

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Modelování proudění vzduchu v městské zástavbě ve
vybrané lokalitě města Plzně**

**vedoucí práce: Prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.
autor: Bc. Jiří Hadraba**

2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří HADRABA**
Osobní číslo: **E11N0091P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Modelování proudění vzduchu v městské zástavbě ve vybrané lokalitě města Plzně**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**


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

1. Uveďte teoretické příčiny vzniku proudění vzduchu, popis staniční sítě, přístrojové techniky a měření směru a rychlosti větru.
2. Popište datové zpracování informací ze stanic, problémy dat, parametry výběru vhodné stanice, zpracování větrných charakteristik vybrané stanice.
3. Analyzujte problematiku modelování vybrané polohy a proveďte vlastní výpočty a mapové zobrazení proudění větru použitím určeného softwaru.
4. Zhodnoťte naměřené a vypočtené hodnoty, namodelované situace i interpretaci mapových situací.


Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie
Konzultant diplomové práce: **RNDr. Jiří Hostýnek**
ČHMÚ Plzeň
Datum zadání diplomové práce: **15. října 2012**
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2013**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Anotace

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na praktické využívání softwaru, určeného k modelování proudění vzduchu v určitých lokalitách. V práci je obecně popsána problematika proudění vzduchu, jeho měření a ukládání dat. Dále jsou v práci uvedeny informace o měření rychlosti a směru větru. V druhé části práce je pak proveden vlastní výpočet z dostupných dat meteorologické stanice Plzeň - Mikulka, statistické vyhodnocení dat a jejich použití jako vstupní data pro samotné modelování v použitém softwaru WAsP Engineering. Tyto vymodelované situace vlastních oblastí, které jsem zvolil v místě ZČU v Plzni a v nedaleké městské zástavbě, jsou zobrazeny jak grafickým, tak i tabulkovým způsobem. Z těchto dostupných údajů je provedeno porovnání oblastí při dvou situacích. Jedna situace modeluje oblast bez jakékoli zástavby a druhá se skutečnou zástavbou. V závěru práce je pak uvedeno zhodnocení tohoto modelování s informacemi, jakým způsobem ovlivňuje zástavba proudění vzduchu.

Klíčová slova

Vítr, rychlost větru, směr větru, anemometr, Beaufortova stupnice, WAsP Engineering, staniční síť, přístrojová technika, modelování proudění vzduchu, větrná růžice, kvantil, medián, četnost, meteorologie, klimatologie.

Modelling of airflow in urban built-up area in selected locality of city of Pilsen

Abstract

This thesis is focused on the practical use of the software, designed to model the airflow in certain locations. In the thesis there are described problems of air, its measurement and data storage. Furthermore, this work provides information on the measurement of wind speed and direction. In the second part the is then realized own calculation of the available meteorological data station Plzen - Mikulka, statistical evaluation of the data and it is used as input data for the actual modeling software used in WASP Engineering. These situations modeled their own areas, which I have chosen at the University of West Bohemia in Pilsen and nearby urban areas are displayed as graphical and tabular manner and the data available is a comparison of the areas in the two situations. One situation models the area without any buildings and the other real estate. The conclusion is stated evaluation of this model with information how development affects airflow.

Key words

Wind, wind speed, wind direction, anemometer, Beaufort scale, WASP Engineering, station network, instrumentation technique, modeling airflow, wind rose, quantile, median, frequency, meteorology, climatology.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

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

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

V Plzni dne 23.4.2013

Bc. Jiří Hadraba

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Janu Škorpilovi, CSc. za cenné profesionální rady, připomínky, informace a metodické vedení práce. Dále bych rád poděkoval panu RNDr. Jiřímu Hostýnkovi, vedoucímu oddělení meteorologie a klimatologie ČHMÚ Plzeň za poskytnuté rady, data, domluvení spolupráce na pracovišti a další informace ohledně tématu mé diplomové práce. Dále panu Mgr. Zdeňku Lepkovi, rovněž z ČHMÚ Plzeň za vytvoření terénu oblasti města Plzně kde jsem prováděl simulaci a za možnost vytváření vlastní simulace a modelování proudění v programu WASP.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ	8
ÚVOD	9
1 TEORETICKÉ PŘÍČINY VZNIKU PROUDĚNÍ VZDUCHU, MĚŘENÍ SMĚRU A RYCHLOSTI VĚTRU	11
1.1 PROUDĚNÍ VZDUCHU V ATMOSFÉRE	11
1.2 VZDUCHOVÉ HMOTY	11
1.3 TLAKOVÁ VÝŠE A TLAKOVÁ NÍŽE	12
1.4 PROUDĚNÍ VZDUCHU, JEHO TYPY A ZMĚNY	13
1.4.1 Laminární proudění	13
1.4.2 Turbulentní proudění	13
1.5 TERMODYNAMIKA PROSTŘEDNÍ A BUDOV	14
1.6 MĚŘENÍ SMĚRU A RYCHLOSTI VĚTRU	15
1.6.1 Mechanický a aerodynamický anemometr	16
1.6.2 Přístrojové vybavení meteorologických stanic	17
1.6.3 Beaufortova stupnice	17
2 POPIS STANIČNÍ SÍTĚ A PŘÍSTROJOVÉ TECHNIKY, PROBLÉMY S DATY, DATOVÉ ZPRACOVÁNÍ	18
2.1 KLIMATOLOGICKÁ STANICE	18
2.2 SYNOPTICKÁ STANICE	19
2.3 ROZVOJ STANIČNÍ SÍTĚ NA ÚZEMÍ PLZEŇSKÉHO KRAJE	19
2.4 METEOROLOGICKÁ STANICE PLZEŇ - MIKULKA	22
2.5 DATOVÉ ZPRACOVÁNÍ, PROBLÉMY S DATY	23
2.6 PROGRAMOVÝ VÝPOČET SMĚRU A RYCHLOSTI VĚTRU, DATABÁZE	25
2.7 DOPLŇOVÁNÍ CHYBĚJÍCÍCH DAT	26
3 METODIKA MODELOVÁNÍ PROUDĚNÍ	27
4 PRAKTICKÁ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE	28
4.1 VSTUPNÍ DATA	28
4.2 ROZDĚLENÍ SMĚRŮ VĚTRU DLE INTERVALŮ	28
4.3 URČENÉ HODNOTY PRO SMĚRY VĚTRU	29
4.4 VÝSLEDNÁ DATA Z NAMĚŘENÝCH HODNOT NA STANICI MIKULKA	32
4.5 MODELY TERÉNU A BUDOV VE VYBRANÉ LOKALITĚ	33
4.6 PROGRAMOVÉ PROSTŘEDÍ	34
4.7 VÝSTUPNÍ HODNOTY PROGRAMU	37
4.8 HODNOCENÍ VÝSTUPŮ	43
ZÁVĚR	47
SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	48
SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK	49
POUŽITÁ LITERATURA	50
PŘÍLOHY	I

Seznam symbolů

ZČU.....	Západočeská univerzita v Plzni
ČHMÚ.....	Český hydrometeorologický ústav
TV.....	Tlaková výše
TN.....	Tlaková níže
A.....	Coriolisova síla
ω	Úhel rychlosti rotace
v [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$].....	Rychlost proudění [metr / sekunda]
φ [$^{\circ}$].....	Zeměpisná šířka [stupeň]
R [N]	Síla tření [Newton]
k	Koeficient tření
C [N].....	Odstředivá síla [Newton]
r [m].....	Poloměr zakřivení [metr]
UTC.....	Označení světového času
FEL.....	Fakulta elektrotechnická
FPE.....	Fakulta pedagogická
ID.....	Pořadové označení
AKS.....	Automatizované klimatologické stanice s dobrovolnou obsluhou
ASS.....	Automatizované srážkoměrné stanice
AMS.....	Automatizované meteorologické stanice s profesionální obsluhou
OMK.....	Oddělení meteorologie a klimatologie
WAsP.....	Software určený k modelování WAsP Engineering
F [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$].....	Rychlost větru při výpočtu
D [$^{\circ}$].....	Směr větru při výpočtu

Úvod

Předkládaná práce je primárně zaměřena na studii směru a rychlosti větru ve vybrané lokalitě. Vzhledem k umístění západočeské univerzity a mému bydlišti jsem si za lokalitu zvolil město Plzeň, konkrétně pak oblast Bory.

K získávání dat potřebných pro zkoumání počasí a povětrnostních podmínek v naší zemi se využívá rozsáhlá síť meteorologických a klimatologických stanic. Tuto síť spravuje ČHMÚ a obsahuje celkem 802 stanic (rok 2011). Pro tuto diplomovou práci jsem využíval podklady a data poskytnutá meteorologickou stanicí Plzeň - Mikulka. Budování této stanice bylo zahájeno roku 2002 a stavba byla dokončena v roce 2004.

Pro pochopení základních jevů z oblasti meteorologie a klimatologie je zapotřebí pochopit rozdíl mezi těmito úzce spojenými vědami. Zatímco meteorologie se zabývá okamžitým stavem počasí, jeho skladbou a průběhem v určitém čase na daném místě, tak klimatologie se zabývá dlouhodobou studií režimu počasí. Tento režim počasí se uvádí za určitou dobu. Nejčastěji se setkáme s dobou deset, dvacet či sto let. Dlouhodobý režim počasí ovlivňuje několik faktorů. Mezi ty základní patří zemský povrch, radiace (sluneční záření), všeobecná cirkulace a v neposlední řadě lidská činnost. Stejně jako mnoho jiných oborů, tak i studie klimatu a jeho změn má za sebou dlouholetý vývoj.

První zmínky o měření spojeného s klimatem se datují kolem r. 2000 př. n. l. a týkaly se měření větru. Následovaly studie z odvětví astronomie, kdy se zkoumal pohyb hvězd či souhvězdí a s tím spojené opakující se každoroční cykly a průběhy počasí. Postupem času následovaly nové stanice na měření teplot nebo srážek. Na našem území vznikla první stanice v roce 1771 v Praze - Klementinu. O přibližně sto let později, konkrétně roku 1875, byla založena Hydrografická komise pro království české. Rozvoj stanic a ústavů pokračoval a roku 1919 byl založen Státní ústav meteorologický. Následně byl založen r. 1954 Hydrometeorologický ústav, který se v roce 1969 rozdělil na Český hydrometeorologický ústav a Slovenský hydrometeorologický ústav.

V současné době můžeme meteorologii rozdělit do několika odvětví. Rozlišujeme meteorologii synaptickou, která zkoumá povětrnostní události na určitém území v čase, dynamickou studující přeměny energií (např. zářivou na tepelnou) a pohyby vzduchových hmot. Dále se uvádí meteorologie užitná, jenž se využívá vždy pro určité odvětví, jakým může být letecká doprava či zemědělství. Složitějšími prvky se zabývá tzv. aerologie. Ta je zaměřena na vysoké vrstvy atmosféry a výsledkem jsou data získaná při vypouštění meteorologických balonů a sond, jenž měří změny teploty, směru a rychlosti větru či vlhkost.

V neposlední řadě je známá radarová a satelitní meteorologie, která poskytuje údaje pro předpovědi televizních stanic či internetových aplikací.

Výstupy měření, které provedu a zobrazím v této práci, mohou mít různá uplatnění. Vzhledem k lokalitě v Plzni, kterou jsem si vybral - Borská pole, může být brána v potaz výstavba pole větrných elektráren, umístěného na několika blízkých místech, jelikož se tato oblast nachází na samém okraji města, tudíž se tam nevyskytuje početná a hlavně výškově náročná zástavba, jakou můžeme najít v centru. Další možností využití výstupních dat mé práce může být studie znečištění z místních továren a menších industriálních zařízení. V blízkosti univerzity se vyskytuje mnoho výrobních hal a továren, které jsou na první pohled čisté, nicméně roznos částic se zkoumá i v mikrosvětě, kde se již určité problémy mohou vyskytovat. Nedaleko se též nachází velmi známý závod Škoda, který je rozdělen na několik úseků, přičemž několik z nich vypouští do ovzduší určité množství emisí, které mohou být pro některé skupiny lidí nežádoucí. Směr a rychlost větru hraje velkou roli i při bourání výškových budov. Při strhávání budov výbušninou se vznese velký oblak prachu, který může být unášen i několik set metrů do okolí, a dá se tedy předpokládat, že když doslouží výrobní haly na Borských polích, bude potřeba je strhnout a tento problém také řešit. Vznik turbulentního proudění mezi zástavbou je také velmi podstatnou problematikou zkoumání větru a jeho pohybu. Poslední, i když trochu utopistickou variantou uplatnění takovéto studie, může být do vzdálené budoucnosti stavba letiště v Plzni, u kterého hraje vítr velkou roli. Pro letiště jsou dalšími podstatnými údaji teplota a výška, které se s každým přistáním letadel velmi výrazně mění za krátkou dobu. V každém případě před uskutečněním takovýchto výrazných zásahů do krajiny je zapotřebí brát v úvahu ekologičnost a ochranu životního prostředí, které se těmito způsoby velmi poškozují.

Každopádně já osobně věřím, že Borská pole nebudou za nějakých sto let stále jen zónou pro "nizkopodlažní" továrny a haly, ale že se z daných míst postupem času, ať už vlivem ekonomické situace nebo modernizace a rozvíjením výroby, opět vytratí tyto stavby a na vzniklých brownfields bude potřeba něčeho nového. Úrodná půda již nebude připadat v úvahu, každopádně tyto plochy jsou, alespoň podle mého názoru, naprosto ideální k výstavbě obnovitelných zdrojů energie (solární či větrné elektrárny), které by jinak zabíraly úrodná pole a jiné lidstvem nepoškozené oblasti. Problémy a možnosti spojované s brownfields by jistě vystačily na samostatnou práci, proto je zde nebudu nijak rozvíjet. Každopádně si myslím, že by se s těmito variantami mělo počítat několik let dopředu, aby byla společnost schopna zareagovat na nové situace. Myslím si, že by nebylo na škodu mít vypracovány určité studie podobné té mojí v rozsáhlejší měřítku, na různé varianty řešení vzniklých událostí.

1 Teoretické příčiny vzniku proudění vzduchu, měření směru a rychlosti větru

1.1 Proudění vzduchu v atmosféře

Proudění vzduchu v atmosféře můžeme pozorovat odjakživa. Jednoduše lze proudění vzduchu přirovnat k tekoucí vodě. Voda jako taková teče z horních míst do nižších, při běžných podmínkách se nesetkáme s tím, že by tekla do kopce. Tento směr určuje tlak. Stejně tak je tomu i u vzduchu, kde základním smyslem proudění je rozdíl tlaků vzduchu. Ten může být způsoben rozdílným počtem molekul v jednotce objemu či rozdílnou teplotou. Pokud máme dvě oblasti s rozdílným tlakem oddělené rozhraním, tak při jeho odstranění začne docházet k vyrovnání tlaků.

Podobnou situaci můžeme pozorovat u rozdílných tlaků způsobených teplotou. Zemský povrch je nerovnoměrně zahříván a dochází k tomu, že na určitých místech se vyskytuje teplota řádově až o desítky stupňů jiná, než na jiné části Země. Jelikož se různé tlaky snaží vyrovnat, dochází ke vzniku proudění vzduchu. Rozložení tlaku vzduchu v atmosféře je proměnlivé jak v prostoru tak i v čase.

Všeobecně známým poznatkem je, že teplý vzduch stoupá a studený naopak klesá. Tím při zemi vzniká tlaková níže a tlaková výše a vítr pak proudí z tlakové výše do tlakové níže, jako tomu bylo u proudění vody.

1.2 Vzduchové hmoty

V atmosféře jsou vzduchové hmoty různého původu. Proto nás nejčastěji zajímá, v jaké jsou zeměpisné šířce a zda-li se nachází nad pevninou či nad mořem. Dalším ukazatelem je nadmořská výška, resp. výška nad zemí. Vzduchové hmoty jsou od sebe odděleny atmosférickými frontami. Vždy jedna vzduchová hmota má stejné podmínky. Těmi jsou například tlak vzduchu, teplota či relativní vlhkost.

Důležitým činitelem je dále přechod mezi pevninou a oceánem. Rozlišujeme poté fronty s mořským původem a fronty s pevninským původem a často zkoumáme jejich pohyb a vlastnosti na tomto rozhraní, kde dochází k přesunu vzduchové hmoty z moře na pevninu a naopak.

Rozlišujeme čtyři základní typy vzduchových hmot:

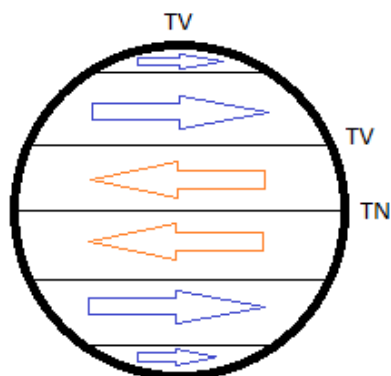
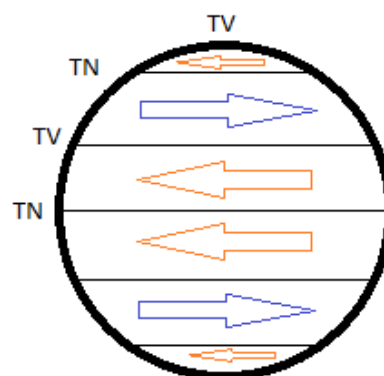
- 1) Arktická
- 2) Polární
- 3) Tropická
- 4) Rovníková

Mezi těmito hmotami se vyskytují jednotlivé fronty. Vše je určeno pomocí zeměpisných šířek. Mezi arktickou a polární vzduchovou hmotou se vyskytuje arktická fronta, mezi polární a tropickou najdeme polární frontu a mezi tropickou a rovníkovou se nalézá fronta tropická.

Další dělení vzduchových hmot je podle termodynamických vlastností. Rozlišujeme teplé vzduchové hmoty, které přinášejí oteplení a projevují se v letních měsících lokálními přeháňkami a bouřkami. V zimních měsících mají za následek časté inverze, mlhy a oblačnosti typu stratus a stratocumulus. Dále známe studené vzduchové hmoty, které přinášejí naopak ochlazení. Jejich projevy mohou být v letních měsících silné frontální bouřky a krupobití. V zimě pak slabé přeháňky či výrazné ochlazení díky jasné obloze. Poslední jsou tzv. místní vzduchové hmoty, které setrvávají několik dní nad stejným místem.

1.3 Tlaková výše a tlaková níže

Zemi je možné rozdělit na pásy tlakových výší a tlakových níží. Na pólech a na obratnicích se nalézá tlaková výše, na rovníku a mezi póly a obratníky je tlaková níže. Díky tomu, že se Země otáčí, odklání se směr větru na severní polokouli napravo (a na jižní polokouli nalevo). Ve výšce například 10 km nad zemským povrchem se vyskytuje u rovníku východní proudění vzduchu a všude jinde pak západní. Naopak u zemského povrchu je to již komplikovanější, kde na pólech a na rovníku je východní proudění a u obratníků je proudění západní. Podrobněji je to vidět na obrázcích

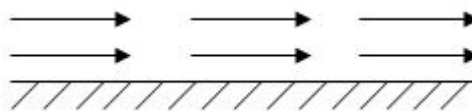
10 km nad povrchem**1 km nad povrchem****Obrázek 1: Rozložení tlakových níží a tlakových výší**

Zdroj: vlastní tvorba

TV - tlaková výše, TN - tlaková níže, modrá - východní směr, oranžová - západní směr

1.4 Proudění vzduchu, jeho typy a změny**1.4.1 Laminární proudění**

Kdybychom měli rovný povrch s minimální drsností, tak se nad ním bude vyskytovat čisté laminární proudění. Takto rovný povrch uvažujeme nad aerodynamicky hladkým povrchem, jakým jsou mořské hladiny či ledovce. V těchto místech je skutečně drsnost povrchu minimální, udává se u mořské hladiny kolem 0,001 m (pro srovnání - les má drsnost 0,7 - 0,8 m). Dalším místem s drsností blízkou nule je mezní vrstva ($> 1,5$ km), kde se vyskytuje tzv. geostrofické proudění, které ale nebudu více rozebírat. V těchto oblastech na zemském povrchu se pak vyskytuje přímé laminární proudění bez turbulencí či změn směru větru. Směr proudění je znázorněn na obrázku.

**Obrázek 2: Znázornění laminárního proudění**

Zdroj: vlastní tvorba

1.4.2 Turbulentní proudění

Druhou možností proudění je turbulentní. Toto proudění se vyskytuje téměř všude na zemském povrchu z důvodu malé a velké drsnosti povrchu. Za takto členitý povrch uvažujeme les, terén, kopce a údolí a v neposlední řadě též města. Jedná se o systém

uspořádaných vírů různých měřítek. V těchto místech dochází k nárazům větru a následným změnám proudění.

Příčiny vzniku jsou termické a dynamické. Termické příčiny jsou způsobeny nerovnoměrným zahřátím zemského povrchu, což způsobuje místní deštivé přeháňky a konvektivní (proudící) oblačnost. U tlakových níží (cyklóny) a tlakových výší (anticyklóny) je možno pozorovat dynamické příčiny.

U těchto velkoprostorových útvarů působí několik dalších sil a ovlivňují proudění vzduchu. Jsou jimi horizontální barický gradient, Coriolisova síla (tzv. uchylující setrvačná síla působící na tělesa, která se vzdalují od osy otáčení), třecí síla (závislá na drsnosti povrchu) a odstředivá síla. Coriolisova síla na naší planetě je vyvolána rotací Země, způsobuje zakřivení front z důvodu "předbíhání Země u rovníku". Tato fiktivní síla vzniká při pohybu vzduchu z různých zeměpisných šířek. Tyto síly je možné vypočítat z jednoduchých vztahů.

Coriolisova síla A

$A = 2 \cdot \omega \cdot v \cdot \sin \varphi$ kde ω - úhel rychlosti rotace, v - rychlost proudění, φ - zeměp. šířka

Síla tření R

$R = k \cdot v$ kde k - koeficient tření, v - rychlost proudění

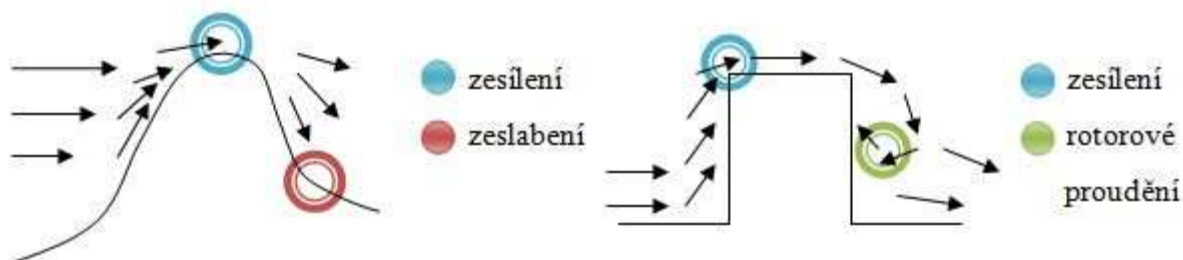
Odstředivá síla C

$C = \frac{v^2}{r}$ kde v - rychlost proudění, r - poloměr zakřivení

1.5 Termodynamika prostředí a budov

Díky nerovnostem na zemském povrchu je možné tedy pozorovat změny směru proudění vzduchu. Navíc se také sleduje změna rychlosti větru - konkrétně zesílení a zeslabení proudění. Tyto změny lze pozorovat u různých vyvýšenin, kopců a horských vrcholů. Pokud proudění vzduchu přichází na nějakou překážku (kopec), dochází k jeho narážení na návětrné straně svahu a na hřebenu, kde dojde k zesílení proudění. Poté vzduch pokračuje do několika směrů a na úpatí dochází k zeslabení. Za vrcholem kopce dochází k tzv. rotorovému proudění, tzn. vzniká tam jakési otáčení směru proudění zpátky za kopcem, a proto je toto místo velmi nevhodné pro výstavbu například větrných elektráren. Zesílení proudění je možné pozorovat i mezi dvěma vyvýšeninami, kdy se proudící vzduch

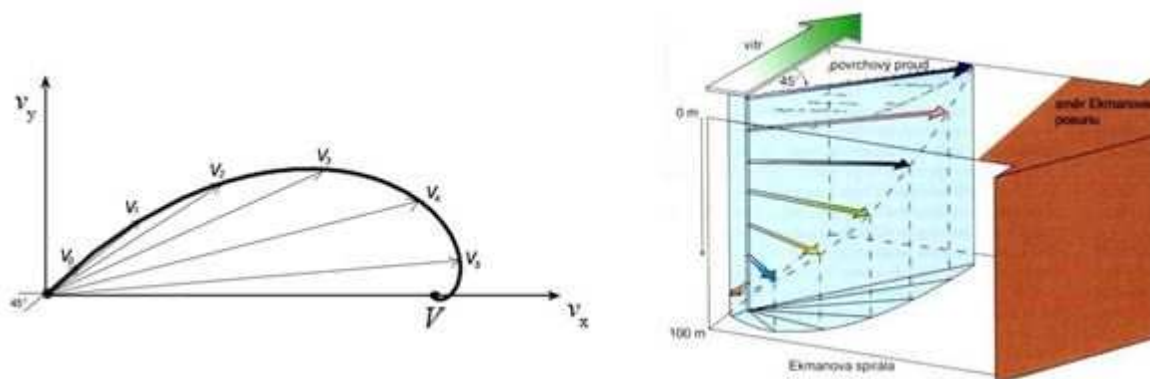
akumuluje v sedle a po projití soutěskou se opět velmi zesílí. Pro lepší představu jsem vytvořil názorné obrázky.



Obrázek 3: Zesílení a zeslabení větru vlivem překážky

Zdroj: vlastní tvorba

Dále můžeme pozorovat jev, kdy se vítr stáčí s rostoucí nadmořskou výškou. Tento jev jednoduše popisuje Eckmannova spirála. Tato spirála je zobrazena na následujících obrázcích.



Obrázek 4: Eckmannova spirála

Zdroj: http://knc.czu.cz/~vachm/ovzdusi/o_me_ekm.html, <http://www.herber.webz.cz>

Jedná se o obalovou křivku koncových bodů jednotlivých vektorů. Díky tření se při zemi vítr stáčí a zároveň se sklání. Čím výše se nalzáme, tím se směr více narovnáva.

V praktické části své diplomové práce se zaměřím na zkoumání budov jako překážek, tudíž provedu modelování turbulentního proudění. Ke změnám proudění dochází jak na čele budov, tak za nimi, případně mezi dvěma budovami. Tyto modely jsou poměrně složité, proto v příloze uvedu další příklady změn směrů proudění větru.

1.6 Měření směru a rychlosti větru

Chceme-li měřit směr a rychlost větru, je zapotřebí mít zařízení, které je schopné tyto prvky snímat. Zatímco měřit směr větru není příliš složité a vystačí nám na něj pro ukázkou obyčejný sáček nebo vlajka zavěšená na stožáru, tak určit rychlost větru už tak jednoduché není. Základním měřícím prvkem rychlosti větru je zařízení nazývající se anemometr. První

anemometr se objevil přibližně v roce 1450, kdy italský architekt Leon Alberti stvořil zařízení ve tvaru korouhvičky, na jejímž konci byla kovová otočná destička. Zařízení bylo vybaveno též úhloměrem, který ukázal směr větru, jelikož při proudění vzduchu došlo k vychýlení destičky ze svislé polohy.

Pro různé účely bylo vytvořeno několik typů anemometrů, které se dělí na několik skupin.

1.6.1 Mechanický a aerodynamický anemometr

Jednoduchým a velmi známým typem je mechanický anemometr. Přímo snímá energii větru, která se přenáší na určitou konstrukci, jenž je v průtoku vzduchu umístěna. Toto zařízení se pak otáčí podél osy a energie je přenášena na zobrazovací zařízení. Příkladem je miskový anemometr (obr. 5), který mimo rychlosti větru snímá i jeho směr díky otočné patce na vrchu. První miskový anemometr byl vytvořen roku 1846 Dr. J. T. R. Robinsonem a obsahoval čtyři misky. Dnešní moderní provedení obsahuje ve většině případů již jen tři misky.



Obrázek 5: Miskový anemometr

Zdroj: http://www.hodinky-365.cz/fotky/maxi/miskovy-anemometr-tx23it_34697_1.jpg

Dalším typem je aerodynamický anemometr, který porovnává tlak proudícího vzduchu se statickým tlakem (lze naměřit ve chvíli, kdy se vzduch nepohybuje). Méně známými měřicími zařízeními jsou například značkovací a zchlazovací anemometry a určitě zajímavým typem je akustický anemometr, který odvozuje rychlost a směr větru ze změn šíření zvuku v atmosféře.

1.6.2 Přístrojové vybavení meteorologických stanic

Klimatologické stanice [10]:

- anemometr ruční, odhad podle Beauforta
- anemoindikátor (např. Metra 963)
- anemočidlo (např. Vaisala WAA 151)

Meteorologické stanice [10]:

- anemometr ruční (horské - po zamrznutí anemografu)
- univerzální anemograf
- anemočidla (např. WAV 15A)

1.6.3 Beaufortova stupnice

Pro lepší orientaci a porovnávání rychlostí větru byla sestavena Beaufortova stupnice. Ta obsahuje celkem 13 bodů rozdělených podle rychlostí a označených čísly 0 - 12. Údaje z této stupnice jsem zaznamenal v níže zobrazené tabulce. V první řádce je číslo stupně, v druhé rychlost větru v m/s a třetí je slovní označení.

0	1	2	3	4	5
0 - 0,2	0,3 - 1,5	1,6 - 3,3	3,4 - 5,4	5,5 - 7,9	8,0 - 10,7
bezvětří	vánek	slabý vítr	mírný vítr	dosti čerstvý vítr	čerstvý vítr

6	7	8	9	10	11	12
10,8 - 13,8	13,9 - 17,1	17,2 - 20,7	20,8 - 24,4	24,5 - 28,4	28,5 - 32,6	nad 32,7
silný vítr	prudký vítr	bouřlivý vítr	vichřice	silná vichřice	mohutná vichřice	orkán

Tabulka 1: Beaufortova stupnice

Bezvětří a vánek můžeme pozorovat například na kouři z komína, kdy se nehýbá a nebo se lehce vyklání z osy. Slabý vítr již pociťujeme na svém těle nebo je možné vidět, že se hladina vody trochu čeří. Mírný vítr zaznameneáme buď na vlající vlajce, slabých větvích stromů, které se ohýbají, a nebo že se na vodě tvoří vlnky. Dosti čerstvý vítr se projevuje ohybem větších stromků a čerstvý vítr zvedá prach a nečistoty ze země. Silný vítr dokáže rozhýbat dráty elektrického vedení či silnější větve. Při prudkém větru už mají lidé problém chodit a menší stromy se ohýbají i s kmeny. Bouřlivý vítr už dokonce láme větve stromů a na menších stavbách vznikají škody (tašky střech). Silná vichřice dokáže vylamovat stromy a znemožňuje dokonce jízdu autem. Mohutná vichřice už způsobuje velmi závažné škody, ničí střechy a odnáší nedobře upevněné stavení. S orkámem se v naší zemi téměř nesetkáme, nicméně ve světě se projevuje jako tajfun či tornádo, zabíjí zvířata i lidi a má velmi ničivé účinky.

2 Popis staniční sítě a přístrojové techniky, problémy s daty, datové zpracování

V úvodu práce jsem naznačil dělení meteorologických stanic. V této části o nich uvedu podrobnější informace, a to i včetně stanice, na které budu provádět samotné měření a modelování.

Hlavní náplní meteorologických stanic je pozorování, měření a vyhodnocování daných prvků a veličin a jejich následné předávání centru ČHMÚ v předepsané formě a samozřejmě v termínu. Takováto pracoviště jsou v dnešní době vybavena plně automatizovaným systémem.

Navíc se na většině pracovišť vyskytují 4 zaměstnanci, kteří sledují důležitá data. Během nočního režimu je pak instalován automatický provozní režim. Tento noční režim se bere od 22 do 6 hodin. Pouze několik pracovišť tento automatizovaný noční režim ještě nemá, a proto se na nich vyskytuje 5 pracovníků.

Výsledky kontinuálních pozorování a měření jsou předávány každou hodinu do centrálního telekomunikačního počítače v tzv. zprávě SYNOP. Ty jsou dále k dispozici útvarům ČHMÚ nejčastěji pro sestavení meteorologické předpovědi a jako zdroj aktuálních informací, které mohou jiné organizace žádat.

2.1 Klimatologická stanice

Klimatologické stanice slouží především pro potřeby klimatologie. Dělí se podle rozsahu a činnosti na základní (měří se 3x denně), doplňkové (1. řádu a 2. řádu, neměří se na nich vše, vždy jen nějaký doplněk), srážkoměrné (je jich nejvíce, měří srážky, sněh a někdy i vodní hodnotu sněhu) a dále tzv. speciálně zaměřené (např. fenologické).

Běžná klimatologická pozorování a měření jsou prováděny v pravidelných intervalech a to v 7, 14 a 21 hodin místního středního slunečního času (dán místním poledníkem - čas je stejný na jednom tomto poledníku na všech zeměpisných šířkách). Pro zjednodušení je zeměkoule rozdělena na 24 časových pásem daných stupni s krokem 15°. Získaná data se dále předávají ve zprávě INTER. Z těchto několika údajů vzniknou databáze klimatologických údajů, jenž jsou velmi důležitým a přehledným zdrojem informací pro studium klimatu (dlouhodobého režimu počasí).

2.2 Synoptická stanice

Hlavním cílem synoptických stanic je měření a pozorování počasí pro účely předpovědi počasí. Pro získání nejpresnějších údajů na celé zemi jsou stanoveny synoptické termíny, tj. jednotné doby pozorování. Tyto termíny dělíme na hlavní, vedlejší a hodinové. Časové údaje o měření jsou poté následující:

- hlavní: 00, 06, 12 a 18 hodin světového času (UTC)
- vedlejší: 03, 09, 15 a 21 hodin UTC
- hodinové: 01, 02, 04, 05, 07, 08, 10, 11, 13, 14, 16, 17, 19, 20, 22 a 23 hod. UTC

Z těchto pozorování získáme tzv. SYNOP zprávu, která obsahuje různé informace ohledně počasí a jeho průběhu. Tyto zprávy jsou shromažďovány v centrálních počítačích, kde jsou k dispozici pro zájemce (předpovědi, mezinárodní programy).

Synoptické stanice nám pravidelně dávají informaci o rychlosti a směru větru. Součástí je i informace o atmosférickém tlaku, vlhkosti, teplotě vzduchu a například maximálních nárazech větru. Na některých stanicích se zaznamenávají informace o oblačnosti, stavu půdy či dohlednosti. To je případ i mnou navštívené stanice Plzeň - Mikulka. Grafickým výstupem zpracování naměřených hodnot je synoptická mapa. Na této mapě jsou zobrazeny čáry stejných tlaků, které bývají uzavřeny kolem tlakové výše nebo níže. Zobrazeny mohou být i atmosférické fronty. Veškeré zobrazené údaje jsou poté podkladem pro předpovědi počasí.

2.3 Rozvoj staniční sítě na území Plzeňského kraje

Celkem se v Plzni nachází pět meteorologických stanic. Plzeň - Mikulka, Plzeň - Bolevec, Plzeň město, které spadají pod ČHMÚ, a dále pak samostatné stanice provozované Západočeskou univerzitou - Plzeň Bory (FEL) a Veleslavínova (FPE). Pokud bychom se podívali na mapu města Plzně a znázornili polohy jednotlivých stanic, dostaneme křivku vypadající jako páteř města, vede v ose od severní části města (Bolevec) až po jižní (stanoviště FEL). Všechny uvedené stanice jsou klimatologické, pouze stanice na Mikulce je synoptická.

Nejstarší stanicí v Plzni je stanice Plzeň - Bolevec, která zahájila svůj provoz v roce 1969.

Nadmořská výška této stanice je 338 metrů. Jako druhá v pořadí byla vybudována a spuštěna stanice Plzeň - město roku 1989, která je druhou nejnižší položenou klimatologickou stanicí v Plzni o nadmořské výšce 335 metrů. Tato stanice ukončila provoz k 31. 12. 2012. Následovala výstavba stanice Mikulka, jejíž údaje uvedu níže. Poté byla v roce 2007 spuštěna stanice ZČU na FEL a o rok později na FPE, jenž je nejnižší položená stanice na našem území, dosahuje nadmořské výšky 315 metrů.

V Plzeňském kraji najdeme ale mnohem více měřících stanic. Pod správu ČHMÚ Plzeň spadají i stanice z Karlovarského kraje, a naopak některé stanice na jihu spadají pod správu ČHMÚ České Budějovice i přesto, že se nachází na území Plzeňského kraje. Tyto stanice lze poznat podle ID začínajícího písmenem "C". Uvedu zde seznam těch hlavních, který povedu směrem od severu kraje, a nakonec zobrazím pouze ty, na kterých je mimo jiné měřen vítr, jelikož problematika větru je hlavní část mé práce.

Jméno stanice	ID stanice	Nadmořská výška	Typ stanice
Kralovice	L2KRAL01	468 m	AKS
Terešov	L2TERE01	388 m	ASS
Zbiroh, Švabín	L2ZBIR01	473 m	AKS
Konstantinovy lázně	L2KONL01	527 m	AKS
Plzeň - Bolevec	L1PLZB01	328 m	AKS
Plzeň - Mikulka	L1PLMI01	360 m	AMS
Rokycany	L2ROKY01	373 m	ASS
Přimda	L2PRIM01	743 m	AMS
Borovno, Míšov	L1BORO01	650 m	ASS
Staňkov	L1STAN01	362 m	AKS
Nepomuk	L1NEPO01	471 m	AKS
Domažlice	L1DOMA01	460 m	AKS
Klatovy	L1KLAT01	425 m	AKS
Česká Kubice	L1CKUB01	555 m	ASS
Vlkonice	C1VLKO01	493 m	AKS
Hojsova Stráž	L1HOJS01	867 m	AKS
Železná Ruda	L1ZRUD01	763 m	ASS
Prášíly	C1PRAS01	883 m	ASS

Strašín	C1STRS01	637 m	ASS
Kašperské hory	C1KHOR01	741 m	AKS
Rokytská slat'	C1ROSL01	1100 m	AKS
Filipova Huť	C1FILH01	1110 m	ASS
Březník	C1BRZK01	1133 m	AKS

Tabulka 2: Přehled stanic - ČHMÚ PlzeňZdroj: <http://portal.chmi.cz>, Datamap 2012 GeoBasis, Google

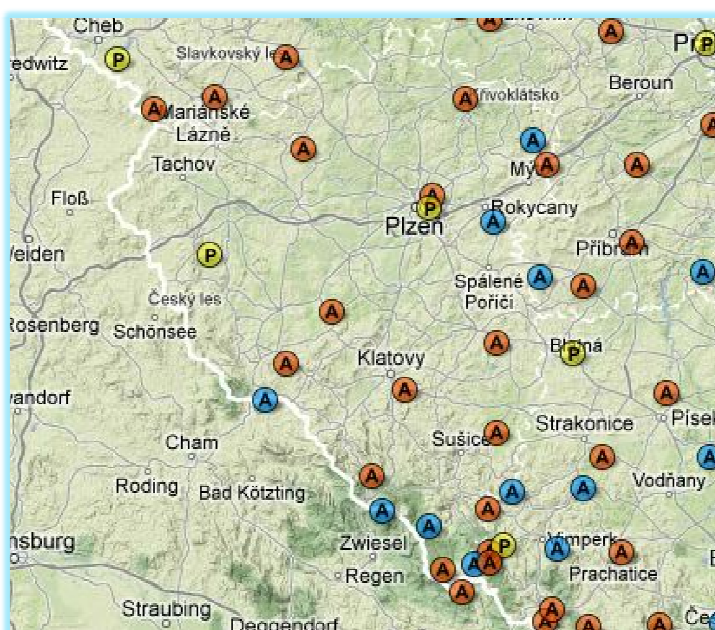
Vysvětlivky:

AKS - Automatizované klimatologické stanice s dobrovolnou obsluhou

ASS - Automatizované srážkoměrné stanice

AMS - Automatizované meteorologické stanice s profesionální obsluhou

Znázornění polohy:

**Obrázek 6: Mapa Plzeňského kraje s označením stanic**Zdroj: <http://portal.chmi.cz>, Datamap 2012 GeoBasis, GoogleStanice, na kterých se měří vítr v Plzeňském kraji:

Kralovice	Staňkov	Plzeň - Dobřany
Konstantinovy lázně	Klatovy	
Plzeň - Mikulka	Hojsova Stráž	
Přimda	Plzeň - Bolevec	

Známe tedy stanice synoptické (profesionální, pracují tam zaměstnanci ČHMÚ), klimatologické (ty jsou dobrovolnické), letecké (profesionální na letišti) a speciální (účelové podle pozorování).

2.4 Meteorologická stanice Plzeň - Mikulka



Obrázek 7: Plzeň - Mikulka

Zdroj: <http://old.chmi.cz/meteo/opss/plzen.jpg>

adresa:

ČHMÚ, meteorologická stanice
Mozartova 41
323 00 PLZEŇ 23

Stanice Mikulka byla stavěna od roku 2002 do 1. 7. 2004. Nalézá se v tzv. Plzeňské kotlině a její způsob pozorování je kombinovaný. Nadmořská výška pozemku je 359,9 m, zeměpisná šířka: 49° 46' sš, zeměpisná délka: 13° 23' vd. Měření bylo od počátku provozu automatizované.

Mimo běžných měřených dat jsou zde prováděna i měření vlhkosti půdy a výparu vody z vodní hladiny.

Informace o pobočce Plzeň [11]:

Oddělení meteorologie a klimatologie (OMK) provozuje síť meteorologických a fenologických stanic na území Plzeňského a Karlovarského kraje. Hranice mezi sousedními pobočkami ČHMÚ jsou tvořeny rozvodnicemi, které současně vymezují územní působnost OMK pobočky Plzeň. Správa území spadá do celého horního povodí Berounky až k ústí Rakovnického potoka, horní povodí Ohře k ústí Bočského potoka a příhraničních toků směřujících do Dunaje. Na území pobočky se provádí měření k 1.1.2008 na 4 profesionálních synoptických, 21 klimatologických, 76 srážkoměrných a 18 fenologických stanicích.

Oddělení dále zajišťuje kontroly a digitalizaci meteorologických a fenologických dat, poskytování informací o počasí, vypracování odborných posudků z meteorologie a klimatologie v územní působnosti pobočky Plzeň, spravuje regionální klimatologickou databázi ČHMÚ a vydává Meteorologický zpravodaj.

2.5 Datové zpracování, problémy s daty

Na meteorologické stanici Plzeň - Mikulka se pro měření dat využívá program MONITVIN. Pro měření, výpočet směru a rychlosti větru se využívá například na klimatologické stanici Plzeň - Bolevec program WinMeteo.

Současný výpočet

Monitvin+Meteo	Clidata	Typ výpočtu	Interval měření	Typ výpočtu	Interval měření
		MONITVIN	MONITVIN	METEO	METEO
RYCHV	F	Skalár	10 min	Vektor	2 min
SMERV	D	Jednotkový vektor	10 min	Vektor	2 min
DRAHAV	Ddraha	Skalár	10 min	Skalár	10 min
RYCHV_X	Fmax		1 sec	2 sec	2sec.
SMER_X	Dmax		1 sec	2sec	2sec.
CAS_X	Casmax		sec	sec	sec
RYCHV_P	Fprum	Vektor	10 min	Vektor	10 min
SMERV_P	Dprum	Vektor	10 min	Vektor	10 min

Tabulka 3: Přehled současného výpočtu programu WinMeteo

Návrh budoucího výpočtu

Monitvin+Meteo	Clidata	Typ výpočtu	Interval měření	Typ výpočtu	Interval měření
		MONITVIN	MONITVIN	METEO	METEO
RYCHV	F	Skalár	10 min	Skalár	10 min
SMERV	D	Jednotkový vektor	10 min	Jednotkový vektor	10 min
DRAHAV	Ddraha	Skalár	10 min	Skalár	10 min
RYCHV_X	Fmax		1 sec	2 sec	2sec.
SMER_X	Dmax		1 sec	2sec	2sec.
CAS_X	Casmax		sec	sec	sec
RYCHV_P	Fv	Vektor	10 min	Vektor	10 min
SMERV_P	Dv	Vektor	10 min	Vektor	10 min

Tabulka 4: Ukázka budoucího výpočtu programu WinMeteo

Z tabulek je patrný rozdíl v určitých položkách. Především jsou patrné kratší intervaly měření maximálních rychlostí v programu MONITVIN, dále se plánuje využít výpočtů se skalárními hodnotami u METEO, čímž ale dojde k prodloužení intervalu měření. Pro směr větru se využije výpočet z jednotkového vektoru. Prvek DRAHAV se plánuje při měření zrušit. Důležité jsou tedy položky RYCHV a SMERV. V současné době ještě není zcela vyřešena změna výpočtu, proto se používají výpočty uvedené v horní tabulce, pouze se změnil intervaly měření z 15 na 10 minut (v tabulce již změněno).

Při měření a ukládání dat se mohou vyskytnout určité problémy. Níže uvedu základní problémy klimatologických a meteorologických stanic [10].

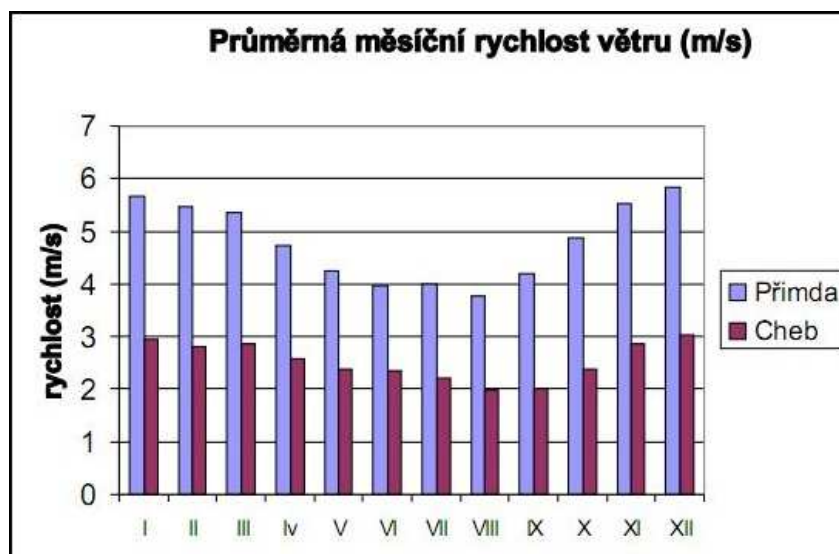
Klimatologická stanice:

- občasná změna polohy, zarůstání stromů - silný vliv na vítr
- změna přístrojového vybavení
- změna pozorovatele - měří mimo terén

Meteorologické stanice

- hodinová měření se digitalizují zpětně
- hodinová data lze využít v delší řadě jen u vybraných stanic
- u hodinových dat nutno odfiltrout chyby u prvku F, Fmax

Příklad větrné charakteristiky stanice:

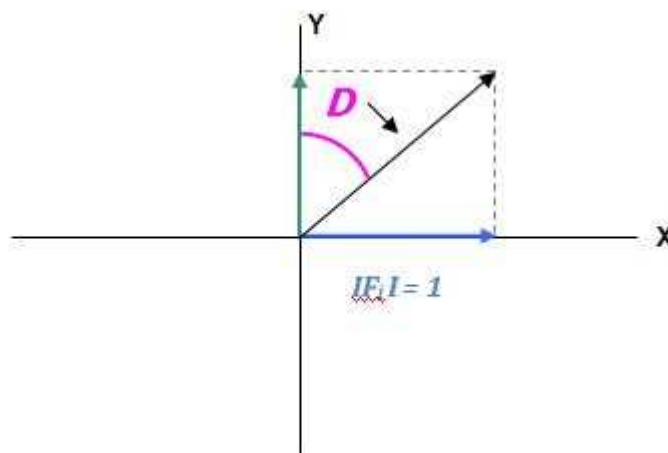


Obrázek 8: Větrná charakteristika stanice Přimda, Cheb

Zdroj: Podpurné texty p. RNDr. Jiřího Hostýnka

2.6 Programový výpočet směru a rychlosti větru, databáze

Vítr se měří vzorkováním rychlosti F a směru D každé 2s. Za měřený interval se získá N vzorků.



Obrázek 9: Vektorový výpočet směru a rychlosti větru

Z každého tohoto vzorku se vypočítají **jednotkové** vektory X a Y .

$$X_n = \sin(D_n)$$

$$Y_n = \cos(D_n)$$

Vektory z jednotlivých vzorků se sečtou

$$X = X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n$$

$$Y = Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_n$$

Z jednotkových vektorů se vypočítá *průměrný směr*

$$D = \arctan(X / Y)$$

V závěru se vypočte průměrná rychlost větru, která se určí jako aritmetický průměr z 2s měření

$$|F| = (|F_1| + |F_2| + |F_3| + \dots + |F_n|) / N$$

Další nutností je mít zařízenou databázi pro ukládání měřených dat. Na pracovišti se využívá databáze ORACLE. Pro pořizování dat a k jejich kontrole se využívá systém CLIDATA, který je umístěn na databázovém pracovním serveru CLIPL. Na tomto pracovním serveru jsou daná data umístěna a jsou využívána pro výzkumnou činnost, větroměrné studie či posudkovou činnost. Na pracovišti se dále využívá databázový server CLIOS, jenž slouží pro sběr fenologických dat (fenologie zkoumá mimo jiné, jak jsou organismy ovlivňovány počasím). Data z automatických stanic jsou kopírována na server MSSPRG v Praze, odkud probíhá import na server CLIPR a poté zpětně replikována na CLIPL. Data ze srážkoměrných stanic jsou kopírována na server CLIPL a replikována na CLIPR.

2.7 Doplnování chybějících dat

Pro doplňování větroměrných dat platí několik pravidel a daný postup. Při chybějících datech denních nárazů a směrů větru se využívá těchto postupů:

Nejprve je nutno provést samotnou evidenci chybějících dat (denní nárazy, odpovídající směr nárazu a čas). Pokud nastane situace, kdy známe náraz větru, ale chybí směr, tak se doplňuje podle směru příslušné hodinovky/10M, která odpovídá časovému nárazu. Uvádí se to u směru návěští E.

Pokud je výskyt času a směru, ale není k dispozici maximální rychlost, je nutno nalézt hodnotu prvku F (průměrná rychlost) v příslušné hodinovce/10M (hlášení SYNOP každou hodinu/ posledních 10 minut) a vynásobit ji koeficientem 1,6 a uvést jej u rychlosti návěští E (estimate = odhad). Tento koeficient je dán z literatury a udává průměrný přepočtení střední rychlosti na náraz.

V případě že známe pouze čas nárazu bez informací o směru a rychlosti větru, je zapotřebí vyplnit položky pro rychlost, směr a čas kódem -999.

Po doplnění veškerých chybějících údajů se provádí formální úprava úplnosti (buď máme určitou hodnotu, nebo údaj -999). Provádí se též kontrola správnosti, kdy pro směr musí být údaj v rozmezí 0 - 360 a rychlost v intervalu 0 - 50.

Cílem této kontroly a opravy chybějících dat je eliminace nesmyslných hodnot v databázi a řádné doplnění použitelných hodnot.

Tyto technické údaje jsem převzal od pana RNDr. Jiřího Hostýnka do své práce pro bližší vysvětlení fungování databází a práce s daty.

3 Metodika modelování proudění

V této kapitole v krátkosti popíši program WASP Engineering, pomocí kterého jsem prováděl výpočty a simulace proudění, a v následující kapitole již uvedu praktickou část diplomové práce, tj. vlastní výpočty a simulaci proudění větru.

K simulování větrných podmínek, které zkoumám v mojí práci, bylo zapotřebí zajistit určitý software, který by splňoval mé požadavky na tvorbu a získání výstupů z výpočtů. Zvolil jsem program WASP a jeho doplněk WASP Engineering, jelikož s ním pracují zaměstnanci na ČHMÚ v Plzni a mají s ním již pokročilé zkušenosti. Program byl vytvořen v Dánsku a je distribuován společností Wind Energy Division DTU ve středisku RISO.

Základní ideou programu je řešit specifické charakteristiky pole proudění vzduchu. Dále pak odhad extrémních větrných rychlostí, stříh větru v jakémkoliv místě, pro zajištění letového provozu a v neposlední řadě pro výpočet horizontální turbulence. Své uplatnění najde při výstavbě větrných elektráren, kde je zapotřebí odhadnout extrémní síly větru, aby nedocházelo k silnému namáhání, nebo dokonce zničení lopatek. V naší republice se využívá na několika pobočkách, jakou je i pobočka v Plzni. Zkoumá se větrný potenciál určitých lokalit a území pro různé účely - výpočet větrných růžic v terénu, potřeby větrné energetiky, modifikace proudění v zástavbě a změnách terénu.

Pomocí modulu Climate Analyst je možné odhadovat zmiňované extrémní rychlosti větru. Zapotřebí jsou naměřená data rychlosti a směru větru za delší období a výstupem mohou být jak tabulková, tak i grafická znázornění. Pokud potřebujeme studii zátěže materiálu, je vhodné využít modelování intenzity turbulence a následné vykreslení spektra hustoty proudění. Tím získáme informaci o dynamickém tlaku na stavby a lze předcházet jejich deformaci a škodám. Já ve své diplomové práci využiji mimo jiné model změn přízemního proudění, jaký byl použit například při simulaci proudění vzduchu při výstavbě obchodního centra Jihlava. Tento výpočet ukazuje vektorové pole a zesílení či zeslabení větru na určitých částech budov a dále pak modifikaci proudění, ke kterému dochází nejčastěji mezi budovami a jinými překážkami.

4 Praktická část diplomové práce

4.1 Vstupní data

Základní data pro tvorbu mé práce jsem získal od pana RNDr. Jiřího Hostýnka. Jednalo se o dva soubory programu Excel, přičemž první obsahoval časové údaje měřených hodnot a naměřenou hodnotu rychlosti větru. Druhý soubor obsahoval opět časové údaje a místo rychlostí větru směry, které byly udány ve stupních (např. 68, 122, 354 atp.). Pro lepší pochopení přikládám obrázek jejich podoby. Délka zkoumaného období byla r. 2005 - 2011.

Eg el abbreviation:F						Eg el abbreviation:D					
Eg gh id	Year	Month	Day	Time	Value	Eg gh id	Year	Month	Day	Time	Value
L1PLMID1	2005	01	01	00:00	5	L1PLMID1	2005	01	01	00:00	222
L1PLMID1	2005	01	01	03:00	5	L1PLMID1	2005	01	01	03:00	224
L1PLMID1	2005	01	01	06:00	4	L1PLMID1	2005	01	01	06:00	220
L1PLMID1	2005	01	01	09:00	4	L1PLMID1	2005	01	01	09:00	226
L1PLMID1	2005	01	01	12:00	3	L1PLMID1	2005	01	01	12:00	229
L1PLMID1	2005	01	01	15:00	2	L1PLMID1	2005	01	01	15:00	227
L1PLMID1	2005	01	01	18:00	2	L1PLMID1	2005	01	01	18:00	199
L1PLMID1	2005	01	01	21:00	5	L1PLMID1	2005	01	01	21:00	214
L1PLMID1	2005	01	02	00:00	6	L1PLMID1	2005	01	02	00:00	217
L1PLMID1	2005	01	02	03:00	8	L1PLMID1	2005	01	02	03:00	223

Obrázek 10: Vstupní naměřená data v programu Excel

Zdroj: Vlastní tvorba

Každá tabulka obsahovala přibližně 21 000 hodnot, celkově tedy 42 000. Veškeré tyto hodnoty jsem si seřadil a seskupil dohromady, abych získal tabulku, ve které by bylo vidět, v jakém čase byla jaká hodnota větru a jaký měl směr. K tomu jsem využil funkce programu Excel.

4.2 Rozdělení směrů větru dle intervalů

Z tohoto souhrnu jsem pak vytvořil jednotlivé listy, přičemž každý obsahoval určitý interval směrů (úhlů) a k nim jsem přiřadil pevnou hodnotu úhlu větru. Tyto skupiny jsou následující:

úhel	interval	úhel	interval
0	346-15	180	166-195
30	16-45	210	196-225
60	46-75	240	226-255
90	76-105	270	256-285
120	106-135	300	286-315
150	136-165	330	316-345

Tabulka 5: Rozdělení intervalů směru větru do daných úhlů

Zdroj: Vlastní tvorba

V každém tomto intervalu pak byl určitý počet hodnot z výchozí tabulky. Například interval 346-15° obsahoval 1935 hodnot (ostatní uvedu později v souhrnné tabulce četností). Z těchto hodnot jsem vytvořil neklesající řadu rychlostí větru a poté jsem začal určovat základní statistické údaje. Mezi ty patří decily (10%, 90%), kvartily (25%, 75%) a medián (50%). Hodnoty v závorkách uvádějí hodnotu hranice řady. Mám-li 1935 hodnot, pak 10% decil se nachází na 194. pozici neklesající řady, 25% kvartil na 484. pozici atd. Vypočtené hodnoty jsem zaokrouhloval na jedno celé číslo. Pro usnadnění a přehlednost jsem si opět vytvořil tabulku s funkcemi, abych eliminoval možnost chyb. Výsledné hodnoty pro jednotlivé směry větru uvedu níže.

4.3 Určené hodnoty pro směry větru

a) 346-15°

Celkem položek (n)		1935						
	řádek	hodnoty	Year	Month	Day	Time	Směr	Rychlost
10%	194	L1PLMI01	2009	05	09	06:00	13	0,9
25%	484	L1PLMI01	2006	09	11	03:00	1	1,5
50%	968	L1PLMI01	2010	02	11	03:00	7	2,1
75%	1452	L1PLMI01	2009	03	05	06:00	358	3
90%	1742	L1PLMI01	2009	04	22	21:00	355	3,8

Tabulka 6: Výpočtová tabulka kvantilů: 346-15°

b) 16-45°

Celkem položek (n)		2075						
	řádek	hodnoty	Year	Month	Day	Time	Směr	Rychlost
10%	208	L1PLMI01	2005	05	02	00:00	36	1
25%	518	L1PLMI01	2009	02	06	03:00	42	1,6
50%	1038	L1PLMI01	2010	04	04	03:00	41	2,3
75%	1556	L1PLMI01	2009	10	30	18:00	42	3
90%	1868	L1PLMI01	2008	11	02	21:00	17	3,9

Tabulka 7: Výpočtová tabulka kvantilů: 16-45°

c) 46-75°

Celkem položek (n)		1057						
	řádek	hodnoty	Year	Month	Day	Time	Směr	Rychlost
10%	106	L1PLMI01	2010	04	06	06:00	67	0,9
25%	264	L1PLMI01	2009	10	21	03:00	57	1,5
50%	530	L1PLMI01	2010	06	14	18:00	63	2,3
75%	794	L1PLMI01	2009	05	12	15:00	56	3,3
90%	952	L1PLMI01	2008	05	09	18:00	66	4,2

Tabulka 8: Výpočtová tabulka kvantilů: 46-75°

d) 76-105°

Celkem položek (n)		759						
	řádek	hodnoty	Year	Month	Day	Time	Směr	Rychlost
10%	76	L1PLMI01	2009	05	01	21:00	93	0,6
25%	190	L1PLMI01	2010	05	29	03:00	103	1
50%	380	L1PLMI01	2009	12	14	06:00	86	2,2
75%	570	L1PLMI01	2007	03	29	21:00	81	3,7
90%	684	L1PLMI01	2008	03	30	18:00	86	4,9

Tabulka 9: Výpočtová tabulka kvantilů: 76-105°

e) 106-135°

Celkem položek (n)		631						
	řádek	hodnoty	Year	Month	Day	Time	Směr	Rychlost
10%	63	L1PLMI01	2007	12	19	03:00	125	0,6
25%	158	L1PLMI01	2005	04	27	09:00	127	1
50%	316	L1PLMI01	2005	06	30	15:00	110	2
75%	474	L1PLMI01	2009	12	29	18:00	133	3,1
90%	568	L1PLMI01	2009	03	28	12:00	131	4,5

Tabulka 10: Výpočtová tabulka kvantilů: 106-135°

f) 136-165°

Celkem položek (n)		481						
	řádek	hodnoty	Year	Month	Day	Time	Směr	Rychlost
10%	48	L1PLMI01	2008	06	03	21:00	136	0,5
25%	120	L1PLMI01	2006	07	19	21:00	150	0,8
50%	241	L1PLMI01	2006	04	02	18:00	150	1,4
75%	362	L1PLMI01	2007	05	19	15:00	143	2,3
90%	434	L1PLMI01	2009	09	04	15:00	156	3,3

Tabulka 11: Výpočtová tabulka kvantilů: 136-165°

g) 166-195°

Celkem položek (n)		690						
	řádek	hodnoty	Year	Month	Day	Time	Směr	Rychlost
10%	69	L1PLMI01	2010	03	02	00:00	182	0,6
25%	173	L1PLMI01	2006	10	13	12:00	184	1
50%	346	L1PLMI01	2007	12	09	00:00	194	1,5
75%	519	L1PLMI01	2008	04	15	00:00	194	2,4
90%	623	L1PLMI01	2008	02	05	18:00	186	3,7

Tabulka 12: Výpočtová tabulka kvantilů: 166-195°

h) 196-225°

Celkem položek (n)		2696						
	řádek	hodnoty	Year	Month	Day	Time	Směr	Rychlost
10%	270	L1PLMI01	2006	04	07	21:00	211	1
25%	674	L1PLMI01	2006	08	04	00:00	200	1,7
50%	1349	L1PLMI01	2006	08	22	06:00	219	2,8
75%	2024	L1PLMI01	2010	02	27	18:00	201	4,6
90%	2428	L1PLMI01	2006	08	15	15:00	212	6,2

Tabulka 13: Výpočtová tabulka kvantilů: 196-225°

i) 226-255°

Celkem položek (n)		3437						
	řádek	hodnoty	Year	Month	Day	Time	Směr	Rychlost
10%	344	L1PLMI01	2007	02	06	06:00	238	1,3
25%	859	L1PLMI01	2006	11	03	09:00	230	2,1
50%	1719	L1PLMI01	2006	12	28	21:00	229	3,4
75%	2579	L1PLMI01	2006	11	14	00:00	236	5
90%	3094	L1PLMI01	2009	05	28	15:00	243	6,6

Tabulka 14: Výpočtová tabulka kvantilů: 226-255°

j) 256-285°

Celkem položek (n)		1625						
	řádek	hodnoty	Year	Month	Day	Time	Směr	Rychlost
10%	163	L1PLMI01	2007	10	30	06:00	260	1,4
25%	407	L1PLMI01	2007	03	07	18:00	280	2,3
50%	813	L1PLMI01	2007	08	07	18:00	284	3,4
75%	1219	L1PLMI01	2005	07	26	18:00	271	5
90%	1463	L1PLMI01	2009	06	12	18:00	279	6,4

Tabulka 15: Výpočtová tabulka kvantilů: 256-285°

k) 286-315°

Celkem položek (n)		465						
	řádek	hodnoty	Year	Month	Day	Time	Směr	Rychlost
10%	47	L1PLMI01	2006	01	04	03:00	298	0,8
25%	117	L1PLMI01	2007	04	18	00:00	310	1,8
50%	233	L1PLMI01	2010	04	21	06:00	307	3,1
75%	349	L1PLMI01	2009	05	27	12:00	293	4,8
90%	419	L1PLMI01	2005	05	11	12:00	294	6

Tabulka 16: Výpočtová tabulka kvantilů: 286-315°

l) 316-345°

Celkem položek (n)		530						
	řádek	hodnoty	Year	Month	Day	Time	Směr	Rychlost
10%	53	L1PLMI01	2009	11	16	03:00	329	0,9
25%	133	L1PLMI01	2008	02	04	12:00	345	1,5
50%	266	L1PLMI01	2007	10	20	03:00	336	2,7
75%	399	L1PLMI01	2005	05	18	21:00	329	4
90%	479	L1PLMI01	2010	04	10	09:00	341	5,2

Tabulka 17: Výpočtová tabulka kvantilů: 316-345°

Z těchto všech vypočtených a určených hodnot a pozic jsem potřeboval údaje směrů a rychlostí větrů v daných decilech, kvartilech a v mediánu (vlastní tvorba výše uvedených tabulek). Vše jsem poté sepsal do jedné výstupní tabulky, která sloužila jako vstupní data pro počátek modelování proudění v software WAsP Engineering.

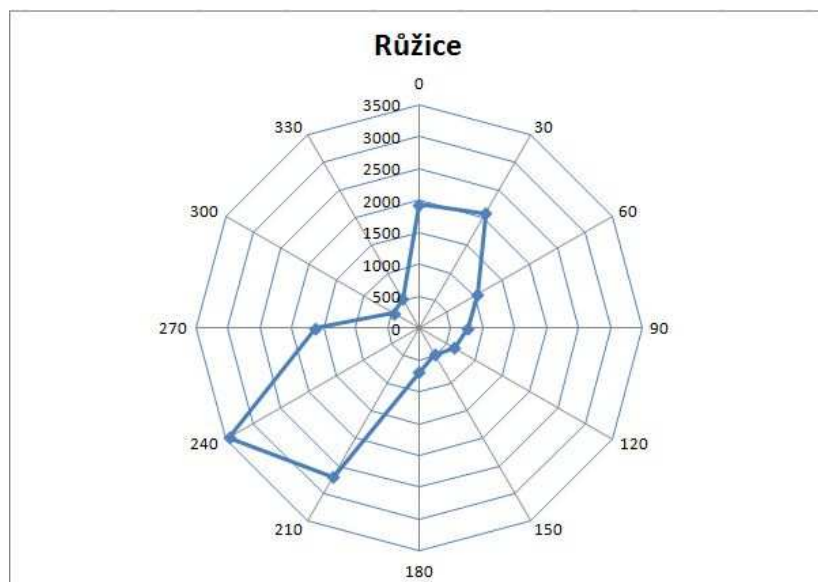
4.4 Výsledná data z naměřených hodnot na stanici Mikulka

Výstup:		decil	kvartil	median	kvartil	decil	Četnosti
úhel	interval	10%	25%	50%	75%	90%	
0	346-15	0,9	1,5	2,1	3	3,8	1935
30	16-45	1	1,6	2,3	3	3,9	2075
60	46-75	0,9	1,5	2,3	3,3	4,2	1057
90	76-105	0,6	1	2,2	3,7	4,9	759
120	106-135	0,6	1	2	3,1	4,5	631
150	136-165	0,5	0,8	1,4	2,3	3,3	481
180	166-195	0,6	1	1,5	2,4	3,7	690
210	196-225	1	1,7	2,8	4,6	6,2	2696
240	226-255	1,3	2,1	3,4	5	6,6	3437
270	256-285	1,4	2,3	3,4	5	6,4	1625
300	286-315	0,8	1,8	3,1	4,8	6	465
330	316-345	0,9	1,5	2,7	4	5,2	530

Tabulka 18: Souhrnná tabulka kvantilů, rychlostí větru a četností

Zdroj: Vlastní tvorba

Pro zajímavost jsem vypočítal četnosti zastoupení daných intervalů, abych zjistil převládající směr větru na daném území. Pokud některý údaj nebyl změřen z různých příčin, tak ukazoval nulu a není započten v celkovém počtu. Nejčastější směr větru je na intervalu 226° - 255°, tudíž směr daný úhlem 240°. K lepší názornosti jsem z tabulky hodnot vytvořil ještě růžici.



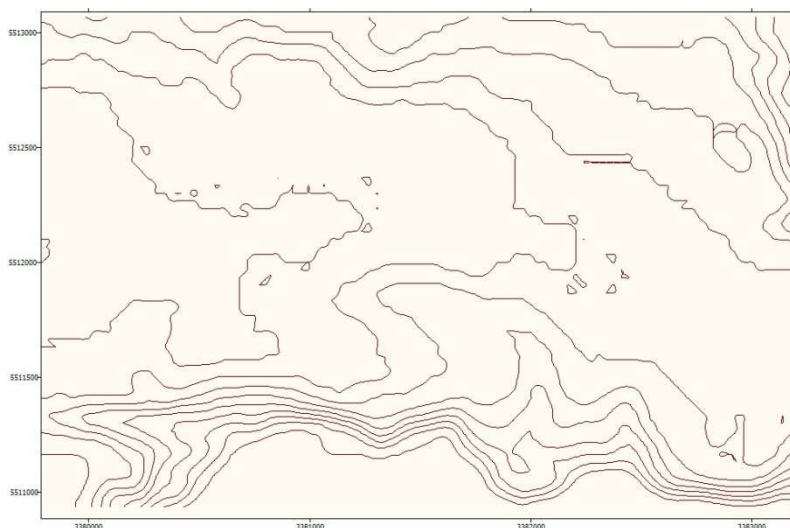
Obrázek 11: Růžice četností

Zdroj: Vlastní tvorba

Z grafu je již hezky patrné, že na území měřicí stanice převažuje JJZ směr větru, což skutečně odpovídá realitě. Jen bych připomněl, že pokud mluvíme o směru větru, myslí se tím ODKUD vítr vane, což bývá velmi často u společnosti zaměňováno za určení, kam vítr vane.

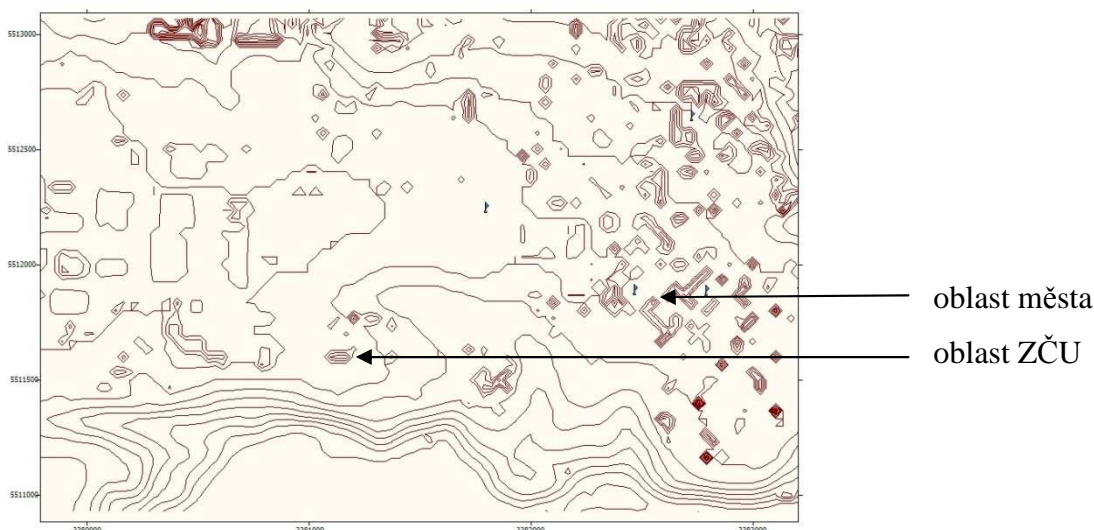
4.5 Modely terénu a budov ve vybrané lokalitě

Abych mohl uskutečnit své modelování proudění, bylo zapotřebí vytvořit model určité oblasti budov. Díky programu WAsP Engineering je možné využít i skutečné budovy jako překážky proudění větru, tudíž je možné získat opravdu přesné údaje. V první řadě jsem ale potřeboval pomoci s vytvořením terénu s budovami jako překážkami a terénu bez překážek, které se pak přenesou do softwaru určeného již k modelování a simulaci proudění. Ještě bylo zapotřebí určit několik bodů v oblasti pro následné porovnání větrných charakteristik, přičemž jeden byl referenční na volné ploše a další byly v zástavbě. Poté se již vše mohlo exportovat do programu WAsP a začít se zadáváním vstupních dat. Na níže uvedených obrázcích je vidět mapa, s kterou jsem následně pracoval (nejprve bez zástavby a poté se zástavbou).



Obrázek 12: Mapa zkoumané oblasti bez zástavby

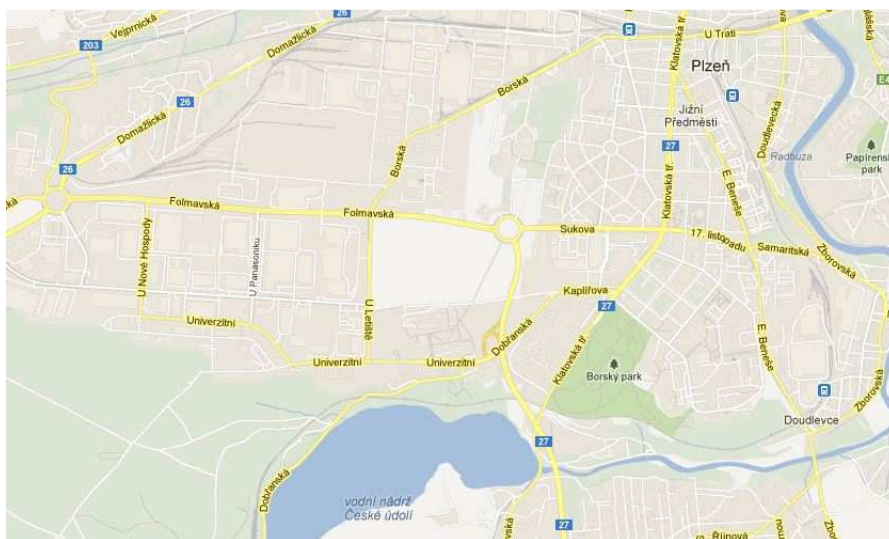
Zdroj: Pracoviště ČHMÚ Plzeň - Mikulka



Obrázek 13: Mapa zkoumané oblasti se zástavbou

Zdroj: Pracoviště ČHMÚ Plzeň - Mikulka

Pro lepší orientaci, přidávám i terénní mapu:



Obrázek 14: Základní terénní mapa zkoumané oblasti

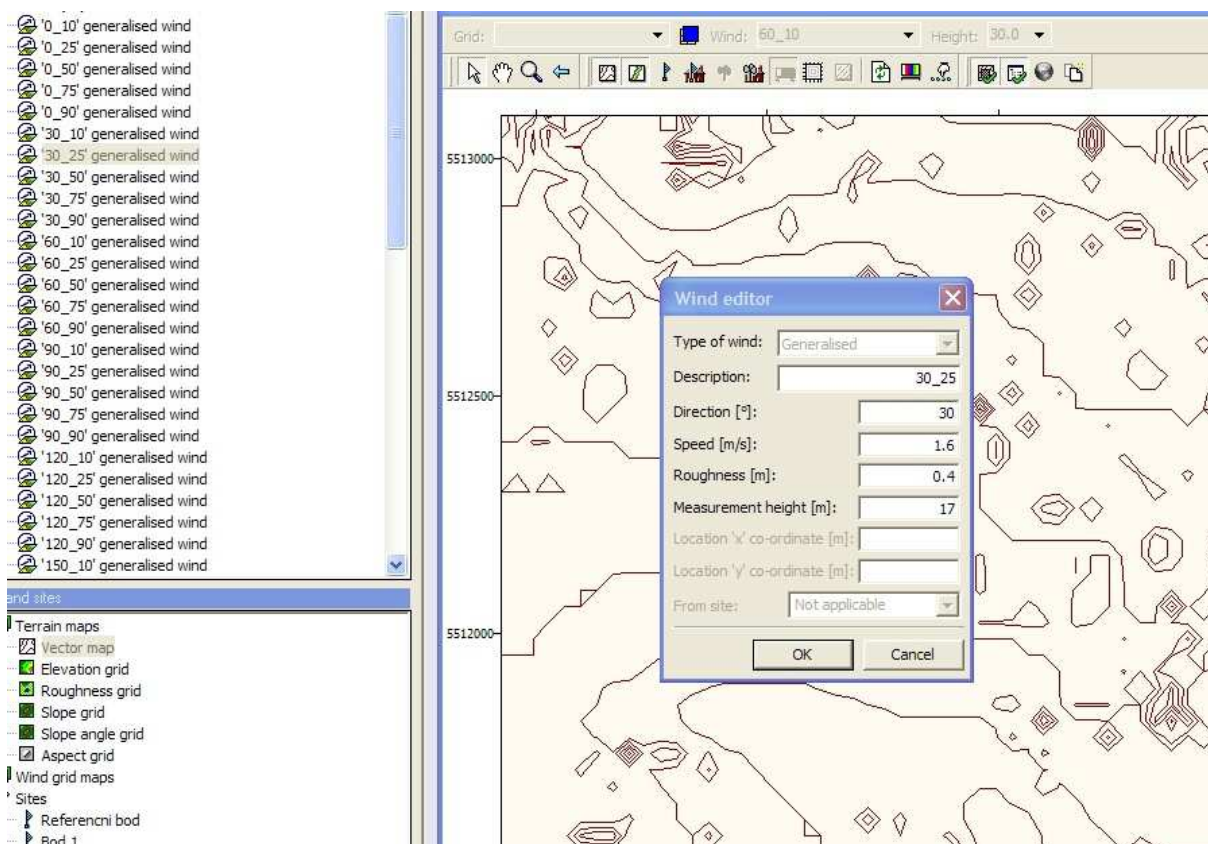
Zdroj: <https://maps.google.cz/>

4.6 Programové prostředí

Jako vstupní data jsem použil výše uvedenou *tabulku 18*. Pro vkládání údajů jsem využil Wind Editor. V tomto editoru se nachází několik editačních položek.

- Nejprve se volí Typ větru a na výběr jsou možnosti "Generalised" či "Geostrophic". Pro mou práci jsem potřeboval první typ.
- Další položkou je Popis, kam se může zadat cokoli. Pro přehlednost jsem volil popisování jednotlivých směrů ve stylu: "úhel_kvantil" (např. 120_10).
- Následující položkou je Rychlost větru, které jsem předem určil z výstupních dat stanice.
- Poté již následovaly konstantní hodnoty Drsnosti povrchu (Zadával jsem 0.4 m. Hodnoty jsou podle dané plochy - louka má např. 0.1, město 1) a Měřicí výšku, jenž byla určena na 17 metrů (z důvodu měření ze stanice Mikulka, která má vyšší nadmořskou výšku než daná oblast). Takto získaná položka se poté uložila.

Pro názornost uvádím podobu zadávání dat:



Obrázek 15: Zadávání vstupních dat do systému

Zdroj: Pracoviště ČHMÚ Plzeň - Mikulka, vlastní zadávání

Stejným postupem jsem tedy získal všech 60 hodnot. Z těchto hodnot je poté možno získat textové reporty daných směrů větru.

Některé vybrané reporty uvedu v přílohách na konci práce. Jen pro ukázkou uvedu jeden příklad na následující straně.

Z tohoto souboru je možné vyčíst například souřadnice bodu, nadmořskou výšku a drsnost, kterou jsem zadával. Ve spodní tabulce pak je možné vidět směr větru, jeho rychlost či turbulenci.

WAsP Engineering turbulence report for all sites and one wind ('150_10').**Height = 30.0 m*****Project parameters***

Project name: BORYElevation

Vector map source name: V:\Wasp_projekty\Bory\data\BORY.MAP

Latitude of area: 52°

Calculation domain:

East-West extension: 3379785 m to 3383205 m

South-North extension: 5510886 m to 5513091 m

Resolution: 15 m

Number of points in East-West direction: 228

Number of points in South-North direction: 147

Site list

<i>Site</i>	<i>x[m]</i>	<i>y[m]</i>	<i>Terrain elev.[m]</i>	<i>roughness [m]</i>
1	3381798	5512228	352.6	0.40000
2	3382469	5511862	349.4	0.40000
3	3382791	5511858	349.0	0.40000
4	3382726	5512638	342.5	0.40000

Mean flow and horizontal turbulence (Kaimal et al, 1972) for 150_10

Wind type: Generalised.

Direction and speed: 150.0°, 0.50 m/s.

Reference roughness and height: 0.40000 m, 17.0 m.

	<i>Direction [°]</i>	<i>Horizontal speed [m/s]</i>	<i>Velocity tilt [°]</i>	$(I_u^2 + I_v^2)^{1/2}$ [%]
1	152.1	0.59	0.10	23.9
2	153.5	0.58	0.39	24.3
3	152.8	0.58	0.73	25.6
4	148.3	0.58	-0.25	25.0

4.7 Výstupní hodnoty programu

Soubor se vygeneruje automaticky vždy poté, když zvolím daný směr větru a danou výšku, ve které se vítr simuluje. Jako měřené výšky jsem si předem určil 5 m, 10 m a 30 metrů. Po vybrání chtěné položky a výšky se spustí script, ve které jsem nastavoval položku "*Turbulence report for all sites and selected winds*". Bylo zapotřebí zvolit typ spektra, který byl dán položkou "0" a nazýval se Kaimal. (Dále bylo k dispozici na výběr 1 - SimuiScanlan a 2 - ESDU). Pokud bylo vše správně nastaveno a vybráno, spustil se script, který vygeneroval hlášení simulace v programu WORD. Takto vytvořená hlášení jsem si jednotlivě uložil opět s přehledně popisujícími názvy jako "150_10_30m", kde první pozice určuje úhel větru, druhá označuje kvantil a třetí měřenou výšku.

Vzhledem k většímu počtu vstupních hodnot z *tabulky 18* a třem různým výškám jsem získal celkem **180 výstupních souborů**, které měly obdobnou podobu jako výše uvedený report ('150_10'). Height = 30.0 m. Z důvodu velkého počtu není možné všechny zařadit do diplomové práce a do příloh.

Tímto postupem jsem získal výstupy modelování větru při zástavbě. Stejným způsobem budu řešit situaci bez zástavby budovami a budu porovnávat dané výstupy a zjišťovat rozdíly. Tyto rozdíly mi pak řeknou, jak moc ovlivňuje zástavba budov proudění větru. Změny je možné vyčíst pomocí rychlostí větru, které se budou v reportech se zástavbou a bez ní o něco lišit. Mimo toto textové znázornění je možné nechat vytvořit i grafické znázornění. Tato znázornění jsou sestrojena pomocí vektorového pole přímo na dané mapě simulace. Opět vzhledem k velkému počtu dat a následných výstupů, kdy je možné pro každý kvantil, směr větru a nadmořskou výšku vytvořit vlastní vektorové pole, nebudu uvádět veškerá grafická zobrazení, ale zaměřím se jen na ta důležitá.

Vybral jsem na dané mapě tedy dvě oblasti. Jednu v místě ZČU a druhou v nedaleké městské zástavbě, kde je mnohem patrnější změna směru a rychlosti větru. Navíc jsem zvolil výběr směrů, v nichž převládá směr větru. **Pro oblast ZČU** jsem zvolil tři směry - **210, 240 a 270°** a kvantily 10%, 50%, 90%. **Pro oblast městské zástavby** jsem vybral pouze převládající směr větru tj. **240°** a to opět v 10%, 50% a 90% kvantilu. Výstupy u mapy bez městské zástavby jsem zvolil obdobně, aby bylo jednodušší srovnání. Jen bych upozornil na menší nedokonalost programu, který nedokáže zachovat stejná měřítka na mapách při různých

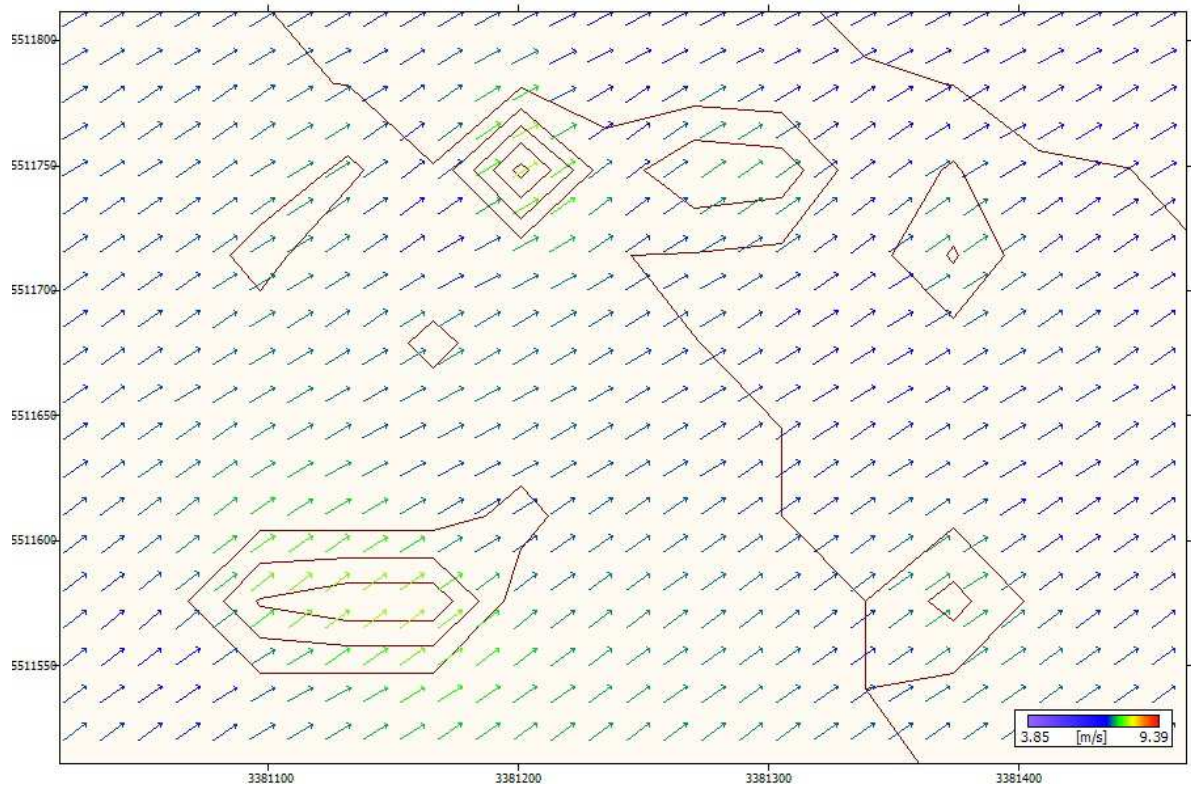
směrech, tudíž při srovnávání dvou map se stejnými parametry se může zdát, že barvy vektorů jsou pro stejné hodnoty jinak barevné. Je nutné tedy sledovat i měřítko zobrazené v pravém dolním rohu.

Jako příklad uvedu dvě situace při těchto parametrech: směr 240°, 90% kvantil a výšku 10m a 5m, kde bude nejlépe vidět, jak se dané situace liší. Namodelovaná situace ve výšce 30 m již neposkytuje přehledné a vzájemně odlišné informace, jelikož se v daných oblastech nenachází žádná budova či vyvýšenina, která je vyšší než 30 metrů a vítr v této výšce nevykazuje příliš turbulentní proudění.

Zobrazím vytvořenou mapu se zástavbou v oblasti ZČU a města a mapu bez zástavby pro stejné oblasti, aby bylo možné srovnání. Všechny níže uvedené obrázky jsou mnou vytvořeny na pracovišti ČHMÚ Plzeň - Mikulka, kde jsem do připravených map implementoval svou problematiku. Proto u nich nebudu jednotlivě uvádět zdroj.

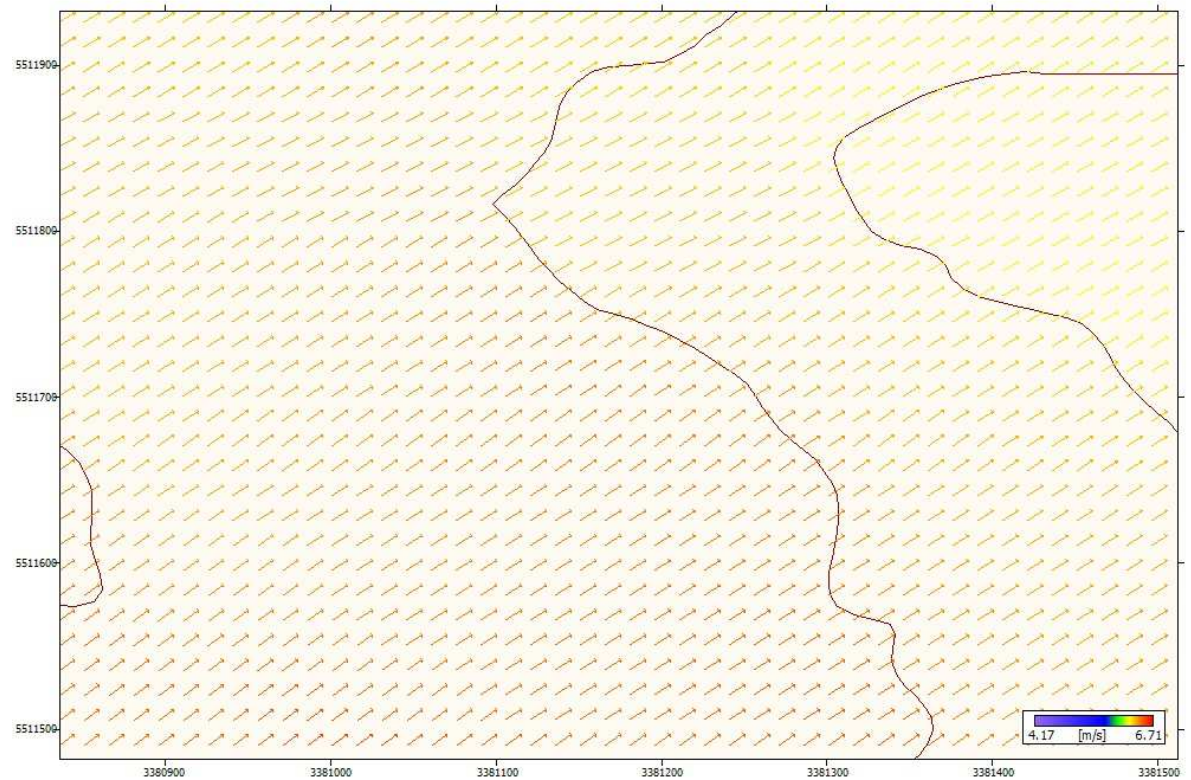
1A) Oblast ZČU (10m)

a) mapa se zástavbou



Obrázek 16: Oblast ZČU ($h = 10m$) - mapa se zástavbou

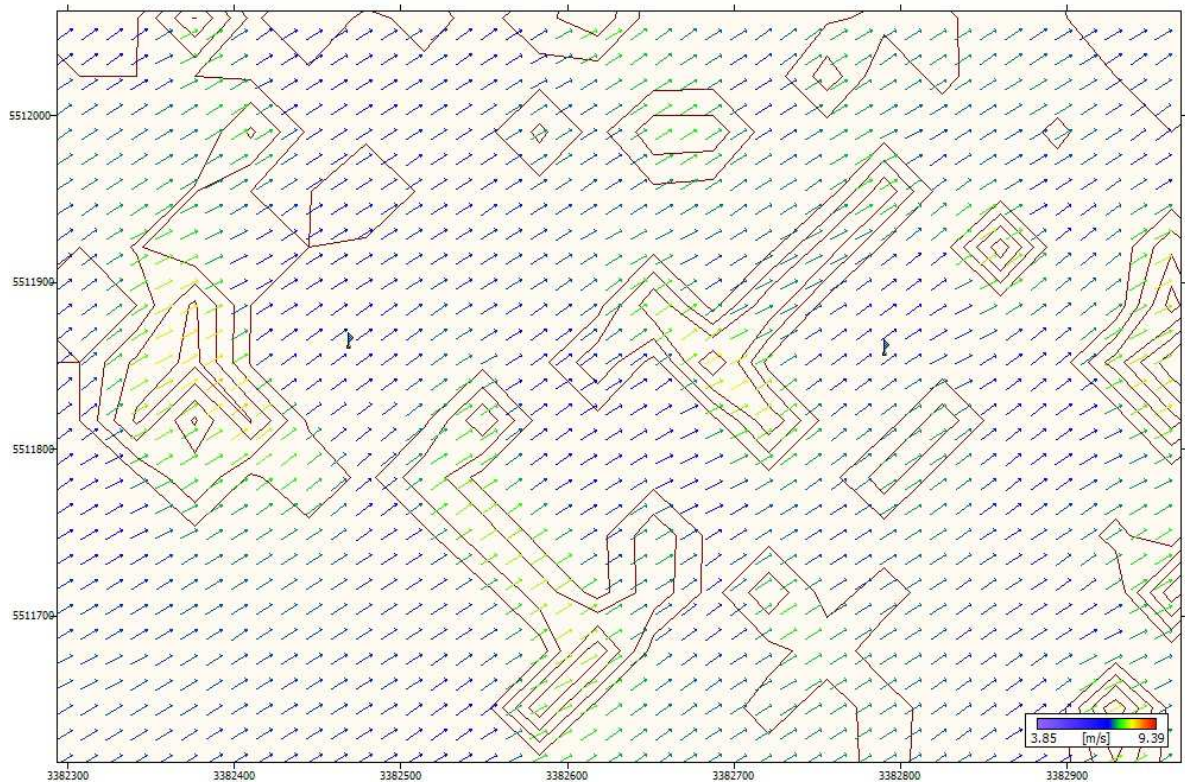
b) mapa bez zástavby



Obrázek 17: Oblast ZČU ($h = 10m$) - mapa bez zástavby

2A) Oblast okraje města (10 m)

a) mapa se zástavbou



Obrázek 18: Oblast města (h = 10m) - mapa se zástavbou

b) mapa bez zástavby



Obrázek 19: Oblast města (h = 10m) - mapa bez zástavby

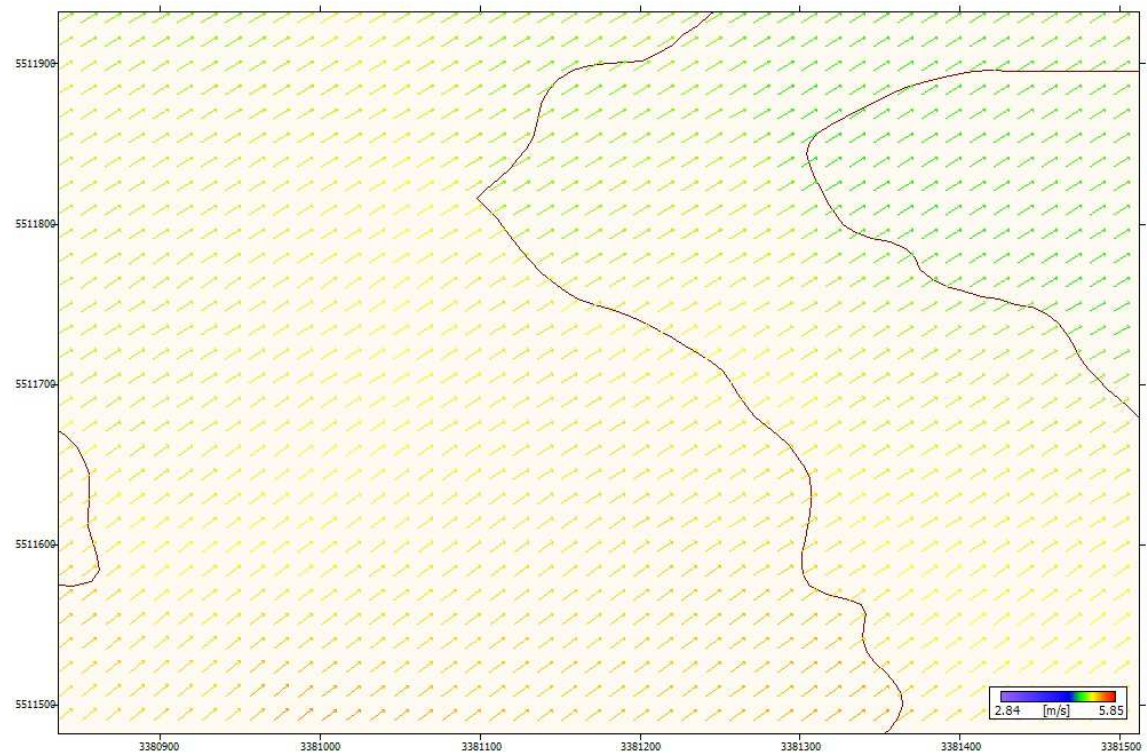
1B) Oblast ZČU (5m)

a) mapa se zástavbou



Obrázek 20: Oblast ZČU (h = 5m) - mapa se zástavbou

b) mapa bez zástavby



Obrázek 21: Oblast ZČU (h = 5m) - mapa bez zástavby

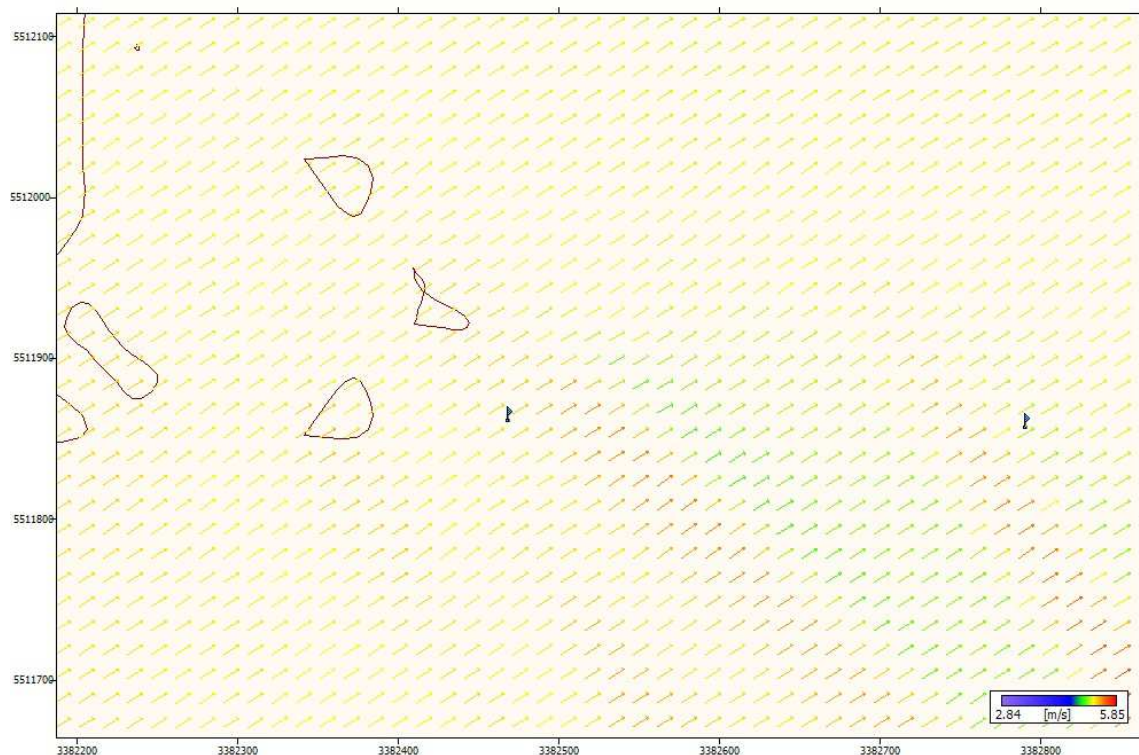
2B) Oblast okraje města (5 m)

a) mapa se zástavbou



Obrázek 22: Oblast města (h = 5m) - mapa se zástavbou

b) mapa bez zástavby



Obrázek 23: Oblast města (h = 5m) - mapa bez zástavby

4.8 Hodnocení výstupů

Na výše uvedených obrázcích je vidět několik vlastností. Vzhledem k poloze města a oblasti není možné vidět na mapách žádné výrazné extrémy jako například na horách. Ovšem pro znázornění a pochopení problematiky je to dostačující. Na první mapě je zobrazena plocha ZČU a místní budovy. Tyto obrázky jsou pro simulaci větru ve výšce 10 metrů. Při srovnání s druhým obrázkem je patrné, že i malý počet budov daleko od sebe stačí k vytvoření (ač malých) změn proudění vzduchu. Hlavní změnou je zde změna rychlosti při nárazech na budovy či při jejím překonávání. K největšímu zesílení dochází na vrcholech budov, což odpovídá mému schématu na *obrázku 3 (strana 15)* této práce. Pokud bychom uvažovali oblast bez zástavby, tak dostáváme téměř konstantní směr a rychlost větru, jejíž velikost je vyšší než při zástavbě.

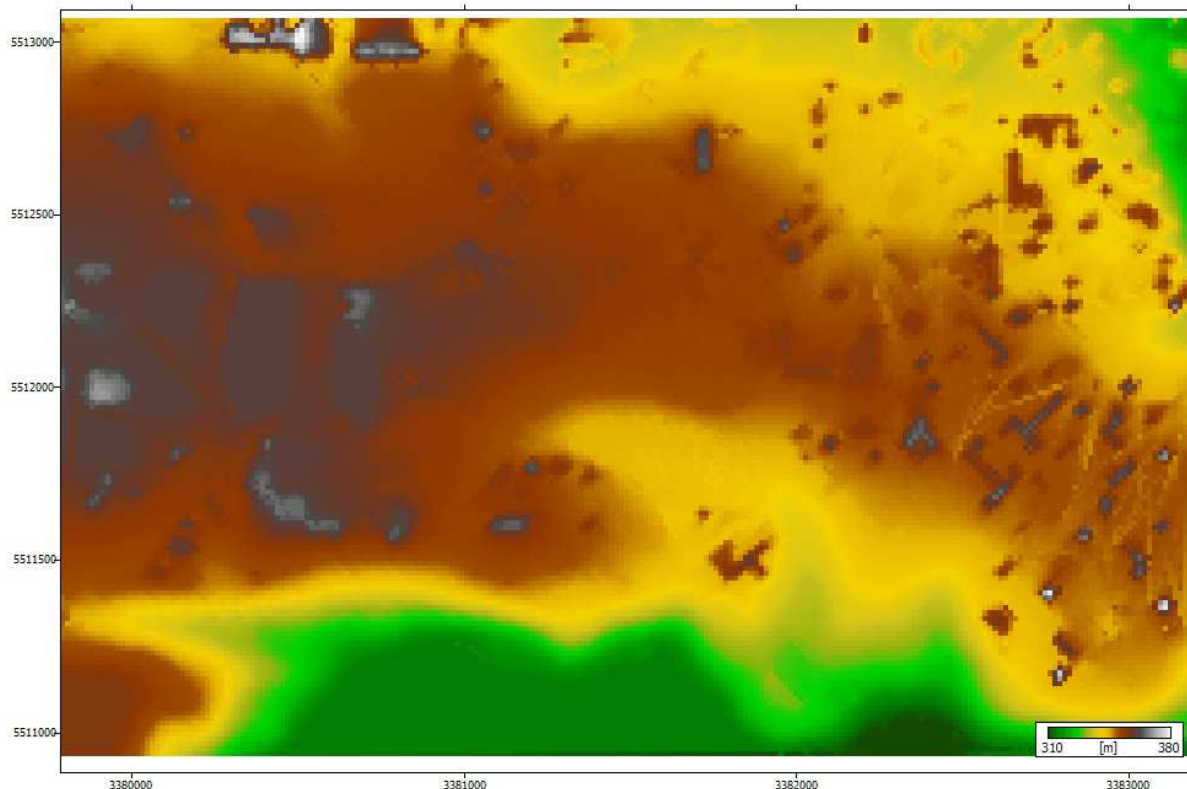
Obdobnou situaci lze vyčíst z *obrázku 18 resp. 19*, kde je zobrazena mapa okraje města se zástavbou a bez ní. Na *obrázku 18* je vidět, že vítr již mění svůj směr výrazněji (dochází k změně sklonu šipek znázorňující vektory) mnohem více než u oblasti ZČU a také se mění rychlosti. Zde je opět nutné sledovat měřítko, kdy stejné barvy neodpovídají stejné rychlosti.

Stejně hodnocení lze provést ve výšce 5 m. Na obrázku je patrné, že v této výšce nedochází k takové změně rychlosti. Je to způsobeno tím, že simulovaná výška není vyšší, než budova. Tudíž vítr nepřekoná celou budovu a nedochází k takovému zesílení, jako je tomu u vrcholů budov či kopců, když je proud vzduchu překoná. Nicméně změny směru a rychlosti jsou stejně patrné a například na okraji města je zřetelně vidět změna, jelikož se tam nachází budovy nižší než 5 metrů, tudíž vítr budovu překoná a opět se urychlí.

Na mapě bez zástavby budovami je opět podobná situace jako předtím, kdy dochází k minimálním změnám směru a rychlosti větru. Tyto změny jsou způsobeny změnami terénu či nadmořskými výškami. Například na *obrázku 23* je vidět, že horní část je tvořena rovinou, kde se sledované parametry skoro nemění, přičemž ve spodní části jsou vidět změny v jakýchsi pruzích, kde se zřejmě vyskytují nějaké nerovnosti terénu.

Zde jsem uvedl několik možných situací, které jsem nasimuloval v programu WAsP. Další podstatná grafická znázornění přidám do příloh (především pak ostatní směry - 210, 240 a 270° ve všech třech výškách (5, 10, 30 m) jak pro mapu bez zástavby tak se zástavbou. Není

problém vytvořit mapy i pro všechny ostatní parametry, ale to mi přijde zbytečné zde uvádět. V závěru této části uvádím ještě mapu zobrazení nadmořských výšek:



Obrázek 24: Mapa nadmořských výšek zkoumané oblasti

Na této mapě je krásně vidět, proč byly na mapách bez zástavby takové změny proudění. Opravdu to bylo způsobeno změnami nadmořských výšek, které ovšem nebyly nijak razantní, ale jak je vidět, i nemalá změna způsobí změnu směru a rychlosti větru.

Při **hodnocení textové části** budu vycházet z reportů, které mi vygeneroval program. Nejdůležitějším směrem je převládající jiho-jihozápadní (tj. směr 240°), proto v textovém hodnocení uvedu pouze tento směr. V ostatních směrech se hodnoty budou lišit také, ale většinou nepatrně.

A) 240° - 90 % - 5 m

a) bez zástavby

	<i>Direction</i> [°]	<i>Horizontal speed</i> [m/s]	<i>Velocity tilt</i> [°]	$(I_u^2 + I_v^2)^{1/2}$ [%]
1	238.0	4.55	-0.50	41.4
2	237.4	4.82	0.23	39.1
3	238.1	4.48	-0.80	42.1
4	240.3	4.54	-0.77	41.5

b) v zástavbě

	<i>Direction</i> [°]	<i>Horizontal speed</i> [m/s]	<i>Velocity tilt</i> [°]	$(I_u^2 + I_v^2)^{1/2}$ [%]
1	236.9	4.63	0.01	41.0
2	233.7	4.25	-0.94	46.6
3	234.0	4.43	-0.67	44.9
4	247.3	4.07	-2.83	50.0

B) 240° - 90 % - 10 m

a) bez zástavby

	<i>Direction</i> [°]	<i>Horizontal speed</i> [m/s]	<i>Velocity tilt</i> [°]	$(I_u^2 + I_v^2)^{1/2}$ [%]
1	237.8	5.79	-0.50	41.0
2	237.3	6.04	0.10	31.0
3	237.8	5.77	-0.69	33.1
4	239.6	5.78	-0.79	32.9

b) v zástavbě

	<i>Direction</i> [°]	<i>Horizontal speed</i> [m/s]	<i>Velocity tilt</i> [°]	$(I_u^2 + I_v^2)^{1/2}$ [%]
1	236.9	5.86	-0.00	32.4
2	234.4	5.52	-1.16	35.8
3	235.1	5.72	-0.59	34.3
4	244.1	5.35	-2.71	37.7

B) 240° - 90 % - 30 m

a) bez zástavby

	<i>Direction</i> [°]	<i>Horizontal speed</i> [m/s]	<i>Velocity tilt</i> [°]	$(I_u^2 + I_v^2)^{1/2}$ [%]
1	238.4	7.74	-0.49	35.5
2	238.2	7.92	-0.12	23.5
3	238.4	7.77	-0.30	24.3
4	239.6	7.71	-0.95	24.8

b) v zástavbě

	<i>Direction</i> [°]	<i>Horizontal speed</i> [m/s]	<i>Velocity tilt</i> [°]	$(I_u^2 + I_v^2)^{1/2}$ [%]
1	237.9	7.79	-0.03	24.4
2	236.5	7.62	-1.13	25.1
3	237.2	7.76	-0.67	24.5
4	241.7	7.50	-1.91	26.0

Z tabulek je patrné, že při zástavbě jsou rychlosti větru menší, než když zástavba není. Tento jev se dal předpokládat, protože umístěné budovy vítr zpomalují, neboť fungují jako překážky.

Stejným způsobem lze porovnat i ostatní výsledky, ale předpokládají se obdobné situace. Zvolil jsem tyto parametry z důvodu, že v 90% kvantilu se vyskytují nejvyšší hodnoty a na nich je možné dobře vidět rozdíly. Směr jsem zvolil ten, který v této oblasti převládá, a měření jsem provedl pro všechny tři předem zvolené výšky - 5, 10 a 30 metrů

Vezmu-li v potaz oddíl A) a porovnání vlastních hodnot, tak je patrné, že nejvýraznější pokles rychlosti v zástavbě oproti bez ní nastává v bodě 2. Snížení rychlosti je zde o 0,57 m/s, což je poměrně vysoké číslo na oblast měření. K výrazné změně úhlu sklonu (velocity tilt) došlo rovněž v bodě 2 a to z hodnoty 0,23 na -0,94 (znázorněno žlutým pozadím v tabulce). Opačné znaménko znamená, že došlo k změně z výstupného pohybu na sestupný. Dále je možné pozorovat významnou změnu intenzity horizontální turbulence (poslední sloupec), která se například v bodě 4 změnila o více než 20% - z hodnoty 41,5 na 50,0.

Obdobné situace nastávají i pro měření ve výšce 10 a 30 metrů. Pro výšku 10 m se hodnoty větru pohybují kolem přibližně v mezích 5,5 - 6 m/s a v bodech 2, 3, 4 je patrný pokles horizontální rychlosti větru. Velmi výrazná změna úhlu sklonu je v bodě 2, kdy se úhel změnil z hodnoty 0,10 na -1,16 a opět tak došlo k změně pohybu na sestupný charakter. Velký pokles úhlu je vidět i v bodě 4, ale zde se na rozdíl od předchozího neměnilo znaménko. Ve výšce 10 m i 30 m se opět mění i intenzity horizontální turbulence v zástavbě oproti bez ní, ale ne již tak markantně. Změna se pohybuje většinou v rozmezí 5-15%. Takovéto hodnocení by šlo provést u všech naměřených hodnot a zjištěných výstupů, ale většinou se vybírají konkrétní hodnoty pro určitý účel.

Závěr

Hlavním cílem mé diplomové práce bylo namodelovat proudění vzduchu ve vybrané lokalitě. V této lokalitě bylo zapotřebí vytvořit model terénu bez zástavby a se zástavbou budovami a následně implementovat model proudění vzduchu a obě situace vzájemně porovnat a zjištěné poznatky vyhodnotit.

V úvodu mé práce jsem pro lepší pochopení celé problematiky proudění vzduchu a jeho zkoumání popsal vědecké oblasti jakými jsou klimatologie a meteorologie. Dále jsem uvedl praktické využití výstupů této práce a popsal vlastní přínos v práci.

Za druhý cíl mé práce jsem si zvolil popis vzniku proudění a chování vzduchových hmot v určitých lokalitách naší Země. Mimo jiné jsem uvedl, jak se měří směr a rychlosti větru, jaké známe typy proudění vzduchu a jaké termodynamické vlastnosti vykazují budovy. Též jsem v této části zmínil technologické vybavení měřících stanic a Beaufortovu stupnici, která zjednoduší popis aktuálního stavu proudění vzduchu.

V další části práce jsem se zaměřil na popis staniční sítě. Jak se vítr měří, co je za potřebí mít na pracovišti za vybavení a jaká je úloha obsluhy. Blíže jsem se zaměřil na Plzeňský kraj a měření rychlosti a směru větru na jeho území. Dále jsem uvedl databázi stanic na tomto území s dalšími parametry a podrobněji jsem popsal pracoviště Plzeň - Mikulka, kde jsem prováděl vlastní modelování proudění vzduchu. Ve třetí kapitole této práce jsem v krátkosti popsal program, v němž jsem prováděl výpočty a simulování proudění.

V poslední kapitole jsem rozsáhlým způsobem popsal postup při tvorbě modelování proudění. Nejprve získávání dat, jejich zpracování a provedení základních statistických výpočtů, z kterých jsem následně získal vstupní data pro software WAsP. Poté jsem představil, jak se vkládají data do systému, jak se s nimi pracuje a jak se získávají potřebné výstupy. Tyto výstupy jsou textové nebo grafické, přičemž oba typy jsem ve své práci samozřejmě uvedl a slovně je zhodnotil.

Cílem práce je porovnání změn proudění vzduchu při zástavbě a bez ní. Tyto rozdíly jsou nejlépe vidět na uvedených obrázcích. Vzhledem k lokalitě okraje města Plzně zde nedochází k tak viditelným rozdílům, ke kterým může docházet v horských oblastech. Ovšem proudění vzduchu hraje roli v každé oblasti Země, proto i zde jsou data užitečná, jelikož se mohou využít k cílům, které jsem uvedl v úvodu práce. Z obrázků je zřetelně vidět, že budovy a zástavba způsobují prokazatelnou změnu proudění a tím mohou změnit větrné podmínky dané lokality. Tyto podklady mohou být využity jako dispozice pro novou výstavbu provětrávání a v neposlední řadě jako důležité podklady při ochraně čistoty ovzduší.

Seznam použitých obrázků

OBRÁZEK 1: ROZLOŽENÍ TLAKOVÝCH NÍŽÍ A TLAKOVÝCH VÝŠÍ.....	13
OBRÁZEK 2: ZNÁZORNĚNÍ LAMINÁRNÍHO PROUDĚNÍ.....	13
OBRÁZEK 3: ZESÍLENÍ A ZESLABENÍ VĚTRU VLIVEM PŘEKÁŽKY.....	15
OBRÁZEK 4: ECKMANNOVA SPIRÁLA.....	15
OBRÁZEK 5: MISKOVÝ ANEMOMETR.....	16
OBRÁZEK 6: MAPA PLZEŇSKÉHO KRAJE S OZNAČENÍM STANIC.....	21
OBRÁZEK 7: PLZEŇ - MIKULKA.....	22
OBRÁZEK 8: VĚTRNÁ CHARAKTERISTIKA STANICE PŘIMDA, CHEB.....	24
OBRÁZEK 9: VEKTOROVÝ VÝPOČET SMĚRU A RYCHLOSTI VĚTRU.....	25
OBRÁZEK 10: VSTUPNÍ NAMĚŘENÁ DATA V PROGRAMU EXCEL.....	28
OBRÁZEK 11: RŮŽICE ČETNOSTÍ.....	32
OBRÁZEK 12: MAPA ZKOUMANÉ OBLASTI BEZ ZÁSTAVBY.....	33
OBRÁZEK 13: MAPA ZKOUMANÉ OBLASTI SE ZÁSTAVBOU.....	33
OBRÁZEK 14: ZÁKLADNÍ TERÉNNÍ MAPA ZKOUMANÉ OBLASTI.....	34
OBRÁZEK 15: ZADÁVÁNÍ VSTUPNÍCH DAT DO SYSTÉMU.....	35
OBRÁZEK 16: OBLAST ZČU (H = 10M) - MAPA SE ZÁSTAVBOU.....	39
OBRÁZEK 17: OBLAST ZČU (H = 10M) - MAPA BEZ ZÁSTAVBY.....	39
OBRÁZEK 18: OBLAST MĚSTA (H = 10M) - MAPA SE ZÁSTAVBOU.....	40
OBRÁZEK 19: OBLAST MĚSTA (H = 10M) - MAPA BEZ ZÁSTAVBY.....	40
OBRÁZEK 20: OBLAST ZČU (H = 5M) - MAPA SE ZÁSTAVBOU.....	41
OBRÁZEK 21: OBLAST ZČU (H = 5M) - MAPA BEZ ZÁSTAVBY.....	41
OBRÁZEK 22: OBLAST MĚSTA (H = 5M) - MAPA SE ZÁSTAVBOU.....	42
OBRÁZEK 23: OBLAST MĚSTA (H = 5M) - MAPA BEZ ZÁSTAVBY.....	42
OBRÁZEK 24: MAPA NADMOŘSKÝCH VÝŠEK ZKOUMANÉ OBLASTI.....	44

Seznam použitých tabulek

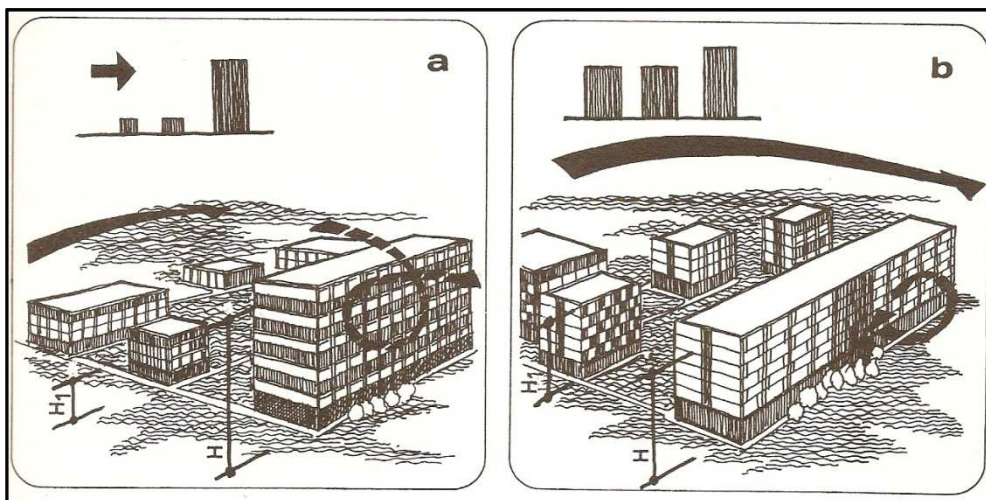
TABULKA 1: BEAUFORTOVA STUPNICE	17
TABULKA 2: PŘEHLED STANIC - ČHMÚ PLZEŇ	21
TABULKA 3: PŘEHLED SOUČASNÉHO VÝPOČTU PROGRAMU WINMETEO	23
TABULKA 4: UKÁZKA BUDOUCÍHO VÝPOČTU PROGRAMU WINMETEO	23
TABULKA 5: ROZDĚLENÍ INTERVALŮ SMĚRU VĚTRU DO DANÝCH ÚHLŮ	28
TABULKA 6: VÝPOČTOVÁ TABULKA KVANTILŮ: 346-15°	29
TABULKA 7: VÝPOČTOVÁ TABULKA KVANTILŮ: 16-45°	29
TABULKA 8: VÝPOČTOVÁ TABULKA KVANTILŮ: 46-75°	29
TABULKA 9: VÝPOČTOVÁ TABULKA KVANTILŮ: 76-105°	30
TABULKA 10: VÝPOČTOVÁ TABULKA KVANTILŮ: 106-135°	30
TABULKA 11: VÝPOČTOVÁ TABULKA KVANTILŮ: 136-165°	30
TABULKA 12: VÝPOČTOVÁ TABULKA KVANTILŮ: 166-195°	30
TABULKA 13: VÝPOČTOVÁ TABULKA KVANTILŮ: 196-225°	30
TABULKA 14: VÝPOČTOVÁ TABULKA KVANTILŮ: 226-255°	31
TABULKA 15: VÝPOČTOVÁ TABULKA KVANTILŮ: 256-285°	31
TABULKA 16: VÝPOČTOVÁ TABULKA KVANTILŮ: 286-315°	31
TABULKA 17: VÝPOČTOVÁ TABULKA KVANTILŮ: 316-345°	31
TABULKA 18: SOUHRNNÁ TABULKA KVANTILŮ, RYCHLOSTÍ VĚTRU A ČETNOSTÍ.....	32

Použitá literatura

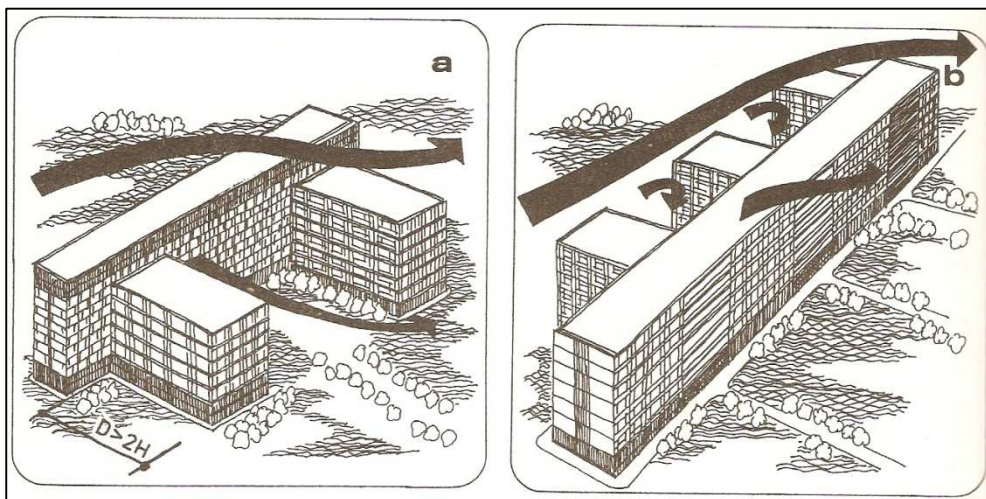
- [1] Lynch, J.: Wild Weather. BBC Worldwide, Londýn, 2002. (Z anglického originálu přeložil kolektiv RNDr. Ivana Sládka, CSc.: POČASÍ. Euromedia Group k.s., Praha, 2003.
- [2] Kobzová, E.: Počasí, knížka pro každého. Rubico, Olomouc, 1998.
- [3] Křivancová, S., Vavruška F.: Základní meteorologické prvky v jednotlivých povětrnostních situacích na území České republiky v období 1961-1990. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 1997.
- [4] Moran, J. M., Morgan, M. D.: Meteorology. The Atmosphere and the Science of Weather. Macmillan Publishing Company, New York, 1989.
- [5] Bielek, M., Černík, P., Tajmir, M.: Termodynamika budov. Alfa, Bratislava, 1990.
- [6] Kettner, R.: Všeobecná geologie IV. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 1955.
- [7] Roth, G. D.: Wetterkunde. BLV, Mnichov, 1999. (Z německého originálu přeložil Vojtěch Vítek: Malá encyklopedie počasí. Euromedia Group k.s. - Knižní klub, Praha, 2000.
- [8] Jorgensen, H. E., Nielsen, M.: WaspEngineering course. Riso National Laboratory, Denmark, 2006.
- [9] Podpůrné texty k programu WAsP: využití modelu v provozu ČHMÚ.
- [10] Text p. RNDr. J. Hostýnka - Větrné charakteristiky (měření a zpracování větrných dat, aplikace)
- [11] <http://www.chmi.cz/portal/> - Pobočka Plzeň
- [12] Meteorologické zprávy - ročník 65 - 2012 - číslo 2: Hostýnek, J., Lepka, Z., Hradil, M.: WAsP Engineering - využití modelu v provozu ČHMÚ.

Přílohy

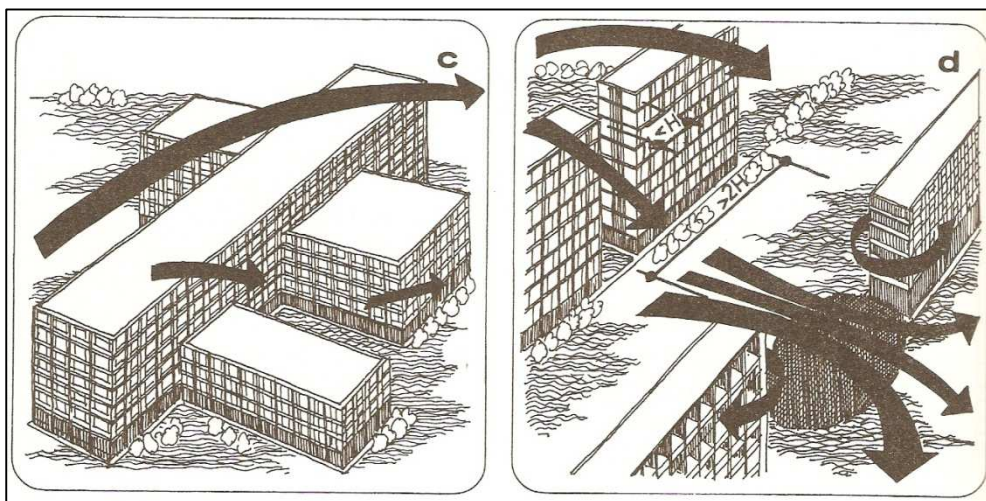
Příloha 1: Obrázková příloha – Ukázka změny proudění v zástavbě (zdroj: [5])



Obr. 1: Ukázka vzniku turbulence za budovami

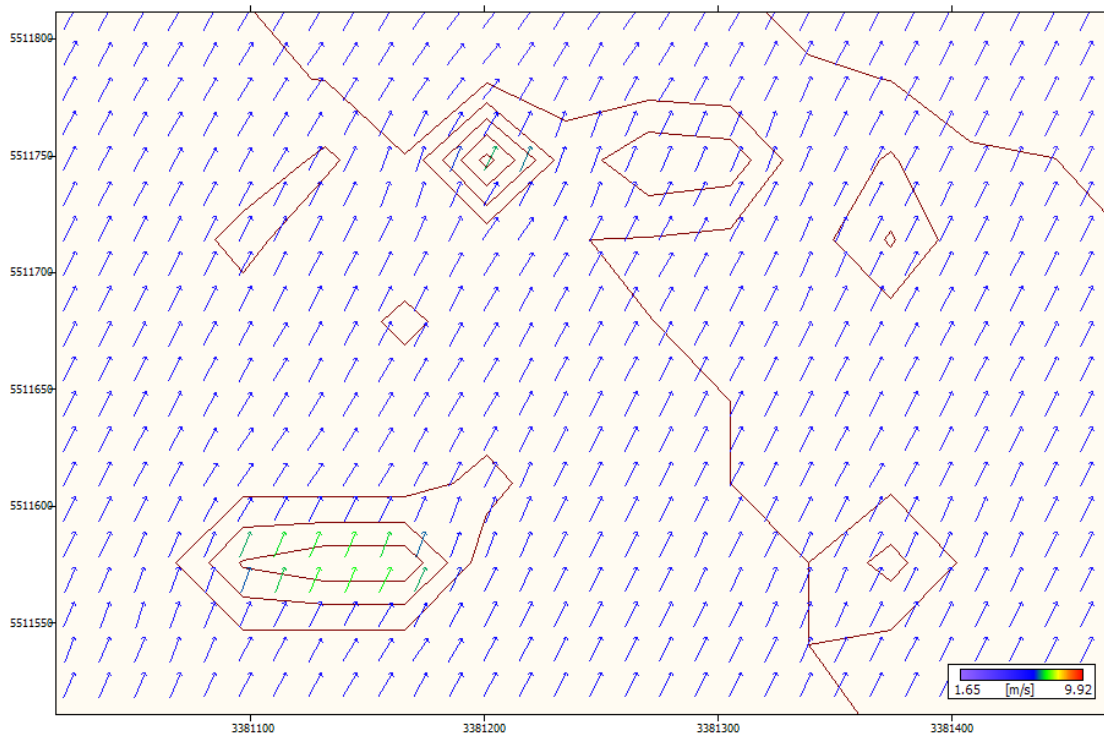


Obr. 2: Ukázka změn proudění u složitěji konstruované budovy

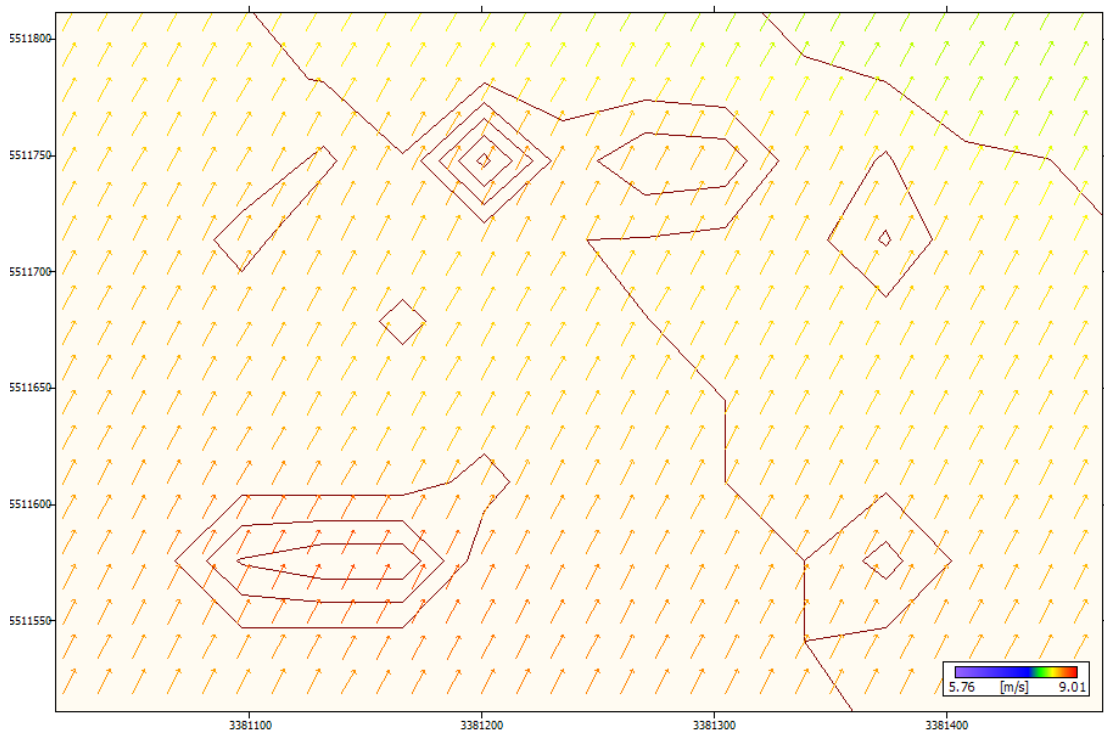


Obr. 3: Ukázka změn proudění při průchodu mezerami mezi budovami

Příloha 2: Obrázková příloha – vektorová pole



Obr. 4: Vektorové pole oblasti ZČU se zástavbou, ID 210_90_5



Obr. 5: Vektorové pole oblasti ZČU se zástavbou, ID 210_90_30

Příloha 3: Textová příloha – výstupní soubor: ID 210_90_5**WasP Engineering turbulence report for all sites and one wind ('210_90'). Height = 5.0 m****Project parameters**

Project name: BORYElevation

Vector map source name: V:\Wasp_projekty\Bory\data\BORY.MAP

Latitude of area: 52°

Calculation domain:

East-West extension: 3379785 m to 3383205 m

South-North extension: 5510886 m to 5513091 m

Resolution: 15 m

Number of points in East-West direction: 228

Number of points in South-North direction: 147

Site list

Site	x[m]	y[m]	Terrain elev.[m]	roughness [m]
1	3381798	5512228	352.6	0.40000
2	3382469	5511862	349.4	0.40000
3	3382791	5511858	349.0	0.40000
4	3382726	5512638	342.5	0.40000

Mean flow and horizontal turbulence (Kaimal et al, 1972) for 210_90

Wind type: Generalised.

Direction and speed: 210.0°, 6.20 m/s.

Reference roughness and height: 0.40000 m, 17.0 m.

	Direction [°]	Horizontal speed [m/s]	Velocity tilt [°]	$(Iu_2+Iv_2)^{1/2}$ [%]
1	208.3	4.60	0.01	38.6
2	205.4	4.52	-0.37	40.2
3	208.4	4.54	-0.73	40.1
4	211.6	3.50	-2.87	56.7

Příloha 4: Textová příloha – výstupní soubor: ID 210_90_30**WAsP Engineering turbulence report for all sites and one wind ('210_90'). Height = 30.0 m****Project parameters**

Project name: BORYElevation

Vector map source name: V:\Wasp_projekty\Bory\data\BORY.MAP

Latitude of area: 52°

Calculation domain:

East-West extension: 3379785 m to 3383205 m

South-North extension: 5510886 m to 5513091 m

Resolution: 15 m

Number of points in East-West direction: 228

Number of points in South-North direction: 147

Site list

Site	x[m]	y[m]	Terrain elev.[m]	roughness [m]
1	3381798	5512228	352.6	0.40000
2	3382469	5511862	349.4	0.40000
3	3382791	5511858	349.0	0.40000
4	3382726	5512638	342.5	0.40000

Mean flow and horizontal turbulence (Kaimal et al, 1972) for 210_90

Wind type: Generalised.

Direction and speed: 210.0°, 6.20 m/s.

Reference roughness and height: 0.40000 m, 17.0 m.

	Direction [°]	Horizontal speed [m/s]	Velocity tilt [°]	$(Iu_2+Iv_2)^{1/2}$ [%]
1	208.9	7.55	0.03	23.0
2	208.1	7.55	-0.73	23.0
3	209.1	7.55	-0.21	23.0
4	210.2	6.91	-1.82	26.5

Příloha 5: Tabulková příloha – ukázka přípravy vstupních dat 1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Eg gh id	Year	Month	Day	Time	Směr	Rychlost										
1 L1PLM01	2005	05	21	06:00		354										
2 L1PLM01	2005	05	26	06:00		360										
3 L1PLM01	2005	12	01	06:00		0										
4 L1PLM01	2005	05	08	09:00		0										
5 L1PLM01	2006	05	08	12:00		0										
6 L1PLM01	2006	05	08	15:00		0										
7 L1PLM01	2006	05	09	00:00		0										
8 L1PLM01	2006	05	09	03:00		0										
9 L1PLM01	2006	05	27	03:00		0										
10 L1PLM01	2006	05	31	15:00		0										
11 L1PLM01	2006	05	31	18:00		0										
12 L1PLM01	2006	05	01	00:00		0										
13 L1PLM01	2006	07	01	03:00		0										
14 L1PLM01	2006	05	31	00:00		0										
15 L1PLM01	2007	05	31	03:00		0										
16 L1PLM01	2007	05	31	06:00		0										
17 L1PLM01	2007	05	31	09:00		0										
18 L1PLM01	2007	05	31	12:00		0										
19 L1PLM01	2007	05	31	15:00		0										
20 L1PLM01	2007	05	31	18:00		0										
21 L1PLM01	2007	05	31	21:00		0										
22 L1PLM01	2007	06	29	03:00		0										
23 L1PLM01	2007	07	30	00:00		0										
24 L1PLM01	2007	07	30	03:00		0										
25 L1PLM01	2007	07	30	06:00		0										
26 L1PLM01	2007	07	30	09:00		0										
27 L1PLM01	2007	07	30	12:00		0										
28 L1PLM01	2007	07	30	15:00		0										
29 L1PLM01	2007	07	30	18:00		0										
30 L1PLM01	2007	07	30			0										

Celkem položek (n) =		1935
medián	řádek: 0,5*(n+1) = 0,5*(1935 +1) = 968	hodnota L1PLM01 2010 02 11 03:00 7 2,1
kvantily+decily (10,25,50,75,90 % hranice řady)		
10%	řádek+1	hodnoty Year Month Day Time Směr Rychlost
25%	194	L1PLM01 2009 05 09 06:00 13 0,9
50%	484	L1PLM01 2006 09 11 03:00 1 1,5
75%	968	median
90%	1452	L1PLM01 2009 03 05 06:00 358 3
	1742	L1PLM01 2009 04 22 21:00 355 3,8

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Eg gh id	Year	Month	Day	Time	Směr	Rychlost										
1	L1PLM01	2005	03	05	00:00	226	0									
2	L1PLM01	2005	01	29	09:00	227	0									
3	L1PLM01	2005	02	25	09:00	227	0									
4	L1PLM01	2005	03	05	06:00	231	0									
5	L1PLM01	2005	06	13	06:00	237	0									
6	L1PLM01	2005	03	05	09:00	238	0									
7	L1PLM01	2005	07	14	00:00	244	0									
8	L1PLM01	2006	01	02	09:00	254	0									
9	L1PLM01	2006	02	06	09:00	226	0,1									
10	L1PLM01	2008	01	11	06:00	233	0,1									
11	L1PLM01	2005	10	01	21:00	235	0,1									
12	L1PLM01	2006	09	09	03:00	238	0,1									
13	L1PLM01	2006	03	27	06:00	247	0,1									
14	L1PLM01	2006	07	20	06:00	247	0,1									
15	L1PLM01	2006	06	21	06:00	248	0,1									
16	L1PLM01	2008	03	10	00:00	252	0,1									
17	L1PLM01	2005	11	15	03:00	231	0,2									
18	L1PLM01	2005	12	12	00:00	246	0,2									
19	L1PLM01	2005	10	01	06:00	251	0,2									
20	L1PLM01	2005	11	27	15:00	234	0,2									
21	L1PLM01	2008	10	12	00:00	246	0,2									
22	L1PLM01	2008	06	15	06:00	228	0,3									
23	L1PLM01	2009	02	21	12:00	230	0,3									
24	L1PLM01	2006	10	21	06:00	231	0,3									
25	L1PLM01	2006	02	14	00:00	239	0,3									
26	L1PLM01	2006	05	15	00:00	239	0,3									
27	L1PLM01	2007	06	11	06:00	241	0,3									
28	L1PLM01	2006	03	04	00:00	242	0,3									
29	L1PLM01	2006	12	03	21:00	244	0,3									
30	L1PLM01	2006	02	02	00:00	245	0,3									
								kvartily+decily (10,25,50,75,90 % hranice řady)								
								10%	Fádek+1	hodnoty	Year	Month	Day	Time	Směr	Rychlost
								25%	344	L1PLM01	2007	02	06	06:00	238	1,3
								50%	859	L1PLM01	2006	11	03	09:00	230	2,1
								75%	1719	median						
								90%	2579	L1PLM01	2006	11	14	00:00	236	5
									3094	L1PLM01	2009	05	28	15:00	243	6,6
								Celkem položek (n) = 3437								
								median hodnota $0,5^{*(n+1)} = 0,5^{*(3437+1)} = 1719$								
								hodnota L1PLM01 2006 12 28 21:00 229 3,4								