

UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017

Roman Růžička

Univerzita Pardubice

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Software pro převod charakteristik větru na větrnou energii

Roman Růžička

Bakalářská práce

2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Roman Růžička**
Osobní číslo: **I13214**
Studijní program: **B2646 Informační technologie**
Studijní obor: **Informační technologie**
Název tématu: **Software pro převod charakteristik větru na větrnou energii**
Zadávací katedra: **Katedra informačních technologií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je vytvoření softwaru pro automatické generování účinnostní křivky větrné elektrárny. V úvodu budou popsány typy větrných elektráren a vztahy pro výpočet generované větrné energie v závislosti na environmentálních parametrech. Výstupy ze softwaru pak budou sloužit k citlivostní analýze vstupních parametrů a pro detekci větrných ramp.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

***MÁSLO, Karel. Řízení a stabilita elektrizační soustavy. Praha: Asociace energetických manažerů, 2013, 272 s. ISBN 978-80-260-4461-1.**

***A. Bossavy, R. Girard, and G. Kariniotakis, Forecasting ramps of wind power production with numerical weather prediction ensembles,? Wind Energy, vol. 16, no. 1, pp. 51?63, 2013.**

***T. Hill and P. Lewicki, STATISTICS: Methods and Applications. StatSoft, Tulsa, OK, 2007.**

***G. Giebel, R. Brownsword, G. Kariniotakis, M. Denhard, and C. Draxl, "The state-of-the-art in short-term prediction of wind power: A literature overview, Anemos.plus and SafeWind projects, Ris, Roskilde, Denmark, Tech. Rep., 2011.**

Vedoucí bakalářské práce:

Mgr. Jana Heckenbergerová, Ph.D.

Katedra matematiky a fyziky

Datum zadání bakalářské práce: **31. října 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13. května 2016**



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan



L.S.



Mgr. Josef Horálek, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 31. března 2016

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 11. 5. 2017

Roman Růžička

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucí této bakalářské práce paní Mgr. Janě Heckenbergerové Ph.D. za cenné rady, připomínky a vstřícný přístup při zpracování této práce. Rád bych také poděkoval panu Ing. Jířímu Špičákovi za rady a poskytnuté materiály.

ANOTACE

Cílem bakalářské práce je implementace softwaru pro získávání a zpracování dat v závislosti na vygenerované křivce výkonosti větrné elektrárny. V práci jsou popsány principy a funkce větrné elektrárny, rozdělení elektráren podle typu a základní vztahy pro výpočet výkonu.

KLÍČOVÁ SLOVA

vítr, elektrárna, výkon, účinnost, aplikace

TITLE

Software for converting wind characteristics to wind energy

ANNOTATION

The aim of the bachelor thesis is the implementation of software for data acquisition and processing in dependence on the generated curve of wind power plant performance. The thesis describes the principles and functions of the wind power plant, the distribution of power plants according to the type and the basic relations for the calculation of the power.

KEYWORDS

wind, power plant, power, efficiency, application

Obsah

0	Úvod.....	14
1	Historie.....	15
1.1	Vývoj větrných motorů v dávné minulosti.....	15
1.2	Vznik prvních větrných elektráren.....	17
1.3	20. století.....	18
2	Vítr.....	20
2.1	Vznik větru.....	20
2.2	Rychlost větru.....	20
2.3	Směr větru.....	20
3	Struktura větrné elektrárny.....	22
3.1	Betonový základ.....	22
3.2	Stožár.....	23
3.2.1	Ocelový stožár.....	23
3.2.2	Příhradový stožár.....	23
3.2.3	Betonový stožár.....	23
3.3	Gondola.....	24
3.3.1	Převodovka.....	24
3.3.2	Mezi převodovkou a generátorem.....	24
3.3.3	Generátor.....	25
3.3.4	Otáčení gondoly.....	25
3.3.5	Hydraulický systém.....	25
3.4	Rotor.....	25
3.4.1	Rotorový list.....	25
4	Rozdělení větrných elektráren.....	27
4.1	Rozdělení podle velikosti.....	27
4.1.1	Malé elektrárny.....	27

4.1.2	Střední elektrárny.....	27
4.1.3	Velké elektrárny.....	27
4.2	Rozdělení podle osy rotoru	28
4.2.1	Horizontální otáčení.....	28
4.2.2	Vertikální otáčení.....	28
4.3	Rozdělení podle aerodynamického principu	28
4.3.1	Odporový princip	28
4.3.2	Vztlkový princip	29
4.4	Rozdělení podle regulace výkonu	32
4.4.1	Regulace stall	32
4.4.2	Regulace pitch.....	32
4.4.3	Regulace active-stall	33
5	Výpočet výkonu.....	34
5.1	Rovnice výkonu	34
5.2	Veličiny výkonnostní rovnice	35
5.2.1	Součinitel výkonnosti	35
5.2.2	Obsah rotoru	36
5.2.3	Rychlost větru	36
5.2.4	Hustota vzduchu	36
6	Vývoj aplikace	37
6.1	Požadavky na aplikaci.....	37
6.2	Volba programovacího jazyka	37
6.3	Volba grafického prostředí.....	38
6.3.1	FXML	38
6.3.2	Controller	39
6.3.3	Main class	39
6.4	Vývojová prostředí.....	39

6.5	Řešení důležitých otázek a problémů.....	40
6.5.1	Elektrárna.....	40
6.5.2	Provázanost.....	40
6.5.3	Tabulka účinnosti.....	40
6.5.4	Graf výkonnosti	41
6.5.5	Načítání ze souboru	41
6.5.6	Ukládání do souboru.....	42
6.5.7	Zobrazení dat podle datumu	42
6.6	Implementace aplikace.....	42
6.6.1	FXMLMain.....	43
6.6.2	FXMLDocumentController	43
6.6.3	CpTable.....	45
6.6.4	DataTable.....	45
6.6.5	PowerGraph	46
6.6.6	LoadDialog	47
6.6.7	FileCsvLoader.....	48
6.6.8	FileCsvSaver.....	50
7	Uživatelská dokumentace	51
7.1	Spuštění.....	51
7.2	Rozdělení.....	51
7.2.1	Záložka výkonnostní graf	51
7.2.2	Záložka účinnosti graf	52
7.2.3	Záložka tabulka hodnot.....	53
7.2.4	Záložka grafů	54
7.2.5	Kalkulačka	55
8	Ověření Aplikace	56
8.1	Výběr elektrárny.....	56

8.2	Porovnávání výkonů.....	56
8.3	Porovnávání grafů.....	57
9	ZÁVĚR.....	59
10	Použitá literatura.....	60

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1 – Mlýn holandského typu v Přemyslovicích [1]	16
Obrázek 2 – Mlýn německého typu v Rymicích [5].....	16
Obrázek 3 – První větrná elektrárna Charlese F. Brushe [9]	17
Obrázek 4 – Větrná elektrárna Poul la Coura [10]	17
Obrázek 5 – Globální cirkulace atmosféry [8].....	21
Obrázek 6 – Větrná elektrárna [20]	22
Obrázek 7 – Savoniův motor [16].....	29
Obrázek 8 – Třílístý rotor [21].....	30
Obrázek 9 – Čtyřlístý větrný motor [19]	30
Obrázek 10 – Mnoha lopatkový motor [22]	30
Obrázek 11 – Darrieův motor [17]	31
Obrázek 12 – Giromill [18]	31
Obrázek 13 – Regulace stall [zdroj: autor]	32
Obrázek 14 – Regulace pitch [zdroj: autor].....	33
Obrázek 15 – Regulace active-stall [zdroj: autor]	33
Obrázek 16 – Data standartního souboru [29]	48
Obrázek 17 – Záložka výkonostní graf [zdroj: autor].....	52
Obrázek 18 – Záložka účinnostní graf [zdroj: autor].....	53
Obrázek 19 – Záložka tabulka hodnot [zdroj: autor]	54
Obrázek 20 – Záložka grafů [zdroj: autor]	55
Obrázek 21 – Kalkulačka [zdroj: autor]	55
Obrázek 22 – Graf účinnosti a výkonosti dokumentace [27]	58
Obrázek 23 – Graf výkonosti aplikace [zdroj: autor]	58
Tabulka 1 – Porovnání hodnot výkonů [26] [zdroj: autor].....	56
Tabulka 2 – Hodnoty výkonu před a po zaokrouhlení [zdroj: autor]	57

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

CSS	Cascading style sheets
XML	Extensible markup language
CSV	Comma separated values
JRE	Java Runtime Environment
P_{vte}	Výkon větrné elektrárny
P_v	Výkon větru
C_p	Součinitel výkonnosti
P	Výkon
v	Rychlost
S	Obsah
s	Vzdálenost
r	Poloměr

0 ÚVOD

Neobnovitelné zdroje ubývají každý den a rychlost úbytku těchto zdrojů se neustále zvyšuje. Příčinou tohoto úbytku není jen neustálé zvyšování světové populace, ale také zvyšující se spotřeba jednotlivými lidmi. Tyto zdroje nejsou neomezené a v budoucnu budou vyčerpány. Další nevýhodou je, že některé zdroje způsobují zvyšování koncentrace oxidu uhličitého a tím dochází k tzv. globálnímu oteplování.

Proto je třeba hledat nové zdroje alternativní energie nebo se naučit lépe využívat obnovitelnou energii. Typickým charakterem obnovitelných zdrojů je jejich nemožnost je vyčerpát. Mezi obnovitelné zdroje patří vítr, kde pro získání elektrické energie z tohoto živlu se používá větrná elektrárna.

Cíle této bakalářské práce se dělí do teoretické a praktické části. Cílem teoretické části je seskupit data a informace o tom, co ovlivňuje výkon větrné elektrárny a jakým způsobem je možné výkon z elektrárny získat. V praktické části je vytvořen program, který se používá pro zpracování dat z načteného souboru a pro zobrazení vlastností elektráren jako je výkon a účinnost.

V úvodní části práce dochází ke stručnému seznámení s historií vzniku a vývoje větrných elektráren, která začíná od prvních větrných mlýnů přes první pokusné větrné elektrárny až po současný standart a vyhlídky do budoucna. Ve druhé kapitole jsou vysvětleny základní principy vzniku větru a jeho vlastností jako jsou směr a rychlost. Třetí kapitola se zabývá strukturou a technologickými parametry větrné elektrárny, které určují možnosti získání maximálního výkonu. Ve čtvrté kapitole jsou popsány jednotlivé skupiny větrných elektráren, které se od sebe odlišují způsoby získávání výkonu. Poslední kapitola teoretické části se věnuje výpočtu výkonu větrné elektrárny a parametrům potřebným pro výpočet.

Ve druhé části se práce v úvodu zabývá seznámením s požadavky na aplikaci a stručně představuje nástroje použité při vytváření programu. Dále dochází k seznámení s důležitými otázkami a problémy, které je potřeba vyřešit před samotným vytvářením aplikace. Následuje podkapitola, která představuje základní metody a třídy, na kterých je program postaven. V předposlední kapitole je popsán základní způsob práce a ovládání programu. V poslední kapitole dochází k ověření a porovnání výsledků, které aplikace poskytuje.

1 HISTORIE

Každé technické odvětví má své počátky a výjimkou nejsou ani větrné elektrárny. V této kapitole jsou popsány první zmínky o využití větrné energie od prvních větrných mlýnů až po první větrné elektrárny, kde někdy první pokusy a snahy o získání co největšího výkonu končily neúspěchem.

1.1 Vývoj větrných motorů v dávné minulosti

Počátek využití větrné energie začal tehdy, když si člověk poprvé uvědomil, že může tuto sílu použít pro pohon lodí. Tato událost je znázorněna na kresbách, které jsou více než 5000 let staré a zobrazují lodě plující po řece Nil. V 17. století před Kristem babylonský král Chammurapi plánoval využít větrnou energii pro zavlažování úrodné země. O prvním využití větrného motoru se dochovaly záznamy 2200 let staré, které pocházejí z Persie. Zde tyto větrné motory, stejně tak jako v Číně, používaly svislou osu otáčení. Prvními, kdo začal používat vodorovnou osu, byli Egypťané a to ve 3. století před Kristem. ^[6]

Na Střední východ se větrné motory rozšiřují v 11. století a odtud se později dostávají do prvních evropských zemí. Mezi první evropské země, kdo začal tuto novou technologii využívat, patří Itálie, Španělsko a Francie. Nakonec se rozšiřují do dalších zemí, jako je Velká Británie, Německo a Holandsko, které začne větrné motory používat ve velkém počtu pro vysušování mokřin a jezírek. Větrné motory nachází dále i jiné využití než jen pro čerpání vody ze zatopených míst, ale i pro získávání olejů, mletí obilovin, mletí krmiva pro dobytek anebo pro pohon pil. ^[6]

V současnosti v České republice se dochovaly dva druhy mlýnů z těchto dob. Prvním druhem mlýnu je mlýn holandského typu, kde se proti větru natáčí jeho nástavba. Tento druh mlýnu se například nachází v Přemyslovicích (obr. 1). Dalším druhem je mlýn německého typu, kde se musí natáčet celý mlýn proti větru. Tento mlýn je k vidění ve skanzenu v Rymicích (obr. 2). ^[6]



Obrázek 1 – Mlýn holandského typu v Přemyslovicích [1]

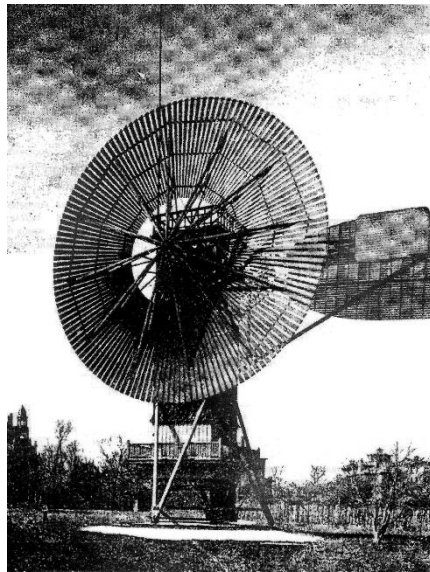


Obrázek 2 – Mlýn německého typu v Rymicích [5]

S příchodem parního stroje přichází úpadek větrných motorů. Později tento úpadek ještě o něco prohloubí rozvoj menších spalovacích motorů a příchod elektrizace. I přes všechny nové technologie, které jsou účinnější se najdou země, kde se dále pracuje na dalším vývoji větrných motorů. ^[6]

1.2 Vznik prvních větrných elektráren

Větrné motory vyrábějící elektrickou energii tzv. větrné elektrárny vznikají zhruba ve stejnou dobu na dvou kontinentech. Celosvětové prvenství v sestrojení větrné elektrárny patří Američanovi Charlesi F. Brushovi. Ten sestrojil mezi roky 1887-1888 první automatickou větrnou turbínu napojenou na generátor elektrického proudu. Rotor měl průměr 17 m a byl složen ze 144 paprskovitě uspořádaných lopatek z cedrového dřeva. Výkon této elektrárny byl 12 kW při 500 otáčkách za minutu. Technologicky a výkonem byla tato stavba (obr. 3) dokonalejší než větrná elektrárna postavená v dánské obci Askov o 3 roky později.^[3]



Obrázek 3 – První větrná elektrárna Charlese F. Brushe [9]

První větrná elektrárna v Evropě vzniká v Dánsku v malé obci Askov. Zde dánský vědec Poul la Cour roku 1891 sestrojil větrnou elektrárnu (obr. 4), která se podobala klasickému větrnému mlýnu. Vrtule měla čtyři až šest listů, kde na rámu listu byla připevněná napnutá plachta. La Cour si dokonce sestrojil větrný tunel, kde testoval modely větrných motorů. Kompresor pro větrný tunel byl poháněn parním strojem.^[3]



Obrázek 4 – Větrná elektrárna Poul la Coura [10]

1.3 20. století

Na počátku 20. století, kdy lidé mají už zkušenosti s větrnými elektrárnami, vznikají určité představy o tom, jak je mohou využít a jakým směrem se jejich konstrukční vývoj bude ubírat. Šanci na rozšiřování větrných elektráren moc nedávaly levné pohonné kapaliny a jiné levné suroviny. V Dánsku i přes konstrukci nových účinnějších motorů probíhal nepřerušovaný vývoj větrných elektráren a dále se i rozšiřoval. Větrné elektrárny se hodně používaly na ostrovních místech, kde nebyl dobrý přístup k elektrické energii. Zde poháněly zemědělská zařízení jako mlátičky, šrotovníky, pily, čerpadla a apod. ^[3]

V 30. a 40. letech 20. století se do staveb větrných elektráren pustili země jako SSSR, která v roce 1931 sestrojila větrnou elektrárnu o výkonu 100 kW. V Anglii experimentovali s větrnou elektrárnou, která měla duté na konci otevřené lopatky. Lopatky pracovaly jako radiální kompresor a odsávaly vzduch z dutého stožáru. Účinností se však tato elektrárna nemohla měřit se standardními větrnými elektrárnami. Ve Spojených státech byla postavena větrná elektrárna Smith-Putnam, která byla v provozu od roku 1941-1945, kdy došlo k utržení jedné z lopatek. Elektrárna měla rotor o průměru 53,5 m a dosahovala výkonu 1250 kW. Tím se stala první větrnou elektrárnou, která přesáhla výkonu 1 MW. ^[6]

K rychlejšímu rozvoji dochází až v 70. letech 20. století, kdy přichází ropná krize. Ta spolu s ochranou ovzduší dala impuls k hledání alternativních zdrojů energie a tím se urychlil vývoj a rozšíření větrných elektráren. ^[7]

V 80. letech výkon větrných elektráren dosahoval desítek kilowattů a na konci 90. let se podařilo dosáhnout hranice megawattu. V těchto letech vznikaly experimenty, které překonávaly výkony komerčních staveb. Testovaly se hranice větrných elektráren, a to vzhledem k použitému materiálu, technické konstrukci stavby nebo k přírodním limitům. Cílem bylo zjistit maximální využití větrné energie a její kvalitní zavedení do elektrické sítě. ^[3]

Na konci 20. století velké komerční větrné elektrárny začaly dosahovat výkonů kolem desítek megawatt. Příkladem je větrná elektrárna Repower firmy Enercon, která se nachází v Německu u města Bremerhaven a dosahuje výkonu 5 MW. ^[3]

V dnešní době je větrná energie nejvíce vyvíjena v zemích, jako je Dánsko, Německo a Nizozemsko. Je to nejdynamičtěji se vyvíjející obor energetiky. Svědčí o tom nárůst instalovaného výkonu v evropských zemích, kde na vrcholu najdeme země jako Německo, Španělsko nebo Velkou Británii ^[2]. Běžně se také instalují elektrárny s výkonem 3 MW a ty

nejlepší elektrárny dosahují výkonů 7,5 MW. Do budoucna se uvažuje, kdy bude překonána hranice 10 MW. ^[3]

2 VÍTR

Hlavní nepostradatelnou součástí větrného motoru je vítr. Pro výstavbu větrné elektrárny v dané lokalitě je dobré znát celoroční průměr rychlosti a směru větru. Nejdůležitější složkou je rychlost, která určuje možný získaný výkon z větrné elektrárny. Důležitý je i směr, kde ve směru proudění vzduchu nesmí být žádná překážka, která by omezovala jeho rychlost. Tato kapitola popisuje příčiny vzniku větru a faktory ovlivňující jeho směr a rychlost.

2.1 Vznik větru

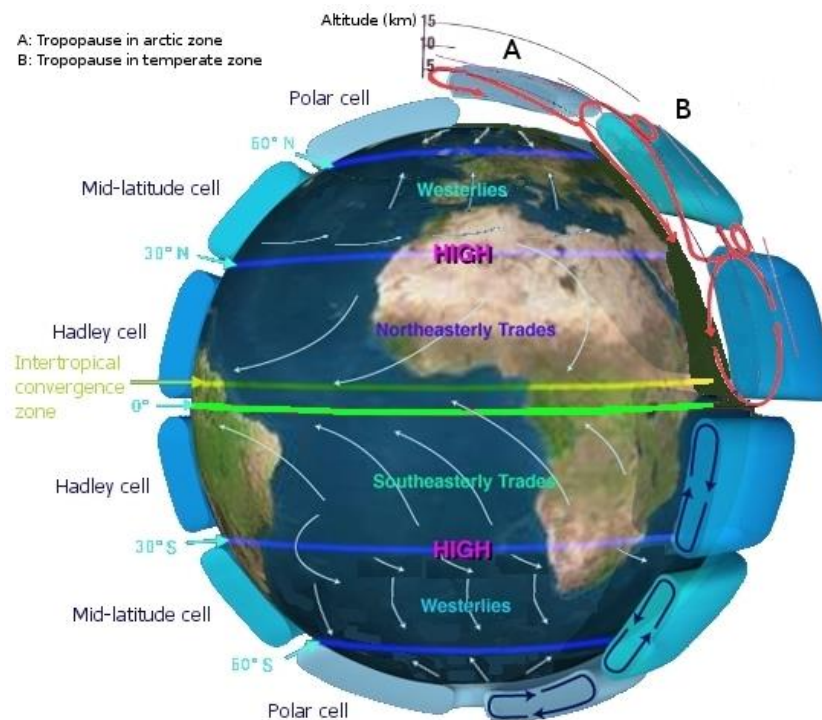
Vítr vzniká jako rozdíl dvou atmosférických tlaků vzduchu. Vznik tlakové výše a níže je ovlivněn ohříváním vzduchu, kde teplota je závislá na zemském reliéfu. Různé povrchy na Zemi, jako jsou například pouště, se ohřívají výrazně rychleji než lesy a oceány. To způsobuje vznik rozdílných tlakových míst v atmosféře a následně vznik větru. ^[4]

2.2 Rychlost větru

Jedním z důležitých parametrů větru je jeho rychlost. Ta se s rostoucím rozdílem mezi vyšším a nižším tlakem vzduchu zvyšuje ^[4]. Další z faktorů ovlivňující rychlost je rotace Země kolem své osy. Její hodnoty se mění zhruba od 460 m/s na rovníku až do 0 m/s na pólech, a to způsobuje změnu rychlosti větru v závislosti na zeměpisné šířce. ^[6]

2.3 Směr větru

Rotace Země a rozdíl atmosférických tlaků neovlivňuje jenom rychlost větru, ale i jeho směr. Ten proudí z tlakové výše do tlakové níže a zároveň dochází zemskou rotací k jeho stáčení. Směr větru také ovlivňuje globální cirkulace atmosféry (obr. 5). Ve zjednodušeném modelu lze Zemi rozdělit do dvou atmosférických pásů vysokého tlaku vzduchu, které se nacházejí na 30 až 40 rovnoběžce severní a jižní šířky a na pás nízkého tlaku vzduchu. Vítr se pohybuje od pásu vysokého tlaku vzduchu směrem k rovníku a na opačnou stranu směrem k pólům. ^[6]



Obrázek 5 – Globální cirkulace atmosféry [8]

Tyto pásma spolu s otáčením zemské osy způsobují stáčení větru, a to na západ nebo na východ. Západní stáčení vzniká tak, že vzduchová vrstva se zpožďuje za obvodovou rychlostí povrchu a tím dochází ke stáčení větru. Podobně vzniká stáčení větru na východ, kde vzduchová vrstva předbíhá povrch s nižší obvodovou rychlostí. Ve vyšších polohách atmosféry dochází k otáčení směru větru, než jaký se nachází při zemském povrchu. Na obou polokoulích vznikají tři samostatné příčně rotující prstence, kde jeden rotuje nad tropickým pásmem, druhý je nad mírným pásmem a třetí se nachází nad polární oblastí. ^[6]

Proudění větru dále ovlivňuje cirkulace vzduchu mezi pevninou a mořem. Během dne dochází k ohřívání pevniny, kde teplý vzduch stoupá vzhůru a přesouvá se nad moře. Na moři se teplejší vzduch ochlazuje a proudí zpět na pevninu. V noci poté dochází k otočení tohoto cyklu, protože pevnina se ochlazuje rychleji než moře. Výsledkem této změny je, že vítr vane opačným směrem než během dne. ^[11]

3 STRUKTURA VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY

Větrnou elektrárnu (obr. 6) lze rozdělit do 3 důležitých částí. První důležitou částí je její betonový základ a stožár, který tvoří základnu. Na stožár je nasazena gondola, která slouží jako řídicí centrum elektrárny. Poslední větší částí je rotor, který se používá pro získání energie z proudícího větru. Tato kapitola popisuje jednotlivé části elektrárny z konstrukčního i funkčního hlediska.



Obrázek 6 – Větrná elektrárna [20]

3.1 Betonový základ

Betonový základ je jedna z nejdůležitějších částí. Před její stavbou je důležité zjistit, jak hodně geologicky je místo stabilní, aby později nedošlo k vychýlení. ^[12]

Jako první musí být vytvořena základová deska. Ta zajistí vytvoření rovné a pevné plochy. Na její povrch je umístěn ocelový fundament. V něm jsou navrtané díry pro armování a pro vedení kabelů. ^[12]

Následně dojde k zalití základní desky, ocelových výztuží a celého fundamentu betonem. Zhruba po 5 týdnech, kdy beton je dostatečně tuhý, dojde k natření celého betonového základu asfaltovým penetračním nátěrem. Mezi fundamentem a betonovým základem se

používá „plastický“ nátěr. Ten je schopný kompenzovat teplotní roztažnost a zabránit pronikání vlhkosti. Na konec je zavedena kabeláž a vše je zasypáno zeminou. ^[12]

3.2 Stožár

Stožár je část, která určuje, jak vysoko bude umístěna strojovna s rotorem. Výška se pohybuje zhruba od 80 do 110 m a může dosahovat i vyšších hodnot. Jaká bude výška stožáru, nezávisí pouze na výkonu, který s výškou roste, ale i na ekonomickém faktoru. Ten taky určuje, jaký druh stožárů bude použit pro výstavbu. ^[12]

3.2.1 Ocelový stožár

Ocelový tubus je nejčastěji používanou konstrukcí stožáru v Evropě. Používá se většinou pro výšky 40 až 105 m. ^[12]

Transport celé konstrukce by byl nemožný, a proto je celý tubus rozdělen do segmentu, které jsou 20 m dlouhé. Segmenty jsou skládány z menších částí, které se nazývají prstence. Ty se vyrábí z ocelového plechu, ohýbáním do průměrů 1,5 až 4,5 m. Rozměry jednotlivých prstenců se mění v závislosti na jejich pozici v tubusu, kde největší průměr prstenců lze nalézt při základu tubusu a nejmenší na vrcholu. ^[12]

Na závěr se do segmentu navaří potřebné vybavení jako jsou žebříky, kabelové rošty a výtahy. Přichycení vnitřního vybavení je možné provést pomocí magnetů, které jsou vhodnější jak z konstrukčního, tak i technologického hlediska. ^[12]

3.2.2 Příhradový stožár

Příhradový stožár je konstrukcí, která se nejčastěji používá pro výšky větší než 100 m. Stavba konstrukce probíhá přímo na místě, kde má být větrná elektrárna postavena. Konstrukce se skládá z jednotlivých nosníků a vzpěr, které mají malou hmotnost a příznivé rozměry. Transport materiálu na stavbu je tak jednodušší, jelikož nemusí být přepravován jako nadrozměrný náklad. Mezi další výhody patří, že je zapotřebí méně oceli. Nevýhodou, o které se vedou spory je jeho průhlednost, kdy stavbu je obtížné zpozorovat z větší vzdálenosti. ^[12]

3.2.3 Betonový stožár

Betonový stožár je novější technologie ve výstavbách stožárových konstrukcí. Ekonomický je konstrukce výhodná pro elektrárny s výkonem vyšším jak 1,35 MW a výškou vyšší než 80 m. ^[12]

Konstrukce je tvořena kruhovými prstenci, které je možné rozdělit na více menších dílů. Tyto díly jsou vyráběny jako betonové skořepiny, které obsahují na bocích ocelové výztuže. Ocelové výztuže slouží k vzájemnému propojení jednotlivých dílů do prstence. Z jednotlivých prstenců se pak skládají jednotlivé sekce, které jsou navzájem propojeny předepínacími kabely. Ze sekcí se pak tvoří celý tubus, který je na vrcholu zakončen ocelovou výztuží. ^[12]

Tato konstrukce má několik výhod, jako je dlouhá životnost, menší nároky na opravu a lepší schopnost absorbovat vibrace a tím snižovat únavu rotoru. Další výhodou jsou dobré transportní podmínky, kde kromě dělení prstenců na menší a lépe přepravitelné části je možné nechat jednotlivé díly vyrábět v místní betonárce a tím snížit náklady na vzdálenou dopravu. ^[12]

3.3 Gondola

Gondola je nejdůležitější částí větrné elektrárny. Nachází se zde zařízení, jak pro obsluhu gondoly, tak i přístroje pro převod kinetické energie větru na energii elektrickou. Rychlost otáčení rotoru je do gondoly přenášena pomocí hřídele, která je napojena na převodovku. ^[12]

3.3.1 Převodovka

Převodovka je jedna z nejvíce namáhaných součástí, která se musí vypořádat při kolísání větru s různými záběry rotoru. Tyto hodnoty občas sahají až za hranici standardního provozního zatížení, a proto převodovka je navrhována s vysokým koeficientem bezpečnosti. Pro dosažení tichého chodu převodovky bývají kola kalena, cementována a nitridována. Na konci tohoto procesu je u zubů jejich povrch broušen. ^[12]

Převodový poměr převodovky je závislý na počtu otáček rotoru a na druhu generátoru, který gondola obsahuje. Převodové poměry jako jsou 1:12 a 1:25 se vyskytují u generátorů do 50 kW. U takto výkonných elektráren se otáčky rotoru pohybují v rozmezí od 40 až do 80 ot/min. Výsledný počet otáček na generátoru se tak pohybuje od 480 až do 2000 ot/min. Větrné elektrárny s výkonem nad 500 kW používají převodové poměry 1:70 až 1:200. Ty společně s otáčkami rotorů, které se pohybují od 5 až do 20 ot/min dávají pro generátory rozmezí od 350 až 4000 ot/min. ^[12]

3.3.2 Mezi převodovkou a generátorem

Z převodovky do generátoru vede jedna nebo dvě sousední hřídele. Tyto hřídele jsou pak propojeny přes spojku, která slouží ke kompenzaci rázů vznikajících náhlými porывy větru.

Na hřídeli mezi převodovkou a generátorem se nachází třecí brzda. Ta v krizových situacích zastavuje rotor. ^[12]

3.3.3 Generátor

Je to zařízení, které se používá pro výrobu elektrické energie. Větrné elektrárny používají dva druhy generátorů. Jedním druhem generátoru je asynchronní generátor. Ten se používá pro elektrárny, které obsahují převodovku. U elektráren, které převodovku neobsahují se používá synchronní generátor. Z generátoru pak odchází napětí 400 až 690 V, které je potřeba následně transformovat pomocí transformátoru pro použití v elektrické síti. ^[28]

3.3.4 Otáčení gondoly

Směr větru se mění, a tak je potřeba, aby rotor elektrárny byl kolmo na směr proudícího větru. To je zajištěno pomocí elektropohonů, které v závislosti na směru větru otáčejí gondolu doleva nebo doprava. Jejich počet se pohybuje v rozmezí 2, 4 až 6 elektropohonů v závislosti na velikosti elektrárny. V případech kdy se neustále mění směr větru se používají čelistové brzdy. Jejich úkolem je zabránit natáčení gondoly a zachytit zatížení působící na elektropohony. ^[12]

3.3.5 Hydraulický systém

V gondole se nachází hydraulický systém. Ten se hodně používá pro brždění otočných částí jako jsou hřídele rotoru, generátor nebo otáčení celé gondoly. Hydraulickým systémem může být ovládáno natáčení rotorových listů, kde pro potřeby citlivého a rychlého otáčení je vytvořen speciální samostatný okruh. ^[12]

3.4 Rotor

Rotor společně s gondolou tvoří nejdůležitější část větrné elektrárny. Používá se k roztáčení generátoru v gondole a tím dochází k výrobě elektrické energie. Rotor se skládá ze středové části a z jednotlivých listů, které jsou ke středu připevněny pomocí pevnostních šroubů. Rotory se od sebe mohou odlišovat odporovým principem, osou otáčení nebo počtem listů. Nejběžněji se však vyskytují rotory s vodorovnou osou otáčení a se 3 rotorovými listy. ^[12]

3.4.1 Rotorový list

Hlavní funkcí listu je roztočit rotor elektrárny. Otáčení vzniká při proudění vzduchu, které působí na list. Na něm vniká vztlaková síla, která svým působením roztočí rotor. Rotor také může být při vyšších rychlostech pomocí listů řízeně bržděn. Efektu brždění pomocí listů lze dosáhnout natáčením rotorových lopatek. ^[12]

Rotorový list je tvořen ze skořepiny a nosníku, který se nachází uprostřed listu. Povrch listu je laminován z více vrstev skelné tkaniny, která se používá i na tvorbu nosníku. Ten může být také vyráběn z kevlaru nebo uhlíku. ^[12]

Pro lepší převoz větších listů se listy začaly dělit na poloviny. Kořenová polovina je dále dělena na tělo a spoiler, které se vyrábí z plechu. Z laminátu je tvořena koncová polovina. Celý list rotoru vzniká až na místě stavby, kde jsou jeho části sešroubovány do jednoho celku. ^[12]

4 ROZDĚLENÍ VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN

Pro získávání eklektické energie z proudícího větru se staví různé typy elektráren. Ty se od sebe liší velikostí a různými zařízeními a mechanismy, kterými se snaží dosáhnout co největších výkonů. Díky tomu je možné elektrárny dělit do různých skupin podle vlastností a použitých technologií. Tato kapitola popisuje různá dělení větrných elektráren podle jejich parametrů a technologií.

4.1 Rozdělení podle velikosti

Podle velikosti rotoru a výkonu generátoru lze větrné elektrárny rozdělit do skupin na malé, střední a velké. Ty se pak od sebe navzájem liší účelem použití.

4.1.1 Malé elektrárny

Malé elektrárny mají výkon maximálně do 60 kW a průměr rotoru je menší než 16 m. Využití nachází na místech, kde je špatný přístup k elektrické energii. Jejich výstavba s cílem prodávat energii energetickým společnostem není ekonomicky výhodná. Nejvíce nabízenými jsou elektrárny s výkonem do 10 kW, které se dále dělí do dvou skupin. ^[13]

První skupinou jsou elektrárny s průměrem rotoru od 0,3 do 5 m a maximálním výkonem 2,5 kW. Tyto elektrárny produkují stejnosměrné napětí mezi 12 až 24 V. Používají se pro dobíjení baterií, napájení komunikačních systémů, ledniček a dalších elektrospotřebičů. ^[13]

Druhou skupinou jsou elektrárny od 2,5 kW do 10 kW a s průměrem rotoru od 3 do 8 m. Používají se pro vytápění domů, ohřev vody nebo pro pohon motorů. ^[13]

4.1.2 Střední elektrárny

Střední elektrárny mají výkon od 60 kW do 750 kW a průměr rotoru se pohybuje od 16 do 45 m. V této skupině se velice málo nabízejí elektrárny s výkonem od 300 do 750 kW, a ještě méně tomu je u elektráren od 60 do 300 kW. Tyto elektrárny jsou připojeny do rozvodné sítě a slouží k napájení vesnic a měst. ^[13]

4.1.3 Velké elektrárny

Výkony velkých větrných elektráren se pohybují od 750 až do 8 000 kW s průměrem rotoru od 45 do 180 m. Elektrárny s výkonem od 1500 do 3 000 kW jsou nejvíce nabízeným a stavěným druhem elektráren této skupiny. Tato skupina elektráren se používá pro připojení do rozvodné sítě tak, jako je tomu u středních elektráren. Největší elektrárnou na světě je AD8-180, která byla postavena v Dánsku ^[15]. Její rotor má průměr 180 m a výkon dosahuje 8 000 kW ^[15] ^[13]

4.2 Rozdělení podle osy rotoru

Větrné elektrárny používají různé typy motorů, pomocí kterých dochází k přeměně kinetické energie větru na mechanickou. Tyto motory lze dělit podle polohy osy rotoru na horizontální a vertikální. ^[14]

4.2.1 Horizontální otáčení

Motory s horizontální osou otáčení jsou nejvíce používanými motory. Důvodem je jejich vyšší účinnost, než je tomu u vertikálních motorů. Směr větru pro horizontální otáčení rotoru musí být kolmý na rovinu otáčející se hřídele. K natočení proti větru může dojít dvojitým způsobem. První způsob je samovolné natočení, kdy po směru větru se plocha rotoru musí nacházet za osou otáčení gondoly. Druhým způsobem je kontrolované natáčení, které používá pro natočení rotoru proti větru směrové kormidlo nebo senzory s elektromotory. ^[14]

4.2.2 Vertikální otáčení

Vertikální motory jsou nejstarším druhem větrných motorů na světě. Jejich výhodou je, že se nemusí natáčet osa rotoru proti větru. Mezi další výhodou patří umístění generátoru na zem, a ne na vrchol stožáru do gondoly, jako je tomu u horizontálních motorů. Tím jsou vertikální elektrárny lehčí a generátory s příslušenstvím se dají lépe udržovat. Nevýhodou je přenos mechanické energie na větší vzdálenost a menší účinnost těchto motorů. ^[14]

4.3 Rozdělení podle aerodynamického principu

Dalším možným způsobem, jak dělit větrné motory je podle aerodynamického principu. Je to nevýznamnější dělení a určuje jakým způsobem dochází k působení větru na lopatku rotoru. Větrné motory tak lze dělit do skupin podle odporového nebo vztlakového principu. ^[6]

4.3.1 Odporový princip

Odporový princip roztáčení motoru je nejstarším používaným principem. Používá se pro horizontální a vertikální osu otáčení hřídele. K roztočení rotoru dochází působením větru na plochu listu. Ten klade aerodynamický odpor a tím list rotoru je nucen se pohybovat ve směru větru. Problém by mohl nastat při návratu lopatky na původní místo, kdy plochá listu se pohybuje proti větru. Tento problém lze vyřešit několika způsoby. ^[6]

Prvním řešením je vytvarovat lopatku do tvaru, který mění odpor při různém směru větru. Příkladem může být anemometr. Je to přístroj, který se používá pro měření rychlosti větru. Jeho lopatka má tvar polokoule, kde její odpor je při pohybu proti směru větru menší než po větru. ^[6]

Větrným motorem, který používá tvarované lopatky je Savoniův motor (obr. 7). Ten používá půlválcové lopatky, které jsou navzájem předsazené. Existují i motory, které mají v průřezu spojené lopatky do tvaru S. [6]



Obrázek 7 – Savoniův motor [16]

Další možný způsob řešení pohybu lopatky proti směru větru je použití krycího štítu. Ten se používá ke krytí lopatek pohybujících se proti větru. Se změnou směru větru musí dojít k natočení štítu. Tuto konstrukci lze použít i u horizontálního otáčení, kde se štít musí otáčet s celým motorem. [6]

Posledním možným způsobem, jak vrátit lopatky do původního postavení, je změnou velikosti plochy. Toho se využívalo u starých čínských motorů, kde se lopatky natáčely samočinně nebo pomocí složitého mechanismu. [6]

4.3.2 Vztlkový princip

Na vztlkovém principu pracují rotory s horizontální i vertikální osou otáčení. Pro roztočení rotoru se používá vrtulový list, na který při proudění větru působí vztlková síla. Ta nutí list k pohybu okolo hřídele. [6]

Vrtulové motory jsou nejvíce používanými motory pro větrné elektrárny. Osa otáčení rotoru je horizontální. Pro roztočení rotoru se používá šroubovitě ohnutý list. Nejčastěji se používají dvou nebo třílisté rotory (obr. 8). Existují i jednolísté vrtule s protizávažím nebo čtyřlísté vrtule, ale tyto druhy rotorů nejsou moc používané. Některé vrtulové motory umožňují natáčení lopatek, jež se používá pro brždění nebo regulaci otáček rotoru. [6]



Obrázek 8 – Třilistý rotor [21]

Pro získání energie z větru se používají větrná kola. Jejich listy rotoru jsou vyráběny z jednoduchého plechu nebo dřeva potaženého plachtou. Příkladem mohou být staré holandské větrné mlýny (obr. 9) nebo americké mnoha lopatkové motory (obr. 10).^[6]



Obrázek 9 – Čtyřlístý větrný motor [19]



Obrázek 10 – Mnoha lopatkový motor [22]

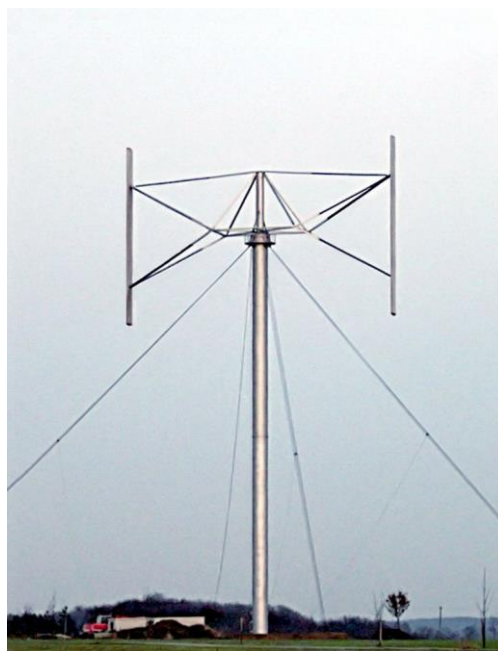
Větrný motor Darrieus (obr. 11) je typ rotoru, který používá vertikální osu otáčení. Jeho rotor může mít tvar připomínající řecké písmeno Φ , trojúhelník nebo písmeno H. Počet listů na rotor se pohybuje od dvou do čtyř listů, které se tvarují tak, aby na ně působila co nejmenší

odstředivá síla. Počet otáček rotoru může být ovlivňován u některých Darrieových motorů natáčením lopatek. Většina těchto motorů není schopna samostatného rozběhu, a proto se musí roztočit pomocí externího generátoru nebo umístěním Savoniova rotoru na společnou osu otáčení. ^[6]



Obrázek 11 – Darrieův motor [17]

Mezi Darrieovi motory, které jsou schopné samostatného rozběhu, patří rotor ve tvaru písmene H tzv. giromill (obr. 12). Tento rotor má složitý mechanismus otáčení lopatek a menší životnost. ^[6]



Obrázek 12 – Giromill [18]

4.4 Rozdělení podle regulace výkonu

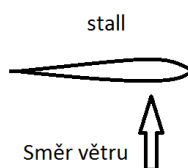
Větrné elektrárny pracují v určitém rozmezí rychlosti větru, který se zhruba pohybuje od 3 do 25 m/s. Od počáteční rychlosti větru výkon větrné elektrárny roste až do doby, než elektrárna dosáhne nejvyššího trvalého výkonu, pro který byla postavena. V tomto bodě je výkon elektrárny nazýván jako jmenovitý výkon a rychlost ve které je tohoto výkonu dosaženo se nazývá jako jmenovitá rychlost. Hodnota jmenovité rychlosti se pohybuje zhruba od 13 až do 16 m/s. ^[14]

V případě, že rychlost větru je vyšší, než je jmenovitá rychlost dochází k regulaci výkonu elektrárny. Důvodem regulace je ochrana generátoru proti překročení maximálních bezpečných otáček a využití větrného potenciálu i při vyšších rychlostech větru. Výkon větrných elektráren je možné regulovat pomocí tří způsobů regulace. ^[14]

4.4.1 Regulace stall

Regulace stall (obr. 13) používá napevno přidělané elastické vrtule. Ty při vyšších rychlostech větru mění na konci lopatek tvar a tím dochází k odtržení proudů na listech rotoru. Výsledkem je snížení vztlaku na lopatkách a následný pokles počtu otáček rotoru a výkonu větrné elektrárny. ^[14]

Výhodou této regulace je její jednoduchá konstrukce a snadná údržba. Mezi nevýhody patří, že rotory s tímto způsobem regulace neudrží svůj výkon a dochází k jeho poklesu. Další nevýhodou je, že pro rozběh větrné elektrárny je potřeba použít elektromotor. Stall regulace se používá pro větrné elektrárny s výkonem do 1000 kW. ^[14]



Obrázek 13 – Regulace stall [zdroj: autor]

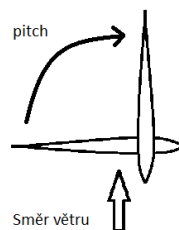
4.4.2 Regulace pitch

Regulace pitch je aktivním systémem regulace výkonu, kde vrtule nejsou k rotoru přidělané napevno. Větrné elektrárny s regulací pitch kontrolují výkon generátoru, kde při překročení jmenovitého výkonu dochází natočením lopatek k poklesu vztlaku na listu, a to vede ke snížení výkonu na turbíně. Snížení nebo zvýšení výkonu turbíny se provádí natočením lopatek o určitý úhel, kde pro snížení výkonu se lopatky natáčí po směru větru (obr. 14) a pro

zvýšení se lopatky natáčí naopak. Výsledkem tohoto natáčení je, že při vyšších rychlostech větru, než je jmenovitá rychlost se výkon elektrárny ustálí na maximální hodnotě jmenovitého výkonu. ^[14]

Tento systém regulace má několik výhod. Jednou z výhod je, že systém kontroluje výkon v celém rozsahu rychlostí. Regulace pitch je ve vyšších rychlostech větru schopná udržet konstantní výkon. Pro roztočení rotoru není potřeba použít elektromotor, ale stačí natočit listy rotoru. ^[14]

Mezi nevýhody se pak řadí složitost celého mechanismu a s tím i související údržba. Nevýhodou také je pomalá reakce ve větších výkyvech větru, kde dochází k přetěžování generátoru. ^[14]



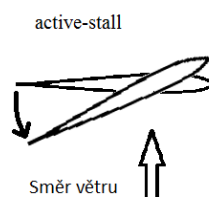
Obrázek 14 – Regulace pitch [zdroj: autor]

4.4.3 Regulace active-stall

Systém regulace active-stall je aktivní regulací výkonu. Vrtule rotoru jsou pohyblivé a umožňují regulovat výkon větrné elektrárny stejně, jako je tomu u systému pitch. ^[14]

Systém active-stall pracuje stejně jako systém pitch. Rozdíl mezi těmito dvěma systémy je v natáčení lopatek pro regulaci výkonu. Systém pitch pro snížení výkonu natáčí lopatky po směru větru, zatímco systém active-stall natáčí lopatky proti směru větru (obr. 15). ^[14]

Výhodou natáčení lopatek u systému active-stall je rychlejší reakce při náhlých nárůstech rychlosti větru a tím také lepší možnost předcházet přetěžování generátoru. Nevýhodou tohoto systému je vyšší zatížení listů rotoru v případě extrémních rychlostí větru. ^[14]



Obrázek 15 – Regulace active-stall [zdroj: autor]

5 VÝPOČET VÝKONU

Nejdůležitějším parametrem větrné elektrárny je její výkon. Pro jeho výpočet je nutné znát charakteristické veličiny větrné elektrárny a vzduchu. V této kapitole budou tyto veličiny popsány spolu s rovnicí pro výpočet výkonu.

5.1 Rovnice výkonu

Pro odvození rovnice výkonu větrné elektrárny se použije vzorec kinetické energie^[14]:

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2. \quad (5.1)$$

Vzorec 5.1 určuje množství energie pohybující se hmoty vzduchu, kde hmotnost vzduchu se spočítá jako^[14]:

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot S \cdot s. \quad (5.2)$$

Po nahrazení parametru hmotnosti rovnicí 5.2 se rovnice 5.1 změní do této podoby:

$$E_k = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot s \cdot v^2, \quad (5.3)$$

kde

ρ – je hustota vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],

S – je plocha, kterou se objem vzduch pohybuje [m^2],

s – je dráha, kterou proudící vzduch urazí [m],

v – je rychlost vzduchu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$].

Výkon větru se spočítá pomocí vzorce pro výpočet výkonu:

$$P_v = \frac{W}{t}. \quad (5.4)$$

Práce W se nahradí vzorcem 5.3 a k času t se přidá plocha S , jelikož výpočet E_k probíhá na určité ploše. Výsledkem je rovnice:

$$P_v = \frac{\frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot s \cdot v^2}{S \cdot t}, \quad (5.5)$$

kde dráha s a čas t se nahradí vzorcem průměrné rychlosti^[14]:

$$v = \frac{s}{t}. \quad (5.6)$$

Po použití rovnice 5.6 v rovnici 5.5 vznikne rovnice pro výpočet výkonu větru ^[14]:

$$P_v = \frac{1}{2} \rho \cdot v^3. \quad (5.7)$$

Rovnice pro výpočet výkonu větrné elektrárny vznikne ze vzorce 5.7. Tato rovnice se vynásobí plochou rotoru, přes kterou vítr prochází a výkonnostním součinitelem, který určuje účinnost větrné elektrárny. Výsledná rovnice vypadá takto ^[12]:

$$P_{vte} = \frac{1}{2} \rho \cdot v^3 \cdot S \cdot C_p, \quad (5.8)$$

kde

ρ – je hustota vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],

v – je rychlost vzduchu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

S – je plocha rotoru, kterou vítr prochází [m^2],

C_p – je součinitel výkonnosti [-].

5.2 Veličiny výkonnostní rovnice

V této podkapitole budou popsány jednotlivé veličiny pro výpočet výkonu větrné elektrárny, jejich použití a rozsahy hodnot.

5.2.1 Součinitel výkonnosti

Součinitel výkonnosti je veličina se značkou C_p , která popisuje účinnost větrné elektrárny. Tato účinnost se mění v závislosti na rychlosti větru. Hodnota účinnosti je definovaná jako poměr mezi výkonem větru a větrné elektrárny. Tento vztah popisuje následující vzorec: ^[23]

$$C_p = \frac{P_{vte}}{P_v}, \quad (5.9)$$

kde

P_{vte} – je aktuální výkon větrné elektrárny [W],

P_v – je aktuální výkon větru [W].

V roce 1919 Albert Betz spočítal, že větrné stroje mohou dosahovat maximálně účinnosti 59 %. Tato hodnota je známá jako Betzův koeficient. U větrných elektráren dochází k určitým ztrátám, které vznikají na listech rotoru, převodovce, na generátoru a měničích. Výsledná účinnost elektrárny se pak při jmenovitém výkonu pohybuje mezi 35 až 40 %. ^[24]

5.2.2 Obsah rotoru

Obsah je veličina, která vyjadřuje velikost plochy. V rovnici pro výpočet výkonu větrné elektrárny se používá pro spočítání plochy rotoru, přes kterou vítr prochází. Ta se spočítá jako:

$$S = \pi \cdot r^2, \quad (6.0)$$

kde

r – je velikost lopatky [m].

Délka lopatky pro větrné elektrárny se pohybuje zhruba od 0,15 až do 90 m, kde s rostoucí velikostí lopatky roste výkon větrné elektrárny.

5.2.3 Rychlost větru

Rychlost je veličina vyjadřující, za jakou dobu těleso urazí určitou vzdálenost. V rovnici pro výpočet výkonu je to nejdůležitější veličina udávající rychlost větru, kde výkon elektrárny roste s její třetí mocninou.

Každá větrná elektrárna má svůj určitý rozsah rychlosti větru, ve kterém produkuje energii. Minimální hodnota se pohybuje od 3 až do 5,5 m/s, kdy při překonání této hranice je síla větru dostatečná k roztočení rotoru. Maximální hodnota se pohybuje okolo 25 m/s, kde při překročení této rychlosti dochází k odstavení elektrárny, aby nedošlo k jejímu poškození. ^[14]

5.2.4 Hustota vzduchu

Hustota je veličina, která je vyjádřena jako poměr mezi hmotností a objemem. Pro rovnici počítající výkon větrné elektrárny se používá hustota vzduchu. Ta ovlivňuje výkon větrné elektrárny tak, že se stoupající hustotou vzrůstá výkon. Hodnota se mění v závislosti na meteorologických podmínkách. Rozsah hodnoty hustoty vzduchu se pohybuje v závislosti na teplotě při normálním tlaku (1013,25 hPa) od 1,514 kg/m³ při – 40 °C do 1,060 kg/m³ při 60 °C ^[25].

6 VÝVOJ APLIKACE

V teoretické části bakalářské práce byly vysvětleny základní principy a fungování jak přírodních, tak i technických vlastností, které ovlivňují účinnost a tím i výkon samotných větrných elektráren. Tyto poznatky budou použity pro tuto kapitolu, která se zabývá vytvořením aplikace pro zpracování meteorologických dat v závislosti na parametrech větrné elektrárny.

6.1 Požadavky na aplikaci

Cílem je vytvořit program, který zpracovává a zobrazuje data na základě poskytnutých meteorologických údajů a na parametrech zvolené větrné elektrárny.

Požadavky na aplikaci:

- přenositelnost kódu,
- ošetření špatně zadaných vstupních dat,
- vykreslení grafu výkonnostní křivky,
- načtení dat ze specifického souboru,
- načtení dat výběrem potřebných sloupců,
- uložení zpracovaných dat do nového souboru,
- uložení zpracovaných dat do původního souboru,
- vykreslení grafu závislosti datumu na rychlosti,
- vykreslení grafu závislosti datumu na výkonu elektrárny.

Do aplikace se ještě přidaly funkce jako:

- zobrazení účinnostní křivky,
- možnost výběru ze dvou přednastavených modelů větrných elektráren.

6.2 Volba programovacího jazyka

Pro naprogramování aplikace byl zvolen vyšší programovací jazyk Java. Důvodem výběru tohoto programovacího jazyka je jeho snadná přenositelnost mezi různými platformami. Mezi další jeho výhody patří jeho jednoduchá syntaxe, a to že zde nejsou ukazatelé jako například v C++.

Pro správu paměti se používá garbage collector. Je to nástroj Javy, který se používá pro čištění paměti od nepoužívaných objektů. Výhodou tohoto nástroje je, že programátor se nemusí starat o správu paměti a tím se tak zjednodušuje vývoj aplikace a snižuje se možnost

vytvoření dalších chyb. Nevýhodou pak může být, že garbage collector má určité paměťové nároky a někdy může docházet k pomalejšímu běhu programu.

6.3 Volba grafického prostředí

JavaFX je grafické uživatelské prostředí používající se pro vývoj grafických aplikací v jazyce Java. Vývoj aplikací v JavaFX je snadný a rychlý. Navíc také nabízí dobrou podporu pro práci s multimediálními prvky jako je video, audio a animace.

Vytvořenou aplikaci je možné spouštět na desktopech, internetových prohlížečích a mobilech. Aplikaci je možné rozdělit do dvou samostatných částí, které se dělí na logickou a designovou část. Tím je zlepšena přehlednost a čitelnost kódu. JavaFX nahrazuje zastaralý Swing.

Výhody použití JavaFX na rozdíl od Swing jsou:

- rozdělený kód do logické a grafické části,
- podpora dotykových zařízení,
- umí pracovat s animacemi,
- úprava vzhledu pomocí CSS,
- obsahuje komponenty pro zobrazení dat jako jsou např. grafy
- poskytuje synchronizaci dat s uživatelským prostředím tzv. data binding.

Vytvořena aplikace se dělí do tří základních souborů na:

- FXML,
- controller,
- main class.

6.3.1 FXML

V souboru FXML se nachází kód vzhledu aplikace. Kód je psán v jazyce FXML, který se používá pro vytváření formulářů. Je odvozen od značkovacího jazyka XML. V souboru se pouze nachází informace o nastavení jednotlivých komponent. Logická vrstva pro implementaci funkcí reagujících na události je umístěna v samostatném souboru.

Kód vzhledu se může psát a upravovat v jakémkoliv textovém editoru. Nejlepší možností pro vytváření je použít Scene Builder. Vývoj vzhledu je v něm jednodušší a místo psaní kódu stačí si vybrat komponentu a přetáhnout ji na formulář. Takto se lze vyhnout případné chybě při psaní kódu.

6.3.2 Controller

Tento soubor se používá k obsluze vytvořeného formuláře. Obsahuje zdrojový kód, který je napsaný v jazyce Java.

Pro získávání a nastavování vlastností komponent je nutné nejprve vytvořit v controlleru proměnné pro komponenty. Ty musí ještě před svým názvem obsahovat anotaci FXML. V souboru FXML pak už jen stačí doplnit k `fx:id` atributu název proměnné stejného datového typu. Tím dojde k propojení komponenty s názvem proměnné v controlleru. Podobným způsobem se přiřazují funkce událostem. Funkce s anotací FXML se vloží do parametru události komponenty.

Nejjednodušší způsob, jak nastavit toto spojení je pomocí Scene Builderu, který napovídá názvy vytvořených komponent a funkcí. Pokud dojde ke změně nebo smazání názvu funkce či proměnné je potřeba tuto změnu provést i v FXML souboru jinak dojde k chybě a program se nespustí.

6.3.3 Main class

Je to důležitá třída pro spuštění aplikace. Název této třídy může být různý v závislosti na uživateli. Třída obsahuje metodu `main`, která tvoří vstupní bod programu. Bez této metody by nebylo možné program spustit. Dále se tu nachází metoda `start`. Ta se používá k načtení FXML souboru a následnému vytvoření a zobrazení formuláře.

6.4 Vývojová prostředí

Pro snadné vytváření programů se používají vývojová prostředí. Ta pomáhají programátorovi při psaní kódu napovídáním, kontrolováním syntaxe, spouštěním programu a dalšími výhodami. Při vývoji aplikace se použilo vývojové prostředí Netbeans a nástroj Scene Builder.

Netbeans je vývojové prostředí vyvíjené firmou Oracle. Prostředí je zaměřeno na programování v jazyce Java, ale přidáním dalších modulů je možné vytvářet programy i v jiných jazycích.

Scene Builder je nástrojem určeným pouze pro vývoj grafického rozhraní. Pro naprogramování logiky programu je nutné nástroj propojit s vývojovým prostředím.

6.5 Řešení důležitých otázek a problémů

Na začátku vývoje aplikace je potřeba vyřešit několik důležitých otázek pro správné zjištění toho, jak bude aplikace fungovat. Bohužel během vývoje se objeví i pár problémů, které je potřeba vyřešit. Tato podkapitola popisuje důležité otázky a problémy aplikace, které je nutné vyřešit pro správný běh aplikace.

6.5.1 Elektrárna

Nejdůležitější otázkou je, pro jakou elektrárnu bude program navržen. Po celé České republice se nachází různé druhy elektráren od různých výrobců. Tyto elektrárny mají ve většině případů vodorovnou osu otáčení rotoru. Rozdíl mezi elektrárnami pak spočívá v jejich parametrech, kde nejdůležitější je účinnost, maximální rychlost větru a maximální výkon, který mohou nabídnout. Jelikož není dáno, pro jaký typ větrné elektrárny se bude aplikace používat, je aplikace vytvořena univerzálně pro větrné elektrárny s vodorovnou osou otáčení. Tento způsob vytvoření zajišťuje, že aplikace může být použita pro jakoukoliv elektrárnu.

6.5.2 Provázanost

Před vytvořením aplikace je nutné si uvědomit jakým způsobem budou jednotlivé části provázané a jak budou fungovat. Některé části aplikace jsou mezi sebou navzájem provázané jiné části jsou pouze závislé na jiných částech programu. Podle této provázanosti je nutné program postupně vytvářet. Není možné vytvořit tabulku pro výpočet výkonu větrné elektrárny, pokud není vytvořena tabulka s její účinností, která je potřebná pro výpočet výkonu.

6.5.3 Tabulka účinnosti

První částí, kterou je potřeba vytvořit, je seznam, který obsahuje hodnoty účinnosti pro různé rychlosti větru. Účinnost, jak je popsáno v kapitole 5.2.1 je závislá na rychlosti větru a je nutné znát její hodnoty pro výpočet výkonu. Proto je potřeba vytvořit tabulku pro uložení těchto dat. Tato data se dají získat z dokumentace jednotlivých elektráren, které se nacházejí na stránkách jednotlivých výrobců.

Takto se vytvoří seznam, který obsahuje v levém sloupci celočíselnou hodnotu rychlosti větru a v pravém sloupci je k rychlosti přiřazena hodnota účinnosti. V této situaci nastane problém ve chvíli, kdy bude potřeba zjistit účinnost pro neceločíselnou hodnotu rychlosti větru. Tento problém je vyřešen použitím rovnice přímky, která mezi dvěma body vypočítá přibližnou hodnotu účinnosti. Pro získání přesné hodnoty by bylo lepší získat více dat o účinnosti větrné elektrárny. Bohužel tolik dat, ale dokumentace neobsahují.

6.5.4 Graf výkonnosti

Pro vykreslení grafu výkonnosti je potřeba znát data účinnosti pro jednotlivé rychlosti větru. Ty se získají z již vytvořené tabulky účinnosti.

Dále je potřeba znát další parametry jako jsou hustota vzduchu, průměr rotoru, minimální rychlost větru pro start generování elektrické energie a maximální výkon elektrárny a maximální rychlost vzduchu. Tyto parametry mají své reálné rozsahy hodnot, které je možné získat. Aby graf výkonnosti větrné elektrárny se správně vykresloval je nutné zajistit, že rozsah těchto parametrů bude mít reálné hodnoty. Tento problém je řešen přes návrhové vzory konkrétně přes posluchače, který kontroluje rozsah hodnot vždy při změně hodnoty.

Po získání všech potřebných parametrů se může graf vykreslit. Ten se vykresluje tak, že od nulové rychlosti větru až po maximální rychlost větru elektrárny se pro jednotlivé rychlosti vypočítá výkon. Tímto způsobem se vytváří výkonnostní křivka. Problém nastane ve chvíli, kdy se zvětší hodnota parametru, jako je například hustota vzduchu nebo velikost vrtule. To vede ke zvýšení výkonu při nižších rychlostech větru. Následkem této situace je, že v grafu vznikne ostrý přechod do linie maximálního výkonu elektrárny. Tento problém lze vyřešit změnou hodnot účinností v tabulce, kde je nutné tyto nové hodnoty při těchto změnách dohled nebo dopočítat.

Dalším problémem je, že výkon elektrárny nedává za jmenovitou rychlostí větru přesnou přímku. Hodnota výkonu se pohybuje v určitém rozmezí kolem přímky. Tento problém je vyřešen pomocí podmínek v algoritmu pro vykreslení, které zajistí, že po dosažení jmenovité rychlosti se vykreslí do grafu výkon jako přímka.

6.5.5 Načítání ze souboru

Do aplikace se načítají dva druhy souborů, kde oba soubory musí obsahovat rychlost větru a informace o tom, kdy daná rychlost byla naměřena. Oba druhy souboru mají odlišný obsah, a proto je třeba najít elegantní řešení pro jejich načtení.

Standartní soubor obsahuje různé druhy sloupců, kde mezi nejdůležitější sloupce patří rychlost větru, datum uložení záznamu, den v roce, a čas měření. Aby bylo možné tento soubor načíst, musí se z hodnot sloupců, které program potřebuje, odstranit nadbytečné znaky a čísla. Po očištění hodnot od zbytečných znaků je potřeba získat datum měření, které se vytvoří z hodnot jednotlivých sloupců. Před načtením souboru do programu je nutné převést rychlost větru z mph na m/s. Takto upravený soubor se může načíst do programu.

Nestandardní soubor musí obsahovat minimálně dva sloupce. Jedním sloupcem je rychlost větru a druhým je datum měření. Tyto sloupce mohou být různě prohozené. Proto je potřeba před načtením určit pozici sloupce v souboru. Dále je nutné zkontrolovat, jestli je rychlost větru v základních jednotkách. Pokud není, musí se rychlost větru do základní jednotky převést. Po nastavení těchto vlastností se soubor může načíst.

Načtení těchto dvou souborů se řeší pomocí speciálního dialogového okna. Zde se nejprve vybere soubor, u kterého se zjistí, který ze souborů se bude načítat a tyto informace se zobrazí uživateli. V případě, že se vybere nestandardní soubor, zpřístupní se komponenty s parametry souboru, které musí uživatel nastavit pro správné převedení rychlosti větru a pro určení pozice sloupců. V případě standardního souboru, není třeba nic nastavovat a soubor stačí načíst.

6.5.6 Ukládání do souboru

Data z aplikace se ukládají dvěma způsoby. První způsob je, že data, která se nachází v tabulce programu se uloží do nového souboru. Druhý způsob uložení je, že do již existujícího souboru se uloží sloupec s výkonem větrné elektrárny. Zde vzniká problém při ukládání výkonu do souboru, kde je nutné zajistit, aby výkon větrné elektrárny odpovídal rychlosti větru, z které byl výkon vypočítán. Tento problém je vyřešen tak, že sloupec výkonu elektrárny se může uložit pouze do souboru, z kterého byla data pro výpočet výkonu načtena. Tímto způsobem se ukládá sloupec výkonu větrné elektrárny, do již vytvořeného souboru.

6.5.7 Zobrazení dat podle datumu

Součástí aplikace je zobrazení grafů rychlosti větru a výkonu větrné elektrárny v závislosti na datumu. Data se získají z načteného souboru. Ten může obsahovat statisíce dat a při takovém počtu je zobrazení dat v grafu nepřehledné. Tento problém se vyřeší pomocí zobrazení dat maximálně v rozsahu 7 dnů. Tímto způsobem se zajistí přehlednost a rychlejší vykreslení grafů.

6.6 Implementace aplikace

Celá aplikace je rozdělena do několika balíčků. Každý z těchto balíčků obsahuje minimálně jednu třídu, která je do balíčku přiřazena podle svých vlastností. Důležitým balíčkem je balíček `main`, bez kterého by aplikaci nešlo spustit. V této podkapitole budou zmíněny důležité metody a třídy aplikace.

6.6.1 FXMLMain

Je to třída balíčku `main`, která se stará o spouštění aplikace. Obsahuje dvě základní metody. Jednou metodou je metoda `main`, která tvoří výchozí bod programu. Tato metoda má za úkol spustit aplikaci.

Další metodou je metoda `start`. Ta slouží k načtení a nastavení vlastností grafického uživatelského rozhraní. Vzhled aplikace se načítá ze souboru `FXMLDocument`, který obsahuje kód s rozhraním. Oknu se nastavují vlastnosti jako titulek aplikace a obrázek ikony. Minimální šířku a výšku okna je nutné nastavit v této metodě, jelikož přes nástroj `Scene Builder` nastavení těchto parametrů nefunguje.

V metodě `start` je také nastaveno ukončení programu. To probíhá tak, že se nejprve zavolá dialogové okno. V případě, že se nemá program ukončit, zavolá se metoda `consume` která přerušuje ukončení programu. V opačném případě se metodou `exit` volané na třídě `Platform` a `System` ukončí celá aplikace.

6.6.2 FXMLDocumentController

Tento soubor v sobě obsahuje logiku úvodního grafického rozhraní. Nastavuje úvodní hodnoty komponent a páruje je s komponentami v souboru `FXMLDocument`. V tomto souboru se vytváří instance základních tříd, které se používají pro výpočty, uchovávání a zobrazování dat.

Nejdůležitější metodou je metoda `initialize`, která se do třídy vloží po implementaci rozhraní `Initializable`. Obsahuje metody pro vytvoření instancí důležitých tříd a počáteční nastavení hodnot u všech komponent.

Metoda `setDefaultDatas` se používá k načtení dat ukázkových elektráren. Podle výběru elektrárny se data uloží do příslušných komponent. Z těchto komponent se nastaví data elektrárny do globálních proměnných. Dále dochází k úpravě hodnot účinnostní tabulky a k překreslení účinnostního a výkonnostního grafu podle vybraného typu elektrárny.

K překreslení výkonnostní křivky se používá metoda `reDrawPowerCurve`. Před překreslením dojde ke kontrole `textFieldů` s parametry větrné elektrárny, které nesmí být prázdné. Následuje podmínka, která zkontroluje, zdali typ vybrané elektrárny je vlastní¹. Pokud typ je vlastní, nastaví se do účinnostního a výkonnostního grafu maximální hodnota větru z `maxWindSpeedTextField`. Tato hodnota změní i maximální počet hodnot v účinnostní tabulce. Na závěr se výkonnostní graf smaže a podle nových dat vykreslí.

```
@FXML
public void reDrawPowerCurve() {
    if (!areTextboxesEmpty()) {
        if (plantChoiceBox.getValue().equals("Vlastní")) {

            cpHorizontalAxis.setUpperBound(maxWindSpeed);
            powerHorizontalAxis.setUpperBound(maxWindSpeed);

            cpTable.changeSize(maxWindSpeed);

            cpGraph.clear();
            cpGraph.draw();
        }

        powerGraph.clear();
        powerGraph.draw(maxEnginePower, airDensity, radius);
        powerGraph.drawCutInMark(minWindSpeed, airDensity, radius);
    }
}
```

Metoda `load` se používá pro načtení dat ze souboru. Po spuštění dojde k vytvoření dialogového okna. To obstarává načtení dat z vybraného souboru. Načtená data se uloží do kolekce třídy `DataTable`, ze které se volá metoda pro výpočet výkonu větrné elektrárny. Ze třídy `DataTable` se dále volají metody pro zjištění prvního a posledního datumu. Tyto datумы se uloží do labelů, které se nachází v záložce pro vykreslení dat v závislosti na datumu. Před ukončením metody se vloží první hodnota datumu do komponenty `firstDatePicker`.

Metoda `drawDataGraph` se používá pro zobrazení dat tabulky. Data se vkládají do dvou grafů, které zobrazují závislost rychlosti větru a výkonu větrné elektrárny na datumu. Před vykreslením křivek se zkontroluje, jestli jsou data nahrána v tabulce. Následně se kontrolují instanční proměnné `firstDatePicker` a `secondDatePicker`, které pro vykreslení grafů musí obsahovat datумы. Tyto datумы vytváří rozmezí, ve kterém se grafy budou vykreslovat. Následně se vyberou data, která obsahují datum ve zvoleném rozsahu. Tyto data se zkopírují do kolekce, která se nachází v instanci třídy `DataGraph`. Ta pomocí metody `sortDataByDate`

¹ Uživatel musí zadat hodnoty do účinnostní tabulky a ostatní parametry elektrárny.

seřadí kolekci dat podle datumu od nejmenší po největší. Po seřazení kolekce se grafy vykreslí.

6.6.3 CpTable

Je to třída, která se používá k uložení dat účinnosti větrné elektrárny při daných rychlostech větru. Účinnost se vkládá přes komponentu tabulky do seznamu, který obsahuje jednotlivé řádky. Řádek je vytvořen jako instance třídy `CpRow`, která do sebe ukládá hodnoty jako je rychlost a účinnost.

Metoda `loadPlantDatas` se používá k načtení dat vybrané elektrárny. Ta se předá jako parametr metody, z kterého se získá pole účinností. Hodnoty pole se přidávají v cyklu do seznamu tabulky, kde ke každé hodnotě se přidá rychlost větru. Ta se vytváří z indexu hodnoty.

Pro změnu velikosti tabulky se používá metoda `changeSize`. Ta se mění v závislosti na maximální rychlosti větru, pro kterou je elektrárna schopna generovat energii. V případě, že dojde ke zvýšení maximální rychlosti, přidají se do tabulky nové řádky. V opačném případě se řádky umažou.

Metoda `getCp` se používá pro získání hodnoty účinnosti z tabulky. Do metody se předá parametr rychlosti větru. V případě, že rychlost větru je celé číslo dohledá se hodnota účinnosti v seznamu. V opačném případě je nutné hodnotu účinnosti vypočítat z bodů mezi, kterými se rychlost větru nachází. Tyto body jsou vytvořeny z hodnot rychlosti a účinnosti.

```
public float getCp(float windSpeed) {
    if (isWindSpeedInRange(windSpeed)) {
        if (MathEquation.isWholeNumber(windSpeed)) {
            return getWholeSpeedCp(windSpeed);
        } else {
            return getDecimalSpeedCp(windSpeed);
        }
    } else {
        return 0;
    }
}
```

6.6.4 DataTable

Třída `DataTable` se používá pro uchování a dopočítání dat z načteného souboru. Instance třídy obsahuje seznam, který je tvořen řádky. Ty jsou vytvořeny jako objekty třídy `DataRow`. Ta v sobě uchovává datum, rychlost větru a výkon elektrárny. Tento seznam řádků se předává tabulce, která tyto údaje zobrazuje uživateli.

Metoda `calculatePower` se používá pro vypočítání výkonu elektrárny pro každý řádek tabulky. Tabulka se prochází cyklem a získává z řádků rychlosti větru. Rychlost větru se předá do tabulky s účinností, ze které se získá účinnost elektrárny pro danou rychlost. Tyto parametry společně s hustotou vzduchu a poloměrem rotoru se předají rovnici pro výpočet výkonu. Výkon je nutné před přidáním do řádku zkontrolovat, jestli se jeho hodnota nachází v platném rozsahu, ve kterém větrná elektrárna generuje výkon. V případě, že je rychlost větru menší než rychlost, kdy se začíná generovat výkon, nastaví se hodnota výkonu na nulu. V opačném případě, kdy hodnota výkonu je větší než maximální výkon elektrárny, nastaví se hodnota výkonu na hodnotu maximálního možného výkonu.

Metoda `getFirstDate` se používá pro získání prvního datumu v tabulce. Metoda prochází všechny řádky tabulky a vypíše první použitelné datum.

Metoda `getLastDate` se používá pro získání posledního datumu v tabulce. Metoda prochází všechny řádky tabulky a vypíše poslední datum.

Metoda `copyData` se používá pro nakopírování dat z tabulky v určitém rozsahu datumů. Tato metoda má ve své hlavičce tři parametry. První dva parametry jsou datумы. Ty se používají pro určení rozsahu. Dalším parametrem se předává seznam, do kterého se řádky nakopírují.

```
public void copyData(Date from, Date to, ObservableList<DataRow> list) {
    datas.stream()
        .filter((DataRow t) -> from.before(t.getDate())
                && to.after(t.getDate()))
        .forEach((DataRow t) -> {
            list.add(t);
        });
}
```

6.6.5 PowerGraph

O vykreslení grafu výkonnosti větrné elektrárny se starají metody třídy `PowerGraph`. Ta pro vykreslení grafu potřebuje tabulku účinnosti větrné elektrárny a parametry jako jsou hustota vzduchu, průměr rotoru, minimální rychlost větru a maximální výkon elektrárny.

Pro vykreslení výkonnostní křivky se používá metoda `draw`. Zobrazení jednotlivých bodů výkonu větrné elektrárny probíhá pomocí cyklu. Ten načítá z tabulky účinnosti jednotlivé řádky, ze kterých se následně získají hodnoty rychlosti větru a účinnosti. Tyto hodnoty spolu s parametry metody se předají rovnici pro výpočet výkonu. Dále se výkon převede na kilowatty². Výkon se do grafu vykresluje tak, aby nepřesahoval maximální hranici výkonu

² Důvodem je, že výkon větrných elektráren se běžně pohybuje od stovky kilowatt do zhruba 3 megawatt.

elektrárny anebo aby při jmenovitém výkonu ve vyšších rychlostech větru udržel výkon elektrárny.

Pro zobrazení začátku generování výkonu větrné elektrárny se používá ve třídě `PowerGraph` metoda `drawCutInMark`. Tato metoda vykreslí do grafu oranžovou čáru znázorňující tento počátek. Tato značka je tvořena dvěma body, kde první bod je vytvořený pomocí minimální rychlosti větru a nulové hodnoty výkonu. Druhý bod je tvořen z minimální rychlosti větru a z výkonu, který se dopočítá pomocí rovnice pro výpočet výkonu. Tím je zajištěno, že koncový bod se bude dotýkat výkonnostní křivky.

```
public void drawCutInMark(float minWindSpeed, float airDensity,
    float radius) {
    double power;
    cutInSpeedMark.getData().clear();

    float cp = cpTable.getCp(minWindSpeed);

    power = WindEquation.calculatePower(airDensity, minWindSpeed, cp,
        radius);
    power = UnitConversion.basicUnitToKilo(power);

    cutInSpeedMark.getData().add(new XYChart.Data(minWindSpeed, 0));
    cutInSpeedMark.getData().add(new XYChart.Data(minWindSpeed, power));
}
```

6.6.6 LoadDialog

Do programu se načítají data z CSV souboru. Ty mohou být dvojího druhu. Prvním druhem těchto dat je standartní soubor, který má svou pevně danou strukturu sloupců. Dalším druhem souboru je soubor, u kterého mohou být sloupce různě prohozené. Aby bylo možné, načítat oba tyto druhy souborů, vytvořil se speciální načítací dialog. Ten dokáže zjistit, který z těchto souborů se bude načítat a umožňuje uživateli podle druhu souboru nastavit potřebné parametry pro jeho načtení.

Rozhraní grafického dialogu je vytvořeno ze souboru `LoadDialog.fxml`. Pro toto rozhraní se používá třída `LoadDialog`, která obsahuje logiku dialogu. Ta obsahuje potřebné metody pro načtení dat ze souboru.

Metoda `setSelectedFileBeforeLoad` se používá pro nastavení vlastností a vyhledání načítaného souboru. Na začátku se otevře dialogové okno pro vyhledání souboru v adresářích. Poté proběhne kontrola, která zkontroluje, jestli byl soubor vybrán. Pokud by soubor nebyl vybrán nezpřístupní se uživateli komponenty pro nastavení vlastností a nezobrazí se informace o souboru. V případě, že byl soubor vybrán dojde ke zjištění vlastností souboru pomocí třídy `FileProperties`. Ta kontroluje, zdali není soubor prázdný a kolik sloupců

soubor obsahuje. Následně se zjišťuje, jaký druh souboru se bude načítat. Podle druhu souboru se zpřístupní vlastnosti, které bude potřeba nastavit. Na závěr se do dialogového okna nastaví jméno a druh souboru.

Metoda `load` se používá pro načtení dat ze souboru. Ten musí být před načtením vybrán. Následně dojde ke smazání starých dat tabulky. Pro načtení dat ze souboru se vytvoří instance třídy `FileCsvLoader`. Z této třídy v závislosti na vybraném souboru se volá příslušná metoda, která data načte do tabulky. Po načtení souboru dojde k uzavření dialogu.

```
@FXML
private void load(){
    if (isFileSelected) {
        dataTable.clear();
        setFileCsvLoader();
        loadStandartFile();
        loadOtherFile();
        closeStage();
    }
}
```

6.6.7 FileCsvLoader

Třída `FileCsvLoader` obsahuje metody pro načtení dat ze souboru. Jak již bylo zmíněno v kapitole 6.5.5, data se do programu mohou načítat ze dvou souborů. Oba tyto soubory jsou formátu CSV. Rozdíl mezi těmito soubory je v uspořádání sloupců.

Standartní soubor (obr. 16) má pevně danou strukturu sloupců. Nejdůležitějším sloupcem je sloupec G, který obsahuje rychlost větru. Dále bude potřeba získat datum, kdy byla rychlost změřena. Toto datum se vytvoří ze sloupců A, C a D. Ze sloupce A, který určuje čas stažení dat, se zjistí rok. Ve sloupci C se nachází den v roce. Sloupec D obsahuje hodiny a minuty, kdy byla rychlost větru zjištěna. Před načtením do programu je potřeba sloupce C, D a G očistit od zbytečných hodnot.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Date	Header	ordinal day	Time CST	Temp F @10m	RH % @10m	WindSpeed mi/hr @60m	WindDir @60m
2	1.2.2015 18:01	01+0210.	02+0032.	03+0500.	04+30.38	05+102.1	06+10.60	07+077.1
3	1.2.2015 18:01	01+0210.	02+0032.	03+0505.	04+30.37	05+102.1	06+11.23	07+076.6
4	1.2.2015 18:01	01+0210.	02+0032.	03+0510.	04+30.36	05+102.1	06+10.98	07+074.1
5	1.2.2015 18:01	01+0210.	02+0032.	03+0515.	04+30.34	05+102.1	06+10.58	07+69.79
6	1.2.2015 18:01	01+0210.	02+0032.	03+0520.	04+30.32	05+102.1	06+11.27	07+67.74
7	1.2.2015 18:01	01+0210.	02+0032.	03+0525.	04+30.32	05+102.1	06+12.08	07+62.88
8	1.2.2015 18:01	01+0210.	02+0032.	03+0530.	04+30.35	05+102.1	06+11.91	07+63.53
9	1.2.2015 18:01	01+0210.	02+0032.	03+0535.	04+30.32	05+102.1	06+12.16	07+63.91
10	1.2.2015 18:01	01+0210.	02+0032.	03+0540.	04+30.32	05+102.1	06+11.19	07+61.69

Obrázek 16 – Data standartního souboru [29]

Pro načtení standartního souboru se používá metoda `loadStandartData`. Ta používá pro načtení souboru instanci třídy `BufferedReader`. Soubor se čte po jednotlivých řádcích, kde první řádek v souboru se přeskočí, protože místo hodnot obsahuje názvy sloupců. Každý načtený řádek se rozdělí podle separátoru do pole, které se předá jako parametr metodě `createStandartRow`. Tato metoda vrací instanci řádku, který se následně přidá do tabulky.

Metoda `createStandartRow` se používá pro vytvoření řádku z načtených dat standartního souboru. Do metody se předá pole, které obsahuje jednotlivé hodnoty řádku. Z tohoto pole se metodami `createDate` a `convertStandartWindSpeed` získá datum a rychlost větru. Rychlost se následně převede z mph do m/s a zkontroluje se, jestli hodnota rychlosti není vyšší než maximální možná rychlost větru větrné elektrárny. Metoda vrací instanci řádku, která obsahuje datum a rychlost větru.

Metoda `createDate` se používá pro vytvoření datumu z hodnot jednotlivých sloupců. V metodě se vytváří instance třídy `Calendar`. Ta obsahuje metodu `set`, která přidává do instance rok, den roku, hodinu a minuty. Metoda vrací instanci třídy `Date`, která se vytvoří vložením času v milisekundách do konstrukturu.

```
private Date createDate(String values[]) throws ParseException {
    Calendar calendar = Calendar.getInstance();
    calendar.set(Calendar.YEAR, FileParser.getYear(values[0]));
    calendar.set(Calendar.DAY_OF_YEAR,
        FileParser.getDayOfYear(values[2]));
    calendar.set(Calendar.HOUR, FileParser.getHour(values[3]));
    calendar.set(Calendar.MINUTE, FileParser.getMinutes(values[3]));

    Date date = new Date(calendar.getTimeInMillis());
    return date;
}
```

Pro načítání dat ze souboru, který má jinou strukturu, než standartní soubor se používá metoda `loadOtherData`. Ta funguje stejně jako metoda `loadStandartData`. Rozdíl mezi těmito dvěma metodami je ve způsobu získávání dat ze souboru. Pro vytvoření instance řádku se používá metoda `createOtherRow`.

Metoda `createOtherRow` se používá pro vytvoření instance řádku z nestandardního souboru. Do metody se předá pole hodnot, z kterého se získá metodami `convertStringToDate` a `convertOtherWindSpeed` hodnota datumu a rychlosti větru. Rychlost větru se převede do m/s a zkontroluje se, jestli její hodnota není vyšší než maximální možná rychlost větru větrné elektrárny. Metoda vrací instanci řádku, do kterého se uloží datum a rychlost větru.

6.6.8 FileCsvSaver

Pro ukládání dat do souboru se používá třída `FileCsvSaver`. Ta umožňují ukládat data dvěma způsoby. Prvním způsobem je, že do souboru, z kterého byla data pro výpočet načtena, se vypočítaný výkon elektrárny uloží jako nový sloupeček. Druhým způsobem je, že se vytvoří nový soubor, do kterého se uloží nejen sloupeček výkonu, ale i sloupeček datumu a rychlosti větru.

Metoda `saveIntoSameFile` se používá pro uložení výkonu větrné elektrárny do nového sloupečku již existujícího souboru. Metoda nejprve vytvoří nový soubor. Dále se vytvoří instanční proměnná třídy `BufferedReader`, pomocí které se načte existující soubor a instanční proměnná třídy `BufferedWriter`, která zapisuje data do nově vytvořeného souboru. Metoda třídy `BufferedReader` projde v cyklu načtený soubor a získává z něho řádky. K těmto řádkům se připisuje výkon elektrárny. Výjimkou je první řádek, kterému se přidá název sloupce. Takto vytvořené řádky se ukládají do nového souboru. Po přečtení všech řádků se původní soubor smaže a nový soubor, do kterého se data uložila, změní název na jméno původního souboru. Tímto způsobem dojde k přidání sloupečku do souboru.

Pro vytvoření nového souboru se používá metoda `createNewFile`. Ta vytvoří instanční proměnnou třídy `BufferedWriter`, která ukládá data do souboru. První řádek souboru se skládá z názvů sloupců. Dále se čte tabulka aplikace po jednotlivých řádcích, které se postupně do souboru ukládají. Tímto způsobem vznikne soubor obsahující tabulku aplikace.

7 UŽIVATELSKÁ DOKUMENTACE

Aplikace má jednoduché a intuitivní rozhraní. Některé části aplikace, je ale nutné nastavit nebo spustit dříve, aby bylo možné jiné programové části použít. V této kapitole je popsán jednoduchý návod, jak pracovat s programem.

7.1 Spuštění

Před spuštěním aplikace se musí nainstalovat JRE (Java Runtime Environment). Je to běhové prostředí, které obsahuje virtuální stroj. Ten je potřebný pro spuštění programů napsaných v jazyce Java. Samotná aplikace se neinstaluje. Stačí otevřít soubor VetrnaElektrarna.jar a aplikace se spustí.

7.2 Rozdělení

Po spuštění programu se zobrazí grafické prostředí aplikace. To obsahuje v horní části menu, kde se nachází možnosti jako načtení a uložení dat nebo pomocná kalkulačka. Hlavní část aplikace je rozdělena do několika záložek. První dvě záložky se používají pro vkládání a zobrazování dat větrné elektrárny. Třetí záložka obsahuje tabulku, kde se zobrazují zpracovaná data, která se načítají ze souboru. Čtvrtá a poslední záložka obsahuje dva grafy, do kterých se zobrazují data v závislosti na datumu.

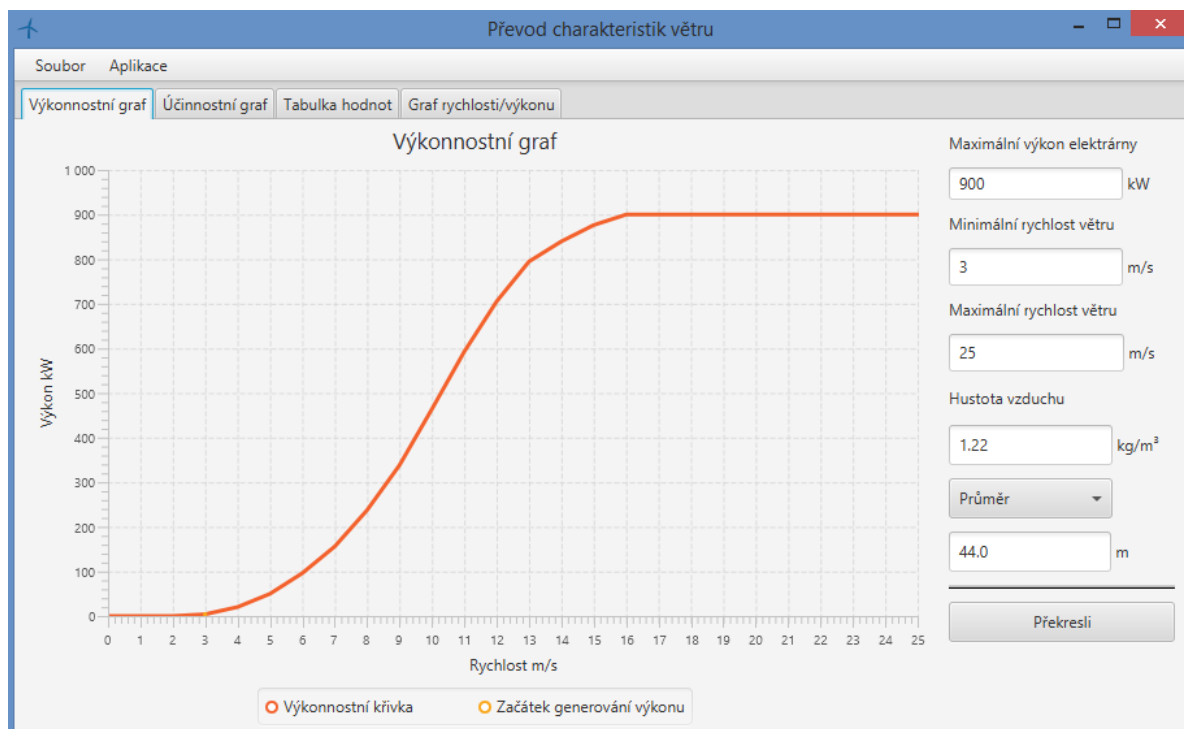
7.2.1 Záložka výkonnostní graf

Je to první záložka (obr. 17), která se uživateli zobrazí po spuštění aplikace. Její obsah lze dělit do dvou částí. První část obsahuje graf. Ten zobrazuje výkonnostní křivku větrné elektrárny. Další část, která se nachází po pravé straně záložky, obsahuje parametry, které ovlivňují výkon větrné elektrárny a tím i výkonnostní křivku.

Tyto parametry jsou omezeny rozsahem hodnot, které uživatel může do programu zadat. Parametr maximálního výkonu elektrárny, jak název napovídá, nastavuje maximální výkon větrné elektrárny. Jeho hodnota nesmí být záporná. Dalším parametrem je minimální rychlost větru. Ta určuje, při jaké rychlosti začne elektrárna generovat výkon. Tato hodnota se na grafu zobrazí jako oranžová čára. Hodnota tohoto parametru musí být v rozsahu od 1 do 5 m/s. Parametr maximální rychlosti větru určuje, při jaké rychlosti dochází k odstavení větrné elektrárny. Rozsah hodnot tohoto parametru je nastavený od 1 do 30 m/s. Hustota vzduchu je dalším parametrem, který ovlivňuje výkon. Její hodnota se musí nacházet od 1 do 2 kg/m³. Posledním parametrem v této záložce je velikost rotoru, kde nejprve je nutné vybrat, jestli se

bude zadávat hodnota průměru nebo poloměru. Po vybrání se zadá hodnota, která nesmí být záporná.

Aby se zadané změny projevyly v grafu, musí se kliknout na tlačítko překresli. Tím dojde k překreslení grafu výkonostní křivky.



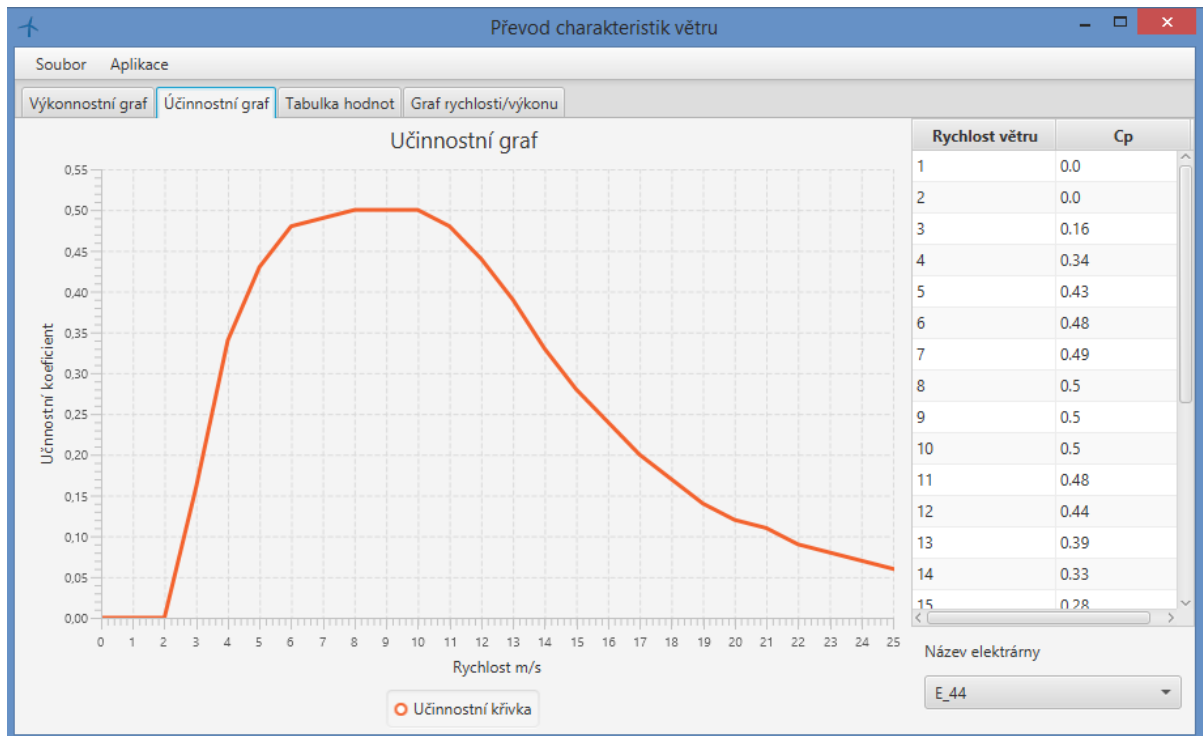
Obrázek 17 – Záložka výkonostní graf [zdroj: autor]

7.2.2 Záložka účinnosti graf

Tato záložka (obr. 18) obsahuje graf účinnosti, který zobrazuje účinnost větrné elektrárny v závislosti na rychlosti větru. Pro vytvoření této křivky se použije tabulka vpravo od grafu, do které se zadají hodnoty. Tyto hodnoty je možné nalézt na stránkách výrobce v dokumentaci větrné elektrárny. Pro zadání nové hodnoty se dvakrát klikne na kolonku, kde se má hodnota změnit a následně hodnotu přepsat. Hodnota účinnosti se musí pohybovat od 0 do 0,593, jinak nemůže být zadána. Po změnění hodnoty se graf automaticky překreslí.

V této záložce je také možné vybrat jednu z přednastavených elektráren. Výběr z elektráren se nachází dole pod tabulkou účinnosti. Po kliknutí na výběr se zobrazí dialogové okno, které upozorní na provedení změn. Tyto změny lze potvrdit nebo zamítnout. V případě potvrzení je možné vybrat ze 3 typů elektráren. Typy jako E_44 nebo V_126-3.3 mají přednastavené hodnoty, které se po jejich výběru vloží do účinnostní tabulky a do parametrů v záložce výkonosti. Posledním typem je vlastní typ, kde všechny hodnoty jsou nastaveny na nulu a uživatel si musí data následně přepsat. Dále vlastní typ elektrárny umožňuje měnit

maximální rychlost větrné elektrárny, což u ostatních typů nelze. Po vybrání větrné elektrárny se automaticky grafy výkonosti a účinnosti překreslí.



Obrázek 18 – Záložka účinnostní graf [zdroj: autor]

7.2.3 Záložka tabulka hodnot

V záložce tabulka hodnot (obr. 19) se nachází tabulka, ve které se zobrazuje datum, rychlost větru a výkon elektrárny. Data jako je datum a rychlost větru se získá načtením souboru. Načtení souboru se nachází v menu v záložce soubor.

Po kliknutí na načtení se zobrazí dialogové okno. V něm se nejprve musí vybrat soubor, který se má načíst. Načítat se mohou dva druhy souboru, kde jeden má pevně danou strukturu sloupců a u druhého souboru se pozice sloupců musí určit. To, o jaký soubor se jedná si zjistí dialogové okno a zobrazí se informace jako je název a druh souboru. V případě, že byl vybrán soubor, kde je nutné určit pozici sloupců, zpřístupní se komponenty pro nastavení pozice sloupců. Dále je nutné nastavit v jaké jednotce v souboru je rychlost větru zapsána, aby se správně převedla na m/s. V případě, že se načte soubor s pevně danou strukturou sloupců není třeba nic dále nastavovat. Pro načtení vybraného souboru se klikne na tlačítko načíst. Po načtení dat ze souboru se automaticky vypočítá výkon větrné elektrárny.

V záložce tabulka hodnot se nachází dvě tlačítka, které se používají pro práci s tabulkou. Prvním tlačítkem je tlačítko s názvem přepočítej. Toto tlačítko se používá pro přepočet

výkonu větrné elektrárny. Ten je nutný v případě, že dojde ke změně hodnot v tabulce účinnosti nebo ke změně jednoho z parametrů nacházejících se v záložce výkonnostní graf. Dalším tlačítkem je tlačítko smaž vše, které smaže celou tabulku.

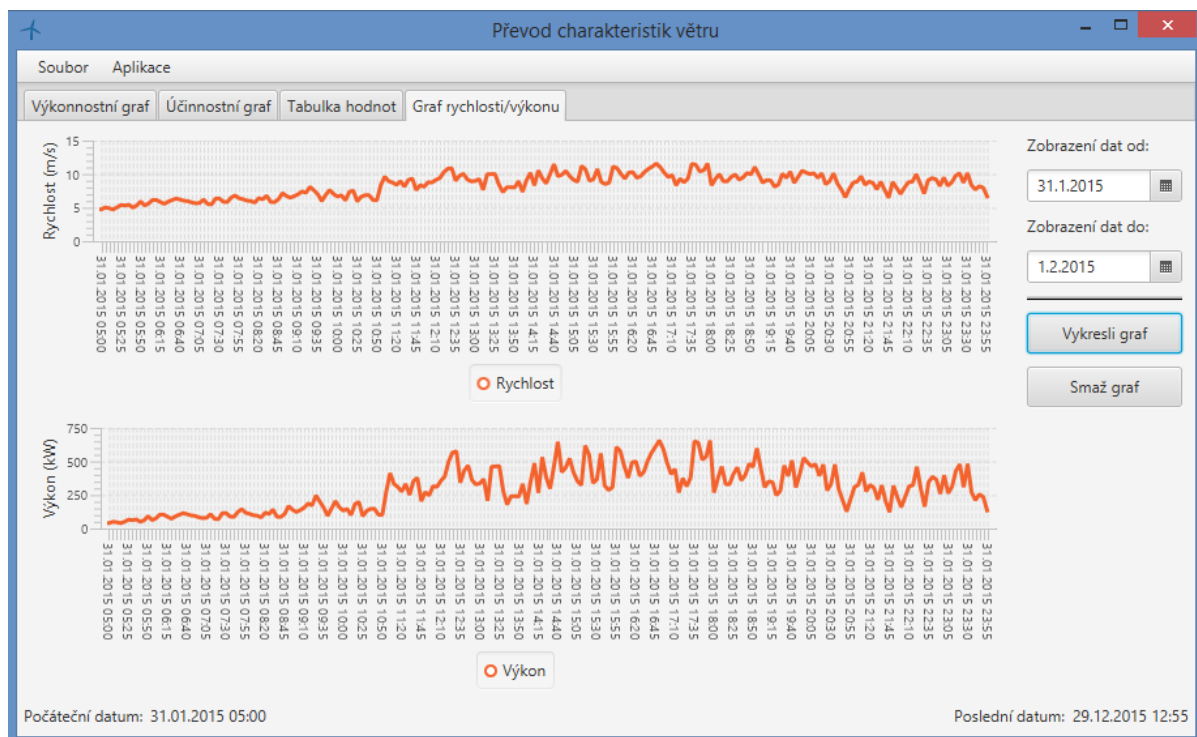
Datum	Rychlost (m/s)	Výkon (W)
31.01.2015 05:00	4.738624	40115.936
31.01.2015 05:05	5.020259	50581.74
31.01.2015 05:10	4.908499	46263.828
31.01.2015 05:15	4.729683	39810.316
31.01.2015 05:20	5.038141	51230.228
31.01.2015 05:25	5.4002433	65733.888
31.01.2015 05:30	5.3242464	62465.624
31.01.2015 05:35	5.436006	67314.928
31.01.2015 05:40	5.0023775	49939.36
31.01.2015 05:45	5.3153057	62089.2
31.01.2015 05:50	5.9277506	92035.472
31.01.2015 05:55	5.3197756	62277.18
31.01.2015 06:00	5.6058817	75212.88
31.01.2015 06:05	6.142329	103478.816
31.01.2015 06:10	6.142329	103478.816
31.01.2015 06:15	5.8428125	87349.88
31.01.2015 06:20	5.5567074	72859.64
31.01.2015 06:25	5.806457	90288.024

Obrázek 19 – Záložka tabulka hodnot [zdroj: autor]

7.2.4 Záložka grafů

Záložka obsahuje dva grafy (obr. 20), které zobrazují data z tabulky, která se nachází v záložce tabulka hodnot. Tyto grafy zobrazují závislost rychlosti větru a výkonu větrné elektrárny na datumu.

Před vykreslením grafů je nutné načíst data ze souboru do aplikace. Z těchto dat se získá první a poslední datum měření, které se zobrazí v levém a pravém spodním rohu. Z tohoto rozsahu datumů se mohou v grafech zobrazovat data. Pro vykreslení grafu je nutné vybrat počáteční datum odkud mají být grafy vykresleny. Po vybrání počátečního datumu se automaticky nastaví datum následujícího dne jako koncové datum. Takto se data v grafech zobrazí v rámci jednoho dne. Rozsah zobrazení dat lze nastavit i na více dnů, a to výběrem hodnoty posledního datumu. Maximální možný počet zobrazených dnů je 7. Pro vykreslení dat v nastaveném rozsahu datumů se musí kliknout na tlačítko vykresli graf. Tímto způsobem se vykreslí hodnoty do grafů. Grafy je dále možné smazat, a to pomocí tlačítka smaž, které smaže oba grafy.



Obrázek 20 – Záložka grafů [zdroj: autor]

7.2.5 Kalkulačka

Aplikace obsahuje pomocnou kalkulačku (obr. 21). Ta slouží k vypočítání výkonu, účinnosti nebo hustotě vzduchu. Kalkulačka se nachází v menu programu v záložce aplikace. Po spuštění se otevře grafické rozhraní kalkulačky. Ta obsahuje jednotlivé parametry, které jsou nastaveny na základní hodnoty nebo nulu. Pro výpočet výkonu se musí zadat ostatní hodnoty parametrů. Po stisknutí tlačítka výkon se výkon vypočítá a zobrazí v poli výkonu. Pro vypočítání hustoty vzduchu a účinnosti se postupuje stejně jako v případě pro výpočet výkonu.

Obrázek 21 – Kalkulačka [zdroj: autor]

8 OVĚŘENÍ APLIKACE

Výrobci větrných elektráren poskytují ke svým nabízeným produktům dokumentace. V těchto dokumentacích lze o větrných elektrárnách dohledat důležité údaje, tabulky a grafy. Cílem této kapitoly bude porovnat data v dokumentaci s daty v aplikaci a ověřit tak přesnost programu.

8.1 Výběr elektrárny

Pro porovnání dat mezi dokumentací a aplikací byla vybrána elektrárna E_44 od firmy Enercon, kterou lze vybrat v aplikaci jako jeden z typů větrných elektráren. V její dokumentaci se nachází, kromě základních údajů, tabulky a grafy účinnosti a výkonu.

8.2 Porovnávání výkonů

Pro ověření výpočtu výkonu v aplikaci se použijí rychlosti větru v rozmezí od 3 do 15 m/s. Důvodem je, že elektrárna začíná generovat výkon od 3 m/s a hodnoty výkonu při nižších rychlostech jsou nulové. Při rychlostech vyšších jak 15 m/s je výkon ovlivněn hranicí svého maximálního výkonu a hodnoty se opakují. Dále se pro výpočet nastaví hustota vzduchu na $1,22 \text{ kg/m}^3$, průměr rotoru na 44 m a hodnoty účinností se použijí z dokumentace elektrárny.

Výkon vypočítaný aplikací se porovná s tabulkou výkonu nacházející se v dokumentaci výrobce a s výpočtem provedeným v tabulkovém procesoru Excel. Ten slouží jako kontrolní výpočet.

Tabulka 1 – Porovnání hodnot výkonů [26] [zdroj: autor]

Rychlost větru	Dokumentace	Aplikace	Excel
3 m/s	4 000,0 W	4 006,90 W	4 006,90 W
4 m/s	20 000,0 W	20 182,92 W	20 182,92 W
5 m/s	50 000,0 W	49 854,41 W	49 854,41 W
6 m/s	96 000,0 W	96 165,67 W	96 165,67 W
7 m/s	156 000,0 W	155 888,93 W	155 888,93 W
8 m/s	238 000,0 W	237 446,10 W	237 446,10 W
9 m/s	340 000,0 W	338 082,44 W	338 082,43 W
10 m/s	466 000,0 W	463 761,92 W	463 761,91 W
11 m/s	600 000,0 W	592 576,42 W	592 576,41 W
12 m/s	710 000,0 W	705 214,92 W	705 214,91 W
13 m/s	790 000,0 W	794 730,22 W	794 730,23 W
14 m/s	850 000,0 W	839 891,42 W	839 891,37 W
15 m/s	880 000,0 W	876 510,03 W	876 510,01 W

Z tab. 1 je patrné, že vypočítaný výkon aplikace se nejvíce shoduje s kontrolním výpočtem provedeným v tabulkovém procesoru Excel. Rozdíl naopak nastává při porovnání výkonů s hodnotami, které jsou uvedené v dokumentaci výrobce, kde rozdíly mezi jednotlivými výkony při vyšších rychlostech větru mohou být až v řádech desítek kilowatt.

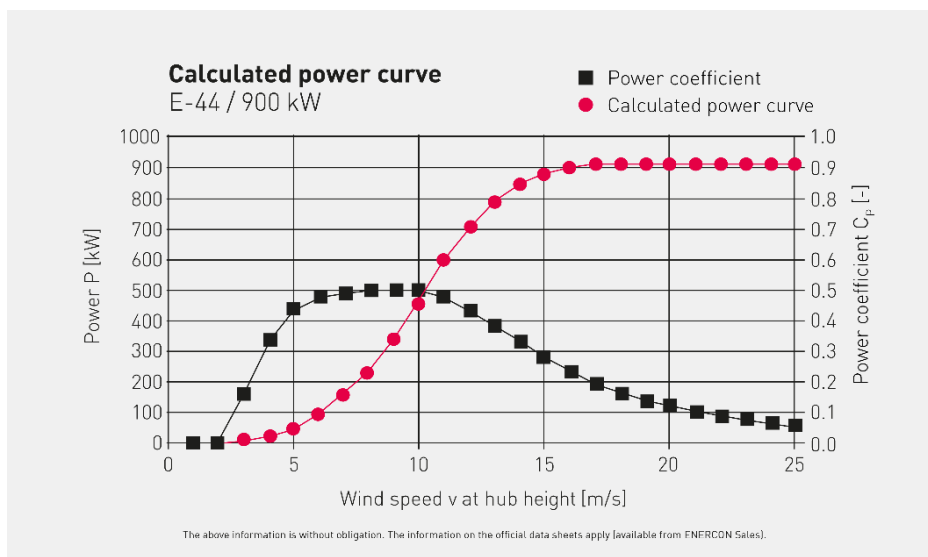
Tabulka 2 – Hodnoty výkonu před a po zaokrouhlení [zdroj: autor]

	Zaokrouhlené hodnoty		Nezaokrouhlené hodnoty	
	Výkon	Účinnost	Výkon	Účinnost
3 m/s	4 006,90 W	0,16	4 006,90 W	0,16
4 m/s	20 182,92 W	0,34	20 182,92 W	0,34
5 m/s	49 854,41 W	0,43	50 016,72 W	0,4314
6 m/s	96 165,67 W	0,48	96 165,67 W	0,48
7 m/s	155 888,93 W	0,49	156 048,00 W	0,4905
8 m/s	237 446,10 W	0,5	238 395,87 W	0,502
9 m/s	338 082,44 W	0,5	340 110,94 W	0,503
10 m/s	463 761,92 W	0,5	466 544,51 W	0,503
11 m/s	592 576,42 W	0,48	600 020,67 W	0,48603
12 m/s	705 214,92 W	0,44	710 023,17 W	0,443
13 m/s	794 730,22 W	0,39	790 654,72 W	0,388
14 m/s	839 891,42 W	0,33	850 326,40 W	0,3341
15 m/s	876 510,03 W	0,28	880 266,50 W	0,2812

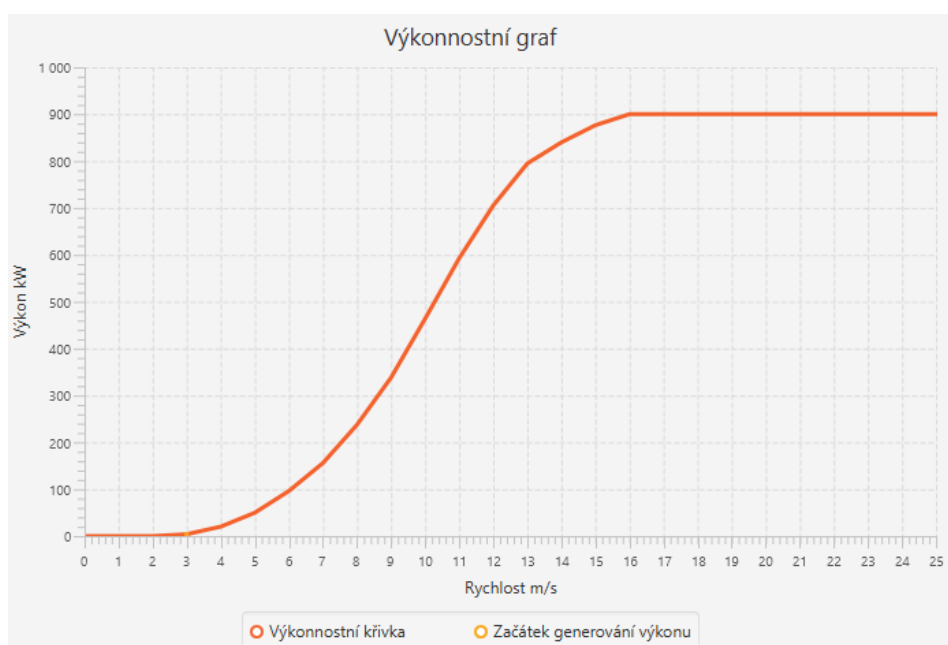
Důvodem těchto nestejných hodnot je zaokrouhlení tabulky výkonu a účinnosti v dokumentaci výrobce. Hodnoty tabulky tak vytváří rozdíly výkonu mezi dokumentací a aplikací. Po úpravě hodnot účinnosti jsou hodnoty výkonu přibližně stejné jako výkon uvedený v dokumentaci. Důkazem je tab. 2, která zobrazuje hodnoty výkonu před zaokrouhlením a po zaokrouhlení hodnot účinnosti.

8.3 Porovnávání grafů

V dokumentaci se kromě tabulek výkonu a účinnosti nachází také grafy, které zobrazují výkonnostní a účinnostní křivky. Graf výkonu obsahuje i aplikace, a tak je možné tyto grafy mezi sebou vizuálně porovnat.



Obrázek 22 – Graf účinnosti a výkonnosti dokumentace [27]



Obrázek 23 – Graf výkonnosti aplikace [zdroj: autor]

Na grafu z dokumentace od výrobce (obr. 22) a grafu aplikace (obr. 23) je vidět, jak oba grafy začínají generovat výkon při 3 m/s a jak dochází k ustálení výkonu na hranici 900 kW. Při porovnání těchto grafů je vidět, že oba grafy jsou totožné.

Závěrem lze říci, že grafy a hodnoty výkonu vytvořené aplikací dávají stejné výsledky s dokumentací v závislosti na datech elektrárny, která se v aplikaci musí nastavit co nejpřesněji.

9 ZÁVĚR

Všechny cíle bakalářské práce byly splněny. V úvodní části práce došlo k představení stručné historie vzniku a vývoje větrných elektráren. Dále byly popsány příčiny vzniku větru a vlivy ovlivňující jeho parametry jako jsou směr a rychlost.

V teoretické části došlo k seznámení s konstrukcí a strukturou větrné elektrárny. Byly představeny její základní funkce a zařízení ovlivňující maximální výkon. Větrné elektrárny byly rozděleny do skupin podle svých parametrů, kde nejvýznamnější dělení bylo podle osy otáčení rotoru a podle způsobu regulace výkonu. Dále byl také představen vzorec pro výpočet výkonu větrné elektrárny a jeho parametry.

V praktické části byla úspěšně implementována aplikace, která je schopná podle údajů z dokumentace větrné elektrárny vykreslit graf účinnosti a výkonu. Dále tato aplikace umí načíst data ze dvou různých souborů a hodnoty následně využít pro výpočet výkonu. Data tabulky mohou být následně vizuálně zpracována vykreslením grafů, které zobrazují závislost výkonu a rychlosti větru na datumu. Nad rámec zadání byla do programu vytvořena kalkulačka, která slouží pro rychlý výpočet výkonu, účinnosti nebo hustoty vzduchu.

V závěru práce došlo k ověření správnosti výpočtů programu, kde hodnoty programu byly porovnány s hodnotami dokumentace elektrárny a s výpočtem provedeným v tabulkovém procesoru. Výsledkem byla shoda tabulkového procesoru s vytvořenou aplikací na rozdíl od dokumentace, kde se hodnoty s aplikací neshodovaly. Důvodem této neshody byla zaokrouhlená data v dokumentaci.

Do budoucna by aplikace mohla umět provést dopočítání účinnostní křivky z hodnot výkonů elektrárny nebo by mohla obsahovat jednoduchý systém přidávání nových elektráren. Tato aplikace by po vylepšení mohla být používána různými výrobci větrných elektráren pro analýzu výkonu.

10 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BOCAN, Lukáš. Premyslovice CZ Mlyn. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4a/Premyslovice_CZ_Mlyn.jpg
- [2] KOČ, Břetislav. Větrné elektrárny IV. – Vývoj instalací v ČR i ve světě od přelomu tisíciletí. In: TZB-info: stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online]. 2001, s. 1 [cit. 2017-04-10]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/13909-vetrne-elektrarny-iv-vyvoj-instalaci-v-cr-i-ve-svete-od-prelomu-tisicileti>
- [3] KOČ, Břetislav. Z historie větrných elektráren. Elektro: Odborný časopis pro elektroniku [online]. 2005, (12), 1 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/z-historie-vetrnych-elektraren--13364>
- [4] Jak vzniká vítr. In-počasí [online]. 2015 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://www.in-pocasi.cz/clanky/teorie/jak-vznika-vitr/>
- [5] PALICKAP. Rymice, větrný mlýn zezadu. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9a/Rymice%2C_v%C4%9Btrn%C3%BD_ml%C3%BDn_zezadu.jpg
- [6] RYCHETNÍK, Václav, Jiří PAVELKA a Josef JANOUŠEK. Větrné motory a elektrárny. Praha: České vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-010-1563-7.
- [7] Využívání větrné energie ve světě. Pro-vetrniky [online]. 2017 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://www.pro-vetrniky.cz/cs/fakta-o-vetrnych-elektrarnach/vetrne-elektrarny-ve-svete.html>
- [8] Earth Global Circulation. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6d/Earth_Global_Circulation.jpg
- [9] První větrná elektrárna Charlese F. Brushe. In: TZB-info [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/docu/clanky/0134/013452o1.jpg>
- [10] Forsogsmollerne. In: POUL LA COUR MUSEUM [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://www.poullacour.dk/images/forsogsmollerne.jpg>

- [11] QUASCHNING, Volker. Obnovitelné zdroje energií. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [12] ČSVE: Česká společnost pro větrnou energii [online]. Praha, 2013 [cit. 2017-04-24].
Dostupné z: <http://www.csve.cz/>
- [13] MOTLÍK, Jan a et al. Obnovitelné zdroje energie: A možnosti jejich uplatnění v České republice [online]. Praha: ČEZ, 2007 [cit. 2017-04-24].
- [14] MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011 [cit. 2017-04-24]. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [15] GRAY, Richard. Work begins on the world's biggest wind turbine. Daily Mail Online [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z:
<http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-3658712/A-mighty-wind-Work-begins-world-s-biggest-turbine-dwarf-London-Eye.html>
- [16] TOSHIHIRO, Oimatsu. Savonius wind turbine. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-25].
Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/Savoniova_turb%C3%ADna#/media/File:Savonius_wind_turbine.jpg
- [17] AARCHIBA. Darrieus-windmill. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-25]. Dostupné z:
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3c/Darrieus-windmill.jpg?uselang=cs>
- [18] STAHLKOCHER. H-Darrieus-Rotor. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-25]. Dostupné z:
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/05/H-Darrieus-Rotor.jpg>
- [19] H, Peter. Windmill-879613_960_720. In: Pixabay [online]. Germany [cit. 2017-04-25].
Dostupné z: https://cdn.pixabay.com/photo/2015/08/07/17/49/windmill-879613_960_720.jpg
- [20] WÄLZ. Sky-1506548_960_720. In: Pixabay [online]. Germany [cit. 2017-04-25].
Dostupné z: https://cdn.pixabay.com/photo/2016/07/09/17/21/sky-1506548_960_720.jpg

- [21] SARANGI, Bishnu. Wind-285970_960_720. In: Pixabay [online]. Germany [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: https://cdn.pixabay.com/photo/2014/03/12/11/16/wind-285970_960_720.jpg
- [22] LACHMANN-ANKE, Marco. Pinwheel-1029308_960_720. In: Pixabay [online]. Germany [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: https://cdn.pixabay.com/photo/2015/11/06/15/56/pinwheel-1029308_960_720.jpg
- [23] Wind Turbine Power Coefficient (Cp). FT Exploring: Science and technology [online]. 2001 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.ftexploring.com/wind-energy/wind-power-coefficient.htm>
- [24] Betz Limit. Reauk [online]. 2006 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.reuk.co.uk/wordpress/wind/betz-limit/>
- [25] Vzduch. Converter [online]. 2002 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/vzduch.htm>
- [26] E-44. ENERCON product overview [online]. 1. Germany, 2016, <http://www.enercon.de/fileadmin/Redakteur/Medien-P> [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.enercon.de/en/home/>
- [27] Calculated power curve: ENERCON E-44. In: Enercon: Energy for the world [online]. Germany [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.enercon.de/en/products/ep-1/e-44/>
- [28] Fungování větrných elektráren. ČEZ [online]. Praha [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/vitr/flash-model-jak-funguje-vetrna-elektrarna.html>
- [29] Data. In: Weatherdata [online]. [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://weatherdata.voves.org/data.csv>