

Vliv úhlu náběžné hrany lopatek na účinnost průtažného rotoru

Dominik Horníček

Bakalářská práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Dominik HORNÍČEK
Osobní číslo: T08598
Studijní program: B 3909 Procesní inženýrství
Studijní obor: Technologická zařízení

Téma práce: Vliv úhlu náběžné hrany lopatek na účinnost
průtažného rotoru

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešerši na dané téma s přihlédnutím na patentovou literaturu
2. Navrhněte řešení úhlu náběžné hrany lopatek průtažného rotoru
3. Zkontrolujte proudění s využitím SW Flow Simulation
4. Zhodnoťte navržené řešení

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího práce

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jaroslav Maloch, CSc.
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

14. února 2011

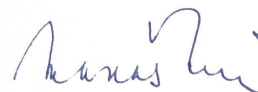
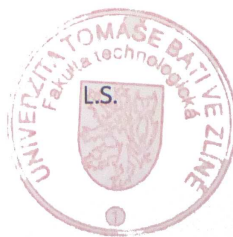
Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2011

Ve Zlíně dne 11. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je zkoumat vliv úhlu náběžné hrany lopatek na účinnost průtažného rotoru.

Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části, byla popsána problematika využití větru pro výrobu elektrické energie. Následně byl blíže vysvětlen princip průtažného rotoru. Jsou zde uvedeny zásady využívání již existujících patentů pro konstrukci samotného průtažného rotoru. V praktické části, byl v programu SolidWorks sestaven model průtažného rotoru. Poté byl tento model pomocí aplikace FlowSimulation podroben simulovanému působení větru, pro dosažení co nejvyšší účinnosti elektrárny.

Klíčová slova: Větrná elektrárna, Průtažný rotor, SolidWorks, FlowSimulation

ABSTRACT

The aim of this thesis is to examine the effect of leading edge blade angle on efficiency of the vertical axis wind turbine (VAWT).

The work is dividend into theoretical and practical parts. In the theoretical part, has been described isme of wind power generation. Subsequently was further explained the fiction of VAWT. They are listed here use the principes of existing patents for the design of VAWT. In the practical part was constructed model of VAWT in SolidWorks. Then this model was simulated usign FlowSimulation for digger tonque which giving better effiency.

Keywords: Wind turbine, Vertical axis wind turbine, SolidWorks, FlowSimulation

Děkuji panu Ing. Jaroslavu Malochovi CSc. za čas, trpělivost a odbornou pomoc, která mi byla poskytnuta při psaní této práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 VÍTR	13
1.1 BEAUFORTOVA STUPNICE SÍLY VĚTRU	13
1.2 ANEMOMETR	15
1.2.1 Miskový anemometr.....	15
1.2.2 Vrtulový anemometr.....	16
1.3 TERMOANEMOMETR	16
2 VETR NÉ ELEKTRÁRNY	18
2.1 HISTORIE	18
2.2 DĚLENÍ VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN PODLE VÝKONU	19
2.2.1 Malé větrné elektrárny.....	19
2.2.2 Střední větrné elektrárny	19
2.2.3 Velké větrné elektrárny	20
2.3 ROZDĚLENÍ PODLE AERODYNAMICKÉHO PRINCIPU	20
2.3.1 Vztlkové s vodorovnou osou otáčení	20
2.3.2 Odporové.....	20
2.4 KRITÉRIA PRO VÝBĚR LOKALITY KE STAVBĚ VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY.....	21
2.4.1 Rovnice pro přepočet rychlosti větru	23
2.4.2 Výpočet výkonu větrné elektrárny.....	24
2.4.3 Rychloběžnost - λ	25
2.4.4 Otáčky rotoru.....	26
2.4.5 Součinitel výkonu, rychloběžnost, typ VE	26
2.5 SAVONIŮV ROTOR	27
2.5.1 Výhody Savoniova rotoru:	28
2.5.2 Nevýhody Savoniova rotoru.....	29
2.6 PRŮTAŽNÝ ROTOR	30
3 VYUŽITÍ VĚTRNÉ ENERGIE V USA	33
3.1 PROJEKTY STŘEDNÍCH A MALÝCH VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN V USA	35
3.1.1 Optiwind – větrné turbíny do města a na venkov.....	35
3.1.2 Broadstar AeroCam - větrné turbíny do města.....	36
3.1.3 Architectural Wind – mikro-turbíny do města	37
4 OCHRANA PRŮMYSLOVÝCH PRÁV	39
4.1 PATENT	40
4.1.1 Evropská patentová organizace - EPO (European Patent Office).....	42
4.1.2 Americký úřad pro udělování patentů a ochranných známek (USPTO).....	44
4.2 PATENTOVÉ REŠERŠE.....	45
4.2.1 Druhy rešerší	45
4.2.2 Analýzy vycházející z patentových rešerší.....	45

4.3	PATENTY REGISTROVANÉ V USA	46
4.3.1	Hybridní větrná elektrárna se svislou osou rotace.....	46
4.3.2	Větrná elektrárna s vertikální osou rotace.....	50
	SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI.....	53
II	PRAKTICKÁ ČÁST	54
5	SOLIDWORKS	55
5.1	SOLIDWORKS FLOW SIMULATION	55
5.1.1	Tok přes kruhový válec	57
6	PRÁCE V MODULU FLOW SIMULATION.....	61
6.1	NASTAVENÍ PARAMETRŮ SIMULACE	61
6.1.1	Vytvoření projektu	61
6.1.2	Definování jednotek v projektu.....	62
6.1.3	Definování typu analýzy.....	63
6.1.4	Definování protékající látky.....	64
6.1.5	Definování vnějších podmínek.....	65
6.1.6	Definování počátečních podmínek.....	65
6.1.7	Definice přesnosti výsledků a grafického rozlišení.....	66
6.1.8	Definice oblasti výpočtu.....	68
6.1.9	Definice rotace	69
6.1.10	Definice cílů výpočtu	69
6.2	SPUŠTĚNÍ SIMULACE.....	70
6.3	DOBA VÝPOČTU.....	71
6.4	NAČTENÍ VÝSLEDKŮ.....	73
7	KONSTRUKCE ROTORŮ	75
8	SIMULACE ROTORŮ	78
8.1	SIMULACE ZÁKLADNÍHO ROTORU	78
8.1.1	Porovnání výsledků simulací při různých rychlostech a natočení 0°	78
8.1.2	Závislost Mk na úhlu natočení při rychlosti 5 m/s ve statickém stavu.....	81
8.1.3	Závislost Mk na úhlu natočení při rychlosti 5 m/s při různých otáčkách.....	82
8.1.4	Závislost Mk na úhlu natočení při rychlosti 5 m/s při změně Těčného zatížení 2	83
8.2	KONSTRUKCE DALŠÍCH VERZÍ ROTORU	86
8.2.1	Srovnání rotorů Nh_40 v původním rotorem Nh_90.....	86
8.2.2	Srovnání rotorů Nh_50 v původním rotorem Nh_90.....	88
8.2.3	Srovnání rotorů Nh_50 v původním rotorem Nh_90.....	90
8.2.4	Srovnání rotorů Nh_70 v původním rotorem Nh_90.....	92
8.2.5	Srovnání rotorů Nh_75 v původním rotorem Nh_90.....	94
8.2.6	Srovnání rotorů Nh_80 v původním rotorem Nh_90.....	96
8.2.7	Srovnání rotorů Nh_85 v původním rotorem Nh_90.....	98
8.2.8	Srovnání rotorů Nh_95 v původním rotorem Nh_90.....	100
8.2.9	Srovnání rotorů Nh_100 v původním rotorem Nh_90.....	102
8.2.10	Srovnání rotorů Nh_110 v původním rotorem Nh_90.....	104

8.2.11 Srovnání rotorů Nh_120 v původním rotorem Nh_90	106
ZÁVĚR	110
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	111
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	113
SEZNAM OBRÁZKŮ	114
SEZNAM TABULEK.....	118
SEZNAM PŘÍLOH.....	119

ÚVOD

Elektrická energie je dnes nedílnou součástí naší společnosti a spousta lidí si již život bez ní ani nedokáže představit. Historie výroby elektrické energie se začala psát v první polovině 19. století, kdy anglický fyzik Michael Faraday objevil princip elektromagnetické indukce, který se stal základem dnešní energetiky. První elektrárny pro výrobu elektřiny začali vznikat koncem 19. a začátkem 20. století.

Dnes v produkci elektřiny drtivě převládají elektrárny využívající jako zdroj tzv. neobnovitelné zdroje jako je např. uhlí, ropa, zemní plyn a uran. V dnešní době na Zemi žije 7 miliard lidí a podle dostupných studií se populace zvýší do roku 2050 na přibližně 9 miliard což bude znamenat obrovský nárůst požadavků na produkci elektřiny. Prudce se rozvíjející země jako Čína a Indie mají stále větší hlad po surovinách a elektřině. Kdyby všechny tyto obrovské nároky na energii byly pokryty pouze tepelnými elektrárnami, tak by to znamenalo nejen rychlejší vyčerpání zdrojů jako je např. ropa ale i obrovskou zátěž pro životní prostředí. Proto se v posledních letech začalo hlavně ve vyspělých zemích více investovat do obnovitelných zdrojů energie. Mezi tyto zdroje se řadí vodní elektrárny, geotermální elektrárny, sluneční elektrárny a větrné elektrárny.

Nejvíce větrných elektráren je postaveno v zemích Evropské unie, kde jejich instalovaný výkon tvoří přibližně 48% celkového instalovaného výkonu větrných elektráren na Zemi. Drtivou většinu z nich tvoří tzv. vrtule, tvořené třemi listy rotoru. Tyto elektrárny dosahují rozměrů v řádech desítek metrů, výkonu až několik megawattů a jsou velmi drahé z hlediska nákladů na stavbu tak i na údržbu.

Tato práce se bude zabývat využitím malých větrných elektráren. Zmíní se o tzv. Savoniově rotoru a hlavně o Průtažném rotoru. Bude popsán jejich princip a konstrukce i s využitím již existujících patentů.

V praktické části práce se bude rotor testovat v programu SolidWorks, kde bude využita aplikace Flow simulation pro zjištění krouticího momentu působícího na rotor při různých změnách parametrů profilu lopatky.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VÍTR

Vítr je základní meteorologický prvek popisující pohyb vzduchu v určitém místě atmosféry v daném časovém okamžiku vzhledem k zemskému povrchu. Za vítr se považuje jen horizontální složka vektoru pohybu vzduchu. Určuje se směr a rychlost. Směrem větru se rozumí směr, odkud vítr vane. Udává se obvykle v úhlových stupních (např.: 90° = východní vítr, 180° = jižní vítr, 270° = západní vítr, 360° = severní vítr, 0° = bezvětří atp.). Směr větru se určuje pomocí větrných směrovek, které se umísťují na stožárech ve výšce 10 metrů nad zemským povrchem. V této výšce je rušivý vliv místních překážek a terénu výrazně menší než v těsné blízkosti povrchu. Rychlost větru je vzdálenost, kterou urazí pohybující se vzduch za jednotku času, nejčastěji se udává v metrech za sekundu. Rychlost větru se měří pomocí anemometru. [1]

Anemometry pracují na těchto principech:

- Mechanickém - větrem se roztáčí otočné miskové nebo vrtulové čidlo, jehož počet otáček za jednotku času je ve známé závislosti na rychlosti větru.
- Aerodynamickém - rychlost větru se určí rozdílem mezi dynamickým tlakem ve speciálně konstruované aerodynamické trubici obtékané vzduchem a statickým tlakem v téže trubici za bezvětří.
- Zchlazovacím - čidlem anemometru je drát vyhřátý na vyšší teplotu než je teplota okolního vzduchu. Čím větší vítr, tím více se sníží teplota drátu.

1.1 Beaufortova stupnice síly větru

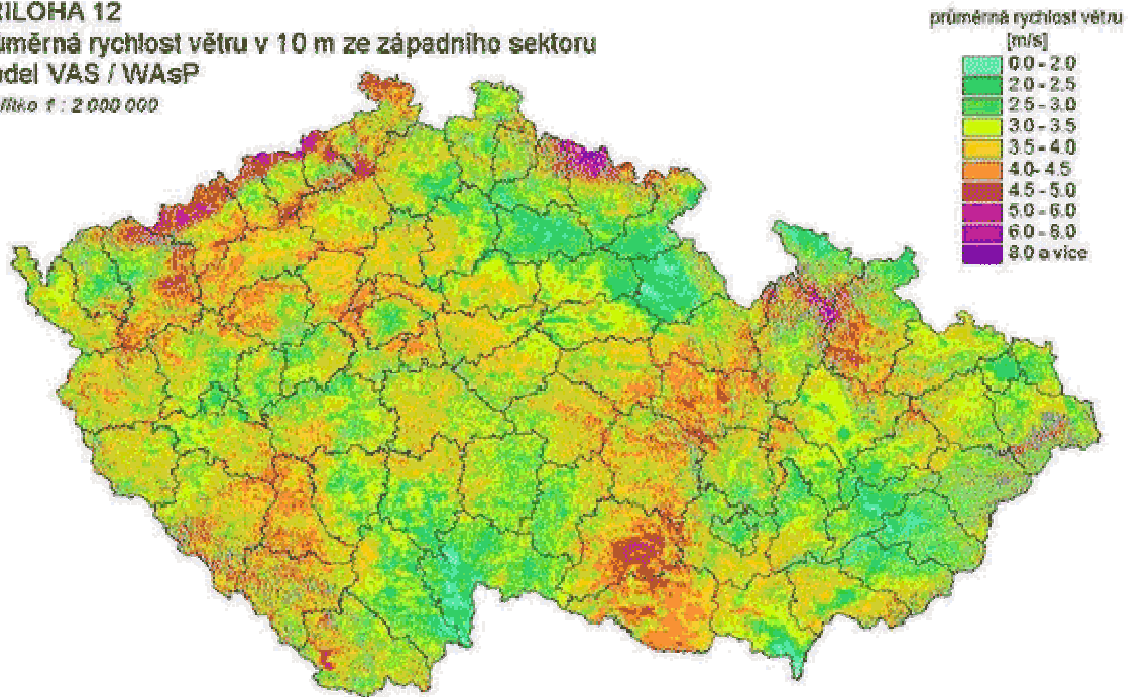
Beaufortovu stupnici „pro moře“ vytvořil kontraadmirál britského námořnictva irského původu sir Francis Beaufort v roce 1805. Původně nesloužila pouze k odhadu rychlosti větru, ale byla dvanáctibodovou škálou vztahující se k vhodnosti pro plavbu s určitým počtem plachet. Pro nenámořní použití byla upravena v roce 1850, kdy byla též přibližně určena rychlost větru u různých stupňů pomocí anemometru. Standardizována byla v roce 1923. Od roku 1969 se vyskytuje i v 16 stupňové podobě, když byla nastavena o 5 stupňovou Saffir-Simpsonovu stupnici hurikánů (SSSH). První stupeň SSSH je v takovémto případě roven 12 stupni BS, 2. stupeň SSSH odpovídá 13. stupni BS a tak dále. [3]

Tab. 1. Beaufortova stupnice síly větru

Stupeň	Označení	Rozpoznávací znaky	Rychlost (m/s)
0	Bezvětrí	kouř stoupá kolmo vzhůru	0,0 - 0,2
1	Vánek	směr větru je poznatelný podle pohybu kouře, vítr neúčinkuje na větrnou korouhev	0,3 - 1,5
2	Slabý vítr	vítr je cítit ve tváři, listy stromu šelestí	1,6 - 3,3
3	Mírný vítr	listy stromů a větvičky jsou v trvalém pohybu	3,4 - 5,4
4	Dostí čerstvý vítr	vítr zdvihá prach, pohybuje slabšími větvemi	5,5 - 7,9
5	Čerstvý vítr	listnaté keře se začínají hýbat, na vodních plochách se tvoří menší vlny	8,0 - 10,7
6	Silný vítr	vítr pohybuje silnějšími větvemi, je těžké používat deštník	10,8 - 13,8
7	Prudký vítr	vítr pohybuje celými schody, chůze proti větru je obtížná	13,9 - 17,1
8	Bouřlivý vítr	vítr ulamuje větve, chůze proti větru je téměř nemožná	17,2 - 20,7
9	Vichřice	vítr způsobuje menší škody na stavbách	20,8 - 24,4
10	Silná vichřice	vyvrací stromy, způsobuje větší škody na stavbách	24,5 - 28,4
11	Mohutná vichřice	působí rozsáhlá zpuštění	28,5 - 32,6
12	Orkán	ničivé účinky	32,7 a více

PRILOHA 12**průměrná rychlost větru v 10 m ze západního sektoru
model VAS / WAsP**

měřítko 1 : 2 000 000



Obr. 1. Průměrná rychlost větru ve výšce 10m v ČR. [3]

1.2 Anemometr

Anemometr (z řeckého *anemos* = vítr), je přístroj pro měření rychlosti proudění anebo rychlosti a směru proudění. V meteorologii se používají anemometry k měření rychlosti větru anebo rychlosti a směru větru. Rychlost větru se standardně měří v 10 metrech nad zemí. První anemometr postavil v 15. století Leone Battista Alberti. [4]

Anemometrů je několik druhů, rozlišených na principu, kterém pracují. Mezi nejčastější typy patří:

1.2.1 Miskový anemometr

Je to nejjednodušší anemometr, navrhl r. 1846 dr. John Thomas Romney Robinson na observatoři v Armaghu. Tento přístroj sestává ze tří nebo čtyř dutých polokoulí otáčejících se kolem společného středu. Na základě rychlosti jejich otáčení se stanovuje rychlost větru. Ač je konstrukčně velmi jednoduchý, jeho nevýhodou je problematicky přepočet z otáček růžice na rychlost větru. [2]



Obr. 2. Miskový anemometr [2]

1.2.2 Vrtulový anemometr

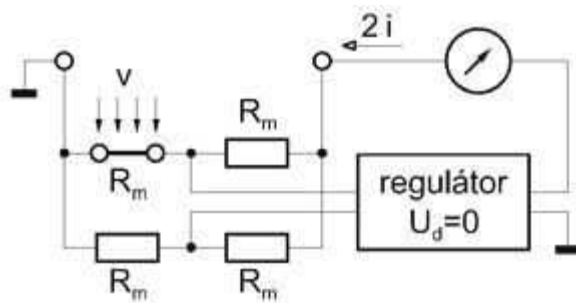
Tento konstrukčně složitější přístroj využívá principu větrné turbíny. Sestává z rotoru umístěného na otočné větrné korouhvičce. Korouhvička určuje směr větru a z otáčení turbíny určíme rychlost. [4]



Obr. 3. Vrtulový anemometr [4]

1.3 Termoanemometr

Nedostatky při měření rychlosti anemometrem uvedené v předchozím odstavci lze minimalizovat použitím např. termoanemometru. Termoanemometry (teplotní průtokoměry) jsou založeny na závislosti výměny tepla mezi zdrojem a okolním proudícím vzduchem. Princip spočívá v měření ochlazování platinového drátku nebo miniaturního perličkového termistoru. Drátek nebo termistor jsou žhaveny elektrickým proudem známé hodnoty na konstantní teplotu. Proudící vzduch drátek ochlazuje a pro udržení konstantní teploty je třeba zvýšit žhavicí proud. Změna proudu je pak úměrná rychlosti proudění. Prakticky je platinový drátek zapojen v jedné větvi odporového můstku. V úhlopříčce můstku je zapojen regulátor, který nastavuje napájecí proud tak, aby můstek byl vyvážen. Z velikosti napájecího proudu lze pak určit rychlost proudění. [14]



Obr. 4. Princip měření Termoanemometrem [14]

2 VETRNE ELEKTRARNY

Větrná energie je označení pro oblast technologie zabývající se využitím větru jako zdroje energie.

Nejobvyklejším využitím jsou dnes větrné elektrárny, které využívají síly větru k roztočení vrtule (větrná turbína). K ní je pak připojen elektrický generátor. Získaná energie je přímo úměrná třetí mocnině rychlosti proudící vzdušné masy, proto větrné elektrárny po většinu doby nedosahují nominálních hodnot generovaného výkonu. [5]

2.1 Historie

Větrné stroje se využívaly již kolem roku 200 před n. l. v Persii. Řecký matematik známý Heron (někdy přezdívaný také jako Heron z Alexandrie) již v tuto dobu vymyslel zařízení, které se hodně podobalo pozdějším větrným mlýnům. V 7 století našeho letopočtu byly na území tehdejšího Sitanu (oblast mezi Afghánistánem a Íránem) postaveny první větrné mlýny. Konstrukcí se podobaly těm, které se objevily mnohem později na našem území. Byly využívány k mletí obilí, čerpání vody a mletí cukrové třtiny. [5]

Ve 14 století byly holandské větrné mlýny využívány k odvodnění oblastí kolem delty řeky Rýn. V Dánsku v roce 1900 bylo 2500 větrných mlýnů využíváno na mechanické práce jako na pumpování vody a na mletí obilí. První známý elektrický mlýn byl sestaven ve Skotsku roku 1887 Jamesem Blythem. V roce 1930 se větrné mlýny na výrobu elektřiny stavěly na většině amerických farem, které neměly dosud nainstalované rozvody.

Prvním větrným mlýnem, který byl připojen do sítě a vyráběl elektrickou energii, byl postaven ve Velké Británii v roce 1954. Jeho výkon byl 100 kW. [5]

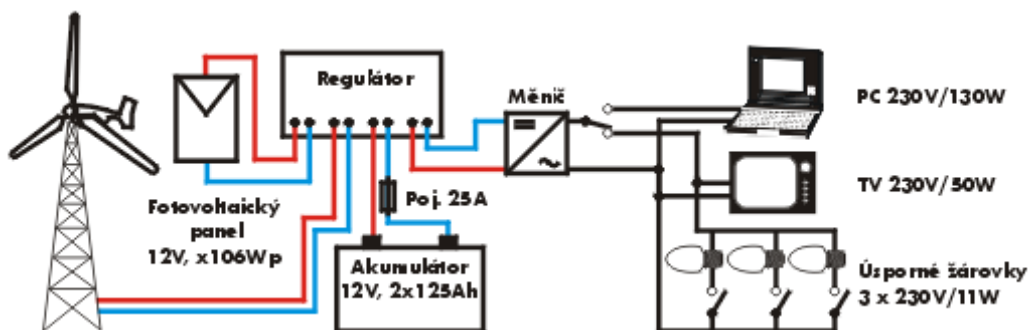
2.2 Dělení větrných elektráren podle výkonu

2.2.1 Malé větrné elektrárny

Za malé větrné elektrárny se považují turbíny s nominálním výkonem menším než 60 kW a s průměrem vrtulí do 16 m. [6]

Nejvýznamnější kategorií jsou elektrárny do 10kW, které lze dále rozdělit:

- **Mikroelektrárny**, s výkonem zhruba do 2,5 kW a průměrem vrtulí od 0,5 m do 3 m, což jsou zařízení na výrobu stejnosměrného proudu při napětí 12 V nebo 24 V, které jsou výhradně určeny pro dobíjení baterií. Takto nahromaděná energie může sloužit k osvětlení, k napájení komunikačních systémů, rádiových a televizních přijímačů a dalších elektrických spotřebičů. [6]
- **Elektrárny** s nominálním výkonem v rozsahu 2,5 kW až 10 kW a průměrem vrtulí od 3 m do 8 m. Jedná se o zařízení mající vstupní napětí 48 V až 220 V a jsou určena pro vytápění domů, pro ohřev vody, případně pro pohon motorů. [7]



Obr. 5. Princip využití mikroelektrárny pro napájení běžných spotřebičů [7]

2.2.2 Střední větrné elektrárny

Za střední větrné elektrárny se považují turbíny s nominálním výkonem v rozsahu 60 kW až 750 kW a s průměrem vrtulí od 16 m do 45 m.

2.2.3 Velké větrné elektrárny

Za velké větrné elektrárny jsou považovány turbíny s nominálním výkonem v rozsahu 750 kW až 6400 kW a s průměrem vrtulí od 45 m do 128 m. Elektrárny velkých výkonů (300 kW až 3000 kW) jsou určeny k dodávce energie do veřejné rozvodné sítě. [7]

2.3 Rozdělení podle aerodynamického principu

2.3.1 Vztlakové s vodorovnou osou otáčení

Vítr obtéká lopatky s profilem podobným letecké vrtuli. Na podobném principu pracovaly již historické větrné mlýny, nebo tak pracují větrná kola vodních čerpadel (tzv. americký větrný motor). Při stejném průměru rotoru v zásadě platí nepřímá závislost počtu listů a frekvence otáčení. Moderní elektrárny mají obvykle tři listy, byly však vyvinuty i typy s jediným nebo se dvěma listy. [7]



Obr. 6. Příklad klasické elektrárny s vodorovnou osou otáčení [7]

2.3.2 Odporové

Pracují na vztlakovém principu, kdy existují také elektrárny se svislou osou otáčení, některé pracují na odporovém principu (typ Savonius, jako misky anemometru) nebo na vztlakovém principu (typ Darrieus). Výhodou elektráren se svislou osou pracujících na

vztakovém principu je, že mohou dosahovat vyšší rychlosti otáčení a tím i vyšší účinnosti. Není, je třeba natáčet do směru převládajícího větru. Elektrárny se svislou osou otáčení se v praxi zatím příliš neuplatnily, neboť u nich dochází k mnohem vyššímu dynamickému namáhání, které značně snižuje jejich životnost. Nevýhodou je malá výška rotoru nad terénem, tj. i menší rychlost větru. V praxi se téměř nepoužívají. [7]



Obr. 7. Příklad odporové elektrárny typu Darrieus. [7]

2.4 Kritéria pro výběr lokality ke stavbě větrné elektrárny

Rychlost větru je nejdůležitějším údajem při využívání energie větru, udává se v m/s. Poblíž zemského povrchu je proudění ovlivňováno drsností povrchu, ale s rostoucí výškou se rychlost větru logaritmičtě zvyšuje. Je tedy velký rozdíl mezi rychlostí větru ve výšce 10 m a 100 m nad terénem. Vítr je nad terénem různě zpomalován zejména terénními překážkami (stavbami, kopci atd.), dále druhem povrchu (tráva, les, vodní hladina, sníh). Proudění vzduchu je většinou turbulentní, což se projevuje kolísáním rychlosti a směru větru.

První přiblížení lze získat z větrné mapy, která byla vytvořena Ústavem fyziky atmosféry Akademie věd ČR interpolací údajů meteorologických stanic a z numerického modelu proudění nad naším územím. [8]

Jako další nejdůležitější podmínky pro umístění větrné elektrárny lze uvést:

- umístění lokality,
- geologické podmínky,
- přístupnost pro stavební mechanizmy,
- vyřešení majetkových vztahů ve vztahu k pozemku, postoj místních úřadů, možnost vlastnictví či dlouhodobého pronájmu pozemku,
- vzdálenost elektrického vedení a kapacita trafostanice,
- dohoda s příslušnou energetickou společností o připojení a výkupu elektrické energie,
- dostatečná vzdálenost od obydlí s ohledem na hlučnost,
- ostatní podmínky (ochrana přírody, krajinný ráz, šíření radiového a TV signálu).

Důležitá je vzdálenost od obydlí s ohledem na hlučnost. Jde o mechanický hluk (generátor, převodovka, natáčecí mechanizmy, brzda) a o aerodynamický hluk (interakce proudícího vzduchu s povrchem listů rotoru, uvolňování vzduchových vírů za hranou listů). Obecně se udává jako přípustná hranice ve venkovním prostoru pro den (6-22 hod.) 50 dB a pro noc 40 dB. [8]

Krajinný ráz patří k citlivým a často subjektivním hlediskům. Větrné elektrárny zvláště na vysokých tubusech nebo větrné farmy naruší vzhled krajiny. Nelze učít jednotný závazný postup a vždy bude záviset na stanovisku příslušných orgánů ochrany přírody a krajiny. Ochrana ptactva vyvolává časté spory s mezi investory a ochránci ptactva a to zejména po vyhlášení oblastí NATURA. [8]

Nejrozšířenějším typem jsou elektrárny s vodorovnou osou otáčení, pracující na vztlakovém principu, kde vítr obtéká lopatky s profilem podobným letecké vrtuli. Na podobné konstrukci pracovaly již historické větrné mlýny nebo tak pracují větrná kola vodních čerpadel. [8]

Rotory s horizontální osou rotace mohou mít 8 až 24 listů na lopatkovém kole, dnes však většinou u velkých elektráren se používá pouze dvoulistý nebo třílistý rotor.

U pevně nastavených listů vybavených aerodynamickými brzdami se využívá autoregulace výkonu rotoru („stall control“), což představuje automatické snižování aerodynamické účinnosti rotoru při překročení určité míry rychlosti větru. [8]

Druhým typem jsou listy se stavěním úhlu náběhu („pitch control“), které jsou otočné kolem své podélné osy až do polohy „prapor“, kdy zastávají funkci aerodynamické brzdy.

V současné době se často navrhuje výstavba větrných parků (farem) s několika jednotkami. Maximální počet větrných elektráren na km² musí respektovat rychlosti větru ve vztahu i k umístění jednotlivých větrných jednotek a vzájemné ovlivnění rotorů elektráren. V pásmech rychlosti větru nad 5 m/s je již možná výstavba větrných parků. [8]

Při výstavbě větrné farmy je limitujícím omezením minimální vzdálenost mezi jednotlivými větrnými elektrárnami. Tato vzdálenost je udávána v násobcích průměru rotoru (d) a je omezena brázdovým efektem mezi jednotlivými soustrojími.

V oblastech, kde není jeden dominantní směr větru, se doporučuje vzdálenost $10d$. Z průměru rotoru a minimálního rozchodu vyplývá max. množství větrných elektráren na 1 km². Při šachovnicovém uspořádání na př. pro průměr rotoru 42 m a rozchod $10d$ vychází počet větrných elektráren 5 až 6 na km².

Menší rozchod je možný, ale na úkor účinnosti a snížení roční výroby energie. V oblastech, kde je dominantní jeden směr větru je možné snížit vzdálenost až na $5d$ a elektrárny by měly být situovány kolmo na převládající směr větru. [8]

2.4.1 Rovnice pro přepočet rychlosti větru

Pro střední a velké větrné elektrárny je však nezbytné měření větru přímo v dané lokalitě registračním anemometrem. Měření by mělo aspoň šestiměsíční, nejlépe však roční i víceletá.

Rychlost větru se měří obvykle ve výšce 10 m, pro větší výšky se přepočítává podle vztahu: [8]

$$\frac{v_h}{v_o} = \frac{h^n}{h_0^n} \quad (1)$$

kde:

v_o ... naměřená rychlost větru ve výšce h_0 [m/s]

v_h ... vypočtená rychlost větru [m/s]

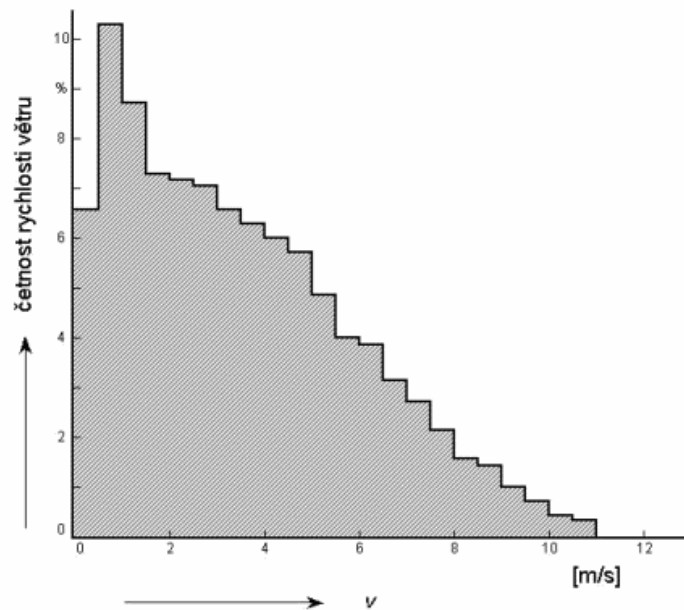
h_0 ... výška ve které se provádí měření [m]

h ... výška umístění rotoru [m]

n ... exponent závisující na drsnosti povrchu (interval od 0 – 1), hodnoty pro vodní hladinu 0,14 a pro zástavbu 0,48 [-]

K výběru lokality je nejvhodnější stanovení distribuční charakteristiky rychlosti větru za pomoci měření rychlosti v krátkých časových intervalech.

Výsledky měření se zpracovávají tabelárně do sloupcových grafů, kde na vodorovné ose jsou vynášeny měřené rychlosti větru a na svislé ose jejich četnost v hodinách nebo v procentech za rok. [8]



Obr. 8. Závislost dané rychlosti na četnosti výskytu [8]

2.4.2 Výpočet výkonu větrné elektrárny

Nejprve si určíme, pro jakou rychlost větru budeme VE navrhovat. Není vhodné volit tuto rychlost větší než je 2.5 násobek průměrné rychlosti větru. Někdy se ale volí tato rychlost menší, aby se dodržela dodávka elektrické energie co nejplynulejší.

S touto rychlostí přímo souvisí i jmenovité otáčky VE, takže pokud zvolíte jmenovitou rychlost příliš malou, tak při silnějším větru se vám zvýší otáčky na hřídeli generátoru nad úroveň, kterou dokážete efektivně využít. Jelikož výkon VE roste s třetí mocninou rychlosti větru, je třeba vzít v úvahu skutečnost, že když zvolíte jmenovitou rychlost větší, které se moc často nedosahuje, tak i tak její energetický zisk bude značný.

Rychloběžnost volíme mezi hodnotou 4 a 7. Větší rychloběžnost je vhodná pro generátory el. energie, které většinou vyžadují velké otáčky, takže nemusíme volit velký převodový poměr na převodovce.

Menší rychloběžnost zlepšuje startovatelnost za slabého větru. Což je způsobeno menším úhlem mezi profilem a dopadem větru když rotor stojí, tudíž většího momentu otáčení při rozběhu. Větší rychloběžnost taky vyžaduje přesnější dodržení profilu. [11]

Rovnice pro výpočet výkonu u malé větrné elektrárny: [12]

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

Kde:

P... výkon vrtule [W]

c_p... součinitel výkonu (účinnost) [0 - 0.5]

S ... plocha rotoru, u turbíny s vodorovnou osou otáčení je to plocha kruhu $S = \pi \cdot r^2$ [m²]

ρ ... hustota vzduchu $\rho = 1.28$ [kg·m⁻³]

v ... rychlost větru [m/s]

Při dalším popisu se bude používat zkratka VE pro větrnou elektrárnu. Podle vzorce je patrné, že nejlepší bude, když všechny hodnoty budou co možná největší. Nachází se zde výkonový součinitel, který závisí na typu VE a přesnosti návrhu a provedení. Dále je vidět, že čím větší poloměr rotoru tím větší výkon. S rostoucí rychlosti vzduchu roste výkon s třetí mocninou. Takže prvořadě by měla být volba stanoviště. Čím víc větru tak tím mnohonásobně víc energie. [12]

2.4.3 Rychloběžnost - λ

Rychloběžnost je poměr mezi rychlostí konce lopatky a rychlosti větru. VE se rozdělují také podle rychloběžnosti a to na rychloběžné a pomaloběžné. Pokud chcete vyrábět elektrickou energii tak jsou pro Vás hlavně důležité rychloběžné VE, jelikož generátory el. energie potřebují povětšinou vysoké otáčky. Samozřejmě se to dá vyřešit pomocí převodovky, na ní ale vznikají ztráty. Ale hlavně se tím zhoršuje rozběh rotoru při slabším větru [12].

2.4.4 Otáčky rotoru

Pokud známe rychloběžnost, rychlost větru a průměr rotoru pak můžeme vypočítat rychlost otáčení: [10]

$$n = \frac{60 \cdot \lambda \cdot v}{\pi \cdot D} \quad (3)$$

Kde:

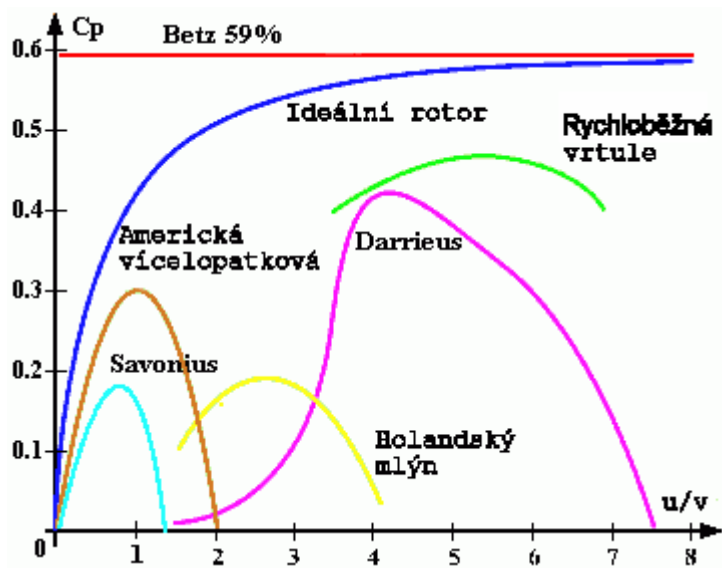
n ... otáčky za minutu

λ ... rychloběžnost

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

D ... průměr rotoru [m]

2.4.5 Součinitel výkonu, rychloběžnost, typ VE



Obr. 9. Závislost mezi typem VE, rychloběžností (u/v) a výkonovým součinitelem [12]

Typ	$C_{P_{opt}}$	λ_{opt}	λ_{max}
Mnoholopátkový rotor (americký)	0,35	1,1	2,0
Třilistý rotor	0,18 až 0,39	2,5 až 6	
Dvoulistý rotor	0,20 až 0,48	6 až 10	
Savonius, dělený	0,23	0,85	1,8
Rotor Darrieus třilistý	0,362	4,66	6,76
Rotor Darrieus jednolistý	0,236	6,1	10,0
Miskový kříž	0,019 5	0,14	0,31

Obr. 10. Legenda k obrázku č. 9. [12]

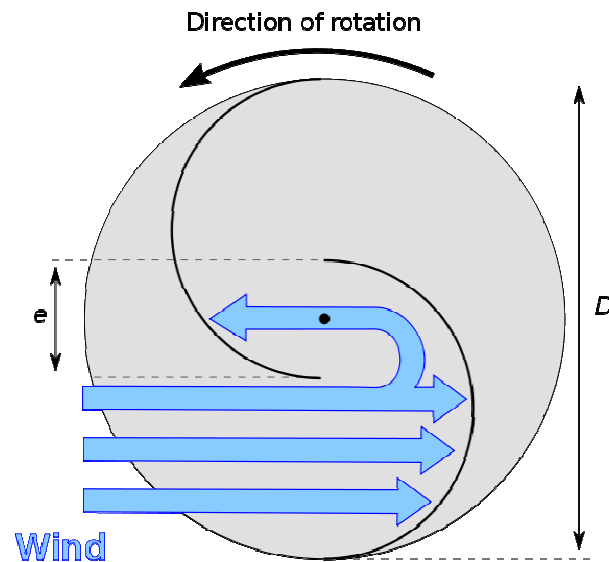
Betz je teoreticky vypočítaná účinnost které lze dosáhnout. Jde o to, že nemůžete z pohyblivého se vzduchu odebrat veškerou energii. Kdybyste to udělali tak by se vzduch za rotorem zastavil a začal se hromadit, proto je teoretická účinnost 0.6 (nebo někde okolo, podle toho jak se to počítá). [12]

Ideální rotor by musel mít nekonečný počet nekonečně tenkých lopatek, které nemají žádné tření a pohybují se nekonečně velkou rychlostí, aby v obtékajícím vzduchu nevznikala rotační složka. [12]

2.5 Savoniův rotor

Savoniův rotor vynalezl kolem roku 1925 finský lodní důstojník Sigurd J. Savonius. Tento rotor sestává ze dvou vodorovných kruhových kotoučů, mezi něž jsou svisle postavena dvě polokruhovitě zahnutá křídla, respektive lopatky. Tyto lopatky jsou uprostřed přibližně o 20 % průměru rotoru přesazeny do protisměru, takže část větru je ze zadní strany momentálně pasivní lopatky směřována na přední stranu aktivní lopatky. Podle uspořádání lopatek lze postavit rotory s otáčením doleva, nebo doprava. Savoniův rotor byl v malých provedeních velmi často používán k pohonu ventilátorů na střechách nákladních vozidel, kde při jízdě lopatky roztáčel vítr. V současné době nabývá tento rotor na významu pro nízkovýkonové aplikace v decentralizovaném zásobování energií. Autor knihy „Savoniův rotor“ Heinz Schulz postavil v letech 1976 až 1979 několik Savoniových rotorů, použil je pro různé účely, a získal tak praktické zkušenosti. Také mnozí šikovní kutilové postavili nejen na základě autorovy první publikace „Poukazy ke stavbě a provozu Savoniových rotorů“ četná zařízení pro pohon malých vodních čerpadel a generátorů stejnosměrného proudu. V 80. letech pak vývoj Savoniova rotoru dospěl k průtažnému třílopatkovému ro-

toru, který lze úspěšně použít i pro větší zařízení o výkonu až 2 kW. Chceme-li zjistit, zda je Savoniův rotor pro zamýšlený účel vůbec vhodný, měli bychom znát a zvážit výhody a nevýhody tohoto systému ve srovnání s moderními větrnými turbínami jiných konstrukčních typů [14].



Obr. 11. Princip Savoniova rotoru [14]

2.5.1 Výhody Savoniova rotoru:

- Jednoduchá stavba ze snadno dostupných materiálů, případně z materiálů použitých.



Obr. 12. Příklad využití 200 litrového sudu [15]

- Nezávislost na stávajícím směru větru, proto není nutné natáčení do směru větru.
- Přímé předávání síly na svislou hřídel, která může vést až k zemi a tam střídavě nebo zároveň pohánět různé pracovní stroje - podle potřeby a v závislosti na síle větru. Pomocí jednoho zařízení tak například lze za slabého větru čerpat vodu a při vysoké rychlosti větru ještě k tomu vyrábět stejnosměrný proud.
- Využití širokého pásma síly větru, na rozdíl od mnoha jiných větrných turbín, které jsou optimalizovány na určitou rychlost větru, mohou správně zkonstruované Savoniovovy rotory využít vítr jak o rychlosti extrémně nízké (2 až 3 m/s), tak i o rychlosti střední (4 až 10 m/s) a vysoké (15 až 25 m/s). Přitom přirozeně platí zákon, že otáčky a výkon s přibývajícím rychlostí větru stoupají (počet otáček se zvyšuje lineárně, výkon s 3. mocninou rychlosti větru).
- Je možné spojování několika Savoniových rotorů do většího zařízení s relativně vysokými otáčkami. Zatímco u větrných turbín s horizontální osou zvětšení průměru vrtule nebo kola nutně způsobuje snížení otáček a často i problémy s převody, nabízí Savoniov rotor možnost zvětšit plochu turbíny, a tím i výkon, aniž dojde k výraznému poklesu otáček. K tomuto účelu je horizontálně nebo vertikálně spojováno několik rotorů s malým průměrem, a tím i s vysokým počtem otáček.
- Možnosti rozšíření u zařízení s rotory spojenými horizontálně: lze nejdříve instalovat malé zařízení a to posléze v závislosti na rostoucí potřebě energie rozšiřovat na jednu nebo na obě strany připojováním dalších rotorů. Přitom musí centrální hřídel přenášet zvětšený točivý moment. Zařízení je nastaveno napříč k hlavnímu směru větru
- Vysoká odolnost vůči bouřím při správném provedení: Savoniovovy rotory mají zvláště sníženou citlivost vůči vírům a turbulencím [15].

2.5.2 Nevýhody Savoniova rotoru

- Nezvyklý, mohutný vzhled, na který je třeba si nejprve zvyknout. Horizontální rotory s malým počtem úzkých lopatek nepůsobí v klidovém stavu tak robustně; zato však v méně větrných oblastech se horizontální rotory většinou dříve zastavují, zatímco Savoniovovy rotory se díky své větší pracovní ploše ještě otáčejí.
- Vysoká hmotnost rotoru, což sice díky použití levných materiálů neznamená vysoké náklady, avšak vyžaduje pečlivé vyvážení, aby se zabránilo kritickému kmitání při vysokých otáčkách. Vysoká hmotnost však je zejména při poryvech větru zároveň

předností; stabilizuje totiž otáčky, a při správné konstrukci rotoru zvyšuje jeho odolnost proti bouřím.

- Malá rychloběžnost, to znamená relativně nízké otáčky a vysoké točivé momenty: je možno přímo pohánět vodní čerpadla, u generátorů je nutné použít sílu transformující převody ozubenými koly, řetězy nebo klínovými řemeny.
- Relativně nízký součinitel využití energie větru (účinnost): moderní lopatkové turbíny dosahují vyšších hodnot, ale jen za určité rychlosti větru. V praktickém provozu Savoniův rotor tuto nevýhodu vyrovnává, neboť je schopen výkonově využívat širší pásmo síly větru [15].

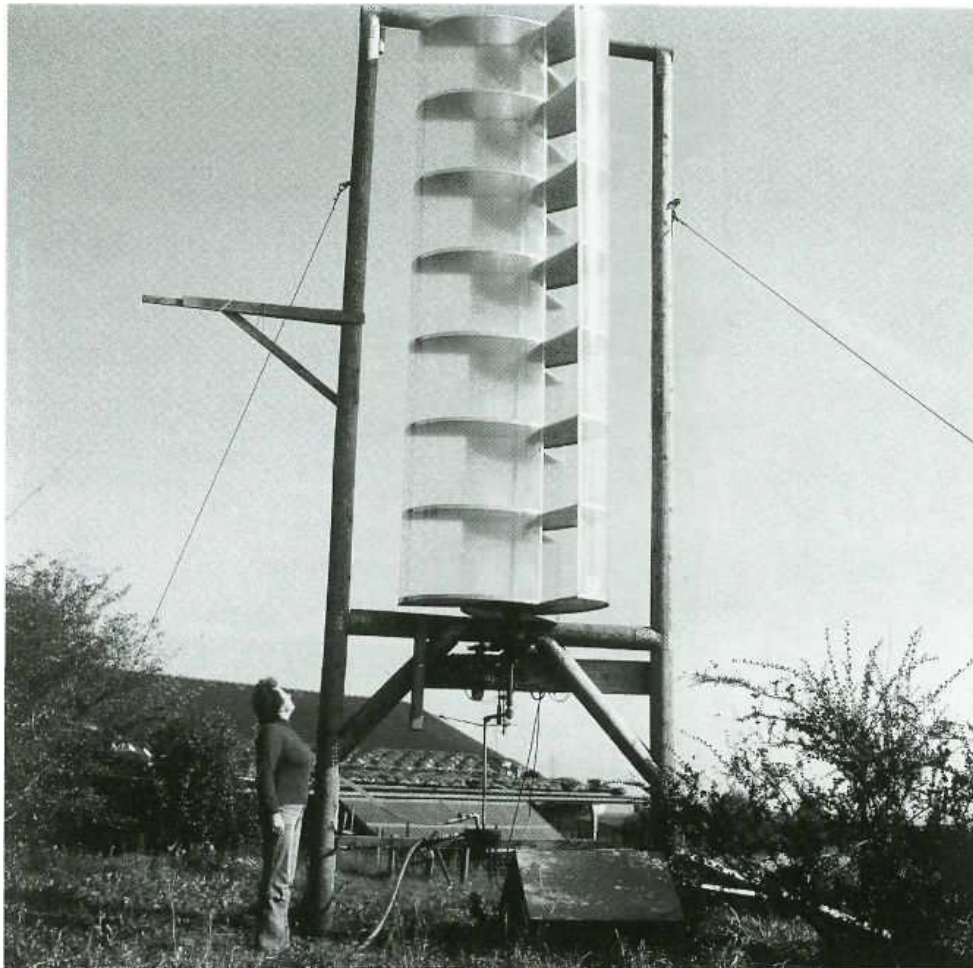
2.6 Průtažný rotor

U výše popsaného dvoustupňového Savoniova rotoru má procházející hřídel důležitou statickou funkci. Přenáší nejen točivý moment z lopatek na pracovní stroj, nýbrž musí také přijímat ohybací síly vyvolané tlakem větru a nevyvážeností. Lopatky a talíře rotoru této konstrukce nesmějí dosahovat až k rámu - proto je konstrukční výška rotoru omezena na 2,5 až 3 m. Pokud bychom chtěli rotor zvětšit, hrozilo by nebezpečí, že se hřídel za bouře kriticky rozkmitá do stran.

Byl proto vyvinut nový typ rotoru, který je samonosný, tuhý v ohybu a co do statiky koncipovaný jako prostorový nosník. Toto řešení dovoluje stavět větší rotory, přičemž horním limitem je v současnosti průměr cca 3 m a výška 6 m. Tento rotor je třílopatkový, ale jedno stupňový. Konstrukční princip spočívá v tom, že svislé lopatky z ohebného materiálu (např. umělá hmota zpevněná skelným vláknem, lodní překližka nebo plech) tvoří s vodorovnými segmenty nebo žebry konstrukční jednotku podobnou lodnímu trupu nebo křídlu letadla. V důsledku jsou pak jednotlivé stavební části stejně jako hřídel namáhány jen v tlaku a tahu, nikoli v ohybu. Rotor je díky tomu velmi lehký a zároveň tuhý. Segmenty upevněné na hřídeli dodávají lopatkám žádoucí tvar a přenášejí točivý moment rovnoměrně na hřídel. Jako materiál se osvědčily hliníkový plech a vodovzdorná klížená překližka s umělohmotnou povrchovou úpravou (Betoplan). Hliníkové segmenty se podle okraje lopatek oříznou, mezi dvěma překližkovými šablonami se jejich hrany střídavě na obě strany přehnou, takže lopatky lze na ně upevnit tažnými nýty. Také pro lopatky by bylo možno použít hliníkový plech, avšak vhodnější jsou ploché desky umělé hmoty zpevněné skelným

vlákem (polyester), které se běžně prodávají v rolích jako materiál na stavbu zahradních fóliovníků. Jsou cenově dostupné, ohebné, velkoplošné a pevné v tahu. Díky jejich průsvitnosti působí rotor velmi lehce a vizuálně příjemně.

První prototyp o průměru 160 cm a výšce 438 cm je v provozu od roku 1981 a přitom nepoškozen přestál již mnoho silných bouří a vydržel vysoké rychlosti větru okolo 35 m/s ukazují nejdůležitější konstrukční detaily a uvádí první měření s výše popsáním generátorem větrné elektrárny. Jelikož tvar křídel byl od té doby vylepšen a byl nalezen také vhodnější generátor, je možno dosáhnout ještě lepších hodnot. Skutečnost, že v této řadě měření začíná výroba proudu již při rychlosti větru 1,5 m/s, souvisí s dobou její integrace rovnou jedné minutě. To znamená, že ve střední rychlosti větru jsou obsaženy i krátké poryvy větru, na které generátor po dobu několika sekund zareaguje [15].



Obr. 13. Příklad konstrukce průtažného rotoru [15].

Na obrázku č. 12 lze vidět, že lopatky jsou vyrobeny z průsvitných desek umělé hmoty zpevněné skelnými vlákny a tak působí tento rotor i přes svou velikost relativně lehce a v krajině nepříliš rušivě.

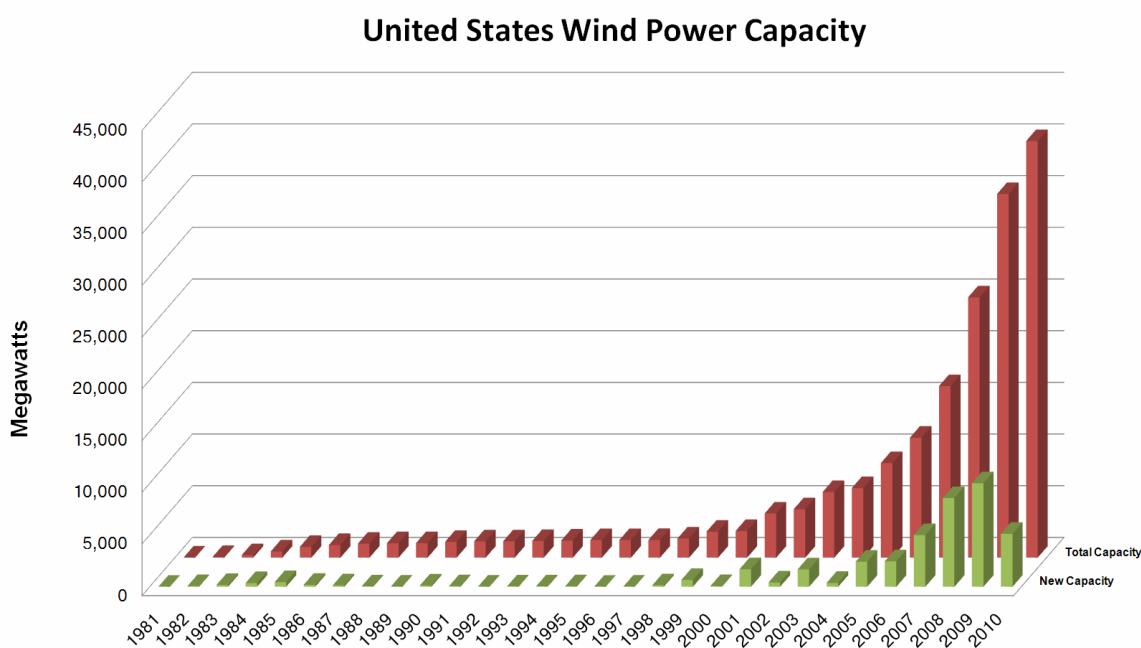
3 VYUŽITÍ VĚTRNÉ ENERGIE V USA

V první čtvrtletí roku 2011 celkový instalovaný výkon větrných elektráren ve Spojených státech byl 41 400 megawattů (MW), to jej zařadilo na druhé místo na světě za Čínu. V roce 2010 větrná energie vyrobila 2,3% veškeré elektrické energie vyrobené ve Spojených státech. To činilo 94 650 tisíc megawatthodin elektřiny.

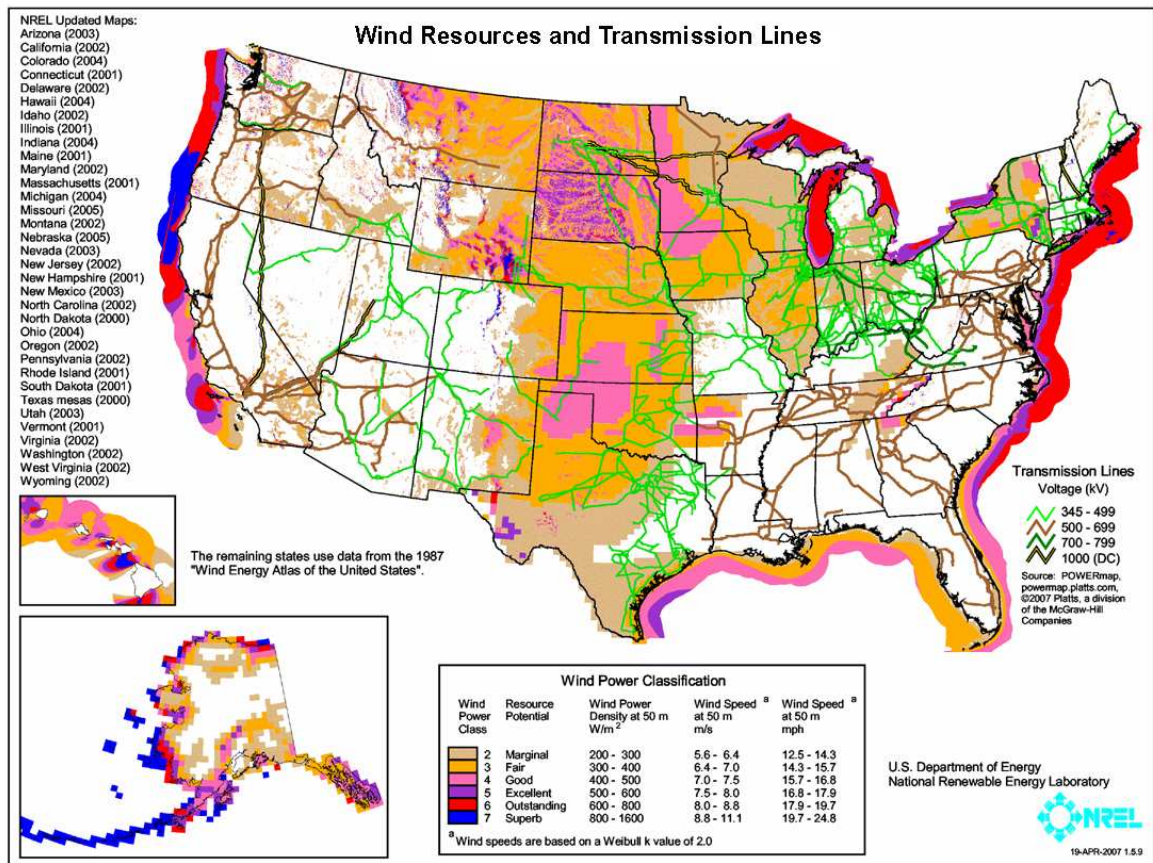
Podle Americké asociace pro výrobu větrné energie má čtrnáct států instalováno více než 1000 MW větrných kapacit a celkem 37 států má nyní nainstalovány alespoň nějaké kapacity větrné energie. Texas má s 10 085 MW výkonu nejvíce instalovaného větrného výkonu ze všech amerických států, následuje Iowa s 3.675 MW. Větrná farma Roscoe (781 MW) v Texasu je největší větrné farmy v USA od roku 2009.

Větrný průmysl v USA produkuje desítky tisíc pracovních míst a miliardy dolarů ekonomické aktivity. Projekty větrných elektráren podporované daňovými zvýhodněními, oživují ekonomiku venkovských společenství tím, že poskytují stabilní tok příjmů pro zemědělce, kteří mají postavenou větrnou turbínu na svých pozemcích. GE Energy je největší domácí výrobce větrných turbín.

V současné době existují projekty s kapacitou 5600 MW ve výstavbě v roce 2011. Podle vládního plánu má větrná energie dodávat 20% veškeré elektrické energie v USA, a který obsahuje 4% vyrobené v pobřežních elektrárnách. [9]



Obr. 14. Graf značí vývoj stavby větrných elektráren v letech 1981 až 2010 [9]



Obr. 15. Mapa USA zobrazující oblasti vhodné ke stavbě větrných elektráren [9]

K 31. 12. 2010 byla největší instalovaná kapacita větrných elektráren v těchto státech: [9]

- Texas (10,085 MW)
- Iowa (3,675 MW)
- Kalifornie (3,177 MW)
- Minnesota (2,192 MW)
- Washington (2,104 MW)

Prvních pět států podle podílu větrné energie na celkovém instalovaném výkonu: [9]

- Iowa (15.4%)
- North Dakota (12.0%)
- Minnesota (9.7%)
- South Dakota (8.3%)
- Kansas (7.2%)

3.1 Projekty středních a malých větrných elektráren v USA

Energetické společnosti zastavují planiny obrovskými větrnými elektrárnami s výkonem v řádu megawattů, ale na zemědělských farmách po celém světě a především v USA mezitím probíhá “větrná revoluce” v menším měřítku. Podle Americké asociace pro větrnou energii (AWEA) čeká větrné turbíny s výkonem v řádu stovek kW výrazný růst, právě díky zájmu z oblasti venkova. Jen během roku 2008 vzrostla výroba z malých větrných elektráren o 78% na celkových 80 MW. Během následujících let se má podle AWEA toto číslo zetřicetinásobit a například v roce 2013 dosáhnout hodnoty 1700 MW. To je zhruba výkon jaderné elektrárny Temelín. Růst má být zapříčiněn mimo jiné stoupající aktivitou v oblasti výrobců těchto malých turbín, kterým proudí peníze od hladových investorů. [10]

3.1.1 Optiwind – větrné turbíny do města a na venkov

Větrné elektrárny dnes rostou především tam, kde je pro ně místo - ve volné krajině. Dlouhé listy větrných turbín vyžadují často obrovský prostor. Pomalu se proto začíná objevovat koncept malých větrných turbín do města. S jedním takovým přichází také společnost Optiwind. Její “kompaktní vítr-urychlující turbína” je určena právě do hustě zastavěných oblastí, kde vítr fouká mnohem pomaleji. Celá elektrárna se skládá z několika menších větrných turbín s pěti listy. Průměr turbín je šest metrů, tedy výrazně méně než mají běžné turbíny, a navíc je vítr urychlován centrálním komínem. [10]



Obr. 16. Projekt Optiwind [10]

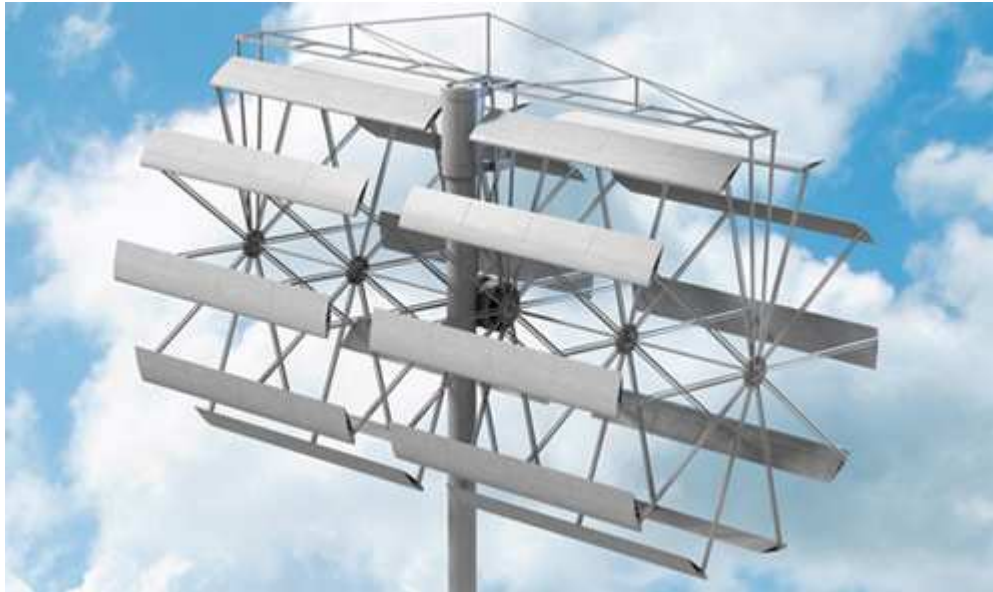


Obr. 17. Projekt Optiwind na venkově [10]

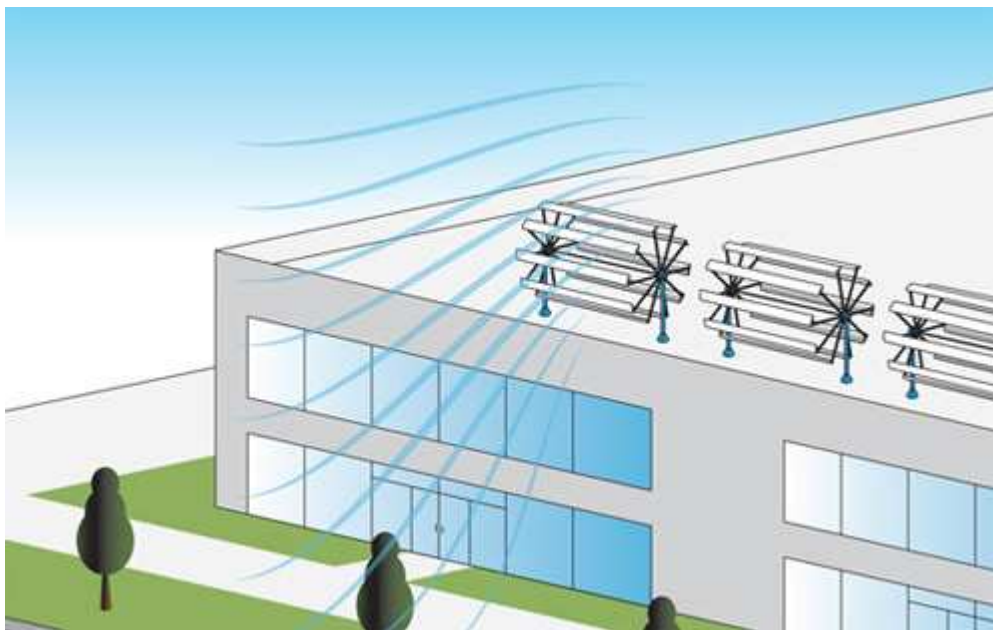
Větrné elektrárny Optiwind nejsou určeny ani tak pro domácnosti, jako spíše malé podniky, farmy, školy a podobně, kde jsou energetické nároky přeci jen o něco vyšší. Firma nabízí prozatím dva modely s výkonem 150 kW nebo 300 kW a výškou 61 m. Nevýhodou představuje fakt, že zatímco klasické třílisté elektrárny rostoucí ve volné krajině jsou samy o sobě alespoň trochu oku lahodící, ocelové monstrum Optiwind skutečně příliš esteticky nepůsobí. [10]

3.1.2 Broadstar AeroCam - větrné turbíny do města

Větrné turbíny do města začínají být čím dál tím zajímavějším doplňkem či alternativou solárních panelů. Nový typ představila britská společnost BroadStar Wind Systems. Jedná se o větrné mikro-turbíny s horizontální osou s několika lopatkami, ne nepodobné mlýnskému kolu. Cena za jeden vyrobený watt by se měla pohybovat pod jeden dolar, což je velký pokrok v oblasti větrné energie. Nové turbíny jsou určeny nejen do městské zástavby, ale také jako doplněk velkých větrných elektráren - mohou vyplňovat volné místo na velkých větrných farmách. Jsou velmi tiché a společnost Broadstar Wind Systems prozatím vyrobila několik prototypů. V současné době plánuje spolupráci se dvěma společnostmi z žebříčku Fortune 100 (sto největších firem na světě). [10]



Obr. 18. Projekt Broadstar AeroCam [10]



Obr. 19. Projekt Broadstar AeroCam na střeše budovy [10]

3.1.3 Architectural Wind – mikro-turbíny do města

Využití větrných elektráren ve městě je dnes stále velmi problematické. Začínají se nicméně pomalu objevovat projekty (viz. například Quiet Revolution), které dokáží městské prostředí pro generování energie z obnovitelných zdrojů využít. Jedním z nejnovějších je projekt “Architectural Wind” společnosti AeroVironment. Jedná se o malé, tiché větrné turbíny určené pro městská centra a předměstí. Je možné je instalovat na okraje budov, jsou

navrženy tak, aby využívaly právě zrychlení větru deroucího se vzhůru po fasádách domů. Na jednu budovu je možné instalovat až desítky turbín, každou s výkonem 6 kW. Jsou vybaveny ochrannou proti ptákům, zároveň mohou sloužit jako oživení architektury, která se nejednou stává pohyblivou, dynamickou. Firmám pak mohou posloužit jako nástroj v oblasti public relations. Zároveň je možné je využít v kombinaci s dalšími alternativními zdroji, například fotovoltaikou. [10]



Obr. 20. Architectural wind na střeše budovy [10]

4 OCHRANA PRŮMYSLOVÝCH PRÁV

Průmyslovým právem se obvykle rozumí soubor právních norem (předpisů) upravujících společenské vztahy vznikající v souvislosti s vytvořením a společenským uplatněním předmětů průmyslového práva. Dále se pod tento pojem zahrnuje i souhrn oprávnění, která patří původci předmětu průmyslového práva i ostatním subjektům průmyslově-právních vztahů.

K základním principům průmyslových práv patří zejména:

- *právo původce* (tvůrce nové myšlenky), či jiné oprávněné osoby na prioritu vůči každému, kdo v příslušném orgánu (patentovém úřadu) podá obsahově shodnou přihlášku předmětu uvedeného práva později; toto právo se vždy přiznává tomu, kdo uplatnil své právo jako první;
- *dočasnost trvání* průmyslově-právní ochrany – např. u vynálezu 20 let od podání přihlášky, u užitého vzoru max. 10 let, nebo časově neomezené trvání ochrany (označení původu výrobku, obchodní jméno). Ochrana všech může zaniknout např. nezaplacením udržovacích poplatků nebo vzdáním se práva.
- *novost předmětu* citovaných práv; je legislativně vymezena pro jednotlivé předměty – např. u patentu se vyžaduje novost světová;
- *územní platnost* právní ochrany předmětu uvedených práv – právní ochrana platí jen na tom, území, na němž je patentovaný úřad udělí;
- *průmyslová (opakovatelná) využitelnost* předmětu jmenovaných práv.

Mezi základní funkce průmyslových práv patří především:

- *funkce ochranná* – jejíž význam je nezastupitelný zejména při výzkumu a vývoji nových nebo inovovaných výrobků a technologií, u projekčních, konstrukčních, technologických a dalších odborných prací, zejména v takových oblastech jako je strojírenství, energetika, stavebnictví apod. Nová řešení by zde měla vznikat na úrovni vynálezů, užiténých vzorů, průmyslových vzorů, know-how apod.
- *funkce informační* – jejímž posláním je především poskytovat informace o předmětech jmenovaných práv s cílem udržovat např. produkci na nejvyšší možné technické či estetické úrovni, zajišťovat konkurenceschopnost, předcházet porušování cizích práv apod.

- *funkce stimulační* – podporující soutěživost mezi tvůrčími pracovníky, podněcující k původní a originální tvorbě předmětů uvedených práv a ke vzniku nových originálních výrobků a postupů.
- *funkce obchodovatelnosti* – zajišťující, že předměty uvedených práv mohou být předmětem převodu (koupě, prodeje) a licence na smluvním základě. [11]

4.1 Patent

Uvádí se, že až 80% všech informací z oblasti vědy a především techniky není publikováno nikde jinde, než formou patentů. Patenty jsou publikovány asi 180 národními a 4 nadnárodními institucemi. Jejich současná roční produkce je řádově milión dokumentů. Celkové množství dosud vydaných patentových spisů se odhaduje na více než 25 miliónů. Na druhé straně je nutno zdůraznit, že patent je především právní dokument. Hlavní funkcí patentu je zajistit práva autorů neb vlastníků patentu na využívání jeho předmětu pro podnikatelské účely. Tato práva jsou všeobecně zajišťována státem, proto je možno na patent pohlížet jako na právní smlouvu mezi autorem (resp. vlastníkem) patentu a státem [11].

Právní ochranu formou patentu podle zákona č.527/1990 Sb. ve znění zákona č. 116/2000 Sb. lze poskytnout na vynález, jímž se rozumí nové vyřešení technického problému průmyslově využitelné a vzniklé tvůrčí činnosti. V současné zákonné úpravě již není stanovena legální definice vynálezu. Vymezuji se pouze podmínky, které musí vynález splňovat, aby byl patentovatelný. Tato skutečnost odpovídá současné světové praxi a je plně v souladu s harmonizací patentového práva v rámci Evropské unie [11].

Patentovatelné vynálezy musí splňovat tyto zákonem stanovené podmínky:

- *představovat světově nové řešení*, což znamená, že vynález není součástí stavu techniky v tuzemsku ani v zahraničí. Má se tudíž na mysli světová novost, kdy dané řešení překonává vše, co bylo známo přede dnem, od něhož přísluší přihlašovatel vynálezu právo přednosti. Na závalu novosti je i ústní sdělení o podstatě vynálezu na veřejně přístupném shromáždění, např. kongresu, konferenci apod.
- *být výsledkem vynálezové činnosti* – podstata vynálezu pro odborníka nevyplývá zřejmým způsobem ze stavu techniky. Jedná se tedy o originální tvůrčí řešení, které se z pohledu současné techniky jeví jako podstatné novum. Nemůže při tom jít ani jen o prostou, byť novou, kombinaci známých prvků.

- *být průmyslově využitelný* – to znamená, že vynález musí být opakovatelně využitelný v hospodářské činnosti. Může se tedy jednat o výrobek (produkt, umělý hmotný předmět), zařízení (výrobní či pracovní prostředek), uspořádání v prostoru (zapojení technologické linky, sestavení známých části zařízení do nového souboru či celku) a postup (pracovní, výrobní či jiný) [11].
- *nesmí se jednat o vyluku z patentovatelnosti*.

Ve výlukách z patentovatelnosti je uvedeno, na co se patenty neudělují:

- na vynálezy, které jsou v rozporu s obecnými zájmy, zejména se zásadami lidskosti a veřejné morálky,
- na způsoby prevence, diagnostiky chorob a léčení lidí a zvířat,
- na odrůdy rostlin, plemena zvířat, s výjimkou průmyslových produkčních mikroorganismů a biotechnologických postupů a produktů získaných s jejich pomocí, které jsou patentovatelné.

Tento výčet výluk z patentovatelnosti však nemusí být ve všech státech totožný. Někde jsou nové odrůdy rostlin patentovatelné (USA), jinde je zase širší rozsah pojmu obecného zájmu, apod. V mnoha zemích se například obšírně konzultují otázky, zda použití částí lidských embryí k transplantátům do životně důležitých orgánů lidského těla není v rozporu se zásadami lidskosti. Nebo zda použití geneticky vypěstované, tzv. „onkologické myši“ pro testování léčiv proti rakovině není též v rozporu s některými společenskými pravidly dobrých mravů. Zdá se, že se jedná hlavně o filozofické a především náboženské problémy [11].

Zákon zároveň přímo stanoví, co nemůže být předmětem patentové ochrany:

- objevy, vědecké teorie a matematické metody i postupy,
- pouhá vnější úprava výrobků (spadá do oblasti průmyslového vzoru),
- pravidla, plány a způsoby vykonávání duševní činnosti,
- počítačové programy (spadají do oblasti autorského díla),
- pouhé uvedení informace.

Právo na patent má původce vynálezu nebo jeho právní nástupce. Byl-li vytvořen vynález

v pracovním poměru k organizaci, nebo například za hmotné podpory organizace, přechází právo na patent na organizaci (zaměstnavatele). V České republice má původce povinnost

zaměstnavatele o této skutečnosti neprodleně písemně informovat, a pokud zaměstnavatel ve lhůtě 3 měsíců od vyrozumění právo na patent neuplatní, přechází toto právo zpět na původce. Majitel patentu má výlučné právo patent využívat, poskytnout souhlas k využívání jiným osobám (udělení licence) nebo na ně patent převést. Účinky patentu nastávají ode dne oznámení o udělení patentu ve Věstníku Úřadu průmyslového vlastnictví. **Patent platí 20 let od data podání přihlášky vynálezu, nebo od data podání prioritní přihlášky v zemi původu vynálezu (unijní priorita) [11].**

4.1.1 Evropská patentová organizace - EPO (European Patent Office)



Obr. 21. Logo EPO [11].

V roce 1977 podepsalo sedm evropských států Dohodu o evropském patentu. Institucí zastřešující tento systém je od roku 1978 Evropská patentová organizace (EPO), která má pracoviště v Mnichově, Haagu, Berlíně a Vídni. Patentová ochrana zajišťuje majiteli patentu právo na využití vynálezu v zemích, kde je přihlášen k ochraně. To vylučuje výrobu, prodej nebo jiné využití vynálezu bez předchozího souhlasu majitele. Pro země využívající služeb EPO má systém evropského patentu výhody spočívající především v:

- Rozšiřování mezinárodní spolupráce v oblasti zákonodárství, dokumentace a patentových informací.
- Racionalizaci činnosti zaměřené na ochranu průmyslového vlastnictví, zejména při eliminaci opakujících se činností.
- Stabilizaci patentových předpisů cestou jejich unifikace s mezinárodními předpisy,
- Omezení nebezpečí vzniku pozdějších analogických nebo podobných řešení u konkurence a jejich eventuálního zneužití bez udělení licence.

Pro přihlašovatele vynálezu přináší ochrana prostřednictvím evropského patentu výhody zejména v

- Zjednodušení, urychlení a snížení finančních nákladů na vypracování a podání přihlášky na získání evropského patentu na vynález.

- Získání „silného patentu“ na vynález, který je podroben důkladnému průzkumu v EPO.
- Zajištění široké publicity o vynálezu a jeho ochraně.

Evropská patentová přihláška s účinky pro ČR, které bylo přiznáno datum podání, má v ČR stejné účinky jako přihláška vynálezu podaná u ÚPV k témuž datu.



Obr. 22. Členské státy EPC [11].

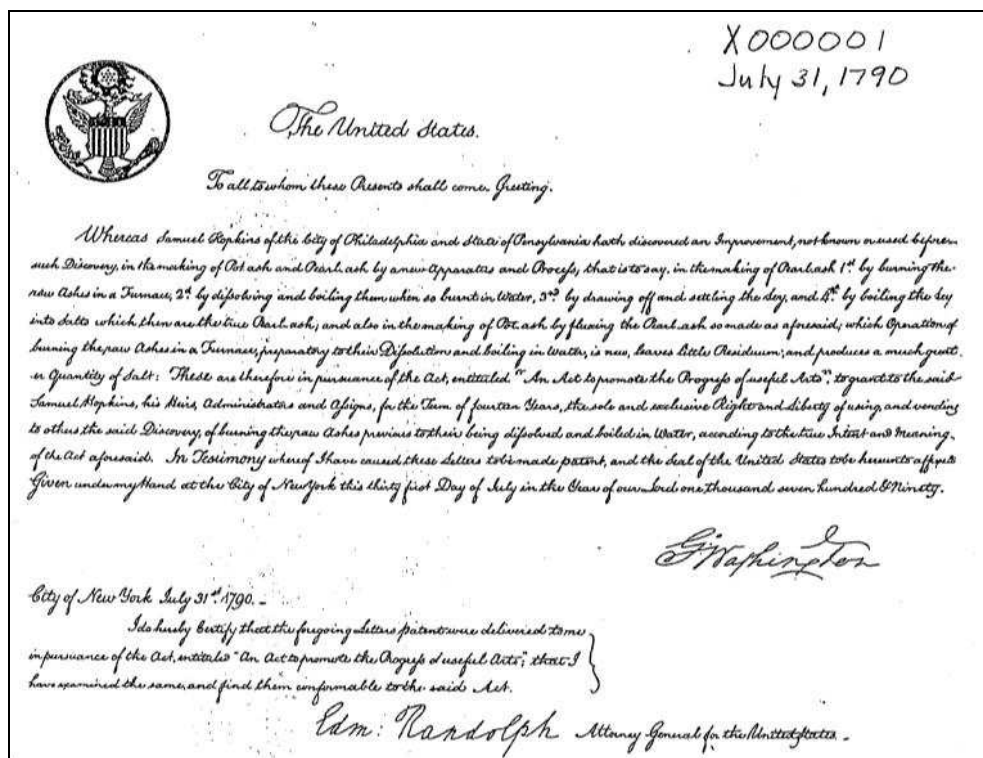
4.1.2 Americký úřad pro udělování patentů a ochranných známek (USPTO)



Obr. 23. Znak USPTO [13].

Americký úřad pro udělování patentů a ochranných známek (USPTO) je federální orgán pro udělování a patentů a ochranných známek. V rámci tohoto procesu, USPTO naplňuje mandát čl. I, bod 8, klauzule 8 Ústavy, že zákonodárná moc bude “podporovat vědecký pokrok a užitečné umění tím, že zabezpečí vynálezům na určitou dobu exkluzivní právo na jejich objevy“. USPTO registruje ochranné známky na základě Obchodního ustanovení Ústavy [13].

První patent byl v USA udělený v roce 1790 Samueli Hopkinsovi a byl podepsán prezidentem Georgem Washingtonem.



Obr. 24. První patent udělený v USA [13].

4.2 Patentové rešerše

V oblasti průmyslových práv jde o vyhledávání informací a zajišťování pramenů informací týkajících se chráněných technických řešení a označení výrobků a služeb, včetně metodiky práce s těmito informacemi [17].

4.2.1 Druhy rešerší

Existují speciální druhy rešerší rozlišené podle toho, z jakého zdroje se vyhledává, podle druhu dokumentu, případně podle toho, jak se rešerše zpracuje.

- **Autorská rešerše** je vyhledávání podle jména autora, který v dané tématice vyniká - poradí vám s ní vedoucí práce nebo školitel.
- **Patentová rešerše** se zaměřuje na vyhledávání patentů, a to buď ve specializovaných patentových databázích, nebo v oborových databázích, které patenty také obsahují - poradí vám knihovníci.
- **Komentovaná (anotovaná, kritická) rešerše** bývá často zadávaným úkolem pro studenty. Jde o přehled relevantních publikací (především článků z časopisů a příspěvků z konferencí) a zhodnocení jejich obsahu a přínosu pro řešenou problematiku. [17]

4.2.2 Analýzy vycházející z patentových rešerší

- **Patentová analýza trendů vývoje** - analýzou patentové aktivity v dané tematické oblasti techniky (resp. jejích dílčích tematických oblastech) definuje aktuální trendy výzkumu a vývoje, popř. i predikuje jejich tendenci do budoucnosti.
- **Analýza průmyslově právního stavu výstupu** - na základě analýzy podstatných znaků porovnává výstupní řešení výzkumného úkolu s aktuálně platnými právy cizích subjektů na daném teritoriu. Definuje, popř. z hlediska pravděpodobnosti vzniku kvantifikuje možnost vzniku kolizních stavů.
- **Mapa průmyslově právního stavu** - „Mapa“ stavu ochranných práv v dané oblasti techniky definuje jaká ochranná práva cizích subjektů je třeba na daném teritoriu a v daném čase respektovat, abychom se vyhnuli možné kolizi [17].

4.3 Patenty registrované v USA


Na ukázkou je zde uvedeno několik originálních patentů registrovaných v USA týkající se tématu průtažného rotoru.

4.3.1 Hybridní větrná elektrárna se svislou osou rotace

Jedno z možných provedení hybridní větrné elektrárny se svislou osou rotace s velkým prstencovým generátorem elektrického motoru a vodorovně se otáčející generátory parní turbíny. Doporučené provedení má nejméně 5 větrných turbín pod hlavním obloukem. Alternativní provedení má nejméně 3 větrné turbíny. Obě provedení také mají generátory parní turbíny s převodovkou jako další generátor a primární hnací velký prstencový generátor. Obě provedení obsahují kuželové špice spojující centrální větrnou turbínu a velké prstencové generátory. Obě provedení mají řídicí systém listů rotoru.

Abstrakt v původním jazyce (Angličtina):

One embodiment of a hybrid vertical axis wind turbine with a big annular generator electric motor auxiliary prime movers and horizontal rotating steam turbine generators. The preferred embodiment has at least 5 wind turbines under an arch. The alternative embodiment has at least 3 wind turbines under an arch. Both embodiments also have steam turbine generators with a gear as an additional generator and prime mover of the big annular generator. Both embodiments contain double tapered spokes connecting the wind turbine central axis tower to the big annular generators. Both embodiments have a blade control system.



US 20090108587A1

(19) **United States**
 (12) **Patent Application Publication**

Mitmesser

(10) **Pub. No.: US 2009/0108587 A1** — Číslo patentu
 (43) **Pub. Date: Apr. 30, 2009** — Datum vydání

Název — (54) **HYBRID VERTICAL AXIS WIND TURBINE**

Vynálezce a jeho adresa — (76) Inventor: **Jason Matthew Mitmesser, Jeffersonville, IN (US)**
 Correspondence Address:
Jason Mitmesser
1512 E. 10th St. #55
Jeffersonville, IN 47130 (US)

Číslo žádosti — (21) Appl. No.: **12/217,955**

Podána — (22) Filed: **Jul. 10, 2008**

Publication Classification

(51) **Int. Cl.**
F03D 9/00 (2006.01) — Mezinárodní značení
H02K 53/00 (2006.01)

(52) **U.S. Cl.** **290/55; 415/916** — Americké značení

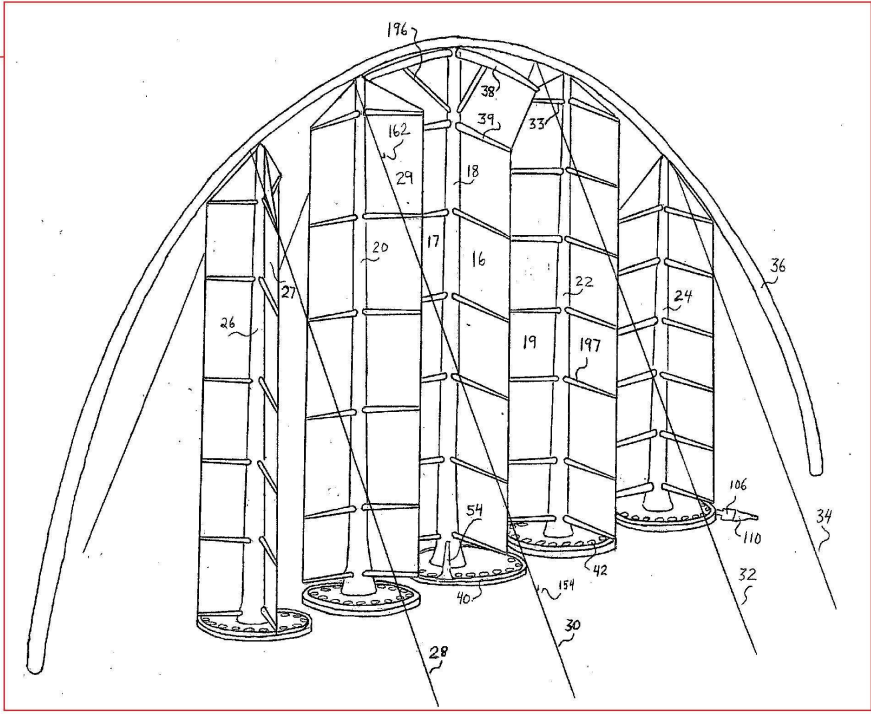
(57) **ABSTRACT**
 One embodiment of a hybrid vertical axis wind turbine with a big annular generator (40) electric motor auxiliary prime movers (42) and horizontal rotating steam turbine generators (106). The preferred embodiment has at least 5 wind turbines under an arch. The alternative embodiment has at least 3 wind turbines under an arch. Both embodiments also have steam turbine generators with a gear as an additional generator and prime mover of the big annular generator. Both embodiments contain double tapered spokes (54) connecting the wind turbine central axis tower to the big annular generators. Both embodiments have a blade control system (162, 142, 144).

Related U.S. Application Data

(60) Provisional application No. 60/958,998, filed on Jul. 10, 2007.

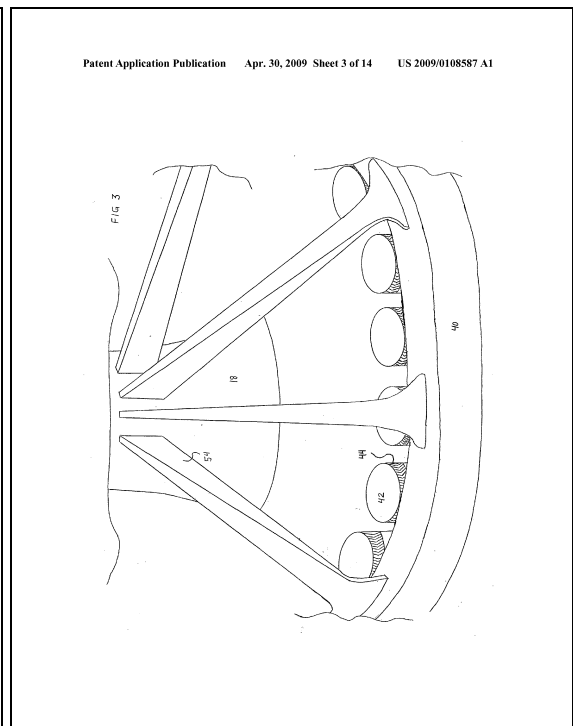
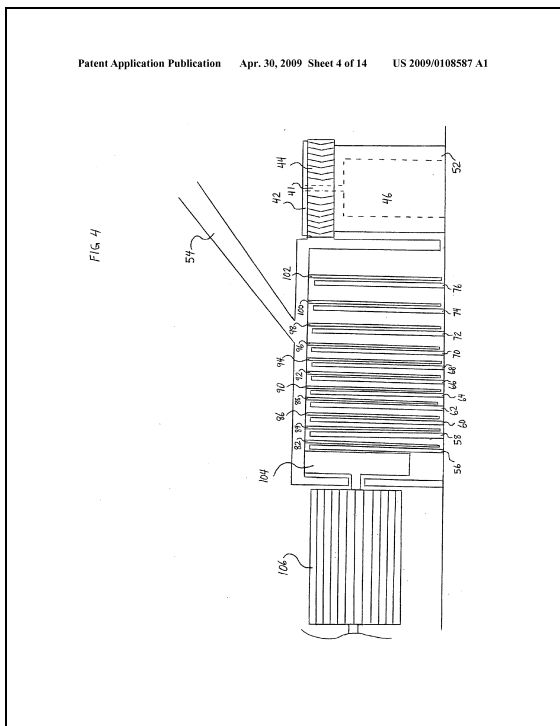
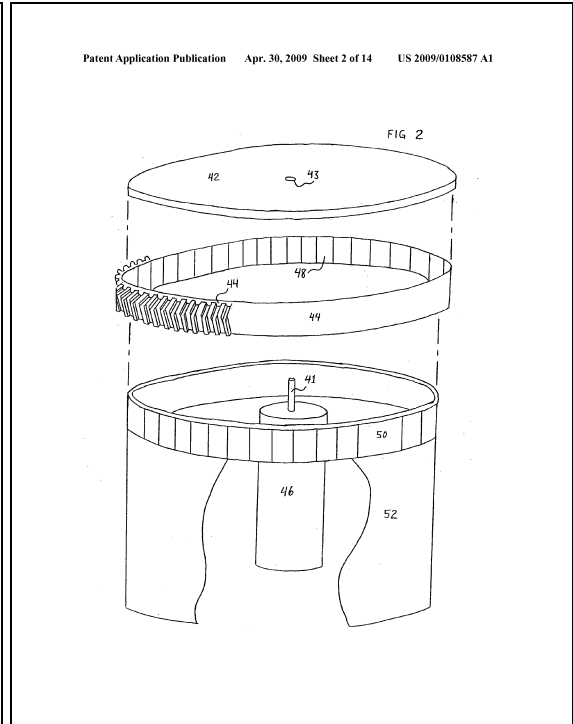
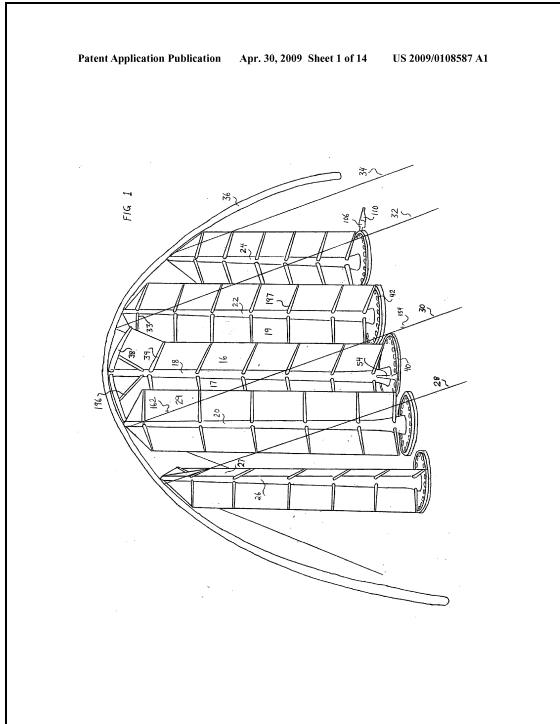
Související patenty —

Kresba vynálezu —



Obr. 25. Ukázka přední strany originálního patentu USA (1)

Dále jsou v patentové dokumentaci uvedeny nákresy jednotlivých částí vynálezu. Nákresy často zabírají většinu dokumentace patentu. Na každém nákresu jsou jednotlivé části označeny číselnými odkazy, které jsou vysvětleny v závěrečné fázi dokumentace.



Obr. 26. Ukázka nákresů v patentové dokumentaci USA (1)

Na závěr je několik stran v dokumentaci věnováno vysvětlivkami k číselným odkazům v kresbách.

US 2009/0108587 A1 Apr. 30, 2009

HYBRID VERTICAL AXIS WIND TURBINE

CROSS REFERENCE TO RELATED APPLICATIONS

[0001] This application claims the benefits of 60/558,908 filed Jul. 10, 2007 by the present inventor. Application number assigned to this application: Ser. No. 12/217,955

FEDERALLY SPONSORED RESEARCH

[0002] Not Applicable

SEQUENCE LISTING OR PROGRAM

[0003] Not Applicable

BACKGROUND

[0004] 1. Field of Invention

[0005] This invention relates to wind turbines, vertical axis wind turbines, and horizontal rotating steam turbine electric generators.

[0006] 2. Prior Art

[0007] U.S. Pat. No. 5,252,037 John Cummings, U.S. Pat. No. 6,853,090 Young-Sil Yum and Jyh-Soo Yoo, and U.S. Pat. No. 7,077,928 Robert J. Axel.

[0008] One disadvantage of U.S. Pat. No. 6,853,096 is that its blades are comprised of vertical axis rotating wind catching panels, rendering the wind catching panels extremely difficult to control, as vertical axis wind catching panels would have to continuously rotate a position of catching out of the wind to one half of a wind turbine rotation. This, while not impossible, would require complex computer programming that might make the wind turbine too expensive to operate. Also, this wind turbine cannot harness wind as it has no prime mover other than the wind. This same disadvantage of a single prime mover, the wind, also applies to U.S. Pat. No. 5,252,037.

[0009] Standard horizontal axis propeller wind turbines have three disadvantages: they cannot produce any power when winds are light, secondly, they shut down when the wind is very strong. Third, the wind sweeps turbines away the size of these wind turbines, even if built to the current world's largest size of over 600 feet tall, combined with manufacturing speed equals one very big solution for America's massive energy problem any time soon, and if it were a solution, it would require millions of these wind turbines to be placed all across America, which is unisually, and requires large amounts of very expensive raw power lines to be built. This reveals problems the present hybrid vertical axis wind turbine overcomes.

[0010] Standard horizontal axis steam turbine generators produce nearly all society's electricity throughout the world. These typical generators seldom feasibly power large amounts of other upcoming groundbreaking things. New inventions that need fuel are electric cars powered by rapid charge batteries of Alkaline Nanotechnology and a 500 miles per hour (Chicago to Orlando in 2.75 hours) mag lev train requiring large amounts of electricity. Standard horizontal axis steam turbine generators also are inadequate for the future if society wants to have the cheapest electricity.

US 2009/0108587 A1 Apr. 30, 2009

SUMMARY

[0011] In accordance with one embodiment a hybrid vertical axis wind turbine with a big annular generator with a least one electric motor auxiliary prime mover.

DRAWINGS

Figures

[0012] FIG. 1 shows the entire wind turbine with one possible arrangement of 5 wind turbines under one arch.

[0013] FIG. 2 is the electric motor auxiliary prime mover.

[0014] FIG. 3 is a close view of the bottom section of a wind turbine, the double tapered pulley, annular generator, and one of the electric motor auxiliary prime movers.

[0015] FIG. 4 is a side sectional view of the tandem of the big annular generator, and to the right that is the electric motor auxiliary prime mover.

[0016] FIG. 5 Big annular generator and steam turbine generator.

[0017] FIG. 6 is a close-up view of the stator-rotor gap distance adjusting mechanism for an annular generator.

[0018] FIG. 7 are the commutators located inside the central axis tower.

[0019] FIG. 8 is the control system that opens and closes the rotary horizontal axis wind catching panels.

[0020] FIG. 9 is a top view of the control system of FIG. 8.

[0021] FIG. 10 is a side view of the wind turbine, stays, and also shows the stay wind direction determining device location are shown.

[0022] FIG. 11 is a close-up of one of the wind direction determining devices.

[0023] FIG. 12 is a top view of the wind turbine position mitigation device.

[0024] FIG. 13 is a top view of the wind turbine big annular generator with one horizontal steam turbine on the right side.

[0025] FIG. 14 is a side perspective view of the wind turbine.

[0026] FIG. 15 is a close-up view of vanes and wind catching panels.

[0027] FIG. 15.1 Alternative Embodiment of the Hybrid Vertical Axis Wind Turbine

CLAIMS

Reference Numerals

[0028] 16 Blade

[0029] 17 Blade

[0030] 18 Central Positioned Central Axis Tower

[0031] 19 Blade

[0032] 20 Central Axis Tower

[0033] 21 Central Axis Tower

[0034] 24 Central Axis Tower

[0035] 26 Central Axis Tower

[0036] 28 Stay

[0037] 29 Vane Element

[0038] 29 Stay

[0039] 32 Stay

[0040] 33 Arm

[0041] 34 Stay

[0042] 35 Vane Element

[0043] 36 Arch

[0044] 37 Vane Element

[0045] 38 Curved Arm

[0046] 39 Arm

[0047] 40 Big annular generator

[0048] 41 Drive shaft

[0049] 42 Lid

[0050] 43 Horizontal Connection Hole

[0051] 44 Herringbone Gear

[0052] 46 Small Diameter Electric Motor

[0053] 48 Auxiliary Annular Generator Rotor

[0054] 50 Auxiliary Annular Generator Stator

[0055] 51 Wall

[0056] 54 Spoke

[0057] 56 One layer of Big annular generator's Stator

[0058] 58 One layer of Big annular generator's Stator

[0059] 60 One layer of Big annular generator's Stator

[0060] 62 One layer of Big annular generator's Stator

[0061] 64 One layer of Big annular generator's Stator

[0062] 66 One layer of Big annular generator's Stator

[0063] 68 One layer of Big annular generator's Stator

[0064] 70 One layer of Big annular generator's Stator

[0065] 72 One layer of Big annular generator's Stator

[0066] 74 One layer of Big annular generator's Stator

[0067] 76 One layer of Big annular generator's Rotor

[0068] 82 One layer of Big annular generator's Rotor

[0069] 84 One layer of Big annular generator's Rotor

[0070] 88 One layer of Big annular generator's Rotor

[0071] 88 One layer of Big annular generator's Rotor

[0072] 89 Inlet

[0073] 90 One layer of Big annular generator's Rotor

[0074] 91 Stator Track

[0075] 92 One layer of Big annular generator's Rotor

[0076] 94 One layer of Big annular generator's Rotor

[0077] 98 One layer of Big annular generator's Rotor

[0078] 98 One layer of Big annular generator's Rotor

[0079] 100 One layer of Big annular generator's Rotor

[0080] 102 One layer of Big annular generator's Rotor

[0081] 104 Horizontal Rotating Steam Turbine Core

[0082] 106 Horizontal Rotating Steam Turbine Generator

[0083] 108 Steam Recovery Outlet

[0084] 110 Turbine

[0085] 114 Boiler

[0086] 116 Commutator

[0087] 116 Commutator

[0088] 118 Commutator

[0089] 120 Commutator

[0090] 122 Commutator

[0091] 124 Commutator

[0092] 126 Commutator

[0093] 128 Commutator

[0094] 130 Commutator

[0095] 132 Commutator

[0096] 134 Commutator

[0097] 136 Commutator

[0098] 140 Connecting device from Central Axis Tower to Track

[0099] 142 Cart (Commanding panels to close)

[0100] 144 Cart (Commanding panels to open)

[0101] 146 Cart

[0102] 148 Track

[0103] 150 Track

[0104] 152 second lowest elevation wind direction determining device

[0105] 154 lowest elevation wind direction determining device

[0106] 156 third lowest elevation wind direction determining device

[0107] 158 fourth lowest elevation wind direction determining device

[0108] 160 second highest elevation wind direction determining device

[0109] 162 highest elevation wind direction determining device

[0110] 172 Filtered Exhaust from combustion of fuel of horizontal steam turbine generator

[0111] 173 Vane Element

[0112] 174 Inlet treatment

[0113] 176 Clear Algae Tube

[0114] 177 Arm

[0115] 179 Electric Motor

[0116] 180 Artificial Light

[0117] 182 Central Positioned Central Axis Tower

[0118] 190 Central Axis Tower

[0119] 192 Central Axis Tower

[0120] 181 Vane Element

[0121] 182 Phycocyanin Film

[0122] 175 Wind Catching Panel (closed and catching wind)

[0123] 184 Vane Element

[0124] 185 Wind Catching Panel (closed and catching wind)

[0125] 186 Wind Catching Panel (open and not catching wind)

[0126] 154 Arch

[0127] 196 diagonal arm

[0128] 197 arm

US 2009/0108587 A1 Apr. 30, 2009

DETAILED DESCRIPTION

FIG. 1 - Preferred Embodiment

[0129] One embodiment of the hybrid vertical axis wind turbine is illustrated in FIG. 1, a perspective view of the entire wind turbine. As shown below in the block 16, a plurality of wind catching panels are closed while a plurality of wind catching panels on blade 17 are open (wind catching panels not shown in FIG. 1). For clarity reasons simultaneously 2 other prime movers 106, 42) assist propel the wind turbine, allowing the wind turbine to rotate counter clockwise. If a wind at the very top section of the wind turbine is blowing in a different direction than the lower parts, the wind turbine sections from 162 to 154 deflect (and) open and close all wind catching panels to the proper time to harness as much wind as possible. Electric motor auxiliary prime movers 42 assist propel the wind turbine by big annular generator 40. Horizontal Rotating Steam Turbine Generator 106 and 110 are shown connected to the furthest right positioned wind turbine. The standard 3 blades of the wind turbines are visible in a perspective view on the far left wind turbine containing central axis tower 26. Diagonal Arm 99 is also labeled. FIG. 3 is the bottom part of central axis tower 26, and the spoke 44 that connects the central axis tower of the big annular generator 40 to the rotor. The electric motor auxiliary prime mover also is represented by 42. Herringbone Gear 41 is also shown. FIG. 4 shows a perspective view of the big annular generator while the motor sections are shown in even number 56 to 76. The Small Diameter Electric Motor 46 is also shown hidden behind wall 52 of the Electric Motor Auxiliary Prime Mover Drive shaft 41 is connected to 42 lid, to assist propel gear 44, which in turn

US 2009/0108587 A1 Apr. 30, 2009

DETAILED DESCRIPTION

FIG. 1 - Preferred Embodiment

[0129] One embodiment of the hybrid vertical axis wind turbine is illustrated in FIG. 1, a perspective view of the entire wind turbine. As shown below in the block 16, a plurality of wind catching panels are closed while a plurality of wind catching panels on blade 17 are open (wind catching panels not shown in FIG. 1). For clarity reasons simultaneously 2 other prime movers 106, 42) assist propel the wind turbine, allowing the wind turbine to rotate counter clockwise. If a wind at the very top section of the wind turbine is blowing in a different direction than the lower parts, the wind turbine sections from 162 to 154 deflect (and) open and close all wind catching panels to the proper time to harness as much wind as possible. Electric motor auxiliary prime movers 42 assist propel the wind turbine by big annular generator 40. Horizontal Rotating Steam Turbine Generator 106 and 110 are shown connected to the furthest right positioned wind turbine. The standard 3 blades of the wind turbines are visible in a perspective view on the far left wind turbine containing central axis tower 26. Diagonal Arm 99 is also labeled. FIG. 3 is the bottom part of central axis tower 26, and the spoke 44 that connects the central axis tower of the big annular generator 40 to the rotor. The electric motor auxiliary prime mover also is represented by 42. Herringbone Gear 41 is also shown. FIG. 4 shows a perspective view of the big annular generator while the motor sections are shown in even number 56 to 76. The Small Diameter Electric Motor 46 is also shown hidden behind wall 52 of the Electric Motor Auxiliary Prime Mover Drive shaft 41 is connected to 42 lid, to assist propel gear 44, which in turn

Obr. 27. Ukázka stran v dokumentaci věnované vysvětlivkami k číselným odkazům v kresbách.

4.3.2 Větrná elektrárna s vertikální osou rotace

Větrné elektrárny jsou do značné míry rozděleny na turbíny s vertikální osou rotace a na turbíny s horizontální osou rotace. Tento vynález umožnil stavět rotory s vertikální osou rotace pro vysoké rychlosti větru vybavené řídicím systémem pro rychlost otáčení lopatek. Tato vertikální turbína je tvořena jednotlivými lopatkami, z nichž má každá vlastní aerodynamický profil. Tyto lopatky jsou připevněny na ramenech pevně usazených na centrální svislé rotující hřídeli. Tato turbína bývá vybavována prvky řízení otáček provozu, které mohou být manuální nebo automatické.

Abstrakt v původním jazyce (Angličtina):

Wind turbines are largely divided into vertical axis wind turbines and propeller (horizontal axis) wind turbines. The present invention discloses a vertical axis high speed wind turbine provided with rotational speed control system. This vertical axis wind turbine is formed by having blades of a proper airfoil fitted to respective supporting arms provided radially from a vertical rotating shaft by keeping the blade span-wise direction in parallel with the shaft and being provided with aerodynamic control elements operating manually or automatically to control the rotational speed of the turbine.

United States Patent [19]

Seki et al.

[11] **4,247,253**

[45] **Jan. 27, 1981**

[54] **VERTICAL AXIS WIND TURBINE**

[75] **Inventors:** Kazuichi Seki, Isehara; Yoshio Shimizu, Sagamihara; Yoshio Kato, Tokyo, all of Japan

[73] **Assignee:** Gakko Hojin Tokai University, Tokyo, Japan

[21] **Appl. No.:** 922,292

[22] **Filed:** Jul. 6, 1978

[30] **Foreign Application Priority Data**

Jul. 7, 1977 [JP] Japan 52/81601
 Jul. 7, 1977 [JP] Japan 52/81602

[51] **Int. Cl.³** F03D 7/06

[52] **U.S. Cl.** 416/44; 416/23; 416/32; 416/119; 416/197 A

[58] **Field of Search** 416/119, 169, 197 A, 416/44, 227 A, 140 R, DIG. 7, 23, 51, 32, 175 A

[56] **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

1,835,018 12/1931 Darrieus 416/227 A
 4,082,479 4/1978 Rangi et al. 416/23 X

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

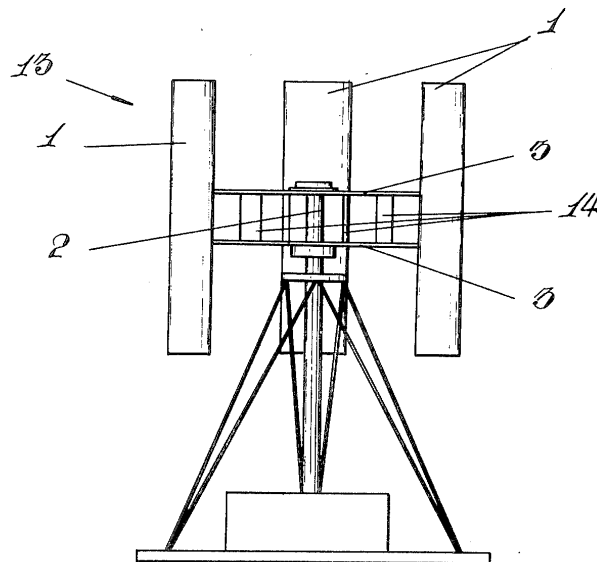
860930 12/1952 Fed. Rep. of Germany 416/140

Primary Examiner—Everette A. Powell, Jr.
Attorney, Agent, or Firm—Koda and Androlia

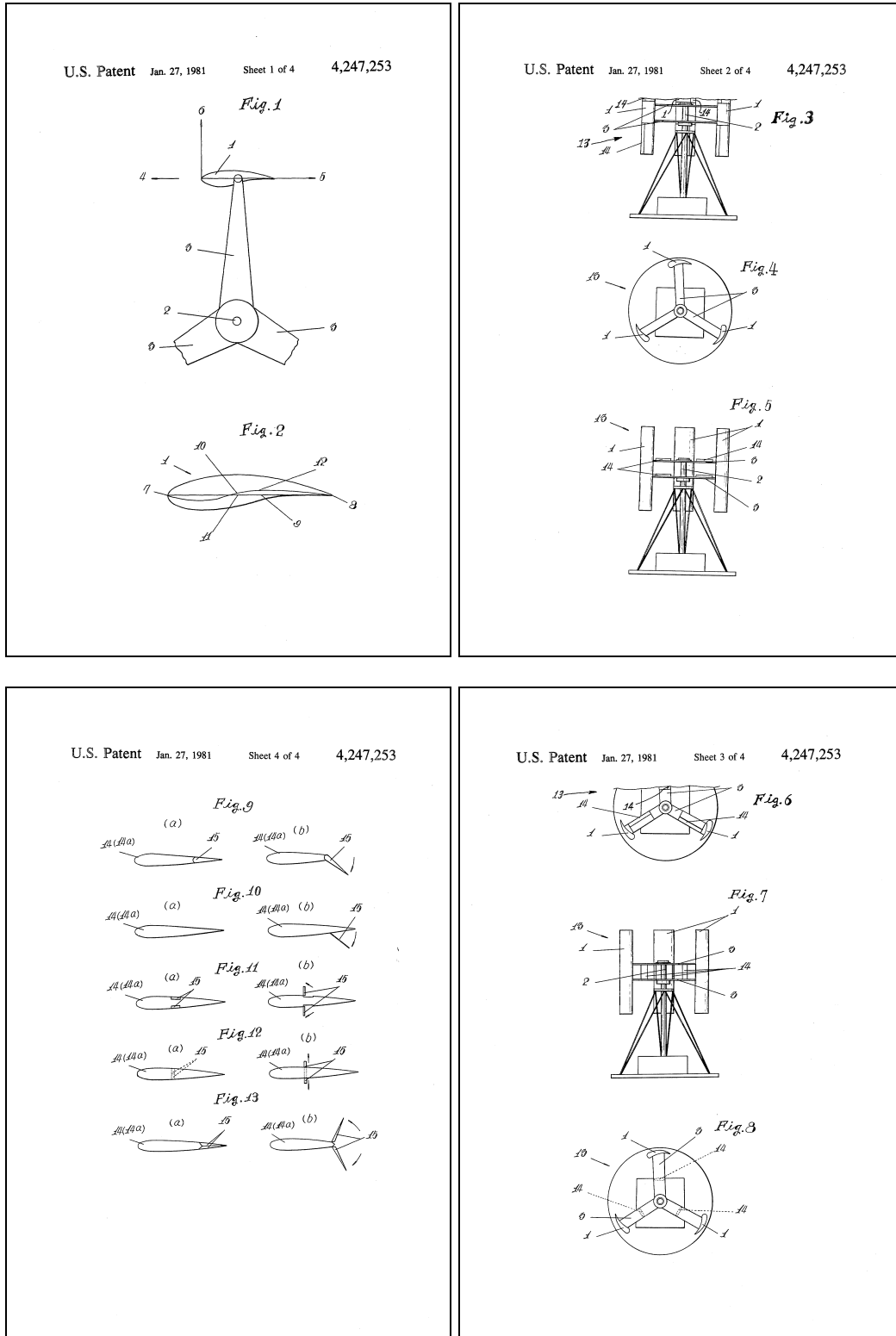
[57] **ABSTRACT**

Wind turbines are largely divided into vertical axis wind turbines and propeller (horizontal axis) wind turbines. The present invention discloses a vertical axis high speed wind turbine provided with rotational speed control systems. This vertical axis wind turbine is formed by having blades of a proper airfoil fitted to respective supporting arms provided radially from a vertical rotating shaft by keeping the blade span-wise direction in parallel with the shaft and being provided with aerodynamic control elements operating manually or automatically to control the rotational speed of the turbine.

3 Claims, 13 Drawing Figures



Obr. 28. Ukázka přední strany originálního patentu USA (2)



Obr. 29. Ukázka náčrsků v patentové dokumentaci USA (2)

SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

V teoretické části je v první části vysvětlena a popsána Beaufortova stupnice síly větru, která se používá pro rozdělení větru podle rychlosti. Jsou zde také uvedeny přístroje používané k měření síly větru.

V další části práce je popsán samotný princip výroby elektrické energie z větru pomocí větrných turbín a historie využívání větru jako energie. Větrné turbíny jsou dále rozděleny podle konstrukce samotného rotoru a podle instalovaného výkonu. Dále se práce blíže věnuje malým větrným elektrárnám a jich využití v praxi. Mezi malými větrnými elektrárnami jsou popsány hlavně dva typy a to Savoniův rotor a Průtažný rotor.

Dále se práce zaměřuje na využití větrné energie ve Spojených Státech Amerických, kde tento druh výroby elektrické energie zaznamenává v posledních letech, v rámci boje proti globálnímu oteplování a za větší nezávislost na dovozu ropy, obrovský rozmach a to jak v oblasti velkých větrných turbín (ať už instalované na zemi nebo u pobřeží), tak malých větrných elektráren, které si může každý obyvatel postavit na svém pozemku. Jsou zde uvedeny některé zajímavé projekty malých větrných elektráren.

Nakonec teoretická část práce blíže popisuje problematiku vyžívání patentů a pravidla jejich zapsání na patentovém úřadě. Dále jsou zde uvedeny dva zajímavé patenty.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 SOLIDWORKS

SolidWorks je strojírenský 3D CAD software pro platformu Microsoft Windows, který byl vyvinut společností SolidWorks Corporation – nyní dceřiná společnost Dassault Systèmes, S. A. (Vélizy, France). Konkurenčními aplikacemi jsou např. Autodesk Inventor, Pro/ENGINEER nebo Solid Edge.



Obr. 30. Příklad konstrukčního řešení v programu SolidWorks [18].

3D CAD systému SolidWorks je profesionální řešení, které pro návrh lepších výrobků používá více než jeden milion uživatelů. Návrháři z různých oblastí oceňují na CAD systému SolidWorks příjemné uživatelské rozhraní a množství specializovaných funkcí, díky kterým je minimalizován čas potřebný pro převedení myšlenky návrháře do podoby modelu a následně výkresové dokumentace [18].

5.1 SolidWorks Flow Simulation

Software SolidWorks® Flow Simulation je první a nejjednodušší program pro simulaci proudění kapalin a teplotní analýzu plně integrovaný do systému SolidWorks.

Software SolidWorks Flow Simulation eliminuje potřebu úprav návrhu pro jinou aplikaci výpočtu dynamiky kapalin Computational Fluid Dynamics (CFD), a tím značně šetří čas a náklady.

S jeho funkcemi CFD analýzy můžete simulovat proudění kapalin a plynů v podmínkách skutečného světa, zkoumat scénáře „co kdyby“ a rychle analyzovat účinky proudění kapalin, přenosu tepla a souvisejících sil na ponořené nebo okolní komponenty. Mezi kapaliny,

které můžete analyzovat, patří například vzduch, voda, tekuté chemikálie a plyny, džus, zmrzlina, med, roztavený plast, zubní pasta, krev a další [18].

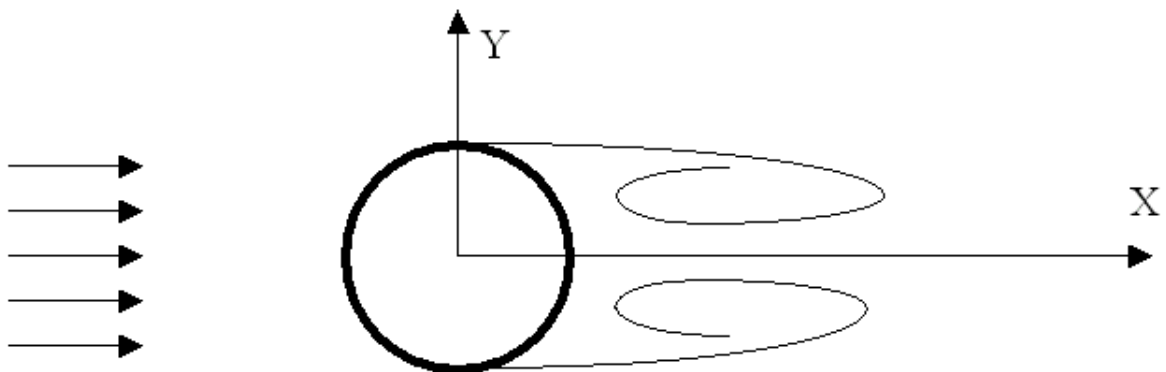
Díky Flow Simulation je možné studovat celou řadu jevů, proudění tekutin a přenosu tepla, zahrnující:

- vnější a vnitřní proudění
- ustálené a časově závislé proudění látek
- stlačitelné plyny a nestlačitelné proudění látek
- podzvukové a nadzvukové proudění plynů
- volná, nucená a smíšená konvekce (vedení tepla)
- proudění látek s okrajovými polohami, zahrnující drsnost stěn
- laminární (vláknové) a turbulentní (vířivé) proudění látek
- vícesložkové látky a vícesložkové pevné látky
- proudění látek v modelech s pohybujícími nebo rotujícími rovinami a částmi
vedení tepla v kapalinách, pevných látkách a porézních látkách se spojitým přestupem tepla nebo bez spojitého přestupu tepla
- rozličné typy tepelné vodivosti v pevných látkách, např. isotropní (stejné vlastnosti materiálu ve všech směrech), jednosměrná tepelná vodivost, dvouosá/osově souměrná a ortotropní (dvourozměrné)
- proudění kapalin a přestup tepla v porézních látkách
- proudění neneutonských kapalin
- proudění stlačitelných kapalin
- reálné plyny
- kavitace u nestlačitelného vodního proudění
- relativní vlhkost v plynech a ve směsích plynů
- dvoufázové proudění [19]

5.1.1 Tok přes kruhový válec

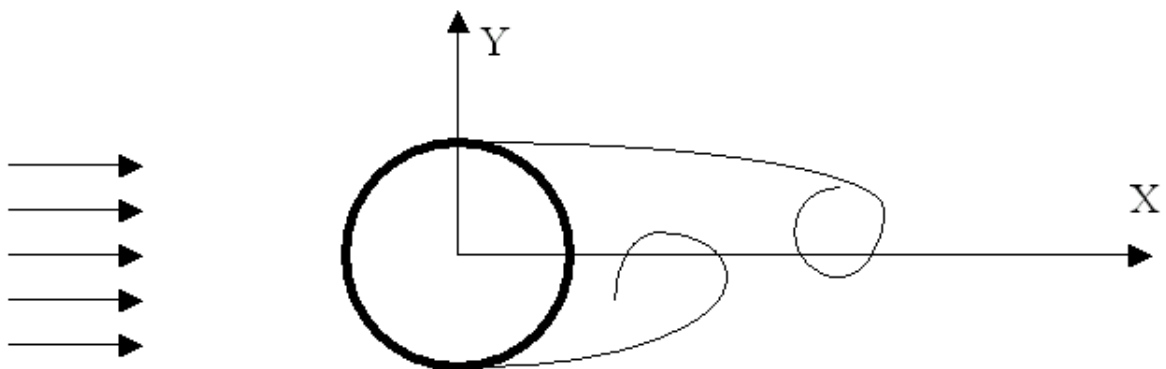
Na tomto příkladu si můžeme ověřit přesnost výpočtů programu SolidWorks Flow Simulation.

V tomto příkladu voda o teplotě 293.2 K a tlaku 1 atm teče válcem o průměru 1m. Proudění v tomto případě do značné míry závisí na hodnotě Reynoldsova čísla. Při jeho nízkých hodnotách ($4 < Re < 60$) se za válce tvoří dva stabilní víry, jak je znázorněno na obrázku č. 31. [19]



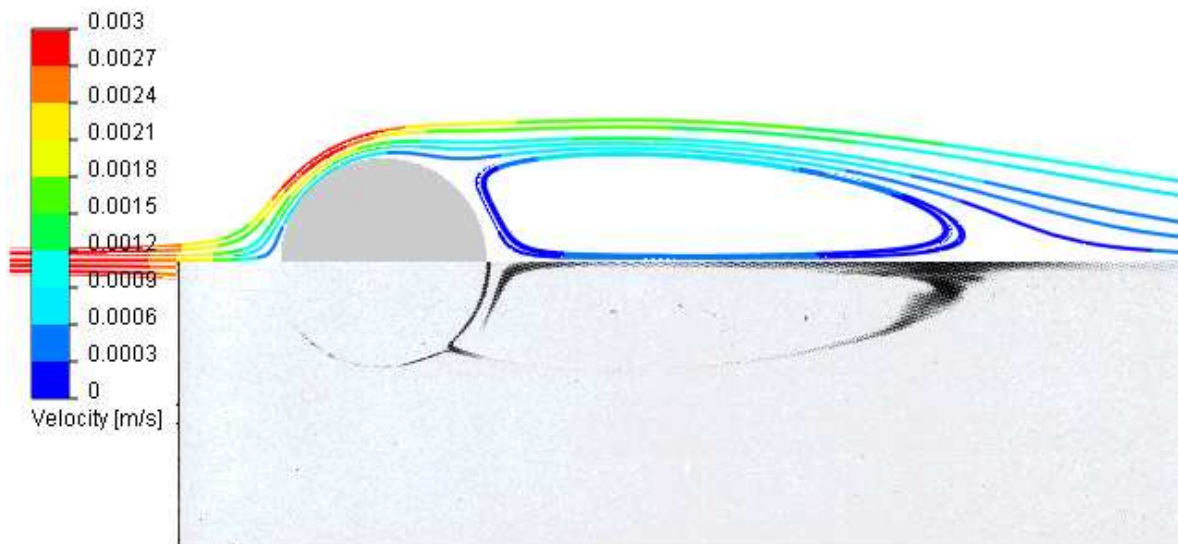
Obr. 31. Proudění kolem válce při nízkých hodnotách Re ($4 < Re < 60$) [19]

Naopak při vyšších hodnotách Reynoldsova čísla ($60 \dots 100 < Re$) se tok stává nestabilní a navíc víry začnou kmitat, jak můžeme vidět na obrázku č. 32. [19]



Obr. 32. Proudění kolem válce při vyšších hodnotách Re ($60 \dots 100 < Re$) [19]

Na obrázku můžeme vidět barevné porovnání výsledků výpočtů, které byly provedeny programem Flow Simulation (přesnost výpočtu byla nastavena na 7), s fotografií pořízenou v aerodynamickém tunelu při Reynoldsově čísle rovno 41 viz obrázek č. 33. [19]



Obr. 33. Porovnání přesnosti výpočtu v programu Flow Simulation s fotografií pořízené v aerodynamickém tunelu. [19]

Součinitel odporu je definován jako: [19]

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U^2 DL} \quad (4)$$

Kde:

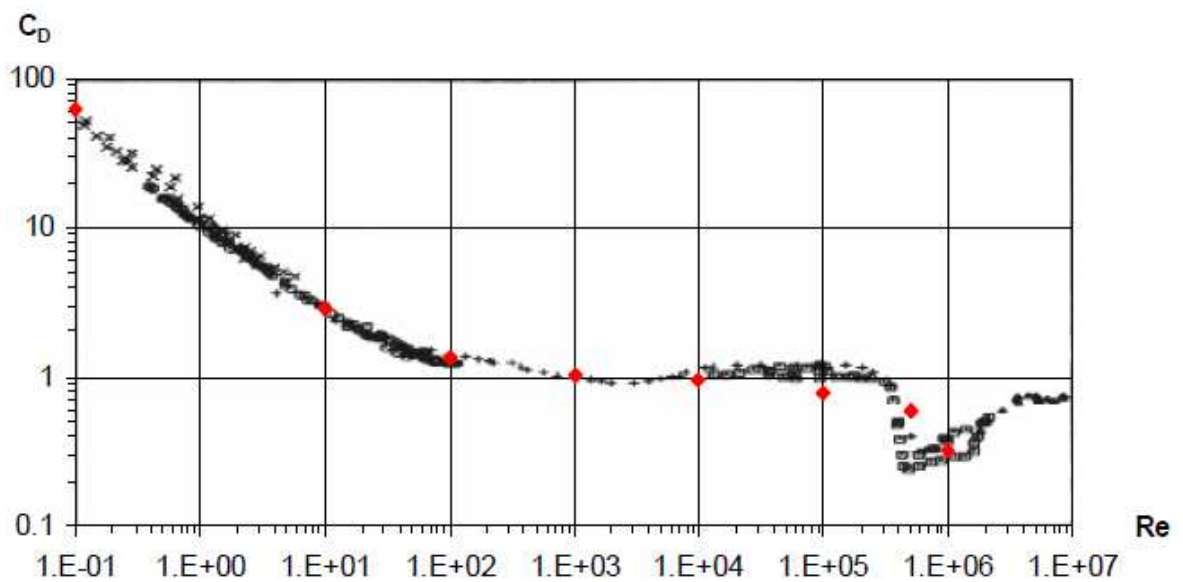
D ... průměr válce [m]

L ... délka válce [m]

F_D ... síla působící na válec [N]

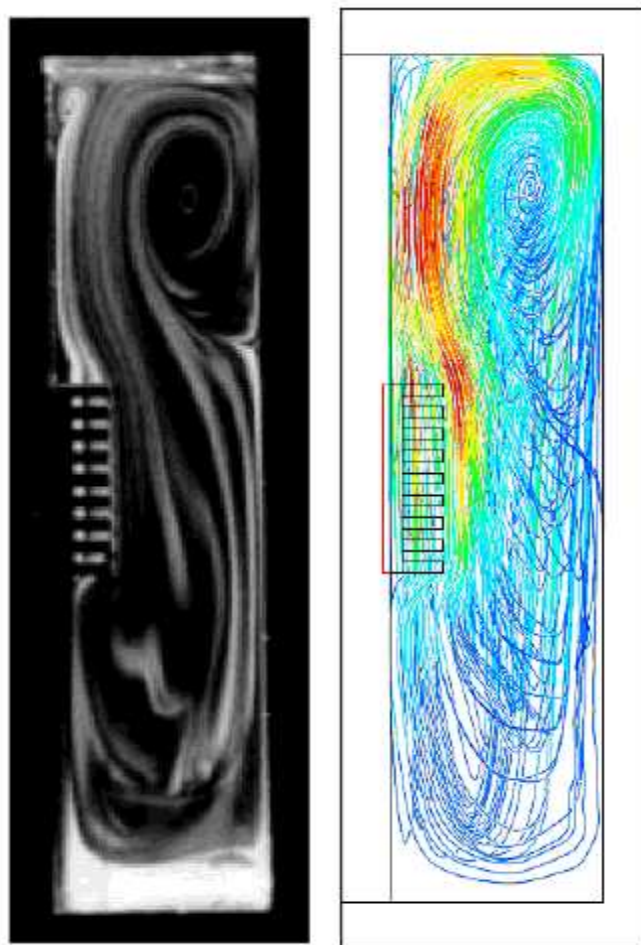
$\rho U^2 / 2$... vstupní dynamický proud

Závislost součinitele odporu C_D a Reynoldsova čísla Re podle programu Flow Simulation (červené označení) v porovnání s experimentálními výpočty (černé označení) viz obrázek č. 34. [19]



Obr. 34. Závislost součinitele odporu C_D a Reynoldsova čísla Re [19]

Dalším příkladem je demonstrace průtoku vzduchu pomocí kouře v porovnání se získanými výsledky v programu Flow Simulation (viz obrázek č. 35). [19]



Obr. 35. Porovnání průtoku vzduch pomocí kouře a pomocí Flow Simulation [19]

6 PRÁCE V MODULU FLOW SIMULATION

6.1 Nastavení parametrů simulace

Abychom mohli spustit simulaci, od které očekáváme užitečné výsledky, tak musíme dbát na správné nastavení všech parametrů, protože i malá chyba při zadávání nám může velmi zkreslit výsledky simulace.

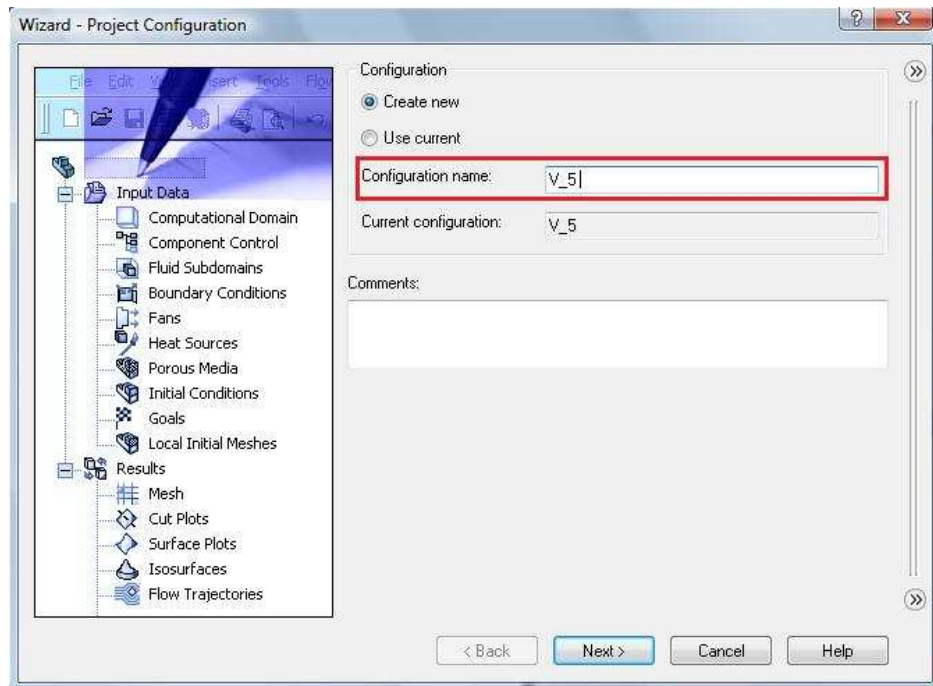
6.1.1 Vytvoření projektu

Vlastní projekt vytvoříme kliknutím na ikonu Wizard viz obrázek č. 36. Nebo ji najdeme: Horní panel – Flow Simulation – Project – Wizard.



Obr. 36. Vytvoření projektu

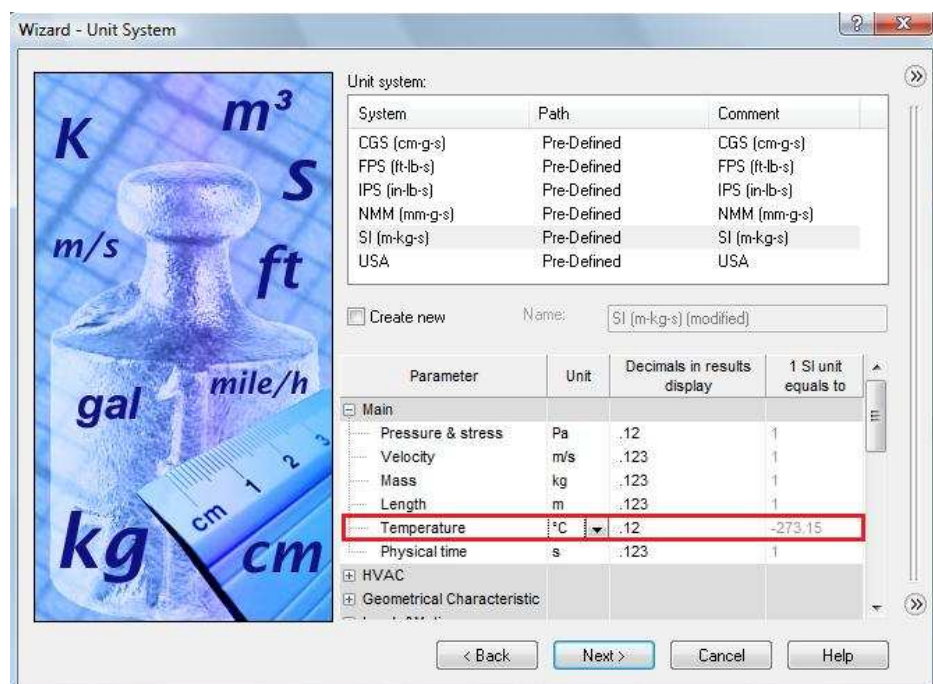
Po kliknutí na ikonu Wizard se nám otevře okno nastavení, kde pojmenujeme náš projekt (viz obrázek č. 37). Do názvu je zadáno V_5 což znamená, že rychlost větru v tomto projektu bude 5 m/s. To usnadňuje orientaci, pokud máme projektů více.



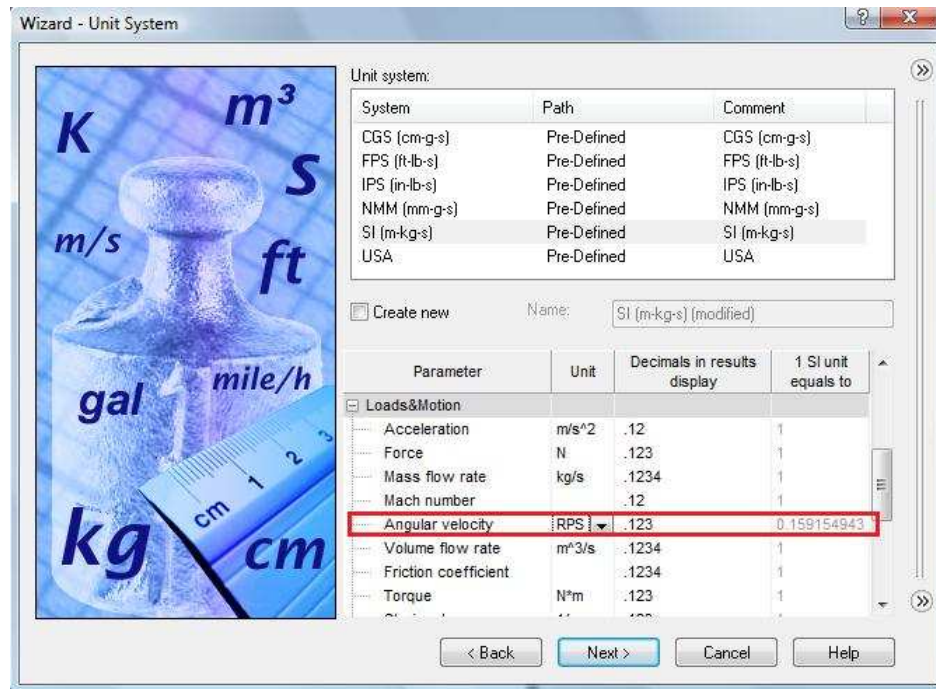
Obr. 37. Pojmenování projektu

6.1.2 Definování jednotek v projektu

Norma SI nastavuje parametr teploty v Kelvinech [K], proto musíme přepnout na stupně Celsia [°C] viz obrázek č. 38. Pokud pracujeme s otáčkami, tak ještě změníme otáčky z rad/s na RPS (*Revolutions per second* – otáčky za sekundu, viz obrázek č. 39).



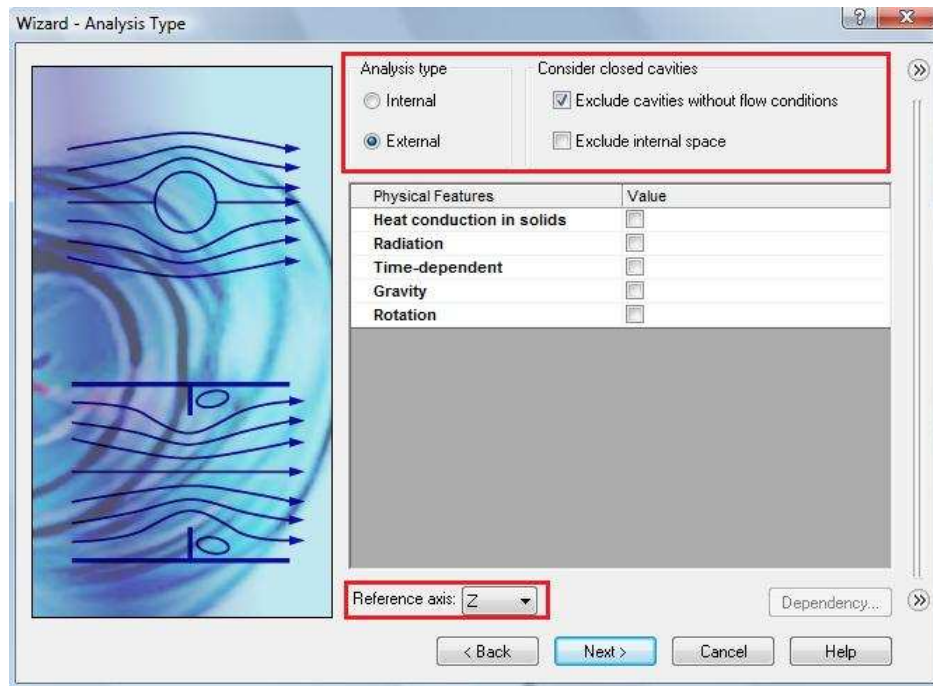
Obr. 38. Nastavení jednotek teploty



Obr. 39. Nastavení jednotek otáček

6.1.3 Definování typu analýzy

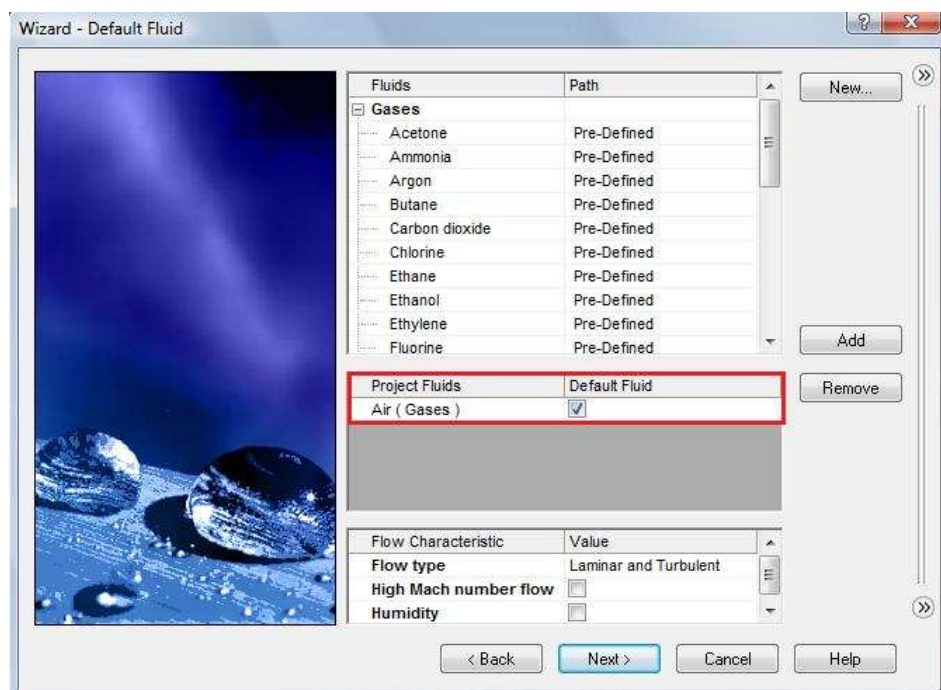
Typ analýzy zvolíme externí s kavitací, protože kdybychom zvolili interní tak bychom do analýzy zahrnuli pouze vnitřní proudění (viz obrázek č. 40). Externí obsahuje jak vnější tak vnitřní proudění. Jako referenční osa neboli osa otáčení byla zvolena osa Z. Ostatní hodnoty ponecháme nezměněné.



Obr. 40. Nastavení typu analýzy

6.1.4 Definování protékající látky

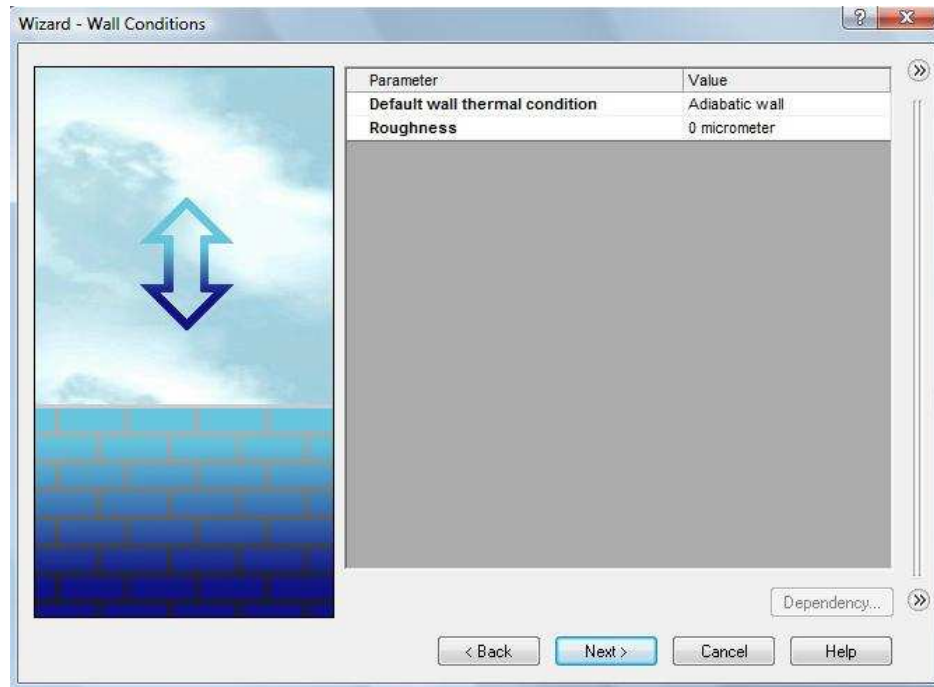
Z plynů (*Gases*) vybereme vzduch (*Air*) a po zvolení se nám objeví v záložce *Project Fluids*. Proudění necháme laminární a turbulentní. Ostatní ponecháme nezměněno (viz obrázek č. 41).



Obr. 41. Nastavení proudící látky

6.1.5 Definování vnějších podmínek

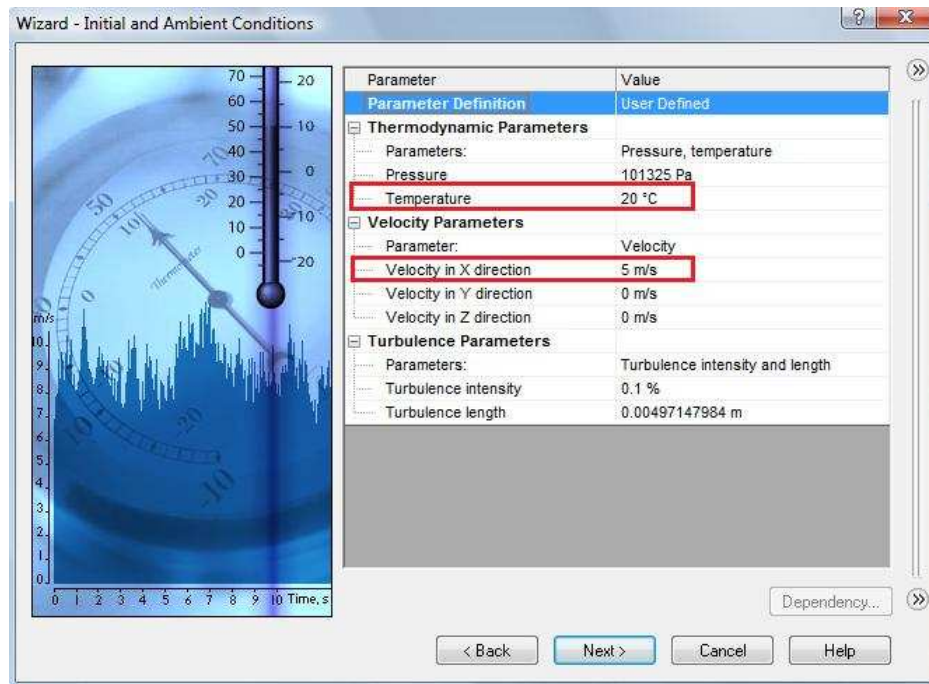
Stěna tělesa je bez sdílení tepla s okolím tzn., adiabatická. Drsnost neuvažujeme (viz obrázek č. 42).



Obr. 42: Nastavení vnějších podmínek

6.1.6 Definování počátečních podmínek

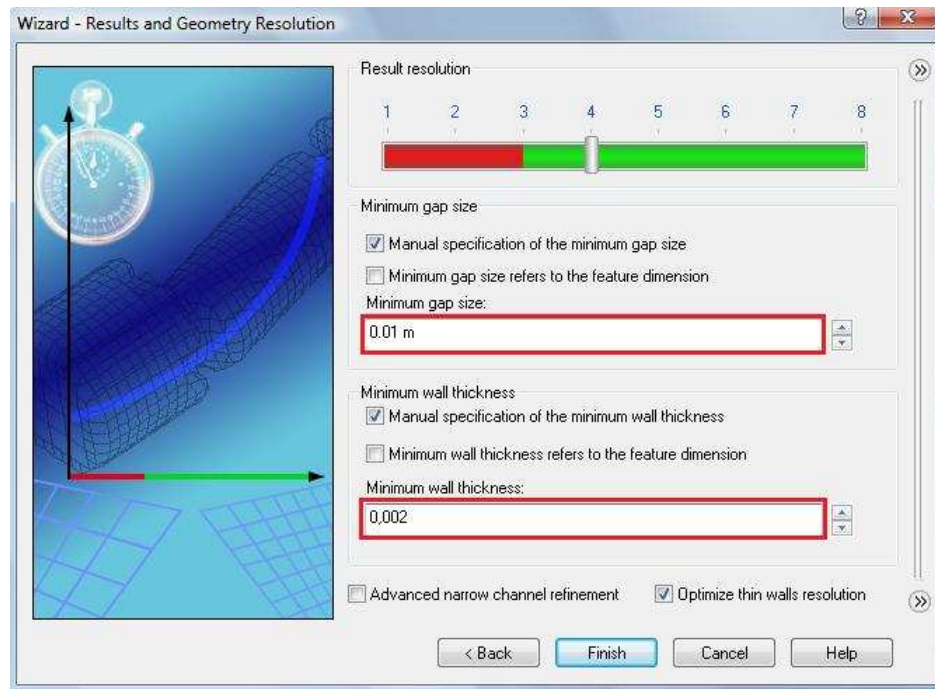
V záložce definující podmínky prostředí (*Thermodynamic Parameters*) změníme teplotu okolí na 20°C. V záložce definující rychlost proudění (*Velocity Parameters*) změníme rychlost v ose X na 5m/s (viz obrázek č. 43).



Obr. 43. Nastavení okolí

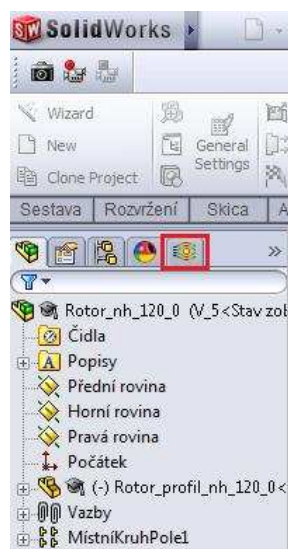
6.1.7 Definice přesnosti výsledků a grafického rozlišení

Přesnost výsledků je možno nastavit na škále od nejnižší 1, kdy je sice výpočet dokončen velmi rychle, ale nelze očekávat kvalitní použitelné výsledky, až po hodnotu 8, kdy se sice doba výpočtu může protáhnout na desítky hodin až dní, ale výsledky takovéto analýzy jsou již velmi přesné. Hodnota je automaticky přednastavena na hodnotu 3, ale byla manuálně zvýšena na hodnotu 4, která byla shledána jako kompromisní hodnota, kdy se zachová přesnost výpočtu při akceptovatelné době výpočtu. Dále byla hodnota minimální mezery manuálně změněna na 0,01m a tloušťky stěny na 0,002m (viz obrázek č. 44).



Obr. 44. Nastavení přesnosti výpočtu

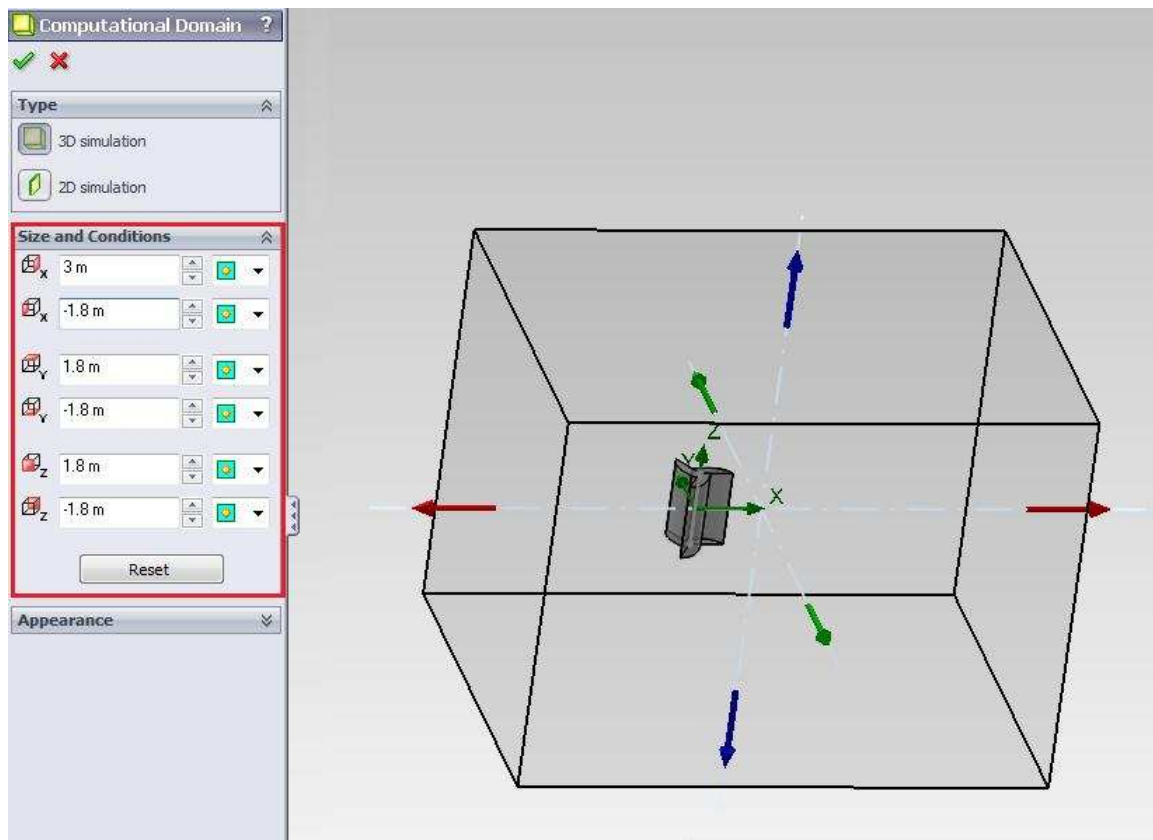
Po nastavení všech potřebných parametrů můžeme pomocí tlačítka *Finish* ukončit *Wizard* a tím vytvoříme projekt s názvem V_5. Poté se nám v postranním panelu objeví záložka *Flow Simulation analysis tree* (viz obrázek č. 45), ve které musíme nadefinovat další nutné parametry.



Obr. 45. Záložka
Flow Simulation
analysis tree

6.1.8 Definice oblasti výpočtu

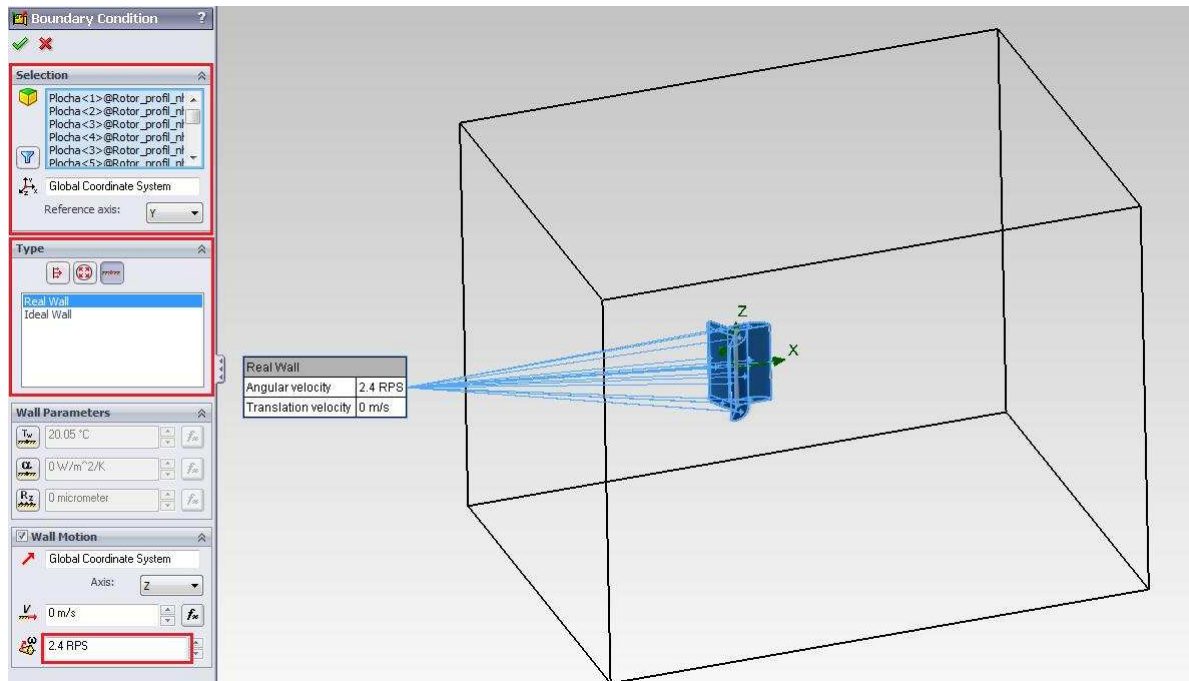
Dále je vhodné upravit nastavení oblasti výpočtu *Computation Domain* (viz obrázek č. 46), které nalezneme ve stromě *Input Data* pod záložkou *Flow Simulation analysis tree*. Hodnoty byly manuálně upraveny na domluvené hodnoty (1,8m všechny hodnoty kromě prostoru za tělesem, který byla změněn na 3m, kvůli pozdějšímu rozboru větrných víru za rotorem).



Obr. 46. Nastavení oblasti výpočtu

6.1.9 Definice rotace

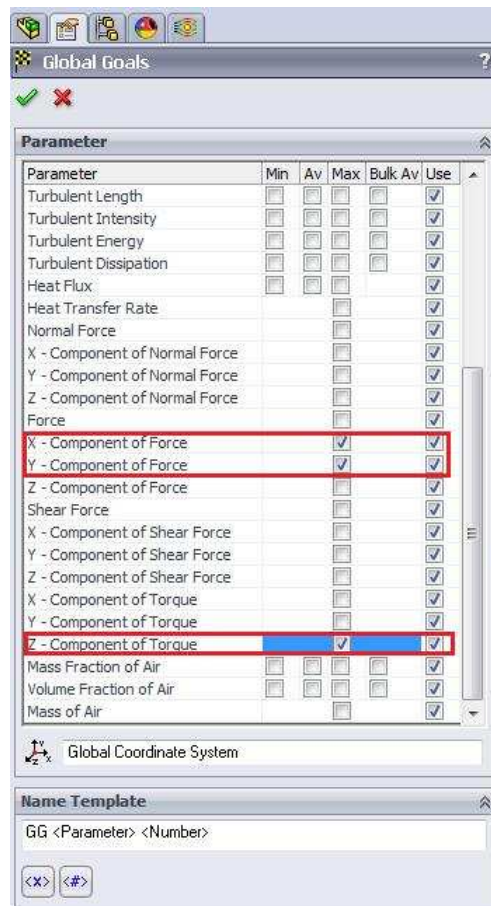
Pokud chceme počítat s různými otáčkami, tak toto musíme definovat v *Boundary Condition*, které najdeme v záložce *Input Data*. Zde musíme vybrat všechny plochy rotoru. Referenční osu musíme změnit na Y. Typ je *Wall* a dále vybereme *Real Wall*. V záložce *Wall Motion* nastavíme manuálně otáčky jako v tomto případě na 2,4 ot/s. Další hodnoty ponecháme beze změny (viz obrázek č. 47).



Obr. 47. Nastavení rotace

6.1.10 Definice cílů výpočtu

Abychom z analýzy dostaly výsledky, které požadujeme, tak je ještě před spuštěním výpočtu musíme definovat. V záložce *Input Data* najdeme záložku *Goals*, na kterou prvním tlačítkem myši klikneme, poté vybereme *Insert Global Goals* pro definování cílů výpočtu. Následně se nám otevře tabulka, kde vybere zatížení v osách X, Y a krouticí moment v ose Z neboli *X - Component of Force*, *Y - Component of Force* a *Z - Komponent of Torque* (viz obrázek č. 48).



Obr. 48. Nastavení cílů výpočtů

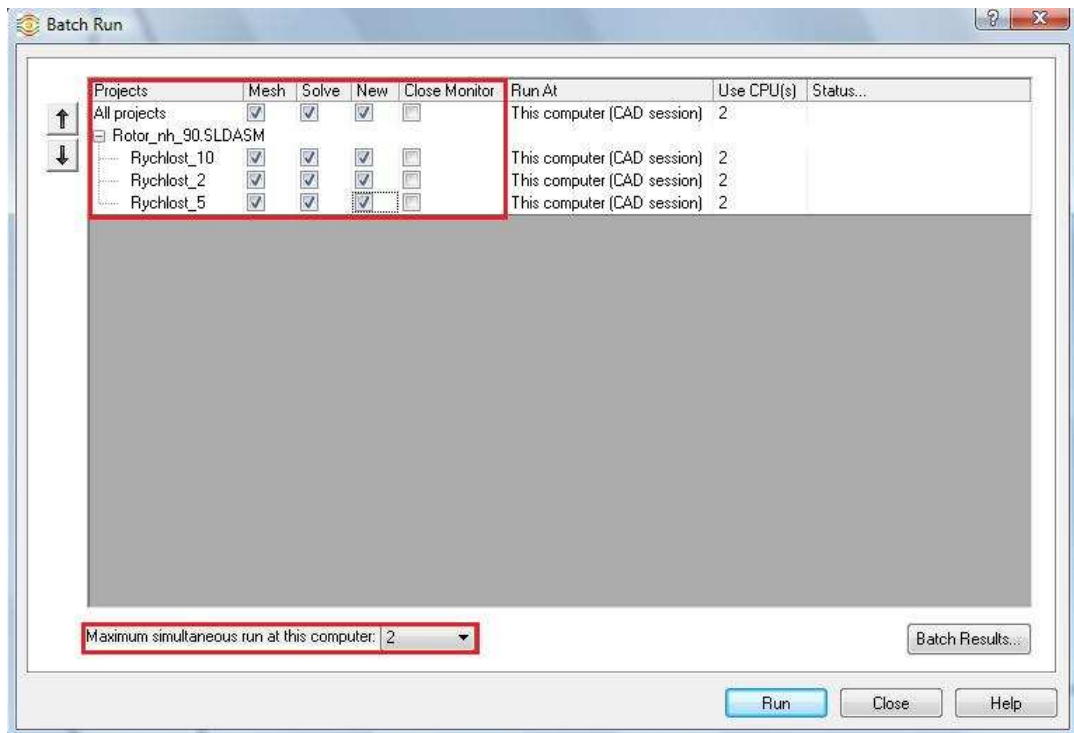
6.2 Spuštění simulace

Samotný výpočet spustíme pomocí tlačítka Run (viz obrázek č. 49) nebo Flow Simulation - Solve – Run.



Obr. 49. Spuštění simulace

Pokud máme nadefinováno více projektů (například pro různě rychlosti proudění látky nebo různé otáčky), tak je výhodné použít funkce *Batch Run*, kde můžeme nastavit výpočet tak, že se nám postupně vypočítají všechny zvolené projekty a my to tak nemusíme provádět manuálně. V okně ještě můžeme nastavit funkci *Close Monitor* pro to aby se po ukončení výpočtu zavíralo okno s výpočty. Dole můžeme nastavit i kolik bude maximálně využito jader procesoru k výpočtům (viz obrázek č. 50).



Obr. 50. Nastavení Batch run

6.3 Doba výpočtu

Doba výpočtu simulace závisí na mnoha faktorech, z nichž nejvíce zásadní jsou:

- výkon počítače, na kterém je prováděn výpočet
- složitost daného projektu
- nastavená přesnost výpočtu

Výpočet byl prováděn na dvou typech počítačů, osobní (viz tabulka č. 2) a počítač, který byl k dispozici ve školních laboratořích (viz tabulka č. 3).

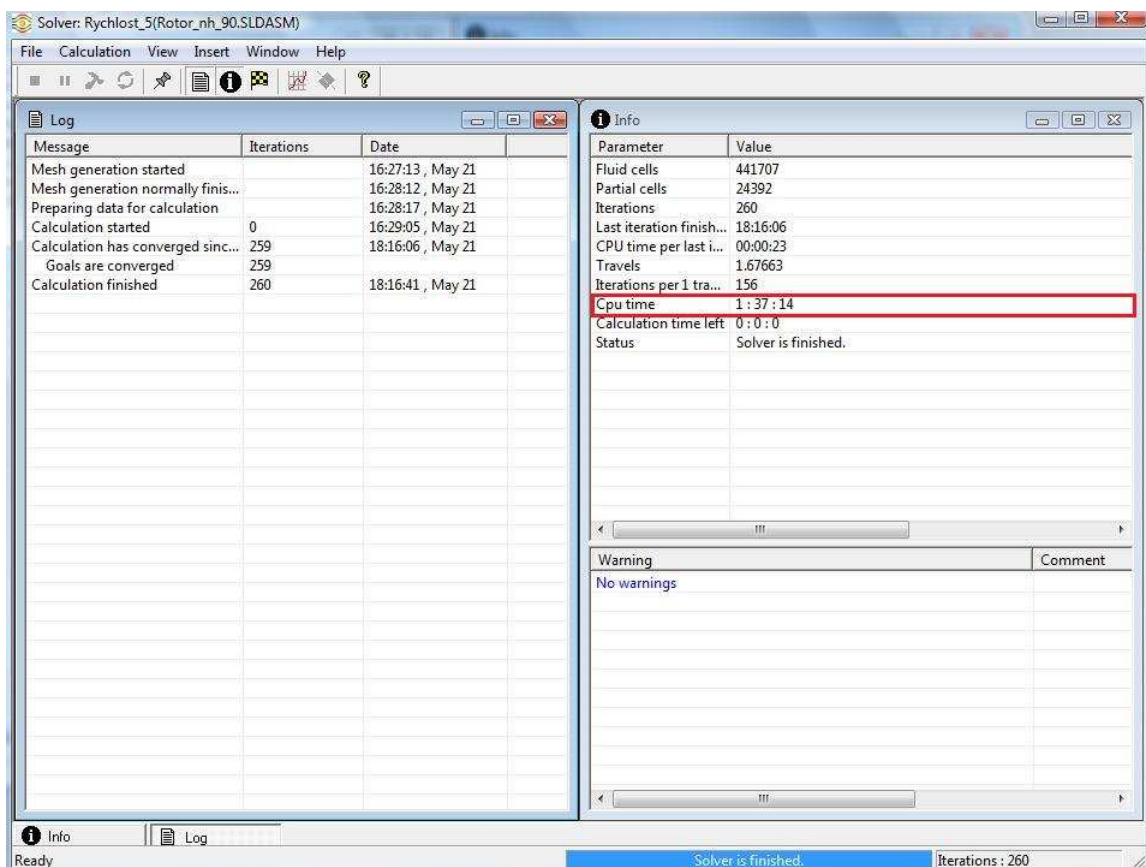
Tab. 2. Charakteristika osobního PC

Výrobce	T.S.BOHEMIA
Model	PC1 W Series
Procesor	Intel® Core™ 2 Duo CPU E8400 @ 3.00GHz 3.00GHz
Paměť (RAM)	4,00 GB
Typ systému	64bitový operační systém Windows Vista™ Home Premium

Tab. 3. Charakteristika školního PC

Výrobce	Fujitsu
Procesor	Intel® Core™ CPU 540 @ 3.07GHz 3.06GHz
Paměť (RAM)	4,00 GB
Typ systému	64bitový operační systém Windows 7 Professional

Dobu výpočtu můžeme nalézt v okně *Solver*, které se nám otevře při zapnutí výpočtu a je označena jako *Cpu time* (viz obrázek č. 50). V tomto okně můžeme sledovat celý průběh simulace.



Obr. 51. Doba výpočtu

Samotná doba výpočtu jedné konfigurace (Projektu) se pohybovala ve všech simulacích v rozsahu 1-2 hodin pro přesnost výpočtu 4. Při hodnotě 5 se již doba výpočtu protáhla na přibližně 16 hodin, a proto by bylo velmi časově náročné počítat touto přesností na dostupném počítačovém vybavení.

Tab. 4. Příklad celkové doby výpočtu pro Rotor_Nh_90 a různé rychlosti větru

Rychlost větru [m/s]	Hodiny:Minuty:Sekundy
2	1:49:37
5	1:37:14
10	1:40:19
Celkový čas výpočtu	5:07:10

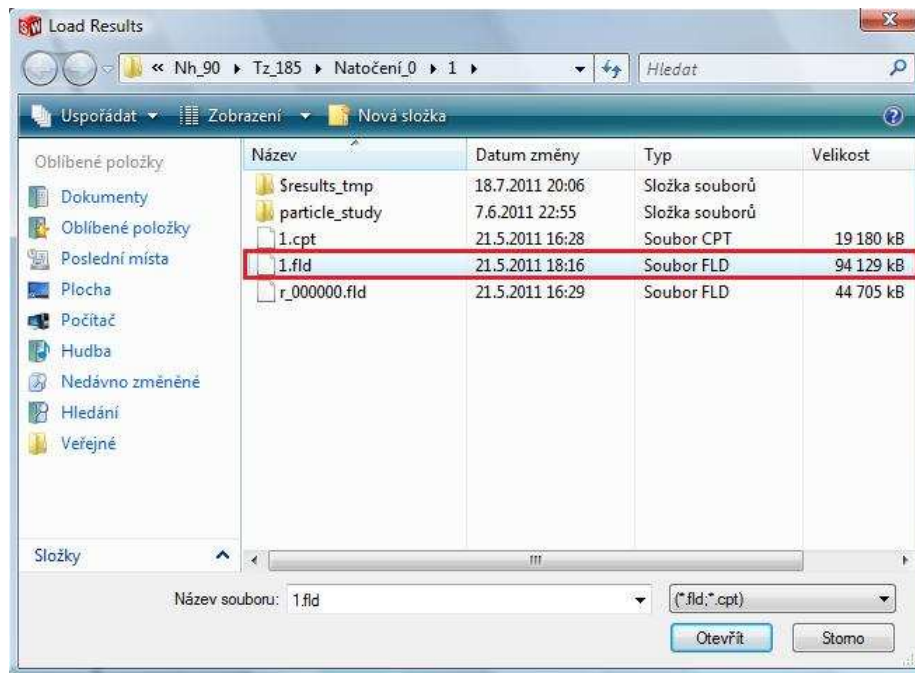
6.4 Načtení výsledků

Poté co se nám v okně Solver objeví dole nápis „*Solver is finished*“ tak to znamená, že výpočet byl hotov a my můžeme dále pracovat s výsledky. Načtení vypočítaných cílů (*Goals*) najdeme záložce *Flow Simulation analysis tree – Results – Goal Plot*, na ten klikneme, pravím tlačítkem myši a z nabídnutých možností vybereme *Insert...* Poté si můžeme vybrat, jaké vypočítané cíle chceme ukázat, jestliže chceme ukázat všechny, tak zatrhneme *All*. Po kliknutí na *OK* se nám výsledky otevřou v programu MS Excel a my s nimi můžeme dále pracovat (viz obrázek č. 52).



Obr. 52. Načtení výsledků

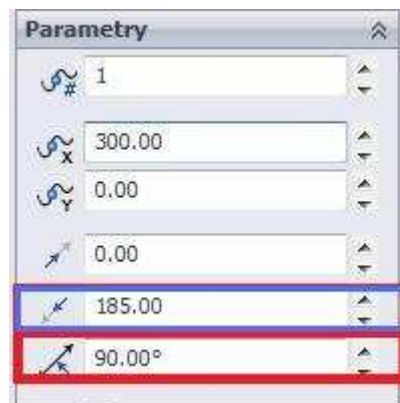
Pokud otevíráme již dokončenou analýzu a potřebuje pracovat s výsledky, tak musíme výsledky načíst do SolidWorksu ze složky kde je máme uloženy. Toto provedeme pomocí ikony *Load/Unload Results* nebo v záložce *Flow Simulation* najdeme *Results – Load/Unload Results*. Ve složce najdeme soubor například *1.fld* (jednička bývá obvykle automaticky číslo projektu, jestliže jich máme víc, tak se číslují postupně 1,2,... a nejčastěji to bývá ten největší soubor ve složce) a dvakrát na něj klikneme (viz obrázek č. 50).



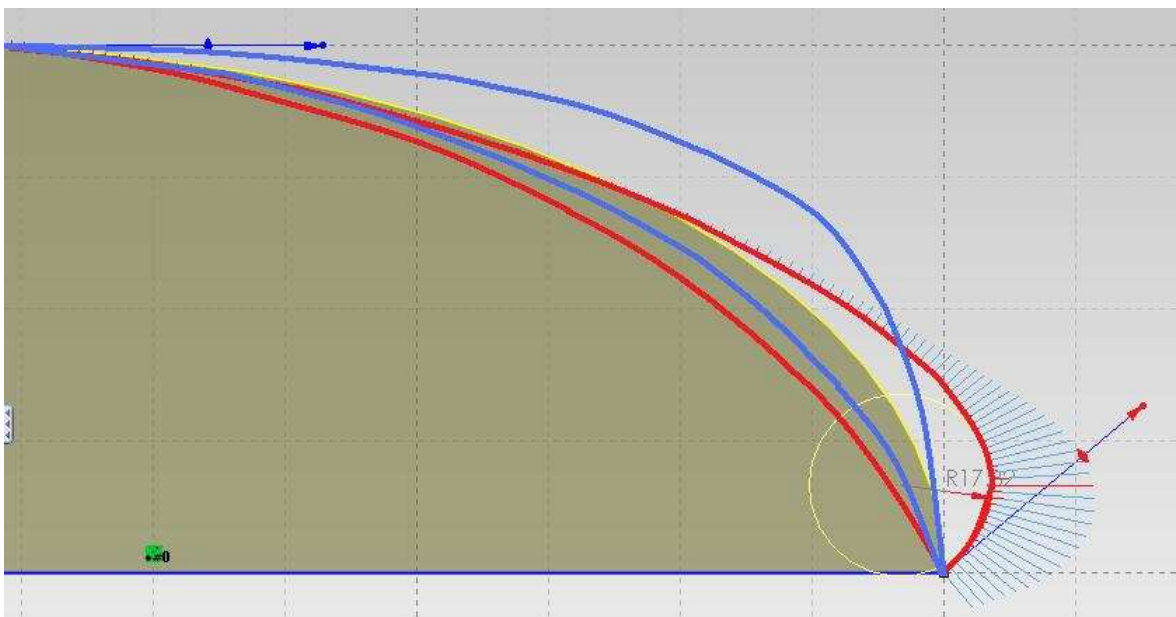
Obr. 53. Načtení výsledků ze složky

7 KONSTRUKCE ROTORŮ

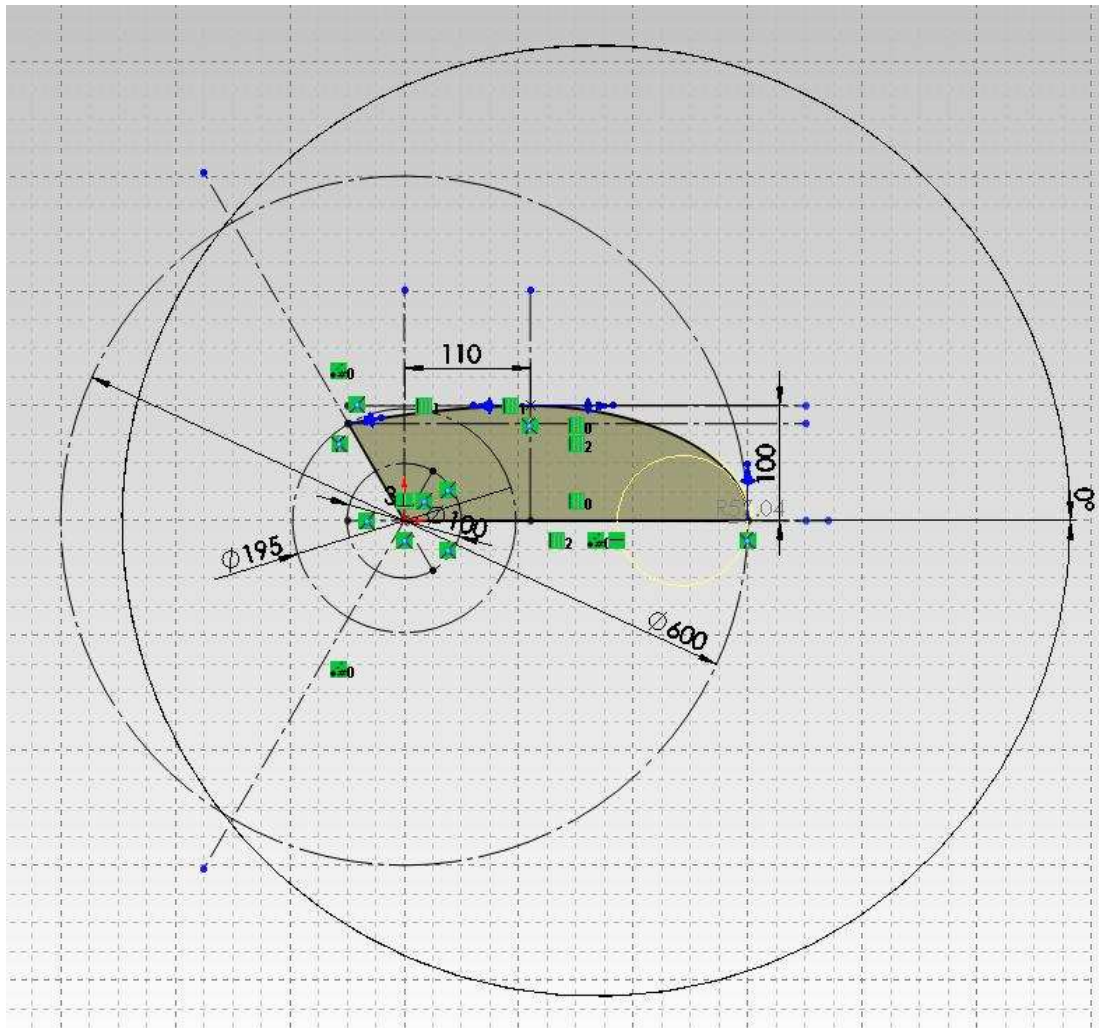
Jako základní rotor byl zkonstruován profil s parametry převzatými z příslušné literatury (viz tabulka č. a obrázky č.). Základní parametry pro zkoumání vlivu náběžné hrany na účinnost průtažného rotoru jsou tzv. Směr tečnosti (v základním profilu je roven 90°) a ještě je možné měnit Tečné zatížení 2 (v základním profilu je rovno 185) viz obrázek č. 54. Vliv změny parametrů náběžné hrany lze pozorovat na obrázku č. 55, kde červená čára značí vliv změny Směru tečnosti (čím větší hodnota tím se lopatka stává plošší a naopak) a modrá čára značí vliv změny Tečného zatížení 2 (čím menší hodnota tím se lopatka stává plošší a naopak). Výška rotoru činí 700 mm.



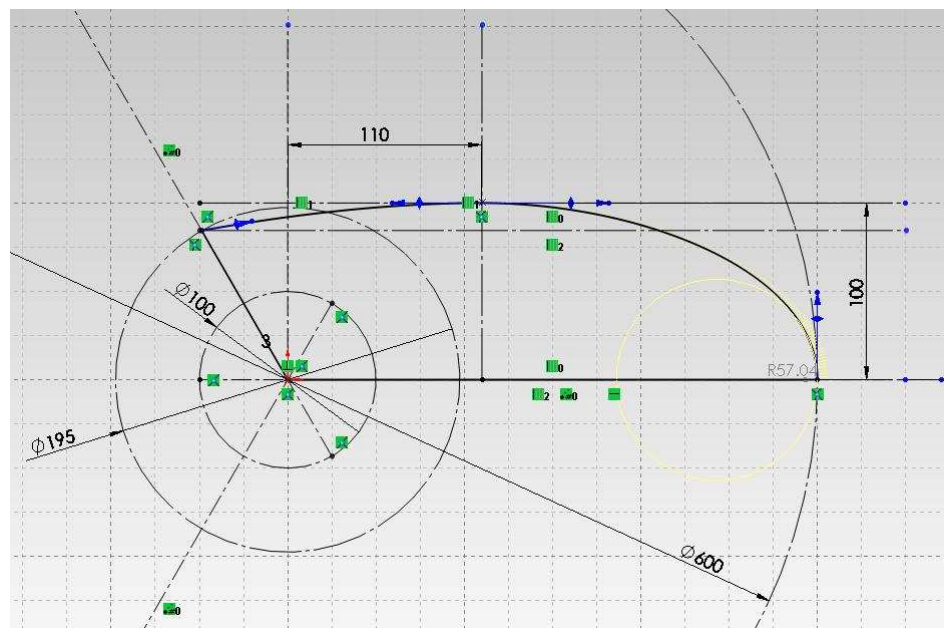
Obr. 54. Základní parametry
náběžné hrany



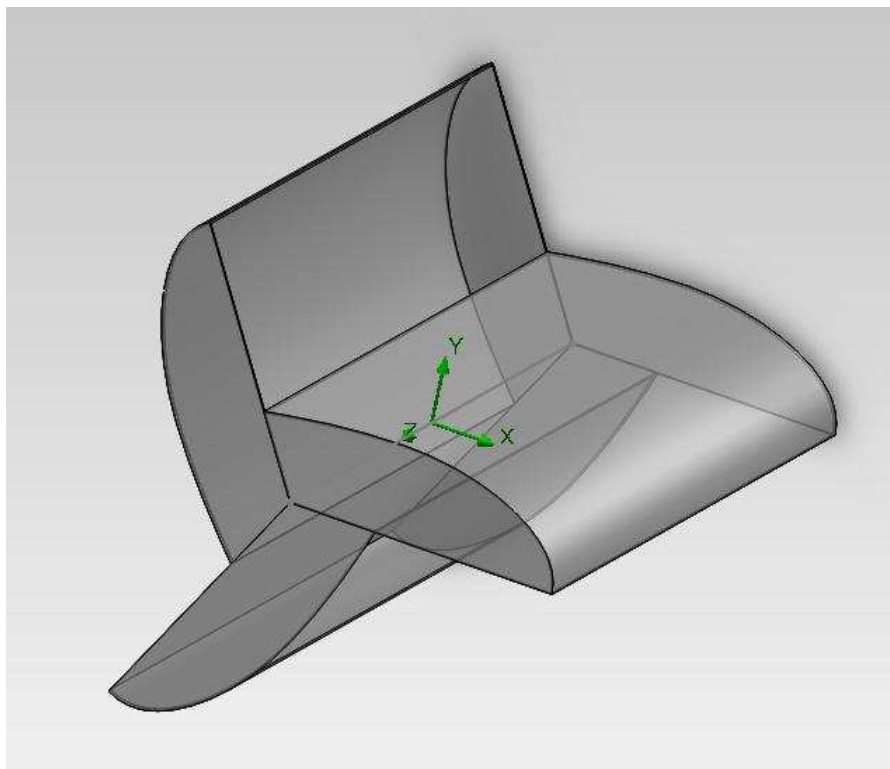
Obr. 55. Náčrt vlivů změny hodnot parametrů náběžné hrany



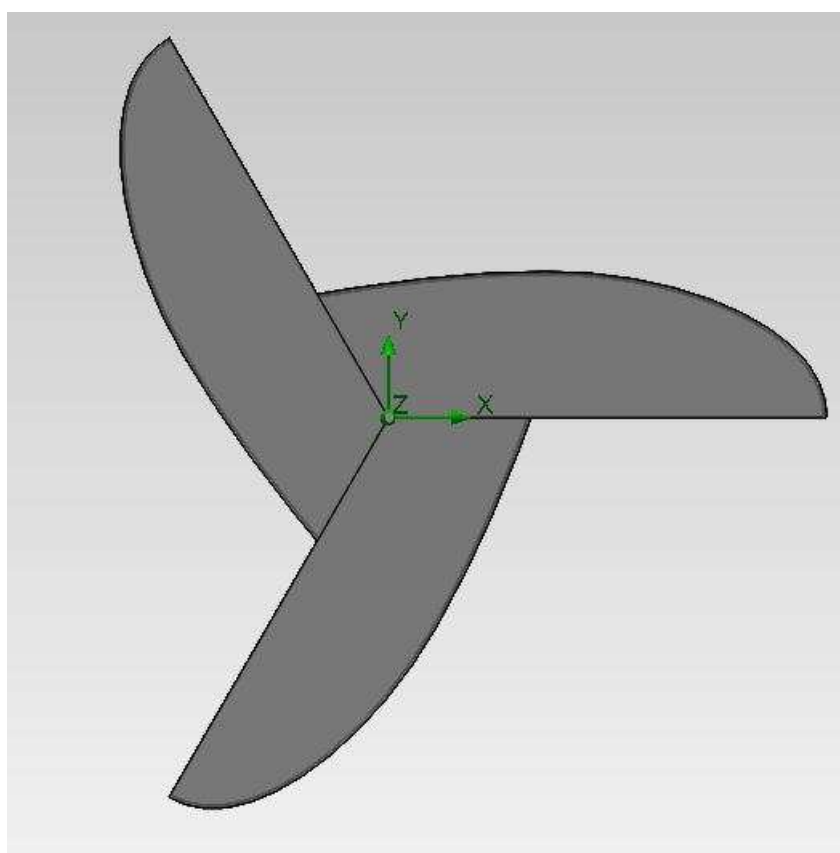
Obr. 56. Skica profilu lopatky základního rotoru



Obr. 57. Detail profilu lopatky základního rotoru



Obr. 58. Základní rotor



Obr. 59. Natočení 0° vzhledem k ose x

8 SIMULACE ROTORŮ

V samotných simulacích byly počítány změny výše zmíněných parametrů na účinnost rotoru.

8.1 Simulace základního rotoru

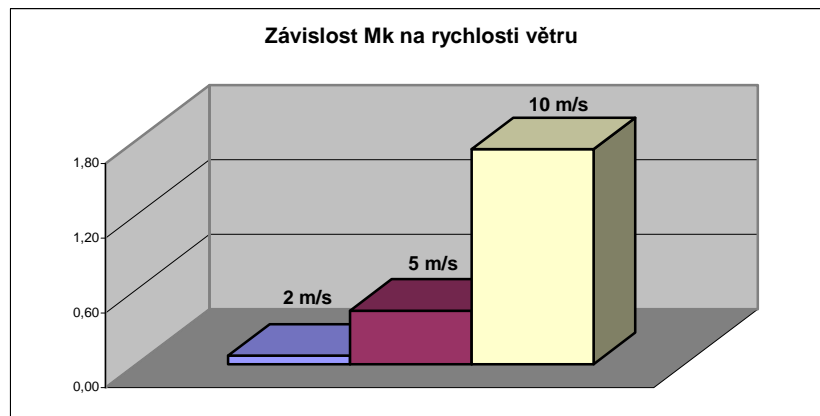
Aby se mohla vylepšit účinnost rotoru, tak nejdříve musely být provedeny simulace na základním profilu lopatky, aby se s nimi mohly dále porovnávat výsledky, které byly provedeny na upraveném profilu lopatky. Rychlosti větru, při které byly simulovány vlastnosti základního rotoru, činily 2 m/s, 5 m/s a 10 m/s (při natočení 0°). Rotor byl nejdříve simulován při nulových otáčkách a poté byly nastaveny otáčky, aby se mohl zjistit vliv otáčet na účinnost rotoru. Rotor je pojmenován Rotor_Nh_90, protože úhel natočení náběžné hrany je pro tento případ 90°.

8.1.1 Porovnání výsledků simulací při různých rychlostech a natočení 0°

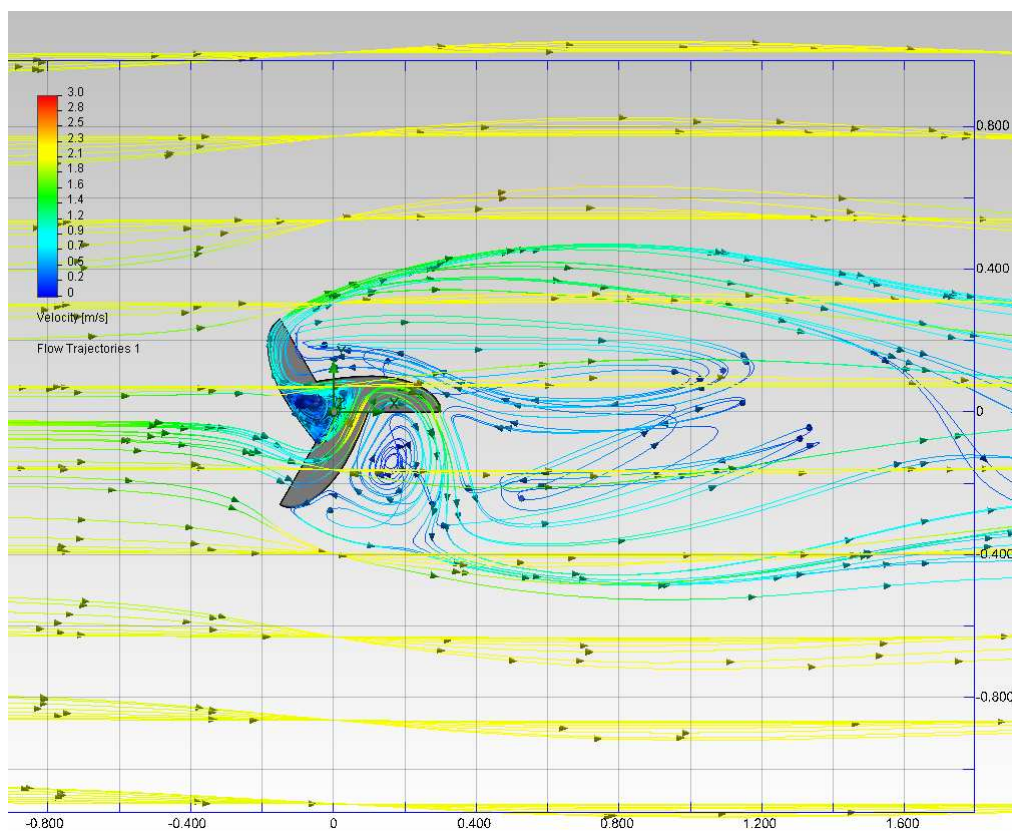
Z výsledků simulace je zřejmé, že nejužší Krouticí moment působí na rotor při rychlosti 10 m/s viz obrázek č. 60 a tabulka č. 5. Vzhledem k tomu, že průměrná rychlost v ČR se pohybuje okolo 7 m/s, tak další simulace se budou provádět rychlostí 5 m/s. Dále lze na zobrazených trajektoriích zpozorovat zvyšujících se turbulence za rotorem při vyšších rychlostech viz obrázky č. 61,62 a 63.

Tab. 5. Závislost M_k na rychlosti větru

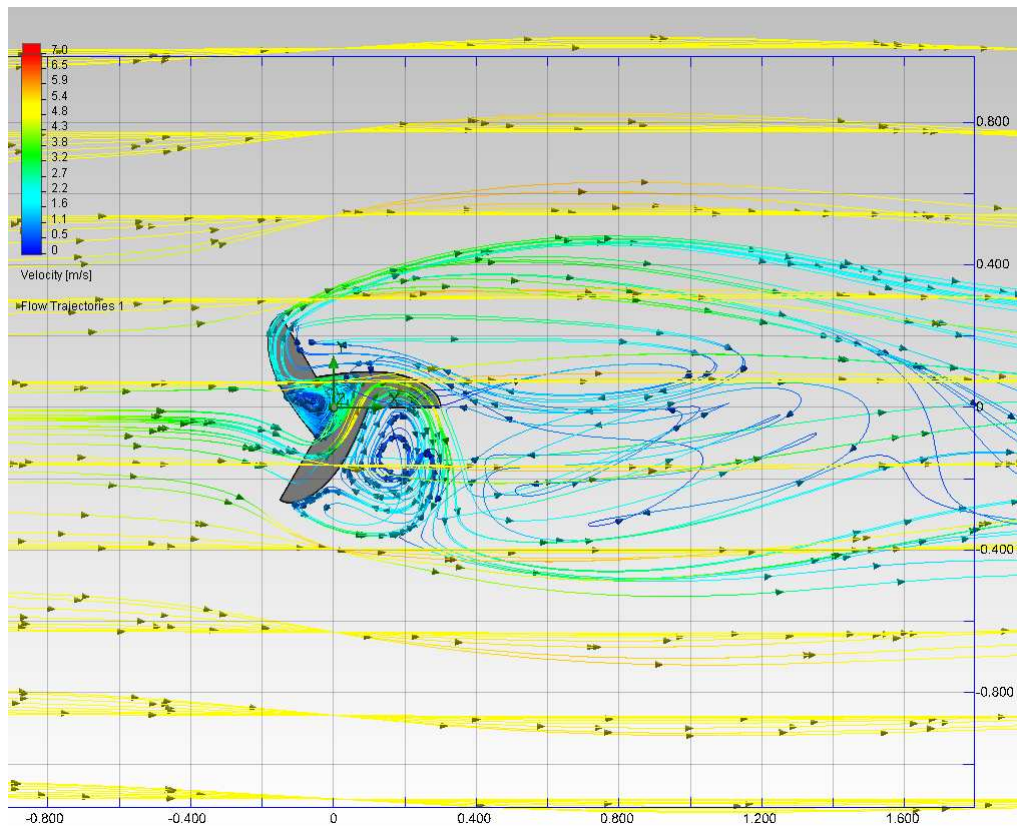
v [m/s]	M_k [N.m]
2	0,067620
5	0,429173
10	1,726482



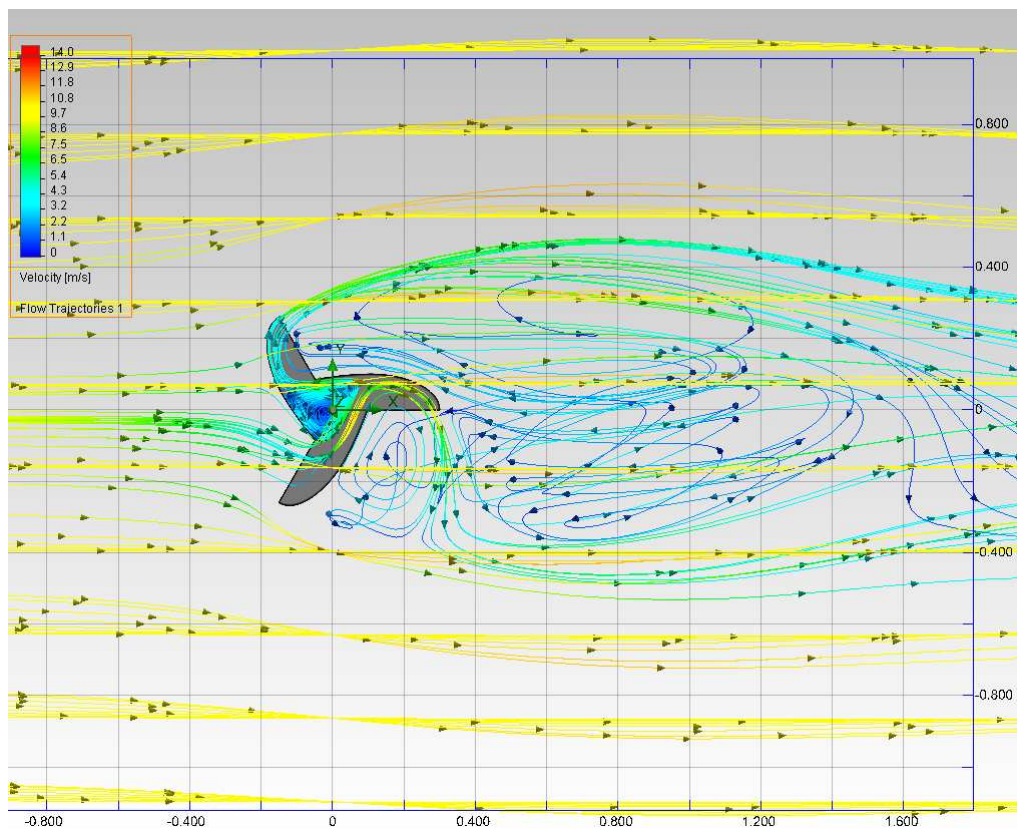
Obr. 60. Závislost M_k na rychlosti větru



Obr. 61. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_{90} pro rychlost 2 m/s



Obr. 62. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_90 pro rychlost 5 m/s



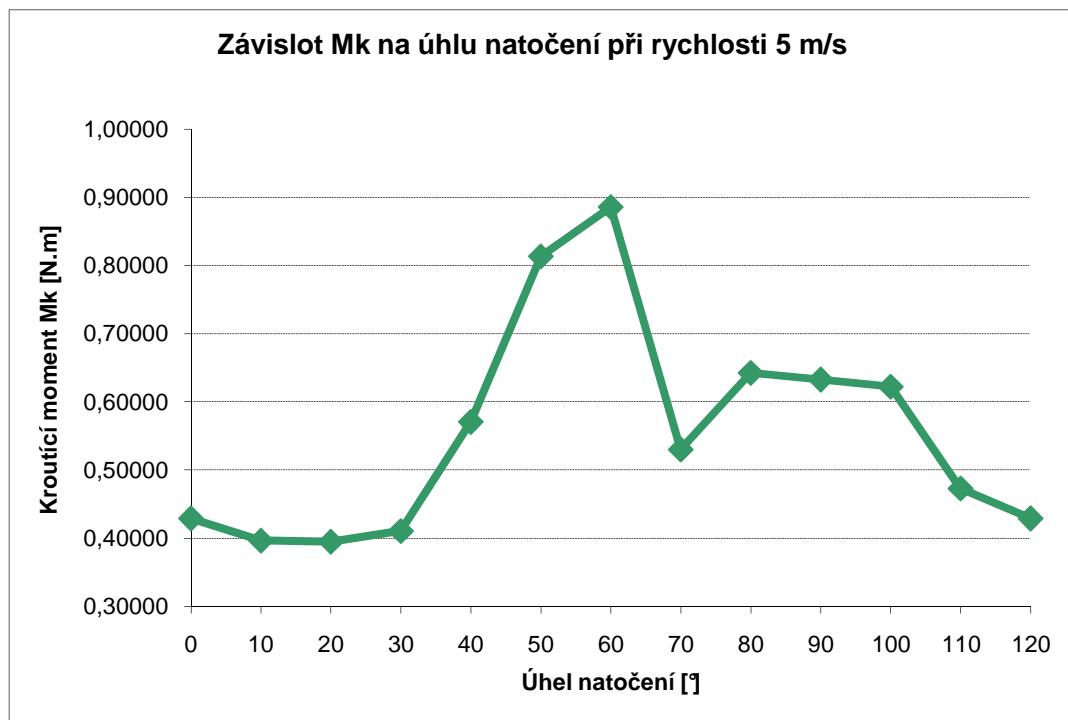
Obr. 63. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_90 pro rychlost 10 m/s

8.1.2 Závislost M_k na úhlu natočení při rychlosti 5 m/s ve statickém stavu

Z grafu vyplývá, že největší kroučící moment M_k na rotor působí mezi úhly natočení 50-60° viz tabulka č. 6 a obrázek č. 64. Následně poté se M_k výrazně sníží a ustálí se na nižších hodnotách oproti maximu.

Tab 6. Závislost M_k na úhlu natočení rotoru

Úhel natočení [°]	M_k v ose z [N.m]
0	0,42917
10	0,39662
20	0,39498
30	0,41063
40	0,57071
50	0,81321
60	0,88553
70	0,53015
80	0,64246
90	0,63269
100	0,62225
110	0,47298
120	0,42917
∅	0,56678
Max	0,88553



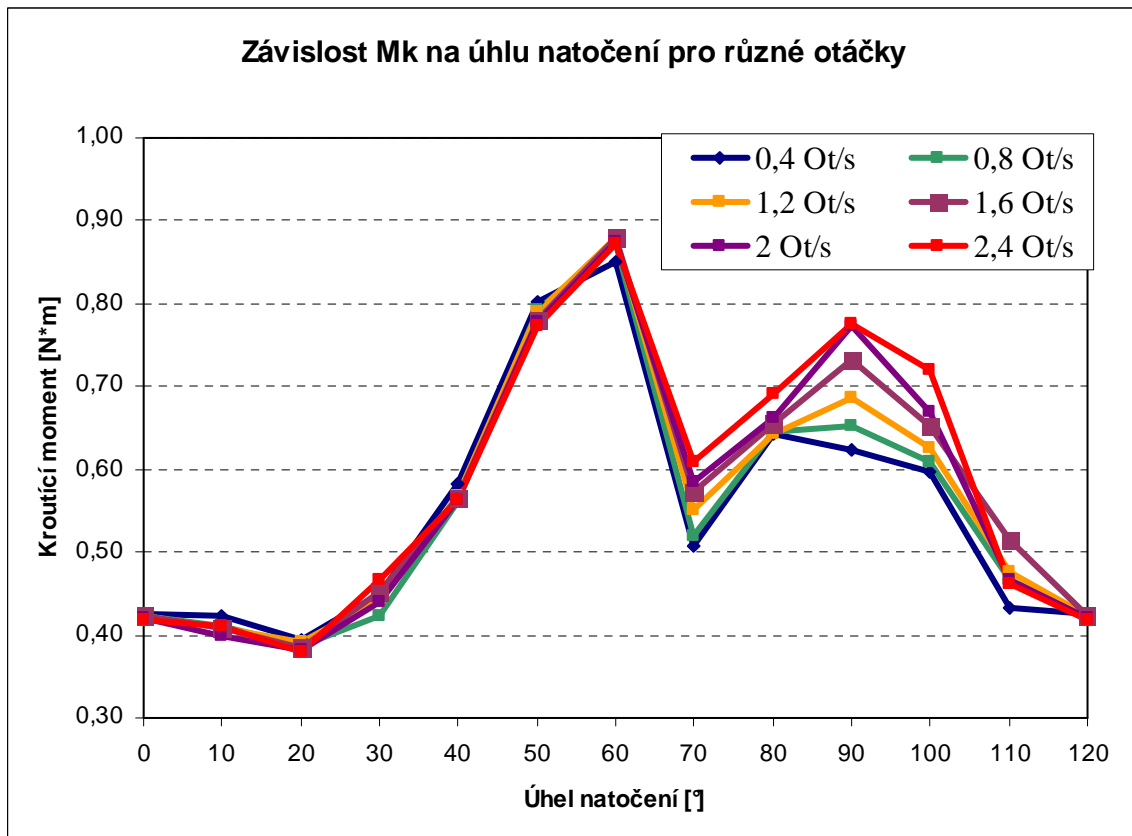
Obr. 64. Graf závislosti M_k na úhlu natočení

8.1.3 Závislost M_k na úhlu natočení při rychlosti 5 m/s při různých otáčkách

Ze zjištěných výsledků vyplývá, že se kroučící moment M_k se zvyšujícími otáčkami postupně zvyšuje, ale jen pozvolna, v řádech procent, viz tabulka č. 6. Z grafu je patrné, že křivky jsou téměř shodné, ale mezi úhly natočení 80-100° se vyšší otáčky projevují zvýšeným kroučícím momentem, viz obrázek č. 65.

Tab. 7. Závislost M_k na úhlu natočení při různých otáčkách

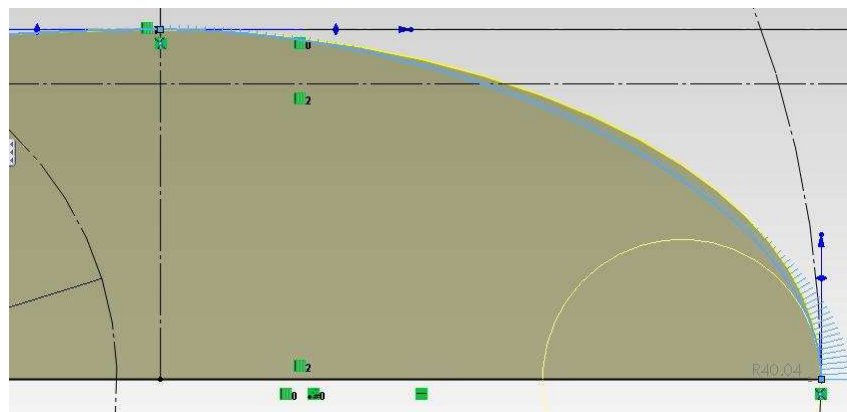
Úhel natočení [°]	Kroučící moment M_k v ose z [N*m]					
	0,4 [Ot/s]	0,8 [Ot/s]	1,2 [Ot/s]	1,6 [Ot/s]	2 [Ot/s]	2,4 [Ot/s]
0	0,425174	0,422967	0,423757	0,423215	0,420713	0,418991
10	0,422851	0,411528	0,407482	0,407766	0,399909	0,410278
20	0,394736	0,386629	0,391461	0,384591	0,382007	0,379813
30	0,448605	0,423644	0,442931	0,451191	0,440574	0,466677
40	0,582648	0,560440	0,568511	0,566094	0,563906	0,562170
50	0,802032	0,791843	0,789343	0,779938	0,778303	0,772364
60	0,850769	0,871921	0,880405	0,879472	0,875182	0,873228
70	0,508463	0,520096	0,550784	0,571814	0,584098	0,608640
80	0,642362	0,645603	0,642782	0,654094	0,661717	0,690082
90	0,622671	0,651547	0,686449	0,731657	0,773187	0,775629
100	0,596494	0,609547	0,626916	0,651704	0,668775	0,719108
110	0,433728	0,467594	0,475233	0,515279	0,465449	0,461591
120	0,425174	0,422967	0,423757	0,423215	0,420713	0,418991
Ø	0,560878	0,563613	0,573838	0,584735	0,584485	0,594881
Max	0,850769	0,871921	0,880405	0,879472	0,875182	0,873228



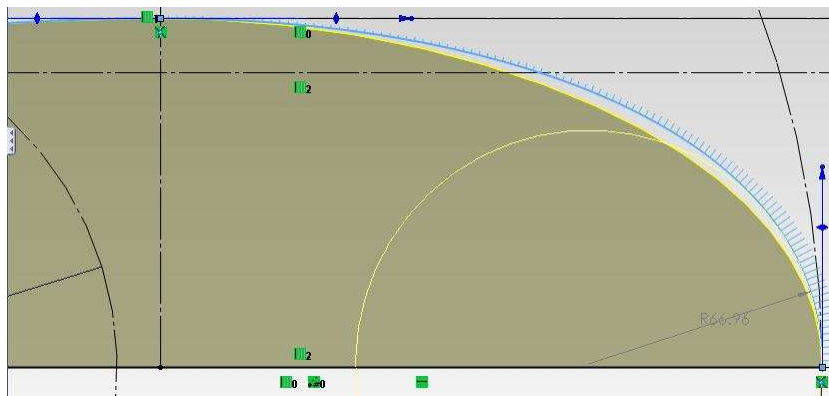
Obr. 65. Graf závislosti M_k na úhlu natočení při různých otáčkách

8.1.4 Závislost M_k na úhlu natočení při rychlosti 5 m/s při změně Těčného zatížení 2

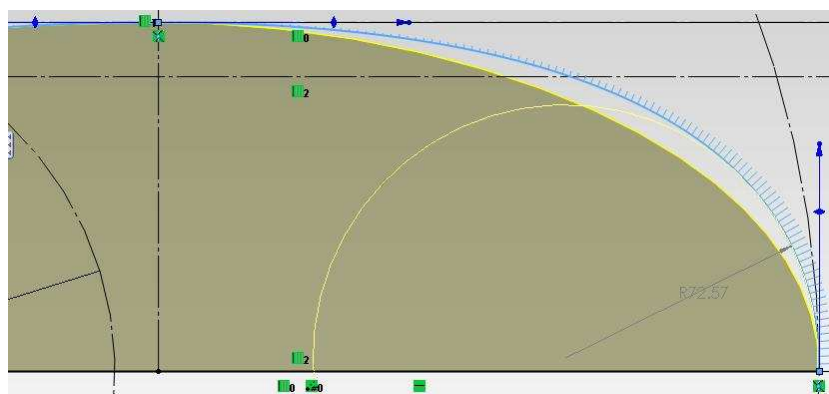
Dále byl posouzen vliv změny parametrů náběžné hrany rotoru nazvaného Tečné zatížení 2. Základní verze rotoru má tuto hodnotu rovnou 185 a taky byly vytvořeny další verze rotoru s hodnotami 155, 215 a 245 viz obrázky 66, 67 a 68, kde je vidět modrá čára (změna oproti původní hodnotě 185) ve skice.



Obr. 66. Změna hodnoty Těčného zatížení 2 ve skice na 155



Obr. 67. Změna hodnoty Tečného zatížení 2 ve skice na 215



Obr. 68. Změna hodnoty Tečného zatížení 2 ve skice na 245

 Tab. 8. Závislost M_k na úhlu natočení při tečném zatížení
155 a 185

Úhel natočení [°]	Kroučící moment v ose z [N*m]	
	Tečné zatížení_155	Tečné zatížení_185
0	0,41503	0,42917
10	0,40759	0,39662
20	0,39702	0,39498
30	0,39670	0,41063
40	0,54783	0,57071
50	0,73813	0,81321
60	0,86820	0,88553
70	0,53450	0,53015
80	0,62695	0,64246
90	0,64937	0,63269
100	0,53826	0,62225
110	0,48924	0,47298
120	0,41503	0,42917
Ø	0,55074	0,56678
Max	0,86820	0,88553

Tab. 9. Závislost M_k na úhlu natočení při tečném zatížení 215 a 245

Úhel natočení [°]	Kroučící moment v ose z [N*m]	
	Tečné zatížení_215	Tečné zatížení_245
0	0,42165	0,42313
10	0,42233	0,43902
20	0,38724	0,40643
30	0,49495	0,46376
40	0,57555	0,59424
50	0,80397	0,86788
60	0,81433	0,80722
70	0,55293	0,52346
80	0,68467	0,66300
90	0,68945	0,68059
100	0,58859	0,61615
110	0,46954	0,48854
120	0,42165	0,42313
Ø	0,57543	0,58112
Max	0,81433	0,86788



Obr. 69. Závislost M_k na úhlu natočení při různých hodnotách tečného zatížení.

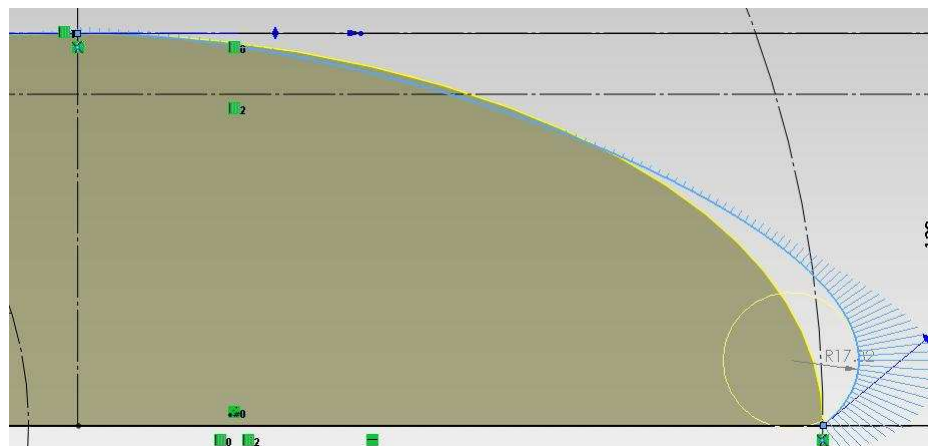
Z výsledků je patrné, že průměrná hodnota krouticího momentu M_k se postupně zvyšuje ze se zvyšující se hodnotou tečného zatížení a naopak. Nejvyšší hodnota M_k byla naměřena u hodnoty 245 a nejnižší u 155, viz tabulky č. 8 a 9. Hodnoty se ale liší jen v řádech procent a z grafu (obrázek č. 69) nelze pozorovat viditelné vlivy změny tohoto parametru na krouticí moment. Přesto by bylo vhodné změnu tohoto parametru podrobit dalšímu zkoumání.

8.2 Konstrukce dalších verzí rotoru

Pro možné vylepšení účinnosti rotoru bylo zkonstruováno několik dalších verzí rotoru, změnou parametru Úhel tečnosti (úhel náběžné hrany rotoru). Na těchto verzích byly prováděny simulace. Pro co nejvíce možností, které by bylo možné srovnávat s původním rotorem, byly simulace prováděny pro rychlost 5 m/s, s krokem úhlu natočení 10° . Název rotorů má formát Rotor_Nh_X (X = hodnota parametrů náběžné hrany tzv. Směr tečnosti).

8.2.1 Srovnání rotorů Nh_40 v původním rotorem Nh_90

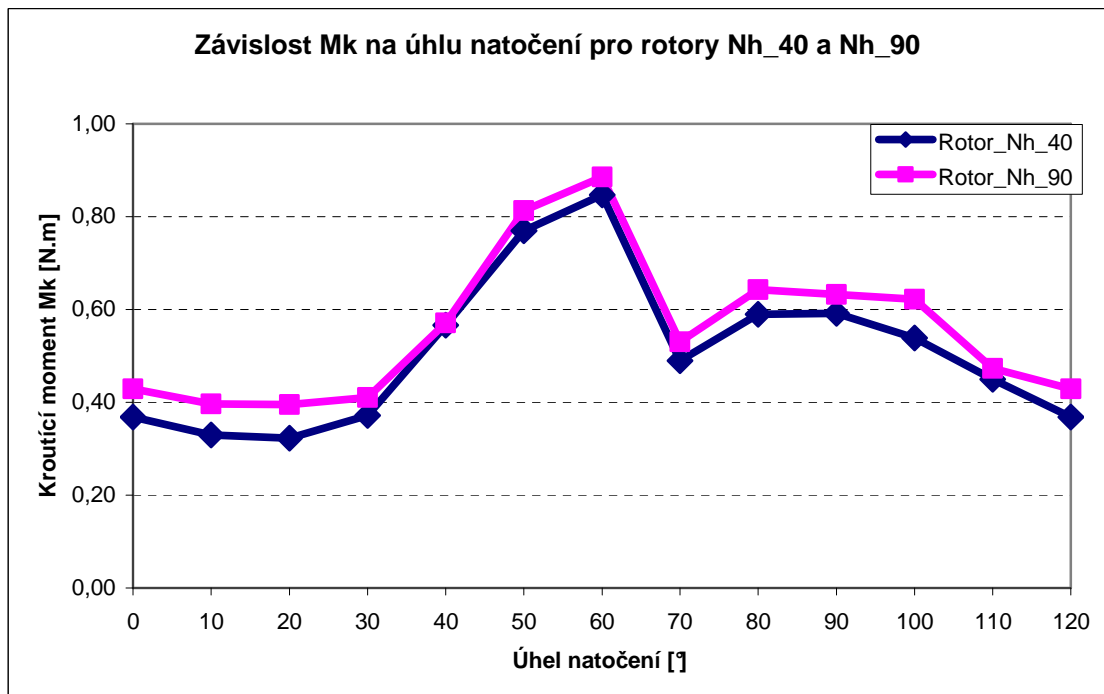
V této verzi byl parametr náběžné hrany lopatky tzv. Směr tečnosti z 90° snížen na 40° a byla pozorována změna krouticího momentu M_k .



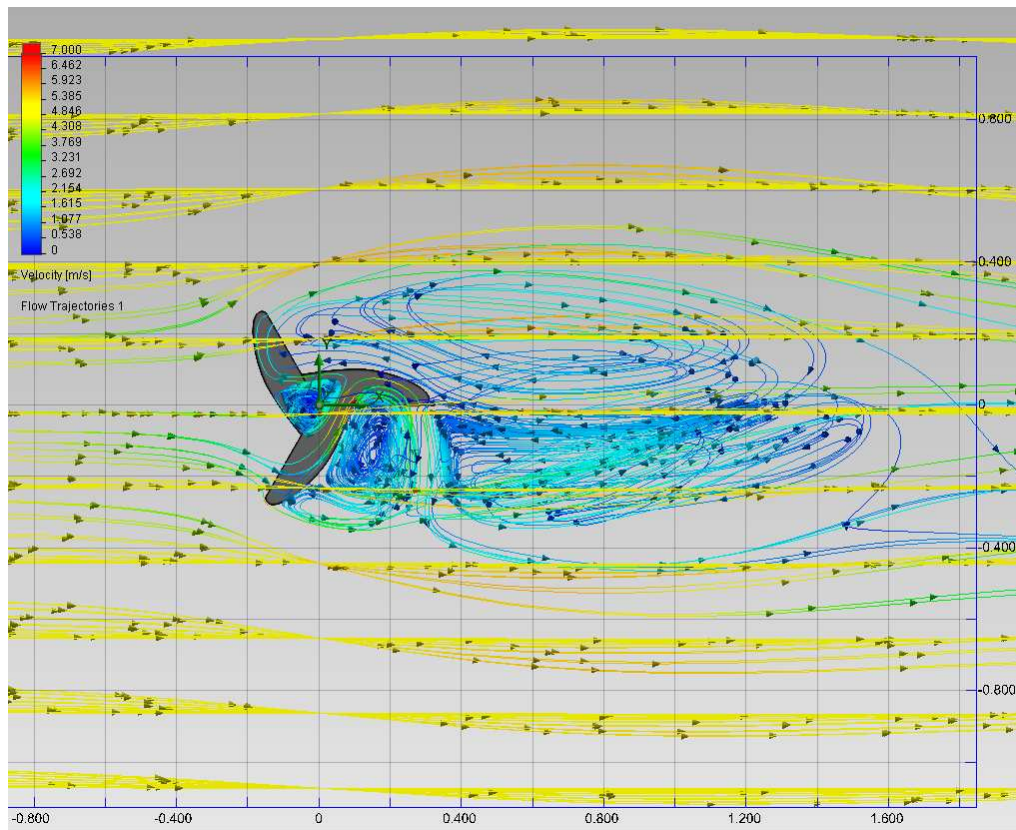
Obr. 70. Změna hodnoty Směru tečnosti z 90° na 40° ve skice

Tab. 10. Závislost Mk na úhlu natočení pro Nh_40 a Nh_90

Úhel natočení [°]	Kroučící moment Mk [N.m]	
	Rotor_nh_40	Rotor_nh_90
0	0,368012	0,429173
10	0,329576	0,396615
20	0,322613	0,394981
30	0,371417	0,410628
40	0,566514	0,570709
50	0,769709	0,813209
60	0,846674	0,885528
70	0,489343	0,530150
80	0,589522	0,642457
90	0,592014	0,632694
100	0,538596	0,622245
110	0,449503	0,472983
120	0,368012	0,429173
Ø	0,519458	0,566781
Max	0,846674	0,885528



Obr. 71. Graf závislosti Mk na úhlu natočení pro Nh_40 a Nh_90

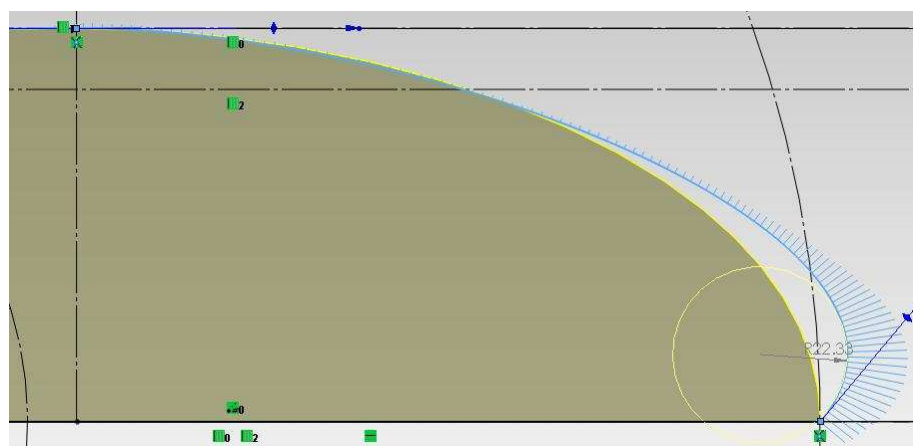


Obr. 72. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_40

Na Rotor_Nh_40 působí přibližně o 10% menší krouticí moment M_k . Z trajektorií proudění větru (viz obrázek č. 72.) je patrné, že se za rotorem tvoří poměrně velké turbulence, které zhoršují jeho účinnost oproti původnímu rotoru.

8.2.2 Srovnání rotorů Nh_50 v původním rotorem Nh_90

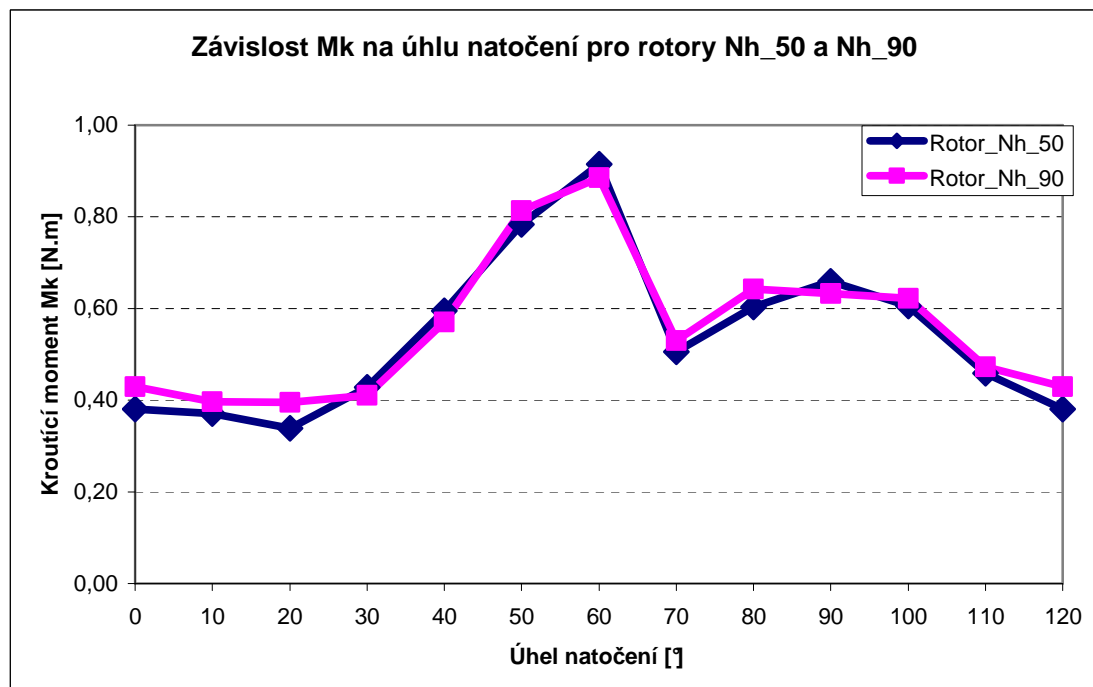
V další verzi byl parametr náběžné hrany lopatky tzv. Směr tečnosti z 90° snížen na 50° a byla pozorována změna krouticího momentu M_k .



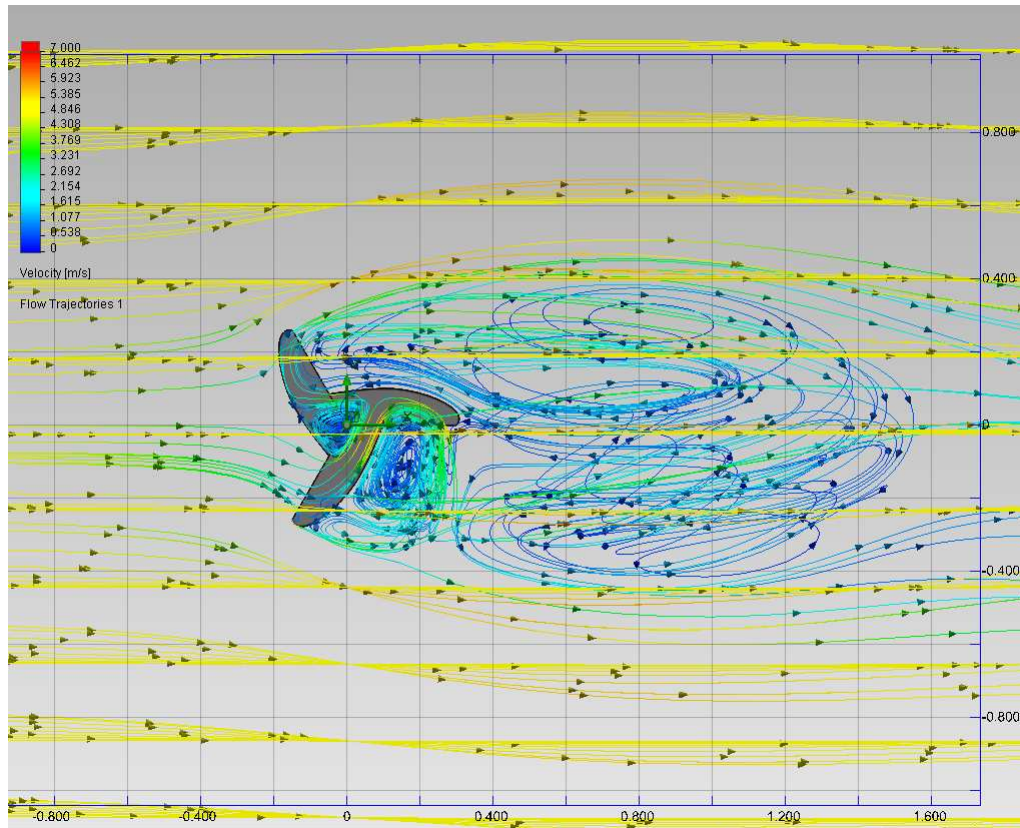
Obr 73. Změna hodnoty Směru tečnosti z 90° na 50° ve skice

Tab. 11. Závislost Mk na úhlu natočení pro Nh_50 a Nh_90

Úhel natočení [°]	Kroučící moment Mk [N. m]	
	Rotor_nh_50	Rotor_nh_90
0	0,380336	0,429173
10	0,371131	0,396615
20	0,339030	0,394981
30	0,427893	0,410628
40	0,595264	0,570709
50	0,783235	0,813209
60	0,914460	0,885528
70	0,505345	0,530150
80	0,603474	0,642457
90	0,659257	0,632694
100	0,605764	0,622245
110	0,459028	0,472983
120	0,380336	0,429173
Ø	0,553685	0,566781
Max	0,914460	0,885528



Obr. 74. Graf závislosti Mk na úhlu natočení pro Nh_50 a Nh_90

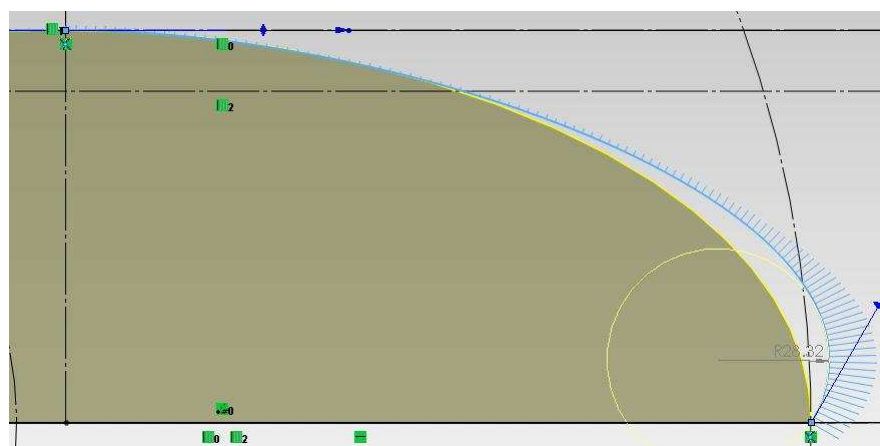


Obr. 75. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_50

Na Rotor_Nh_50 působí větší krouticí moment než na Rotor_Nh_40 asi o 7%, ale přesto nedosahuje hodnot původního rotoru, také kvůli tvořícím se turbulencím za rotorem jako u Rotoru_Nh_40.

8.2.3 Srovnání rotorů Nh_50 v původním rotorem Nh_90

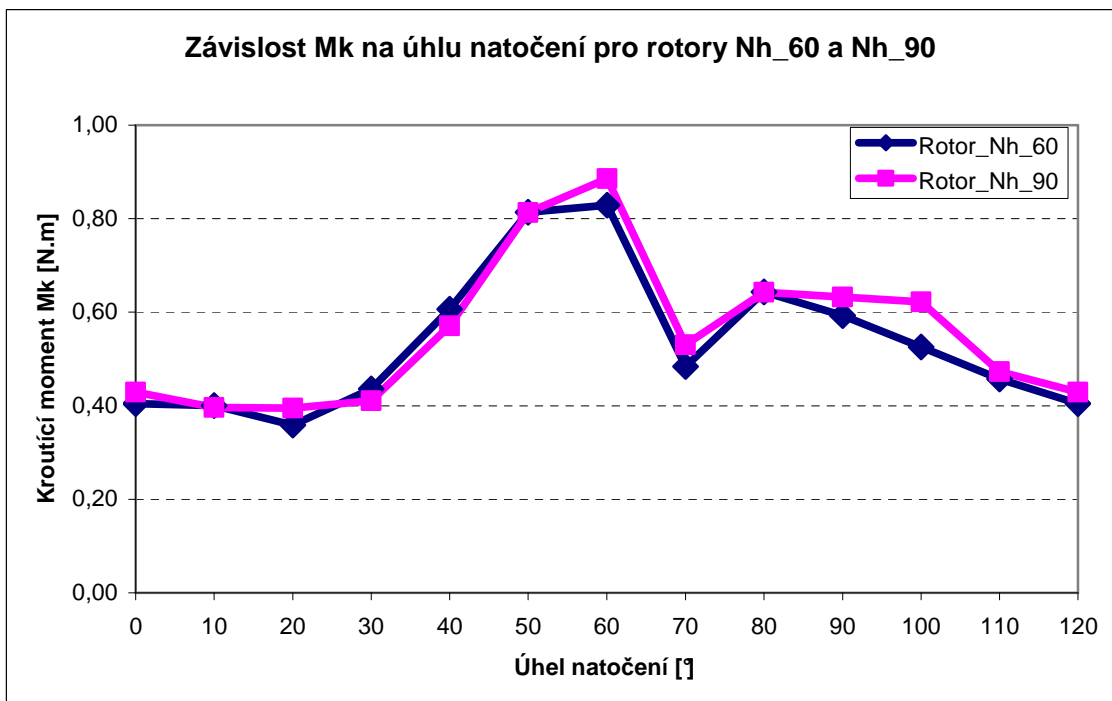
V další verzi byl parametr náběžné hrany lopatky tzv. Směr tečnosti z 90° snížen na 60° a byla pozorována změna krouticího momentu M_k .



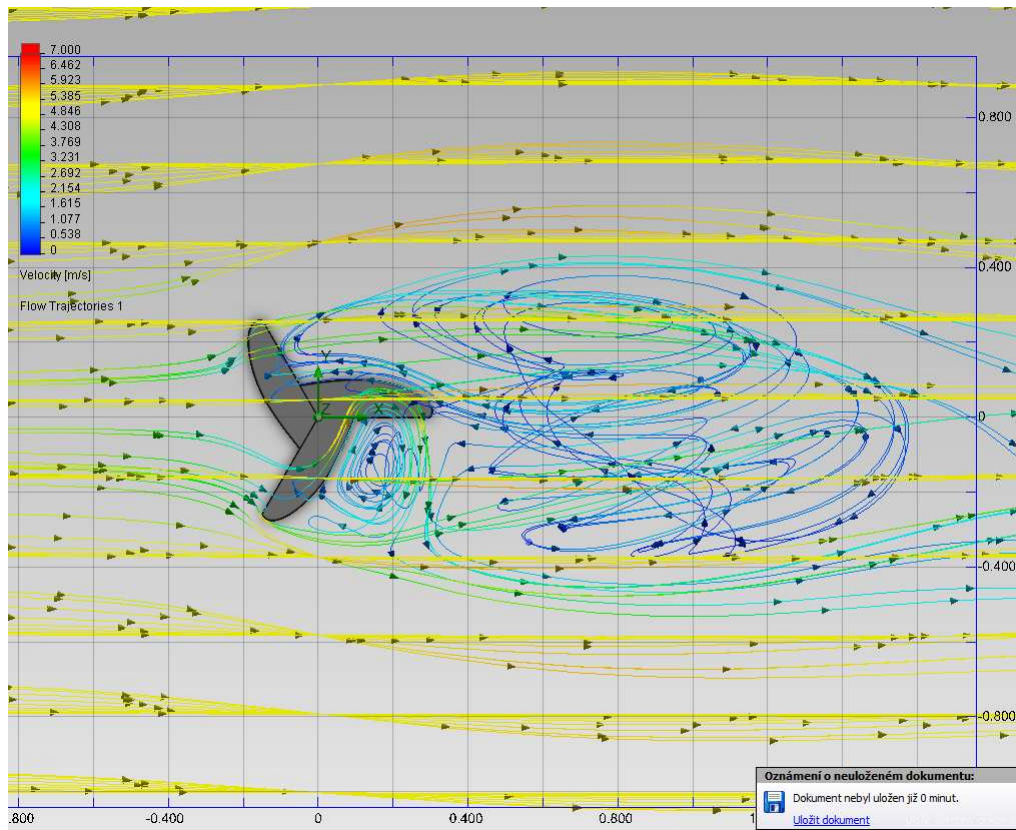
Obr. 76. Změna hodnoty Směru tečnosti z 90° na 60° ve skice

Tab. 12. Závislost Mk na úhlu natočení pro Nh_60 a Nh_90

Úhel natočení [°]	Kroučící moment Mk [N. m]	
	Rotor_nh_60	Rotor_nh_90
0	0,404385	0,429173
10	0,400311	0,396615
20	0,358726	0,394981
30	0,435888	0,410628
40	0,606316	0,570709
50	0,813752	0,813209
60	0,828760	0,885528
70	0,483782	0,530150
80	0,643465	0,642457
90	0,592602	0,632694
100	0,525877	0,622245
110	0,456937	0,472983
120	0,404385	0,429173
Ø	0,545900	0,566781
Max	0,828760	0,885528



Obr. 77. Graf závislosti Mk na úhlu natočení pro Nh_60 a Nh_90

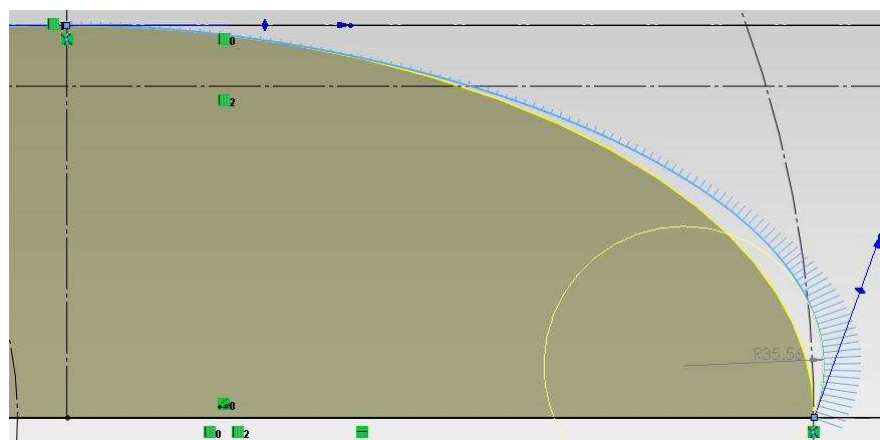


Obr. 78. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_60

U tohoto rotoru dochází ke snížení M_k i vzhledem k Rotoru_Nh_50 přibližně o 2% a je i méně efektivní než původní rotor.

8.2.4 Srovnání rotorů Nh_70 v původním rotorem Nh_90

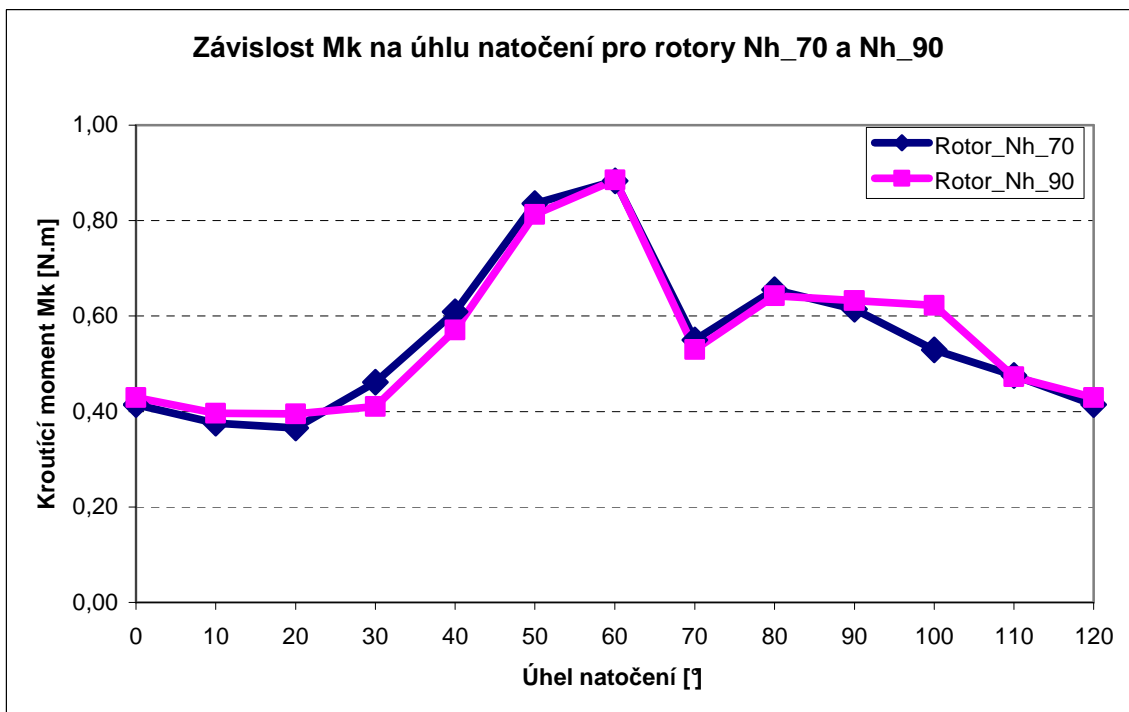
V další verzi byl parametr náběžné hrany lopatky tzv. Směr tečnosti z 90° snížen na 70° a byla pozorována změna krouticího momentu M_k .



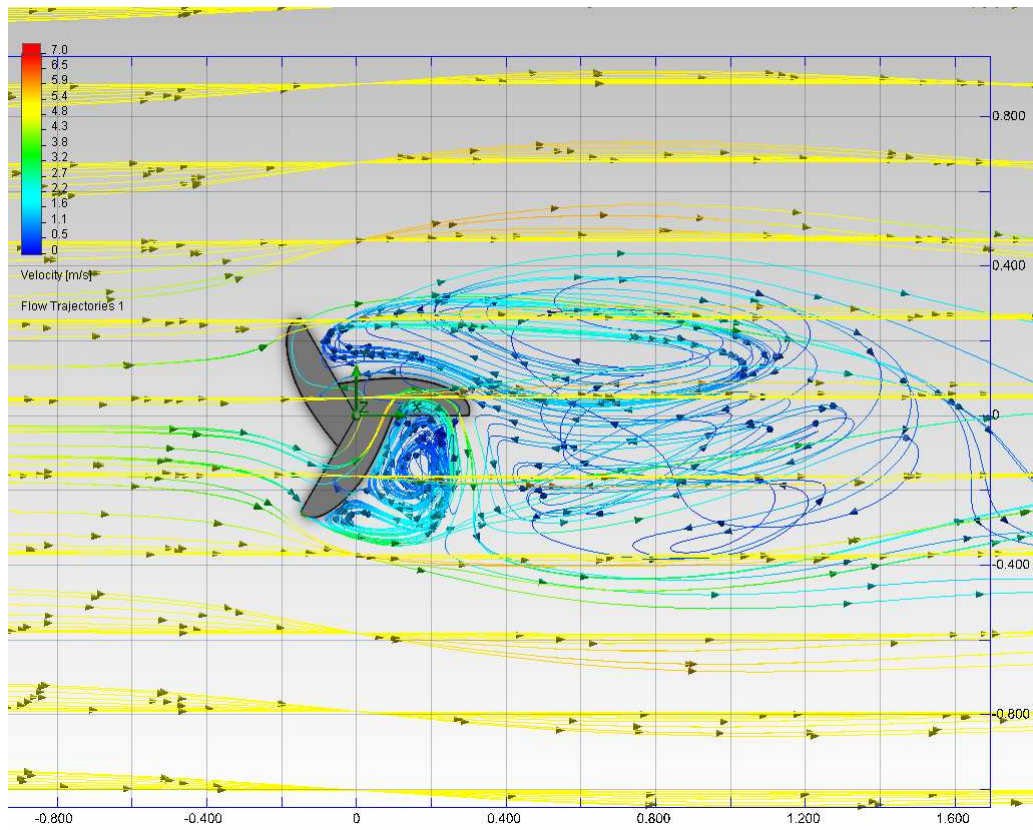
Obr. 79. Změna hodnoty Směru tečnosti z 90° na 70° ve skice

Tab. 13. Závislost Mk na úhlu natočení pro Nh_70 a Nh_90

Úhel natočení [°]	Kroučící moment Mk [N. m]	
	Rotor_nh_70	Rotor_nh_90
0	0,414486	0,429173
10	0,375567	0,396615
20	0,365588	0,394981
30	0,461297	0,410628
40	0,609225	0,570709
50	0,835993	0,813209
60	0,883613	0,885528
70	0,549644	0,530150
80	0,655416	0,642457
90	0,614610	0,632694
100	0,529048	0,622245
110	0,475406	0,472983
120	0,414486	0,429173
Ø	0,564158	0,566781
Max	0,883613	0,885528



Obr. 80. Graf závislosti Mk na úhlu natočení pro Nh_70 a Nh_90

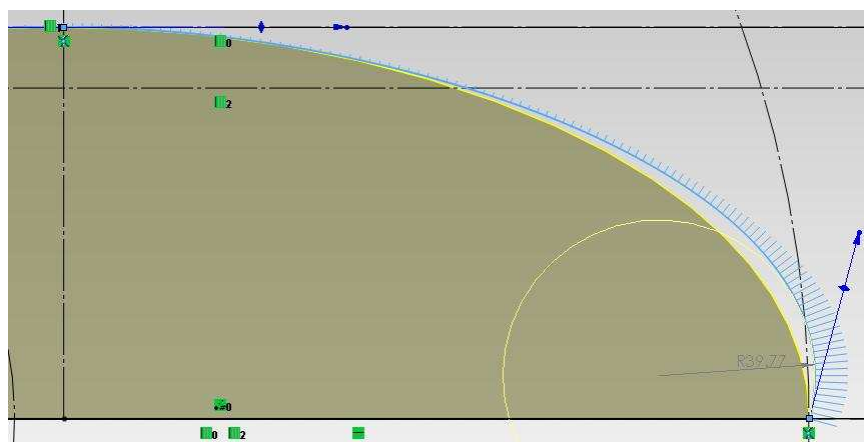


Obr. 81. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_70

V této verzi se krouticí moment M_k liší jen minimálně od M_k u původního rotoru (liší se v desetinách procenta).

8.2.5 Srovnání rotorů Nh_75 v původním rotorem Nh_90

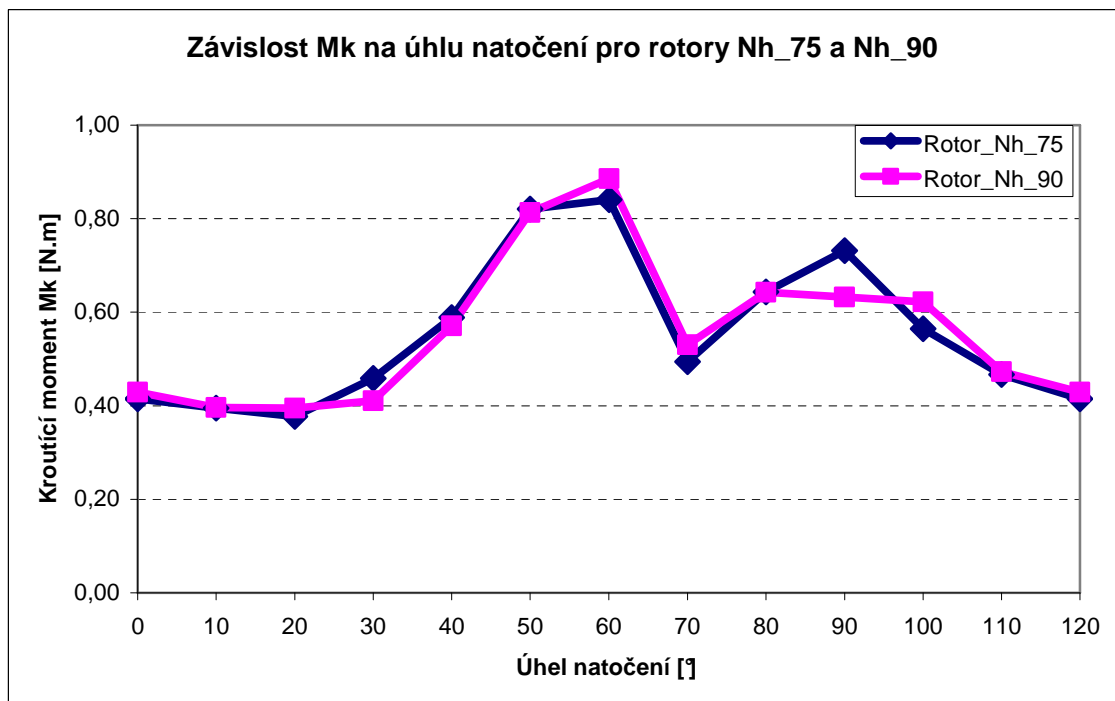
V další verzi byl parametr náběžné hrany lopatky tzv. Směr tečnosti z 90° snížen na 75° a byla pozorována změna krouticího momentu M_k .



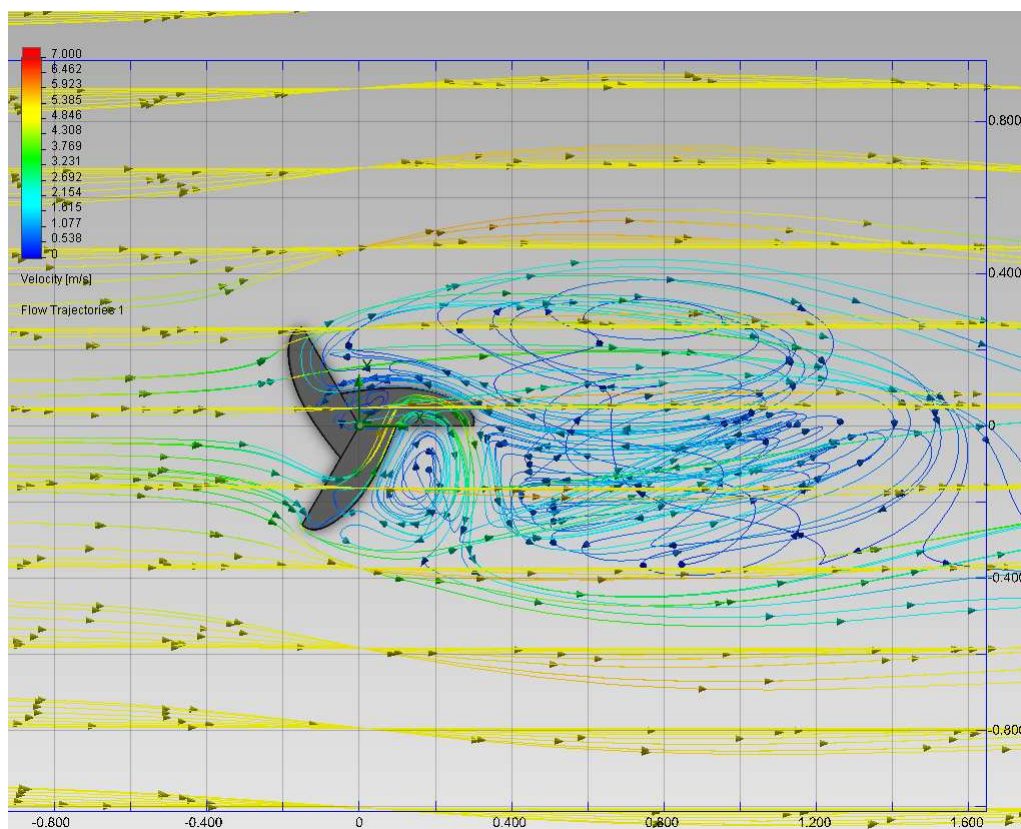
Obr. 82. Změna hodnoty Směru tečnosti z 90° na 75° ve skice

Tab. 14. Závislost Mk na úhlu natočení pro Nh_75 a Nh_90

Úhel natočení [°]	Kroučící moment Mk [N. m]	
	Rotor_nh_75	Rotor_nh_90
0	0,414683	0,429173
10	0,394858	0,396615
20	0,377472	0,394981
30	0,458684	0,410628
40	0,588638	0,570709
50	0,820926	0,813209
60	0,840267	0,885528
70	0,494153	0,530150
80	0,643073	0,642457
90	0,731714	0,632694
100	0,564430	0,622245
110	0,466761	0,472983
120	0,414683	0,429173
Ø	0,566305	0,566781
Max	0,840267	0,885528



Obr. 83. Graf závislosti Mk na úhlu natočení pro Nh_75 a Nh_90

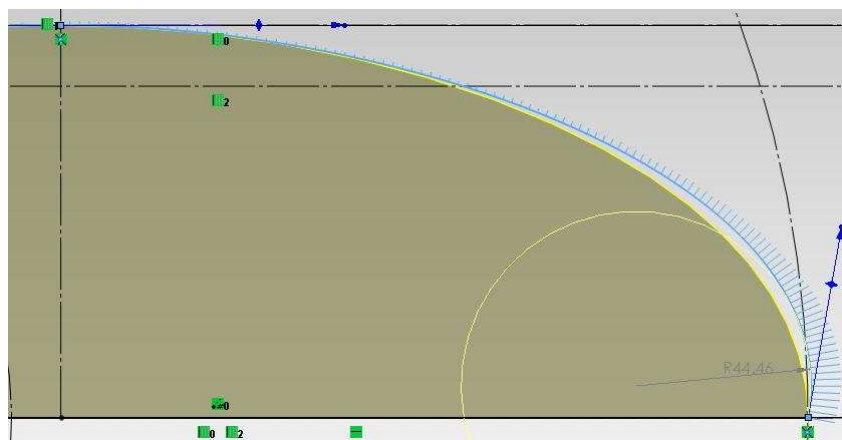


Obr. 84. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_75

V této verzi rotoru je krouticí moment M_k téměř shodný s M_k u původního rotoru.

8.2.6 Srovnání rotorů Nh_80 v původním rotorem Nh_90

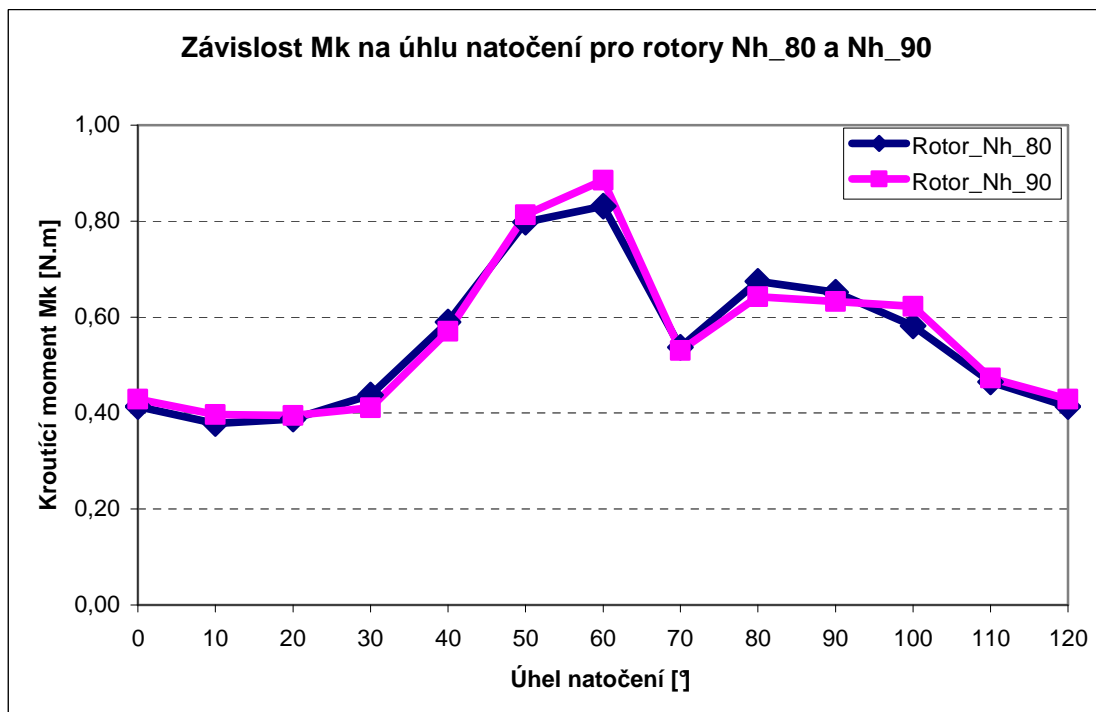
V další verzi byl parametr náběžné hrany lopatky tzv. Směr tečnosti z 90° snížen na 80° a byla pozorována změna krouticího momentu M_k .

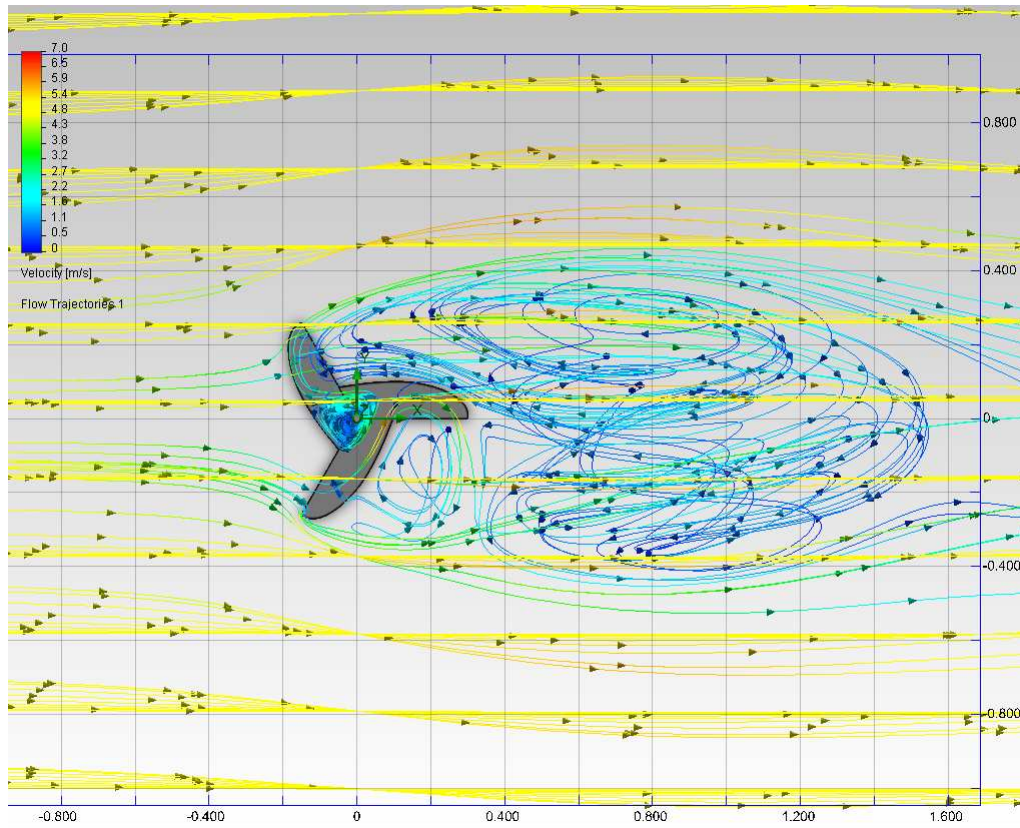


Obr. 85. Změna hodnoty Směru tečnosti z 90° na 80° ve skice

Tab. 15. Závislost M_k na úhlu natočení pro Nh_80 a Nh_90

Úhel natočení [°]	Kroučící moment M_k [N. m]	
	Rotor_nh_80	Rotor_nh_90
0	0,413854	0,429173
10	0,378308	0,396615
20	0,387623	0,394981
30	0,437322	0,410628
40	0,589621	0,570709
50	0,798005	0,813209
60	0,831233	0,885528
70	0,537038	0,530150
80	0,674540	0,642457
90	0,651532	0,632694
100	0,581566	0,622245
110	0,464878	0,472983
120	0,413854	0,429173
Ø	0,562127	0,566781
Max	0,831233	0,885528

Obr. 86. Graf závislosti M_k na úhlu natočení pro Nh_80 a Nh_90

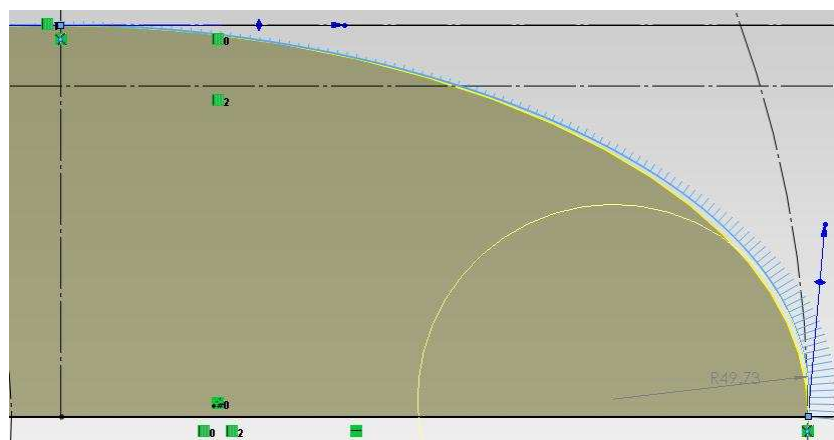


Obr. 87. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_80

Tento rotor se v krouticím momentu M_k liší od původního rotoru opět jen minimálně, ale je přesto nižší.

8.2.7 Srovnání rotorů Nh_85 v původním rotorem Nh_90

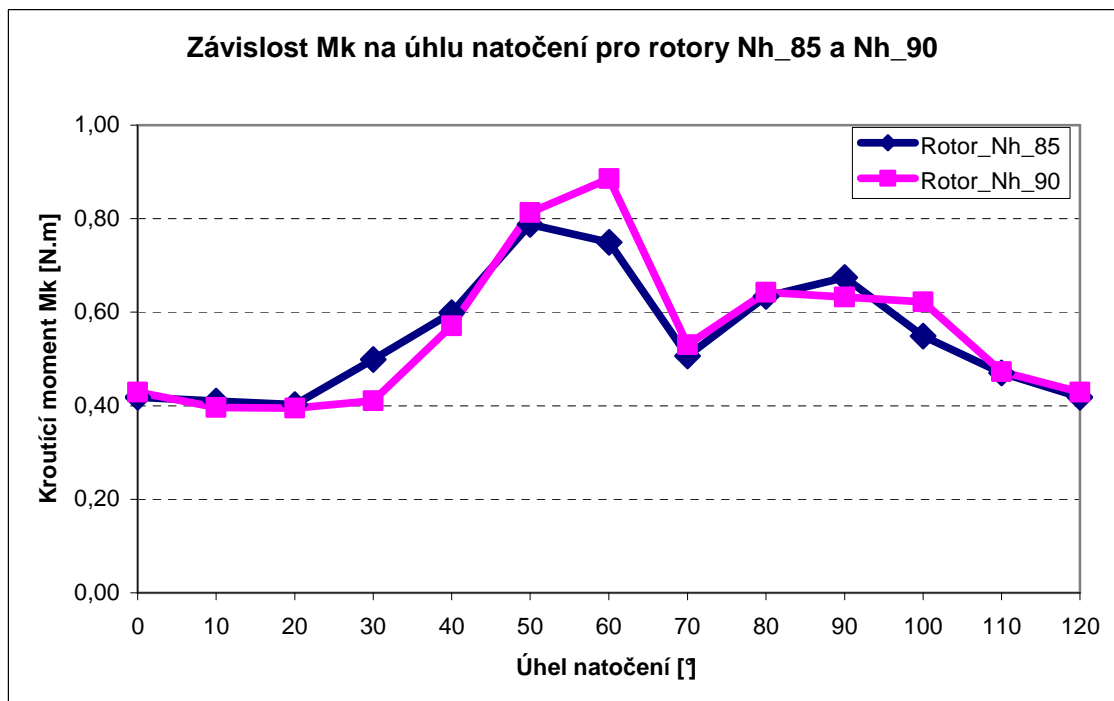
V další verzi byl parametr náběžné hrany lopatky tzv. Směr tečnosti z 90° snížen na 85° a byla pozorována změna krouticího momentu M_k .



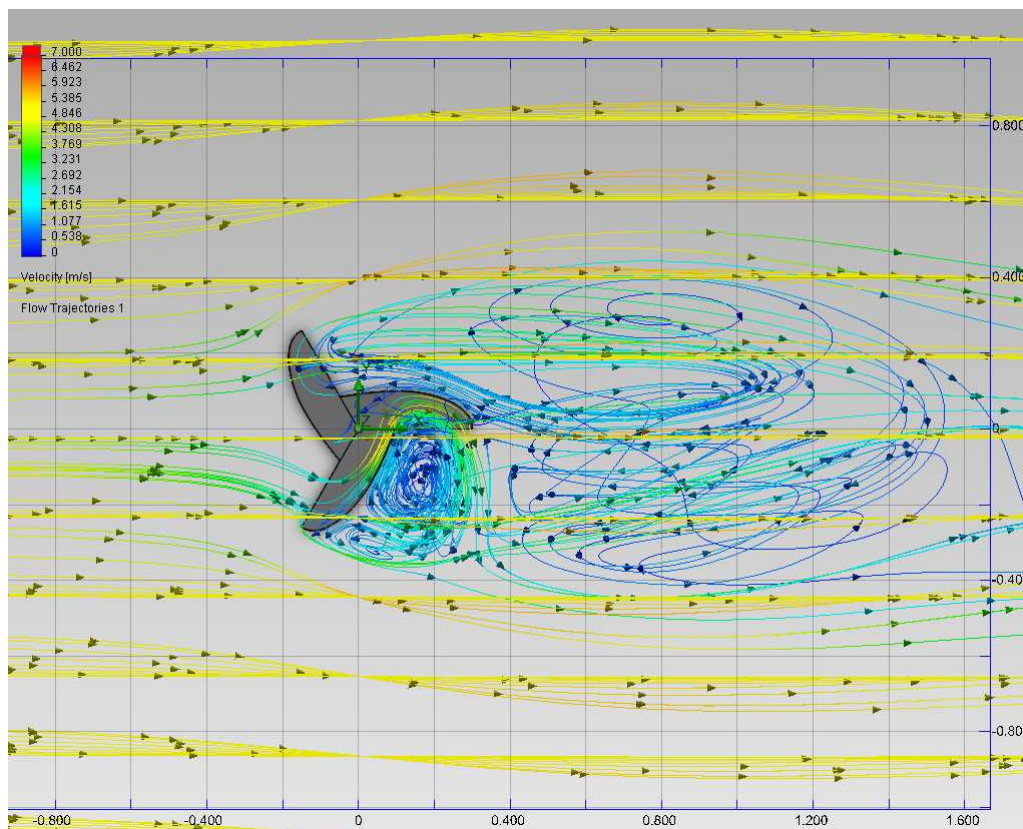
Obr. 88. Změna hodnoty Směru tečnosti z 90° na 85° ve skice

Tab. 16. Závislost Mk na úhlu natočení pro Nh_85 a Nh_90

Úhel natočení [°]	Kroučící moment Mk [N. m]	
	Rotor_nh_85	Rotor_nh_90
0	0,418087	0,429173
10	0,409693	0,396615
20	0,402169	0,394981
30	0,499041	0,410628
40	0,599094	0,570709
50	0,787846	0,813209
60	0,749547	0,885528
70	0,506467	0,530150
80	0,633820	0,642457
90	0,674412	0,632694
100	0,549275	0,622245
110	0,469932	0,472983
120	0,418087	0,429173
Ø	0,558282	0,566781
Max	0,787846	0,885528



Obr. 89. Graf závislosti Mk na úhlu natočení pro Nh_85 a Nh_90

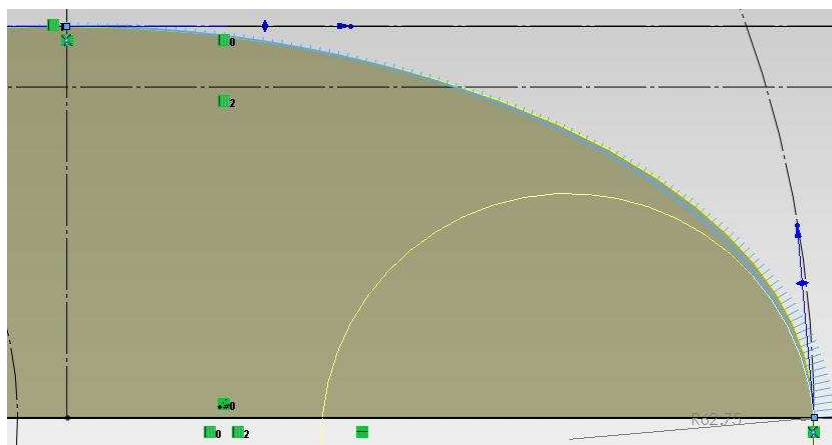


Obr. 90. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_85

Na tento rotor působí přibližně o 2% menší kroticí moment než na původní rotor.

8.2.8 Srovnání rotorů Nh_95 v původním rotorem Nh_90

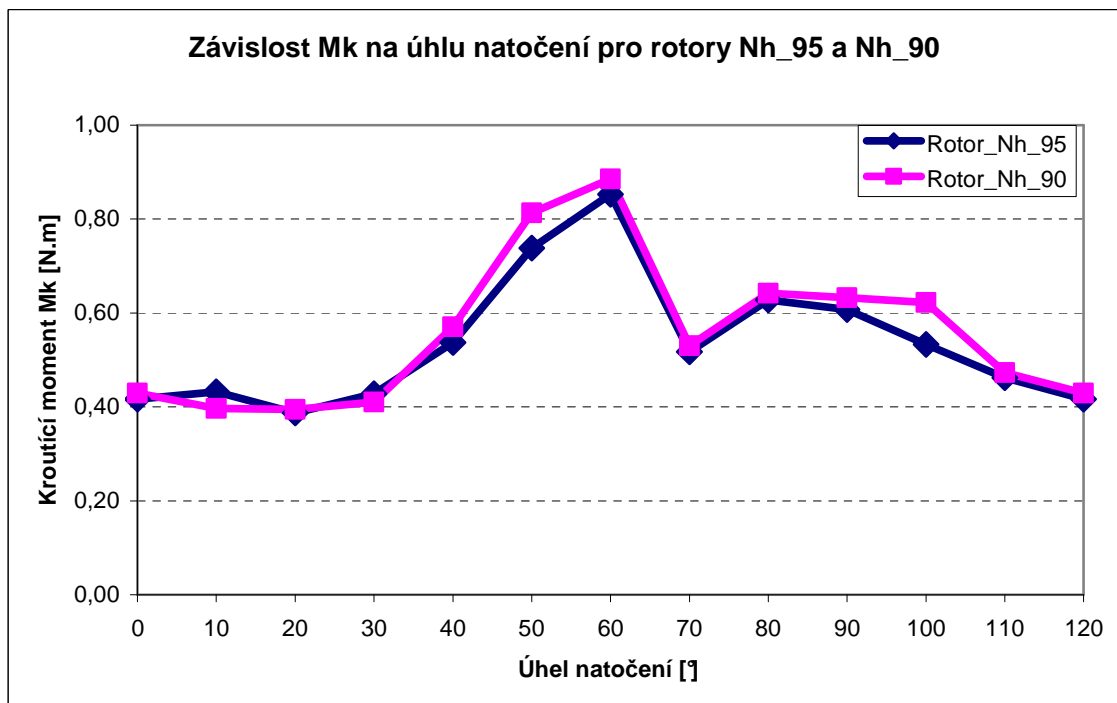
V další verzi byl parametr náběžné hrany lopatky tzv. Směr tečnosti z 90° zvýšen na 95° a byla pozorována změna kroticího momentu M_k .



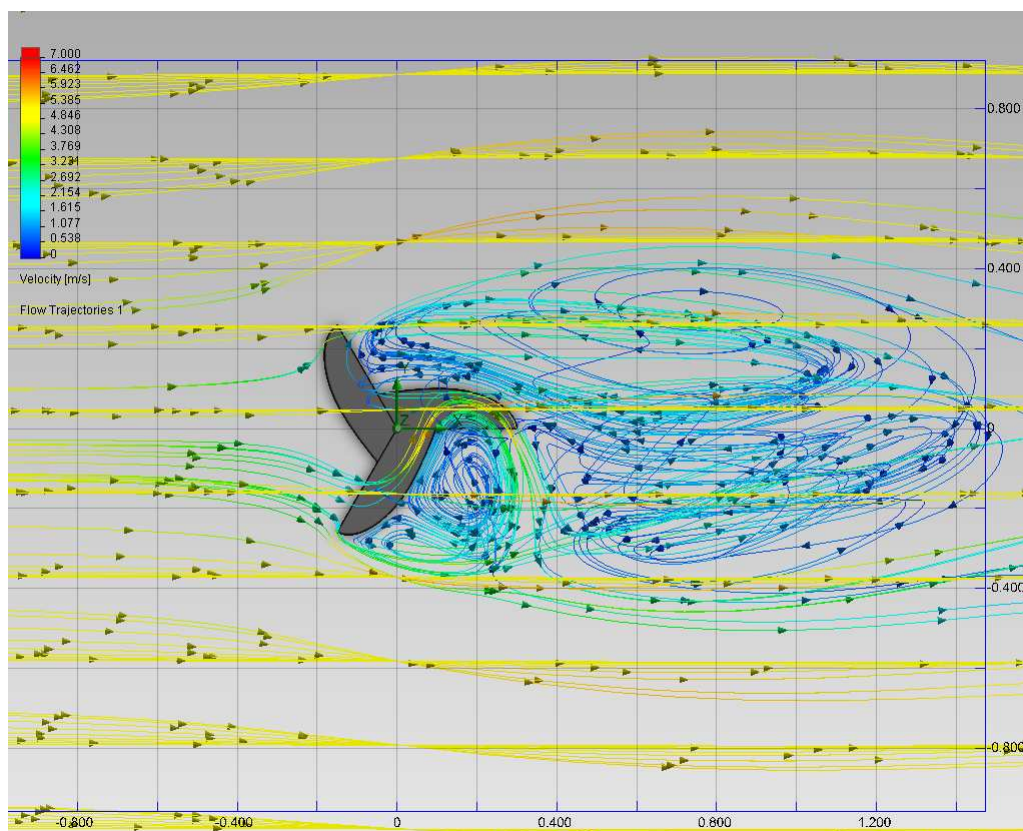
Obr 91. Změna hodnoty Směru tečnosti z 90° na 95° ve skice

Tab. 17. Závislost Mk na úhlu natočení pro Nh_95 a Nh_90

Úhel natočení [°]	Kroučící moment Mk [N. m]	
	Rotor_nh_95	Rotor_nh_90
0	0,416740	0,429173
10	0,432002	0,396615
20	0,386891	0,394981
30	0,428237	0,410628
40	0,537068	0,570709
50	0,738314	0,813209
60	0,852581	0,885528
70	0,517109	0,530150
80	0,627641	0,642457
90	0,607201	0,632694
100	0,533370	0,622245
110	0,461870	0,472983
120	0,416740	0,429173
Ø	0,544919	0,566781
Max	0,852581	0,885528



Obr 92. Graf závislosti Mk na úhlu natočení pro Nh_95 a Nh_90

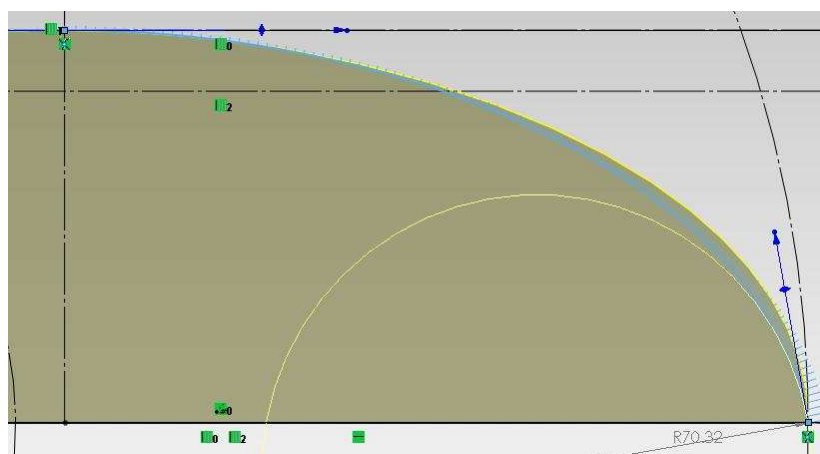


Obr. 93. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_95

Tento rotor má parametr Směr tečnosti zvýšen o 5° oproti původnímu rotoru. Kroučící moment M_k je u tohoto rotoru je asi o 4% nižší než u původního rotoru.

8.2.9 Srovnání rotorů Nh_100 v původním rotorem Nh_90

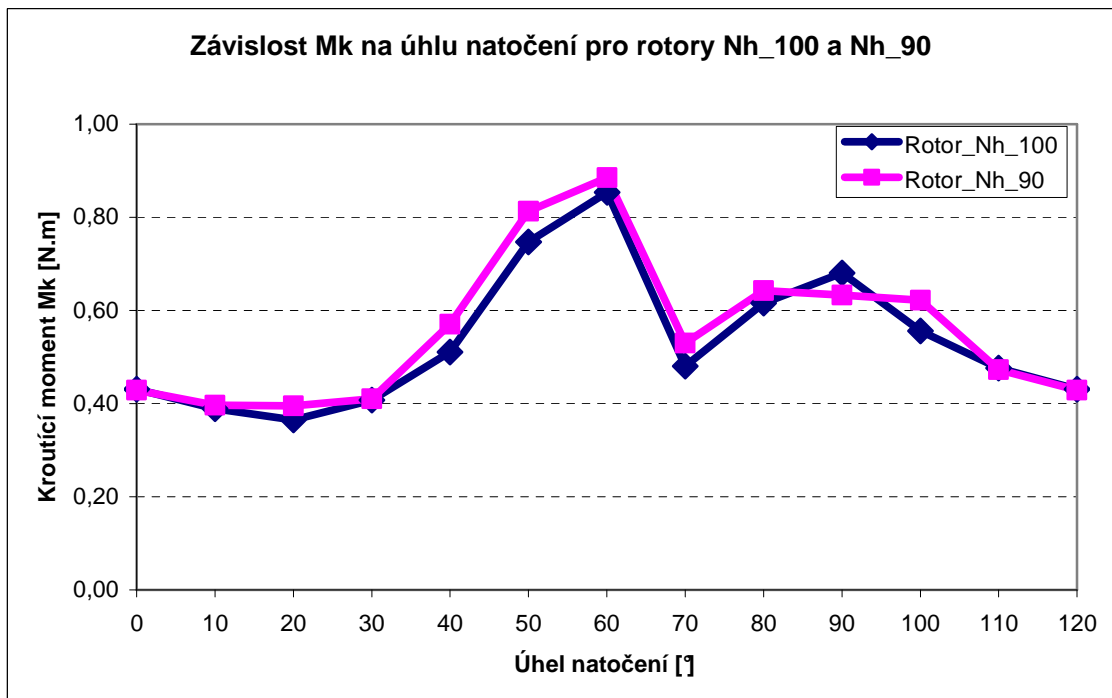
V další verzi byl parametr náběžné hrany lopatky tzv. Směr tečnosti z 90° zvýšen na 100° a byla pozorována změna kroučícího momentu M_k .



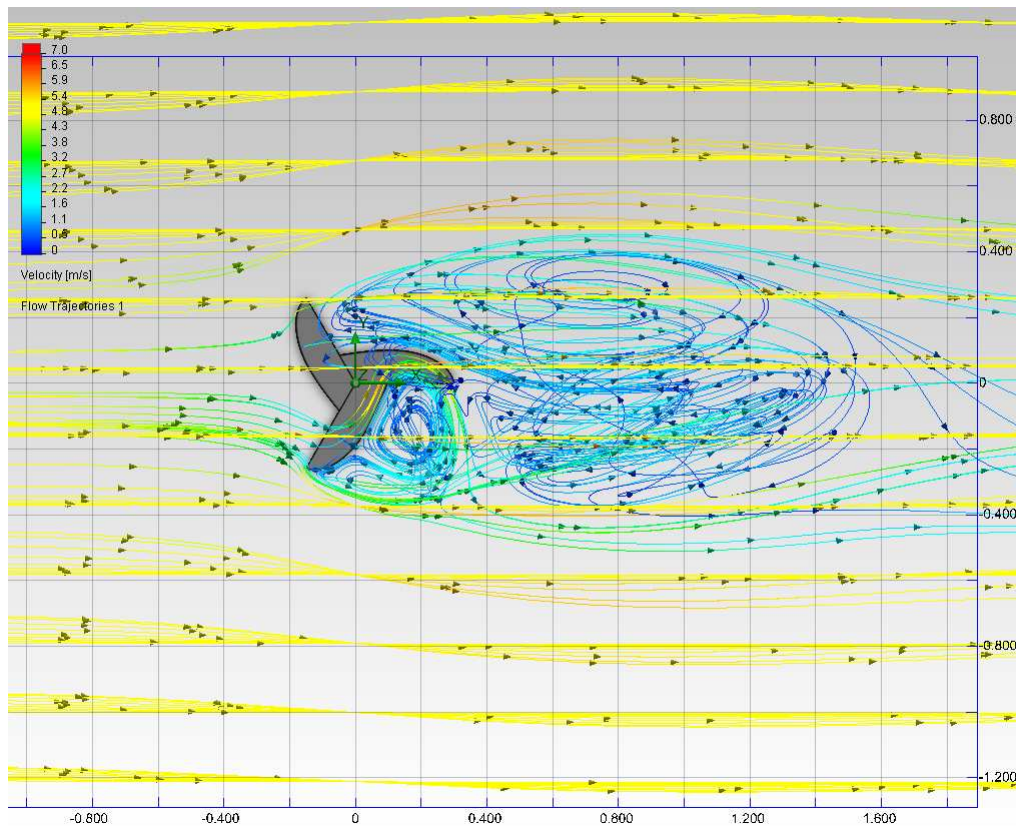
Obr. 94. Změna hodnoty Směru tečnosti z 90° na 100° ve skice

Tab. 18. Závislost Mk na úhlu natočení pro Nh_100 a Nh_90

Úhel natočení [°]	Kroučící moment Mk [N. m]	
	Rotor_nh_100	Rotor_nh_90
0	0,430969	0,429173
10	0,389244	0,396615
20	0,364798	0,394981
30	0,407332	0,410628
40	0,510671	0,570709
50	0,747144	0,813209
60	0,853566	0,885528
70	0,480367	0,530150
80	0,615943	0,642457
90	0,680469	0,632694
100	0,555830	0,622245
110	0,476186	0,472983
120	0,430969	0,429173
Ø	0,542710	0,566781
Max	0,853566	0,885528



Obr. 95. Graf závislosti Mk na úhlu natočení pro Nh_100 a Nh_90

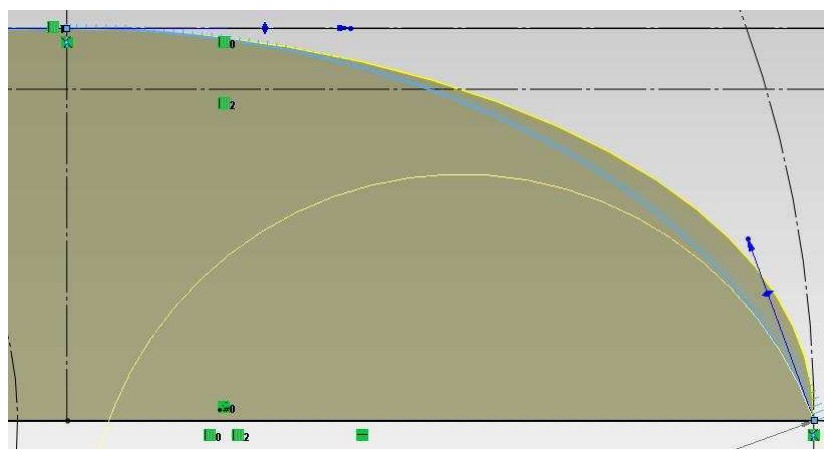


Obr. 96. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_100

Průběh krouticího momentu M_k u tohoto rotoru je opět velmi podobný a je nižší jen přibližně o 4% než u původního rotoru.

8.2.10 Srovnání rotorů Nh_110 v původním rotorem Nh_90

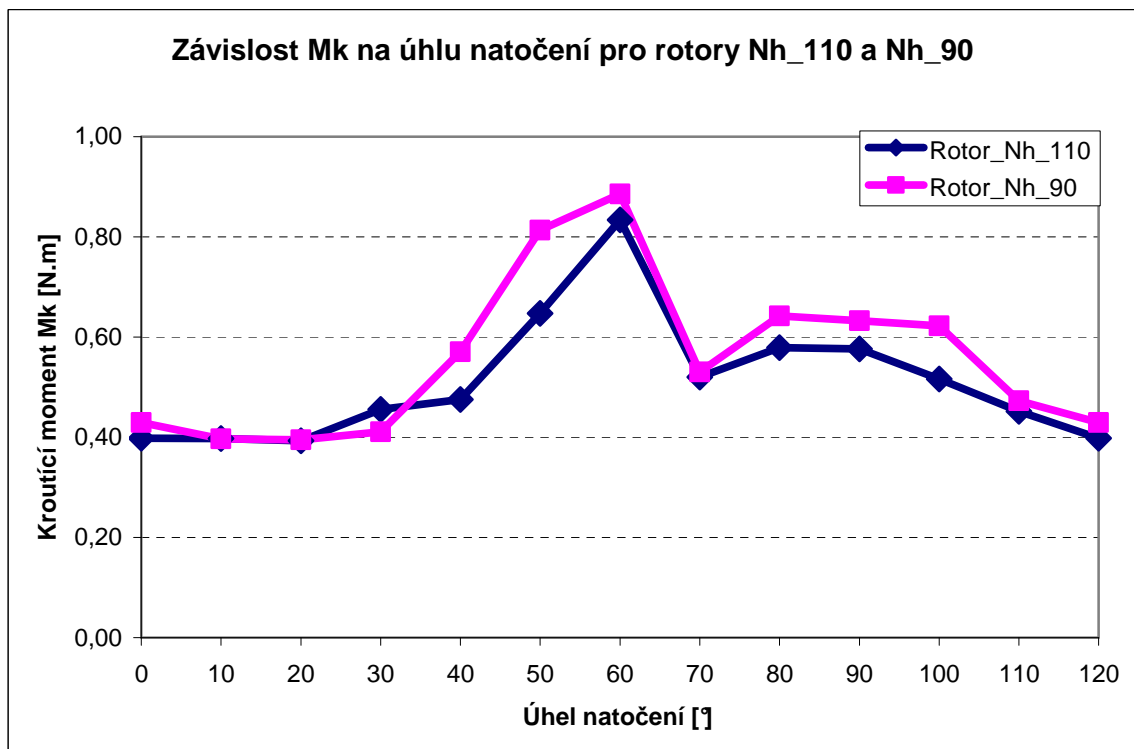
V další verzi byl parametr náběžné hrany lopatky tzv. Směr tečnosti z 90° zvýšen na 110° a byla pozorována změna krouticího momentu M_k .



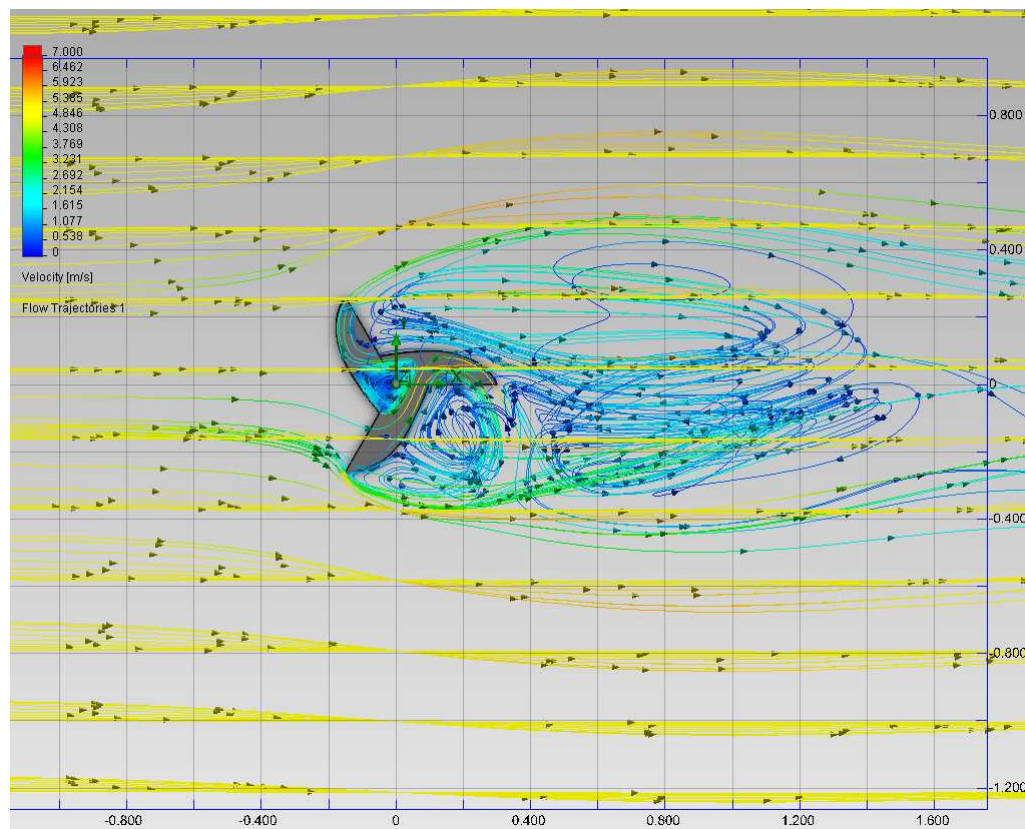
Obr. 97. Změna hodnoty Směru tečnosti z 90° na 110° ve skice

Tab. 19. Závislost Mk na úhlu natočení pro Nh_110 a Nh_90

Úhel natočení [°]	Kroučící moment Mk [N. m]	
	Rotor_nh_110	Rotor_nh_90
0	0,398384	0,429173
10	0,397634	0,396615
20	0,393232	0,394981
30	0,455565	0,410628
40	0,475590	0,570709
50	0,647277	0,813209
60	0,833766	0,885528
70	0,520130	0,530150
80	0,578683	0,642457
90	0,576632	0,632694
100	0,516359	0,622245
110	0,451478	0,472983
120	0,398384	0,429173
Ø	0,520394	0,566781
Max	0,833766	0,885528



Obr. 98. Graf závislosti Mk na úhlu natočení pro Nh_110 a Nh_90

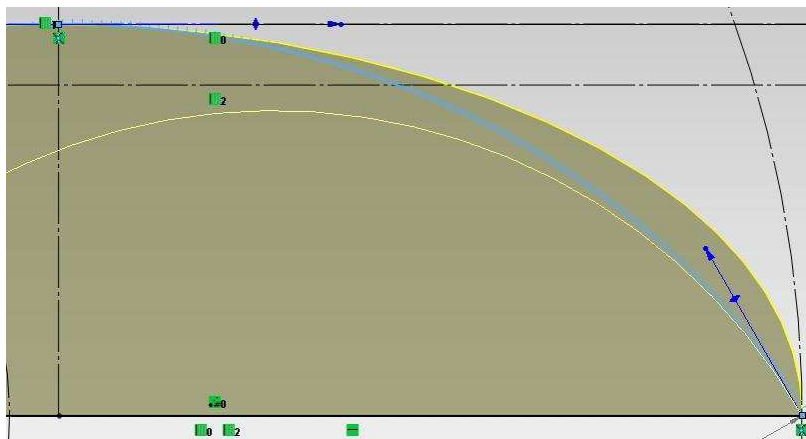


Obr. 99. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_110

U této verze, kdy je parametr náběžné hrany rotoru tzv. Směr tečnosti roven 110° , již začíná krouticí moment M_k klesat vůči M_k u původního rotoru. Rotor je v tomto případě plošší, čili jeho aerodynamický svar je již méně efektivní.

8.2.11 Srovnání rotorů Nh_120 v původním rotorem Nh_90

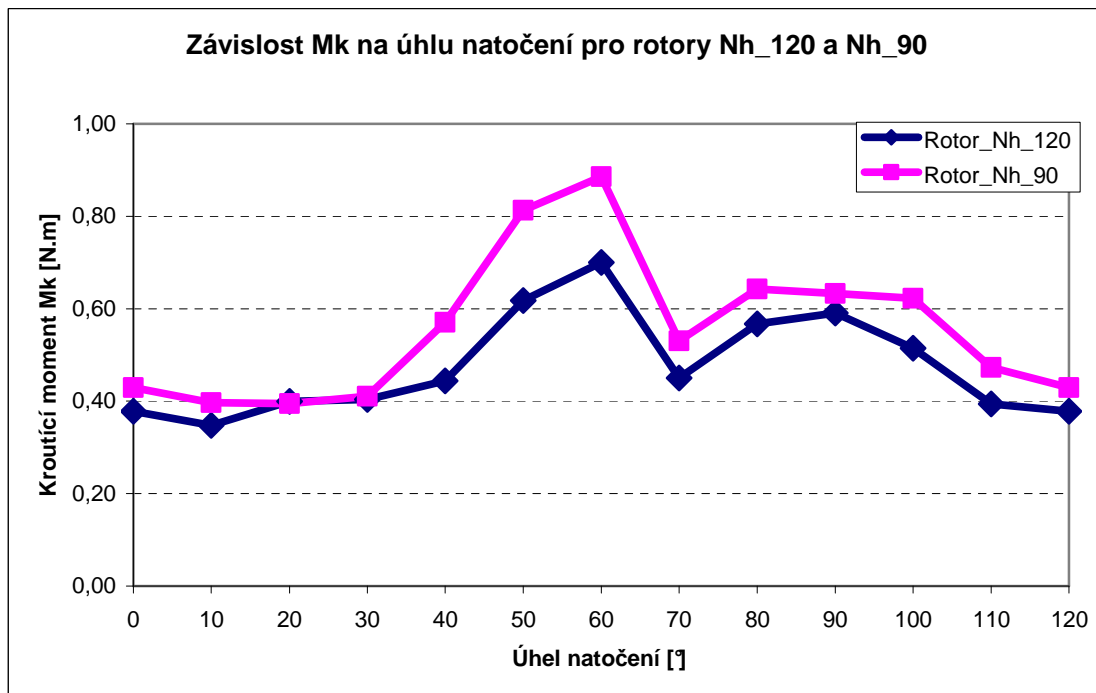
V poslední testované verzi byl parametr náběžné hrany lopatky tzv. Směr tečnosti z 90° zvýšen na 120° a byla pozorována změna krouticího momentu M_k .



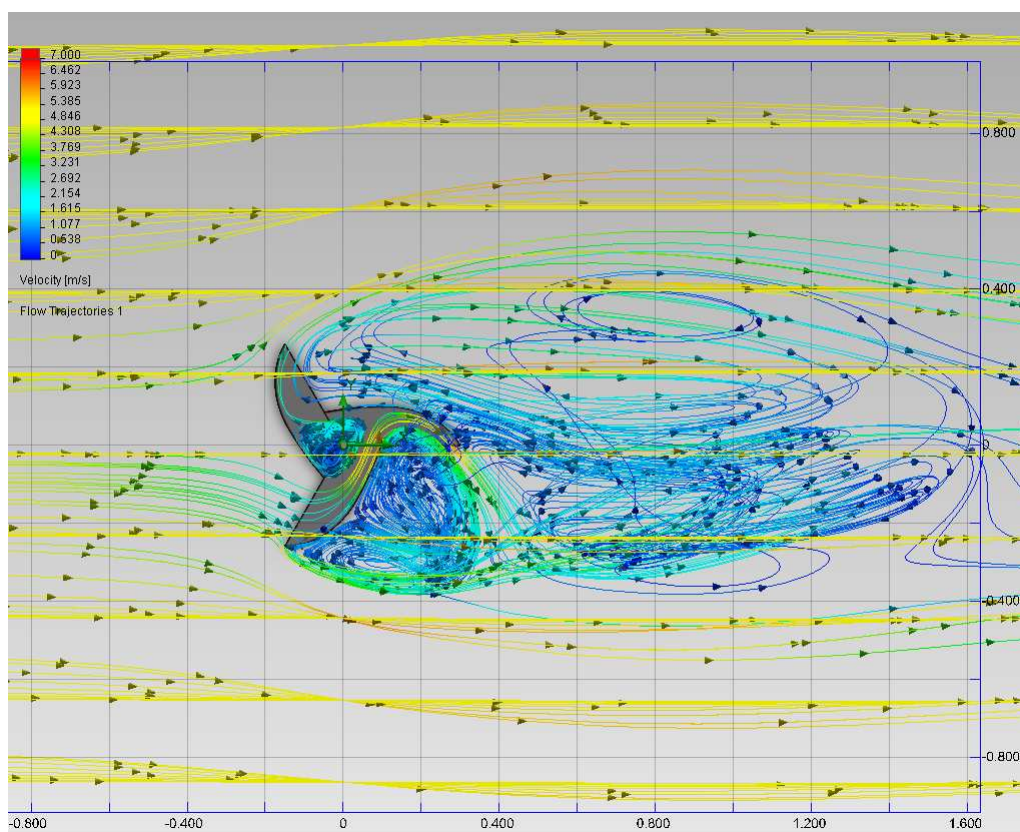
Obr. 100. Změna hodnoty Směru tečny z 90° na 120° ve skice

Tab. 20. Závislost Mk na úhlu natočení pro Nh_110 a Nh_90

Uhel natočení [°]	Krouticí moment Mk [N. m]	
	Rotor_nh_120	Rotor_nh_90
0	0,377810	0,429173
10	0,347563	0,396615
20	0,399584	0,394981
30	0,403602	0,410628
40	0,443954	0,570709
50	0,617838	0,813209
60	0,699904	0,885528
70	0,450168	0,530150
80	0,567311	0,642457
90	0,590972	0,632694
100	0,514868	0,622245
110	0,394219	0,472983
120	0,377810	0,429173
Ø	0,483983	0,566781
Max	0,699904	0,885528



Obr. 101. Graf závislosti Mk na úhlu natočení pro Nh_120 a Nh_90



Obr. 102. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_120

V této verzi, kdy je parametr náběžné hrany tzv. Směr tečnosti roven úhlu 120° se krouticí moment M_k začíná podle předpokladů výrazně snižovat.

ZÁVĚR

Praktická část měla za úkol prozkoumat vliv úhlu náběžné hrany rotoru na účinnost. V první části byl podrobně popsán postup pro vytvoření jednotlivých projektů v modulu Flow Simulation. Je zde také uvedeno technické odvolání a uvedena časová náročnost výpočtů analýz.

Nejdříve byl podle literatury vymodelován v programu SolidWorks základní rotor, který byl pojmenován Rotor_Nh_90. Tento rotor bych podroben nejdříve statickým analýzám při různých rychlostech větru a to 2 m/s, 5 m/s a 10 m/s, kde byl nejvyšší krouticí moment M_k podle předpokladu zjištěn u rychlosti 10 m/s. Další analýzy byly ale už prováděny pouze pro rychlost větru 5 m/s protože tolik přibližně činí průměrná rychlost větru v ČR a s krokem úhlu natočení rotoru 10° . Dále byl rotor podroben analýzám s rotací, kde byly příslušné otáčky odvozeny od rychloběžnosti. Nakonec byl u základního rotoru změněn parametr náběžné hrany rotoru tzv. Tečné zatížení 2. Byly vymodelovány 3 verze, kdy se vycházelo z hodnoty 185. Tz_155, Tz_215 a Tz_245. Z výsledků simulací bylo možno pozorovat zvyšující se M_k se zvyšujícím se Tz. Tato cesta by mohla vést ke zvýšení účinnosti rotoru byt jen o několik %.

Poté bylo vymodelováno další jedenáct verzí rotoru, kdy se měnil parametr náběžné hrany tzv. Směr tečnosti. Nejnižší byl tento parametr snížen na 40° (Nh_40) a nejvýše činil 120° , (Nh_120), kdy původní hodnota činila 90° . Po provedených simulacích se hodnota M_k téměř shodovala s původním rotorem u verzí Nh_70, Nh_75 a Nh_80 a v této oblasti by bylo vhodné provést další simulace, ale přesto se neočekává větší vylepšení účinnosti rotoru než o několik málo %. U další verzí rotoru a to při hodnotě parametru 40° (Nh_40), 50° (Nh_50), 60° (Nh_60), 85° (Nh_85), 95° (Nh_95), 100° (Nh_100), 110° (Nh_110) a 120° (Nh_120) se hodnota M_k snížila výrazněji než u výše uvedených verzí.

Výsledky dosažené v modulu SolidWorks Flow Simulation mohou sloužit jako návod jak postupovat při dalším vývoji průtažného rotoru. V části lopatky, kterou se tato práce měla zabývat čili náběžnou hranou lopatky rotoru, bylo dosaženo lepších výsledků jen při změně parametru Tečné zatížení 2 u původního rotoru (Nh_90). Při dalším výzkumu by bylo vhodné ještě snížit krok při úhlu natočení z 10° na 5° a přístup k výkonnějšímu výpočetnímu vybavení by dovolil zvýšit přesnost výpočtu. Jako ověření dosažených výsledků může sloužit jiný software nebo zhotovení prototypu pro zkoušení v aerodynamickém tunelu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Meteocentrum [online].c2007, [cit.2010-15-11]. **Dostupné z WWW:**
<<http://www.meteocentrum.cz/encyklopedie/vitr.php>>
- [2] Guido magazín [online].c2005, [cit.2010-15-11]. **Dostupné z WWW:**
<<http://www.quido.cz/objevy/anemometr.htm>>
- [3] Converter [online].c2002, [cit.2010-15-11]. **Dostupné z WWW:**
<<http://www.converter.cz/tabulky/beaufortova-stupnice.htm>>
- [4] Mladý Sysifos [online].c2007, [cit.2010-15-11]. **Dostupné z WWW:**
<<http://sisyfos.zcu.cz/fyzika/predf131/Anemometr.pdf>>
- [5] Větrné elektrárny [online], [cit.2010-15-11]. **Dostupné z WWW:**
<<http://www.vetrne-elektrany.com/>>
- [6] Alternative Renewable Energy Sources [online], [cit.2010-15-11]. **Dostupné z WWW:**
<<http://www.aresico.com/cz/m/deleni-vetrnych-elektraren-dle-vykonu/>>
- [7] Vyšší Odborná a Střední Průmyslová Škola Varnsdorf [online], [cit.2010-17-12].
Dostupné z WWW: <<http://www.vosvdf.cz/cmsb/userdata/489/obnovitelne-zdroje/Vetrne%20elektrany.pdf>>
- [8] Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů [online], [cit.2010-17-12].
Dostupné z WWW: <<http://www.spvez.cz/pages/vitr.htm>>
- [9] Americká asociace pro výrobu větrné energie (AWEA) [online], [cit.2010-31-12].
Dostupné z WWW: <<http://www.awea.org/>>
- [10] Ekologické bydlení [online], [cit.2009-04-06].
Dostupné z WWW: <<http://www.ekobydleni.eu>>
- [11] Informační zdroje v odporné literatuře [online], doc. Ing. Jan Vymětal, CSc., c. 2010, [cit.2010-17-12]. **Dostupné z WWW:** <http://kamna.net/~zaloha/pat_reserse/>
- [12] Malé větrné elektrárny [online], [cit.2010-15-11]. **Dostupné z WWW:** <<http://ve.ic.cz/print.php?id=2>>
- [13] The United States Patent and Trademark Office (USPTO) [online], [cit.2010-10-01].
Dostupné z WWW: <<http://www.uspto.gov/about/index.jsp>>

- [14] Vysoké Učení Technické v Brně [online], [cit.2010-10-01]. **Dostupné z WWW:** <http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=267>
- [15] Heinz Schulz, Savoniův rotor, nakladatelství HEL, Ostrava 2008, 77s, ISBN 80-86167-26-7
- [16] Patentová a známková kancelář Markes [online], [cit.2010-18-03]. **Dostupné z WWW:** <<http://www.markes.cz/sluzby/reserse.html>>
- [17] Univerzitní institut UTB [online], [cit.2009-02-03]. **Dostupné z WWW:** <<http://web.uni.utb.cz>>
- [18] Solid Works cz [online], [cit.2011-02-03]. **Dostupné z WWW:** <<http://www.solidworks.cz>>
- [19] Flow Simulation 2010 Technical reference, součást SolidWorks 2010

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

v	[m/s]	Rychlost proudění média
P	[W]	Výkon
d	[m]	Průměr
h	[m]	Výška
U	[V]	Napětí
S	[m ²]	Objem
v_0	[m/s]	Naměřená rychlost větru ve výšce h_0
v_h	[m/s]	vypočtená rychlost větru
h_0	[m]	Výška, ve které se provádí měření
n	[-]	Exponent závisující na drsnosti povrchu (interval od 0 – 1)
c_p	[0 - 0.5]	součinitel výkonu (účinnost)
ρ	[kg·m ⁻³]	hustota vzduchu $\rho = 1.28$
n	[ot/s]	otáčky za sekundu
λ	[-]	rychloměrnost
P	[atm]	Tlak 1 atmosféra = tlak při hladině moře
Re	[-]	Reynoldsovo číslo
t	[°C]	Teplota (0°C = 273,15K)
C_D	[-]	Součinitel odporu
L	[m]	Délka
$\rho U^2/2$	[-]	Vstupní dynamický proud
F_D	[N]	Síla působící na válec
M_k	[N·m]	Krouticí moment
α	[°]	Úhel natočení

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Průměrná rychlost větru ve výšce 10m v ČR. [3].....</i>	15
<i>Obr. 2. Miskový anemometr [2]</i>	16
<i>Obr. 3. Vrtulový anemometr [4]</i>	16
<i>Obr. 4. Princip měření Termoanemometrem [14].....</i>	17
<i>Obr. 5. Princip využití mikroelektrárny pro napájení běžných spotřebičů [7]</i>	19
<i>Obr. 6. Příklad klasické elektrárny s vodorovnou osou otáčení [7]</i>	20
<i>Obr. 7. Příklad odporové</i>	21
<i>Obr. 8. Závislost dané rychlosti na četnosti výskytu [8]</i>	24
<i>Obr. 9. Závislost mezi typem VE, rychloběžností (u/v) a</i>	26
<i>Obr. 10. Legenda k obrázku č. 9. [12].....</i>	27
<i>Obr. 11. Princip Savoniova rotoru [14]</i>	28
<i>Obr. 12. Příklad využití 200 litrového sudu [15]</i>	28
<i>Obr. 13. Příklad konstrukce průtažného rotoru [15].</i>	31
<i>Obr. 14. Graf značí vývoj stavby větrných elektráren v letech 1981 až 2010 [9]</i>	33
<i>Obr. 15. Mapa USA zobrazující oblasti vhodné ke stavbě větrných elektráren [9]</i>	34
<i>Obr. 16. Projekt Optiwind [10]</i>	35
<i>Obr. 17. Projekt Optiwind na venkově [10]</i>	36
<i>Obr. 18. Projekt Broadstar AeroCam [10]</i>	37
<i>Obr. 19. Projekt Broadstar AeroCam na střeše budovy [10].....</i>	37
<i>Obr. 20. Architectural wind na střeše budovy [10]</i>	38
<i>Obr. 21. Logo EPO [11].....</i>	42
<i>Obr. 22. Členské státy EPC [11].</i>	43
<i>Obr. 23. Znak USPTO [13].</i>	44
<i>Obr. 24. První patent udělený v USA [13].</i>	44
<i>Obr. 25. Ukázka přední strany originálního patentu USA (1).....</i>	47
<i>Obr. 26. Ukázka nákrešů v patentové dokumentaci USA (1).....</i>	48
<i>Obr. 27. Ukázka stran v dokumentaci věnované vysvětlivkám (1).....</i>	49
<i>Obr. 28. Ukázka přední strany originálního patentu USA (2).....</i>	52
<i>Obr. 29. Ukázka nákrešů v patentové dokumentaci USA (2).....</i>	52
<i>Obr. 30. Příklad konstrukčního řešení v programu SolidWorks [18].</i>	55
<i>Obr. 31. Proudění kolem válce při nízkých hodnotách Re ($4 < Re < 60$) [19]</i>	57

Obr. 32. Proudění kolem válce při vyšších hodnotách Re ($60 \dots 100 < Re$) [19].....	57
Obr. 33. Porovnání přesnosti výpočtu v programu <i>Flow Simulation</i> s fotografií pořízené v aerodynamickém tunelu. [19]	58
Obr. 34. Závislost součinitele odporu C_D a Reynoldsova čísla Re [19].....	59
Obr. 35. Porovnání průtoku vzduch pomocí kouře a pomocí <i>Flow Simulation</i> [19]	60
Obr. 36. Vytvoření projektu	61
Obr. 37. Pojmenování projektu.....	62
Obr. 38. Nastavení jednotek teploty.....	62
Obr. 39. Nastavení jednotek otáček	63
Obr. 40. Nastavení typu analýzy	64
Obr. 41. Nastavení proudící látky.....	64
Obr. 42: Nastavení vnějších podmínek	65
Obr. 43. Nastavení okolí	66
Obr. 44. Nastavení přesnosti výpočtu	67
Obr. 45. Záložka <i>Flow Simulation analysis tree</i>	67
Obr. 46. Nastavení oblasti výpočtu.....	68
Obr. 47. Nastavení rotace	69
Obr. 48. Nastavení cílů výpočtů.....	70
Obr. 49. Spuštění simulace	70
Obr. 50. Nastavení <i>Batch run</i>	71
Obr. 51. Doba výpočtu.....	72
Obr. 52. Načtení výsledků.....	73
Obr. 53. Načtení výsledků ze složky.....	74
Obr. 54. Základní parametry náběžné hrany.....	75
Obr. 55. Náčrt vlivů změny hodnot parametrů náběžné hrany.....	75
Obr. 56. Skica profilu lopatky základního rotoru	76
Obr. 57. Detail profilu lopatky základního rotoru.....	76
Obr. 58. Základní rotor.....	77
Obr. 59. Natočení 0° vzhledem k ose x	77
Obr. 60. Závislost M_k na rychlosti větru	79
Obr. 61. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_{90} pro rychlost 2 m/s	79
Obr. 62. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_{90} pro rychlost 5 m/s	80
Obr. 63. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_{90} pro rychlost 10 m/s	80

Obr. 64. Graf závislosti M_k na úhlu natočení.....	81
Obr. 65. Graf závislosti M_k na úhlu natočení při různých otáčkách.....	83
Obr. 66. Změna hodnoty Tečného zatížení 2 ve skice na 155.....	83
Obr. 67. Změna hodnoty Tečného zatížení 2 ve skice na 215.....	84
Obr. 68. Změna hodnoty Tečného zatížení 2 ve skice na 245.....	84
Obr. 69. Závislost M_k na úhlu natočení při různých hodnotách tečného zatížení.....	85
Obr. 70. Změna hodnoty Směru tečnosti z 90° na 40° ve skice.....	86
Obr. 71. Graf závislosti M_k na úhlu natočení pro Nh_{40} a Nh_{90}	87
Obr. 72. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_{40}	88
Obr. 73. Změna hodnoty Směru tečnosti z 90° na 50° ve skice.....	88
Obr. 74. Graf závislosti M_k na úhlu natočení pro Nh_{50} a Nh_{90}	89
Obr. 75. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_{50}	90
Obr. 76. Změna hodnoty Směru tečnosti z 90° na 60° ve skice.....	90
Obr. 77. Graf závislosti M_k na úhlu natočení pro Nh_{60} a Nh_{90}	91
Obr. 78. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_{60}	92
Obr. 79. Změna hodnoty Směru tečnosti z 90° na 70° ve skice.....	92
Obr. 80. Graf závislosti M_k na úhlu natočení pro Nh_{70} a Nh_{90}	93
Obr. 81. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_{70}	94
Obr. 82. Změna hodnoty Směru tečnosti z 90° na 75° ve skice.....	94
Obr. 83. Graf závislosti M_k na úhlu natočení pro Nh_{75} a Nh_{90}	95
Obr. 84. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_{75}	96
Obr. 85. Změna hodnoty Směru tečnosti z 90° na 80° ve skice.....	96
Obr. 86. Graf závislosti M_k na úhlu natočení pro Nh_{80} a Nh_{90}	97
Obr. 87. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_{80}	98
Obr. 88. Změna hodnoty Směru tečnosti z 90° na 85° ve skice.....	98
Obr. 89. Graf závislosti M_k na úhlu natočení pro Nh_{85} a Nh_{90}	99
Obr. 90. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_{85}	100
Obr. 91. Změna hodnoty Směru tečnosti z 90° na 95° ve skice.....	100
Obr. 92. Graf závislosti M_k na úhlu natočení pro Nh_{95} a Nh_{90}	101
Obr. 93. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_{95}	102
Obr. 94. Změna hodnoty Směru tečnosti z 90° na 100° ve skice.....	102
Obr. 95. Graf závislosti M_k na úhlu natočení pro Nh_{100} a Nh_{90}	103
Obr. 96. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_{100}	104

<i>Obr. 97. Změna hodnoty Směru tečnosti z 90° na 110° ve skice</i>	104
<i>Obr. 98. Graf závislosti Mk na úhlu natočení pro Nh_110 a Nh_90.....</i>	105
<i>Obr. 99. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_110</i>	106
<i>Obr. 100. Změna hodnoty Směru tečnosti z 90° na 120° ve skice</i>	107
<i>Obr. 101. Graf závislosti Mk na úhlu natočení pro Nh_120 a Nh_90.....</i>	108
<i>Obr. 102. Trajektorie proudění větru rotoru Nh_120</i>	108

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Beaufortova stupnice síly větru	14
Tab. 2. Charakteristika osobního PC	72
Tab. 3. Charakteristika školního PC	72
Tab. 4. Příklad celkové doby výpočtu pro	73
Tab. 5. Závislost M_k na rychlosti větru	78
Tab. 6. Závislost M_k na úhlu natočení rotoru	81
Tab. 7. Závislost M_k na úhlu natočení při různých otáčkách	82
Tab. 8. Závislost M_k na úhlu natočení při tečném zatížení	84
Tab. 9. Závislost M_k na úhlu natočení při tečném zatížení	85
Tab. 10. Závislost M_k na úhlu natočení pro N_h_{40} a.....	87
Tab. 11. Závislost M_k na úhlu natočení pro N_h_{50} a.....	89
Tab. 12. Závislost M_k na úhlu natočení pro N_h_{60} a.....	91
Tab. 13. Závislost M_k na úhlu natočení pro N_h_{70} a.....	93
Tab. 14. Závislost M_k na úhlu natočení pro N_h_{75} a.....	95
Tab. 15. Závislost M_k na úhlu natočení pro N_h_{80} a.....	97
Tab. 16. Závislost M_k na úhlu natočení pro N_h_{85} a.....	99
Tab. 17. Závislost M_k na úhlu natočení pro N_h_{95} a.....	101
Tab. 18. Závislost M_k na úhlu natočení pro N_h_{100} a.....	103
Tab. 19. Závislost M_k na úhlu natočení pro N_h_{110} a.....	105
Tab. 19. Závislost M_k na úhlu natočení pro N_h_{110} a.....	107

SEZNAM PŘÍLOH

PI: Graf závislosti krouticího momentu M_k na úhlu natočení (srovnání průběhu křivky všech verzí rotoru s původním rotorem)

PII: K práci je přiloženo DVD, které obsahuje:

- Tabulky obsahující srovnání výsledků simulací a k nim přiřazené grafy (.xls)
- Videá zobrazující proudění větru u původního rotoru při různých rychlostech (.avi)
- Obrázky trajektorií všech zkoumaných verzí rotoru (.bmp)
- Bakalářskou práci v přenosném formátu (.pdf)
- Kompletní modely a výsledky pro původní rotor ve statickém stavu (.SLDPRT)

PŘÍLOHA P I: GRAF ZÁVISLOSTI KROUTICÍHO MOMENTU M_K NA ÚHLU NATOČENÍ

