpočtu použijeme data z měření na VTE Protivanov II.

$$k_{i(189,7h)} = \frac{A}{P_i \cdot T} = \frac{141591,7}{3000 \cdot 189,7} \cdot 100 = 24,88 \% \quad (3.2)$$

VTE	Koef. využití P_i [%]
Rozstání	48,96
Drahany	47,01
Bantice	31,69
Protivanov II	24,88
Pavlov (2)	19,66
Pavlov (3)	16,02
Pavlov (1)	15,47
Břežany	12,45
Pavlov II (2)	8,83
Pavlov II (1)	7,22
Tulešice	3,73
Brodek u Konice	1,88
Aritm. průměr	19,82

Tab. 3.4 - Koeficient využití instalovaného výkonu

Data z *Tab. 3.4* již lze vzájemně srovnávat, musíme ale brát v potaz jistou míru nepřesnosti, která je dána rozdílnou délkou měření a především rozdílnými podmínkami, které mohou v závislosti na ročním období nastat.

Data jsou uspořádána dle velikosti od největšího procentuálního využití k nejmenšímu. Pořadníku vévodí VTE Rozstání s koeficientem využití instalovaného výkonu 48,96 %. Tento výkon nelze přímo přisuzovat konkrétním faktorům. Měření probíhalo na přelomu prvního a druhého týdne v prosinci, kdy je všeobecný předpoklad, že VTE dosahují nejvyšších hodnot výroby. VTE Rozstání je též nejmladší instalací (2011) s nárůstem dvou let na druhé nejmladší Tulešice (2009). Je zde instalována nejmodernější technologie a zároveň má ze všech porovnávaných VTE největší plochu rotoru, danou jejím průměrem v hodnotě 100 m.

Na opačném konci žebříčku je VTE Brodek u Konice s koeficientem využití instalovaného výkonu ve výši 1,88 %. Geografické podmínky jsou obdobné, jako u VTE Rozstání (Drahanská vrchovina, kraj Olomoucký). Jedná se o nejmenší instalaci z výše posuzovaných a měření zde probíhalo na přelomu prvního a druhého týdne měsíce června, kdy zde, dle historických záznamů o povětrnostních podmínkách z roku 2014, vál slabý proměnlivý vítr s rychlostí do $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Tato hodnota je na spodní mezi provozního intervalu rychlostí větru, který pro německé turbíny DeWind D4 činí $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pro spuštění a $19 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pro zastavení provozu.[24]

4 SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ – výroční zprávy a ostatní zdroje

Při porovnávání ukazatelů efektivity provozu je třeba uvažovat míru nepřesnosti, která vzniká přepočtením časových údajů na stejné intervaly, nebo při vytváření průměrů námi získaných hodnot.

4.1 Srovnání s daty z ERÚ

- *Výroční zpráva o provozu ES ČR*

Výroční zpráva, kterou vydává Energetický regulační úřad ČR, shrnuje provoz elektrizační soustavy a způsob, jakým je energetickým průmyslem využívána. Obsahuje

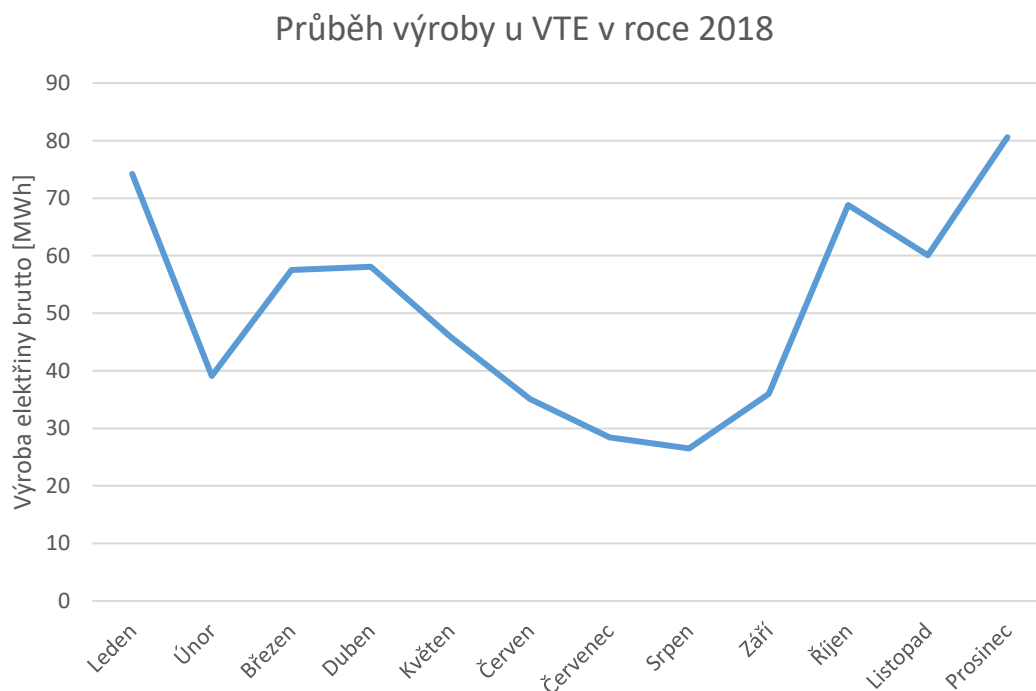
vždy úvod, ve kterém jsou popsány nejmarkantnější změny v porovnání s přechozím rokem a jsou zde shrnuty základní informace o růstu či poklesu výroby v jednotlivých odvětvích.

- **VTE z pohledu Výroční zprávy o provozu ES ČR**

Z tabulky *Tab 2.1*, která čerpá přímo z výroční zprávy ERÚ pro rok 2018, je možné ze známého vztahu (1.7) přímo zjistit koeficient využití instalovaného výkonu. Pro účely výpočtu uvažujeme celkový instalovaný výkon $P_i = 316,2$ MW (rok 2018), celkovou brutto výrobu $A = 609\,329,7$ MWh a délku zkoumaného období $T = 8\,760$ hod (kalendářní rok).

$$k_{i(8\,760h)} = \frac{A}{P_i \cdot T} = \frac{609329,7}{316,2 \cdot 8760} \cdot 100 \cong 22 \% \quad (4.1)$$

Tuto hodnotu lze s jistou nepřesností přímo porovnávat s hodnotou aritmetického průměru koeficientů využití instalovaného výkonu z *Tab. 3.4*, která činí cca 20 %. Použití aritmetického průměru koeficientů využití instalovaného výkonu snižuje statistickou hodnotu výsledku zhruba stejnou mírou, jaké bychom dosáhli při použití vztahu (4.1), kde bychom však museli obdobně vytvořit průměr z délky prováděného měření.

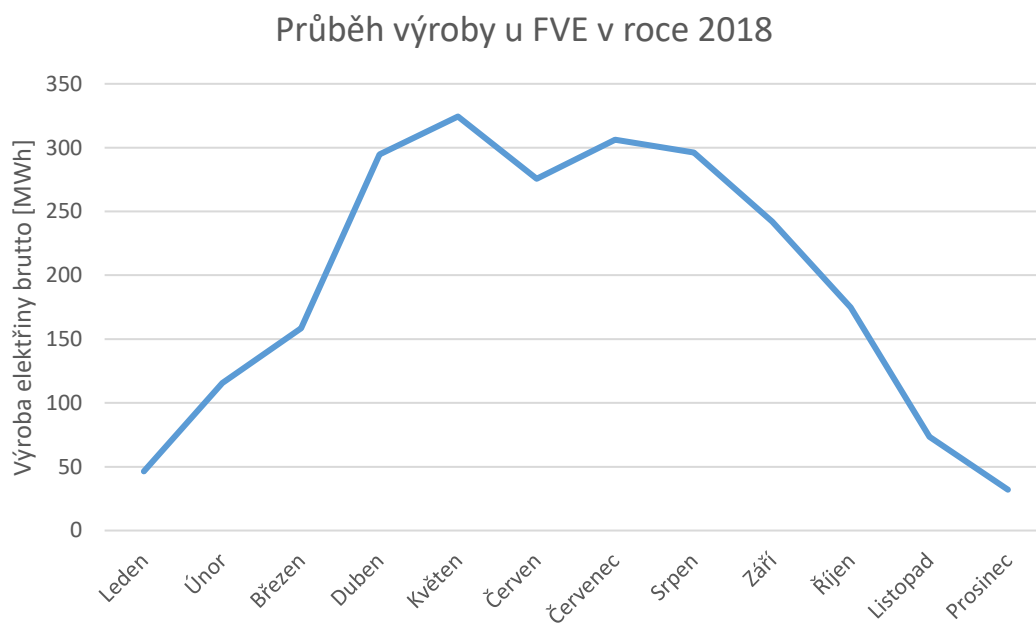


Obr. 4.1 Průběh výroby elektrické energie dodávané VTE v roce 2018 [15]

Z grafu v *Obr. 4.1* je, až na odchýlení od trendu v měsících duben a listopad, patrné, že výroba VTE je v zimních měsících vyšší. Měření na zkoumaných VTE probíhalo z dvanácti případů sedmkrát v letních měsících, což se mohlo promítnout do vypočteného koeficientu využití instalovaného výkonu (20 %), který je v porovnání s daty z výroční zprávy ERÚ nižší o 2 % ve srovnání s jeho ročním ekvivalentem.

- **FVE z pohledu Výroční zprávy o provozu ES ČR**

Pro srovnání efektivity provozů je vhodným konkurentem výroba elektrické energie na FVE. Jedná se o takový typ OZE, který je přímo závislý na klimatických podmínkách, obdobně jako VTE. Těmito podmínkami jsou především optimální osvit, který je daný úhlem dopadu slunečních paprsků, a také oblačností, která má zásadní vliv na intenzitu pronikajícího záření.



Obr. 4.2 - Výroba elektrické energie u FVE v roce 2018 [15]

Z grafu v *Obr. 4.2* je zřejmé, že závislost výroby na ročním období je u FVE opačná, než u VTE. To je dáno především délkou slunečního dne, který je v letních měsících delší.

Pro určení koeficientu využití instalovaného výkonu použijeme data ze zdroje [15]. Instalovaný výkon v technologiích FVE je 2 056,8 MW a jejich roční brutto výroba byla 2 339 677,4 MWh (rok 2018).

$$k_{i(8\ 760h)} = \frac{A}{P_i \cdot T} = \frac{2339677,4}{2056,8 \cdot 8760} \cdot 100 \cong 13 \% \quad (4.2)$$

Z výpočtu (4.2) vidíme, že využití instalovaného výkonu je v porovnání s VTE nižší téměř o 10 %. To lze přisoudit vyšší proměnlivosti klíčových klimatických podmínek. Dalším faktorem je fakt, že po západu slunce FVE nevyrábí vůbec, nebo jen minimálně, což je velkým záparem v porovnání s VTE.

- **MVE z pohledu Výroční zprávy o provozu ES ČR**

Za MVE považujeme dle ERÚ všechny vodní elektrárny s instalovaným výkonem do 10 MW. V ČR je celkový instalovaný výkon těchto zdrojů roven 340 MW. Jejich celková roční (rok 2018) brutto výroba byla 875 129,1 MWh. V MVE je soustředěno 54 % z celkového instalovaného výkonu všech vodních elektráren v ČR. [15]

Dostupná data nám umožňují vypočítat koeficient ročního využití instalovaného výkonu za použití známého vztahu (1.7).

$$k_{i(8\ 760h)} = \frac{A}{P_i \cdot T} = \frac{875129,1}{340 \cdot 8760} \cdot 100 \cong 30 \% \quad (4.3)$$

Výroční zpráva o provozu ES ČR z roku 2018 uvádí, že v roce 2018 MVE zaznamenaly propad výroby o téměř 18 %. To představuje cca 190 GWh při nezměněném instalovaném výkonu. [15] Tento pokles lze připsat mimořádným vodohospodářským situacím, které vlivem rekordního sucha v roce 2018 nastaly. V porovnání s ostatními OZE si ve využívání instalovaného výkonu vedou výrazně lépe. Situaci v jednotlivých povodích lze však obtížně předvídat a každý vodohospodářský extrém dokáže námi sledované ukazatele výrazně měnit.

- **Kogenerační BPS z pohledu Výroční zprávy o provozu ES ČR**

Kogenerační jednotky jsou technologie, které mají za cíl vyrábět společně (kogenerovat) elektrickou energii a tepelnou energii. Ve výroční zprávě o provozu ES ČR jsou tyto zdroje označovány též zkratkou „KVET“, což znamená kombinovanou výrobu elektřiny a tepla. Tyto zdroje tradičně dosahují vysokých účinností výroby, protože velká část tzv. odpadního tepla, které vzniká při konvenční výrobě elektrické energie, se zde zužítkovává pro ohřev užitkové vody.

Palivem pro námi sledovanou technologii je bioplyn. Ten se obvykle jímá na skládkách komunálního odpadu, nebo na čističkách odpadních vod. Častým zdrojem bioplynu je též fermentace produktů zemědělství, kdy je bioplyn jímán například z kukuřičné siláže, nebo ze senáže. Zužítkovatelným vedlejším produktem, pro výrobu bioplynu ze živočišné výroby, může být též hovězí kejda.

Data z ERÚ přesně nspecifikují instalovaný výkon kogeneračních BPS, proto použijeme obecnější data, která uvádějí celkový instalovaný elektrický výkon malých kogeneračních jednotek (do 5 MW) 802,6 MW. Jejich celková brutto výroba elektrické energie byla 2 888 800 MWh (rok 2018). Z těchto údajů již lze vypočítat koeficient ročního využití instalovaného výkonu, dle známého vztahu (1.7).

$$k_{i(8760h)} = \frac{A}{P_i \cdot T} = \frac{2888800}{802,6 \cdot 8760} \cdot 100 \cong 41 \% \quad (4.4)$$

Z provedeného výpočtu vidíme, že z námi porovnávaných OZE dosahuje tento nejvyšší hodnoty koeficientu využití instalovaného výkonu. To lze přisoudit tomu, že na rozdíl od výše zmíněných OZE je zde primárním zdrojem energie palivo. Víme-li, že je ho dostatek k zajištění plného provozu, můžeme vyrábět nepřetržitě. Tato znalost však u VTE a FVE nikdy nenastane.

4.2 Srovnání s FVE

Pro srovnání FVE s ostatními OZE a s daty uvedenými ve výroční zprávě o provozu ES ČR, použijeme naměřená data, která byla v souvislosti se zadáním práce poskytnuta k vyhodnocení.

Po vzoru vyhodnocování předchozích zdrojů, byly i zde obdobně sestaveny tabulky se základními údaji o měřených FVE. Tímto přehledným způsobem uspořádáme i výstupy měřených a vypočtených dat.

FVE	Spuštění:	P _i [kW]	Datum měření:
České Velenice RenPower	2009	1240	3. - 11.4. 2017
Blatná	2010	2709	13.6. - 3.7. 2017
České Velenice SOLAR	2009	1283	11. - 26.4. 2017
Kamenice nad Lipou	2009	1350	23.3. - 3.4. 2017
Komorovice	2010	2354	27.6. - 13.7. 2017
Krašovice	2010	750	16. - 30.5. 2017
Nová Včelnice	2010	2402	11. - 26.4. 2017
Podolí	2010	1454	27.6. - 13.7. 2017
Stáž nad Nežárkou	2010	2601	11. - 26.4. 2017
Volary	2008	1510	31.3. - 19.4. 2017

Tab. 4.1 - Základní údaje o měřených FVE

U všech FVE jsou pokladem, pro vyhodnocení provozu, desetiminutové vzorky středních výkonů odečítané v průběhu celého měření. Z těchto je pak vypočítaná celková brutto výroba, která je zásadním údajem pro vyhodnocení provozních ukazatelů.

FVE	Doba měření [h]	Doba využití instalovaného výkonu [h]	Koeficient využití instalovaného výkonu [%]
České Velenice RenPower	188	20	10,57
Blatná	471	97	20,64
České Velenice SOLAR	366	40	10,89
Kamenice nad Lipou	238	50	21,17
Komorovice	383	67	17,39
Krašovice	336	67	19,99
Nová Včelnice	360	45	12,50
Podolí	383	65	17,07
Stáž nad Nežárkou	360	34	9,37
Volary	458	61	13,34
Průměr			15,29

Tab. 4.2 - Výstupy z měření a vyhodnocení provozu FVE

Velikost vypočteného koeficientu využití instalovaného výkonu byla u VTE menší, než jeho roční ekvivalent. To bylo přisouzeno době měření, která se většinou uskutečnila v letních měsících, kdy je trend výroby VTE nižší, jak ukazuje graf v *Obr. 4.1*. U FVE nastal opačný případ, kdy vypočtený údaj je o 2 % vyšší, než jeho roční ekvivalent, což lze opět přisoudit době, ve které se měření uskutečnilo. Žádné z provedených měření nebylo prováděno v zimních měsících, kdy je trend výroby FVE nižší, což je patrné z grafu v *Obr. 4.2*.

4.3 Srovnání s MVE

Pro vyhodnocení provozu MVE máme k dispozici měřená data ze tří zdrojů, které se nacházejí v povodí řeky Vltavy.

MVE	Uvedení do provozu:	P_i [kW]	Vodní tok:	Turbína:
Kořensko	1992	3800	Vltava	Kaplanova
Veselka	2006	15	Stropnice	Francisova
Pořešín	1994	57	Malše	Kaplanova

Tab. 4.3 - Základní údaje o měřených MVE

Podkladem, pro vyhodnocení provozu těchto tří MVE, jsou odečty středních výkonů, které byly zaznamenávány každých 10 minut po dobu celého měření. Z těchto odečtů lze pak vypočíst údaj o celkové brutto výrobě, který je zásadní pro vyhodnocení provozu zdroje.

MVE	Datum měření:	Doba měření [h]	Celková brutto výroba [kWh]	Doba využití instalovaného výkonu [h]	Koeficient využití instalovaného výkonu [%]
Kořensko	19.2. - 12.3. 2019	502	1242337,25	326,93	65,13
Veselka	5.3. - 13.3. 2019	191	2610,37	174,02	91,11
Pořešín	5.3. - 13.3. 2019	191	3836,44	67,31	35,24
Průměr					63,83

Tab. 4.4 - Výstupy hodnot z měření a vyhodnocení provozu

Z tabulky *Tab. 4.4* vidíme, že hodnoty koeficientu využití instalovaného výkonu jsou zde nápadně vyšší ve srovnání s předchozími zdroji i s údaji z výroční zprávy o provozu ES ČR. Na tyto nesrovnalosti může mít opět vliv doba, kdy bylo měření prováděno. V měsíci březnu bývají průtoky v korytech povodí Vltavy vyšší v důsledku tání sněhové pokrývky. Odečet z března roku 2019, který byl zaznamenán MVE Pořešín, je s hodnotou $12,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ více než dvojnásobkem ročního průměru a zároveň nejvyšší březnovou hodnotou v posledních pěti letech.[25]

Vypočtená hodnota koeficientu využití instalovaného výkonu, je se svým ročním ekvivalentem takřka nesrovnatelná. Prvním možným důvodem, je jistá ojedinělost vodohospodářských podmínek, které při jarním tání nastávají, a druhým důvodem může být fakt, že údaje poskytl ERÚ jsou výjimečné neobvykle suchým obdobím, které v ČR v roce 2018 panovalo.

4.4 Srovnání s kogenerační BPS

K porovnání zde slouží dvě kogenerační jednotky bioplynových stanic, které z většiny získávají bioplyn mokrou fermentací kukuřičné siláže.[26]

BPS	Uvedení do provozu:	P_i [kW]	Kogenerační jednotka:	Technologie:
Markvartice	2009	180	Deutz	Mokrá fermentace
Pěčín	2011	1180	GE Jenbacher	Mokrá fermentace

Tab. 4.5 - Základní údaje o měřených BPS

Vyhodnocení provozu vzniklo na základě 2 220 odečtených desetiminutových vzorků středních výkonů, které jsou k dispozici pro oba zdroje.

BPS	Datum měření:	Doba měření [h]	Celková brutto výroba [kWh]	Doba využití instalovaného výkonu [h]	Koeficient využití instalovaného výkonu [%]
Markvartice	5.3. - 13.3. 2019	179	19599,84	108,89	60,83
Pěčín	5.3. - 13.3. 2019	191	135665,74	114,97	60,19
Průměr					60,51

Tab. 4.6 - Výstup dat z měření a vyhodnocení BPS

Před tím, než kogenerační BPS přímo porovnáme s ostatními OZE, musíme vzít v potaz fakt, že technologie kogenerace dává provozovateli zdroje na výběr, zdali chce energetický potenciál využít přednostně pro výrobu tepla, nebo elektrické energie. Tím může jednak krýt svou vlastní spotřebu energií, ale i obratně reagovat na potřeby trhu s energiemi.

Rozdíl, který zde vznikl mezi námi vypočteným průměrným koeficientem využití instalovaného elektrického výkonu (61 %) a údajem od ERÚ, lze vysvětlit právě reakcí na potřeby trhu s energiemi. Ovlivnit tento údaj může i dostupné množství primárního zdroje energie, kdy sklizeň kukuřice probíhá začátkem podzimu a v březnu, kdy probíhalo měření, jsou zásoby siláže na dostatečné úrovni tak, aby byl zajištěn provoz na možných vyšších úrovních dodávané energie.

4.5 Ostatní zdroje informací

Z dalších zdrojů informací je, pro srovnání vypočtených ukazatelů, vhodný zdroj [23], který se zabývá instalací VTE Drahaný (2 000 kW). Zde se mimo ekonomické stránky projektu, která popisuje náklady na výstavbu VTE a očekávané výnosy, vyskytují též technické provozní údaje. Tyto zde uvádějí, že v podmínkách ČR se VTE Drahaný řadí mezi absolutní špičku v oblasti využití instalovaného výkonu. Uvádějí, že tento ukazatel se mezi léty 2007 až 2011 pohyboval na úrovni 32 %.

V tabulce *Tab. 3.4* se VTE Drahaný skutečně zaujímá umístění na špičce žebříčku s naměřeným koeficientem využití instalovaného výkonu ve výši 47 %. Toto měření probíhalo na přelomu listopadu a prosince roku 2013, kdy hodnoty výroby VTE bývají vyšší, než v letních měsících, které by tento koeficient pravděpodobně snížily. Investorem udávaná hodnota tedy nemusí být nereálná.

Investor dále zmiňuje obecná data o provozu VTE, kde mimo jiné říká, že koeficient využití instalovaného výkonu se u VTE v ČR pohybuje kolem hodnoty 20 %. Tato hodnota odpovídá průměru, ke kterému dospěly provedené výpočty podložené údaji z proběhlých měření.

ZÁVĚR

Tato práce, která se zaměřila na vyhodnocení provozu energetických zdrojů, provedla hodnocení devíti zdrojů elektrické energie, které využívají technologie větrných turbín, pro přeměnu kinetické energie proudění větru v energii elektrickou.

Z dostupných dat, která byla získávána v průběhu let 2013 až 2016, byly k dispozici desetiminutové odečty středních výkonů dodávaných do sítě. Průměrná doba měření byla 209 hodin. Tato doba byla však pro účely grafického zpracování dat přepočtena na hodinový ekvivalent týdne (168 h). Tyto grafy, které jsou obsahem podkapitoly 3.2 (str. 34 – 36), nám mimo jiné ukazují, jaká část instalovaného výkonu jednotlivých zdrojů byla po dobu měření nejčastěji využívána. Z těchto grafů je patrné, že většina zkoumaných zdrojů využívala v době měření nejčastěji cca 20 % svého instalovaného výkonu. Výjimkou byly VTE Rozstání, Drahany a Bantice, které se pohybovaly v intervalu od 32 do 49 % využití instalovaného výkonu. U těchto VTE Rozstání a Drahany probíhalo měření v měsících listopad a prosinec, což dle ročního trendu výroby VTE může korelovat s vyšším využitím instalovaného výkonu.

Hodnota koeficientu ročního využití instalovaného výkonu ve výši 22 %, vznikla přepočtením dat dostupných z Výroční zprávy o provozu ES ČR, vydávané ERÚ. Při porovnání s průměrnou hodnotou stejného koeficientu u námi zkoumaných zdrojů (20 %) vidíme, že žádných hrubých nepřesností se výpočty nedopustily. Rozdíl mezi těmito hodnotami lze přisoudit rozdílné době zkoumaného úseku, kdy vypočtený údaj se vztahuje na týden provozu a údaj z ERÚ je počítán za celý kalendářní rok.

Při vyhodnocování provozu FVE se potvrdil trend vyšší výroby v letních měsících, když pro uvedená měření vyšel $k_i = 15 \%$, což je o 2 % více, než je jeho celoroční ekvivalent. Žádné z provedených měření neproběhlo v zimních měsících, kdy je délka slunečného dne kratší a hodnoty koeficientu využití instalovaného výkonu jsou tudíž nižší.

Pro MVE platí, že pro jejich provoz je situace stavů vod zásadní. Měření v měsíci březnu, kdy je předpoklad tání sněhové pokrývky, bylo tímto periodickým jevem ovlivněno v té míře, že jsou vypočtená data k_i (cca 64 %) s daty od ERÚ (30 %) téměř neporovnatelná.

U kogeneračních BPS byl v prvním týdnu měsíce března vyhodnocen koeficient využití instalovaného výkonu cca 60 %. Tento údaj má výrazně vyšší hodnotu, než je uváděna ve statistikách ERÚ (41 %). Vzhledem k možnosti, zvolit režim provozu, ve kterém kogenerační jednotka funguje, je srovnání týdenního a ročního k_i irelevantní. Jisté však je, že provozovatel technologie spíše upřednostní výrobu tepla, kdy tento provoz vykazuje znatelně menší tepelné ztráty, což se pozitivně projeví na ekonomice provozu takového zdroje.

U FVE a VTE lze v následujících letech očekávat vývoj technologií určených k instalaci, a také ucelené zprávy o ekonomice jejich provozu, které vzniknou po demontážích nejstarších instalací. Růst instalovaného výkonu v MVE je nejistý. Situace s nedostatkem vody v krajině ČR tomu však příliš nenasvědčuje. Provoz kogeneračních jednotek se vzhledem k efektivitě jejich provozu růstu jistě dočká. Vystává zde však otázka týkající se získávání bioplynu z energeticky užitkovatelných plodin, které v době potravinové nesoběstačnosti ČR zabírají plochu orné půdy, která by se dala užívat pro pěstování zeleniny a obilovin. Nárůst instalovaných výkonů bude však jednoznačně záviset na dotační politice EU a na vývoji garantovaných cen výkupu silové elektřiny z OZE.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] DRÁPELA, Jiří. *Výkony v třífázových sítích s obecně nesymetrickou a deformovanou proudovou a napěťovou soustavou: Kvalita elektrické energie a EMC (MPQ1)* [online]. Brno, 2019 [cit. 2020-06-07]. Dostupné z: <http://www.ueen.feec.vutbr.cz>. Přednáška. VUT Brno.
- [2] MÁŠA, Pavel. *Základy elektrických obvodů VII: Výkon v HUS* [online]. Praha, 2011 [cit. 2020-06-07]. Dostupné z: <http://www.robotika.trifit.eu>. Přednáška. ČVUT v Praze.
- [3] Dostupné z: <http://www.cez.cz>
- [4] ČEPS a.s., Kodex přenosové soustavy část II., 2018.
- [5] ČEZ, *Elektrárna v nitru skály slaví 10. výročí*. Tisková zpráva společnosti ČEZ, 3. 10. 2006
- [6] ŽERT, František. *Analýza regulační energie v ČR* [online]. Praha, 2017 [cit. 2020-06-07]. Dostupné z: <https://www.informacni-portal.cz/clanek/minutova-zaloha>. ČVUT v Praze.
- [7] IBLER, Zbyněk a Miloš BERAN. *Elektrárny II.* [online]. Plzeň, 1982 [cit. 2020-06-07]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~nohac/E2/>. Skripta. VŠSE Plzeň.
- [8] VOBOŘIL, David. *Větrné elektrárny - princip, rozdělení, elektrárny v ČR* [online]. 2015 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/>
- [9] Dostupné z: http://www.wikiwand.com/cs/Savoniova_turbina
- [10] *Obnovitelné zdroje energie* [online]. ČVUT v Praze, 2018, , 1-11 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <http://energetika.cvut.cz>
- [11] KOČ, Břetislav a David HANSLIAN. *Větrné elektrárny VIII. – Mořské (offshore) větrné elektrárny* [online]. 2017 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/>
- [12] ÚSTAV FYZIKY ATMOSFÉRY. *Větrná mapa. In: Česká společnost pro větrnou energii* [online]. Praha: CSVE [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/cz/clanky/vetrna-mapa/35>
- [13] WAGNER, Vladimír a David HANSILAN. *Větrné elektrárny včera, dnes a zítra (díl 2.)* [online]. 2017 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/vetrne-elektrarny/>
- [14] ČTK. *Elektrárny v ČR: Největší větrný park na jižní Moravě by mohl být rozšířen o další elektrárny* [online]. 2017 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/vetrne-elektrarny/>
- [15] *Roční zpráva o provozu ES ČR* [online]. Praha: Oddělení statistiky a sledování kvality ERÚ, 2019, **2018** [cit. 2020-06-12].
- [16] *Aktuální instalace* [online]. Česká společnost pro větrnou energii, 2019 [cit. 2020-06-12].
- [17] 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. 2020-06-12]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/energie-a-zivotni-prostredi/cr-all-17-01-obalka-in.pdf>
- [18] *Větrné elektrárny ve světě* [online]. Česká společnost pro větrnou energii, 2019 [cit. 2020-06-12]. Dostupné z: <https://csve.cz/cz/clanky/vetrne-elektrarny-ve-svete/283>
- [19] *Realizované projekty - Větrné elektrárny* [online]. Větrný park Břežany, Bantice [cit. 2020-06-13]. Dostupné z: https://www.vetrna-energie.cz/projekty/vetrne-elektrarny_7
- [20] *V Pavlově na Jihlavsku stojí první větrná elektrárna na Vysočině. FINANCE.cz* [online]. 2006 [cit. 2020-06-13]. Dostupné z: <https://www.finance.cz/zpravy/finance/71436-v-pavlove-na-jihlavsku-stoji-prvni-vetrna-elektrarna-na-vysocine/>
- [21] KRUTIŠ, Dalibor. OBRAZEM: U Tulešic stojí nová větrná elektrárna. *Znojemský deník* [online]. 2009 [cit. 2020-06-13]. Dostupné z: https://znojemsky.denik.cz/zpravy_region/obrazem-u-tulesic-stoji-elektrarna20091127.html
- [22] *REpower MD77: Datasheet* [online]. [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/549-repower-md77>
- [23] *ENERGY REGION: Větrná elektrárna Drahaný* [online]. , 3 [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: <http://www.mas-moravsky-kras.cz/ftp/ENERGYREGION/katalog%20BP/A2%20-%20VTE%20Drahaný.pdf>
- [24] *DeWind, D4: Datasheet* [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/388-dewind-d4-48-600>

- [25] Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/hydrologie/historicka-data>
- [25] Atlas zařízení využívajících obnovitelné zdroje energie, Dostupné z: <http://www.calla.cz/atlas/index.php>

