

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Software pro predikci větrných ramp z atmosférického tlaku
Bc. Roman Růžička

Diplomová práce
2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Roman Růžička**
Osobní číslo: **I17220**
Studijní program: **N2646 Informační technologie**
Studijní obor: **Informační technologie**
Název tématu: **Software pro predikci větrných ramp z atmosférického tlaku**
Zadávací katedra: **Katedra softwarových technologií**

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

V teoretické části budou popsány větrné elektrárny a další zdroje obnovitelné energie. Důležitou částí bude popis metod pro předpověď výkonu větrné elektrárny a definice větrných ramp. Cílem praktické části je tvorba softwaru, který pomocí statistické analýzy dat atmosférického tlaku a výkonu vyčíslí pravděpodobnost budoucího větrného nárazu. Výsledky budou validovány na reálných datech a porovnány s existujícími metodami detekce větrných ramp.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: 50-60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

BOYLE, Godfrey, Renewable energy 2nd ed. New York: Oxford University Press in association with the Open University, 2004. ISBN 9780199261789

JENKINS, Nicholas a Janaka EKANAYAKE, Renewable energy engineering, Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2017. ISBN 9781107680227

LETCHER, T. M. Wind energy engineering: a handbook for onshore and offshore wind turbines, San Diego: Academic Press, an imprint of Elsevier, 2017, ISBN 9780128094518

VOLKER, Quaschnig, Obnovitelné zdroje energií 1. Praha: Grada Publishing, 2010, ISBN 978-80-247-3250-3

MASTNÝ, Petr, Obnovitelné zdroje elektrické energie, Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2

PIEGORSCH, Walter W. Statistical data analytics: foundations for data mining, informatics, and knowledge discovery, Chichester, West Sussex, UK: John Wiley & Sons, 2015. ISBN 9781119030669

HEBÁK, Petr, Statistické myšlení a nástroje analýzy dat 2. vydání. Praha: Informatorium, 2015, ISBN 978-80-7333-118-4


Vedoucí diplomové práce:

Mgr. Jana Heckenbergerová, Ph.D.

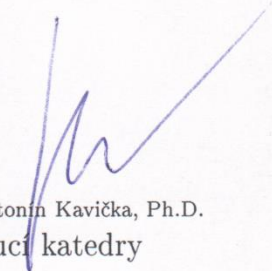
Ústav matematiky a kvantitativních metod

Datum zadání diplomové práce: **22. října 2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **18. května 2019**


Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
děkan




prof. Ing. Antonín Kavička, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 17. listopadu 2018

Prohlašuji:

Tuto práci jsem 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.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 23. 8. 2019

Roman Růžička

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucí této diplomové práce Mgr. Janě Heckenbergerové Ph.D. za cenné rady, připomínky a vstřícný přístup při zpracování této práce.

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá tvorbou softwaru, který pomocí statistické analýzy dat atmosférického tlaku a výkonu vyčíslí pravděpodobnost náhle změny ve výrobě elektrické energie větrné elektrárny. V práci jsou popsány vlastnosti a rozdělení větrných elektráren a elektráren pracujících s dalšími obnovitelnými zdroji energie. Práce dále obsahuje popis a definici pojmu větrná rampa a seznamuje se způsobem použití analýzy hlavních komponent.

KLÍČOVÁ SLOVA

Atmosférický tlak, vítr, rampa, energie, elektrárna, analýza, komponenta, obnovitelný zdroj.

TITLE

Software for wind ramps predictions from atmospheric pressure.

ANNOTATION

The diploma thesis deals with the creation of software which, use statistical analysis of atmospheric pressure and power to quantifies the probability of a sudden change in wind plant power production. The work describes the characteristics and distribution of wind power plants and power plants working with other renewable energy sources. The thesis also contains a description and definition of the wind ramp and introduces the method of using principal component analysis.

KEYWORDS

Atmospheric pressure, wind, ramp, energy, power plant, analysis, component, renewable resource.

OBSAH

Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	11
Seznam zkratk	12
Úvod	13
1 Obnovitelné zdroje	14
1.1 Elektrárny na biomasu	14
1.1.1 Fungování elektrárny na biomasu.....	15
1.1.2 Rozdělení elektráren na biomasu.....	15
1.1.3 Výhody a nevýhody elektráren na biomasu.....	16
1.2 Geotermální elektrárny	16
1.2.1 Fungování geotermální elektrárny	17
1.2.2 Rozdělení geotermálních elektráren	17
1.2.3 Výhody a nevýhody geotermálních elektráren	18
1.3 Solární elektrárny.....	19
1.3.1 Tepelné elektrárny	19
1.3.2 Fotovoltaické elektrárny	19
1.3.3 Fungování fotovoltaické elektrárny	20
1.3.4 Rozdělení fotovoltaických elektráren	20
1.3.5 Výhody a nevýhody solárních elektráren	21
1.4 Vodní elektrárny	22
1.4.1 Fungování vodní elektrárny	22
1.4.2 Rozdělení vodních elektráren	22
1.4.3 Výhody a nevýhody vodních elektráren	24
1.5 Větrné elektrárny	25
1.5.1 Vítr	25
1.5.2 Výkon větru	26
1.5.3 Fungování větrné elektrárny	27
1.5.4 Výkon větrné elektrárny	27
1.5.5 Dělení větrných elektráren.....	27
1.5.6 Výhody a nevýhody větrných elektráren	29

2	Větrná rampa	30
2.1	Definice větrné rampy	30
2.2	Charakteristiky větrných ramp.....	30
2.3	Rovnice větrných ramp	32
2.3.1	První rovnice pro detekci větrných ramp.....	32
2.3.2	Druhá rovnice pro detekci větrných ramp	33
2.3.3	Třetí rovnice pro detekci větrných ramp.....	33
2.4	Vlivy větrných ramp	33
3	Analýza hlavních komponent	34
3.1	Aritmetický průměr.....	34
3.2	Kovariance	34
3.3	Vlastní vektory a vlastní čísla	35
3.4	Analýza hlavních komponent	36
3.4.1	Data	37
3.4.2	Odečet průměru.....	38
3.4.3	Vytvoření kovarianční matice.....	38
3.4.4	Výpočet vlastních hodnot a vektorů	38
3.4.5	Výběr hlavních komponent.....	39
3.4.6	Odvození nového souboru dat	39
4	Aplikace	41
4.1	Požadavky na aplikaci	41
4.2	Volba programovacího jazyka	41
4.2.1	FXML	42
4.2.2	Controller	42
4.3	Použité nástroje.....	43
4.4	Rozdělení aplikace	43
4.4.1	Balíčky aplikace.....	44
4.4.2	Externí knihovny.....	46
5	Implementace Aplikace	47
5.1	Main	47

5.2	Menu a nabídkové plochy	48
5.3	Modul načítání dat	48
5.3.1	Metoda loadFileSample	48
5.3.2	Metoda applyChanges.....	49
5.4	Modul větrných elektráren.....	51
5.4.1	Třída WindPlant.....	51
5.4.2	Třída PowersRecordsList.....	51
5.5	Modul větrných ramp.....	52
5.5.1	Třída WindRampManager	53
5.6	Modul PCA	54
5.6.1	Třída PCAWindRampMatrix3D.....	54
5.6.2	Třída PCAWindRampTable3D.....	55
5.6.3	Třída PCAWindRampRation	55
5.6.4	Metoda analýze	56
6	Fungování aplikace	58
6.1	Otevření aplikace	58
6.2	Datová část.....	59
6.2.1	Modul load file.....	59
6.2.2	Modul wind plant.....	60
6.2.3	Modul wind ramp.....	62
6.2.4	Modul summary	62
6.3	Analytická část.....	63
6.3.1	Modul wind ramp.....	64
6.3.2	Modul PCA	65
7	Výsledky aplikace	66
7.1	Detekce větrných ramp	66
7.2	Predikce větrných ramp	68
	Závěr	71
	Použitá literatura	72

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Ukázka grafu se stoupajícími a klesajícími větrnými rampami [zdroj: autor]	31
Obrázek 2 - Rozdělení aplikace APWRA do balíčků [zdroj: autor]	45
Obrázek 3 - Úvodní okno aplikace [zdroj: autor]	58
Obrázek 4 - Datová nabídková plocha [zdroj: autor]	59
Obrázek 5 - Načítání meteorologických dat [zdroj: autor]	60
Obrázek 6 - Editor větrných elektráren [zdroj: autor]	61
Obrázek 7 - Modul pro nastavení parametrů větrných ramp [zdroj: autor]	62
Obrázek 8 - Modul souhrnu [zdroj: autor]	63
Obrázek 9 - Analytická nabídková plocha [zdroj: autor]	63
Obrázek 10 - Modul detekce větrných ramp [zdroj: autor]	64
Obrázek 11 - Modul predikce a analýzy hlavních komponent [zdroj: autor]	65
Obrázek 12 - Detekce větrných ramp Vestas V90 [zdroj: autor]	66
Obrázek 13 - Detekce větrných ramp Enercon E-82 [zdroj: autor]	67
Obrázek 14 - Detekce ramp Enercon E-82 po úpravě parametrů [zdroj: autor]	68

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Ukázka použitých dat [21].....	37
Tabulka 2 - Data po odečtu od průměru [zdroj: autor]	38
Tabulka 3 - Výsledná matice ukázkových dat [zdroj: autor]	40
Tabulka 4 - Informace o počtu větrných ramp [zdroj: autor].....	69
Tabulka 5 - Informace o predikci větrných ramp [zdroj: autor]	69

SEZNAM ZKRATEK

PCA	Principal Component Analysis
APWRA	Atmospheric Pressure Wind Ramp Analysis
CSV	Comma Separated Values
XML	eXtensible Markup Language
CSS	Cascading Style Sheets
JRE	Java Runtime Environment
JAR	Java Archive
PNG	Portable Network Graphics
JPEG	Joint Photographic Experts Group

ÚVOD

Globální oteplování a šetrné energetické zdroje, to jsou témata, která jsou v současné době ve společnosti hojně skloňována. Prudké a náhlé změny počasí a zvyšování teplot nutí lidstvo se nad sebou zamyslet a hledat nové nebo vylepšovat stávající energetické zdroje tak, aby byly co nejšetrnější k životnímu prostředí a zároveň dosahovaly vysoké účinnosti a výkonnosti.

Jedním z těchto šetrných zdrojů jsou větrné elektrárny. Lidé v těchto elektrárnách vidí energetickou budoucnost, a ačkoliv mají řadu výhod jako je například poměrně vysoká účinnost mezi obnovitelnými zdroji energie, tak ale naopak jejich nevýhodou je jejich energetická nestálost a náhlost změn v energetické produkci. Těmito náhlými změnami produkce energie a jejich předpovídáním se zabývá tato diplomová práce.

První kapitola teoretické části této diplomové práce se zabývá elektrárnami využívající obnovitelné zdroje energie, kde každá z těchto elektráren tvoří samostatnou podkapitulu. Každá tato podkapitola pak obsahuje stručný úvod s popisem obnovitelného zdroje a konstrukce samotné elektrárny, na kterou následuje část vysvětlující způsob jejího fungování. Dále se pak ještě v podkapitole nachází dělení elektráren podle jejich vlastností a v samotném závěru jsou zmíněny jejich výhody a nevýhody. Výjimku pak tvoří větrné elektrárny, které jsou rozšířeny o důležité matematické rovnice.

V druhé kapitole je popsán a definován základní pojem této diplomové práce, kterým je větrná rampa. V této kapitole jsou popsány základní charakteristiky, kterými se větrná rampa vyznačuje. Dále se zde nacházejí vybrané rovnice, které se používají pro jejich detekci. V závěru této kapitoly jsou pak popsány vlivy, které mají větrné rampy na větrnou elektrárnu.

Třetí a poslední kapitola teoretické části obsahuje popis a vysvětlení statistické metody analýzy hlavních komponent (PCA). V této kapitole jsou obsaženy základní matematické techniky pro její vypočítání a v samotném závěru se zde pak nachází jednoduchá ukázka jejího výpočtu.

Praktická část diplomové práce se zabývá vývojem a implementací aplikace, která na základě zadaných dat bude schopna z atmosférického tlaku vzduchu provést detekci a predikci větrných ramp. K vytvořené aplikaci se pak v písemné práci vztahují kapitoly čtyři, pět a šest, které obsahují informace o struktuře aplikace, použitých externích balíčcích, funkčnosti a implementaci důležitých částí a fungování aplikace z pohledu uživatele.

V poslední sedmé kapitole se nachází souhrnné výsledky získané z vytvořené aplikace, na jejichž základě je možné stanovit závěry ohledně detekce a predikce větrných ramp.

1 OBNOVITELNÉ ZDROJE

Člověk se od pradávna snaží získat energii z různých zdrojů. V současnosti se staly jeho hlavními energetickými zdroji neobnovitelné zdroje energie jako jsou např. uhlí, ropa, zemní plyn a energie jádra. Většina z těchto zdrojů energie má dopad na změny klimatu, které se začínají projevovat prudkými změnami počasí, zvyšováním hladiny moří, vymíráním některých druhů fauny a flóry a dalšími jevy, které mají nebo budou mít dopad na lidstvo. Neméně důležitým a podstatným faktem je to, že tyto zdroje energie ubývají a rychlost úbytku se čím dál více zrychluje, a proto je třeba hledat nové zdroje nebo se lépe naučit využívat stávající obnovitelné zdroje energie.

Obnovitelné zdroje jsou definovány jako: „*Obnovitelné přírodní zdroje, které mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka* [1].“ Obnovitelné zdroje jsou tedy zdroje, které se obnovují nebo je lze nechat obnovit a tím se pro lidstvo stávají nevyčerpatelným zdrojem energie. Nejdůležitější energií, která se získává z obnovitelných zdrojů je energie elektrická. Její důležitost čím dál více vzrůstá, a to vzhledem ke zvyšujícímu se počtu elektronických zařízení, které lidstvo využívá. Pro získání elektrické energie z obnovitelných zdrojů se používají různé druhy elektráren jako:

- elektrárny na biomasu,
- geotermální elektrárny,
- vodní elektrárny,
- solární elektrárny
- a větrné elektrárny.

Výhodou těchto elektráren je, že jsou šetrnější k životnímu prostředí a pracují se zdroji, které jsou pro ně nevyčerpatelné. Jejich nevýhodou je malý výkon, nízká účinnost nebo nestálost výroby elektrické energie způsobená změnou meteorologických podmínek. Do budoucna je pro tyto elektrárny důležité zvyšování jejich účinnosti a výkonu, a aby k tomu mohlo dojít je zapotřebí znát objevené technologie a pochopit to jakým způsobem fungují.

1.1 Elektrárny na biomasu

Biomasa je zdrojem energie, která se získává z odpadů rostlinného nebo živočišného původu anebo z rostlin speciálně pěstovaných pro energetické účely. Příkladem materiálu pro biomasu mohou být piliny, hobliny, kůra, obilná a řepková sláma, kejda, chlévská mrva, různé druhy zbytků krmiv, průmyslové a komunální odpady rostlinného původu apod. Biomasa nemusí být

ihned energeticky zpracována a může tak sloužit jako uložení energie. Používá se pro vytápění budov, ohřev vody, výrobu biopaliv nebo pro výrobu elektrické energie. [2], [3]

Pro výrobu elektrické energie se nejběžněji používají dva druhy elektráren. Ty se mezi sebou liší technologií a použitím rozdílného druhu paliva, které se získává přeměnou biomasy. [3]

Jedním z těchto druhů paliv jsou suché hmoty. Pro získání energie ze suchých hmot se používají speciální kotle, které jsou veliké a jinak prostorově a technicky řešené na rozdíl od běžných kotlů na fosilní paliva. Pro vytvoření elektrické energie se pak používá okruh s kapalným médiem, který obsahuje turbínu s generátorem. [2] [4]

Druhým používaným palivem pro elektrárny na biomasu je bioplyn, kde se pro získání energie používají plynové nebo teplovzdušné motory, které jsou pomocí hřídele připojeny na generátor. [5]

1.1.1 Fungování elektrárny na biomasu

Funkčnost elektráren na biomasu se liší v závislosti na druhu použitého paliva vytvořeného z biomasy. Jedním způsobem výroby elektrické energie je spalování suché hmoty. Ta se spaluje v kotli, kde vlivem spalování vzniká teplo. Toto teplo se předává teplonosnému médiu, které se z kapaliny mění na páru. Vytvořená pára následně roztáčí turbínu, ke které je pomocí hřídele připojen generátor. V generátoru se pak vytváří elektrický proud, který se posílá na transformátor, kde dochází k transformování elektrického proudu. Ten se následně posílá do distribuční sítě. [4]

Druhým způsobem výroby elektrické energie je spalování bioplynu. Hlavní rozdíl mezi spalováním suché hmoty a bioplynu je kromě způsobu přípravy paliva z biomasy, že pro spalování bioplynu se používají plynové nebo teplovzdušné motory, které jsou připojené přímo ke generátoru. Ten pak vytváří elektrickou energii, která se dále posílá přes transformátor do distribuční sítě. [2] [5]

1.1.2 Rozdělení elektráren na biomasu

Elektrárny na biomasu lze dělit podle paliva, které spalují na:

- **Elektrárny spalující uhlí spolu s biomasou** – pro výrobu elektrické energie se k uhlí přidává biomasa. Je to nejjednodušší a nejlevnější řešení spalování biomasy, pro které platí jistá omezení přípustného poměru mezi uhlím a biomasou. [2]
- **Elektrárny spalující čistou biomasu** – pro výrobu elektrické energie se používá čistá biomasa. Ta pro své spalování potřebuje speciální kotle, které jsou dražší než kotle pro

spalování fosilních paliv. Výkon těchto elektráren je menší než u elektráren spalujících uhlí s biomasou dohromady. [2]

- **Bioplynové elektrárny** – pro výrobu elektrické energie se používá plyn vytvořený z biomasy. [2]

1.1.3 Výhody a nevýhody elektráren na biomasu

Výhody využití biomasy pro výrobu elektrické energie jsou:

- obnovitelný zdroj energie,
- nízké emise (při spalování bez uhlí),
- zpracování přírodních odpadů
- a nezávislost na počasí a denní či roční době. [6]

Naopak nevýhodou použití biomasy je:

- nízká účinnost,
- vysoké emise (při spalování s uhlím),
- velká spotřeba paliva
- a delší doba přípravy (zplyňování, sušení). [6]

1.2 Geotermální elektrárny

Geotermální energie je energie, která se získává z nitra Země. Tato energie se v zemském jádře vytvořila zhruba před 4,5 miliardami let vlivem formováním Země. V zemském jádře se teplo neustále vytváří, a to díky rozpadu radioaktivních izotopů. Geotermální energie je stálá energie, která se nemění vlivem změn počasí. Pro získání geotermální energie je důležité znát geotermální energetická místa. To jsou místa, ze kterých je možné čerpat energii, a to při přiměřených nákladech. [2]

Pro vyrábění elektrické energie z geotermálních zdrojů používáme tzv. geotermální elektrárny. Celou elektrárnu lze rozdělit do dvou částí, a to na podzemní a nadzemní část. Podzemní část obsahuje produkční a případně ještě injekční vrty. Produkční vrty se používají pro získání tepla v podobě páry. Injekční vrty se používají pro vhánění vody, a to v případě, že chybí spodní voda, která by zastala funkci injekčního vrtu. [2]

V nadzemní části se nachází samotná budova elektrárny. Ta může obsahovat výměník, což je zařízení, které slouží k předání tepla a používá se v případě, kdy elektrárna je rozdělena do dvou případně tří okruhu. Další důležitou součástí je kondenzátor, který slouží ke

zkondenzování vodní páry na vodu. Pro výrobu samotné elektřiny se pak používají zařízení jako jsou turbíny, generátory a transformátory. [2]

1.2.1 Fungování geotermální elektrárny

Geotermální elektrárna funguje tak, že se nejprve do teplé horniny dostane kapalná voda, kterou je možné získat ze spodních vod nebo vhnáním pomocí injekčního vrtu. V teplé hornině dochází k vypařování vody, která se na povrch dostane ve formě páry. Ta se dále posílá přímo na turbínu nebo do výměníku. Ve výměníku se energie páry předá na médium, které má nízký bod varu a nachází se v odděleném okruhu. Vodní pára nebo pára média se pak posílá na turbínu, která se vlivem proudění vodní páry roztočí. K turbíně je připojen pomocí hřídele generátor, který se roztáčí spolu s parní turbínou a generuje proud. Ten se dále posílá na transformátor odkud odchází do rozvodné elektrické sítě. [2]

1.2.2 Rozdělení geotermálních elektráren

Geotermální elektrárny lze rozdělit do různých skupin v závislosti na přírodních podmínkách nebo technických postupech.

Dělení podle použitého geotermálního zdroje

Podle zdroje lze geotermální energie dělit na:

- hydrotermální,
- teplé suché horniny,
- geotlaké
- a magmatické. [2]

Nejvyužívanějším zdrojem geotermální energie je hydrotermální zdroj, který k povrchu dostává teplou páru vytvořenou z podzemní vody. Teplé suché horniny (hot dry rock neboli HDR) je další způsob, jak získat geotermální energii. Tento způsob nevyužívá spodní vody, ale injekčního vrtu, kterým je k teplé hornině voda přiváděna. Geotlaké a magmatické zdroje jsou zdroje geotermální energie, pro které je využití otázkou budoucnosti. [2]

Dělení podle teploty zdroje

Podle teploty lze zdroje pro elektrárny dělit na:

- **nízkoteplotní zdroje** – jsou zdroje, které dosahují teplot maximálně do 150 °C,
- **středně teplotní zdroje** – jsou zdroje, které mají teploty od 150 °C do 200 °C,

- **vysokoteplotní zdroje** – jsou teplotní zdroje, které dosahují teplot vyšších jak 200 °C. [5]

Dělení podle vstupu páry na turbínu

Geotermální elektrárny lze dělit podle způsobu odkud vodní pára vstupuje na turbínu na:

- **Elektrárny na suchou páru** – používají se pro zdroje, které dosahují vysokých teplot. Pro pohon turbíny se používá pára přímo z podzemí. [7]
- **Elektrárny na mokrou páru** – používají se pro zdroje, kde teplota je vyšší než 160 °C. Pro pohon turbíny se používá mokrá pára, kterou je nejprve nutné separovat v separátoru na páru a mineralizovanou vodu. [7]
- **Binární elektrárny** – používají se pro zdroje, které dosahují malých teplot. Pára v těchto elektrárnách ohřívá médium s nízkým bodem varu, a tak snadněji vytváří páru i při nízkých teplotách. Pro pohon turbíny se pak používá pára média. [7]

Dělení podle použitého cyklu

Geotermální binární elektrárny používají pro výrobu elektrické energie tzv. cyklus. Slovo cyklus v souvislosti s geotermálními elektrárnami vyjadřuje proces, kdy speciální kapalně médium se vlivem vnější teploty přemění na páru, která roztočí turbínu a následně se pára pomocí kondenzátoru přemění zpět v kapalinu, která se vlivem ohřátí přeměňuje zase na páru a takto to jde celé dokola. [2]

Geotermální binární elektrárny mohou pro výrobu elektřiny používat různé druhy cyklů:

- **Rankinův cyklus** – je to cyklus, kde médium je složeno z organických látek a jeho účinnost je okolo 10 %.
- **Kalininův cyklus** – je to cyklus, kde médium používá směs vody a čpavku a jeho účinnost dosahuje 15 %. [2]

1.2.3 Výhody a nevýhody geotermálních elektráren

Výhodou geotermálních elektráren je:

- používají obnovitelný zdroj energie,
- stabilní zdroj nezávislý na počasí,
- decentralizovaný zdroj,
- rovnoměrné rozmístění,
- mohou pracovat po celý rok

- a jsou regulovatelné. [2]

Mezi nevýhody geotermálních elektráren patří:

- investiční náklady,
- možné riziko zemětřesení při tvorbě vrtů
- a obtížné hledání vhodné lokality pro výstavbu. [7]

1.3 Solární elektrárny

Pro získání elektrické energie ze slunce se používají stavby, které nazýváme solární elektrárny. Tyto stavby nacházejí největší uplatnění na místech s největším slunečním zářením, kde není přístup k elektrické energii a zbudování a následná údržba jiného zdroje elektrické energie by byla finančně nevýhodná. Solární elektrárny lze rozdělit do dvou základních typů, a to na fotovoltaické elektrárny a na tepelné (koncentrační) elektrárny. [5] [8]

1.3.1 Tepelné elektrárny

Tepelná elektrárna je jeden z možných, ale méně používaných způsobů přeměny slunečního záření na elektrickou energii. Elektrárna se skládá z několika důležitých částí jako je soustava zrcadel, absorbér, tepelný výměník, turbína a generátor. [5] [8]

Tepelná elektrárna funguje tak, že na soustavu zrcadel dopadají sluneční paprsky. Ty se od zrcadel odráží do jednoho místa, které se nazývá absorbér. Absorbér v sobě pomocí slunečních paprsků ohřeje na vysokou teplotu kapalnou médium, a to se dále posílá do výměníku. Ve výměníku dojde k ohřátí vody a přeměně na vodní páru. Pára následně roztočí parní turbínu, která pomocí hřídele roztočí generátor a ten vytváří elektrickou energii. [5]

Výhodou tohoto druhu solárních elektráren je, že jsou schopné udržet stabilní výkon i za měnící se oblačnosti anebo si udržet výkon i několik hodin po západu slunce. Nevýhodou pak je nutnost výstavby elektrárny v pouštních oblastech, odkud se energie dostává ke spotřebiteli s velkými ztrátami. [5]

1.3.2 Fotovoltaické elektrárny

Dalším druhem solárních elektráren jsou fotovoltaické elektrárny, které používají pro výrobu elektrické energie fotovoltaické panely. Tyto panely je možné použít pro vlastní spotřebu na střechách jednotlivých budov jako jsou domácnosti, obchody, továrny nebo se používají pro elektrickou síť v podobě fotovoltaické elektrárny. [8]

Fotovoltaická elektrárna se skládá z několika částí, kde nejdůležitější jsou fotovoltaické panely. Ty se skládají z menších fotovoltaických článků, které se spojují sériově a paralelně dohromady, a tak vytváří celý panel. Dále elektrárna potřebuje pro svůj chod součásti, jako regulátory nebo MTTP měniče, střídače, jističe a transformátory. [8]

1.3.3 Fungování fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaická elektrárna funguje na základě fotovoltaického jevu, který byl pozorován roku 1839 francouzským fyzikem Alexandrem Edmondem Becquerelem [5]. Tento jev vzniká na fotovoltaickém neboli solárním článku, kde celý článek funguje jako polovodičová dioda, která při dopadu fotonů uvolňuje elektrony a ty vytváří elektrický proud. [2] [8]

Celá elektrárna pak funguje tak, že při dopadu světla na fotovoltaický panel se vytváří stejnosměrný elektrický proud. Ten se v závislosti na oblačnosti, a tedy výkyvech výkonu dále reguluje pomocí regulátoru nebo MTTP měniče. Aby mohla být elektrina použita pro elektrickou síť je potřeba pomocí střídače vytvořit ze stejnosměrného proudu proud střídavý. Tento proud se posílá na transformátor odkud dále putuje do rozvodné elektrické sítě. [8]

1.3.4 Rozdělení fotovoltaických elektráren

Solární elektrárny lze dělit do kategorií podle jejich použití nebo používaných technologií.

Dělení podle technologie fotovoltaických článků

Fotovoltaické články se dělí do tří kategorií a to na:

- **Technologie tlustých vrstev** – nejpoužívanější technologie pro výrobu solárního článku, pro který se používá monokrystalický nebo polykrystalický křemík. [5]
- **Technologie tenkých vrstev** – méně účinná technologická varianta solárního článku oproti technologii tlustých vrstev, která je ale levnější, a to díky použití tenké vrstvy křemíku. [5]
- **Nekřemíkové technologie** – používají organické sloučeniny nebo polymery místo technologie založené na PN přechodu. Nekřemíková technologie je ve stádiu vývoje. [5]

Dělení podle generace fotovoltaických článků

Dále lze fotovoltaické články dělit podle generace:

- **První generace** – generace fotovoltaických článků využívající křemíkových desek. Účinnost této generace článků je vysoká a to okolo 24 %, ale zároveň je také drahá na výrobu. [5] [9]

- **Druhá generace** – generace, která se zaměřuje na snížení nákladů na výrobu fotovoltaických článků. Na výrobu se používají tenké vrstvy křemíku s různými druhy příměsí jako Germania nebo uhlíku. Případně se používají různé slitiny jako slitina mědi, india a selenu. Díky tomu jsou panely lehčí, levnější, ale mají zhruba o 10 % nižší účinnost. [5] [9]
- **Třetí generace** – generace článků, která je ve výzkumném stádiu. Hlavním cílem této generace článků je v maximální možné míře využít energie a počtu přijatých fotonů. Příkladem mohou být vícevrstvé články, kde každá vrstva je určena pro různé vlnové délky slunečního světla nebo použití nové sloučeniny jako je perovskit, který je levný na výrobu a v podobě solárního článku dosahuje účinnosti okolo 23 % [10]. [5] [9]

Dělení elektráren podle použití

Fotovoltaické systémy neboli elektrárny lze dělit podle způsobu použití na:

- **Systémy s přímým napájením** – systémy, které poskytují elektrický proud pouze po dobu slunečního záření. Používají se pro přímé propojení se zařízením jako jsou vodní čerpadla, nabíječe malých akumulátorů apod. [2]
- **Systémy s akumulací elektrické energie** – systémy, které uchovávají elektrickou energii v bateriích a je tak možné je použít i při nedostatku slunečního záření. Tyto systémy se používají pro napájení chat, domácností, dopravních signalizací apod. [2]
- **Hybridní ostrovní systémy** – systémy, které používají ke kompenzaci energetické ztráty další zdroje energie. Používají se pro celoroční provoz se značným zatížením. Tento systém nachází uplatnění při napájení budov. [2]
- **Síťové fotovoltaické systémy** – systémy, které fungují zcela automaticky a jsou přímo připojené k elektrické síti. Tento systém se používá pro střechy administrativních budov nebo pro samostatné fotovoltaické elektrárny na volné ploše. [2]

1.3.5 Výhody a nevýhody solárních elektráren

Solární elektrárny mají v závislosti na způsobu získávání elektrické energie své výhody a nevýhody.

Obecně mezi výhody solárních elektráren patří:

- použití obnovitelného zdroje energie,
- provoz bez emisí a škodlivých látek,
- provoz bez hluku

- a provoz bez nebo jen s minimální obsluhou. [8]

Jejich nevýhodami je:

- nestabilita zdroje energie,
- malá účinnost přeměny energie,
- vysoké investiční náklady
- a nízká životnost. [8]

1.4 Vodní elektrárny

Pro získání elektrické energie z vodního zdroje se používají stavby, kterým se říká vodní elektrárny. Jsou to stavby, které se většinou nachází na říčních tocích a lze je rozdělit do dvou důležitých částí. Jednou z těchto částí je jez nebo přehrada, která slouží ke zvednutí hladiny před vodní elektrárnou. Jezy a přehrady bývají vybaveny dalšími prvky jako jsou splavné kanály nebo komory pro lodní dopravu nebo mohou být vybaveny tzv. rybími přechody pro zajištění migrace některých druhů ryb [11]. Druhou částí, která je pro vodní elektrárnu důležitá je samotná elektrárna. Ta se může nacházet za přehradou nebo být zabudovaná přímo v ní. V samotné elektrárně se pak nachází turbína s generátorem, který se používá pro výrobu elektrické energie. [2] [12]

1.4.1 Fungování vodní elektrárny

Fungování vodní elektrárny probíhá tak, že nejprve k elektrárně přiteče voda, která je zadržena jezem nebo přehradou. Voda dále protéká přes česla, která zachytí případné ryby a různé nečistoty. Po odfiltrování se voda dostává do přívodního kanálu, kde dochází k roztočení turbíny. Turbína pomocí hřídele předá svou pohybovou energii generátoru, který elektromagnetickou indukci vytváří elektrickou energii. Ta je následně předána na transformátor, který ji transformuje do rozvodné sítě. [11] [13]

1.4.2 Rozdělení vodních elektráren

Vodní elektrárny lze rozdělit do několika skupin podle různých parametrů, které závisí na vlastnostech toku jako je například jeho výška a umístění v krajině anebo jeho velikost.

Dělení podle výkonu

Jedním z možných rozdělení vodních elektráren je podle jejich výkonu:

- **Velké elektrárny** – výkon je od 100 MW výše.
- **Střední elektrárny** – výkon je do 100 MW.
- **Malé elektrárny** – výkon nepřesahuje hodnoty 10 MW. [2]

Malé vodní elektrárny se ještě dále mohou dělit na malé vodní elektrárny pro průmysl a závody, které mají výkon do 1MW a dále ještě na drobné, mikro zdroje a mobilní jejichž výkon je v řádu kW. [2]

Dělení podle spádu

Podle výškového rozdílu hladin tedy spádu lze vodní elektrárny dělit do tří skupin:

- **Vysokotlaké** – výškový rozdíl hladin je nad 100 m.
- **Středotlaké** – výškový rozdíl je od 20 do 100 m.
- **Nízkotlaké** – výškový rozdíl hladin je do 20 m. [12]

Dělení podle použití

Vodní elektrárny lze dělit podle místa a způsobu použití:

- **Průtočné elektrárny** – staví se na říčních tocích, na kterých nelze tok řeky regulovat. V případě, že přijde větší množství vody, než je vodní turbína schopna pojmout je tato vodní energie propuštěna bez využití. [2] [12]
- **Derivační elektrárny** – nachází se mimo hlavní říční tok. Je pro ně zbudován umělý kanál nebo potrubí, které je na řece vytvořeno tak, aby spojovalo nejkratší části řeky a tím se zvýšil průtok vody. Voda po protečení elektrárnou je navracena zpět do říčního toku. [2] [12]
- **Akumulační elektrárny** – využívají ke svému chodu vodu, která se hromadí ve vodní nádrži. Voda z nádrže se skrz elektrárnu propouští hlavně ve chvílích, kdy je nedostatek elektrické energie v elektrické síti a tím tak pokrývají špičkové zatížení. Dále se tento druh elektrárny používá jako ochrana před povodněmi nebo zdroj pitné vody. [2] [12]
- **Přečerpávací elektrárny** – jsou vodní elektrárny, které pro svou funkci používají dvě vodní nádrže, kde jedna z nádrží je postavena výše než ta druhá. Přečerpávací elektrárny fungují na principu přečerpávání vody z těchto dvou nádrží. V případě potřeby elektrické energie dochází k vypuštění horní nádrže a tím i k výrobě elektrické energie. V opačném případě, tedy když je nadbytek elektrické energie, dojde k načerpání vody ze spodní nádrže zpět do horní. Celá elektrárna pak funguje jako takové velké uložení elektrické energie. [2] [12]

Dělení podle turbíny

Turbíny se u vodních elektráren rozdělují na rovnotlaké a přetlakové. Rozdíl mezi těmito dvěma druhy turbín je v působení tlaku vody na turbínu. Tlak vody u rovnotlaké turbíny působí rovnoměrně zatím co u přetlakové turbíny je tlak před turbínou větší než za ní, a tak na turbínu kromě pohybové energie vody působí i její tlak. [2] [12]

Dělení podle technického řešení

Turbíny lze dále dělit podle jejich technického řešení:

- **Francisova turbína** – hodí se pro velké průtoky a spády od 10 do 70 m. Francisovu turbínu lze použít pro přečerpávací elektrárny i jako čerpadlo vody, a to změnou jejího otáčení. [2] [12]
- **Kaplanova turbína** – další z přetlakových turbín, která se hodí pro spády od 1,2 do 50 m. Její výhodou je v možnosti natáčení lopatek. Ty se mohou natáčet podle průtoku vody a tím tak turbína dosahuje vysoké účinnosti. Nevýhodou této turbíny je v konstrukční složitosti. [2] [12]
- **Vírová turbína** – přetlaková turbína, která vznikla v roce 1999 a jejím vynálezcem je prof. František Pochylý [14]. Turbína se používá pro spády od 1 až do 3 m a vyniká svou konstrukční jednoduchostí a vysokou účinností [2] [15].
- **Bankiho turbína** – rovnotlaká turbína, přes kterou voda proudí dvakrát. Jednou při vstupu vody na vodní turbínu a podruhé při výstupu vody z turbíny. Turbína se používá pro spády od 5 do 30 m. [2] [12]
- **Peltonova turbína** – turbína jejíž lopatky jsou miskovitěho tvaru. Tato turbína patří mezi rovnotlaké turbíny a používá se pro spády od 30 do 700 m. [2] [12]

1.4.3 Výhody a nevýhody vodních elektráren

Vodní elektrárny mají své výhody a nevýhody, které závisí na jednotlivých typech elektráren anebo na říčních systémech a charakteru počasí dané země.

Obecně je ale možné říci, že jejich výhodami je:

- použití obnovitelného zdroje energie,
- nízká cena na náklady na údržbu,
- možnost použití jako rezervoáru vodního zdroje
- a možnost použití jako ochrany před povodněmi. [9] [11]

Mezi jejich nevýhody patří:

- velké náklady na výstavbu nové elektrárny,
- nestabilní zdroj energie,
- omezení říčního provozu
- a brání migraci vodních živočišných druhů. [9] [11]

1.5 Větrné elektrárny

Pro výrobu elektrické energie z energie větrné se používají stavby, které se nazývají větrné elektrárny. Samotnou elektrárnu lze rozdělit do 4 částí, a to na základ, stožár, gondolu a rotor. [16]

Základ tvoří podstavu větrné elektrárny, který může mít různé tvary, a to v závislosti na tom, zdali se jedná o elektrárnu postavenou na pevnině (on shore) nebo na moři (off shore). Stožár je část, která se používá pro vyvýšení gondoly a rotoru do vzduchu. Jeho výška se pohybuje zhruba od 40 až do 110 m a nejčastěji je vyráběn z ocele nebo betonu. Gondola tvoří tu nejdůležitější část hned po rotoru. V gondole se nachází strojovna, která obsahuje důležité součásti jako hlavní hřídel, převodovku, generátor, brzdu, různé elektropohony nebo hydraulické okruhy pro natáčení gondoly nebo listů rotoru a atd. Nejdůležitější částí větrné elektrárny je rotor, který se používá pro roztáčení generátoru z energie větru. Rotor se skládá z rotorové hlavy, rotorových listů a hlavní hřídele. Průměr rotoru se pohybuje od 40 do 100 m. [16]

Větrné elektrárny se staví na místech, které mají velký větrný potenciál, přičemž pro výrobu elektrické energie je důležité z hlediska větru jeho rychlost a stabilita. Na takových místech se poté staví vícero elektráren, které dohromady tvoří větrné farmy. [9]

1.5.1 Vítr

Vítr je pohybující se proud vzduchu, který vzniká otáčením Země a nerovnoměrným ohříváním zemského povrchu. Změny teplot na různých místech způsobují změny v hustotě a tlaku vzduchu. Snahou o vyrovnání rozdílů v atmosféře vzniká vítr, který vane z míst s vysokým tlakem vzduchu do míst s nízkým tlakem vzduchu. Na směr a rychlost větru působí členitost zemského povrchu, kde vlivem různých překážek je vzduch nucen překážku přetéct nebo obtéct, a tím tak změnit směr a rychlost větru. [2] [5]

1.5.2 Výkon větru

Pro výpočet výkonu větru se použije rovnice pro výpočet kinetické energie, která představuje pohyb vzduchu:

$$E = \frac{1}{2} m \cdot v^2, \quad (1.1)$$

kde

m – je hmotnost vzduchu [kg],

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

Hmotnost vzduchu se upraví do vzorce pro výpočet hustoty a následně se v něm rozepíše objem na součin plochy A s drahou s :

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot A \cdot s. \quad (1.2)$$

Po rozepsání hmotnosti vypadá rovnice pro výpočet kinetické energie takto:

$$E = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot s \cdot v^2. \quad (1.3)$$

Upravená rovnice pro výpočet kinetické energie vzduchu se dosadí do rovnice pro výpočet výkonu:

$$P = \frac{E}{A \cdot t} = \frac{\frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot s \cdot v^2}{A \cdot t}. \quad (1.4)$$

Následně se v rovnici vykrátí plochy vzduchu A a za veličinu dráhy s a času t se dosadí rovnice pro výpočet rychlosti:

$$v = \frac{s}{t}. \quad (1.5)$$

Výsledná rovnice pro výpočet výkonu větru vypadá takto:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3, \quad (1.6)$$

kde

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

v – je rychlost větru [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]. [9]

1.5.3 Fungování větrné elektrárny

Větrná elektrárna funguje na základě proudícího větru, který při svém proudění působí silou na lopatky a tím dochází k roztočení celého rotoru. Otáčející se rotor působí na hlavní hřídel, která do generátoru může být připojena přímo nebo přes převodovku. Vlivem otáčení hlavní hřídele dochází na generátoru ke generování elektrického proudu, který dále prochází do transformátoru přes usměrňovač a střídač. Z transformátoru je transformovaná elektrická energie odváděna do rozvodné elektrické sítě. [9]

1.5.4 Výkon větrné elektrárny

Výkon větrné elektrárny je závislý na 4 parametrech. Prvním a nejdůležitějším parametrem je rychlost větru, která zásadně ovlivňuje výkon větrné elektrárny. Druhým důležitým parametrem je součinitel výkonnosti, který vyjadřuje množství energie využité z energie větru na turbíně. Hodnota součinitele výkonnosti se s různou rychlostí větru mění a může dosahovat teoretický maximálně hodnoty 0,593. Třetím parametrem je plocha rotoru, kterou vzduch protéká. Čtvrtým a zároveň posledním parametrem, na kterém je výkon větrné elektrárny závislý je hustota vzduchu. Výslednou rovnici pro výpočet výkonu větrné elektrárny vyjadřuje následující vzorec:

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot v^3 \cdot S \cdot C_p, \quad (1.7)$$

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 [m^2],

C_p – je součinitel výkonnosti [-]. [2] [9]

1.5.5 Dělení větrných elektráren

Větrné elektrárny lze dělit podle různých vlastností, kde mezi nejčastější vlastnosti, podle kterých se větrné elektrárny dělí je jejich výkon, konstrukce rotoru a technologie použitá pro regulaci výkonu.

Dělení podle výkonu

Nejdůležitějším parametrem větrných elektráren je jejich výkon, podle kterého je možné větrné elektrárny dělit do tří hlavních kategorií:

- **Malé elektrárny** – maximální průměr vrtule je 16 m a nominální výkon je do 60 kW.
- **Střední elektrárny** – průměr vrtule je od 16 do 45 m a nominální výkon je od 60 do 750 kW.
- **Velké elektrárny** – minimální průměr vrtule je od 45 m a nominální výkon je od 750 kW. [2]

Dělení podle typu motoru

Větrné motory se mezi sebou mohou po technické stránce lišit, a tak je možné je dělit do několika skupin. Prvním možným způsobem dělení je dělení větrných motorů podle osy otáčení na motory horizontální nebo vertikální:

- **Motory s horizontální osou** – jsou to nejvíce používané motory v praxi, které je nutné natáčet kolmo na směr proudícího větru. Tyto motory se vyznačují vysokou účinností a životností. [17]
- **Motory s vertikální osou** – jsou větrné motory, které nejsou v praxi často používány, a to z důvodů vyšší ceny a nižší účinnosti a životnosti. Tyto větrné motory není potřeba natáčet kolmo na směr větru a větrné farmy nepotřebují velký prostor. [17]

Druhým způsobem dělení větrných motorů je dělení podle aerodynamického principu, kde větrné motory lze dělit na motory odporové nebo vztlakové:

- **Odporové motory** – patří mezi nejstarší motory. Fungují na principu aerodynamického odporu, kdy na jedné z lopatek je vytvářen větší odpor vzduchu než na ostatních lopatkách a tím dochází k otáčivému pohybu. Příkladem odporového motoru je Savoniův motor s vertikální osou otáčení. [9]
- **Vztlakové motory** – jsou motory, které fungují na principu aerodynamického vztlaku, kdy na všech listech rotoru vzniká vztlaková síla, která roztáčí větrný motor [16]. Vztlakové motory se nejčastěji vyskytují v podobě třílisté vrtule s horizontální osou otáčení nebo méně často v podobě Darrieusových motorů s vertikální osou otáčení [9].

Dělení podle regulace výkonu

Větrné elektrárny je možné dělit podle způsobu regulace výkonu, který je potřeba regulovat při vyšších hodnotách tak, aby nedošlo k poškození generátoru a zároveň bylo možné generovat

nominální výkon. Regulace výkonu se provádí pomocí listů rotoru a dělí se do tří důležitých skupin:

- **Regulace stall** – je regulace, která se vyznačuje napevno přidělanými listy k rotoru. Regulace probíhá tak, že při překročení nominálního výkonu dojde na konci listů k elastické změně geometrie, která má za následek odtržení proudu vzduchu, a to vede ke snížení výkonu. [9]
- **Regulace pitch** – je způsob regulace výkonu, který funguje tak, že při překročení nominálního výkonu dojde k natočení lopatek po směru větru a tím ke snížení vztlakové síly a výkonu. Při nízkých rychlostech větru se lopatky zase natáčí zpět. Hlavními výhodami je pak aktivní kontrola regulace při všech rychlostech větru, snížení zátěže na brzdy a lopatky a jednodušší start rotoru [2]. [9]
- **Regulace active stall** – je regulace, která je podobná regulaci pitch s tím rozdílem, že lopatky se nenatácejí po směru větru, ale proti větru a tím pak dochází na lopatkách k odtržení proudu vzduchu podobně jako u regulace stall. Proto je tento způsob pojmenován jako active stall [2]. Výhodou této regulace je na rozdíl od regulace stall mnohem přesnější regulace výkonu a výhodou na rozdíl od regulace pitch je menší citlivost na znečištění povrchu náběžných hran listů [2]. [9]

1.5.6 Výhody a nevýhody větrných elektráren

Větrné elektrárny jako zdroje obnovitelné energie mají své výhody a nevýhody. Výhody se hlavně nacházejí v oblasti energetické produkce a ochranně ovzduší. Nevýhody se pak projevují v oblasti životního prostředí, které se vlivem technologického vývoje postupně zmenšují.

Mezi výhody patří:

- použití obnovitelného zdroje energie,
- provoz bez emisí a bez škodlivých látek
- a použití malé stavební plochy.

Nevýhodami jsou:

- nestabilita zdroje energie (větru),
- narušení krajinného rázu
- a kolize s polétavými živočichy (ptáci, netopýři). [11]

2 VĚTRNÁ RAMPA

Větrná energetika je jedním z nejvíce populárních a nejvíce se vyvíjejících odvětví energetiky mezi obnovitelnými zdroji energie. V průběhu posledních desetiletích docházelo k vývoji nových technologií a systémů, které se snažily zvýšit výkon a účinnost větrných elektráren a zároveň přizpůsobit elektrárnu tak, aby se dokázala vypořádat s různými meteorologickými podmínkami a lépe splynula jak vizuálně, tak hlukově s okolím. Budoucnost je větrné energetice nakloněna a počítá se s jejím nárůstem.

Energii větru lze považovat za jeden z nejúčinnějších zdrojů obnovitelné energie, který má jednu, a to dost zásadní nevýhodu. Touto nevýhodou je nestálost a vysoká proměnlivost větru. Tato proměnlivost ovlivňuje produkci elektrické energie a rovnováhu v elektrické síti, která se může průběžně měnit v rámci ročních období, dnů, hodin, ale také i minut. Energetická produkce se tak musí plánovat, a to pomocí spolehlivých a přesných systému pro předpovídání větrného výkonu. Ačkoliv tyto předpovědní systémy jsou již vytvořené, tak schopnost předpovídat větrnou nestálost a proměnlivost pro krátkodobé výkyvy je velice nízká. Tyto větrné výkyvy pak způsobují kolísání výkonu větrných elektráren, které se nazývají větrné rampy. [18]

2.1 Definice větrné rampy

Předpovídání větrných ramp je poměrně novou oblastí výzkumu a aby bylo možné tento fenomén studovat, je potřeba definovat co to větrná rampa je. Zde, ale existuje problém v podobě nejednotné standartní formální definice, kde různé současné studie uvádí různé definice v závislosti na místě a použití větrných elektráren nebo větrných farem. Nicméně obecně lze říci, že větrnou rampu lze definovat jako náhlou a obrovskou změnu ve výkonu větrné elektrárny, získanou z výkonu větru, která může mít vzrůstající nebo klesající charakter. [18]

2.2 Charakteristiky větrných ramp

Pro popis větrné rampy se používají tři následující klíčové charakteristiky:

- směr,
- doba trvání
- a magnituda.

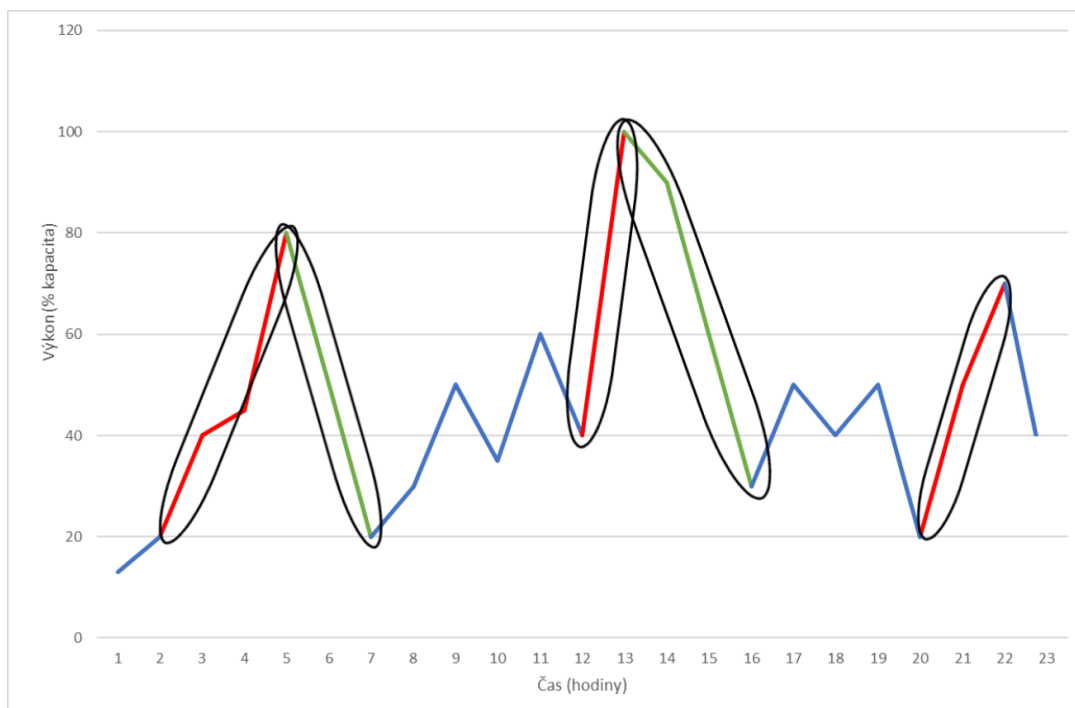
Směr větrné rampy lze podle nárůstu nebo poklesu energie větrné elektrárny dělit do dvou skupin, a to na stoupající větrné rampy a na klesající větrné rampy. [18]

Stoupající větrné rampy jsou popsány jako náhlý nárůst výkonu větrné elektrárny, který může vznikat vlivem různých meteorologických jevů jako jsou poryvy větru, bouřky, intenzivní nízkotlaké systémy (nebo cyklony) a další podobné meteorologické jevy. Naopak klesající větrné rampy jsou popsány jako náhlé snížení výkonu větrné elektrárny způsobeného prudkým snížením tlakového gradientu nebo vypnutím větrné elektrárny, které slouží jako ochrana v případech, kdy větrná turbína dosáhne svého maximálního možného výkonu. [18]

Doba trvání popisuje délku časového intervalu neboli dobu, ve které došlo k náhle změně hodnoty výkonu (magnitudy). Různé studie uvádí různé doby trvání větrných ramp, přičemž tato délka se může pohybovat od řádu několika minut až do několika hodin. [18]

Magnituda je charakteristika, která popisuje velikost výkonu v určitém časovém intervalu, ve kterém došlo k náhlému zvýšení nebo snížení výkonu větrné elektrárny. Tato charakteristika se většinou udává v procentech, ale může být i případně uvedena v megawattech. [18]

Magnituda a doba trvání jsou navzájem spolu propojené a spolu se směrem lze tak přesně popsat jednotlivé větrné rampy. Ukázky větrných ramp zobrazuje graf (Obrázek 1) znázorňující změny ve výkonu větrné farmy minimálně o 40 % instalovaného výkonu, které nastávají v rozmezí 3 hodin a méně. Rampy jsou v grafu vyznačeny černým oválem, kde uvnitř oválu červená barva představuje rampu stoupající a zelená barva rampu klesající. [18]



Obrázek 1 - Ukázka grafu se stoupajícími a klesajícími větrnými rampami [zdroj: autor]

Některé studie uvádí, že pro popis větrné rampy se používají pouze charakteristiky doby trvání a magnitudy, jelikož o charakteristice směru lze uvažovat jako o rozsahu, který se pohybuje od kladných hodnot po záporné. V tomto případě lze pak znaménko hodnoty magnitudy považovat za určení směru. Pozitivní hodnota magnitudy značí stoupající rampu a negativní hodnota magnitudy rampu klesající. [18]

2.3 Rovnice větrných ramp

Větrné rampy lze nejlépe identifikovat vizuálně, a to pomocí grafu (Obrázek 1), na kterém jsou jednotlivé druhy větrných ramp na první pohled patrné. Větrné rampy je, ale také možné identifikovat pomocí matematických rovnic. Vzhledem k tomu, že neexistuje jednotná standardní formální definice větrné rampy, tak jednotlivé studie uvádí různé rovnice. Tyto rovnice mají pak ve většině případů společné parametry jako je časový interval nebo prahová hodnota výkonu. Tyto parametry jsou ve vzorcích vyjádřeny jako:

- Δ_t – parametr časového intervalu, ve kterém se může větrná rampa nacházet. Hodnota tohoto parametru bývá vyjádřena v rámci minut až několika hodin,
- P_{val} – parametr prahové velikosti výkonu, jehož hodnota musí být překonána, aby mohl být výkon v daném intervalu označen jako větrná rampa. Hodnota prahu se získává z nominálního výkonu větrné elektrárny nebo větrné farmy a bývá vyjádřena v procentech nebo v megawattech. [18]

Dále je pro identifikaci větrné rampy důležitý parametr časového výkonu větrné farmy. Tento parametr se značí:

- $P(t)$ – parametr vyjadřující hodnotu výkonu v čase t . [18]

2.3.1 První rovnice pro detekci větrných ramp

Větrná rampa je ve výkonu větrné farmy v daném časovém intervalu Δ_t nalezena, pokud absolutní hodnota rozdílu mezi počáteční a koncovou hodnotou výkonu je větší než prahová hodnota P_{val} :

$$|P(t + \Delta_t) - P(t)| > P_{val}. \quad (2.1)$$

Tato rovnice dokáže vyhledat pouze větrné rampy jejichž hodnoty se nacházejí na konci intervalu a ignoruje větrné rampy nacházející se uprostřed. [18]

2.3.2 Druhá rovnice pro detekci větrných ramp

Větrná rampa je ve výkonu větrné farmy v daném časovém intervalu Δ_t nalezena, pokud rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou výkonu je větší než prahová hodnota P_{val} :

$$\max(P[t, t + \Delta_t]) - \min(P[t, t + \Delta_t]) > P_{val}. \quad (2.2)$$

Rovnice (2.2) vychází z rovnice (2.1), přičemž v tomto případě je rovnice schopna detekovat větrné rampy nacházející se uprostřed intervalu. Rovnice (2.2), ale neumí brát v úvahu, jak rychle výkonová křivka (větrná rampa) roste nebo klesá. [18]

2.3.3 Třetí rovnice pro detekci větrných ramp

Větrná rampa je ve výkonu větrné farmy v daném časovém intervalu Δ_t nalezena, jestliže poměr mezi absolutní hodnotou rozdílu počátečního a koncového výkonu a velikost časového intervalu Δ_t je větší než poměrová hodnota výkonu větrné rampy PRR_{val} :

$$\frac{|P(t+\Delta_t)-P(t)|}{\Delta_t} > PRR_{val}. \quad (2.3)$$

Z rovnice (2.3) na rozdíl od rovnice (2.2) lze zjistit, jak rychle výkonová křivka roste nebo klesá. Zároveň v rovnici (2.3) stejně tak jako v rovnici (2.1) lze snáze určit, jestli se jedná o rampu stoupající nebo klesající, a to porovnáním počáteční a koncové hodnoty výkonu:

$$P(t) > P(t + \Delta_t). \quad (2.4)$$

U rovnice (2.2) není určení směru větrné rampy na první pohled patrné, avšak určení směru lze provést zjištěním polohy maximální a minimální hodnoty v daném časovém intervalu a následně jejich porovnáním. [18]

2.4 Vlivy větrných ramp

Nestabilita a náhle změny větru ovlivňují produkci elektrické energie větrných elektráren a tím tak dodávku elektrické energie do rozvodné sítě. Při stoupajících větrných rampách může dojít k přetížení větrné elektrárny a tím i k přetížení elektrické sítě. Naopak při klesajících větrných rampách může docházet k náhlým výpadkům v síti. Předpověď větrných ramp je tedy pro větrné elektrárny velice důležitá. Čím dříve a přesně budou větrné rampy předpovězeny tím efektivněji bude možné využít větrné elektrárny, a tak zvýšit jejich efektivnost, životnost a ekonomickou návratnost. [18]

3 ANALÝZA HLAVNÍCH KOMPONENT

Analýza hlavních komponent je statistická technika, která se používá pro účely jako je hledání vzorů v datech a komprese dat. Při hledání vzorů v datech se analýza hlavních komponent snaží mezi daty zvýraznit jejich podobnosti a odlišnosti. Analýza je také vhodná při hledání vzorů v datech o více dimenzích¹, kde grafická reprezentace dat není možná. [19]

Kromě hledání vzoru v datech nachází analýza hlavních komponent také uplatnění při kompresi dat, kde po nalezení vzoru v datech je schopna zredukovat počet dimenzí bez značných informačních ztrát. [19]

V praxi pak analýza hlavních komponent nalézá uplatnění při kompresi obrazových dat anebo při rozpoznávání obličejů. [19]

3.1 Aritmetický průměr

Jednou ze statistických technik, která se používá při výpočtu analýzy hlavních komponent je aritmetický průměr. Ten se značí vodorovnou čárkou nad proměnou a používá se pro výpočet hodnoty, která bude popisovat průměrnou hodnotu ze souboru hodnot. Pro její výpočet se používá vzorec:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (3.1)$$

kde

\bar{X} – je průměr ze souboru dat,

X_i – je číslo souboru na pozici indexu i ,

n – je celkový počet čísel. [19]

Příkladem použití výpočtu aritmetického průměru může být např. výpočet denní průměrné hodnoty tlaku.

3.2 Kovariance

Kovariance je další statistická technika používající se ve výpočtu analýzy hlavních komponent. Tato statistická technika se používá pro zjištění existence vztahu mezi dvěma dimenzemi dat. Kovariance mezi dimenzí X a dimenzí Y se značí jako $cov(X, Y)$ a výsledná hodnota kovariance může vyjadřovat tři různé vztahy.

¹ Za dimenzi lze označit data, která vyjadřují stejnou vlastnost např. výška studentů nebo cena potravin.

- **Kladná hodnota** – vyjadřuje, že obě dimenze spolu vzrůstají (přímá závislost).
- **Záporná hodnota** – vyjadřuje, že jedna dimenze roste a druhá klesá (nepřímá závislost).
- **Nulová hodnota** – vyjadřuje, že dimenze nejsou závislé.

Vzorec pro výpočet kovariance vypadá následovně:

$$\text{cov}(X, Y) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}). \quad (3.2)$$

Jako příklad použití výpočtu kovariance lze uvést hledání závislosti mezi atmosférickým tlakem (dimenze X) a rychlostí větru (dimenze Y). [19]

3.3 Vlastní vektory a vlastní čísla

Výpočet vlastního vektoru je další výpočetní technika používaná při výpočtu analýzy hlavních komponent. Vlastní vektor lze definovat jako vektor, který se při transformaci změní o skalární násobek neboli o tzv. vlastní číslo a tím tak dojde pouze ke změně velikosti, přičemž ke změně směru nedochází. [19]

Vlastní vektory mají své vlastnosti. Jednou z těchto vlastností je, že vlastní vektory mohou být nalezeny pouze pro čtvercové matice, ale ne každá čtvercová matice musí mít vlastní vektor. Počet vlastních vektorů čtvercové matice $n \times n$ je roven jejímu n rozměru. Po provedení transformace vlastního vektoru je opět možné získat původní vlastní vektor, a to z toho důvodu, že při transformaci dochází pouze ke změně velikosti, a ne ke změně směru. Poslední zmíněnou vlastností je, že všechny vlastní vektory jsou v symetrické čtvercové matici navzájem ortogonální, což znamená, že skalární součin vlastních vektorů je roven nule. [19]

Pro výpočet vlastního vektoru a vlastních čísel matice se používá tzv. charakteristická rovnice:

$$\det(A - \lambda J) = 0, \quad (3.3)$$

kde

A – je matice,

λ – je vlastní číslo (charakteristické číslo),

J – jednotková matice. [20]

3.4 Analýza hlavních komponent

Metoda hlavních komponent byla původně uvedena K. Pearsonem jako vícerozměrná statistická metoda, sloužící především k redukci dat. Později byl postup aplikací hlavních komponent zobecněn na náhodné vektory H. Hotellingem. Ten dále navrhl použít hlavní komponenty k rozboru kovarianční struktury výchozích proměnných. V současné době je analýza hlavních komponent vnímána jako nástroj průzkumové analýzy, která je využívána jako samostatný nástroj nebo nástroj používaný spolu s dalšími metodami analýzy vícerozměrných dat. [21]

Analýza hlavních komponent je založena na hledání lineárních kombinací prvků zkoumaného vektoru \mathbf{X} , tak aby se našla kombinace s největším rozptylem. Při použití dat atmosférického tlaku vzduchu, která jsou tvořena náhodným N -dimenzionálním vektorem:

$$\mathbf{Y} = (Y_1, Y_2, \dots, Y_N)$$

a při použití délky časového rámce n je potřeba vektor \mathbf{Y} převést do matice \mathbf{X} . Tato matice má pak následující formu:

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} Y_1 & Y_2 & \dots & Y_n \\ Y_2 & Y_3 & \dots & Y_{n+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{N-n} & Y_{N-n+1} & \dots & Y_n \end{pmatrix}, \quad (3.4)$$

kde každý řádek matice \mathbf{X} odpovídá jednomu časovému rámci simulace a každý sloupec je náhodný vektor \mathbf{Y}_j daného časového indexu. Z takto vytvořené matice \mathbf{X} se následně vytvoří kovarianční matice $Var\mathbf{X}$, která je dána kovariancí:

$$\{cov(\mathbf{Y}_i, \mathbf{Y}_j)\}_{i,j=1}^n. \quad [22] \quad (3.5)$$

Z kovarianční matice $Var\mathbf{X}$ se pak získají vlastní čísla a vektory, ze kterých jsou odvozeny hlavní komponenty [22]. Vlastní čísla se dále seřadí způsobem postupného klesání jako:

$$\lambda_{(1)} \geq \lambda_{(2)} \geq \dots \geq \lambda_{(N)},$$

kterým jsou přiřazeny odpovídající ortonormální charakteristické vektory:

$$\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_N.$$

První hlavní komponenta se vyznačuje největším vlastním číslem $\lambda_{(1)}$ a je definována jako:

$$PCA_1 = \omega_1^T (y - \mu), \quad (3.6)$$

kde μ je střední hodnota a vektor ω_1 je určen maximalizací rozptylu komponenty PCA_1 přes všechny možné vektory ω_1 tak, aby byla splněna normalizační podmínka $\omega_1^T \omega_1 = 1$. Druhá hlavní komponenta se definuje stejně a to:

$$PCA_2 = \omega_2^T (y - \mu), \quad (3.7)$$

kde navíc musí být splněn požadavek nekorelovanosti veličin PCA_1 a PCA_2 . Analogicky se pak definují i všechny další komponenty. [21]

Počet hlavních komponent se odvíjí od dimenzí dat vícerozměrného souboru, kde nejvýhodnější je mít jednu hlavní komponentu, která dokáže vysvětlit co nejvíce z variability dat, ale to lze očekávat jen vzácně. Zkušenosti ukazují, že poměrně častým případem je používání tří nebo čtyř hlavních komponent, kde vzhledem k maximálnímu možnému zobrazení dat ve trojrozměrném prostoru je nejlepší mít nejvýše tři hlavní komponenty. Více jak pět nebo šest hlavních komponent nebývá zapotřebí. To vše, ale záleží na počtu studovaných proměnných. [21]

Výpočet analýzy hlavních komponent je následně ukázán na ukázkovém příkladu.

3.4.1 Data

Pro ukázkou výpočtu analýzy hlavních komponent jsou použity volně dostupná data z webových stránek meteoblue. Ukázka dat (Tabulka 1) obsahuje dvou dimenzionální data atmosférického tlaku (dimenze X) a rychlosti větru (dimenze Y) pro město Basilej, které byly naměřeny v rámci jednoho dne po dvou hodinách.

Tabulka 1 - Ukázka použitých dat [21]

X	Y
1014.1	1.53
1013.3	1.46
1012.8	1.39
1013.2	1.35
1013.1	1.2
1013	1.48
1012.7	1.96
1012.1	2.93
1011.2	3.71
1011	3.81
1011.2	2.6
1011.9	2.19

3.4.2 Odečet průměru

Data se upraví tak, že se od jejich hodnot odečte hodnota průměru příslušné dimenze viz. (Tabulka 2). Tím dojde k posunu hodnot k nulovému bodu kartézské soustavy souřadnic. Hodnoty takto upravených dat se dále použijí pro výpočet kovariance.

Tabulka 2 - Data po odečtu od průměru [zdroj: autor]

$x-\bar{x}$	$y-\bar{y}$
1.633333	-0.60417
0.833333	-0.67417
0.333333	-0.74417
0.733333	-0.78417
0.633333	-0.93417
0.533333	-0.65417
0.233333	-0.17417
-0.36667	0.795833
-1.26667	1.575833
-1.46667	1.675833
-1.26667	0.465833
-0.56667	0.055833

3.4.3 Vytvoření kovarianční matice

Výpočet kovariance se provede pro dimenzi X , dimenzi Y a pak následně pro dimenze X a Y dohromady, a to podle vzorce (3.2). Z takto získaných hodnot se následně vytvoří kovarianční matice:

$$C_{cov} = \begin{pmatrix} 0.960606 & -0.79276 \\ -0.79276 & 0.86039 \end{pmatrix}.$$

3.4.4 Výpočet vlastních hodnot a vektorů

Z kovarianční matice a charakteristické rovnice (3.3) se vypočítají vlastní čísla, která se následně použijí pro výpočet vlastních vektorů. Hodnota prvního vlastního čísla pro ukázková data je 1,70484, kde výsledný vlastní vektor je:

$$\vec{\omega}_1 = \begin{pmatrix} 0.729068 \\ -0.684441 \end{pmatrix}.$$

Hodnota druhého vlastního čísla ukázkových dat je 0,116159, pro kterou je výsledný vlastní vektor:

$$\vec{\omega}_2 = \begin{pmatrix} -0.684441 \\ -0.729068 \end{pmatrix}.$$

Provedením výpočtu vlastních vektorů z kovarianční matice se získají dva vektory popisující dvě přímky, které charakterizují data.

3.4.5 Výběr hlavních komponent

Výpočtem vlastních čísel a vektorů se získají přímky, které charakterizují vzory v datech. Tyto vzory vyjádřené pomocí vektorů lze označit jako hlavní komponenty.

Po získání vlastních vektorů je potřeba tyto vektory seřadit podle hodnoty vlastního čísla od největšího po nejmenší. To způsobí seřazení hlavních komponent podle jejich významnosti. Z takto seřazených komponent lze odebrat komponenty s nejmenší významností a při tom nepřijít o důležité informace. [19]

Podle seřazených vlastních čísel lze následně vytvořit matici:

$$C_{comp} = \begin{pmatrix} 0.729068 & -0.684441 \\ -0.684441 & -0.729068 \end{pmatrix},$$

kde jednotlivé sloupce jsou vytvořeny z vlastních vektorů, které vyjadřují hlavní komponenty. Hodnoty vlastních vektorů lze taky kromě matice zapsat ve formě obecné rovnice hlavních komponent:

$$PCA_1 = 0.729068x - 0.684441y$$

$$PCA_2 = -0.684441x - 0.729068y.$$

3.4.6 Odvození nového souboru dat

Odvození nového souboru dat se provádí pomocí maticového součinu matice komponent a matice upravených dat (Tabulka 2):

$$C = A \times B, \tag{3.4}$$

kde

C – je výsledná matice nového souboru dat,

A – je matice komponent,

B – je matice upravených dat.

Před provedením součinu se provede transpozice obou matic tak, že matice komponent přesune jednotlivé vlastní vektory do řádků a stejně se provede transpozice upravených dat, kde jednotlivé dimenze vytvoří řádky. Po takto provedené transpozici a součinu se získá matice (Tabulka 3) nového souboru dat. [19]

Tabulka 3 - Výsledná matice ukázkových dat [zdroj: autor]

$X-\bar{X}$	$Y-\bar{Y}$
1.6043	-0.6774
1.069	-0.0789
0.7524	0.3144
1.0714	0.0698
1.1011	0.2476
0.8366	0.1119
0.2893	-0.0327
-0.812	-0.3293
-2.0021	-0.2819
-2.2163	-0.2179
-1.2423	0.5273
-0.4514	0.3471

Provedením metody hlavních komponent se získají vzory, které jsou vyjádřeny vlastními vektory jako přímky popisující vztahy mezi daty. Tyto vzory je pak následně možné použít pro transformaci dat, která jsou schopna vyjádřit, kde přesně se datový trend nachází. [19]

4 APLIKACE

Praktická část diplomové práce se zabývá vývojem aplikace, jejímž cílem je analyzovat větrné rampy a ověřit vhodnost použití statistické metody analýzy hlavních komponent pro predikci větrných ramp na základě atmosférického tlaku vzduchu. Tato aplikace by měla sloužit, v případě pozitivního testovacího výsledku, jako nástroj pro ověření a testování větrných ramp na meteorologických a konstrukčních datech lokálních větrných elektráren ostatním vědeckým týmům, které se touto tematikou zabývají.

Protože tato aplikace se zabývá analýzou a predikcí větrných ramp na základě atmosférického tlaku vzduchu, tak jí byl dán název APWRA, což je akronym ze slov Atmospheric Pressure Wind Ramp Analysis.

4.1 Požadavky na aplikaci

Před zahájením vývoje aplikace je na jejím počátku nutné stanovit základní požadavky na software, které je potřeba zanalyzovat a případně doplnit o upřesňující požadavky tak, aby došlo ke shodě se zadavatelem práce. Pro aplikaci APWRA byly stanoveny následující požadavky:

- načítání meteorologických dat z CSV souborů s různým pořadím sloupců a veličinami,
- zadávání různých hodnot parametrů definující větrnou rampu,
- detekce větrných ramp na základě meteorologických dat a výkonu větrné elektrárny,
- zobrazení větrných ramp v časovém grafu,
- provedení predikce větrných ramp na základě analýzy hlavních komponent,
- zobrazení bodů tlaku použitých pro predikci ve 3D grafu
- a vypsání statistických výsledků predikce v tabulce pro příslušné větrné rampy.

4.2 Volba programovacího jazyka

Pro vytvoření aplikace byl zvolen programovací jazyk Java konkrétně JavaFX. Ta se používá pro vývoj webových aplikací, které je možné spouštět i jako desktopové aplikace. JavaFX je modernější technologie, která se snaží nahradit starší knihovnu grafických prvků Swing. Její výhodou oproti Swingu je jednodušší návrh vzhledu a rozložení aplikace, podpora data bindingu, stylování aplikace pomocí kaskádových stylů, práce s animacemi a v neposlední řadě podpora vývoje aplikací pro dotyková zařízení.

Soubory aplikace JavaFX lze rozdělit do tří kategorií a to na:

- FXML soubory,
- Controllery
- a ostatní soubory (Java, CSS a atd).

Tímto rozdělením se tak zpřehledňuje a zjednodušuje vývoj aplikace, u které je pak možné nezávisle upravovat její vzhled a funkční logiku.

4.2.1 FXML

FXML je značkovací jazyk, který se používá v JavaFX pro vytváření grafického rozhraní. Ten je založený na jazyce XML, který ve své struktuře používá značky neboli tagy. Tyto značky jsou v jazyce FXML na rozdíl od jazyka XML již předdefinované a definují jednotlivé komponenty. Tyto komponenty je možné různě upravovat a nastavovat pomocí jejich atributů a tím měnit jejich vzhled nebo vlastnosti. Všechny komponenty v souboru fxml pak dohromady vytváří formulářovou aplikaci, která se propojí s Java třídou představující controller.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>

<?import javafx.scene.control.Button?>
<?import javafx.scene.control.Label?>
<?import javafx.scene.layout.AnchorPane?>

<AnchorPane prefHeight="132.0" prefWidth="147.0"
  xmlns:fx="http://javafx.com/fxml/1"
  fx:controller="ukazkafxml.FXMLDocumentController">
  <children>
    <Button fx:id="button" layoutX="25.0" layoutY="34.0"
      onAction="#handleButtonAction"
      text="Klikni na mě" />
    <Label fx:id="label" layoutX="30.0" layoutY="75.0"
      text="Zobraz text..." />
  </children>
</AnchorPane>
```

Kód 1 - Ukázka FXML kódu [zdroj: autor]

4.2.2 Controller

V JavaFX je controller Java třída, která se používá pro propojení grafického rozhraní s funkční logikou a daty aplikace. Tato třída implementuje rozhraní Initializable. Tím se do třídy doplní metoda initialize, která se volá při vytváření instance controlleru. Metoda initialize se používá pro počáteční inicializaci a případné nastavení komponent, které jsou obsaženy ve formuláři.

Pro práci nebo získávání a nastavování vlastností komponent pomocí jazyka Java je nutné komponenty označit anotací `@FXML` a následně je se souborem FXML propojit pomocí `id`.

```
public class FXMLDocumentController implements Initializable {

    @FXML
    private Label label;

    @FXML
    private Button button;

    @Override
    public void initialize(URL url, ResourceBundle rb) {
        //TODO
    }

    @FXML
    private void handleButtonAction(ActionEvent event) {
        button.setText("Kliknuto!");
        label.setText("Ahoj světe!");
    }

}
```

Kód 2 - Ukázka kódu třídy controller [zdroj: autor]

4.3 Použité nástroje

Pro vytvoření aplikace APWRA bylo potřeba použít speciální programové nástroje, které se používají pro vývoj JavaFX aplikací. Jedním z těchto nástrojů je vývojové prostředí IntelliJ IDEA, která se používá pro vývoj aplikací v jazycích jako jsou Java, JavaFX, Groovy, Scala nebo Kotlin. Vývojové prostředí navíc také poskytuje širokou škálu užitečných nástrojů, které zjednodušují a tím tak urychlují práci při vývoji aplikace.

Dalším nástrojem použitým při vývoji aplikace APWRA je prostředí Gluon. Toto prostředí se speciálně používá pro vytváření grafického uživatelského rozhraní v jazyce FXML. Grafický návrh aplikace se provádí metodou přetahování jednotlivých komponent do prostředí, které se automaticky vypisují do souboru FXML, čímž se tak zjednodušuje jeho vytváření. Ačkoliv tento nástroj zjednodušuje a urychluje vývoj grafického rozhraní aplikace, tak ale stále je v některých případech výhodnější upravovat FXML kód přímo.

4.4 Rozdělení aplikace

Aplikace APWRA je rozdělena do šesti modulů, které se dále dělí na moduly datové a analytické. Datové moduly jsou moduly, které se používají pro získávání dat nebo výpis informací. Mezi datové moduly patří:

- modul pro načítání meteorologických dat,
- modul pro nastavení výběru nebo parametrů větrné elektrárny,
- modul pro nastavení parametrů větrné rampy
- a modul pro výpis souhrnných statistik.

Analytické moduly se používají pro analyzování dat a zobrazování výsledků těchto analýz v příslušných grafech. Mezi analytické moduly patří:

- modul pro detekci větrných ramp
- a modul pro vytvoření pravděpodobnostní analýzy metodou PCA.

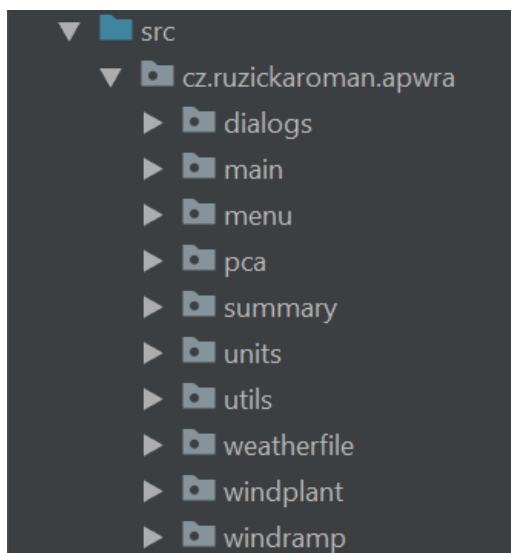
Důvodem tohoto dělení do jednotlivých modulů je snaha vytvořit aplikaci, která je pro uživatele nebo případně dalšího programátora intuitivní i přehledná, a to jak po stránce grafického návrhu, tak po stránce zdrojového kódu.

4.4.1 Balíčky aplikace

V aplikacích lze zdrojové kódy třídit do balíčků podle dvou základních způsobů. Jedním z těchto způsobů třídění je třídění podle vrstev, kde kódy jsou do balíčků vkládány na základě jejich odpovědnosti. Příkladem tohoto třídění je umístění všech controller tříd v aplikaci do balíčku pojmenovaného controller nebo umístění všech servisních tříd do balíčku service. Výhodou tohoto způsobu třídění je jeho jednoduchost, ale nevýhodou je jeho horší znouvupoužitelnost. [24]

Druhým způsobem třídění zdrojového kódu je třídění podle sady vlastností. Při tomto způsobu třídění se kódy vkládají do balíčku, ve kterém dohromady tvoří určitou vlastnost (část aplikace). Příkladem tohoto třídění může být balíček student, který obsahuje třídy s různými odpovědnostmi, ale zároveň všechny třídy se vztahují k studentovi jako např. Student, StudentController, StudentRepository a atd. Výhodou tohoto přístupu k třídění kódu do balíčků je snazší znouvupoužitelnost, ale jeho nevýhodou je náročnější údržba. [24]

V aplikaci APWRA bylo využito při vytváření a třídění kódu do balíčku obou těchto způsobů. Třídění podle sady vlastností bylo hlavně využito pro vytváření jednotlivých modulů, zatímco třídění podle odpovědností se využilo u balíčků, které byly potřeba na více místech v aplikaci. Podle těchto způsobů třídění jsou zdrojové kódy v adresáři src rozděleny do 10 balíčků, kterým jsou nadřazeny balíčky vytvořené podle domény (Obrázek 2). Ta obsahuje pojmenování země, jméno autora, a nakonec název projektu.



Obrázek 2 - Rozdělení aplikace APWRA do balíčků [zdroj: autor]

Jednotlivé balíčky následně obsahují:

- **dialogs** – dialogová okna oznamující o různých informacích nebo chybách,
- **main** – základní třídu Main ze, které se spouští celá aplikace,
- **menu** – základní okno s menu a datový a grafový (analytický) navigační panel,
- **pca** – třídy pro modul pravděpodobnostní analýzy metodou PCA,
- **summary** – třídy pro výpis statistických výsledků,
- **units** – třídy typu enum pro převod používaných jednotek,
- **utils** – nástrojové třídy jako např. Statistics, která slouží pro výpočet statistických dat,
- **weatherfile** – třídy pro modul načtení meteorologických dat,
- **windplant** – třídy pro modul editoru větrných elektráren,
- **windramp** – třídy pro modul výpočtu a detekce větrných ramp.

Kromě adresáře src, který obsahuje základní zdrojové kódy, jsou ještě v aplikaci na stejné úrovni další adresáře a soubory, které jsou pro aplikaci nezbytné. Jedním z těchto adresářů je adresář res, který obsahuje adresář s externími knihovnamí a adresář s obrázky použitými v aplikaci. Dalším adresářem je test, který obsahuje balíčky s testovacími třídami. Dále se zde nachází soubor windplant.xml. Ten se používá pro ukládání informací o větrných elektrárnách, které se sem ukládají z editoru větrných elektráren. V poslední řadě se v aplikaci nachází adresáře, které vytvořilo vývojové prostředí.

4.4.2 Externí knihovny

V některých modulech aplikace APWRA používá pro zjednodušení a doplnění funkčnosti knihovny třetích stran. Jednou z těchto knihoven je `pca_transform`, která se používá pro výpočet analýzy hlavních komponent. Pro použití této knihovny je ještě důležité do aplikace přidat knihovnu `jama`, která se používá pro vytváření a práci s maticemi. Další knihovnou, která se v aplikaci nachází je knihovna `orsoncharts`, která spolu s knihovnou `fxgraphics2d` se používá pro vytváření 3D grafů. Poslední využitou knihovnou v aplikaci je knihovna `jdom`. Ta slouží pro parsování XML souborů jako je např. `windplant.xml`. Veškeré tyto knihovny se v aplikaci nalézají v podadresáři `lib` adresáře `res`.

5 IMPLEMENTACE APLIKACE

Celá aplikace je rozdělena do několika částí neboli modulů, které dohromady vytváří funkcionalitu celé aplikace. Pro pochopení toho, jak některé tyto části pracují a fungují je v následující kapitole vysvětlena funkcionalita a implementace důležitých tříd a metod aplikace APWRA.

5.1 Main

Základem celé aplikace je třída Main. Tato třída obsahuje dvě základní metody jako je *main* a *start*. Metoda *main* je nejzákladnější metodou celé aplikace a používá se k jejímu spuštění. Druhou neméně významnou metodou je metoda *start*, která překrývá stejně pojmenovanou funkci získanou dědičností ze třídy Application. Účelem této metody je načíst a nastavit základní vlastnosti spouštěného hlavního okna.

Načtení hlavního okna se provede načtením souboru MainScreen.fxml pomocí statické metody *load*. V této metodě je možné cestu k FXML souboru uvádět dvěma způsoby. Jednou z nich je relativní cesta, která se ve vývojovém prostředí IntelliJ IDEA do metody doplní po přesunutí souboru do jiného balíčku. V případě spuštění aplikace skrze toto vývojové prostředí nezpůsobuje relativní cesta žádný problém. Problém ale nastane v případě, kdy se aplikace zabalí do jar balíčku, ve kterém metoda *load* není schopná nalézt soubor pomocí relativní cesty a tím tak aplikaci spustit. Proto je lepší do metody *load* doplňovat cestu absolutní.

V metodě *start* se dále nastavují pomocí objektu stage parametry okna, jako jsou titulek, obrázek loga aplikace a minimální možná velikost. Dále se zde pak vytváří z načteného FXML souboru základní Scena, která se jako parametr nastaví do objektu stage. Nakonec se na objektu stage volá metoda *show*, která celé hlavní okno zobrazí.

```
@Override
public void start(Stage primaryStage) throws Exception {
    Parent root = FXMLLoader.load(getClass().
        getResource("/cz/ruzickaroman/apwra/menu/ui/MainScreen.fxml"));

    primaryStage.setTitle("APWRA");
    primaryStage.getIcons().add(new Image("/img/APWRA_logo.png"));
    primaryStage.setMinWidth(1000);
    primaryStage.setMinHeight(590);

    Scene scene = new Scene(root);
    scene.getStylesheets().add("cz/ruzickaroman/apwra/main/main.css");
    primaryStage.setScene(scene);

    primaryStage.show();
}
```

Kód 3 - Metoda start [zdroj: autor]

5.2 Menu a nabídkové plochy

Výběr jednotlivých modulů v aplikaci se provádí pomocí menu a nabídkových ploch. Menu aplikace se nachází v hlavním okně v jeho levé části, které obsahuje tři základní položky jako jsou data, graph a about.

Každá z těchto položek je vytvořena z komponenty Button, do které je pro lepší přehlednost vložen obrázek. Dále jsou pro lepší přehlednost výběru položky z menu komponenty typu Button opatřeny animací výběru, která je vytvořena pomocí CSS scriptů nacházející se v souboru screen.css. Komponenty typu Button neboli tlačítka dále obsahují události *onAction*, kde při jejich zavolání se provede metoda *setScreen*, která jako parametr obsahuje cestu pro načtení FXML souboru neboli dalšího okna. Toto okno se pak otevře do pravé části hlavního okna aplikace jako nová položka typu AnchorPane.

Tímto způsobem se z menu aplikace volají nabídkové plochy, což jsou nová okna obsahující tlačítka jako velké dlaždice s obrázkem. Tyto tlačítka, stejně jako tlačítka menu opět s pomocí metody *setScreen* slouží pro otevření dalších částí aplikace.

5.3 Modul načítání dat

Pro vytvoření větrných ramp jsou důležitá meteorologická data, která se získávají načtením souboru pomocí modulu pro načítání dat. Hlavní třídou tohoto modulu je třída *FileScreenController*, ve které jsou nejdůležitějšími metodami metody *loadFileSample* a *applyChanges*.

5.3.1 Metoda *loadFileSample*

LoadFileSample je metoda, která se používá pro nahrání malé části souboru (vzorku) do programu, aby uživatel na základě toho, co se mu v aplikaci zobrazí mohl nastavit parametry pro načtení vybraného souboru.

Nejprve je potřeba získat instanci třídy *File* představující vybraný soubor. Tato instance se získá pomocí metody *getFileFromDialog*, ve které se nejprve metodou *getFileDialog* získá vytvořená a nastavená instance dialogu pro načtení souboru. Následně se z instance dialogu volá metoda *showLoadDialog*, která dialogové okno zobrazí. Po výběru a následném zavření dialogového okna se z instance *fileDialog* získá instance třídy *File*, která se vrací jako návratový parametr metody *getFileFromDialog*. Tím je získána instance třídy *File*, která se použije pro načtení vzorku dat a poté také v metodě *applyChanges* pro načtení celého souboru.

Po získání instance třídy `File` je potřeba provést nahrání a zobrazení vzorku dat ze souboru. Pro tuto akci se používá metoda `setSampleTable`. Ta obsahuje metodu `getFileSampleTable`, která pomocí třídy `FileSampleLoader` provede načtení vzorku dat ze souboru a následně pomocí třídy `FileSampleTable` provede jejich přeměnu na obsah vhodný pro použití do tabulky. Nakonec metoda `setSampleTable` nastaví identifikační jména jednotlivých sloupců a datový obsah do tabulky.

Dále metoda `loadFileSample` volá metodu `setLabelFilePath`, která se používá pro zobrazení absolutní cesty vybraného souboru uživateli. Zobrazení cesty se provádí nastavením cesty jako textového parametru do instance `labelFilePath` třídy `Label`.

Následně se volá metoda `resetAllColumnsNames`, která má za úkol vyresetovat veškeré sloupce všech komponent určených pro výběr sloupců v tabulce. Vyresetování se provede nastavením hodnoty všech komponent třídy `ComboBox` na hodnotu „None“.

Poslední metodou, která se v metodě `loadFileSample` nachází je metoda `setComboBoxColumnNames`. Tato metoda se používá pro vytvoření nového seznamu identifikačních jmen sloupců použitých v komponentách pro výběr sloupců ze souboru. Metoda nejprve vyčistí seznam jmen sloupců pomocí metody `clear`, který je ihned naplněn novým seznamem jmen vytvořených metodou `getColumnNames`.

```
@FXML
public void loadFileSample() {
    try {
        selectedFile = getFileFromDialog();
        setSampleTable();
        setLabelFilePath();
        resetAllColumnsNames();
        setComboBoxColumnNames();
    } catch (FileNotFoundException | FileEmptyException e) {
        new AlertDialog("File error", e.getMessage()).showAndWait();
    } catch (FileNotSelectedException e) {
        new InformDialog("File info", e.getMessage()).showAndWait();
    } catch (IOException e) {
        new AlertDialog("File IO error", e.getMessage()).showAndWait();
    } catch (FileSampleRowsException e) {
        e.printStackTrace();
    }
}
```

Kód 4 - Metoda `loadFileSample` [zdroj: autor]

5.3.2 Metoda `applyChanges`

Další důležitou metodou modulu určeného pro načítání dat je metoda `applyChanges`. Tato metoda se používá pro načtení dat ze souboru podle nastavení provedeného na načteném vzorku ukázkových dat.

Metoda *applyChanges* začíná sadou podmínek, které je potřeba splnit před provedením načtení celého datového souboru. V případě, že dojde k nesplnění nějaké z podmínek, tak se zobrazí dialogové okno u příslušné podmínky a provádění této metody se zruší. Výjimkou je kontrola teplotního limitu pomocí metody *isTemperatureOutOfLimits*, u které pouze dojde k upozornění uživatele na možné zadání nerealistické teplotní hodnoty.

Po překonání kontrolní sady podmínek se nejprve provede pomocí metody *isFileLoadApproved* kontrola, zda má být soubor opravdu načten. V případě, že ano, tak dojde k vytvoření načítacího dialogového okna zobrazujícího se během načítání dat.

V metodě *applyChanges* se dále vytvoří a spustí vlákno *loadThread*, které se používá proto, aby načítání dat z vybraného souboru probíhalo v jiném vlákně než vlákno vytvořené pro aplikaci.

Data vybraného souboru se načítají metodou *loadFileData*. Tato metoda provádí načítání dat pomocí instance třídy *BufferedReader*, která celý vybraný soubor načítá po jednotlivých řádcích metodou *readLine*. Každý z těchto řádků je pak rozkouskovan instancí třídy *FileParser*, který vrací jednotlivá data z řádku. Data jako jsou datum, tlak a rychlost větru jsou poté přímo ukládány do instance třídy *FileRecord*. Data jako relativní vlhkost a teplota jsou nejprve v metodě *getAirDensity* přepočítána na hodnotu hustoty vzduchu a pak jsou v této podobě do instance *FileRecord* uložena. Nakonec je instance třídy *FileRecord* přidána do seznamu *fileRecords*, čímž dojde k naplnění seznamu načtených dat.

Dále se ve vlákně nachází metoda *setDataIntoFileDataStore*, která předává načtená data z modulu do statické třídy vytvořené návrhovým vzorem singleton pro přenos do jiné části aplikace.

Na závěr se ve vlákně *loadThread* na instanci načítacího dialogu volá metoda *close*, která dialog uzavře.

```
if (isFileLoadApproved() && selectedFile != null &&
selectedFile.exists()) {
    Platform.runLater(() -> progressDialog.show());
    Thread loadThread = new Thread(() -> {
        loadFileData();
        setDataIntoFileDataStore();
        Platform.runLater(() -> progressDialog.close());
    });
    loadThread.setDaemon(true);
    loadThread.start();
}
```

Kód 5 - Ukázka části kódu metody *applyChanges* [zdroj: autor]

5.4 Modul větrných elektráren

Větrné elektrárny jsou důležitou součástí aplikace, jelikož na základě jejich parametrů se provádí detekce větrných ramp. Pro vytváření a editaci větrných elektráren slouží modul větrných elektráren, kde hlavní třídou tohoto modulu je třída `WindPlantScreenController`. Avšak základem tohoto modulu jsou třídy `WindPlant` a `PowersRecordList`, jejichž instance představují zdroj dat pro danou větrnou elektrárnu.

5.4.1 Třída `WindPlant`

Třída `WindPlant` je třída, která se používá pro vytváření instancí jednotlivých větrných elektráren. Tato třída obsahuje atributy jako jsou:

- **name** – jméno nebo označení větrné elektrárny,
- **diameter** – průměr rotoru,
- **sweptArea** – plocha rotoru,
- **ratedPower** – jmenovitý výkon,
- **powersRecordsList** – seznam hodnot účinností a výkonů pro dané rychlosti větru.

Všechny tyto atributy je možné nastavovat a získávat přes metody typu *set* a *get*, kde výjimku tvoří atribut `sweptArea`. Tento atribut nemá metodu typu *set*, jelikož hodnota tohoto atributu je vypočítána v metodě *setDiameter* pomocí metody *calculateSweptArea*. Tato metoda slouží pro výpočet plochy rotoru, kde jako parametr používá `diameter`.

```
public void setDiameter(double diameter) {
    if (diameter < MINIMAL_DIAMETER)
        throw new IllegalArgumentException(
            "Diameter cannot be negative!");
    this.diameter = diameter;
    this.sweptArea = WindPlantEquations.calculateSweptArea(diameter);
}
```

Kód 6 - Metoda pro nastavení diametru a výpočet sweptArea [zdroj: autor]

5.4.2 Třída `PowersRecordsList`

Třída `PowersRecordsList` je třída, která se používá pro vytvoření seznamu pro ukládání dat o účinnosti a výkonu větrné elektrárny. Tato třída dědí ze třídy `LinkedList`, které je jako generický parametr předána třída `PowersRecords`. Třída `PowersRecords` pak obsahuje atributy jako jsou rychlost větru, účinnost a výkon. Přidáváním instancí třídy `PowersRecords` do

seznamu `powersRecorsList` pak vzniká seznam, kde každé rychlosti větru jsou přiřazeny příslušné hodnoty účinnosti a výkonu větrné elektrárny.

Do třídy `PowersRecordsList` je implementována speciální metoda `getPowerCoefficient`. Tato metoda se používá pro vrácení hodnoty účinnosti větrné elektrárny na základě zadané rychlosti větru.

Metoda `getPowerCoefficient` začíná podmínkou, která pomocí metody `isEmpty` a znegované metody `isWindSpeedInRange` zkontroluje, zdali seznam obsahuje nějaké záznamy anebo jestli se hodnota rychlosti větru nenachází mimo rozsah rychlostí v seznamu. Pokud jedna z těchto podmínek platí dojde k návratu nulové hodnoty účinnosti.

Jestli žádná z možností neplatí, tak metoda přistoupí na další podmínku, která se metodou `isWindSpeedInArray` dotazuje na to, zdali zadaná rychlost větru se v seznamu již nenachází. Pokud ano, tak se vrátí hodnota účinnosti přímo ze seznamu.

V případě, že se hodnota rychlosti větru v seznamu nenachází přímo, tak dojde k jejímu výpočtu pomocí metody `getCalculatedCoefficientPower`. Tato metoda hodnotu účinnosti vypočítá na základě dvou bodů, kde každý z těchto bodů obsahuje hodnoty účinnosti a rychlosti větru nacházející se před a za zadanou rychlostí větru. Tyto body se pak dosadí do rovnice pro výpočet přímky, ze které se vložením zadané rychlosti větru získá hodnota účinnosti. Tímto způsobem funguje metoda pro získání účinnosti `getPowerCoefficient`.

```
public double getPowerCoefficient(double windSpeed) {
    if (isEmpty() || !isWindSpeedInRange(windSpeed))
        return 0;
    if (isWindSpeedInArray(windSpeed)) {
        return searchedRecord.getCoefficientPower();
    } else {
        return getCalculatedCoefficientPower(windSpeed);
    }
}
```

Kód 7- Metoda `getPowerCoefficient` [zdroj: autor]

5.5 Modul větrných ramp

Modul větrných ramp se používá pro detekci větrných ramp, která se provádí na základě načtených meteorologických dat, parametrů větrné rampy a zvolené větrné elektrárny. Hlavní třídou tohoto modulu, která spojuje dohromady důležité třídy pro vytvoření analýzy a detekce, je třída `WindRampScreenController` v balíčku `analyse`. Důležitou třídou tohoto modulu je pak třída `WindRampManager`, která samotné vyhledávání větrných ramp provádí.

5.5.1 Třída WindRampManager

Třída `WindRampManager` se používá pro detekci větrných ramp. Detekce větrných ramp se provádí na základě délky trvání a magnitudy větrné rampy a výkonového signálu, což je křivka výkonu měnícího se v čase vypočítaná z meteorologických dat a parametrů větrné elektrárny. Ve třídě `WindRampManager` se pro detekci větrných ramp používá metoda `findRamps`.

Metoda `findRamps` začíná vymazáním seznamů větrných ramp. Toto mazání se provádí pro případ, kdyby manager obsahoval data z předchozí provedené detekce. Poté se vytvoří pole sekcí pomocí metody `getRampsSections`.

Tato metoda funguje tak, že na začátku se provede na základě délky ramp pomocí metody `getDataNumberPerRamp` výpočet počtu dat výkonového signálu, které vytvoří sekci. Následně se vytvoří seznam sekcí, do kterého se jednotlivé sekce ukládají. Vytvoření a přidání sekce do seznamu sekcí, se provádí pomocí cyklu, který prochází celý seznam dat výkonového signálu. V každém cyklu se vytvoří nová sekce, která se naplní daty od aktuálně vybraného údaje výkonového signálu po údaj určený počtem dat na signál. Tímto způsobem se vytvoří seznam sekcí.

```
this.dataPerRampCount = getDataNumberPerRamp(duration, powerSignal);

LinkedList<LinkedList<SignalRecord>> sections = new LinkedList<>();
for (int sectionBegin = 0; sectionBegin < powerSignal.size() - 1;
    sectionBegin++) {
    LinkedList<SignalRecord> rampSection = new LinkedList<>();

    int recordIndex = sectionBegin;
    while ((recordIndex < powerSignal.size() - 1)
        && (recordIndex <= getSectionEndIndex(sectionBegin))) {
        rampSection.add(powerSignal.get(recordIndex));
        recordIndex++;
    }
    sections.add(rampSection);
}
```

Kód 8 - Ukázka kódu z metody `getRampsSections` [zdroj: autor]

Po vytvoření seznamu sekcí, je potřeba tento seznam projít a roztřídit na sekce, kde se rampa nenachází a na sekce, kde se jedná o rampu klesající nebo stoupající. Toto třídění a hledání provádí metoda `classifyRampsSection`.

Metoda nejprve najde minimální a maximální hodnotu výkonu sekce pomocí metod `getPowerRecordWithMinPower` a `getPowerRecordWithMaxPower`. Následně se provede odečet minimální hodnoty výkonu od maximální a zjistí se, jestli rozdíl výpočtu je větší než zadaná prahová hodnota. Pokud je rozdíl větší než prahová hodnota, tak se v sekci rampa nachází a je dále potřeba zjistit o jakou rampu se jedná. Zjištění se provádí pomocí podmínky obsahující metodu `isUpRamp`, která určí, jestli se jedná o rampu stoupající nebo klesající. Po

určení typu rampy ať už se jedná o rampu stoupající, klesající nebo žádnou dojde k vytvoření instance rampy z třídy `WindRamp` a následně k jejímu přidání do příslušného seznamu ramp. Tímto způsobem se detekují větrné rampy pomocí metody `findRamps`.

```
SignalRecord minPowerSignalRecord = getPowerRecordWithMinPower(section);
SignalRecord maxPowerSignalRecord = getPowerRecordWithMaxPower(section);

if ((maxPowerSignalRecord.getSignalValue()
    - minPowerSignalRecord.getSignalValue()) > threshold) {
    if (isUpRamp(minPowerSignalRecord, maxPowerSignalRecord)) {
        addUpRamp(getUpRampCorrectBeginDate(section),
            maxPowerSignalRecord.getDateValue());
    } else {
        addDownRamp(maxPowerSignalRecord.getDateValue(),
            minPowerSignalRecord.getDateValue());
    }
} else {
    addNoRamp(section.getFirst().getDateValue(),
        section.getLast().getDateValue());
}
```

Kód 9 - Ukázka kódu z metody `findWindRamps` [zdroj: autor]

5.6 Modul PCA

Modul PCA je modul, který se používá pro vytváření predikčního modelu větrných ramp. Hlavní třídou tohoto modulu je třída `PCAScreenController`, která obsahuje klíčovou metodu *analýze*. Tato metoda slouží pro vytváření predikce větrných ramp na základě provedené analýzy hlavních komponent nad daty atmosférického tlaku vzduchu. Jádrem této analýzy tvoří třídy `PCAWindRampMatrix3D`, `PCAWindRampTable3D` a `PCAWindRampRation`, které jsou pro vytvoření predikčního modelu důležité.

5.6.1 Třída `PCAWindRampMatrix3D`

Třída `PCAWindRampMatrix3D` je třída, která se používá pro vytváření matic větrných ramp provedením analýzy hlavních komponent. Tato třída obsahuje konstruktory a metody jako jsou:

- **`PCAWindRampMatrix3D`** – konstruktor pro vytvoření základní matice ze signálu,
- **`transformMatrixPCA`** – metoda pro analyzování základní matice signálu metodou PCA,
- **`getTransformedPCAWindRampMatrix`** – metoda pro transformování testovacích dat analýzou hlavních komponent podle základní matice trénovacích dat,

- **getPCARampsMatrix** – metoda pro vrácení predikční matice větrných ramp z dat vybraných podle indexu,
- **getMatrix** – metoda pro vrácení matice.

5.6.2 Třída PCAWindRampTable3D

Třída PCAWindRampTable3D je třída, která se používá pro vytváření 3D tabulek. Tabulku 3D si lze představit jako trojrozměrné těleso, které je rozděleno na menší tělesa obsahující informace trojrozměrných dat.

Tabulka 3D větrných ramp je krychle, kde její tři strany jsou vytvořeny z délky intervalů tří hlavních komponent, které jsou rozděleny do deseti úseků. Výsledkem je tak tabulka o hodnotě 1000 menších krychlí, které se používají pro ukládání číselných informací větrných ramp daného intervalu. Třída PCAWindRampTable3D obsahuje konstruktory a metody jako:

- **PCAWindRampTable3D(Matrix)** – konstruktor pro vytvoření 3D tabulky ze základní matice obsahující data signálu,
- **PCAWindRampTable3D(Matrix, PCAWindRampTable3D)** – konstruktor pro vytvoření 3D tabulky z matice větrných ramp a 3D tabulky základní matice,
- **changeIntoRatioTable** – metoda pro změnu obsahu tabulky z počtu dat na poměr mezi počtem dat označených jako rampa a počtem všech dat (poměr výskytu),
- **getValue** – metoda pro vrácení hodnoty z tabulky na příslušném indexu,
- **getFirstInterval** – metoda pro vrácení intervalu první hlavní komponenty,
- **getSecondInterval** – metoda pro vrácení intervalu druhé hlavní komponenty,
- **getThirdInterval** – metoda pro vrácení intervalu třetí hlavní komponenty.

5.6.3 Třída PCAWindRampRation

Třída PCAWindRampRation je třída, která slouží pro vytvoření a naplnění seznamů poměry výskytu větrných ramp. Tato třída obsahuje konstruktor a metody jako:

- **PCAWindRampRation** – konstruktor pro nastavení intervalů ze základní 3D tabulky a vytvoření seznamů stoupajících, klesajících a žádných větrných ramp,

- **fillUpRampRations** – metoda pro naplnění seznamu hodnot stoupajících ramp hodnotami poměru výskytu získaných z 3D tabulky a testovací matice stoupající větrné rampy,
- **fillDownRampRations** – metoda pro naplnění seznamu hodnot klesajících ramp hodnotami poměru výskytu získaných z 3D tabulky a testovací matice klesající větrné rampy,
- **fillNoRampRations** – metoda pro naplnění seznamu hodnot žádných ramp hodnotami poměru výskytu získaných z 3D tabulky a testovací matice žádné větrné rampy,
- **getUpRampRations** – metoda pro vrácení seznamu hodnot stoupajících větrných ramp,
- **getDownRampRations** – metoda pro vrácení seznamu hodnot klesajících větrných ramp,
- **getNoRampRations** – metoda pro vrácení seznamu hodnot žádných větrných ramp.

5.6.4 Metoda analýzy

Analyzování a vytváření predikce v metodě *analýza* probíhá následovně. Metoda nejprve pomocí podmínky zjistí, jestli jsou k dispozici data větrných ramp. V případě, že data k dispozici nejsou, dojde k zobrazení chybového dialogu a ukončení metody. V opačném případě metoda pokračuje dále zobrazením načítacího dialogu a vytvořením vlákna *analyzeThread*. Ve vláknech pak probíhá celá analýza a predikce větrných ramp.

Samotná analýza začíná vytvořením čtyř matic z trénovacích dat. Nejprve se metodou *getPCATransformedTrainingMatrix* vytvoří základní trénovací matice *fullTrainingMatrix* obsahující 75 % dat tlakového signálu. Základní matice se následně transformuje analýzou hlavních komponent, ze které se poté metodou *getTrainingRampsMatrix* vytvoří predikční matice pro stoupající, klesající a žádné rampy.

Z vytvořených matic se pomocí třídy *PCAWindRampTable3D* vytvoří čtyři 3D tabulky. Nejprve se z matice *fullTrainingMatrix* vytvoří základní tabulka *table3D*, která se následně použije spolu s maticemi ramp pro vytvoření 3D tabulek příslušných druhů větrných ramp. Tabulky stoupajících, klesajících a žádných ramp se přemění metodou *changeIntoRatioTable* na tabulky vyjadřující poměry výskytu větrných ramp. Tím je ukončena trénovací část.

Testovací část se vytváří ze zbylých 25 % dat tlakového signálu. Stejně jako v trénovací části tak v testovací části se nejprve vytvoří čtyři testovací matice. Základní matice se vytvoří

analýzou hlavních komponent provedené podle trénovacích dat z dat testovacích. Z takto vytvořené matice se metodou *getTestingRampsMatrix* vytvoří testovací matice pro všechny druhy větrných ramp.

Testovací matice se spolu s 3D tabulkami větrných ramp použijí pro naplnění seznamů jednotlivých druhů větrných ramp nacházejících se v instanci třídy *PCAWindRampRation*. Tyto seznamy jsou naplněny příslušnými poměry výskytu větrných ramp pomocí metod *fill* instance třídy *PCAWindRampRation*. Tím je predikce jednotlivých druhů ramp dokončena.

Na konci metody *analyze* následuje vytvoření 3D grafu pro stoupající a klesající větrné rampy a k uložení seznamů predikcí a informací o počtu jednotlivých větrných ramp do třídy *PCAAanalyseStore*, která slouží pro uchovávání informací modulu PCA.

6 FUNGOVÁNÍ APLIKACE

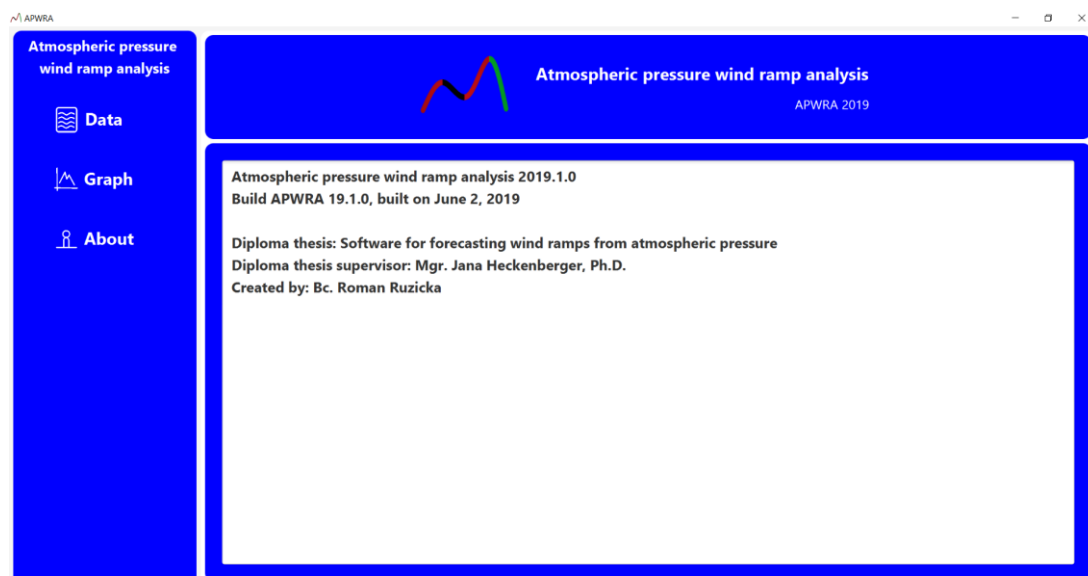
Aplikace APWRA je vytvořena jako jednoduchý analytický nástroj se spoustou funkcionalit, které ale nemusí být na první pohled patrné nebo práce s nimi nemusí být až tak intuitivní. Proto je potřeba popsat fungování aplikace, a tím tak vysvětlit případně upozornit na některé funkcionality.

6.1 Otevření aplikace

Aplikace APWRA se otevírá pomocí souboru JAR, pro který je potřeba mít nainstalovaný JRE (Java runtime environment). Samotná aplikace se nijak neinstaluje, ale je potřeba, aby soubor windplant.xml byl na stejném místě jako soubor APWRA.jar jinak nedojde k načtení větrných elektráren obsažených v tomto souboru.

Po spuštění aplikace se zobrazí úvodní okno, které lze rozdělit do dvou částí. V levé části se nachází základní menu, které obsahuje položky jako data, graph a about. Ty se používají pro přepnutí do příslušné nabídkové plochy nebo v případě about pro zobrazení základních informací.

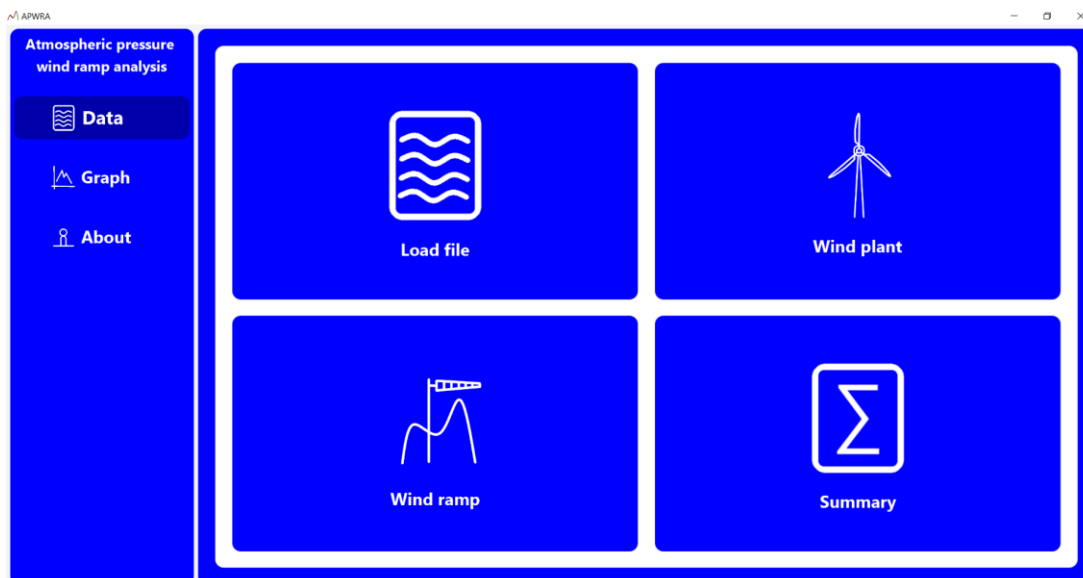
V pravé větší části se v úvodním okně nachází informace o aplikaci a jména vedoucího práce a tvůrce aplikace. V této části se pak zobrazují nabídkové plochy nebo jednotlivé moduly aplikace.



Obrázek 3 - Úvodní okno aplikace [zdroj: autor]

6.2 Datová část

Datová část je část aplikace, která se používá pro zadávání nebo zobrazování dat. K této části se přistoupí po kliknutí na tlačítko data hlavního menu, které následně otevře nabídkovou plochu se čtyřmi okny. Tato okna jsou tvořena z tlačítek, která se používají pro otevírání příslušných datových modulů.



Obrázek 4 - Datová nabídková plocha [zdroj: autor]

6.2.1 Modul load file

Modul načítání souboru je modul, který se používá pro načítání meteorologických dat. Data se do aplikace načítají ze souboru CSV, který je nutné načíst, aby mohly být provedeny analýzy jako jsou detekce a predikce větrných ramp.

Pro načtení souboru do aplikace je nejprve potřebné provést pomocí tlačítka select file výběr souboru. Výběr souboru se provádí přes dialogové okno, kde po provedení výběru a uzavření okna se v aplikaci zobrazí první čtyři řádky souboru. Tyto čtyři řádky souboru pak slouží uživateli jako pomoc pro přiřazení sloupců důležitým a volitelným parametrům.

Důležité parametry jako datum, tlak a rychlost větru musí být přiřazeny jednotlivým sloupcům. Bez nich nelze analýzy provádět. Volitelné parametry jako teplota a relativní vlhkost se nemusí přiřadit žádnému sloupci a lze je nastavit jako konstanty.

Kromě přiřazení sloupců jednotlivým parametrům je dále nezbytné provést nastavení jednotek a datumového formátu. Ty se nastavují tak, aby se jednotky aplikace shodovaly s jednotkami v souboru.

Po provedení nastavení je možné provést načtení celého souboru do aplikace pomocí tlačítka apply. Tím se načtou data souboru do aplikace.

Modul ještě obsahuje tlačítko reset, které vyresetuje, kromě cesty a samotného načteného souboru, veškeré nastavené hodnoty zpět do původních hodnot.



Obrázek 5 - Načítání meteorologických dat [zdroj: autor]

6.2.2 Modul wind plant

Modul větrných elektráren je modul, který se používá pro editaci dat větrných elektráren. Data jako je seznam účinností, průměr nebo jmenovitý výkon se pak používají při detekci větrných ramp. Editor obsahuje několik funkcionalit, kde jednou z důležitých funkcionalit je přidání nové větrné elektrárny.

Pro přidání je nejprve nezbytné v textové oblasti name vytvořit nové jméno elektrárny a následně zmáčknout tlačítko add. Tímto způsobem se vytvoří nová elektrárna, která bude obsahovat stejná data jako elektrárna vybraná před nově vytvořenou. Tyto data pak stačí pomocí editoru upravit podle požadavků uživatele.

Jednou z úprav, kterou je možné provést je úprava hodnot výkonu a účinnosti. Tato úprava se provádí pomocí tabulky nacházející se v pravé části modulu. Tabulka obsahuje hodnoty výkonu a účinnosti mezi kterými lze přepínat pomocí grafu. Přepnutí se provádí kliknutím do grafu, který se přepne na graf účinnosti nebo výkonu, čímž se změní i hodnoty tabulky.

Hodnoty se upravují přímo v tabulce výběrem a následným přepisem hodnoty. Potvrzení hodnoty se provádí stisknutím klávesy enter. Navrácení původní hodnoty se provádí kliknutím

na jinou položku. Po potvrzení se hodnoty automaticky propisují a přepočítávají do grafu výkonu a účinnosti a dat elektrárny.

Tabulku lze dále upravovat přidáváním a odebíráním hodnot. To se provádí pomocí tlačítek add a remove. Pokud není vybrána žádná položka, dojde k přidání nebo odebrání poslední hodnoty. V případě, že je nějaká položka vybrána, dojde při přidání ke zkopírování položky a následnému přidání nového řádku. Při odebírání se odebere položka, která je označená. Odznačení položek se provádí kliknutím do tabulky pravým tlačítkem myši.

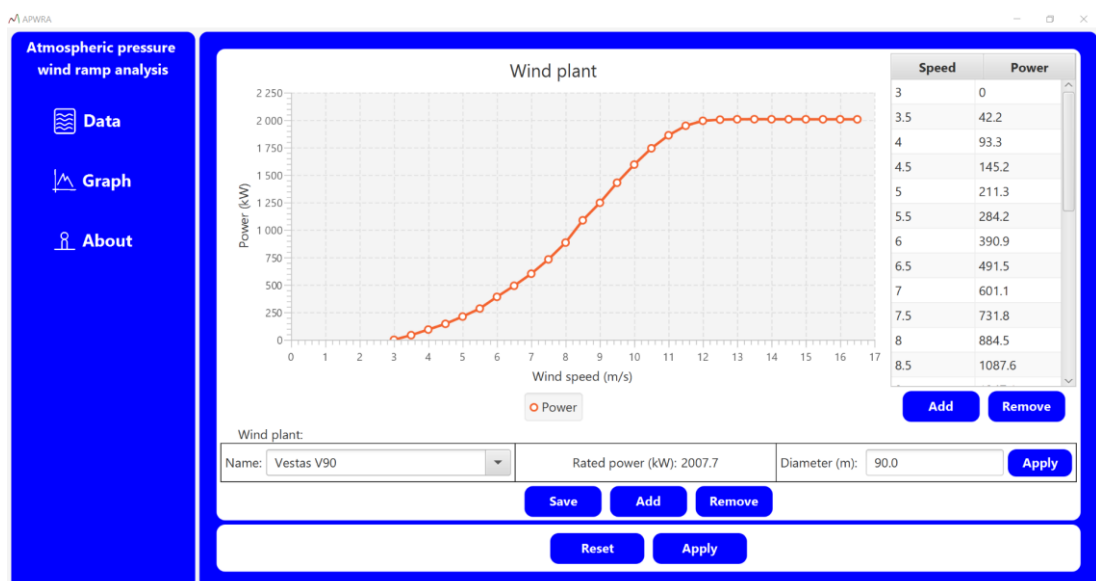
Hodnota jmenovitého výkonu se přepočítává automaticky po přidání nebo odebrání řádku nebo při změně hodnoty výkonu nebo účinnosti. Hodnotu průměru rotoru lze upravovat změnou v textovém poli, kterou je následně potřeba potvrdit tlačítkem apply.

Kromě přidávání elektráren je také možné elektrárny odebírat, a to tlačítkem remove nacházejícím se pod hodnotou jmenovitého výkonu.

Změny, které chce uživatel v editoru uchovat je nezbytné uložit pomocí tlačítka save. Tím dojde uložení všech změn do souboru windplant.xml, ze kterého se větrné elektrárny při otevření editoru načítají.

Pro použití vybrané elektrárny pro výpočet výkonu z meteorologických dat a detekci větrných ramp je potřeba výběr elektrárny potvrdit. Potvrzení se provádí kliknutím na tlačítko apply, nacházejícím se vedle tlačítka reset.

Nastavení výchozí elektrárny pro modul se provádí tlačítkem reset. Kliknutím na toto tlačítko se vybere výchozí elektrárna Vestas V90 a její hodnoty se nastaví do editoru větrných elektráren.

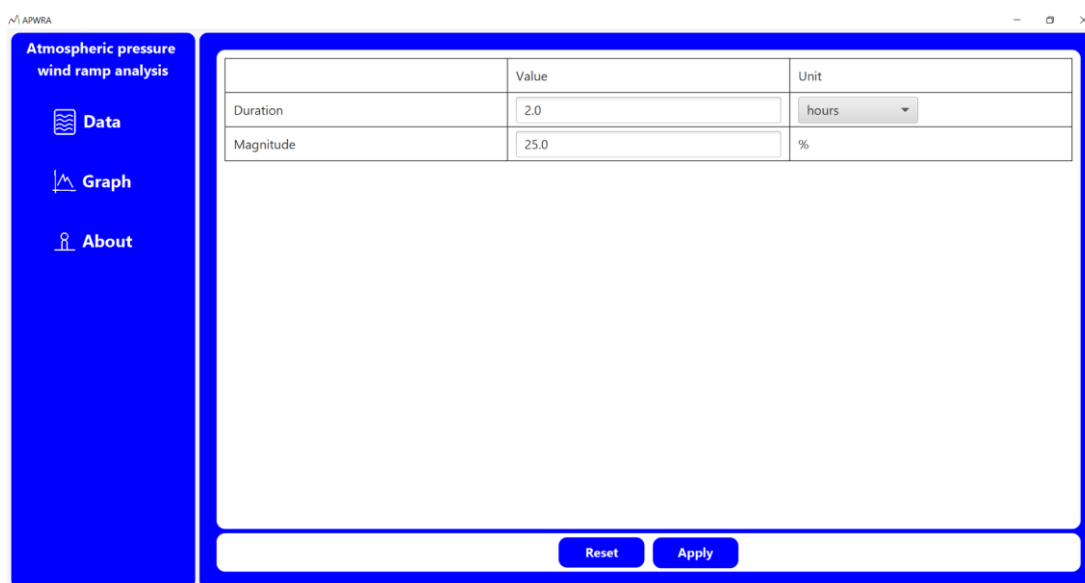


Obrázek 6 - Editor větrných elektráren [zdroj: autor]

6.2.3 Modul wind ramp

Modul větrných ramp je modul, který se používá pro nastavení parametrů větrné rampy jako jsou magnituda a délka trvání. Tyto parametry se pak používají pro detekci větrných ramp. Hodnota magnitudy se zadává v procentech a hodnota délky trvání se může zadávat v hodinách nebo v minutách.

Modul obsahuje dvě tlačítka apply a reset. Tlačítko reset se používá pro nastavení jednotek a parametrů větrné rampy do výchozích hodnot. Tlačítko apply se používá pro potvrzení nastavených parametrů větrné rampy.



Obrázek 7 - Modul pro nastavení parametrů větrných ramp [zdroj: autor]

6.2.4 Modul summary

Modul souhrnu je modul, který se používá pro výpis souhrnných počtů a statistik predikce větrných ramp. Údaje jsou vypisovány do jednoduché tabulky, která obsahuje čtyři sloupce.

V prvním sloupci se nachází popisky pro jednotlivá data v řádcích. V ostatních sloupcích se pak postupně nachází data pro jednotlivé druhy stoupajících, klesajících a žádných větrných ramp.

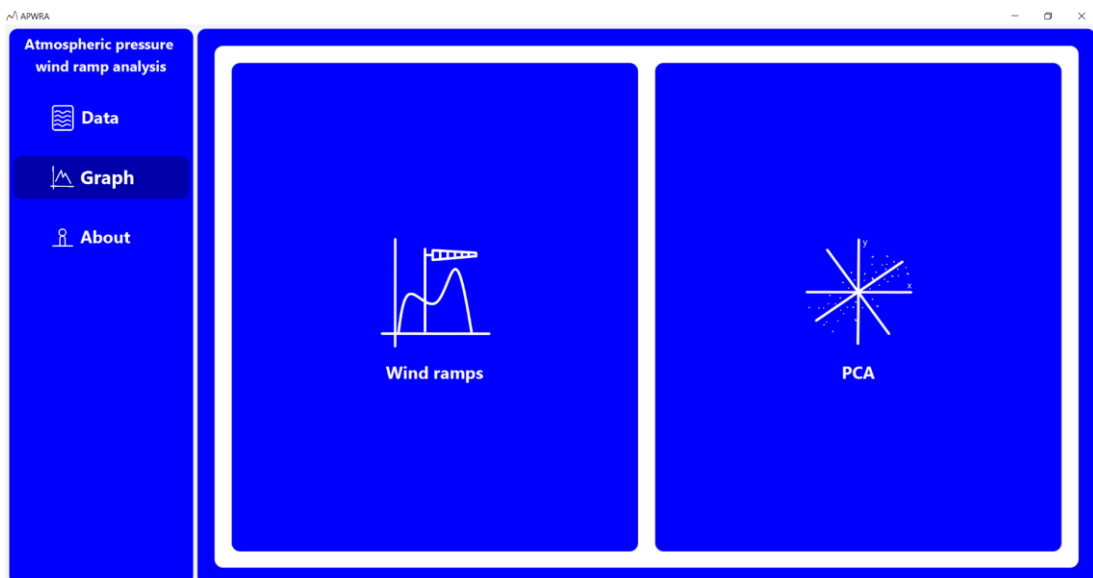
Modul obsahuje jedno tlačítko s popiskem show, které slouží pro zobrazování statistik predikce a počtu větrných ramp. Pro zobrazení statistik je nejprve nezbytné provést analýzu detekce a analýzu predikce větrných ramp.

Description	Up ramp	Down ramp	No ramp
Summary count	804	437	559
Training count	626	333	381
Testing count	178	102	171
Min (%)	9.09	8.33	6.67
Max (%)	72.73	66.67	66.67
Average (%)	34.64	28.15	29.56
Modus (%)	20	50	33.33
Median (%)	33.33	25	29.41
Lower quartile (%)	20	14.29	20
Upper quartile (%)	42.86	37.5	37.5
Standard deviation (%)	15.26	15.08	13.12

Obrázek 8 - Modul souhrnu [zdroj: autor]

6.3 Analytická část

Analytická část je část aplikace, která se používá pro provádění analýz a jejich následné zobrazení v grafech. K této části se přistoupí po kliknutí na tlačítko graph hlavního menu, které následně otevře nabídkovou plochu se dvěma okny. Tato okna jsou tvořena z tlačítek, která se používají pro otevírání příslušných analytických modulů.



Obrázek 9 - Analytická nabídková plocha [zdroj: autor]

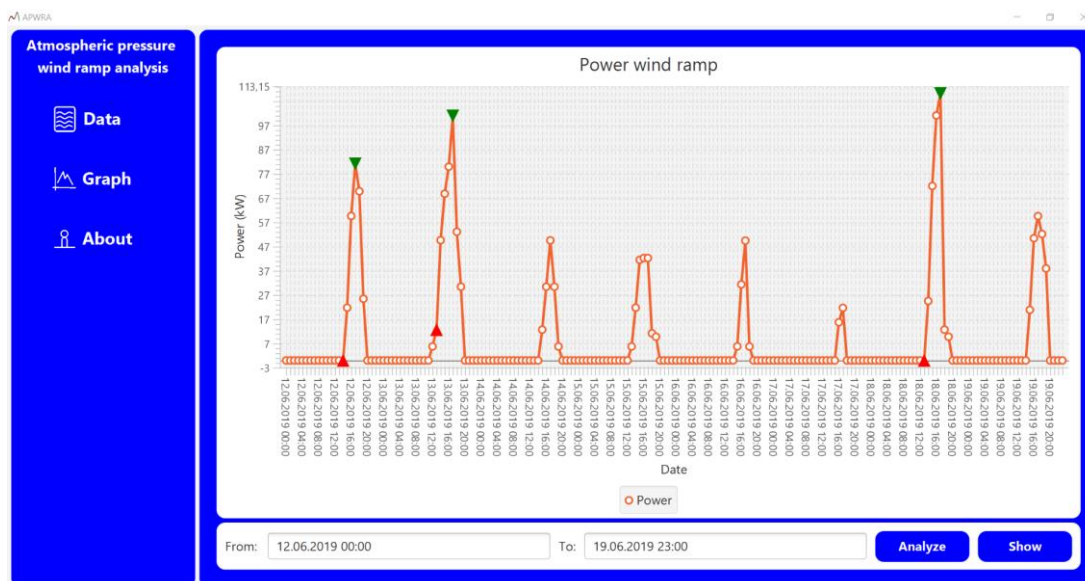
6.3.1 Modul wind ramp

Modul větrných ramp je modul, který se používá pro provedení detekce větrných ramp. Modul detekce se nachází v analytické části programu na rozdíl od modulu pro zadávání parametrů větrné rampy, který se nachází v části datové. Detekce se provádí analýzou výkonu vypočítaného z načtených meteorologických dat, dat větrné elektrárny a nastavených parametrů větrné rampy. Data získaná z detekce se pak následně používají v modulu pro predikci větrných ramp.

Analýza se v modulu provede po kliknutí na tlačítko analýze, které provede analýzu od počátečního data do data koncového. Hodnoty dat se v aplikaci nastavují automaticky, kdy po načtení nového souboru se automaticky načte první a poslední datum souboru. Po provedení změny dat a analýzy se pak v modulu udržují data provedené analýzy. V případě zadání data mimo rozsah souboru nebo prohození dat je uživatel na tuto událost upozorněn chybovým dialogem. Počáteční a koncová data souboru lze zobrazit přejetím přes pole s datem, kdy se zobrazí okénko s informací o příslušném datu.

Provedenou analýzu je možné zobrazit pomocí tlačítka show, které zobrazí graf s detekovanými rampami. Každá detekovaná rampa obsahuje vyskakovací okénko, které po přejetí kurzorem myši zobrazí informace o typů rampy a od kdy do kdy je rampa detekována.

Graf obsahuje dva druhy grafů. Jedním z nich je graf zobrazující výkon v čase tzv. výkonový signál. Druhým grafem je graf zobrazující hodnoty tlaku v čase tzv. tlakový signál. Přepnutí mezi grafy se provádí kliknutím do grafu.



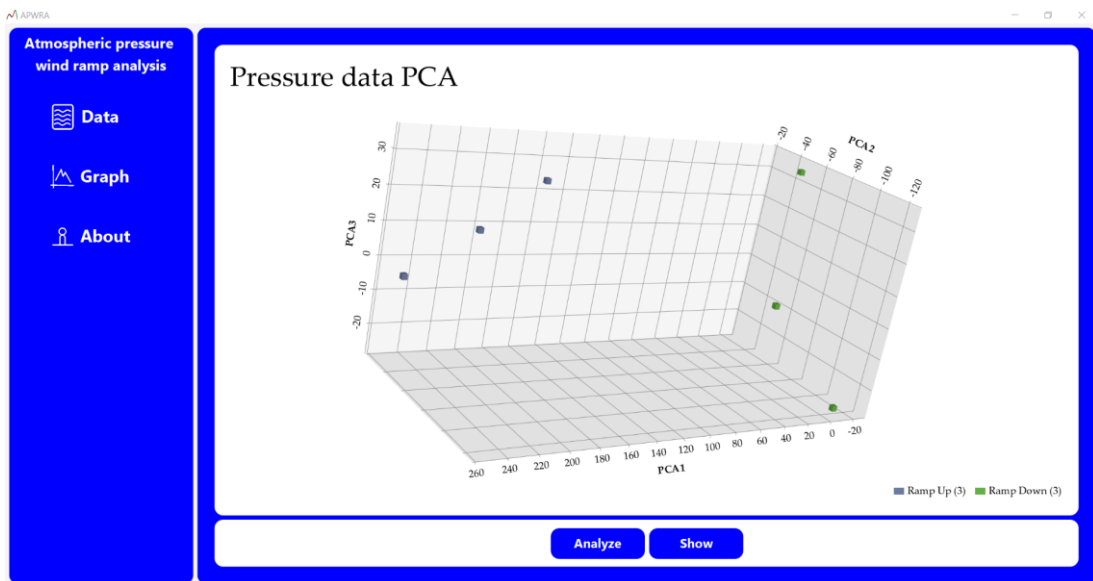
Obrázek 10 - Modul detekce větrných ramp [zdroj: autor]

6.3.2 Modul PCA

Modul PCA je modul, který se používá pro vytvoření predikčního modelu větrných ramp. Predikce se provádí analýzou hlavních komponent nad data získaných z modulu větrných ramp po provedení detekční analýzy. Data získaná z predikčního modelu se následně používají pro vytvoření statistik, které se zobrazují v modulu souhrnu.

Analýza se v modulu provede kliknutím na tlačítko analyze, které provede analýzu hlavních komponent a vytvoření predikčního modelu pro předpovídání větrných ramp. Po provedení analýzy lze data stoupajících a klesajících větrných ramp zobrazit ve 3D grafu pomocí tlačítka show.

S grafem je možné manipulovat pomocí pohybu počítačové myši nebo vyvoláním kontextového menu. V menu se pak nachází položky pro přibližování, oddalování, centrování nebo export grafu do obrazového formátu PNG a JPEG, u kterého je potřeba k názvu dopsat příslušný typ formátu.



Obrázek 11 - Modul predikce a analýzy hlavních komponent [zdroj: autor]

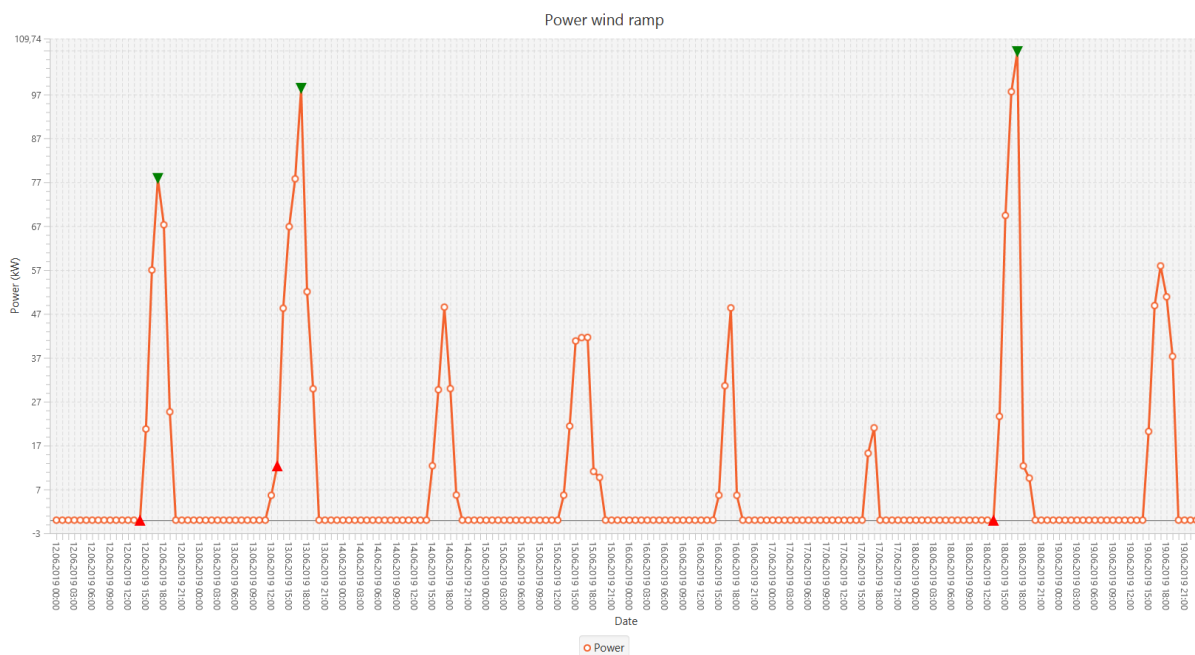
7 VÝSLEDKY APLIKACE

Účelem aplikace APWRA je získávání výsledků z detekce a predikce větrných ramp nad zadanými daty. Cílem této kapitoly je popsat a zhodnotit výsledky, které byly získány z testů provedených v aplikaci APWRA.

7.1 Detekce větrných ramp

Prvním z testů je detekce větrných ramp, kde účelem tohoto testu je porovnat detekci provedenou na stejných meteorologických datech a parametrech větrné rampy dvou různých typů větrných elektráren.

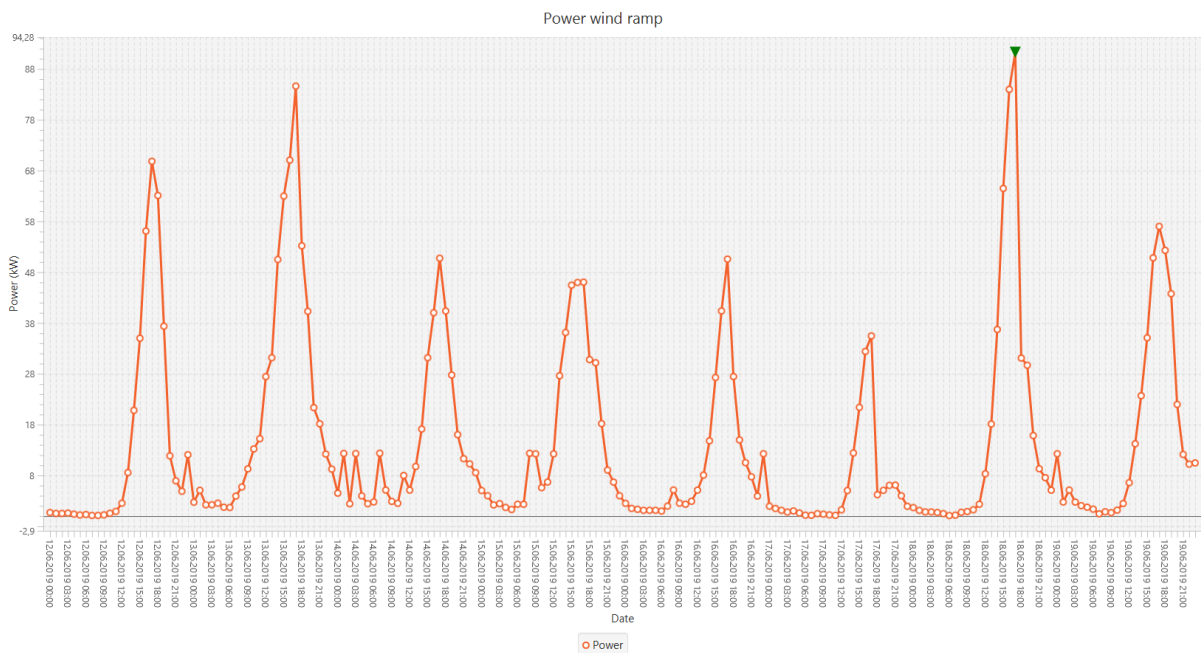
Pro test byly použity meteorologická data, která byla zaznamenávána po jedné hodině. Data obsahují hodnoty atmosférického tlaku, rychlosti větru, teploty vzduchu a relativní vlhkosti. Jako testované elektrárny byly vybrány elektrárny Vestas V90 a Enercon E-82.



Obrázek 12 - Detekce větrných ramp Vestas V90 [zdroj: autor]

První testovanou elektrárnou je Vestas V90, pro kterou se délka větrné rampy nastavila na hodnotu 4 hodin a hodnota magnitudy se nastavila na 3,8 %. Parametry větrné rampy byly zvoleny tak, aby došlo k optimální detekci větrných ramp.

Na grafu (Obrázek 12) zobrazující výkon vypočítaný z meteorologických dat pro tuto elektrárnu je vidět, že při největších změnách výkonu byly nalezeny 3 stoupající rampy (červené trojúhelníky) a 3 rampy klesající (zelené trojúhelníky).



Obrázek 13 - Detekce větrných ramp Enercon E-82 [zdroj: autor]

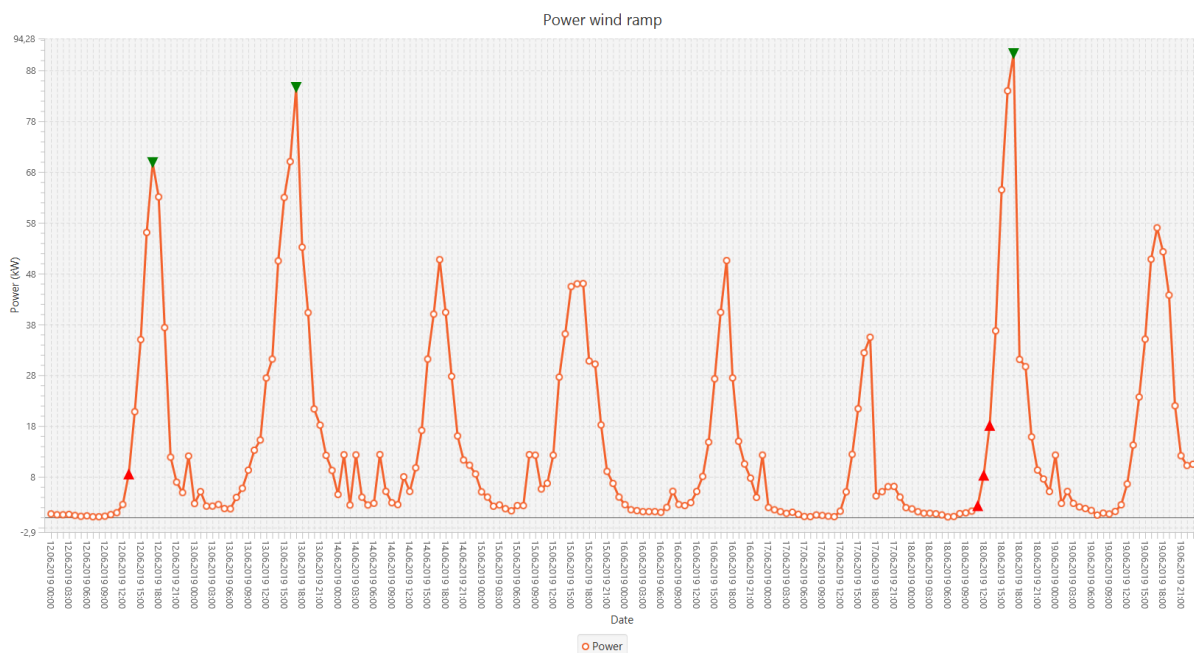
Druhou testovanou elektrárnou je Enercon E-82, pro kterou byly parametry větrné rampy nastaveny stejně jako pro elektrárnu Vestas V90.

Na grafu (Obrázek 13) zobrazující opět výkon vypočítaný z meteorologických dat pro elektrárnu Enercon E-82 je vidět, že při takto zadaných parametrech větrné rampy byla nalezena pouze jedna větrná rampa a to klesající.

Při porovnání obou grafů výkonu mezi elektrárnami Vestas V90 a Enercon E-82 je na první pohled patrná odlišnost při detekci větrných ramp. Dále si lze také povšimnout rozdílů v kolísání výkonu. Tyto rozdíly jsou způsobeny rozdílnou účinností větrných elektráren při různých hodnotách rychlosti větru, které způsobují rozdíly ve výkonu a tím i odlišnosti při detekci větrných ramp.

Aby došlo u elektrárny Enercon E-82 k přibližně stejné detekci, je potřeba upravit parametry větrné rampy. Parametry větrné rampy byly pro následující graf (Obrázek 14) upraveny tak, že hodnota délky větrné rampy zůstala na hodnotě 4 hodin a délka magnitudy se změnila z hodnoty 3,8 % na 2,9 %.

Z grafu (Obrázek 14) znázorňující detekci větrných ramp na výkonu elektrárny Enercon E-82 je na první pohled patrné, že byly detekovány 4 stoupající a 3 klesající rampy. Po upravených hodnotách větrné rampy je možné vidět, že detekce ramp elektrárny Enercon E-82 je přibližně podobná s detekcí ramp elektrárny Vestas V90.



Obrázek 14 - Detekce ramp Enercon E-82 po úpravě parametrů [zdroj: autor]

Závěrem k provedenému testu detekce větrných ramp lze říci, že není možné pro detekci ramp provedenou nad různými druhy větrných elektráren použít stejné parametry větrné rampy, a to z důvodu rozdílných účinností jednotlivých druhů elektráren.

7.2 Predikce větrných ramp

Druhým provedeným testem nad aplikací APWRA je test predikce větrných ramp. Účelem tohoto testu je nad meteorologickými daty provést pravděpodobnostní predikci výskytu, ze které budou získány základní statistické výsledky jednotlivých druhů větrných ramp.

Pro tento test byl použit soubor meteorologických dat, kde údaje jsou zaznamenány po jedné hodině. Soubor obsahuje data atmosférického tlaku, rychlosti větru a teploty vzduchu. Z důvodu chybějící hodnoty relativní vlhkosti byla hodnota tohoto meteorologického údaje v programu staticky nastavena na hodnotu 50 %. Hodnoty parametrů větrné rampy byly nastaveny tak, že pro parametr délky rampy byla hodnota nastavena na 4 hodiny a pro parametr magnitudy byla hodnota nastavena na 40 %. Parametry větrné rampy byly zvoleny tak, aby došlo k optimální detekci a získání dostatečného počtu větrných ramp. Jako testovací elektrárna pro predikci byla zvolena elektrárna Vestas V90, a to z důvodu jejího hojného výskytu na území České republiky.

Po provedení predikčního testu byly získány informace, které byly rozděleny do dvou tabulek. V první tabulce se nachází informace o celkových počtech větrných ramp. Ve druhé

tabulce se nachází pravděpodobnostní informace vyjádřené základními statistickými funkcemi, které vytváří ucelený přehled nad predikcí výskytu větrných ramp.

Tabulka 4 - Informace o počtu větrných ramp [zdroj: autor]

	Stoupající	Klesající	Nenastala
Celkový počet	153	152	744
Trénovací počet	125	120	524
Testovací počet	27	29	214

Informace o počtech větrných ramp znázorňuje Tabulka 4. Z tabulky je na první pohled patrné, že při detekci větrných ramp bylo detekováno více případů, kde větrné rampy nenastaly. Dále je také v tabulce patrné, že došlo k detekování zhruba stejného počtu stoupajících a klesajících větrných ramp.

Tabulka 5 - Informace o predikci větrných ramp [zdroj: autor]

	Stoupající	Klesající	Nenastane
Minimum	4,65 %	3,57 %	20 %
Maximum	33,33 %	33,33 %	88,89 %
Průměr	12,87 %	10,86 %	66,32 %
Modus	13,33 %	4,35 %	77,78 %
Medián	10,53 %	7,69 %	67,86 %
Dolní kvartil	7,41 %	4,35 %	60,53 %
Horní kvartil	13,33 %	13,16 %	77,78 %
Standartní odchylka	9,06 %	8,57 %	13,64 %

Výsledné statistiky predikce výskytu jednotlivých větrných ramp představuje Tabulka 5. Ta je rozdělena do čtyř sloupců, kde první sloupec tabulky obsahuje popisy statistických funkcí a další tři sloupce obsahují hodnoty pravděpodobností výskytu větrných ramp.

Z tabulky lze vyčíst, že nejvyšší hodnoty výskytu obsahuje sloupec vyjadřující případ, kdy větrná rampa nenastane. Pravděpodobnostní hodnoty toho, že větrná rampa nenastane se pohybují v minimu kolem 20 % a v maximu kolem 89 %. Průměrná hodnota výskytu se pak pohybuje kolem 66 %.

V případě, kdy větrná rampa nastane, tak nejvyšších hodnot výskytu dosahují stoupající větrné rampy, u kterých se minimální hodnota výskytu pohybuje kolem 5 % a maximální hodnota výskytu dosahuje hodnoty 33 %. Průměrná hodnota výskytu stoupajících ramp se pak pohybuje kolem 13 %. Sloupec hodnot pro klesající rampy obsahuje nejnižší hodnoty výskytu, kde minimální hodnota výskytu se pohybuje kolem 4 % a maximální hodnota výskytu dosahuje stejné hodnoty jako maximální hodnota stoupajících ramp a to 33 %. Průměrná hodnota výskytu klesajících ramp se pohybuje kolem 11 %.

Z výsledků tabulky pravděpodobností predikce výskytu větrných ramp lze říci, že pomocí analýzy hlavních komponent z atmosférického tlaku vzduchu lze nejlépe předpovídat případy, kdy větrná rampa nenastane. V opačném případě, lze nejlépe předpovídat stoupající větrné rampy.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo vytvořit software, který pomocí statistické analýzy dat atmosférického tlaku a výkonu detekuje a vyčíslí pravděpodobnosti výskytu jednotlivých větrných ramp. Tato aplikace by měla sloužit jako nástroj pro analyzování a testování větrných ramp na různých meteorologických a konstrukčních datech větrných elektráren ostatním vědeckým týmům, které se touto tematikou zabývají.

V teoretické části diplomové práce byly v úvodu představeny a popsány elektrárny pracující s obnovitelnými zdroji energie, zejména pak větrné elektrárny. Dále byl definován důležitý pojem této diplomové práce, a to větrná rampa, pro kterou byly popsány důležité parametry a rovnice používající se pro její detekci. Následně byla popsána statistická metoda analýza hlavních komponent, pro kterou byly popsány a vysvětleny základní principy jejího výpočtu a použití využívajícího se při predikci větrných ramp.

V praktické části diplomové práce byla úspěšně implementována aplikace, která je schopna na základě meteorologických dat, parametrů větrné rampy a parametrů elektrárny provést detekci a pravděpodobnostní predikci výskytu větrných ramp z atmosférického tlaku vzduchu. Nad rámec zadání byl v programu vytvořen editor větrných elektráren, pomocí kterého je v aplikaci možné přidávat a odebírat nebo měnit parametry jednotlivých větrných elektráren.

V závěru diplomové práce došlo k otestování aplikace nad reálnými daty, kde byl proveden test detekce a predikce. Z testu detekce vyplývá, že není možné používat stejné parametry větrné rampy pro jejich detekci nad různými druhy větrných elektráren, zejména pak nad větrnými farmami skládajícími se z různých druhů větrných elektráren. Z výsledků získaných z testu predikce bylo zjištěno, že při provedení predikce větrných ramp pomocí statistické metody analýzy hlavních komponent nad hodnotami atmosférického tlaku vzduchu, lze nejlépe predikovat případy, kdy větrná rampa nenastane. V opačném případě, kdy větrná rampa nastane, lze nejlépe predikovat stoupající větrné rampy.

Závěrem lze říci, že vytvoření aplikace pro detekci a predikci větrných ramp bylo úspěšné a všechny cíle této diplomové práce byly splněny. Do budoucna se doporučuje samotnou aplikaci nebo aplikace jí podobné vytvářet v jazyce Python, a to z důvodu lepší podpory práce s matematickými knihovnamí. Dalším dobrým důvodem použití jazyka Python je podpora knihoven pro hloubkové učení a neuronové sítě TensorFlow a Keras, které by mohly být pro detekci a predikci větrných ramp využity.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ČESKO. Zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí. In: Sbírnka zákonů České a Slovenské federativní republiky. 1992, částka 4, s. 82. ISSN 1210-0005. Dostupný také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-17>
- [2] MOTLÍK, Jan a et al. Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v ČR [online]. ČEZ, a. s. Duhová 2/1444, Praha, 2007 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/obnovitelne_zdoje_energie_a_moznosti_jejich_vyuziti_pro_cr.pdf
- [3] KAŠINSKÝ, Jan a Vladimír WAGNER. Jaký je potenciál využití biomasy v Česku a ve světě. OEnergetice.cz [online]. 18. únor 2019 [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/nazory/jaky-potencial-vyuziti-biomasy-cesku-ve-svete/>
- [4] Elektrárny ČEZ spalující biomasu. Skupina ČEZ [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/obnovitelne-zdroje/biomasa-1/elektrarny-cez-spalujici-biomasu>
- [5] CHLUBNÝ, Jaroslav, Jaroslav LEDNICKÝ, Radek SEDLAČÍK a Lenka SLEZÁČKOVÁ. Obnovitelné zdroje energie [online]. 2010 [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: https://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/obnovitelne_zdroje_energie_energeticka_agentura_zlinskeho_kraje.pdf
- [6] REDAKCE NAZELENO.CZ. Biomasa: Jak jsme na tom s výrobou elektřiny? Nazeleno.cz [online]. 10. 8. 2010 [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/vytapeni/biomasa/biomasa-jak-jsme-na-tom-s-vyrobou-elektriny.aspx>
- [7] VOBOŘIL, David. Geotermální energie. OENERGETICE [online]. 13. květen 2015 [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/geotermalni-energie/>
- [8] VOBOŘIL, David. Fotovoltaické elektrárny: Princip funkce a součásti, elektrárny v ČR. OENERGETICE [online]. 16. prosinec 2016 [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti/>

- [9] MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011 [cit. 2019-03-17]. ISBN 978-80-01-04937-2. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/cvut-2-oze.pdf>
- [10] SOLARNINOVINKY.CZ. Solární panely třetí generace se začaly testovat v Polsku. Solární novinky [online]. 14. 02. 2019 [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: <http://www.solarinovinky.cz/?zpravy/2019021205/solarni-panely-treti-generace-se-zacaly-testovat-v-polsku>
- [11] SRDEČNÝ, Karel. Obnovitelné zdroje energie. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2009. ISBN 978-80-7212-518-0.
- [12] VOBOŘIL, David. Vodní elektrárny: Princip, rozdělení, elektrárny v ČR. OENERGETICE.cz [online]. 24. listopad 2016 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni/>
- [13] Princip fungování vodních elektráren. ČEZ [online]. Duhová 2/1444, Praha 4 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/flash-model-jak-funguje-vodni-elektrarna.html>
- [14] REICHL, Jiří. Vírová turbína: český vynález – začala fungovat nedaleko Kadaně. Ekonomický deník: Informace pro informované [online]. Revoluční 1082/8, 11000 Praha 1: Media Network, 2018, 7.7.2016 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <http://ekonomicky-denik.cz/virova-turbina-cesky-vynalez-zacala-fungovat-nedaleko-kadane/>
- [15] TRNAVSKÝ, Jiří. Projekt unikátní vírové turbíny. Energie 21: Časopis obnovitelných zdrojů energie [online]. Profi Press, 2013, 12.5.2016 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://energie21.cz/projekt-unikatni-virove-turbiny/>
- [16] Z čeho se skládá větrná elektrárna. ČSVE – Větrné elektrárny | Větrná energie [online]. Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1, 2013 [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: <http://csve.cz/cz/detail-kategorie/z-ceho-se-sklada-vetrna-elektrarna/82>
- [17] VOBOŘIL, David. Větrné elektrárny – princip, rozdělení, elektrárny v ČR. OEnergetice.cz [online]. 28. únor 2015 [cit. 2019-06-07]. Dostupné z:

<https://oenergetice.cz/typy-elektraren/vetrne-elektrarny-princip-cinnosti-zakladni-rozdeleni/>

- [18] FERREIRA, Carlos, João GAMA, Luis MOREIRA-MATIAS, Audun BOTTERUD a Jianhui WANG. A survey on wind power ramp forecasting [online]. Chicago: Argonne National Laboratory, 2011 [cit. 2019-07-06]. Dostupné z: <https://ceesa.es.anl.gov/pubs/69166.pdf>
- [19] LINDSAY, Smith. A tutorial on Principal Components Analysis [online]. 2002 [cit. 2019-07-06]. Dostupné z: http://www.iro.umontreal.ca/~pift6080/H09/documents/papers/pca_tutorial.pdf
- [20] KLŮFA, Jindřich. Učebnice matematiky pro studenty VŠE. Praha: Ekopress, 2013. ISBN 978-80-86929-97-2.
- [21] HEBÁK, Petr. Statistické myšlení a nástroje analýzy dat. 2. vydání. Praha: Informatorium, 2015. ISBN 978-80-7333-118-4.
- [22] HECKENBERGEROVA, Jana, Petr MUSILEK, Jaroslav MAREK a James RODWAY. Principal Component Analysis for Evaluation of Wind Ramp Event Probability. 2014 IEEE Electrical Power and Energy Conference [online]. IEEE, 2014, 2014, , 208-212 [cit. 2019-08-19]. DOI: 10.1109/EPEC.2014.50. ISBN 978-1-4799-6038-5. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7051701/>
- [23] Stáhnout data Excel. Meteoblue [online]. Basel, 2006 [cit. 2019-08-04]. Dostupné z: https://www.meteoblue.com/cs/products/historyplus/download/excel_kanada_5950658
- [24] OLSZEWSKI, Daniel. Project Package Organization. DZone [online]. 2005, 14. července 2017 [cit. 2019-08-04]. Dostupné z: <https://dzone.com/articles/project-package-organization>