

Analýza silových poměrů průtažného rotoru

Bc. Adam Procházka

Diplomová práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Adam PROCHÁZKA**
Osobní číslo: **T11168**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Analýza silových poměrů průtažného rotoru**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte rešerši na dané téma.
2. Vytvořte počítačový model průtažného rotoru.
3. Proveďte počítačovou simulaci zatížení větrem pro různé rychlosti proudění.
4. Zhodnoťte dosažené výsledky.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího DP.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jaroslav Maloch, CSc.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

8. února 2013

Termín odevzdání diplomové práce:

10. května 2013

Ve Zlíně dne 11. února 2013


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
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 užit 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 10.5.2013.

Procházka

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 nevydělečně 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). Odpirá-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 jim 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 přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Předložená diplomová práce je v teoretické části zaměřena na využití energie větru při výstavbách větrných elektráren, dále na aerodynamiku a hydrodynamiku proudícího média, konstrukci Savoniova a průtažného rotoru a také na modul Flow Simulation programu SolidWorks 2012. Cílem praktické části je popsat silové poměry na průtažném rotoru během jedné otáčky při zatížení proudícím vzduchem o rychlosti 4, 6, 8, 10 a 12 m/s. Silové analýzy jsou prováděny pro celý rotor, jednotlivé lopatky a také pro jednotlivé plochy lopatek (vnitřní a vnější). Výstupem práce je zhodnocení, při jakém úhlu natočení rotoru dojde k významné změně ve velikosti kroutícího momentu, a při jakém úhlu natočení se získá jeho nejvyšší hodnota.

Klíčová slova: větrná elektrárna, průtažný rotor, lopatka, kroutící moment, síla, aerodynamika, hydrodynamika, Flow Simulation

ABSTRACT

Theoretical part of submitted diploma thesis is focused on the use of wind energy during the development of wind power plants, the next are aerodynamics and hydrodynamics of flowing medium, a construction of Savonius and crossrotor, and also Flow Simulation modul by program SolidWorks 2012. The target of practical part is a description of force ratio on a crossrotor during the one revolution in the process of the loading by flowing air the velocity 4, 6, 8, 10 and 12 m/s. The force analysis are performed for the whole crossrotor, single blades and a single surfaces of blades (inside and outside). The work output is an evaluation during the which angle of the tilting of crossrotor occurs significant change in the intensity of the torque and when the highest value of the torque could be get.

Keywords: wind power plant, crossrotor, blade, torque, force, aerodynamic, hydrodynamic, Flow Simulation modul

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Jaroslavu Malochovi, CSc. za odborné vedení, připomínky a rady, které mi poskytl při zpracování diplomové práce.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ENERGIE VĚTRU	12
1.1 VÍTR	12
1.2 VĚTRNÁ ENERGIE A JEJÍ VYUŽITÍ	12
1.3 PŘÍRODNÍ PODMÍNKY V ČESKÉ REPUBLICE	12
1.4 VTĚ A JEJICH VLIV NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ	13
1.5 DĚLENÍ VTĚ	14
1.5.1 Systémy nezávislé na rozvodné síti (grid-off)	14
1.5.2 Systémy dodávající energii do rozvodné sítě (grid-on)	15
1.6 VÝHODY VTĚ	15
1.7 NEVÝHODY VTĚ	15
1.8 KRITÉRIA PRO VÝBĚR LOKALITY	16
1.9 BUDOUCNOST VTĚ	16
1.10 VTĚ VE SVĚTĚ	17
1.11 VTĚ V EVROPĚ	18
1.12 NEJVĚTŠÍ VĚTRNÁ FARMA NA SVĚTĚ	21
2 AERODYNAMIKA	23
2.1 VZNIK VZTLAKU	23
2.2 TEORÉM N. E. ŽUKOVSKÉHO	27
2.2.1 Stanovení vztlakové síly	28
3 HYDRODYNAMIKA	30
3.1 ÚČINEK PROUDU KAPALINY NA NEHYBNOU A POHYBUJÍCÍ SE DESKU	30
4 SAVONIŮV ROTOR	32
4.1 VÝHODY	33
4.2 NEVÝHODY	33
4.3 UMÍSTĚNÍ SAVONIOVA ROTORU	34
4.4 PRŮTAŽNÝ ROTOR	35
5 SOLID WORKS 2012	36
5.1 REALISTICKÉ SIMULACE V SYSTÉMU SOLIDWORKS 2012	36
5.2 ČIDLA POHYBU A JEHO OPTIMALIZACE	36
5.3 PROUDĚNÍ, TEPLA, STATIKA	37
5.4 MODUL FLOW SIMULATION	37
5.5 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ ZÍSKANÝCH SIMULACÍ S VÝSLEDKY Z PRAXE	39
II PRAKTICKÁ ČÁST	43
6 KONSTRUKCE PRŮTAŽNÉHO ROTORU	44
7 NASTAVENÍ ANALÝZY	45

7.1	PRŮVODCE NASTAVENÍ ANALÝZY	45
7.1.1	Vytvoření konfigurace	45
7.1.2	Jednotkový systém.....	45
7.1.3	Typ analýzy	45
7.1.4	Proudící látka.....	46
7.1.5	Vnější podmínky	46
7.1.6	Počáteční podmínky	46
7.1.7	Přesnost výsledků a geometrie	46
7.2	VÝPOČTOVÁ OBLAST	46
7.3	CÍLE VÝPOČTU	47
7.4	KONFIGURAČNÍ TABULKY	49
8	VYHODNOCENÍ SILOVÝCH POMĚRŮ NA JEDNOTLIVÝCH LOPATKÁCH ROTORU 6.....	50
8.1	VÝPOČET $M_{K_{120}}$, VÝSLEDNIC $F_{1,2,3-120}$ A ÚHLU JEJICH NATOČENÍ $\Phi_{1,2,3-120}$	51
8.2	GRAFICKÁ ZNÁZORNĚNÍ PRŮBĚHU M_K BĚHEM JEDNÉ OTÁČKY	53
8.3	VÝPOČET VÝSLEDNICE F A ÚHLU JEJÍHO NATOČENÍ Φ	57
8.4	PŘÍČINY POKLESU M_K PŘI ZMĚNĚ NATOČENÍ ROTORU Z 63° NA 64°	59
8.5	VYHODNOCENÍ NEJVYŠŠÍHO A NEJNIŽŠÍHO M_K BĚHEM JEDNÉ OTÁČKY	67
9	VYHODNOCENÍ SILOVÝCH POMĚRŮ NA ROTORU 12 A JEHO SROVNÁNÍ S ROTOREM 6.....	69
10	SROVNÁNÍ ROTORŮ 4, 6, 8, 10 A 12	76
11	VYHODNOCENÍ SILOVÝCH POMĚRŮ NA JEDNOTLIVÝCH PLOCHÁCH LOPATEK ROTORU 6.....	79
	ZÁVĚR	89
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	91
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	93
	SEZNAM OBRÁZKŮ	98
	SEZNAM TABULEK	101
	SEZNAM PŘÍLOH	102

ÚVOD

Diplomová práce vychází z mé bakalářské práce nazvané vliv zaoblení náběžné hrany lopatky na účinnost průtažného rotoru. Tato práce popisovala mechanické chování průtažného rotoru při jeho zatížení proudícím vzduchem ve směru osy x při natočení rotoru 0, 30, 60 a 90°. V bakalářské práci se nevyšetřilo, jak se mění silové poměry na rotoru v průběhu jedné otáčky o 360° a jak je rotor zatěžován především v oblasti nejvyššího krouticího momentu.

Pro měření silových poměrů na průtažném rotoru bude v praktické části práce využita konstrukce s rozpětím lopatek 600 mm a výškou rotoru 700 mm. Tento rotor bude natáčen po jednom stupni tak, aby se co nejlépe pokryla celá jedna otáčka o 360°. Při každém natočení se následně rotor zatíží simulovaným prouděním vzduchu o rychlosti 4, 6, 8, 10 a 12 m/s. Tím se získá dobrá představa o průběhu krouticího momentu a sil na rotoru během jedné otáčky a při různých rychlostech proudění vzduchu. Ze získaných průběhů vyjde najevo, při jakém stupni natočení rotoru dojde ke skokové změně ve velikosti krouticího momentu a sil, které by mohly při provozu způsobovat nežádoucí dynamická a rázová zatížení. Dalším výstupem praktické části bude zjištění, při jakém stupni natočení rotoru se získá nejvyšší krouticí moment a kdy je tak rotor nejvíce zatěžován v průběhu jedné otáčky. Výpočty krouticích momentů a sil budou prováděny pro celý rotor, pro jednotlivé lopatky rotoru a nakonec pro jednotlivé plochy lopatek (vnitřní a vnější). Rozdělení lopatek rotoru na vnitřní a vnější plochy umožní vyhodnotit, při jakém natočení rotoru jsou vnitřní a vnější plochy lopatek od sebe odtrhovány, případně při jakém natočení jsou k sobě tyto plochy naopak přitlačovány (při využití sendvičové konstrukce lopatky).

Všechny analýzy budou prováděny v programu SolidWorks 2012, konkrétně v modulu Flow Simulation, jehož dostupné funkce jsou podrobně popsány v teoretické části této práce.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ENERGIE VĚTRU

1.1 Vítr

Vítr je horizontální proudění vzduchu v atmosféře. Je vyvolaný rozdíly v tlaku vzduchu a rotací Země. Při jeho popisu nás zajímá jeho směr, rychlost a ochlazovací účinek. Rychlost a směr větru se měří pomocí anemometru (viz Obr. 1). [15]



Obr. 1. Anemometr [15]

1.2 Větrná energie a její využití

Větrná energie je jednou z forem sluneční energie. Vítr vzniká v atmosféře na základě rozdílu atmosférických tlaků v důsledku nerovnoměrného ohřívání zemského povrchu včetně oceánu. [9]

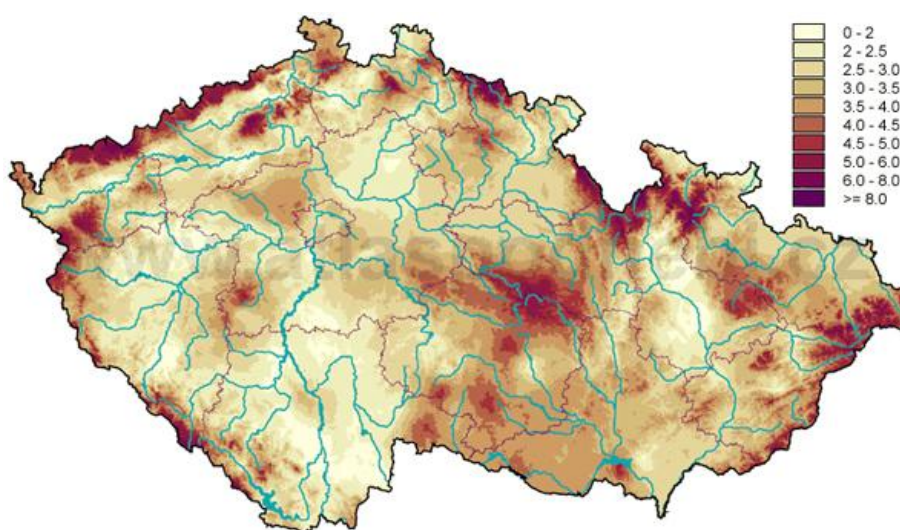
V současné době je snaha využít energii větru hlavně k výrobě elektřiny. Proto u nás stále přibývá větrných elektráren (dále jen VtE) a vyvíjejí se nové technologie, k čemu nejefektivnějšímu využití energie větru. Velkou výhodou je, že stát toto úsilí podporuje formou dotací, příznivých cen za vyrobenou elektřinu (cca 2,46 Kč/kWh), zelených bonusů (cca 1,87 Kč/kWh), nebo také garancí pevné a neměnitelné výkupní ceny po dobu 20 let od spuštění elektrárny. [5]

1.3 Přírodní podmínky v České republice

Česká republika je vnitrozemským státem, který má typické kontinentální klima. To se projevuje významným sezónním kolísáním rychlosti a směru větru (vznikem turbulencí).

Příčinou tohoto kolísání je zejména globální vzdušné proudění typické pro severní a střední Evropu.

Hlavním a nejdůležitějším parametrem ovlivňujícím využití energie větru je jeho rychlost. Udává se v jednotkách m/s a je závislá na mnoha faktorech. Čím je povrch hladší, tím je rychlost větru vyšší. Rychlost větru také snižuje členitost terénu a překážky ve směru jeho proudění nebo i druh povrchu (tráva, les, vodní hladina, sníh apod.). Dále je to nadmořská výška, s jejímž nárůstem se rychlost větru zvyšuje. Je velký rozdíl, jestli bude rotor vybudován ve výšce 10 m nebo 100 m nad terénem. Pro praktické využití energie větru jsou zajímavé výšky od 40 m nad zemským povrchem. [5]



Obr. 2. Průměrná sezónní rychlost větru na podzim v m/s [5]

1.4 VtE a jejich vliv na životní prostředí

VtE se staly v průběhu let symbolem ekologické výroby elektřiny a nic na tom nemění, že je jim často vyčítán hluk, stroboskopický efekt (odraz Slunce), rušení zvěře nebo rušení televizního signálu. Vzhledem k modernizaci elektráren a jejich vhodném umístění už jsou tyto negativní jevy z velké části eliminovány. Problémem už v dnešní době není ani hladina hluku, jehož přípustná hodnota je ve dne 50 dB a v noci 40 dB. Pro představu, moderní VtE ve vzdálenosti 200 metrů vydává při rychlosti větru $v = 6$ až 7 m/s přibližně shodný hluk jako stejně vzdálený les. [5]

Asi největším problémem, se kterým se potýkají společnosti při výstavbě, je v dnešní době estetické narušení přírodního rázu krajiny. Je to způsobeno hlavně tím, že se sice snižuje počet elektráren, ale zase se staví mnohem větší a jsou tak i více vidět. Na druhou stranu,

výstavba moderní VtE přiláká do dané oblasti turisty. Např. v Dánsku se pořádají výlety lodí na mořskou větrnou farmu Middelgrunden (viz Obr. 3.) nedaleko Kodaně, nebo poblíž Vídně můžeme navštívit elektrárnu, která má pod vrtulí vybudovanou vyhlídkovou plošinu. [5]



Obr. 3. Větrná farma Middelgrunden [8]

1.5 Dělení VtE

1.5.1 Systémy nezávislé na rozvodné síti (grid-off)

Jsou to autonomní systémy, sloužící objektům, které nemají možnost se připojit k rozvodné síti. Zde se obvykle používají mikroelektrárny s výkonem $P = 0,1 - 5 \text{ kW}$. V objektu pak může být buď rozvod stejnosměrného proudu s nízkým napětím ($U = 12 \text{ V}$ nebo 24 V), nebo je v systému zapojen ještě střídač pro dodávku střídavého proudu $U = 230 \text{ V}$. Takový objekt je nutno vybavit energeticky úspornými spotřebiči. Autonomní systémy bývají často doplněny fotovoltaickými panely pro letní období, kdy je méně větru, ale více slunce. [5]

Můžeme se také setkat s myšlenkou využít větrnou energii k vytápění rodinného domu nebo chaty. Toto využití je trochu problematické. Dům pro bydlení by měl stát na místě chráněném před větrem. VtE naopak potřebuje větru co nejvíce. Nízko nad zemí je vítr brzděn stromy, domy a dalšími překážkami, takže je nutno umístit turbínu na co nejvyšší stožár. [5]

1.5.2 Systémy dodávající energii do rozvodné sítě (grid-on)

Jsou nejrozšířenější a používají se v oblastech s velkým větrným potenciálem. Slouží téměř výhradně pro komerční výrobu elektřiny. Velké VtE mají asynchronní generátor, který dodává střídavý proud většinou o napětí $U = 660 \text{ V}$, a tudíž nemohou pracovat jako autonomní zdroje energie. Elektrárny velkých výkonů ($P = 300 - 3\,000 \text{ kW}$) jsou určeny k dodávce energie do veřejné rozvodné sítě, mají průměr rotoru 40 - 80 m a věž o výšce více než 80 m. [5]

1.6 Výhody VtE

- 1) Výroba tzv. čisté energie, bez škodlivých emisí a odpadů.
- 2) Nevyužívají fosilní paliva.
- 3) Ekonomický přínos pro obce – podíl na zisku.
- 4) Zájem turistů.
- 5) Konstantní výkupní cena po dobu 20 let od spuštění elektrárny.
- 6) Zelené bonusy a dotace. [5]

1.7 Nevýhody VtE

- 1) Technicky náročná a finančně nákladná stavba.
- 2) Nerovnoměrnost dodávky v závislosti na rychlosti větru.
- 3) Lokalita – energetické využití větru má smysl jen tam, kde vítr dosahuje průměrné rychlosti nad 5 m/s.
- 4) Malé stroje začínají pracovat již při rychlostech okolo 4 m/s, ale jejich výkon je velmi malý. Největšího výkonu dosahuje elektrárna při rychlostech větru kolem 10 m/s. Energie větru totiž roste se třetí mocninou rychlosti, takže např. vítr o rychlosti 5 m/s má dvakrát více energie než při rychlosti 4 m/s.
- 5) Nelze určit návratnost investice (závisí na rychlosti větru).
- 6) Možnost poškození vlivem rázových účinků větru (kolem rychlosti 20 m/s musíme vrtuli mechanicky zabrzdít).
- 7) Estetické narušení krajiny. [5]

1.8 Kritéria pro výběr lokality

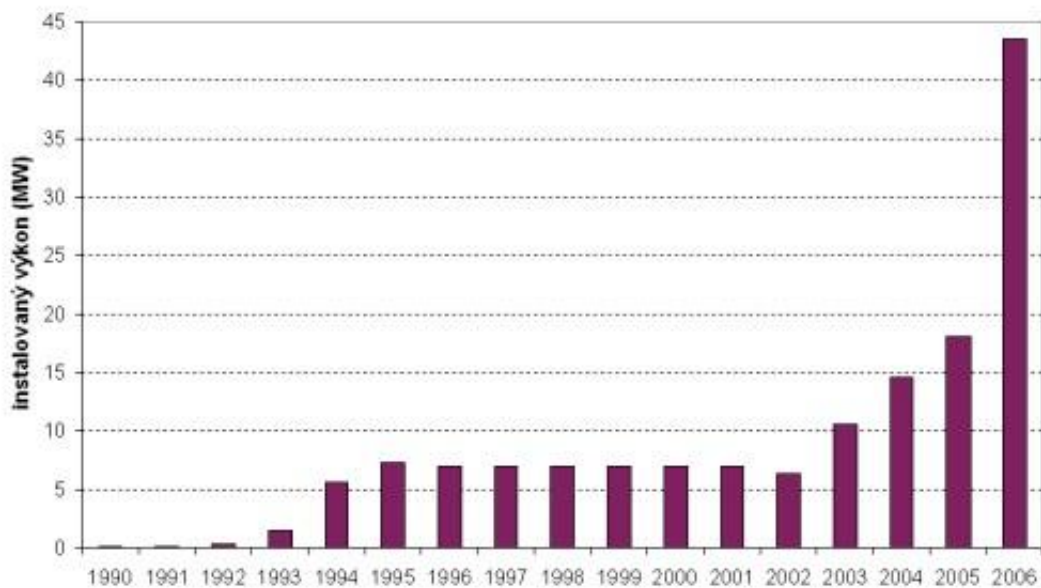
Výběr lokality pro výstavbu VtE má zásadní vliv na množství vyrobené energie. Při výběru lokality je třeba zvážit:

- 1) Jaká je rychlost a směr větru v dané lokalitě (měření musí probíhat alespoň po dobu jednoho roku).
- 2) Výskyt překážek v terénu (stromy, domy, porosty), které brání laminárnímu proudění a mění ho v nežádoucí turbulentní.
- 3) Lokální nepříznivé meteorologické jevy, např. námrazy, které způsobují nutnost odstávky, protože námraza svou tíhou narušuje vyváženost rotoru a při pádu z rotoru může ohrožovat okolí. [9]
- 4) Nadmořskou výšku.
- 5) Možnost umístění vhodné technologie – geologické podmínky, dostupnost lokality, vzdálenost od přípojky (VN – vysoké napětí nebo VVN – velmi vysoké napětí), vzdálenost od obydlí, míra zásahu do okolní přírody.
- 6) Majetkoprávní vztahy k pozemku.
- 7) Postoj místních úřadů a občanů. [5]

1.9 Budoucnost VtE

Trendem je výstavba stále rozměrnější strojů a snižování jejich počtu (průměr rotoru 40 – 100 m a stožár o výšce více než 100 m), s výkonem $P = 0,85 - 2,5$ MW. Důvodem jsou nižší měrné náklady na výrobu energie a maximální využití omezeného počtu lokalit. Ve vnitrozemí se staví stroje většinou s výkonem $P = 100 - 2\,000$ kW. Na moři a pobřežích se využívají turbíny s výkonem až $P = 5$ MW, tyto lokality jsou tak pro výstavbu VtE nejvýhodnější. [5]

Využití síly větru je ve světě velmi rozšířené (hlavně v Německu, Španělsku a Dánsku). Potenciál větrné energie v ČR se odhaduje na 4 GWh ročně, což by pokrylo cca 4 % celkové spotřeby elektřiny. [5]



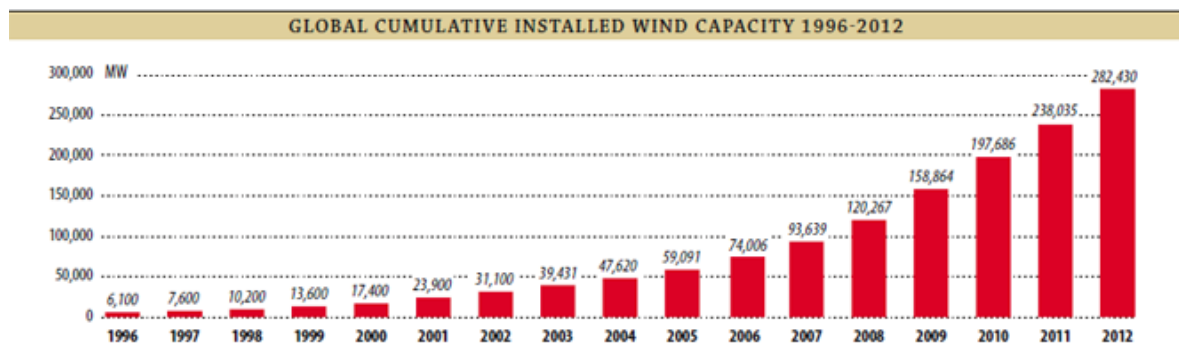
Obr. 4. Instalovaný výkon VtE v ČR v letech 1990 až 2006 [6]

1.10 VtE ve světě

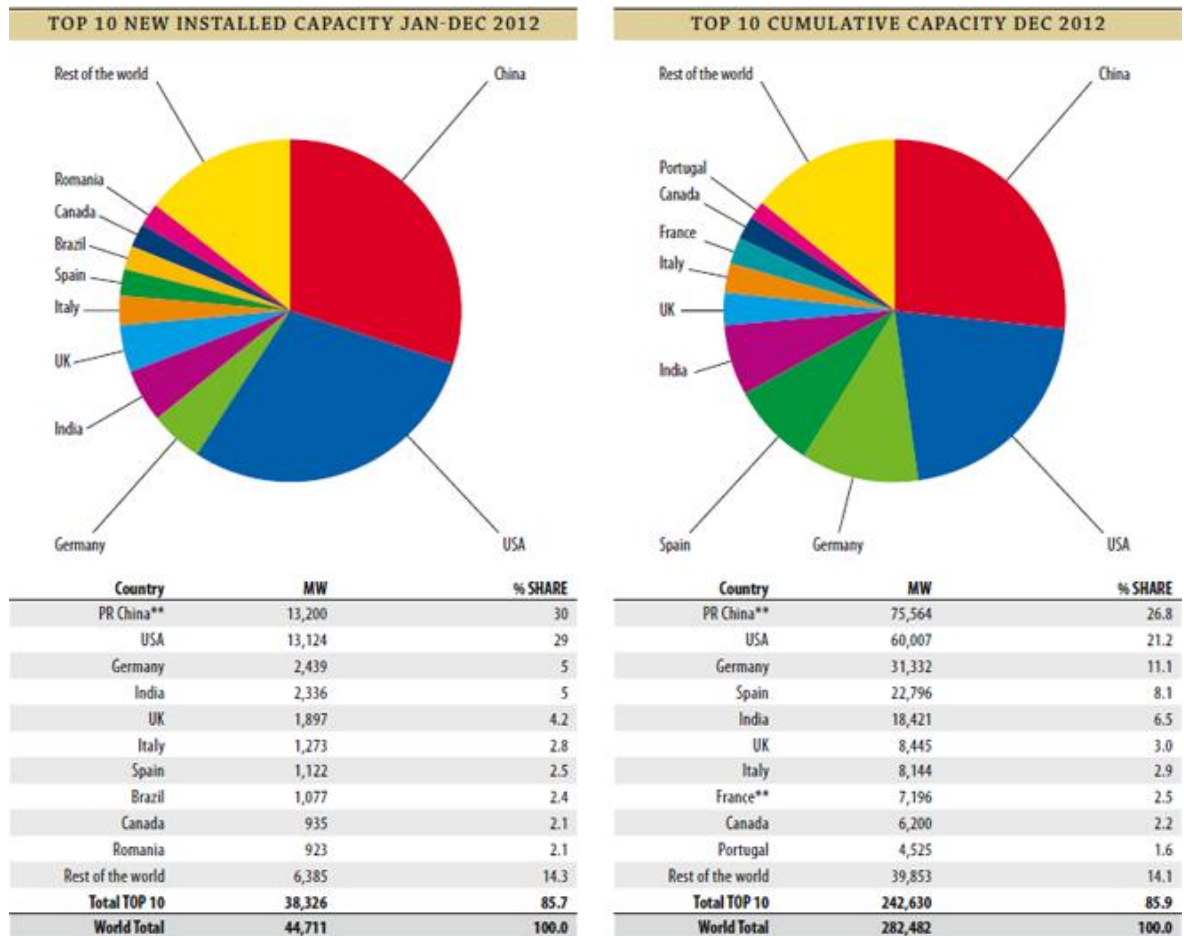
V roce 2012 bylo ve světě nainstalováno celkem 44 711 MW výkonu VtE, což představuje meziroční nárůst o 20,9 %. Celkový instalovaný výkon VtE ve světě dosáhl hodnoty 282,482 GW. [16]

Na světovém žebříčku se Čína se svými celkovými 75 564 MW instalovaného výkonu ve VtE umístila na prvním místě (meziroční nárůst 13 200 MW), následuje USA s celkem 60 007 MW, (meziroční nárůst 13 124 MW) a Španělsko (22 796 MW). [16]

V nových instalacích za rok 2012 se na prvních třech pozicích TOP 10 umístila Čína, USA a Německo. Další rozmach pak zaznamenali v instalacích do větrné energetiky v Indii, UK, Itálii, Španělsku, ale také Brazílii, Kanadě či Rumunsku. [16]



Obr. 5. Celkový instalovaný výkon ve světě v letech 1996 – 2012 [16]



Obr. 6. Nově instalovaný výkon a celkový výkon VtE roce 2012 [16]

1.11 VtE v Evropě

- V EU bylo v roce 2012 nainstalováno 11 895 MW ve VtE (celkové investice se pohybovaly mezi 12,8 - 17,2 miliardami EUR).
- 26,5% z celkové instalované kapacity všech zdrojů elektřiny v loňském roce činily instalace ve větru.
- Instalace v obnovitelných zdrojích činila 70% z nových instalací v roce 2012, tj. 31,3 GW z celkové nově instalované kapacity 44,9 GW.
- Roční instalace ve větru vzrostly za posledních 12 let z původních 3,2 GW v roce 2000, na dnešních 11,9 GW.
- Německo, Španělsko, UK a Itálie patří mezi země s největší instalovanou kapacitou ve větru.

- 15 států EU má instalováno přes 1 GW ve větrné energii včetně Rumunska a Polska.
- Instalace v rámci offshore projektů zaznamenaly v roce 2012 značný nárůst a nárůst se předpokládá i v následujících dvou letech.
- Kapacita instalovaná v roce 2012 by v běžném větrném roce vyprodukovala 231 TWh, což by bylo dostačující na pokrytí spotřeby 7% elektřiny v EU. [17]

	Installed 2011	End 2011	Installed 2012	End 2012
EU Capacity (MW)				
Austria	73	1084	296	1,378
Belgium	191	1,078	297	1,375
Bulgaria	28	516	168	684
Cyprus	52	134	13	147
Czech Republic	2	217	44	260
Denmark	211	3,956	217	4,162
Estonia	35	184	86	269
Finland	2	199	89	288
France	830	6,807	757	7,564
Germany	2,100	29,071	2,415	31,308
Greece	316	1,634	117	1,749
Hungary	34	329	0	329
Ireland	208	1,614	125	1,738
Italy	1,090	6,878	1,273	8,144
Latvia	17	48	21	68
Lithuania*	16	179	46	225
Luxembourg*	1	45	0	45
Malta	0	0	0	0
Netherlands	59	2,272	119	2,391
Poland	436	1,616	880	2,497
Portugal	341	4,379	145	4,525
Romania	520	982	923	1,905
Slovakia	0	3	0	3
Slovenia	0	0	0	0
Spain	1,050	21,674	1,122	22,796
Sweden	754	2,899	846	3,745
United Kingdom	1,298	6,556	1,897	8,445
Total EU-27	9,664	94,352	11,895	106,040
Total EU-15	8,524	90,145	9,714	99,652
Total EU-12	1,140	4,207	2,181	6,388

Obr. 7. Instalovaný výkon VtE v Evropě na konci roku 2012 [17]

FIGURE 3.4 CUMULATIVE WIND POWER INSTALLATIONS IN THE EU (GW)

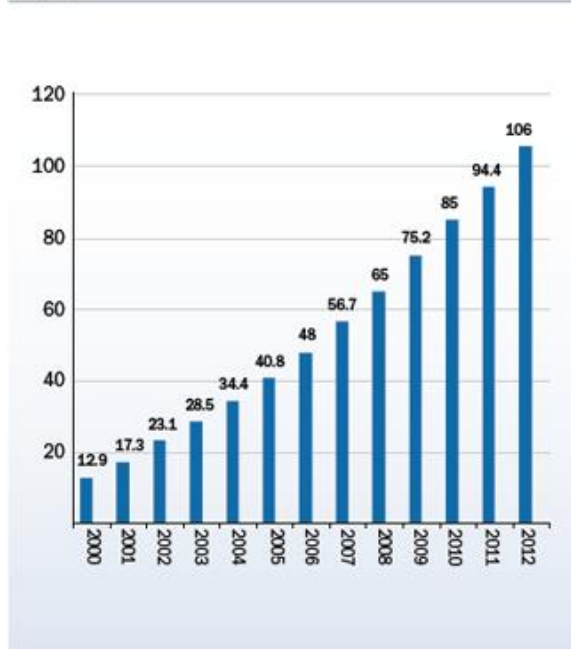
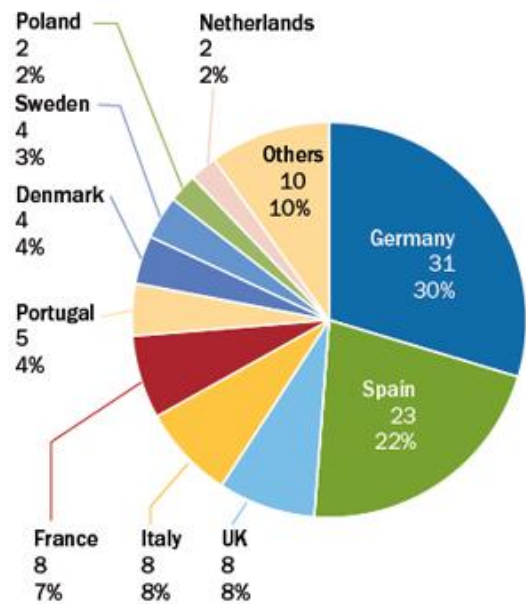
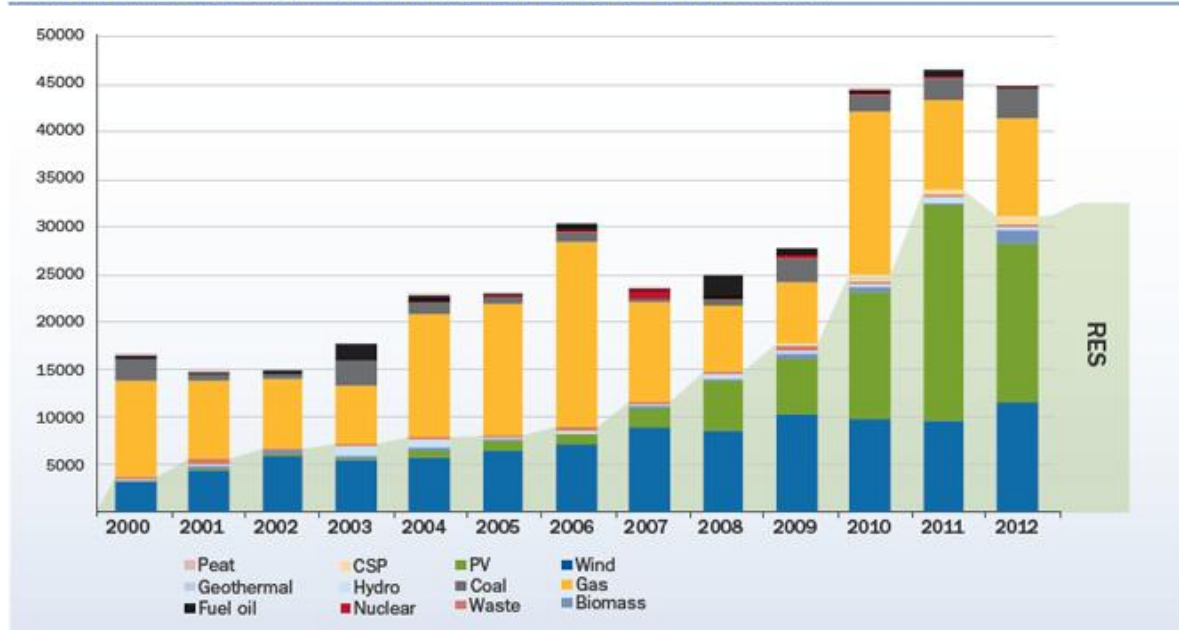


FIGURE 3.5 EU MEMBER STATE MARKET SHARES FOR TOTAL INSTALLED CAPACITY. TOTAL 105.7 GW



Obr. 8. Instal. výkon VtE v EU (1995–2012) a podíl zemí na instal. výkonu [17]

FIGURE 2.1 INSTALLED POWER GENERATING CAPACITY PER YEAR IN MW AND RES SHARE (%)



Obr. 9. Podíly nově instal. zdrojů v EU v letech 1995 - 2012 (v MW a v %) [17]

FIGURE 2.3 EU POWER MIX 2000

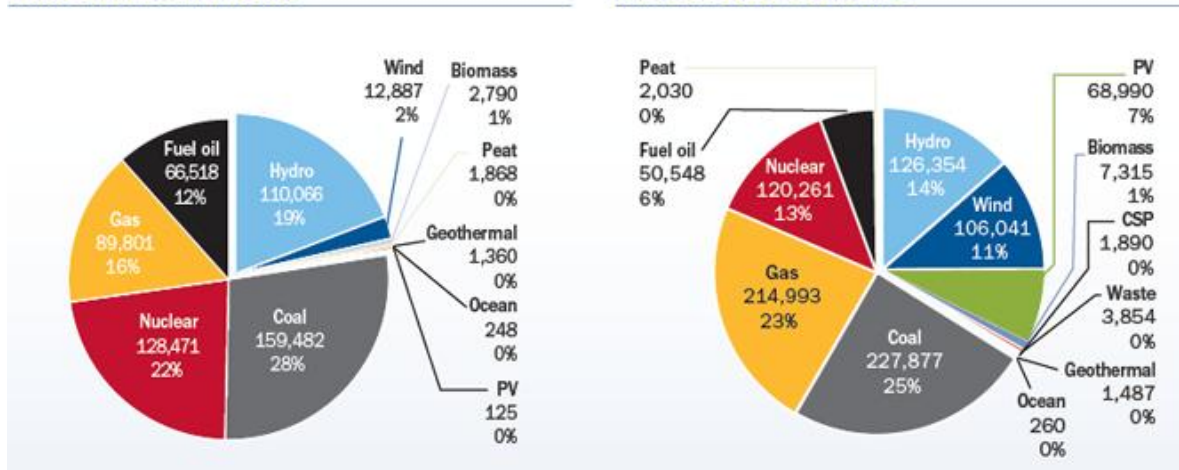
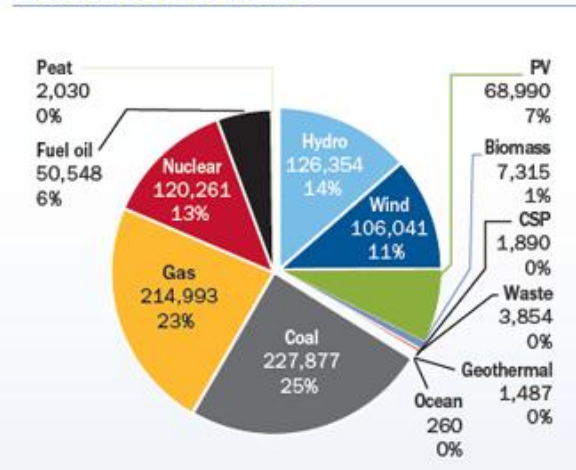


FIGURE 2.4 EU POWER MIX 2012



Obr. 10. Srovnání evropského energetického mixu v roce 2000 a 2012 (v MW) [17]

PV - fotovoltaika, Gas - zemní plyn, Wind - vítr, Coal - uhlí, Fuel oil - topný olej, Hydro - vodní elektrárny, CSP - sluneční elektrárny využívající zrcadel, Nuclear – jaderná elektrárna, Biomass - biomasa, Waste – odpady, Peat – rašelina, Geothermal – elektrárna využívající energie zemského jádra [17]

1.12 Největší větrná farma na světě

Celé Spojené státy za loňský rok vyrobily zhruba 25 000 MW (jen pro představu je to 166x více, než se vyrobí v ČR). Koncem druhého čtvrtletí roku 2009 větrné farmy tuto hodnotu zvýšily o celé 4 000 MW oproti roku 2008. [7]

Největší větrná farma na světě, která dostala jméno Roscoe (viz Obr. 11) a pyšní se obdivuhodným instalovaným výkonem 781,5 MW, byla poprvé spuštěna 1. října 2009. Rozloha pozemku, na němž byla farma vystavěna, je 400 km². Najdeme zde celkem 627 větrných turbín, ze kterých může čerpat energii až 230 000 domácností. Majitelem farmy je elektrárenská společnost E.ON, která do této výstavby investovala 1 miliardu dolarů. [7]

E.ON po celém světě vlastní několik větrných farem s celkovou instalovanou kapacitou 2 600 MW. Více než polovina je umístěna v USA v několika státech (1 488 MW), většina je ale vystavěna v Texasu. [7]

V roce 2006 se Texas jako jediný ze všech států v USA stal největším poskytovatelem větrné energie o celkovém instalovaném výkonu 2 400 MW. Tento trend se udržel až dodnes, přičemž se tato hodnota během 3 let zvýšila na číslo 8 335 MW. V plánu jsou však další projekty (některé z nich jsou již ve výstavbě), díky nimž by se v několika dalších letech kapacita VtE v USA měla zvýšit na dvojnásobek. [7]

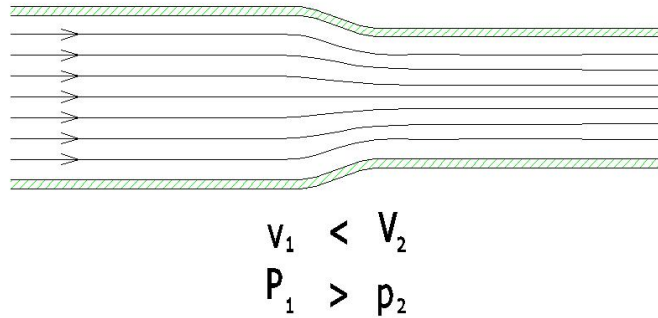


Obr. 11. Největší větrná farma Roscoe v USA [7]

2 AERODYNAMIKA

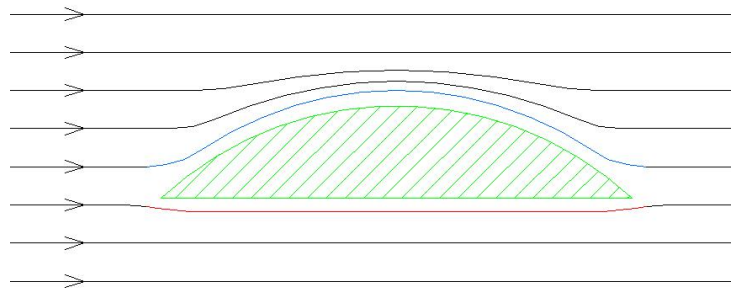
2.1 Vznik vztlaku

Pro vysvětlení vzniku vztlakové síly dobře slouží fyzikální podstata proudění plynu v zúžené trubici.



Obr. 12. Proudění v zúžené trubici [18]

V užším místě trubice je vyšší rychlost proudění plynu, ale menší tlak, než v širším místě trubice. Z toho vyplývá, že kde je vyšší rychlost proudění, tam je nižší tlak. Tohoto principu se využívá u aerodynamického profilu např. lopatek rotorů nebo křídel letadel. Pokud do proudu vzduchu umístíme např. těleso s tvarem kruhové výseče, můžeme pak zkoumat účinky proudění vzduchu na těleso. [18]



Obr. 13. Proudění vzduchu okolo tělesa [18]

Jak můžeme vidět na Obr. 13, červená (spodní) proudnice je kratší než modrá (horní) proudnice. Proud vzduchu se ve stejný okamžik před tělesem rozdělí a na odtokové hraně zase spojuje. Při rozdílné délce obou proudnic je pak jasné, že horní proudnice musí urazit za stejný časový okamžik delší dráhu než dolní proudnice. Tím pádem má i vyšší rychlost. A jak bylo řečeno u Obr. 12, kde je vyšší rychlost, musí být nižší tlak. Z toho vyplývá, že se nad a pod tělesem vytváří oblasti s rozdílnými tlaky.

Nad tělesem vzniká účinkem vysoké rychlosti a nízkého tlaku podtlak a pod tělesem vzniká účinkem nízké rychlosti a vysokého tlaku přetlak. [18]

Výslednicí těchto dvou sil je pak jedna síla nazývaná vztlak, která má danou velikost a přesnou orientaci (viz Obr. 14., Rovnice 1). Na výsledné velikosti vztlaku se více podílí podtlak (vypouklá strana profilu), který je asi 2x větší než přetlak. [18] [21]

$$F_y = \frac{1}{2} \rho C_y S v_s^2 \quad [N] \quad (1)$$

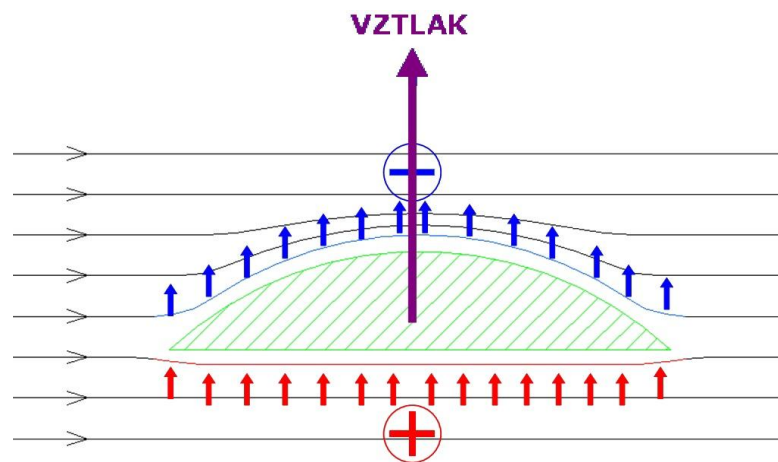
F_y – vztlaková složka [N]

S – plocha lopatky [m^2]

ρ – hustota vzduchu [kg/m^3]

v_s – rychlost skutečného proudu vzduchu (vektorový součet rychlosti větru a rychlosti otáčení) [m/s]

C_y – součinitel vztlaku [-] [21]



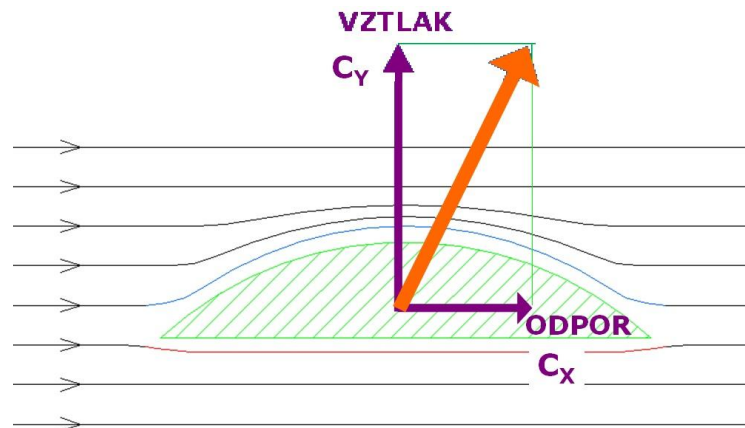
Obr. 14. Vztlaková síla [18]

Na profilu, který je umístěn v proudu vzduchu, působí kromě vztlakové síly i síla odporová, která je ale poměrově vůči vztlakové síle menší a vyjadřuje se vztahem:

$$F_x = \frac{1}{2} \rho C_x S v^2 \quad [N] \quad (2)$$

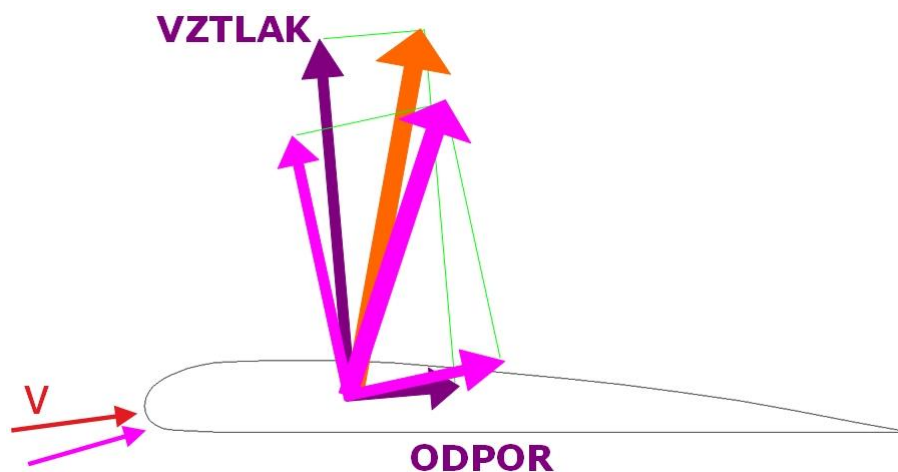
C_x – součinitel odporu [-] [21]

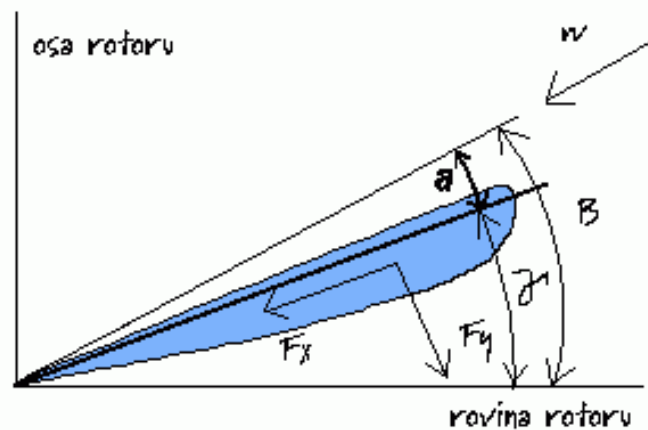
Vztlaková složka síly a odporová složka síly spolu pak tvoří výslednici sil na profilu (viz Obr. 15).



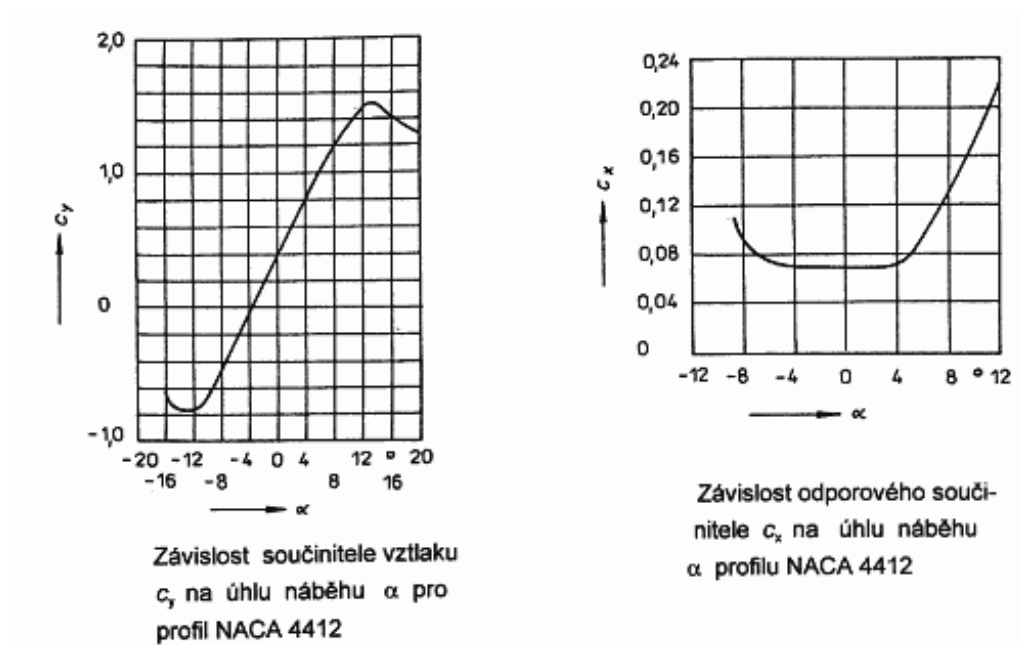
Obr. 15. Výslednice sil na profilu [18]

Skutečný aerodynamický profil listu může mít třeba tvar jako na Obr. 16 a Obr. 17. Při navrhování profilu lopatky se snažíme dosáhnout co největší vztakové síly, která je vždy kolmá k nabíhajícímu proudu vzduchu, a co nejmenší síly odporové. Tedy co největšího poměru součinitele vztlaku a odporu C_y/C_x . Tyto součinitele jsou závislé na tvaru profilu, délce tětiny (což je pomyslná přímka mezi odtokovou hranou a náběžnou hranou profilu lopatky), rychlosti vzduchu a hlavně na úhlu náběhu α . Se vzrůstajícím úhlem náběhu sice roste součinitel vztlaku C_y , ale zároveň roste také součinitel odporu C_x . Proto je třeba najít takovou hodnotu úhlu náběhu, při kterém je podíl C_y/C_x maximální. [18] [21]

Obr. 16. Působení F_y v závislosti na směru obtékání profilu [18]



Obr. 17. Profil lopatky [21]



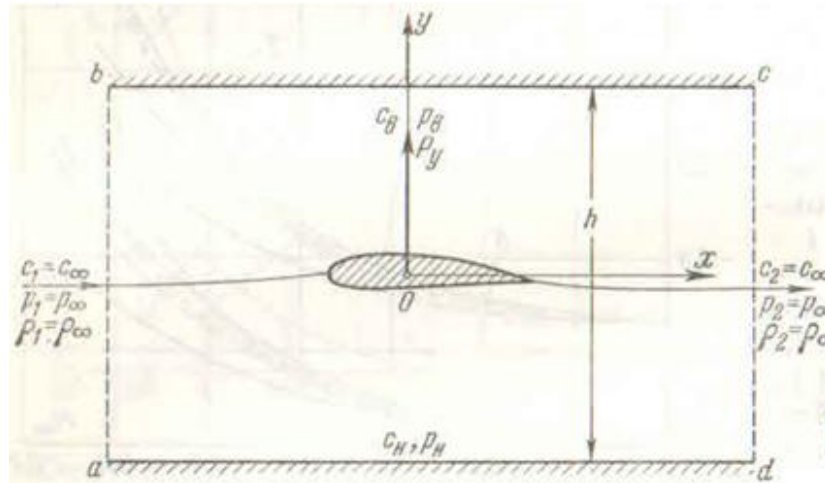
Obr. 18. Závislost koeficientu vztlaku a odporu na úhlu náběhu [21]

Z grafů na Obr. 18 je patrné, že list lopatky musíme navrhovat tak, aby každá část listu byla obtékána vzduchem pod tímto ideálním úhlem náběhu (většinou $3^\circ - 8^\circ$). [21]

Tato teorie vzniku vztlakové síly neplatí např. pro souměrné profily, které mají horní i spodní část zrcadlově stejné. U takovýchto profilů jsou rychlosti po obou stranách stejné a nemůže tak vzniknout rozdíl tlaků a tedy i vztlak. Tento problém byl vyřešen až N. E. Žukovským, který objevil vírový původ síly, jíž na sebe vzájemně působí proud a obtékané těleso a našel jednoduchý vztah mezi touto silou a intenzitou cirkulačního proudění, které vzniká při obtékání tělesa. Tato úloha byla řešena N. E. Žukovským v roce 1906. [18] [19]

2.2 Teorém N. E. Žukovského

Pro dokázání teorému N. E. Žukovského (důkaz odvodil G. F. Burago) bylo použito náčrtu, který je zobrazen na Obr. 19. [19]



Obr. 19. Teorém N. E. Žukovského [19]

Předpoklady:

- V rovinném proudu vzduchu je umístěn profil křídla mezi dvěma rovinnými plochami, které jsou rovnoběžné se směrem proudu
- Plochy jsou od sebe vzdáleny o „h“
- Soustava souřadnic xOy je umístěna tak, aby směr osy x byl stejný jako směr vektoru rychlosti nerušeného proudu „c_∞“
- V nekonečné vzdálenosti od profilu jsou vedeny řezy „ab“ a „cd“, které jsou kolmé ke směru proudu [19]

Pokud předpokládáme obtékání profilu bez odtržení proudu (tzn. obtékání ideální tekutinou s nulovou viskozitou), zjistíme, že síla směřující proti proudu (čelní odpor profilu) je dána vztahem:

$$P_x = \int_{(h)} (p_1 - p_2) dy - \int_{(h)} \rho_1 c_1 (c_1 - c_2) dy \quad (3)$$

Z důvodu stejných rychlostí a tlaků v příslušných řezech „ab“ a „cd“ je pak:

$$P_x = 0 \quad (4)$$

Ve skutečnosti kolem tělesa vždy proudí tekutina o určité viskozitě a dochází k odtržení proudu. Z uvedených vztahů je ale zřejmé, že pro docílení co nejmenšího odporu, se musí

navrhovat takové tvary těles, při nichž nedojde k odtržení proudu a projeví se co nejmenší účinek viskozity. [19]

2.2.1 Stanovení vztlakové síly

Pro stanovení vztlakové síly P_y se vychází z Obr. 19. Označíme-li p_S tlak na spodní kontrolní ploše výpočtové oblasti a tlak na horní kontrolní ploše p_H , získáme rovnici:

$$-P_y + \int_{-\infty}^{+\infty} (p_S - p_H) dx = 0 \quad (5)$$

Protože složky rychlosti do osy y jsou u nepropustných kontrolních ploch „bc“ a „ad“ rovny nule, pak je:

$$P_y = \int_{-\infty}^{+\infty} (p_S - p_H) dx \quad (6)$$

Pokud budeme zvětšovat vzdálenost „h“ mezi rovinnými kontrolními plochami, získáme v mezním případě ($h \rightarrow \infty$) výsledek, který odpovídá obtékání tělesa neomezeným proudem. V tomto mezním případě bude proud u kontrolních stěn „bc“ a „ad“ rozrušen jen nepatrně. Rychlosti takového proudění lze pak vyjádřit ve tvaru:

$$\begin{aligned} c_S &= c_\infty + c'_S \\ c_H &= c_\infty + c'_H \end{aligned} \quad (7)$$

kde c'_S a c'_H jsou malé přírůstky rychlosti u kontrolních ploch, které byly způsobeny obtékáním tělesa. [19]

Závislost tlaku v libovolném bodě rozrušeného proudu na tlaku proudu v nekonečnu lze popsat již upraveným vztahem, který se nazývá linearizovaná rovnice Bernoulliho:

$$p = p_\infty - \rho_\infty c_\infty c' \quad (8)$$

Tato rovnice se dá poté využít pro výpočet tlaku na horní a spodní kontrolní ploše. Rovnice mají tvar:

$$\begin{aligned} p_S &= p_\infty - \rho_\infty c_\infty c'_S \\ p_H &= p_\infty - \rho_\infty c_\infty c'_H \end{aligned} \quad (9)$$

Po dosazení těchto rovnic do rovnice (6) získáme:

$$P_y = \rho_\infty c_\infty \int_{-\infty}^{+\infty} (c'_H - c'_S) dx \quad (10)$$

Integrál $\int_{-\infty}^{+\infty} (c'_H - c'_S) dx$ se dá vyjádřit pomocí cirkulace rychlosti Γ (vyjadřuje vztah mezi intenzitou víru a polem rychlosti) po uzavřené křivce „abcd“ (viz Obr. 19). Platí, že

$$\Gamma_{abcd} = \Gamma_{ab} + \Gamma_{bc} + \Gamma_{cd} + \Gamma_{da} \quad (11)$$

Přičemž platí, že:

$$\Gamma_{bc} = \int_{-\infty}^{+\infty} (c_\infty + c'_H) dx \quad (12)$$

$$\Gamma_{da} = - \int_{-\infty}^{+\infty} (c_\infty + c'_S) dx \quad (13)$$

$$\Gamma_{ab} = -\Gamma_{cd} \quad (14)$$

Pak bude

$$\Gamma_{abcd} = \int_{-\infty}^{+\infty} (c'_H - c'_S) dx \quad (15)$$

Velikost vztahové síly je tedy rovna

$$\boxed{P_y = \rho_\infty \Gamma c_\infty} \quad (16)$$

Výraz vyjadřuje teorém N. E. Žukovského, který je základním teorémem aerodynamiky a lze ho formulovat takto:

Při obtékání tělesa neomezeným rovinným paralelním proudem ideální stlačitelné tekutiny působí na těleso o jednotkovém rozpětí síla, která se rovná součinu cirkulace rychlosti Γ , rychlosti c_∞ a měrné hmotnosti ρ_∞ nerušeného proudu. [19]

Směr vztahové síly (Žukovského síly) je vždy kolmý na směr rychlosti nerušeného proudu c_∞ . Pokud se uvažuje cirkulace vypočtená integrací ve smyslu otáčení hodinových ručiček jako kladná, bude i výsledná vztahová síla P_y kladná. [19]

3 HYDRODYNAMIKA

Hydrodynamika se zabývá prouděním kapalin a plynů. Podle časové závislosti rozdělujeme proudění:

- ustálené – průtok je konstantní, nezávislý na čase a dráze
 - rovnoměrné – rychlost i plocha průtočného průřezu jsou konstantní
 - nerovnoměrné - rychlost i plocha průtočného průřezu jsou funkcemi dráhy
- neustálené – průtok i plocha průtočného průřezu jsou funkcemi času a dráhy [4]

3.1 Účinek proudu kapaliny na nehybnou a pohybující se desku

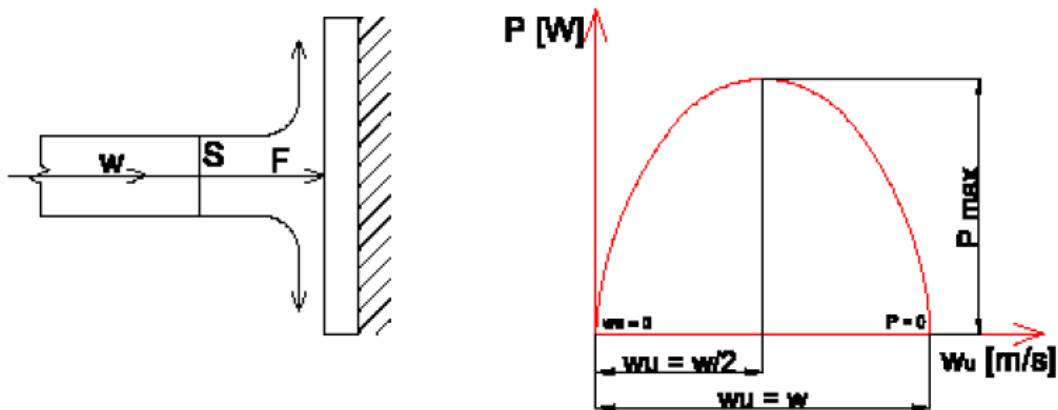
Z rovnice:

$$F \cdot t = m \cdot w \quad (17)$$

kde F je síla v [N]

vyjádříme sílu, kterou působí proud kapaliny na nehybnou desku:

$$F = \frac{m}{t} \cdot w = Q_m \cdot w = Q_v \cdot \rho \cdot w \quad (18)$$



Obr. 20. Závislost výkonu P na unášecí rychlosti w_u [2]

Ustupuje-li deska unášecí rychlostí w_u , je relativní rychlost:

$$w_r = w - w_u \quad (19)$$

w – absolutní rychlost proudění v [m/s] [2]

a proud kapaliny působí na desku silou:

$$F_d = Q_V \cdot \rho \cdot w_r \quad (20)$$

Výkon vodního kola je pak:

$$P = F_d \cdot w_u \quad (21)$$

Podle diagramu znázorňující závislost $P - w_u$ (viz Obr. 20) je největší výkon vodního kola při unášecí rychlosti:

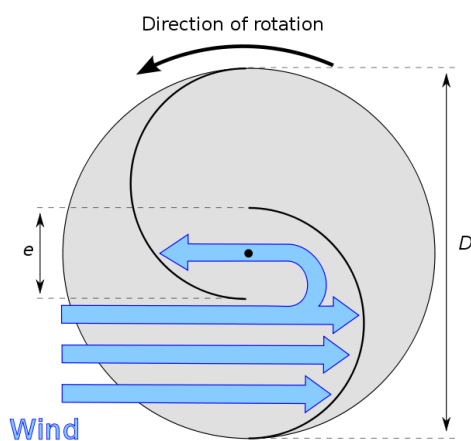
$$w_u = \frac{w}{2} \quad (22)$$

tedy:

$$P_{\max} = Q_V \cdot \rho \left(w - \frac{w}{2} \right) \cdot \frac{w}{2} = Q_V \cdot \rho \cdot \frac{w^2}{4} [2] \quad (23)$$

4 SAVONIŮV ROTOR

Savoniův rotor byl vynalezen finským loďníkem Sigurdem Savoniem v roce 1925. Tento rotor se skládá ze dvou vodorovných kotoučů, mezi které jsou postavena dvě křídla (lopatky) zahnutá do polokruhovitěho tvaru (viz Obr. 21). Zvláštností u těchto lopatek je, že jsou uprostřed rotoru přesazena asi o 20% svého průměru z důvodu vedení větru mezi lopatkami, který je veden ze zadní části pasivní lopatky 1 na přední stranu aktivní lopatky 2. Podle uspořádání lopatek můžeme rotory rozdělit na levoběžné a pravoběžné. Savoniův rotor nacházel uplatnění při pohonu ventilátorů na střechách nákladních vozidel, kdy se rotor otáčel účinkem větru. V současné době má stavba Savoniova rotoru význam pro nízko-výkonové aplikace v decentralizovaném zásobování energií. [1] [13] [12]



Obr. 21. Savoniův rotor [11]



Obr. 22. Savoniova tří-
stupňová turbína [11]

4.1 Výhody

- Velmi jednoduchá stavba (konstrukci lze sestavit ze snadno dostupných materiálů nebo i použitých materiálů, např. barelů).
- Savoniův rotor má vertikální osu rotace, a proto nemusí mít zařízení, které by jej natáčelo do směru větru.
- Krouticí moment získaný otáčením rotoru je převáděn přímo na svislou hřídel, která tak může pohánět pracovní stroje.
- Využívá širokého pásma síly větru, na rozdíl od jiných větrných turbín, které jsou nastaveny na určitou pracovní rychlost větru. Savoniův rotor využívá rychlostí nízkých (kolem 2 m/s – speciálně lehčené konstrukce), středních (4 - 10 m/s) a vysokých (15 - 25 m/s).
- Je možné spojit dohromady několik rotorů s malým průměrem do většího zařízení, čím dosáhneme zvýšení výkonu, aniž by se výrazně snížily otáčky.
- Při konstruování lze využít i horizontálního spojení více rotorů. Po nainstalování jednoho rotoru můžeme toto zařízení dále rozšířit na jednu nebo na obě strany o další rotory v závislosti na požadované energii. Centrální hřídel musí přenášet zvětšený točivý moment.
- Savoniův rotor je velmi odolný vůči bouřím díky své vysoké hmotnosti, která zabraňuje vzniku kritického kmitání a stabilizuje otáčky.
- Snížená citlivost vůči vírům a turbulencím. [1] [13]

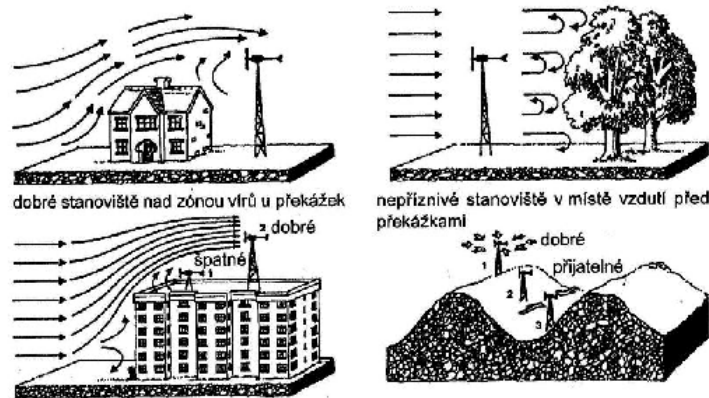
4.2 Nevýhody

- Mohutný vzhled a s ním spojená vysoká hmotnost rotoru (při konstrukci se musí provést dokonalé vyvážení, které musí zabránit kritickému kmitání při vysokých otáčkách).
- Malá rychloběžnost, což znamená nízké otáčky při vysokých krouticích momentech.
- Nízký součinitel využití větru (nízká účinnost). [1] [13]

Další vývoj Savoniova rotoru dospěl v 80. letech k vývoji tří-lopatkovému rotoru, který je možno použít pro zařízení o výkonu do 2 kW. [13]

4.3 Umístění Savoniova rotoru

Výkon dodávaný Savoniovým rotorem závisí na rychlosti proudění větru. Proto se musí před stavbou dobře zvážit lokalita, ve které bude elektrárna pracovat (viz kapitola 1.8). Z hlediska větrného proudění je každý objekt na zemském povrchu chápán jako překážka, kterou musí vítr při svém proudění překonat. Nejvhodnější lokalitou pro umístění VtE je tedy rovinný povrch bez překážek, který nebude narušovat laminární proudění vzduchu. V přírodě se bohužel taková místa příliš nevyskytují, a proto se musí při stavbě VtE vyvarovat místům s nadměrným výskytem překážek (domy, stromy), které by měnily laminární proudění v nežádoucí turbulentní. (viz Obr. 23). [20]



Obr. 23. Vhodnost umístění rotoru [20]

Pro docílení laminárního proudění větru kolem rotoru se musí často budovat vysoké stožáry, které umožní práci rotoru v dostatečné výšce nad zemským povrchem, kde nedochází k ovlivnění laminárního proudění větru překážkami, a tím ke snižování rychlosti větru. Rychlost větru podstatně závisí na tzv. rychlostním profilu proudění, což je závislost rychlosti proudění na výšce nad zemským povrchem. Tato závislost se popisuje rovnicí:

$$v_h = v_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^{p_k} \quad (24)$$

h – výška, ve které je rychlost proudění počítána [m]

h_0 – výška, ve které je rychlost proudění známa [m]

v_h – rychlost proudění ve výšce „ h “ [m/s]

v_0 – rychlost proudění ve výšce „ h_0 “ [m/s]

p_k – bezrozměrný exponent, který vyjadřuje vliv atmosférické turbulence (jeho velikost závisí na drsnosti povrchu, vertikálním profilu, teplotě a výšce nad zemským povrchem, viz Tab. 1) [-] [20]

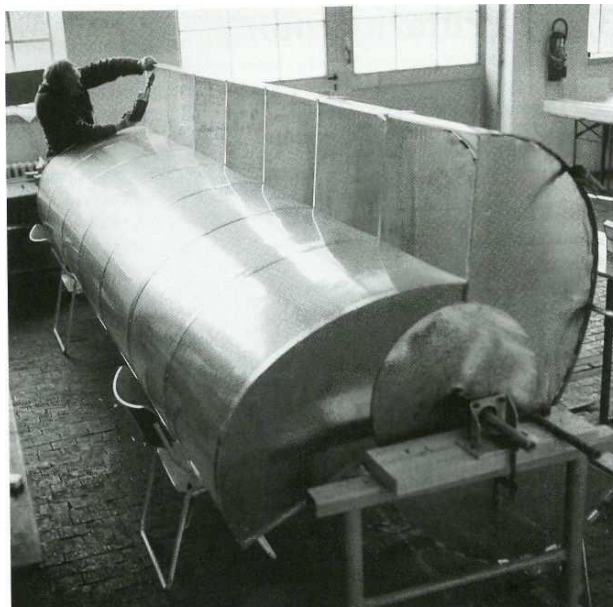
Tab. 1. Závislost koeficientu „p“ na druhu povrchu [20]

Druh povrchu	P_k
Hladký povrch, vodní hladina, písek, bláto	0,10 – 0,14
Rovinatý terén s nízkým travnatým porostem, ornice, zasněžený terén	0,13 – 0,16
Vysoký travnatý porost, nízké obilné porosty	0,18 – 0,19
Porosty vysokých kulturních plodin, nízké lesní porosty	0,21 – 0,25
Vysoké husté lesy	0,28 – 0,32
Předměstí, vesnice, malá města	0,40 – 0,48

4.4 Průtažný rotor

Průtažný rotor zobrazený na Obr. 24 je tří-lopatkový jednostupňový. Jeho konstrukce se skládá ze svislých lopatek, které jsou vyrobeny z ohebného materiálu a vodorovných žeber, které zamezují nežádoucímu tzv. vyboulení. Využívá se např. umělá hmota zpevněná skelným vláknem. Lopatky takto zkonstruované jsou levné, ohebné, pevné v tahu a navíc průsvitné, což budí dojem lehkosti. Touto konstrukcí rotoru zamezíme namáhání lopatek v ohybu (bude namáhán jen v tlaku a tahu, přičemž je zároveň lehký a tuhý). [13]

Segmenty, které jsou upevněny na hřídeli, dodávají lopatkám potřebný tvar a hlavně rovnoměrně přenáší točivý moment na hřídel. Toto uspořádání a celá konstrukce dovoluje stavbu větších rotorů o průměru přibližně 3 m a výšce 6 m. [13]



Obr. 24. Konstrukce průtažného rotoru [13]

Průtažný rotor na Obr. 24 byl vůbec první prototypem, který se dostal do provozu v roce 1981. Jeho výška dosahovala 438 cm a průměr měl 160 cm. [13]

5 SOLID WORKS 2012

Verze SolidWorks 2012 byla uvedena na trh 16. září 2011 společností Dassault Systemes SolidWorks Corp. SolidWorks umožňuje uživateli komplexní řešení pro 3D navrhování. Vylepšení oproti předchozím verzím najdeme napříč celým SolidWorksem – např. v oblastech kreslení, práce se sestavami, integrované simulace, výpočtu nákladů, trasování, tvorby vizualizací a animací či správy dat. Všechna tato vylepšení mají pozitivní vliv na každodenní práci jednotlivců a konstrukčních týmů. [14]

5.1 Realistické simulace v systému SolidWorks 2012

Systém SolidWorks 2012 již zdaleka není pouhý 3D CAD, ale rozsáhlý balík softwarových nástrojů, mezi nimiž nechybí ani pokročilé funkce pro zpracování simulací. [10]

SolidWorks představuje vybavení především strojního konstruktéra. K pevnostním výpočtům se ale dnes už přidává celá řada různorodých analýz. Jejich podstatou je možnost nasimulovat chování výrobku v digitální podobě 3D modelu ještě před tím, než je výrobek opravdu vyroben. Zde se též používá slovo „ověřit“, neboli předem zjistit, zda bude výrobek vyhovovat zadanému zatížení, případně jiným podmínkám. O přínosech tohoto řešení (za všechny lze zmínit třeba úspory) dnes snad už nikdo nepochybuje. [10]

Pevnostním výpočtem obvykle vše začíná, anebo končí poté, co jsou provedeny výpočty proudění či tepelného zatížení, ze kterých se zjistí zatěžovací síly. Může jít též o pádové zkoušky, testování únavy, tečení (creep), frekvenční zkoušku, posouzení tlakových nádob, dynamických účinků a určení všech možných zatížení a vlivů, kterým bude výrobek po celou dobu životnosti vystaven. Těmto zkouškám se říká souhrnně simulace. V souvislosti s životností je možné simulovat vliv výrobku na životní prostředí, k čemuž slouží modul SolidWorks Sustainability. Souhrnně lze říci, že SolidWorks Simulation je komplexní modul pokrývající všechny uvedené oblasti s přidanou hodnotou. Tou je schopnost komunikace mezi jednotlivými jeho moduly a využití dílčích výsledků k celkovému posouzení. [10]

5.2 Čidla pohybu a jeho optimalizace

Optimalizace představují další krok při řešení konstrukčních problémů. S pomocí simulace sice získáme určitý výsledek, často je ale obtížné jeho posouzení s ohledem na jiné veličiny, pokud hledáme skutečně tu nejpříznivější variantu. K tomu slouží právě optimalizace,

které byly do SolidWorks zavedeny již v roce 2010. Je možné např. upravit rozměry libovolného dílu k minimalizaci spotřeby materiálu a současně omezit napětí tak, aby nepřesahovalo stanovenou mez. Software pak v zadaném rozpětí navrhne několik variant, z nichž si poté může konstruktér vybrat pro něj tu nejvhodnější. Verze 2012 navíc rozšiřuje tento záběr o optimalizaci pohybu. K určení okrajových podmínek a také cílů studie se využívají čidla. Jednotlivé prováděné studie si můžeme nechat animovat a získat tak potřebnou jistotu, že vše je podle očekávání. Samozřejmostí je podrobné zobrazení grafů výsledků. [10]

5.3 Proudění, teplo, statika

Pro výpočty proudění v SolidWorks je určen modul Flow Simulation. Jak už bylo řečeno, tento modul umožňuje kombinovat účinky od nejrůznějších zatížení pro získání celkového hodnocení. K tomu přispívají i nové možnosti barevného provedení grafů. Ve verzi 2012 byl vylepšen algoritmus tvorby sítě, a také využití více jádrových procesorů. Zřejmým přínosem je zkrácení času pro výpočty. Ty mohou být totiž v závislosti na složitosti velmi dlouhé.

Modul Flow Simulation dokáže také analyzovat proudění látek v modelech s pohyblivými se (rotujícími) rovinami nebo částmi. Velkou výhodou je také to, že umožňuje simulování a studii turbulentního proudění, což je při použití vzduchu jako proudícího média u průtažného rotoru nezbytné. [10]

5.4 Modul Flow Simulation

S modulem Flow simulation je možné studovat široký rozsah od proudění kapalin, až po jevy týkající se přestupu tepla, což zahrnuje následující:

- Vnější a vnitřní proudění látek.
- 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 tekutiny a vícesložkové pevné látky.
- Proudění látek v modelech s pohyblivými nebo rotujícími rovinami a částmi.

- Vedení tepla v kapalinách, pevných látkách a porézních látkách se spojitým přestupem tepla nebo bez spojitého přestupu tepla.
- Ohřev Jouleovým teplem díky působení stejnosměrného elektrického proudu v elektricky vodivých pevných látkách.
- Rozličné typy tepelné vodivosti v pevných látkách, např. isotropní (stejně 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.
- Rovnovážný objem kondenzace vody z páry a její vliv na proudění a přenos tepla.
- Relativní vlhkost v plynech a ve směsích plynů.
- Dvofázové proudění (tekutina + částice).
- Periodické okrajové podmínky. [3]

Tento modul je schopný předpovídat průběh laminárního nebo turbulentního proudění. Laminární proudění se vyskytuje u nízkých hodnot Reynoldsova kritéria, které se definuje jako násobek rychlosti proudění média a délky, podělený kinematickou viskozitou (viz Rovnice 25) [13]

$$R_e = \frac{vl}{\nu} = \frac{vl\rho}{\eta} \quad (25)$$

l – charakteristický rozměr [m]

ν – kinematická viskozita [m^2/s]

η – dynamická viskozita [Pa.s]

v – charakteristická rychlost proudění tekutiny [m/s]

ρ – hustota [kg/m^3] [13]

Pokud dojde při proudění média k překročení kritické hodnoty Reynoldsova čísla, stane se proudění turbulentním (viz oblasti proudění v Tab. 2). [13]

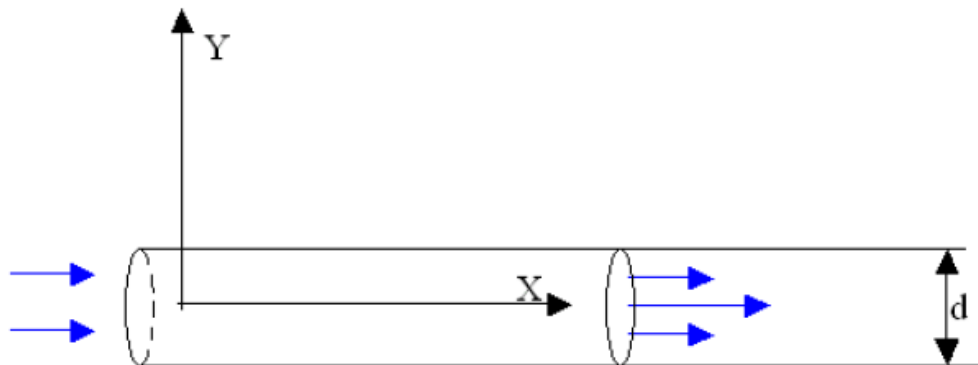
Tab. 2. Reynoldsovo číslo [13]

$Re \leq 2300$	Laminární oblast
$2300 \leq Re \leq 2 \cdot 10^6$	Přechodná a turbulentní oblast
$Re \geq 10^4$	Turbulentní oblast

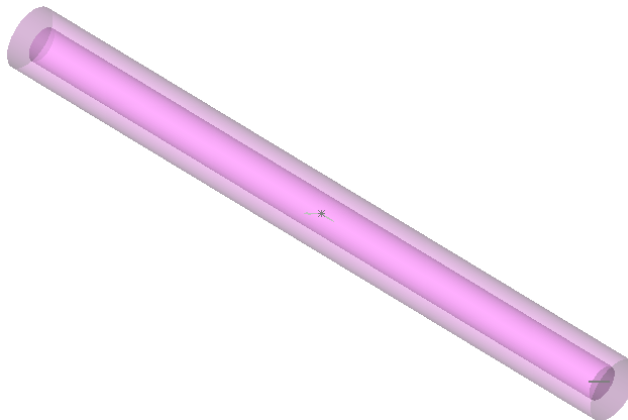
5.5 Porovnání výsledků získaných simulací s výsledky z praxe

Přesnost výpočtu a tím i jeho důvěryhodnost je vysvětlena na experimentu z praxe, kdy se výsledky získané výpočtem ve Flow Simulation lišily od experimentálních výsledků z praxe jen nepatrně.

Jako příklad poslouží dlouhé rovné kruhové potrubí o průměru 0,1 m, jímž proudí voda o teplotě $T = 293,2$ K. Na vstupu do potrubí je rychlost jednotná a je rovna hodnotě U_{inlet} . Na výstupu z potrubí je tlak $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} = 740 \text{ torr}$. Model 3D potrubí využitý pro výpočet proudění je zobrazen na Obr. 26. Počáteční podmínky jsou určeny ve shodě se vstupními okrajovými podmínkami. [3]



Obr. 25. Schematický model potrubí [3]



Obr. 26. Model potrubí pro výpočet v SW Flow Simulation [3]

Rychlostní profil se mění podél trubky, dokud se nestane konstantním plně rozvinutým profilem ve vzdálenosti L_{inlet} od vstupu do potrubí. Pro získání plně rozvinutého proudění v potrubí s uvážením Reynoldsova kritéria se budou studovat případy zobrazené v Tab. 3. [3]

Tab. 3. Parametry pro jednotlivá Re [3]

Re_d	U_{inlet} [m/s]	L_{inlet} [m]	L_{pipe} [m]
0,1	10^{-6}	0,3	0,45
100	0,001	0,3	0,45
1000	0,01	3	4,5
10^4	0,1	4 (5)*	6 (10)*
10^5	1	4 (5)*	6 (10)*
10^6	10	4 (5)*6	6 (10)*

*délky v závorkách jsou pro drsný povrch potrubí

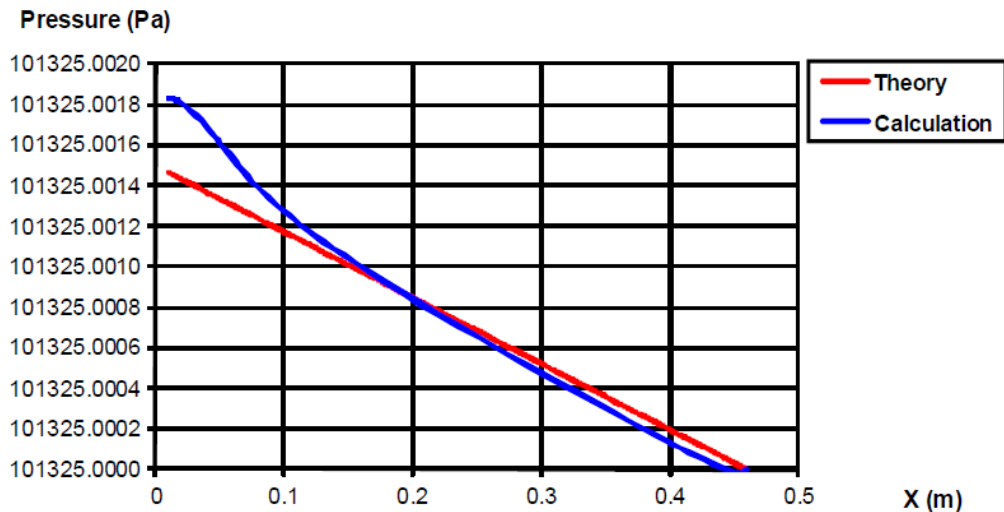
Proudění v trubce může být laminární, turbulentní nebo přechodné v závislosti na velikosti Re_d . $Re_d = 4000$ je přibližně hranice mezi laminárním prouděním a turbulentním prouděním v potrubí (v tomto případě není zahrnuta přechodová oblast). Teorie uvádí, že pro laminární plně rozvinuté proudění v potrubí (Hagen-Poiseuilleovo proudění) je rychlostní profil $u(y)$ konstantní a definován jako:

$$u(y) = -\frac{1}{4\mu} \frac{dP}{dx} (R^2 - y^2), \quad (26)$$

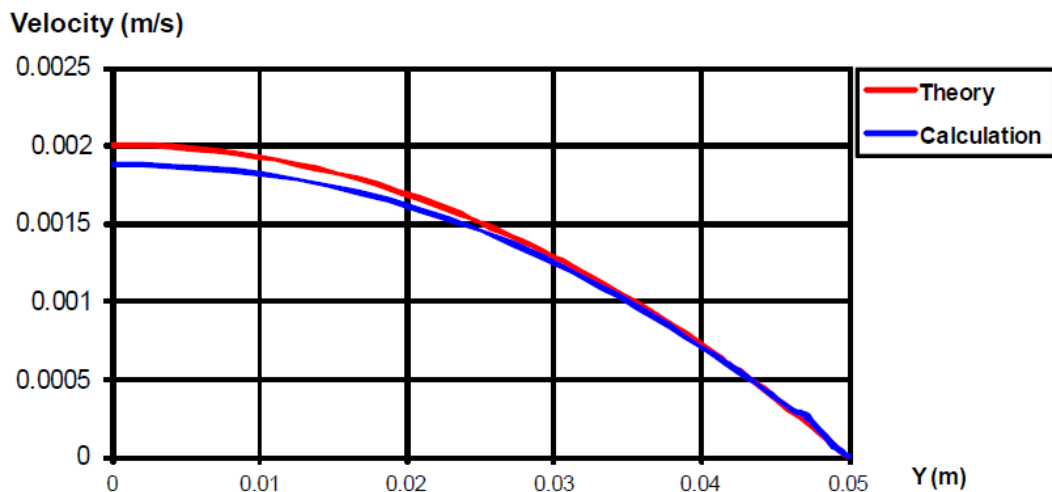
kde R je rádius potrubí a zlomek dP/dx je tlakový gradient podél trubky, který je také konstantní a je roven:

$$\frac{dP}{dx} = -\frac{8\mu u_{inlet}}{R^2} \quad (27)$$

Na Obr. 27 a 28 je zobrazena predikce dP/dx a $u(y)$ laminárního plně rozvinutého proudění v potrubí pro $Re_d = 100$ vykonaná při přesnosti výpočtu 6 z možných 8. Prezentované výsledky se vztahují k hladké trubce bez uvážení drsnosti. [3]

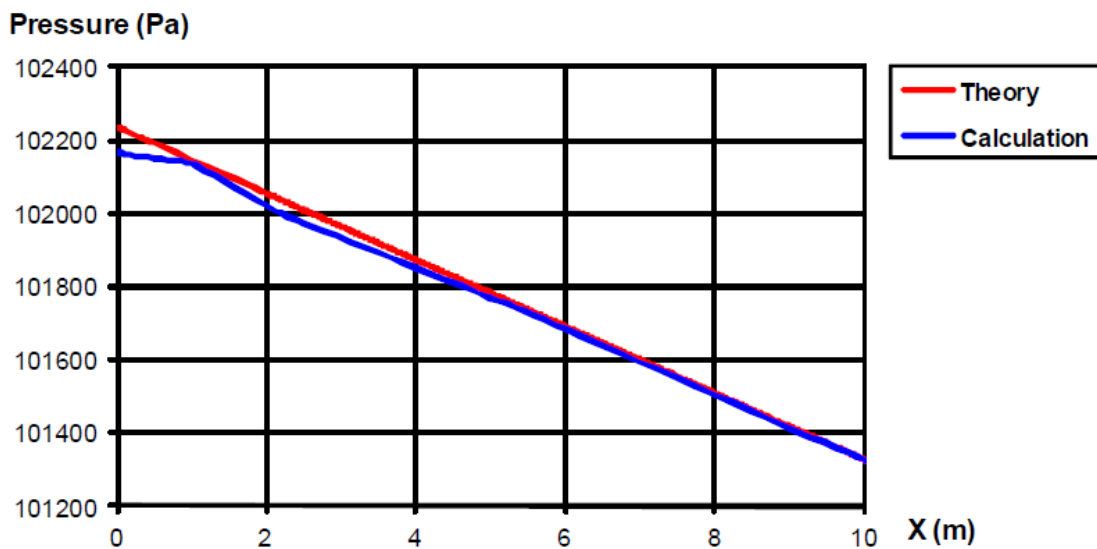
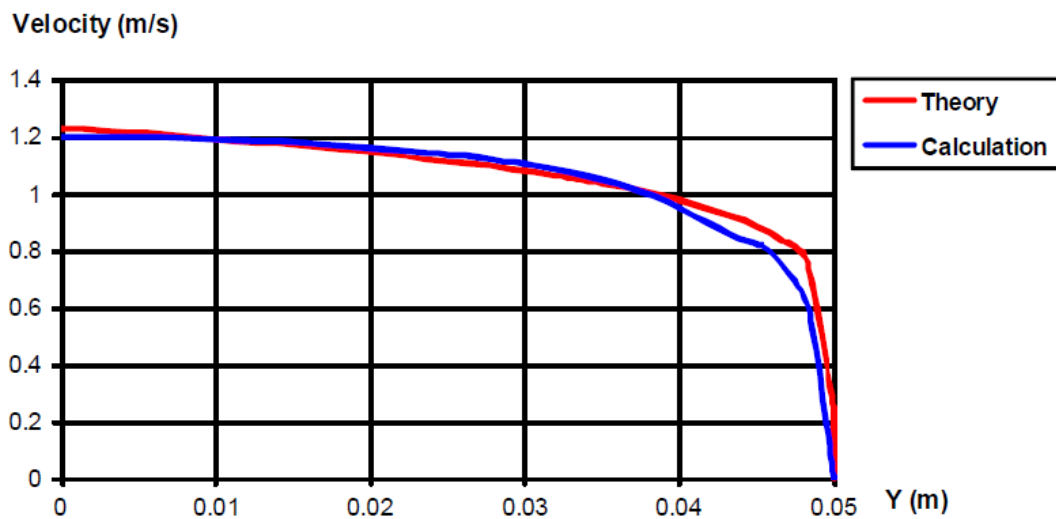
Obr. 27. Tlakový spád podél trubky pro $Re_d = 100$ [3]

Na Obr. 27 můžeme vidět, že po dosažení vzdálenosti 0,15 m se tlakový gradient vypočítaný modulem Flow Simulation prakticky shoduje s gradientem teoreticky vypočteným. Predikce tlakové ztráty v potrubí je tedy velmi dobrá.

Obr. 28. Rychlostní profil na výstupu z potrubí pro $Re_d = 100$ [3]

Na Obr. 28 můžeme vidět, že rychlostní profil na konci potrubí vypočítaný modulem Flow Simulation se téměř shoduje s teoretickým profilem.

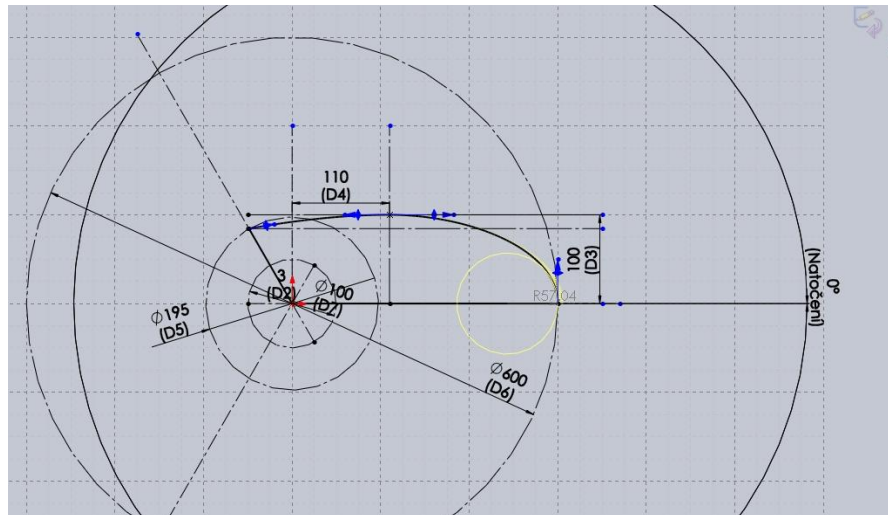
Na Obr. 29 a 30 je zobrazen rychlostní profil a tlakový spád podél hladkého potrubí pro $Re_d = 10^5$ (turbulentní režim) vypočítaný pomocí Flow Simulation (přesnost 6 z možných 8) a porovnaný s teoretickými výpočty. Porovnání teorie a kalkulace dokazuje, že výsledky z obou metod se od sebe příliš neliší. [3]

Obr. 29. Tlakový spád podél potrubí pro $Re_d = 10^5$ [3]Obr. 30. Rychlostní profil na konci potrubí pro $Re_d = 10^5$ [3]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

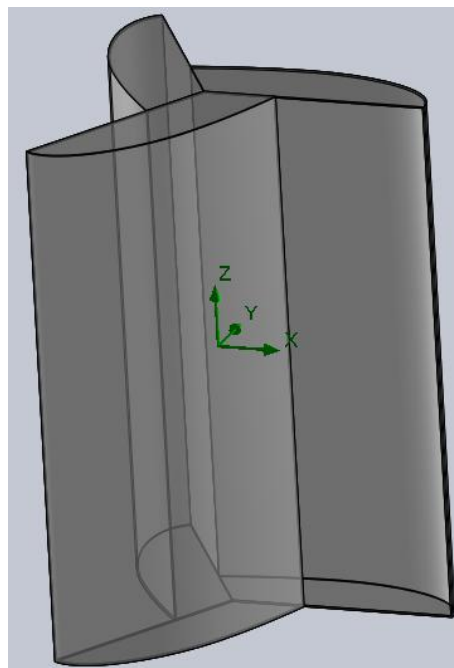
6 KONSTRUKCE PRŮTAŽNÉHO ROTORU

Při konstrukci tří-lopatkového průtažného rotoru se vycházelo z profilu lopatky vytvořeného v bakalářské práci, na kterou diplomová práce navazuje. Profil této lopatky je znázorněn na Obr. 31.



Obr. 31. Profil lopatky průtažného rotoru

Pomocí tohoto profilu byla vytvořena jedna lopatka rotoru, ze které se následně v programu SolidWorks 2012 vytvořila sestava tří-lopatkového průtažného rotoru (viz Obr. 32), který byl dále podrobován analýzám ve Flow Simulation. Model lopatky a sestavy rotoru je k dispozici na DVD 1.



Obr. 32. Sestava průtažného rotoru

7 NASTAVENÍ ANALÝZY

Konstrukce průtažného rotoru na Obr. 32 je v praktické části této práce využita pro měření krouticích momentů (v ose z) a silových působení (ve směru x a y) na jednotlivých lopatkách rotoru, a také na jednotlivých plochách lopatek (vnitřních a vnějších), při zatížení proudícím vzduchem v modulu SolidWorks Flow Simulation 2012. Silové poměry jsou měřeny v celém rozsahu jedné otáčky rotoru o $\alpha = 360^\circ$, přičemž rotor je natáčen po jednom stupni proti směru hodinových ručiček. Sledované veličiny jsou vyhodnocovány ve statickém stavu rotoru při rychlosti proudění větru $v = 4, 6, 8, 10$ a 12 m/s ve směru osy x (rotory jsou dále označeny právě podle rychlosti větru, kterou jsou zatíženy). Rychlost $v = 4$ m/s je zvolena proto, že je to nejmenší rychlost, při které má ještě smysl budovat větrnou elektrárnu. Přesto se jako nejnižší rychlost doporučuje spíše $v = 5$ m/s. Rychlosti větru vyšší jak $v = 12$ m/s už by mohly naopak způsobit nebezpečné rozkmitání konstrukce průtažného rotoru a jeho následnou destrukci. V následující kapitole je popsáno nastavení okrajových podmínek analýzy pro výpočet krouticích momentů a sil na průtažném rotoru zatíženém proudícím vzduchem o rychlosti $v = 6$ m/s (rotor 6). Stejný postup nastavení je použit i pro rotory zatížené rychlostmi vzduchu $v = 4, 8, 10$ a 12 m/s.

7.1 Průvodce nastavení analýzy

Pro nastavení analýzy rotoru 6 je využito dostupné funkce modulu Flow Simulation, a to průvodce analýzou („Wizard“).

7.1.1 Vytvoření konfigurace

První okno v průvodci slouží pro vytvoření konfigurace, jejíž nastavení se bude poté kopírovat do všech ostatních 119 konfigurací s různými natočeními rotoru. Je vhodné uvést podrobnější popis konfigurace pro pozdější lepší orientaci v projektu.

7.1.2 Jednotkový systém

Jako jednotkový systém je zvolena norma SI (teplota v Kelvinech se musí přepsat na $^\circ\text{C}$).

7.1.3 Typ analýzy

Typ analýzy je nastaven jako externí s uvážením kavitace. Tento typ analýzy do svých výpočtů zahrnuje jak interní proudění vzduchu uvnitř rotoru, tak i externí proudění kolem lopatek rotoru. Referenční osou je osa z, kolem které se průtažný rotor při zatížení otáčí

a vůči které je také natáčen po jednom stupni. Políčka s vedením tepla, radiací, časovou závislostí, gravitací a rotací se ponechají nevyplněná.

7.1.4 Proudící látka

V tomto případě je jako proudící látka vybrán vzduch s typem proudění laminárním i turbulentním.

7.1.5 Vnější podmínky

Stěna (lopatka) je adiabatická, tzn. bez sdílení tepla s okolím. U lopatek není uvažována drsnost.

7.1.6 Počáteční podmínky

Tlak vzduchu je nastaven na $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$ a teplota vzduchu na $T = 20 \text{ °C}$. V dalších políčkách je možné nastavit rychlost proudění větru ve směrech x , y a z . V tomto případě bude rotor zatěžován proudícím vzduchem ve směru osy x a to rychlostmi $v = 4, 6, 8, 10$ a 12 m/s .

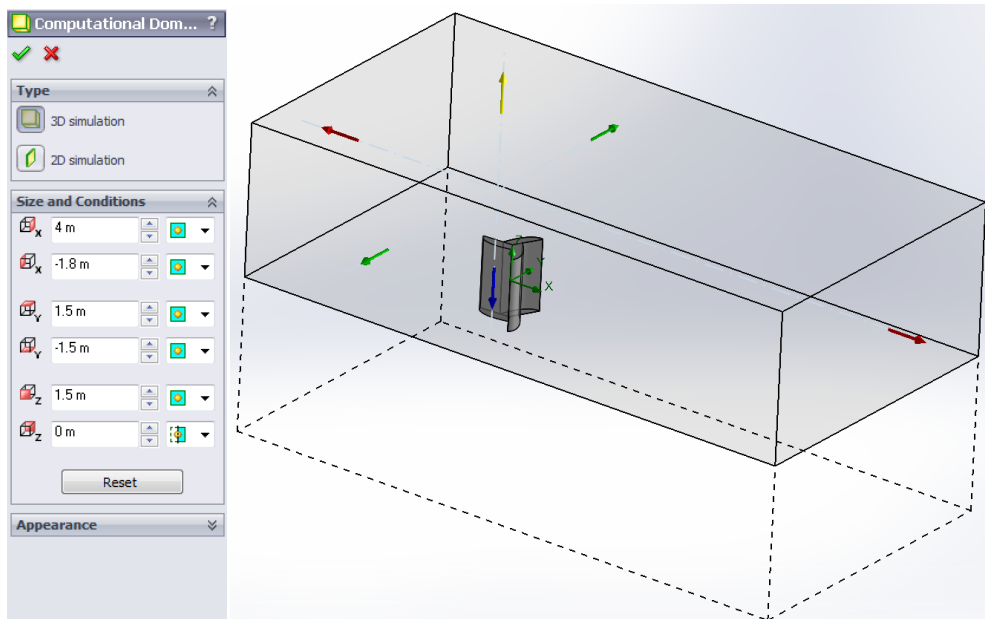
7.1.7 Přesnost výsledků a geometrie

Výsledkovou přesnost lze volit na stupnici od 1 do 8, přičemž stupeň 8 je nejvyšší přesnost a dosáhne se pomocí něj výsledků bez větších odchylek. Při nastavování stupně přesnosti se musí brát v úvahu, že se zvyšujícím se stupněm přesnosti roste i doba výpočtu. Pro potřeby tohoto výpočtu postačí stupeň 4. Minimální velikost mezery je nastavena manuálně na hodnotu $0,01 \text{ m}$ stejně jako minimální tloušťka stěny, která je v závislosti na tloušťce stěny lopatky (2 mm) nastavena na hodnotu $0,002 \text{ m}$. Po klepnutí na tlačítko „finish“ je nastavení analýzy pomocí průvodce u konce.

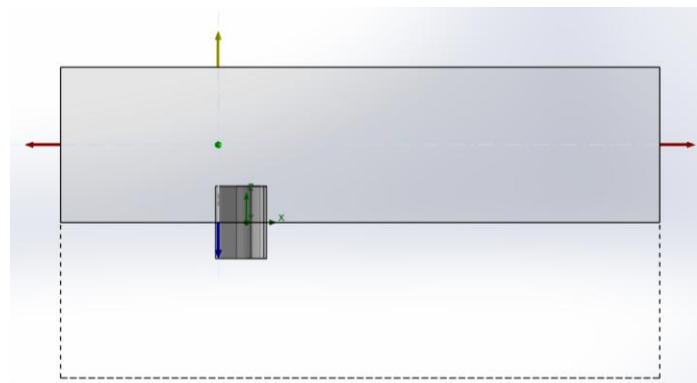
7.2 Výpočtová oblast

V dalším kroku se musí zadat oblast, ve které bude probíhat výpočet. V kladném směru osy x (směr proudění vzduchu) je nastavena hodnota 4 m z důvodu lepšího zachycení turbulentních účinků vzduchu za rotorem (viz Obr. 33). Pro zjednodušení a snížení doby výpočtu je výpočtová oblast nastavena jako symetrická (viz Obr. 34). V kladném směru osy z je nastavena hodnota $1,5 \text{ m}$ a v záporném směru je zadána pouze symetrie. Analýza tak proběhne pouze na jedné polovině rotoru se zanedbatelnými odchylkami ve výsledných

hodnotách. Porovnání výsledků získaných ze symetrické (zjednodušené) výpočtové oblasti a výsledků získaných z nezjednodušené výpočtové oblasti se nachází na DVD 2.



Obr. 33. Oblast výpočtu



Obr. 34. Oblast výpočtu – využití symetrie

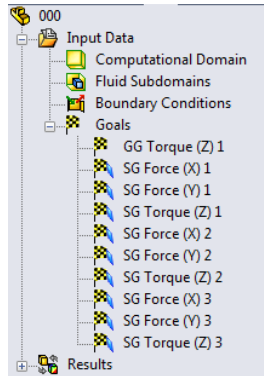
Soubory se základním nastavením výpočtu pro všechny rychlosti proudění (pro výpočty sil na jednotlivých lopatkách a pro výpočty sil na jednotlivých plochách lopatek) jsou umístěny na DVD 1.

7.3 Cíle výpočtu

Poslední krokem před samotným spuštěním výpočtu je zadání cílů výpočtu (Goals). Všechny výpočty jsou nastavovány pro rotor ve statickém stavu. V analýze jsou zadány tyto cíle:

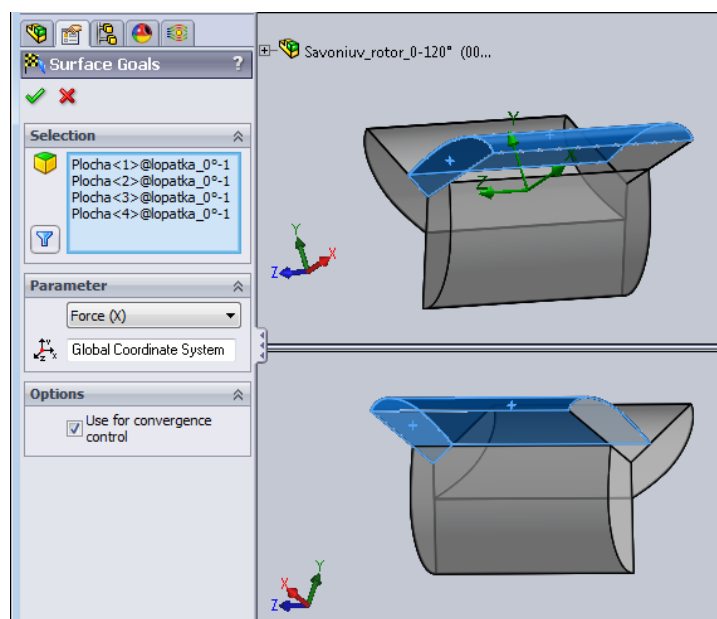
- Výpočet celkového krouticího momentu pro celý rotor (GG Torque Z 1).

- Výpočet velikosti krouticího momentu pro každou lopatku zvlášť (SG Torque Z 1,2,3).
- Výpočet velikosti působících sil ve směru os x a y pro každou lopatku zvlášť (SG Force X,Y 1,2,3) (viz Obr. 35).



Obr. 35. Cíle výpočtu

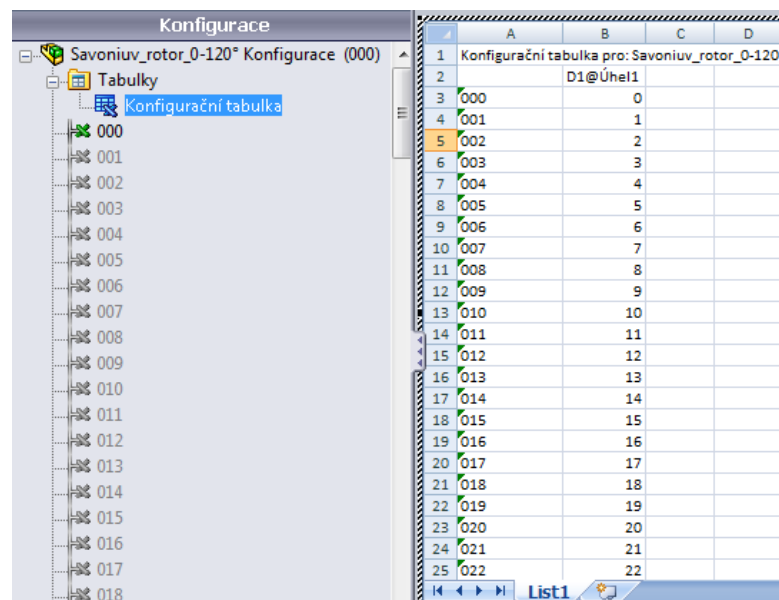
Jednotlivé cíle se v analýze zadávají tak, že se ve stromu „Flow Simulation analysis tree“ klikne pravým tlačítkem na „Goals“ a zvolí se příslušný cíl: Global Goals (GG) nebo Surface Goals (SG). Na Obr. 36 je zobrazeno nastavení „Surface Goals“ pro jednu z lopatek rotoru. Tento cíl (goal) vypočítá působící sílu ve směru osy x na vybranou lopatku. Vzhledem k tomu, že výpočtová oblast je nastavena jako symetrická, nelze vybrat všechny plochy lopatky, ale pouze ty, které se ve výpočtové oblasti nachází alespoň z části. Na Obr. 36 se tedy jedná o čtyři plochy. Nevybrané dvě plochy lopatky (vnitřní a vnější strana) leží mimo výpočtovou oblast a musí zůstat nevybrány, jinak by nešel spustit výpočet.



Obr. 36. Vložení SG na jednu z lopatek

7.4 Konfigurační tabulky

Při nastavování jednotlivých natočení průtažného rotoru lze s výhodou využít konfigurační tabulky (Vložit – Tabulky – Konfigurační tabulka), kde je možné jednoduše vytvořit 119 konfigurací, přičemž každá konfigurace zastupuje jedno natočení rotoru (konfigurace 0 zastupuje rotor při nulovém natočení, konfigurace 20 zastupuje rotor při natočení 20° atd.). Konfigurace 120 se rovná natočení rotoru v konfiguraci 0, proto se v tabulce nevytváří. Část takové tabulky je znázorněna na Obr. 37. Parametr ve druhém sloupci „D1@Úhel1“ značí úhel natočení rotoru kolem osy z. Do tabulky se musí vybrat z příslušné skici modelu. Po jeho vybrání už zbývá jenom manuálně zadat zbývající označení konfigurací a jejich úhly natočení.

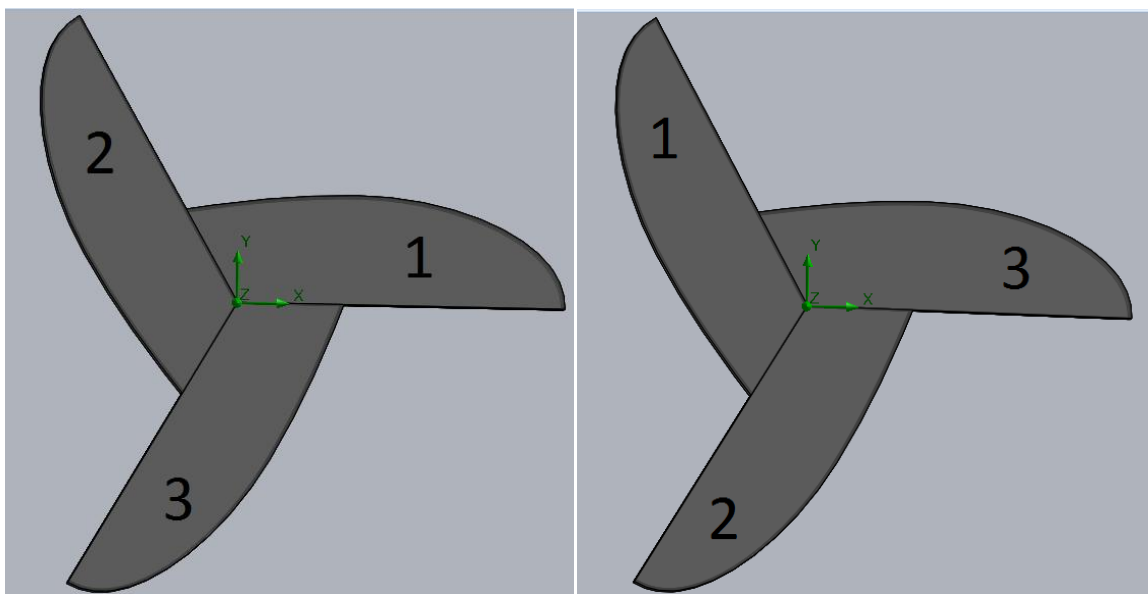


	A	B	C	D
1	Konfigurační tabulka pro: Savoniu_rotor_0-120°			
2		D1@Úhel1		
3	000		0	
4	001		1	
5	002		2	
6	003		3	
7	004		4	
8	005		5	
9	006		6	
10	007		7	
11	008		8	
12	009		9	
13	010		10	
14	011		11	
15	012		12	
16	013		13	
17	014		14	
18	015		15	
19	016		16	
20	017		17	
21	018		18	
22	019		19	
23	020		20	
24	021		21	
25	022		22	

Obr. 37. Konfigurační tabulka

8 VYHODNOCENÍ SILOVÝCH POMĚRŮ NA JEDNOTLIVÝCH LOPATKÁCH ROTORU 6

Lopatky rotoru 6 (je zatížen vzduchem o rychlosti $v = 6$ m/s) ve výchozí poloze (při natočení 0°) jsou označeny v horním pohledu Obr. 38. Tyto lopatky byly následně natáčeny kolem osy z po jednom stupni proti směru hodinových ručiček (do tohoto směru jsou natáčeny účinkem působení vzduchu ve směru osy x). Při natočení lopatky 1 o 120° se tato lopatka dostane do výchozí polohy lopatky 2 (tedy do polohy lopatky 2 při natočení 0°), lopatka 2 se dostane do výchozí polohy lopatky 3 a lopatka 3 se bude po tomto natočení nacházet ve výchozí poloze lopatky 1. Pro vysvětlení, výsledná hodnota krouticího momentu od lopatky 1 při natočení 120° se nezahrnuje do výpočtu a nevytváří se pro ni konfigurace, protože se tato hodnota rovná výsledné hodnotě krouticího momentu při nulovém natočení lopatky 2.



Obr. 38. Označení lopatek při natočení 0° (vlevo) a při natočení 119° (vpravo)

V Příloze 1 se nachází tabulka výsledných hodnot z analýzy tohoto rotoru ve statickém stavu v rozsahu natočení $\alpha = 0 - 119^\circ$. Souhrnná tabulka v Příloze 1 tedy obsahuje 119 výsledků ze 119 vytvořených konfigurací. Na příloženém DVD 1 a 2 jsou pak k dispozici soubory s 5,33 GB výpočtů sudých konfigurací a 5,32 GB výpočtů lichých konfigurací pro rotor zatížený rychlostí vzduchu $v = 6$ m/s.

Pro lepší orientaci se v Tab. 5 nachází cíle výpočtu tak, jak byly zadávány při nastavování analýzy (pravý sloupec) a názvy těchto sloupců od jednotlivých veličin tak, jak byly pro přehlednost při vyhodnocování upraveny do textu, tabulek a grafů. Index 1, 2 a 3 je

označení lopatky, pro kterou byla daná veličina počítána. Označení lopatek se nachází na Obr. 38.

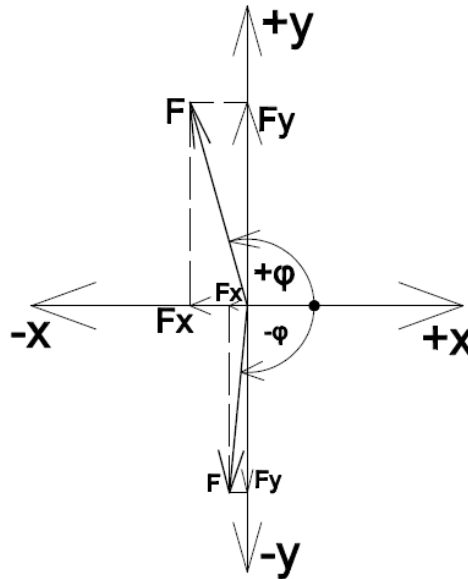
Tab. 4. Vysvětlivky pro označení veličin

Goals (v textu)	Goals (cíle zadané v analýze)
$M_{k_{celk.}}$	GG Torque (Z) 1
F_{x_1}	SG Force (X) 1
F_{y_1}	SG Force (Y) 1
M_{k_1}	SG Torque (Z) 1
F_{x_2}	SG Force (X) 2
F_{y_2}	SG Force (Y) 2
M_{k_2}	SG Torque (Z) 2
F_{x_3}	SG Force (X) 3
F_{y_3}	SG Force (Y) 3
M_{k_3}	SG Torque (Z) 3

Výsledné hodnoty pro rotor 6 v Příloze 1 byly použity pro výpočet výsledného krouticího momentu od všech lopatek při otáčce rotoru o 120° ($M_{k_{120}}$), dále pro výpočet výslednice sil F_{1-120} , F_{2-120} a F_{3-120} a nakonec pro výpočet úhlu natočení výslednice $\varphi_{1,2,3-120}$ (kapitola 8.1). Tabulky s těmito výpočty k rotoru 6 jsou k dispozici v Příloze 2.

8.1 Výpočet $M_{k_{120}}$, výslednic $F_{1,2,3-120}$ a úhlu jejich natočení $\varphi_{1,2,3-120}$

Úhel výslednice sil φ je brán jako kladný ($+\varphi$) ve směru kladné osy y, tzn. pro $F_x > 0$ a $F_y > 0$ nebo pro $F_x < 0$ a $F_y > 0$. Naopak ve směru záporné osy y je tento úhel definován jako záporný ($-\varphi$) a platí pro $F_x > 0$ a $F_y < 0$ a $F_x < 0$ a $F_y < 0$. Tyto podmínky zaručí návaznost úhlů v grafech bez náhlých skokových změn.



Obr. 39. Orientace výslednice sil $F_{1,2,3-120}$ a její složky (max. rozsah)

Velikost výslednice síly F_{1-120} , F_{2-120} a F_{3-120} :

$$F_{1,2,3-120} = \sqrt{Fx_{1,2,3}^2 + Fy_{1,2,3}^2} \quad (28)$$

Úhel výslednice sil φ_{1-120} , φ_{2-120} a φ_{3-120} :

- pro $Fx > 0$ a $Fy > 0$:

$$\tan \varphi_{1,2,3-120} = \frac{Fy_{1,2,3}}{Fx_{1,2,3}} \Rightarrow \varphi_{1,2,3-120} = \tan^{-1} \frac{Fy_{1,2,3}}{Fx_{1,2,3}} [^\circ] \quad (29)$$

- pro $Fx < 0$ a $Fy > 0$:

$$\tan \varphi_{1,2,3-120} = \frac{Fy_{1,2,3}}{Fx_{1,2,3}} \Rightarrow \varphi_{1,2,3-120} = \tan^{-1} \frac{Fy_{1,2,3}}{Fx_{1,2,3}} + 180 [^\circ] \quad (30)$$

- pro $Fx > 0$ a $Fy < 0$:

$$\tan \varphi_{1,2,3-120} = \frac{Fy_{1,2,3}}{Fx_{1,2,3}} \Rightarrow \varphi_{1,2,3-120} = \tan^{-1} \frac{Fy_{1,2,3}}{Fx_{1,2,3}} [^\circ] \quad (31)$$

- pro $Fx < 0$ a $Fy < 0$:

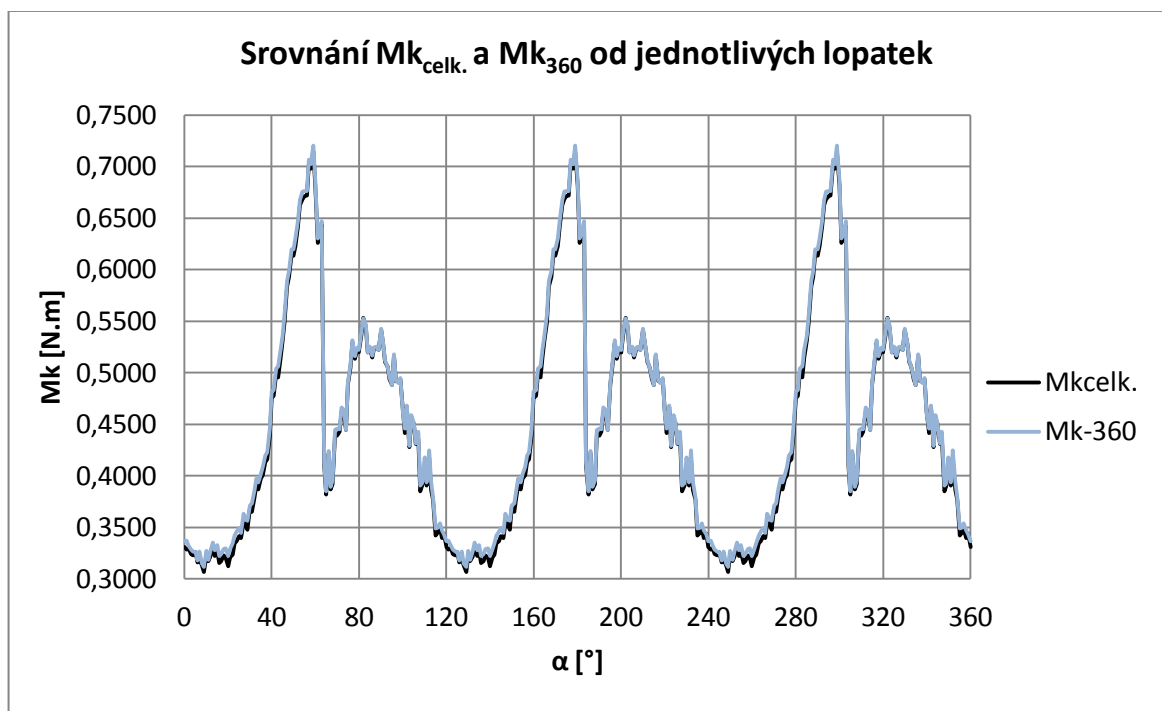
$$\tan \varphi_{1,2,3-120} = \frac{Fy_{1,2,3}}{Fx_{1,2,3}} \Rightarrow \quad (32)$$

$$\varphi_{1,2,3-120} = \tan^{-1} \frac{Fy_{1,2,3}}{Fx_{1,2,3}} - 180 [^\circ]$$

Součet krouticích momentů od jednotlivých lopatek Mk_{120} :

$$Mk_{120} = Mk_1 + Mk_2 + Mk_3 [N.m] \quad (33)$$

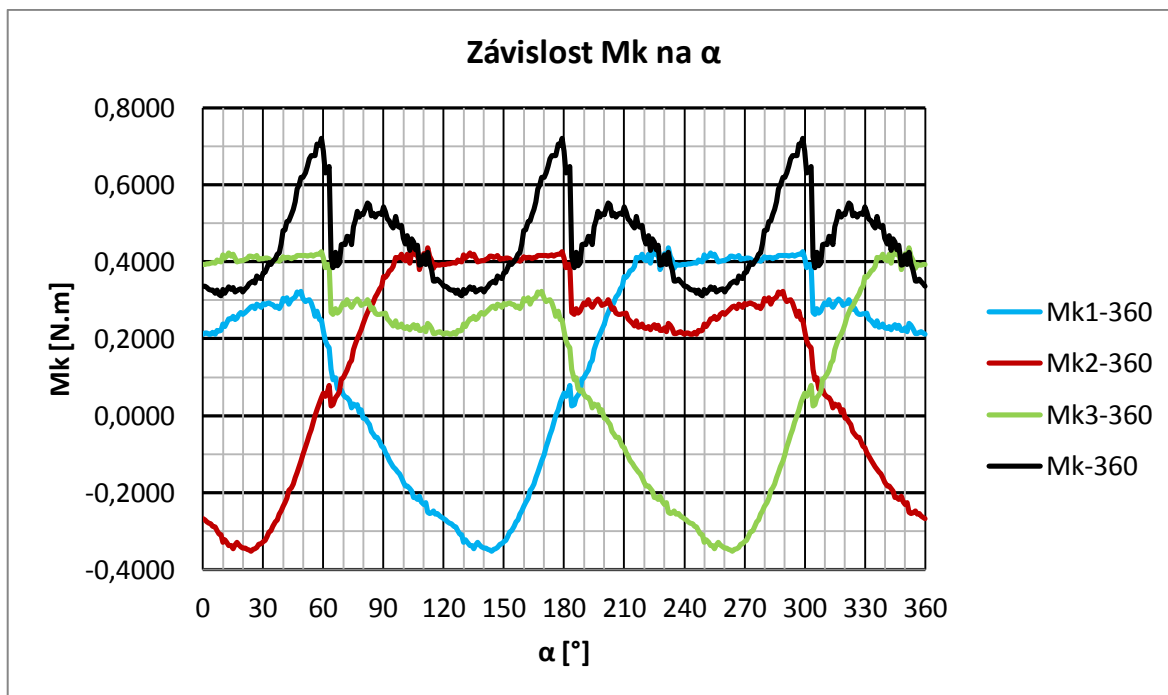
8.2 Grafická znázornění průběhu Mk během jedné otáčky



Obr. 40. Srovnání $Mk_{\text{celk.}}$ a Mk_{360} od jednotlivých lopatek pro rotor 6

Na Obr. 40 je vidět, že průběh celkového krouticího momentu $Mk_{\text{celk.}}$ (GG Torque (Z) 1) a momentu získaného součtem krouticích momentů od jednotlivých lopatek Mk_{360} je téměř totožný. Výsledky se liší v průměru o hodnotu 0,004 N.m, což je v tomto případě hodnota zanedbatelná a nebude zásadně ovlivňovat průběhy momentů. Odchylky od průměrných hodnot vypočítané analýzou jsou zanedbatelné i u silových působení ve směru osy x a y.

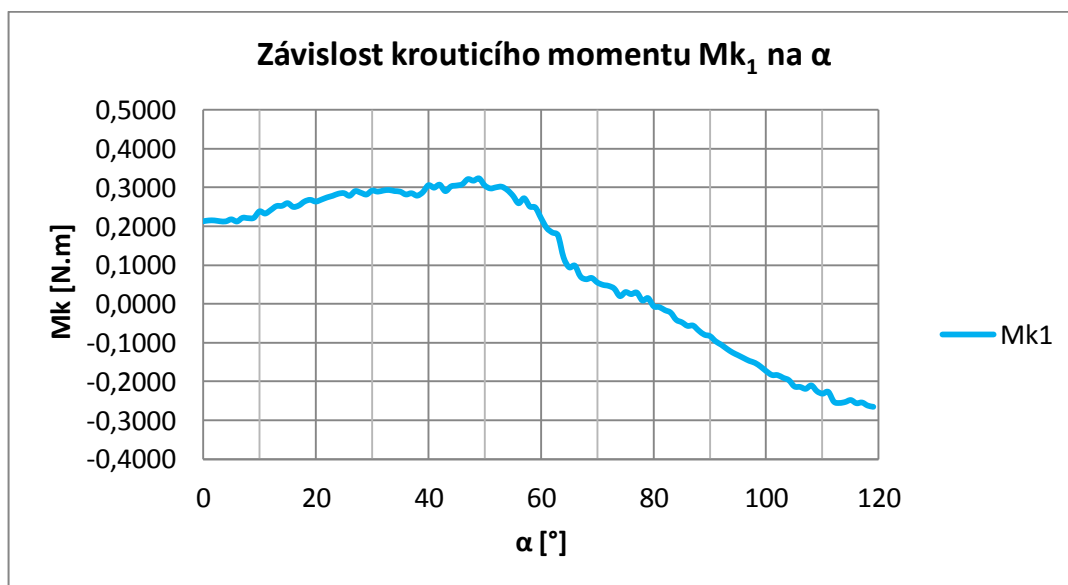
Na Obr. 41 jsou znázorněny průběhy krouticích momentů od jednotlivých lopatek v závislosti na úhlu natočení rotoru v rámci jedné otáčky rotoru o 360°. Na tomto obrázku jde vidět, že průběh celkového krouticího momentu Mk_{360} se opakuje vždy po 120°.



Obr. 41. Závislost M_{k360} a M_k od jednotlivých lopatek na α pro rotor 6

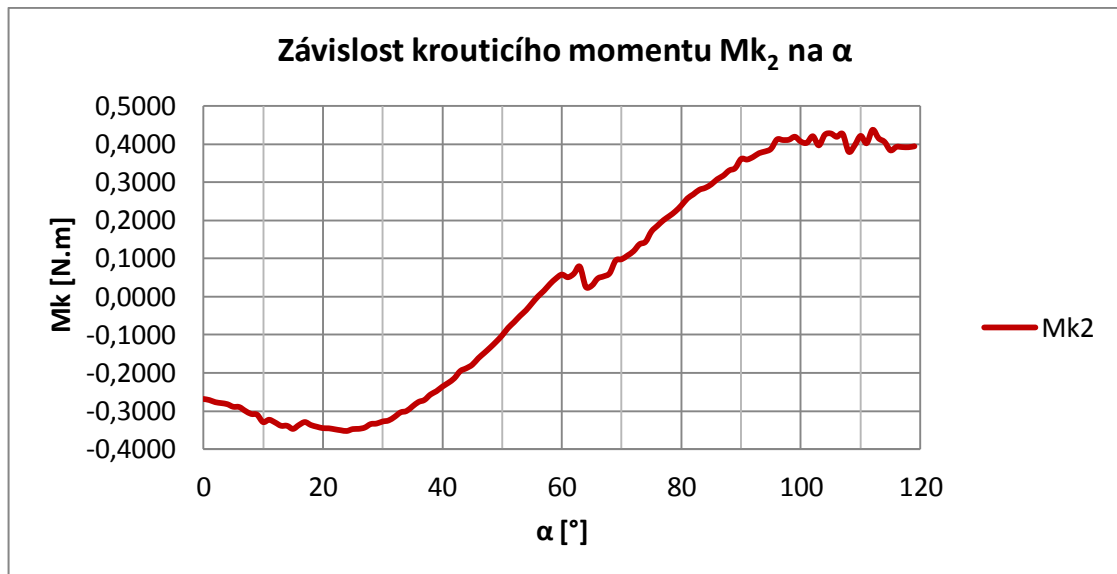
Průběh momentu M_{k1-360} po celé otáčce od 0° do 360° je dán složením průběhů krouticích momentů od jednotlivých lopatek a to:

- Krouticího momentu lopatky 1 při natočení od 0 do 119° (M_{k1}).



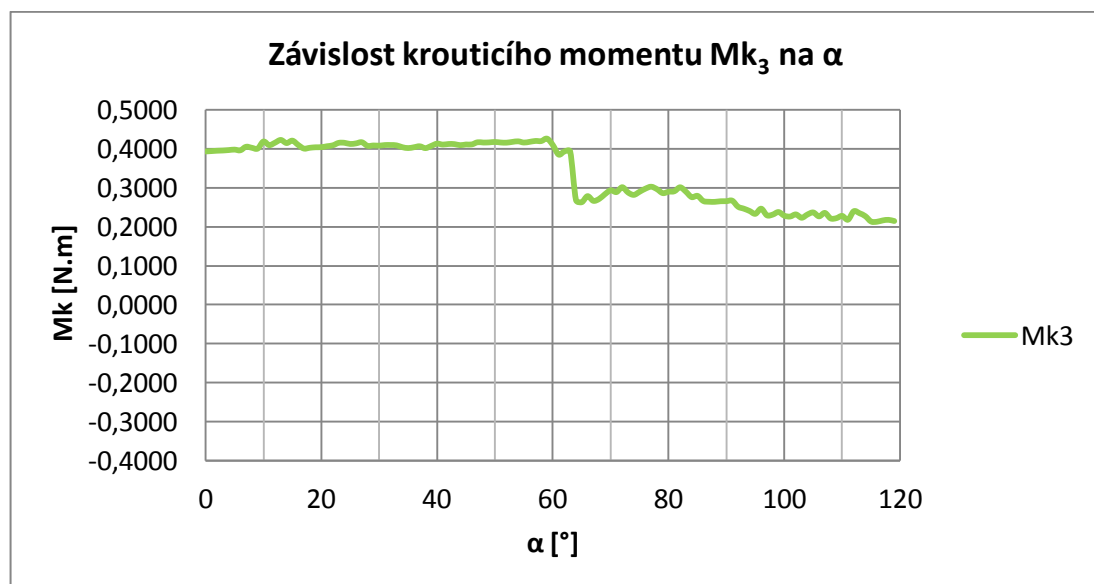
Obr. 42. Závislost krouticího momentu M_{k1} na úhlu natočení rotoru α pro rotor 6

- Krouticího momentu lopatky 2 při natočení od 0 do 119° (respektive $120 - 239^\circ$ pro výchozí polohu lopatky 2) (M_{k2}).



Obr. 43. Závislost kroučícího momentu M_{k_2} na úhlu natočení rotoru α pro rotor 6

- Kroučícího momentu lopatky 3 při natočení od 0 do 119° (respektive 240 – 359° pro výchozí polohu lopatky 3) (M_{k_3}).

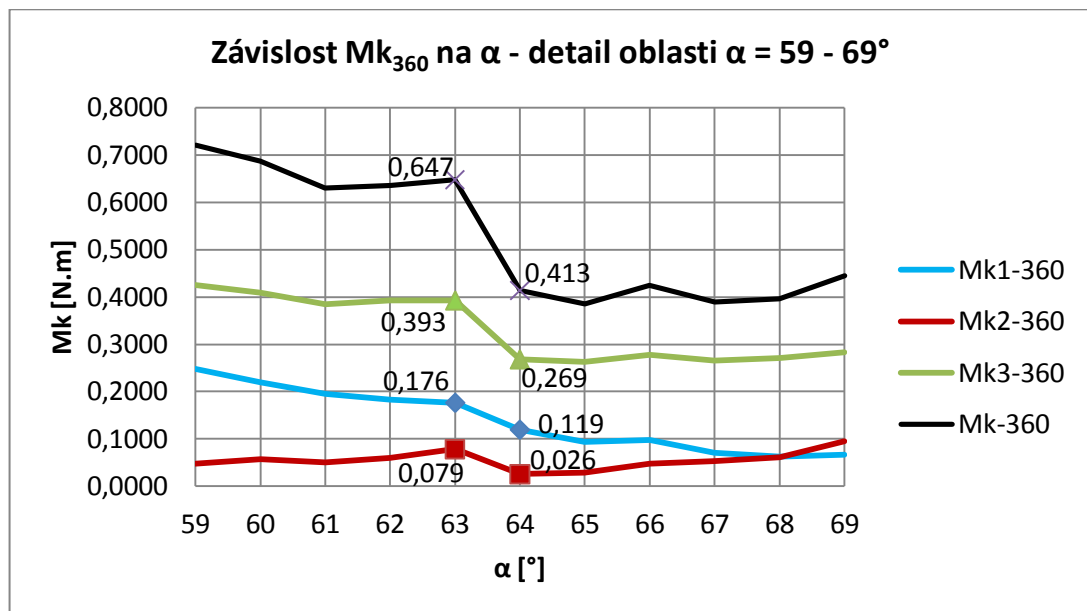


Obr. 44. Závislost kroučícího momentu M_{k_3} na úhlu natočení rotoru α pro rotor 6

Poslední hodnota kroučícího momentu $M_{k_{1-360}}$ při natočení 360° je totožná s hodnotou M_{k_1} při nulovém natočení. Obdobně se skládají i průběhy $M_{k_{2-360}}$ (pořadí průběhů: M_{k_2} , M_{k_3} , M_{k_1}) a $M_{k_{3-360}}$ (pořadí průběhů M_{k_3} , M_{k_1} , M_{k_2}). Stejným způsobem se skládají i průběhy sil F a úhlů φ po celé otáčce od 0° do 360°.

Na Obr. 41 je středem zájmu především oblast, kde dochází k výrazné změně (poklesu) kroučícího momentu $M_{k_{360}}$ při určitém natočení rotoru. V tomto případě se jedná o úsek,

kdy je rotor natáčen o $\alpha = 59 - 69^\circ$, konkrétně o přechod z natočení rotoru $\alpha = 63^\circ$ na $\alpha = 64^\circ$ (viz Obr. 45).



Obr. 45. Závislost Mk_{360} na α - detail $\alpha = 59 - 69^\circ$ pro rotor 6

Při změně úhlu natočení z 63° na 64° dojde k poměrně velkému poklesu krouticích momentů u všech lopatek (viz Tab. 5), což má za následek také výrazné snížení celkového krouticího momentu Mk_{360} . Tyto poklesy jsou na Obr. 45 zvýrazněny značkami a hodnotami příslušných krouticích momentů. Prohlédnout si je lze také na Obr. 42, 43 a 44. Další část práce (kapitola 8.3 a 8.4) se zabývá právě touto skokovou změnou ve velikosti krouticího momentu Mk_{360} , která by mohla způsobovat velká rázová zatížení při přenosu sil z lopatek rotoru do ložisek.

Tab. 5. Pokles Mk při změně natočení z $\alpha = 63^\circ$ na $\alpha = 64^\circ$ pro rotor 6

α [°]	Mk_{1-360} [N.m]	Mk_{2-360} [N.m]	Mk_{3-360} [N.m]	Mk_{360} [N.m]
63	0,1763	0,0785	0,3925	0,6473
64	0,1192	0,0256	0,2685	0,4132
Pokles M_k [N.m]	0,0571	0,0529	0,1240	0,2341

Pro objasnění příčiny, díky níž dochází k tomuto poklesu krouticího momentu, se musí provést ještě další výpočty. Jedná se o výpočet složek F_x a F_y , z nich pak výpočet celkové výslednice F [N], která na rotor působí, a úhlu jejího natočení φ [°] (tyto výpočty jsou obsaženy v Příloze 2).

8.3 Výpočet výslednice F a úhlu jejího natočení φ

Výpočet je prováděn pro natočení rotoru $\alpha = 63^\circ$.

$$F_x = F_{x_1} + F_{x_2} + F_{x_3} \quad (34)$$

$$F_x = 0,191 + 0,045 + 2,983$$

$$\underline{F_x = 3,219 \text{ N}}$$

$$F_y = F_{y_1} + F_{y_2} + F_{y_3} \quad (35)$$

$$F_y = 0,914 + (-0,523) + 0,797$$

$$\underline{F_y = 1,188 \text{ N}}$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (36)$$

$$F = \sqrt{3,219^2 + 1,188^2}$$

$$\boxed{F = 3,431 \text{ N}}$$

$$\text{tg}\varphi = \frac{F_y}{F_x} \quad (37)$$

$$\varphi = \arctg \frac{F_y}{F_x} = \arctg \frac{1,188}{3,219}$$

$$\boxed{\varphi = 20,27^\circ}$$

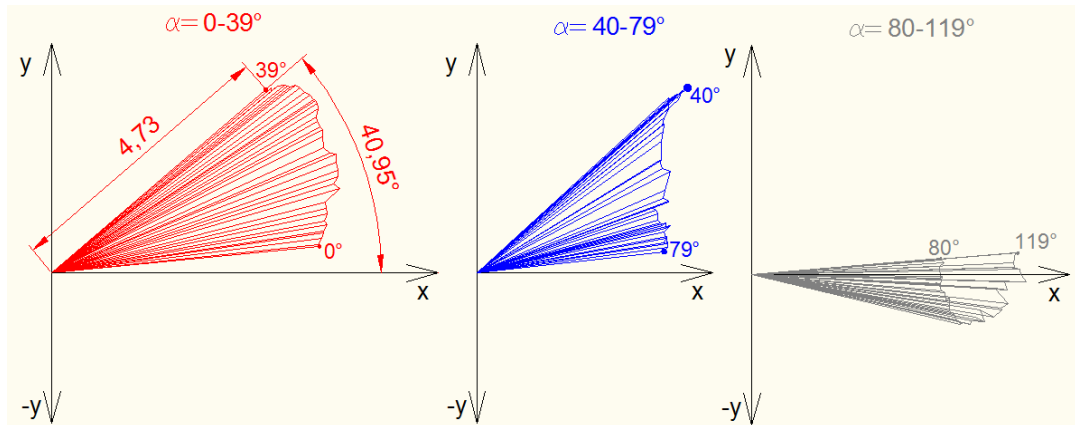
Tento postup se opakuje také pro výpočet při natočení rotoru $\alpha = 64^\circ$. Vypočtené hodnoty pro sledovaný interval natočení $\alpha = 63^\circ$ a 64° se nachází v Tab. 6.

Tab. 6. Velikost výsl. F a úhlu jejího natočení φ při $\alpha = 63^\circ$ a 64° pro rotor 6

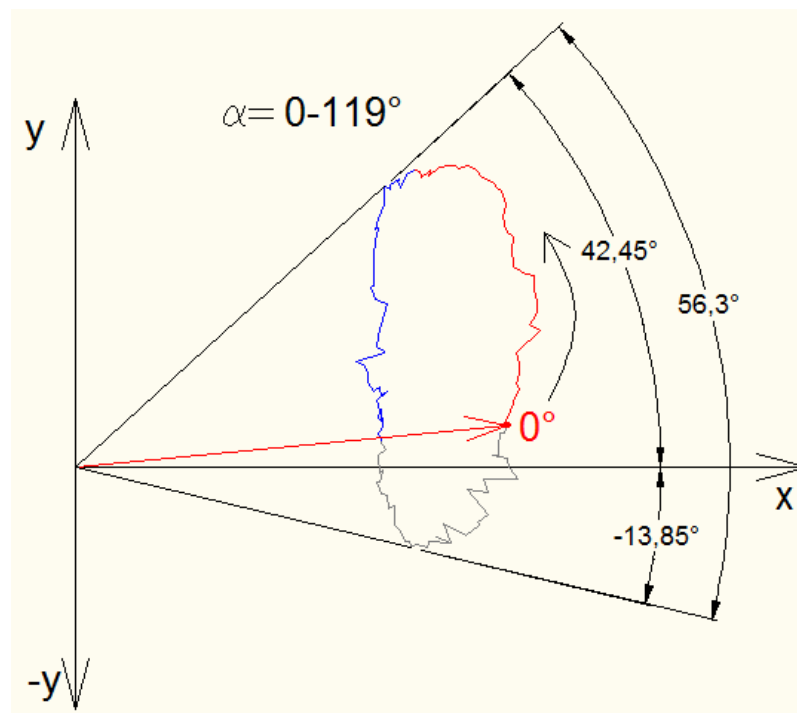
α	φ_{1-360}	φ_{2-360}	φ_{3-360}	F_{1-360}	F_{2-360}	F_{3-360}	F_x	F_y	F	φ
[°]	[°]	[°]	[°]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[°]
63	78,20	-85,12	14,96	0,934	0,525	3,088	3,219	1,188	3,431	20,27
64	38,44	-40,29	16,43	0,933	0,150	2,170	2,926	1,97	3,125	20,55
Rozdíl	39,76	44,83	1,47	0,001	0,375	0,918	0,293	0,092	0,306	0,28

Na Obr. 46 je zobrazena vektorová obálka pro $\alpha = 0 - 120^\circ$, která vznikla vynesemím velikosti celkové výsledné síly F působící na rotoru 6 pod příslušným úhlem φ . Tato obálka je rozdělena na tři úseky pro natočení rotoru $\alpha = 0 - 39^\circ$, $40 - 79^\circ$ a $80 - 119^\circ$. Na Obr. 46

vlevo je zakótována velikost výslednice F a její orientace φ při úhlu natočení rotoru $\alpha = 39^\circ$. Tyto 3 úseky byly následně propojeny, čímž vznikla výsledná vektorová obálka pro 1/3 otáčky rotoru (viz Obr. 47). Tato vektorová obálka se v rozsahu celé otáčky o 360° 3x opakuje.



Obr. 46. Velikost a orientace výsl. síly F na rotoru 6 pro $\alpha = 0-39^\circ$, $40-79^\circ$ a $80-119^\circ$



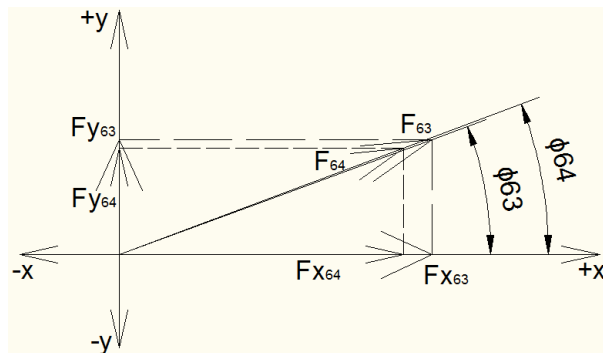
Obr. 47. Výsl. vektorová obálka na rotoru 6 pro 1/3 otáčky

Z Obr. 47 lze vyhodnotit, že výsledné síly F jsou při zatížení rotoru ve statickém stavu orientovány z velké části ve směru kladné osy y a x (3/4 z celé otáčky), přičemž max. úhel natočení výslednice F je $\varphi = 42,45^\circ$. Pouze pro interval natočení rotoru $\alpha = 84 - 113^\circ$ jsou výslednice orientovány ve směru záporné osy y (1/4 z celé otáčky), přičemž min. úhel na-

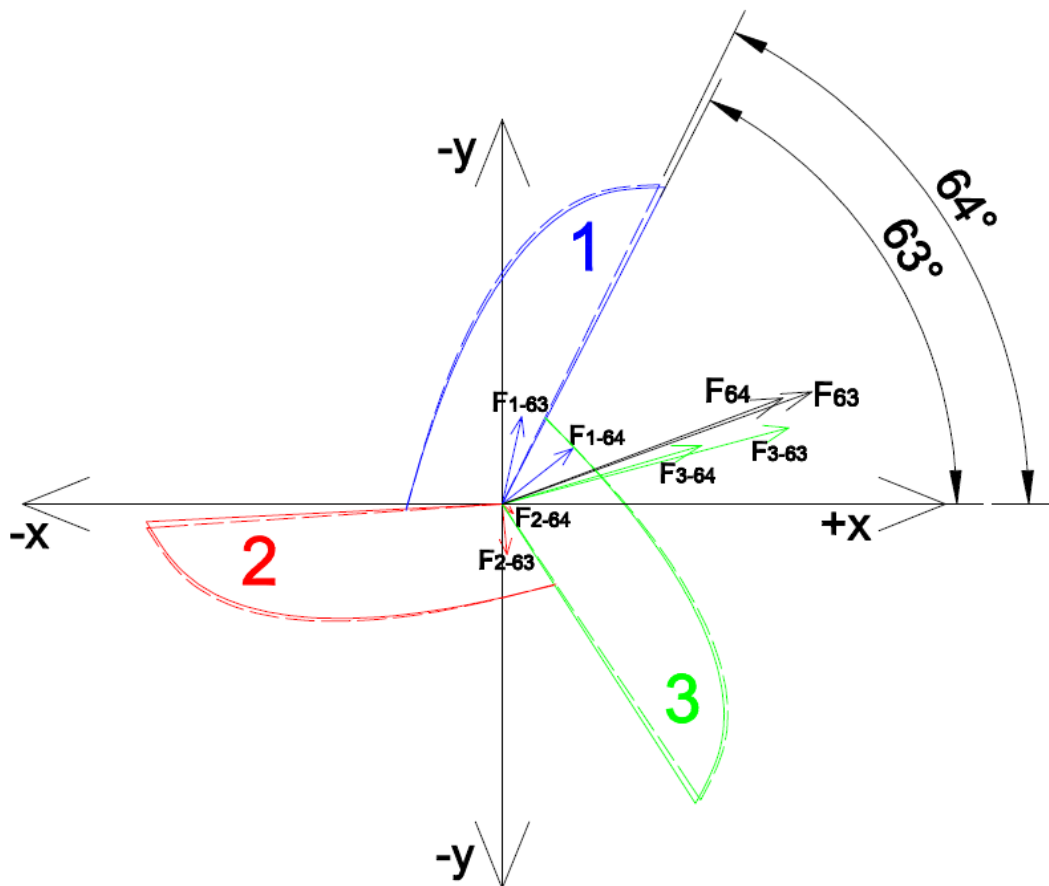
točení výslednice je $\varphi = -13,85^\circ$. Vektorová obálka pro výslednou sílu F působící na rotoru 6 je k dispozici na DVD 2.

8.4 Příčiny poklesu M_k při změně natočení rotoru z 63° na 64°

Z vypočítaných hodnot v Tab. 6 lze vyčíst, že pokles v kroučicím momentu je způsoben snížením velikosti výslednice F o hodnotu $0,3063$ N, a to především snížením její složky F_x o $0,2927$ N (viz. Obr. 48). Indexy 63 a 64 značí na Obr. 48 a 49 úhel natočení rotoru α .

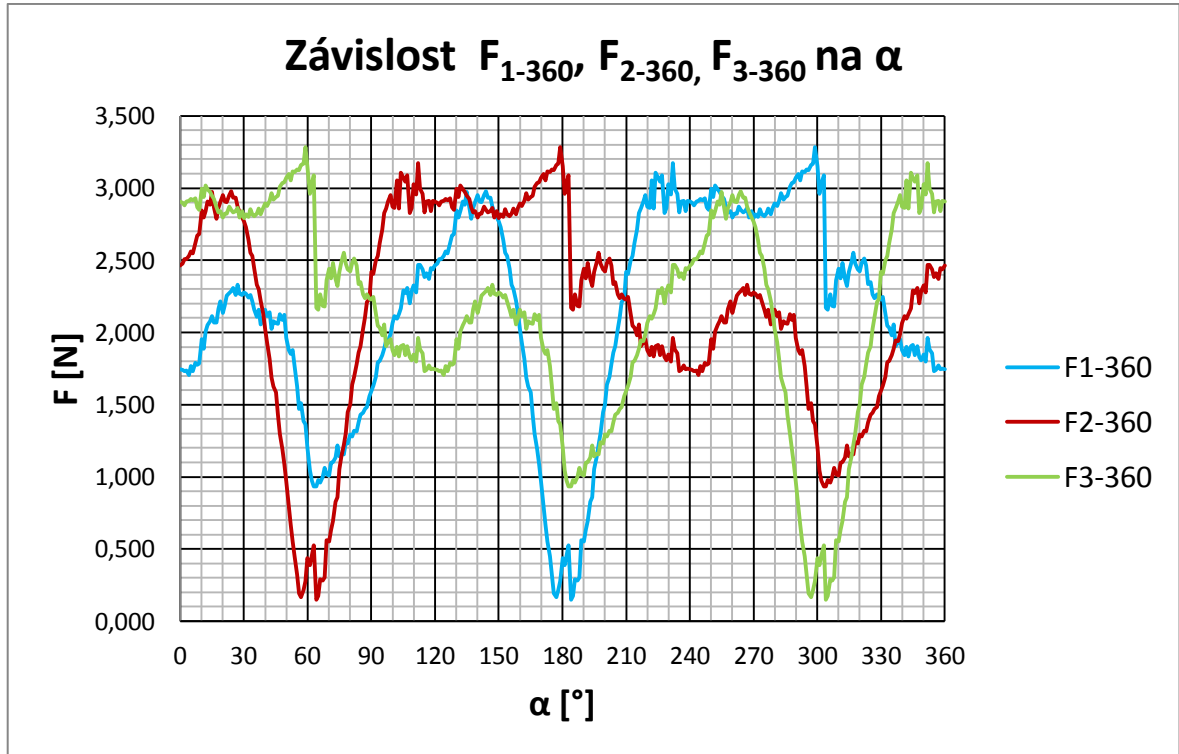


Obr. 48. Grafické znázornění celkové výslednice na rotoru

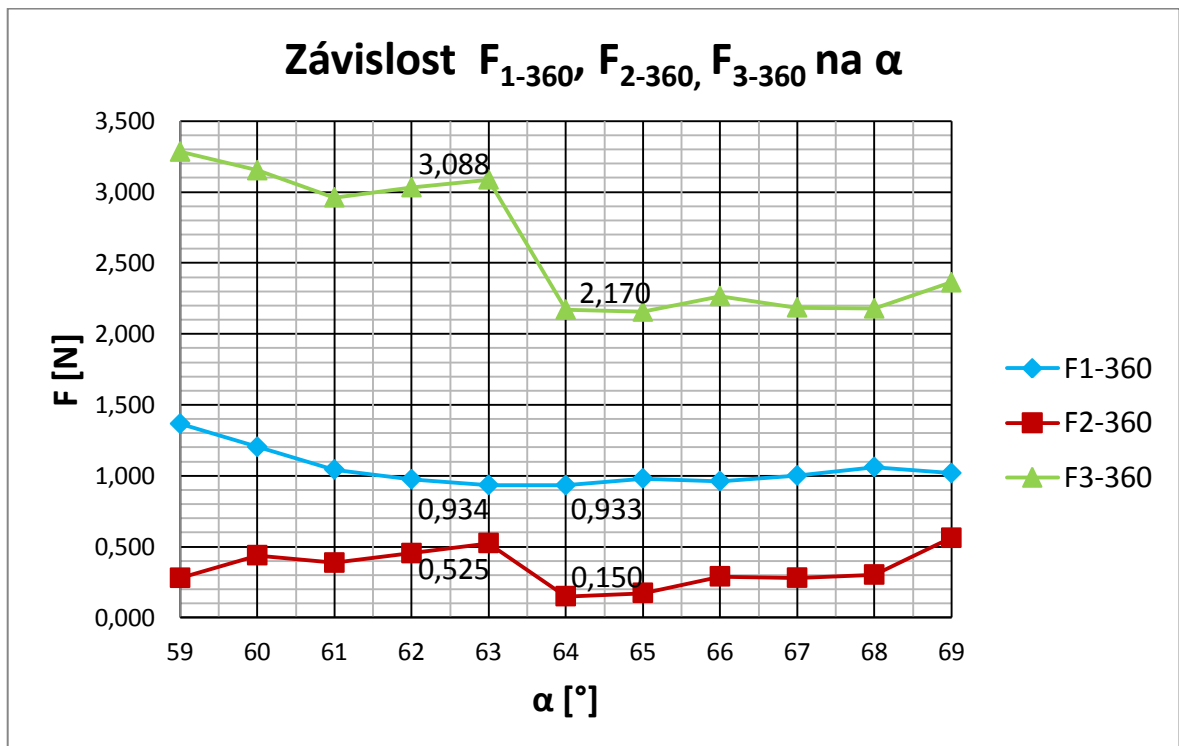


Obr. 49. Výsledné síly na jednotl. lopatkách rotoru 6 při natočení $\alpha = 63^\circ$ a 64°

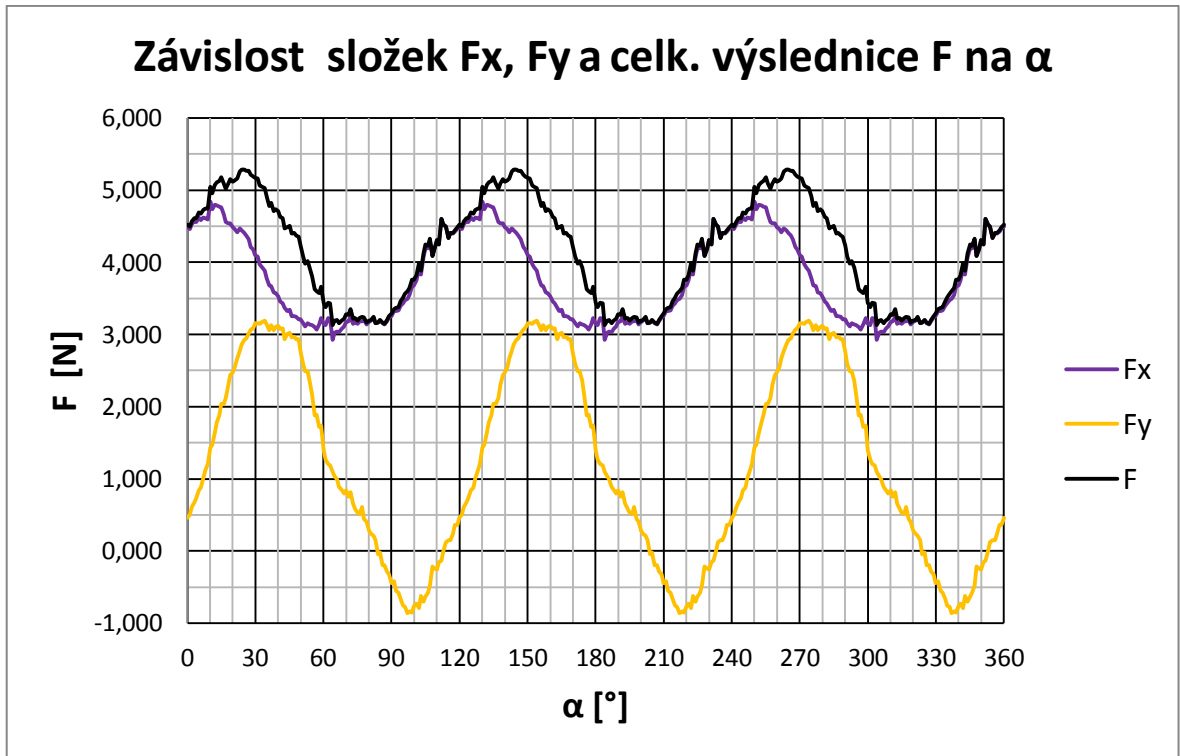
Celková výslednice F je dána složením tří výslednic působících na jednotlivých lopatkách rotoru. Změna ve velikosti a směru působení těchto výslednic způsobuje právě zmíněný pokles v krouticím momentu při změně natočení rotoru o 1° z $\alpha = 63^\circ$ na $\alpha = 64^\circ$.



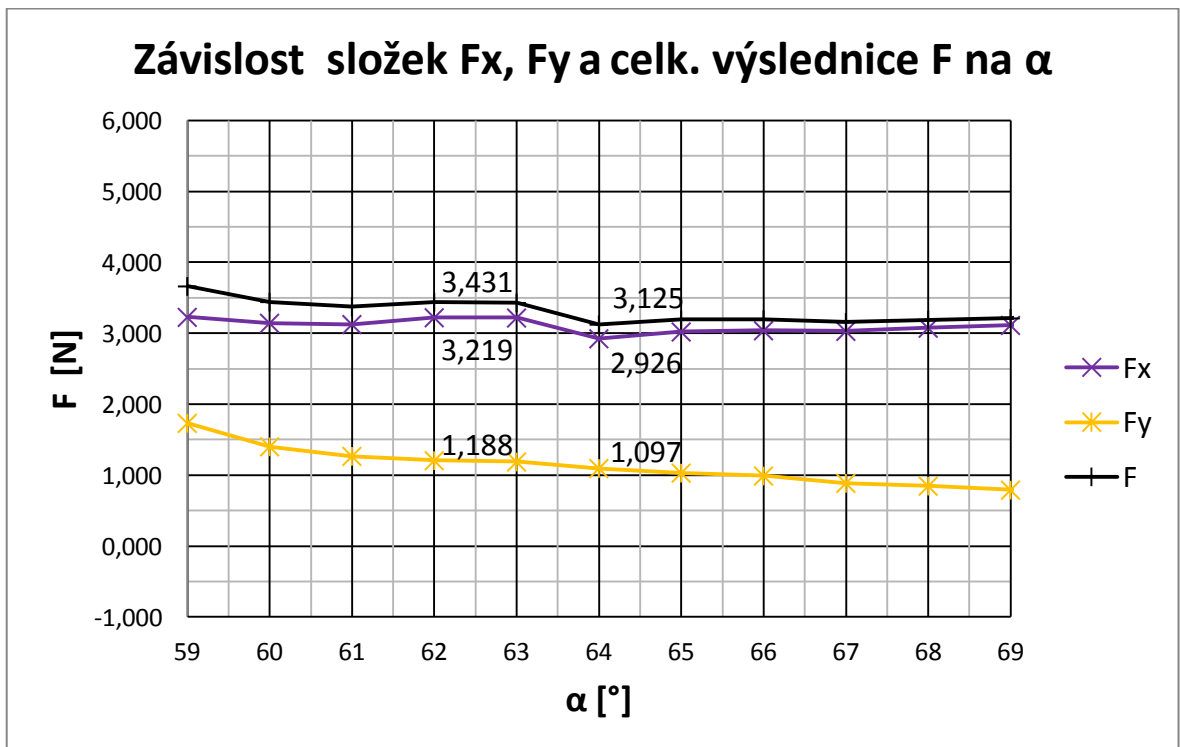
Obr. 50. Závislost F_{1-360} , F_{2-360} , F_{3-360} na α pro rotor 6



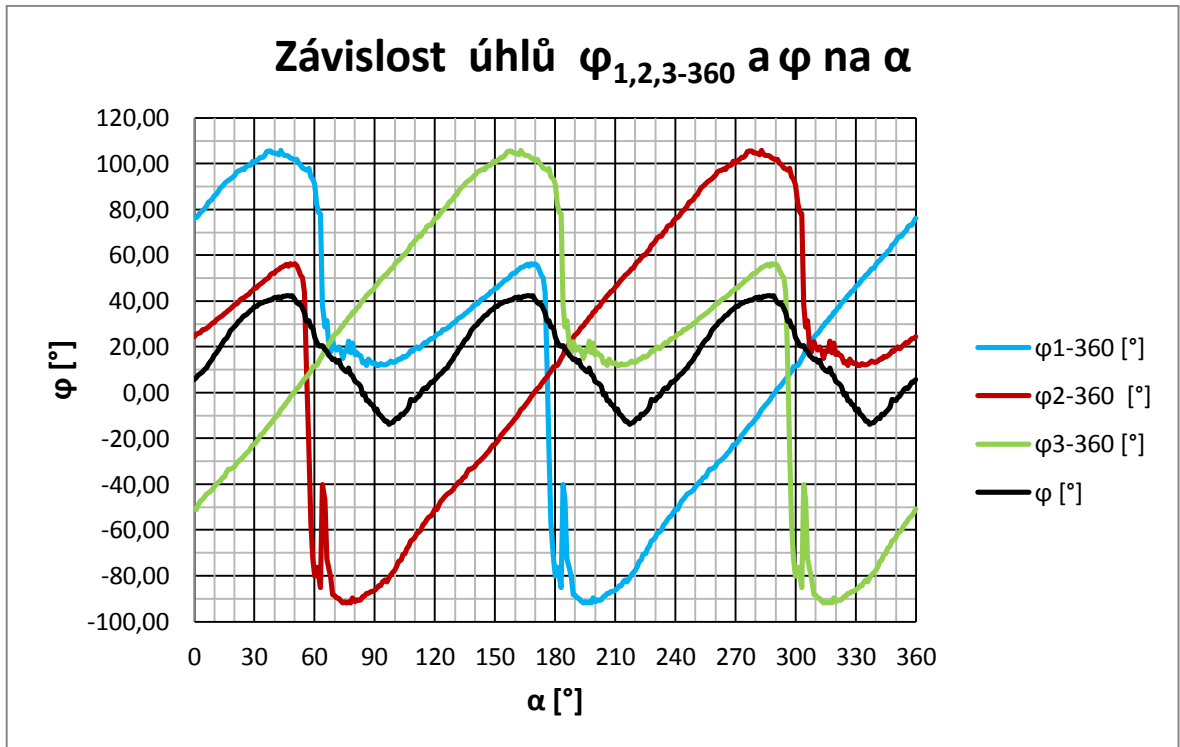
Obr. 51. Závislost F_{1-360} , F_{2-360} a F_{3-360} na α pro rotor 6 - detail $\alpha = 63 - 64^\circ$



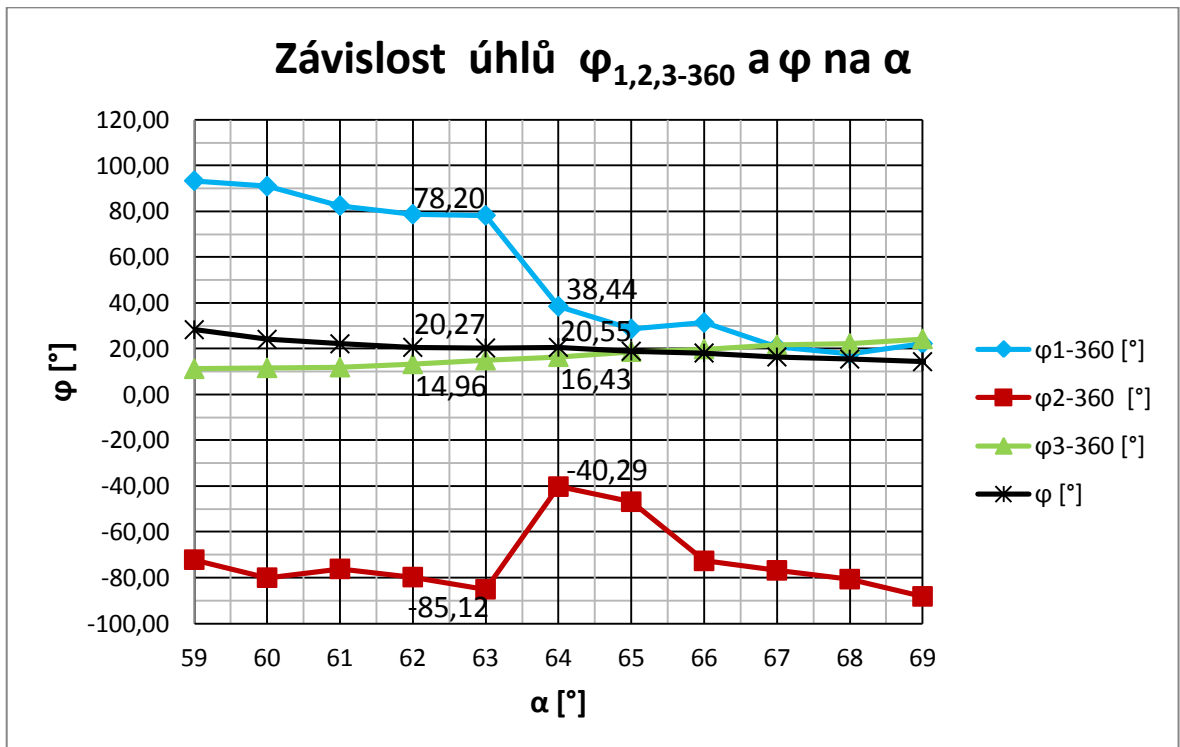
Obr. 52. Závislost složek F_x , F_y a celk. výslednice F na α pro rotor 6



Obr. 53. Závislost složek F_x , F_y a celk. výsl. F na α pro rotor 6 – detail $\alpha = 63 - 64^\circ$



Obr. 54. Závislost úhlů $\varphi_{1,2,3-360}$ a φ na α pro rotor 6



Obr. 55. Závislost úhlů $\varphi_{1,2,3-360}$ a φ na α pro rotor 6 – detail $\alpha = 63 - 64^\circ$

Změny v rychlostech proudění vzduchu a ve velikosti působících sil včetně jejich natočení při změně natočení rotoru 6 z $\alpha = 63^\circ$ na $\alpha = 64^\circ$:

- **Lopatka 1**

Síla, která působí na tuto lopatku, má při natočení $\alpha = 63^\circ$ velikost $F_{1-360} = 0,9338$ N a na lopatku působí pod úhlem $\varphi_{1-360} = 78,2^\circ$ (viz Obr. 47). Při tomto natočení rotoru je výsledná síla F_{1-360} ještě stále orientována na její vnitřní plochu. Na Obr. 50 lze vidět, že rychlost vzduchu na vnitřní ploše lopatky dosahuje hodnot až $v_{1-lop.} = 5,256$ m/s a na odtokové hraně až $v_{1-odt. hr.} = 6,308$ m/s.

Při pootočení rotoru o 1° na $\alpha = 64^\circ$ ale dojde k tomu, že se síla F_{1-360} výrazně odkloní od kladné osy y a přeorientuje se do směru mimo vnitřní plochu lopatky (viz síla F_{1-64} na Obr. 47). I když se prakticky nezmění její velikost (sníží se o zanedbatelných 0,0011 N na $F_{1-360} = 0,9327$ N), vlivem odklonu od osy y (na $\varphi_{1-360} = 38,44^\circ$) se sníží její složka F_{y1} , a tím i silové působení na vnitřní plochu této lopatky. Trajektorie proudnic při natočení rotoru $\alpha = 64^\circ$ jsou zobrazeny na Obr. 51. Na tomto obrázku je vidět, že rychlost vzduchu na vnitřní ploše lopatky se snížila z předchozí hodnoty $v_{1-lop.} = 5,256$ m/s na $v_{1-lop.} = 4,312$ m/s (což činí rozdíl 0,944 m/s) a na odtokové hraně se snížila z hodnoty $v_{1-odt. hr.} = 6,308$ m/s na $v_{1-odt. hr.} = 5,390$ m/s (ztráta 0,918 m/s).

- **Lopatka 2**

Na lopatku 2 působí při natočení rotoru $\alpha = 63^\circ$ síla o velikosti $F_{2-360} = 0,5246$ N pod úhlem $\varphi_{2-360} = -85,12^\circ$ od kladného směru osy x (viz síla F_{2-63} na Obr. 47). Tato síla je tedy orientována téměř kolmo na vnitřní plochu lopatky. Její velikost a orientace je dána tím, že se proudnice vzduchu při přechodu přes tuto lopatku opírají do její vnitřní plochy a tlačí ji před sebou proti směru hodinových ručiček. Na Obr. 50 je vidět, že proudnice, které obtékají lopatku 2 po vnější ploše, se od ní odtrhují až u středu rotoru, poté část z nich přispívá ke tvorbě víru a část z nich přechází ihned na lopatku 1. Při obtékání lopatky 2 prozatím nedochází ke tvorbě vírů na vnitřní ploše této lopatky.

Při natočení rotoru o další stupeň na $\alpha = 64^\circ$ dojde k tomu, že se výrazně zmenší velikost výslednice na hodnotu $F_{2-360} = 0,1499$ N a úhel jejího působení na $\varphi_{2-360} = -40,29^\circ$. Síla se tak zmenší a více se odchýlí od záporné osy y (viz síla F_{2-64} Obr. 47). Tím dojde ke snížení silového působení na tuto lopatku. Je to dáno pravděpodobně tím, že při tomto natočení rotoru začne docházet ke tvorbě vírů na vnitřní ploše lopatky 2 a na vnější ploše

k dřívějšímu odtržení proudnice od lopatky než tomu bylo u natočení $\alpha = 63^\circ$. Proudnice vzduchu se poté všechny okamžitě soustředí do středu rotoru, kde tvoří vír, a až po určitém čase přechází na lopatku 1. (viz Obr. 51). Víry na vnitřní ploše lopatky 2 i ve středu rotoru pak negativně ovlivňují výslednou sílu F_{2-360} .

- **Lopatka 3**

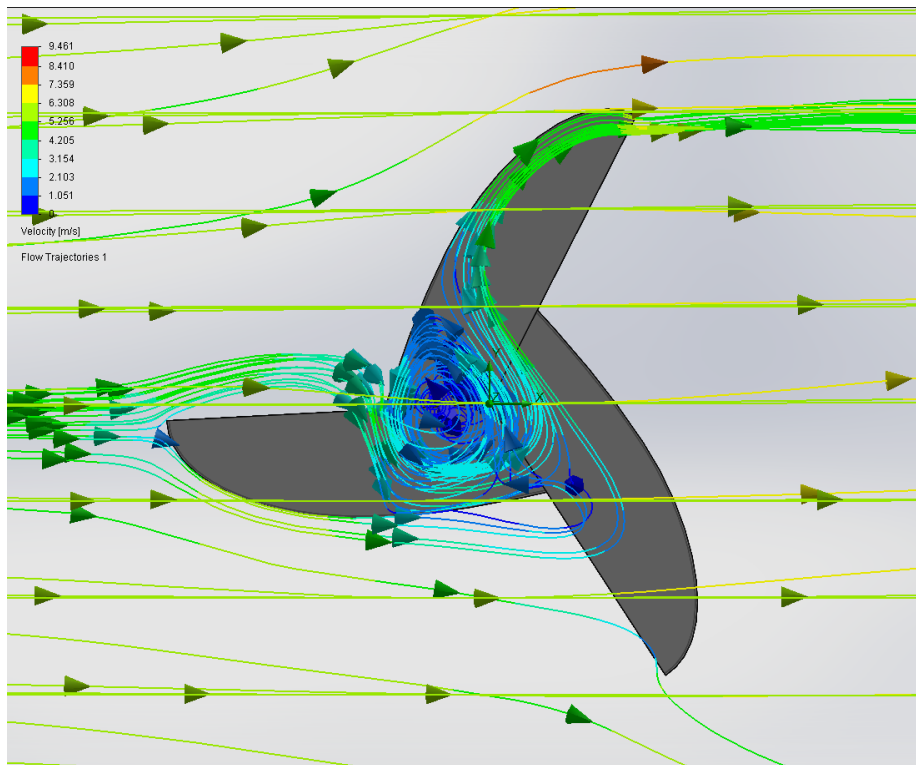
Výsledná síla do lopatky 3 při přechodu z natočení $\alpha = 63^\circ$ na $\alpha = 64^\circ$ příliš nemění svou orientaci, ale výrazně se snižuje její velikost z $F_{3-360} = 3,0877$ N na $F_{3-360} = 2,1697$ N, což činí rozdíl téměř 1 N (viz Tab. 6 a síla F_{3-63} Obr. 47). Tento pokles ve velikosti výsledné síly je dán pravděpodobně tím, že při natočení rotoru $\alpha = 63^\circ$ přechází proudění vzduchu plynule z lopatky 3 na lopatku 1 a příliš nepřispívá ke tvorbě víru uprostřed rotoru (viz Obr. 50).

Při pootočení rotoru na $\alpha = 64^\circ$ dojde k tomu, že vzduch, který při předchozím natočení přecházel dál na lopatku 1 a kladně přispíval k jejímu zatížení, se teď po odečtení z lopatky 3 soustředí do středu rotoru, kde přispívá naopak ke tvorbě víru, což je v tomto případě nežádoucí efekt (viz Obr. 51).

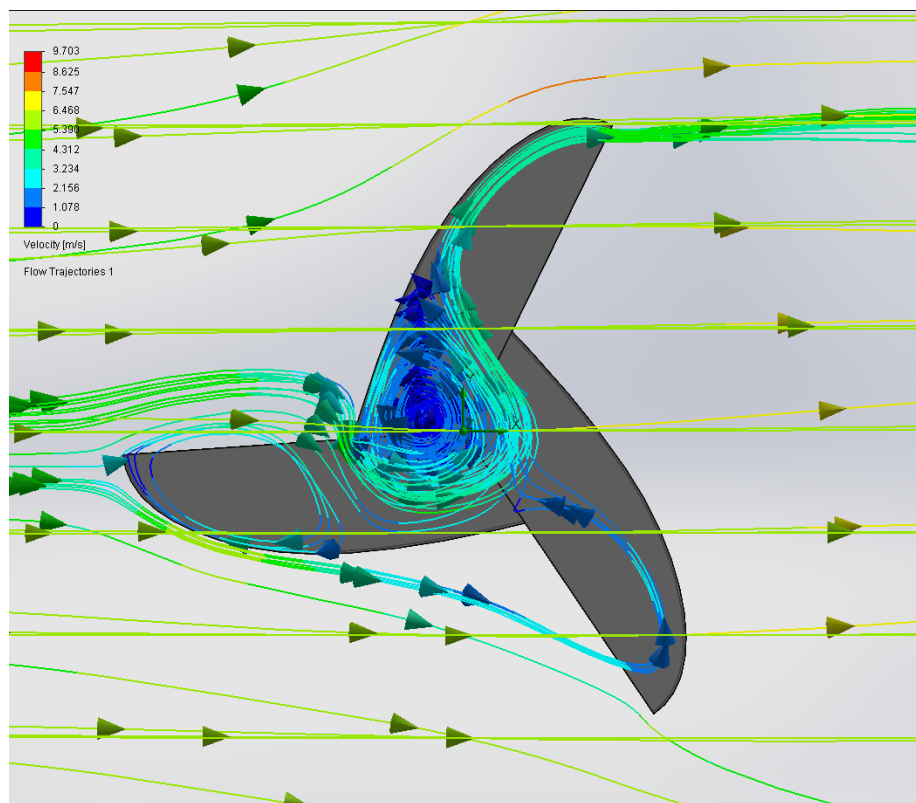
Rozložení tlaku při přechodu z natočení $\alpha = 63^\circ$ na $\alpha = 64^\circ$:

V teoretické části v kapitole 2.1 je pojednáno o vzájemné vazbě mezi rychlostí a tlakem. Kde je vyšší rychlost proudění vzduchu, tam je nižší tlak (vzniká podtlak) a kde je nižší rychlost vzduchu, tam je vyšší tlak (vzniká přetlak). Výsledná síla se pak nazývá síla vztla-ková. Na Obr. 51 a 52 je zobrazeno právě rozložení tlaku na celém rotoru. Při změně natočení rotoru z $\alpha = 63^\circ$ na $\alpha = 64^\circ$ dojde ke snížení tlaku uprostřed rotoru ve vírové oblasti z původních $p_{63} = 101331,88$ Pa na $p_{64} = 101323,84$ Pa z důvodu zvýšení rychlosti vzduchu v tomto prostoru. Na lopatce 1 je dobře vidět oblast, kde vzduch opouští vnitřní plochu lopatky a mění se tlak. V tomto místě dochází ke zvýšení tlaku vlivem snížené rychlosti proudění vzduchu z přibližně $p_{63} = 101320,56$ Pa na $p_{64} = 101323,84$ Pa.

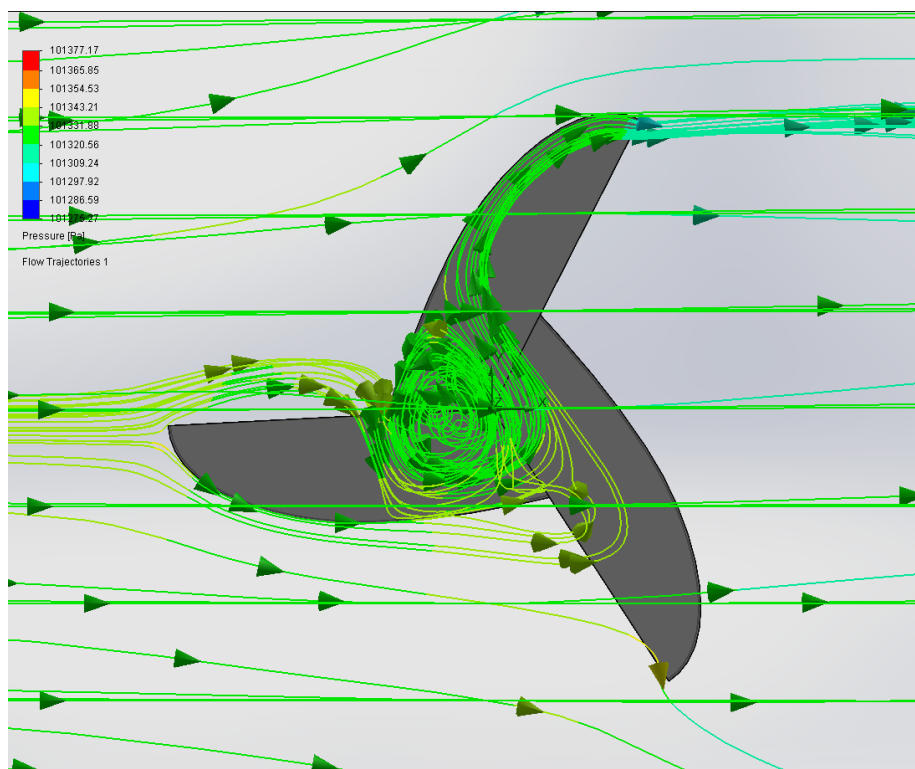
Všechny obrázky s trajektoriemi proudnic vzduchu pro interval natočení rotoru $59 - 69^\circ$ jsou k dispozici na DVD 2, stejně jako animace proudění vzduchu při natočení rotoru 63° a 64° .



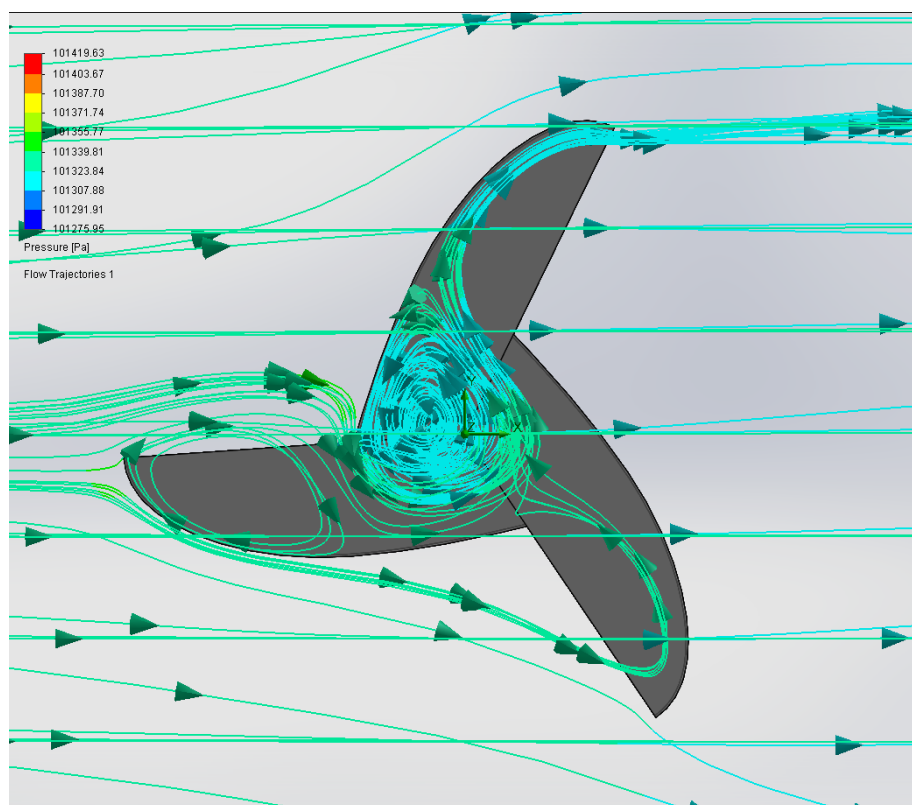
Obr. 56. Trajektorie proudnic na rotoru 6 pro $\alpha = 63^\circ$ - barevné měřítko rychlosti



Obr. 57. Trajektorie proudnic na rotoru 6 pro $\alpha = 64^\circ$ - barevné měřítko rychlosti



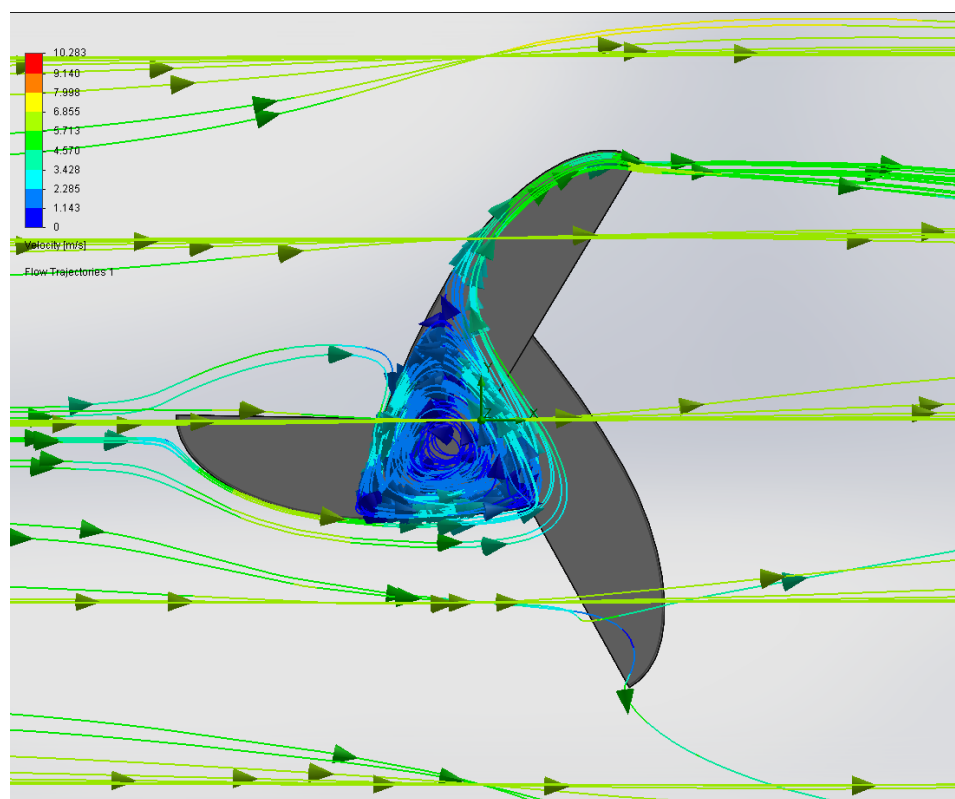
Obr. 58. Trajektorie proudnic na rotoru 6 pro $\alpha = 63^\circ$ - barevné měřítko tlaku



Obr. 59. Trajektorie proudnic na rotoru 6 pro $\alpha = 64^\circ$ - barevné měřítko tlaku

8.5 Vyhodnocení nejvyššího a nejnižšího M_k během jedné otáčky

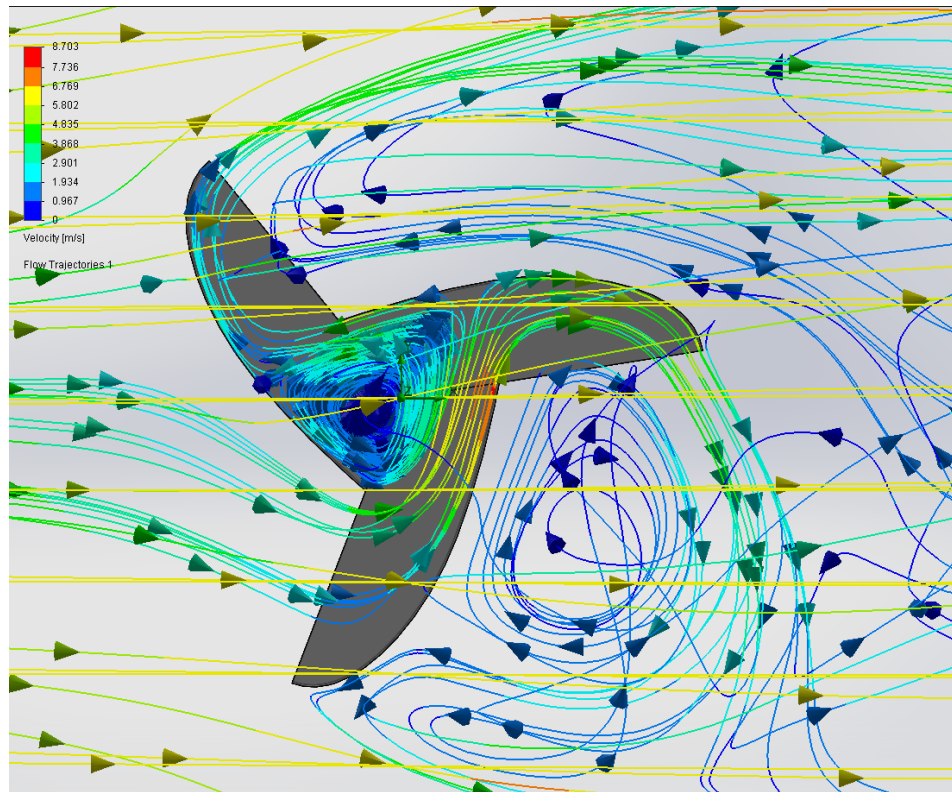
Největšího krouticího momentu u rotoru 6 ($M_k = 0,720 \text{ N.m}$) bylo dosaženo při natočení $\alpha = 59^\circ$, tedy 4° před natočením, kdy došlo k velkému poklesu v krouticím momentu. Při tomto natočení mají proudnice vzduchu nejvyšší rychlost jak ve středu rotoru ve vírové oblasti, tak i na jednotlivých lopatkách. Rychlost proudění je při tomto natočení zpomalována nejméně ze všech konfigurací (natočení), a proto vyvíjí na jednotlivé lopatky největší silové účinky. Animace proudění vzduchu při natočení rotoru $\alpha = 59^\circ$ je k dispozici na DVD 2.



Obr. 60. Trajektorie proudnic na rotoru 6 pro $\alpha = 59^\circ$ - barevné měřítko rychlosti

Nejmenší krouticí moment vykazoval rotor při natočení $\alpha = 9^\circ$. Animace proudění při tomto stupni natočení rotoru je k dispozici na DVD 2. Celkový krouticí moment při tomto natočení ($M_{k120} = 0,312 \text{ N.m}$) nedosahuje ani poloviny momentu získaného při natočení $\alpha = 59^\circ$ ($M_{k120} = 0,720 \text{ N.m}$). Hlavní příčinou malé hodnoty M_{k120} je to, že lopatka 2 vykazuje při natočení $\alpha = 9^\circ$ záporný krouticí moment $M_{k2} = -0,309 \text{ N.m}$. Při takto natočeném rotoru dochází k největšímu zpomalování nabíhající vzduchu na rotor a velkým problémem je také změna proudění z laminárního na turbulentní za lopatkami rotoru (viz

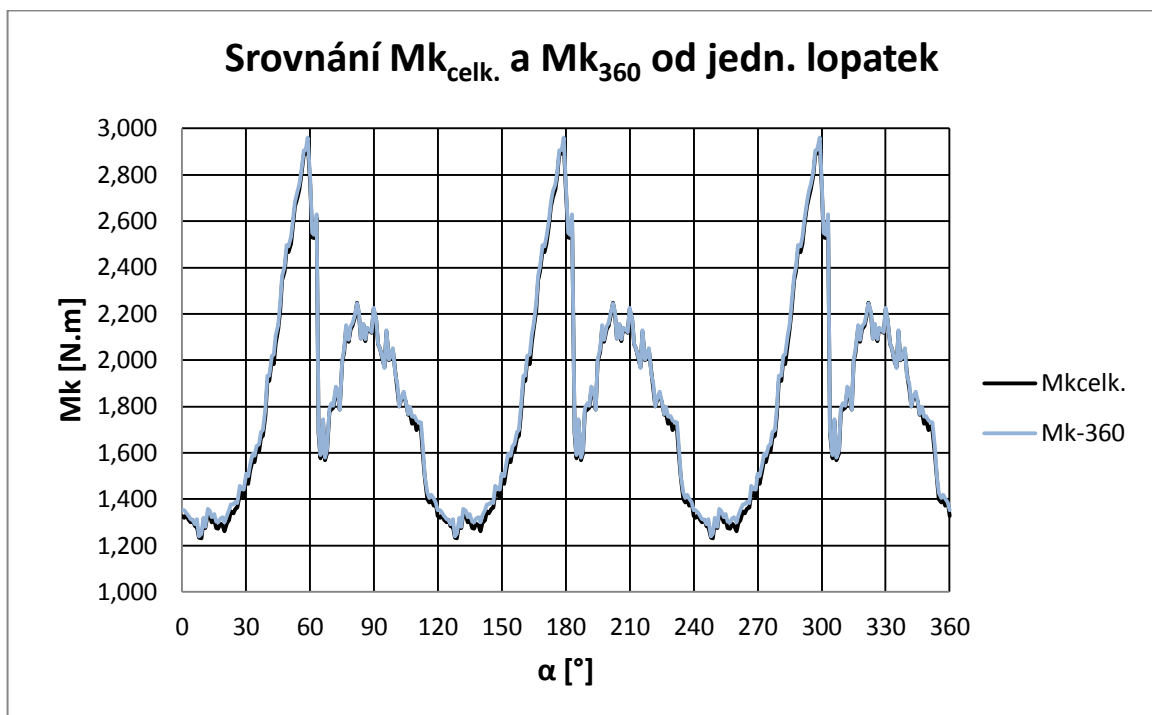
Obr. 61). Toto proudění, stejně jako malá rychlost vzduchu, pravděpodobně negativně ovlivňuje výsledný krouticí moment od všech lopatek rotoru Mk₃₆₀.



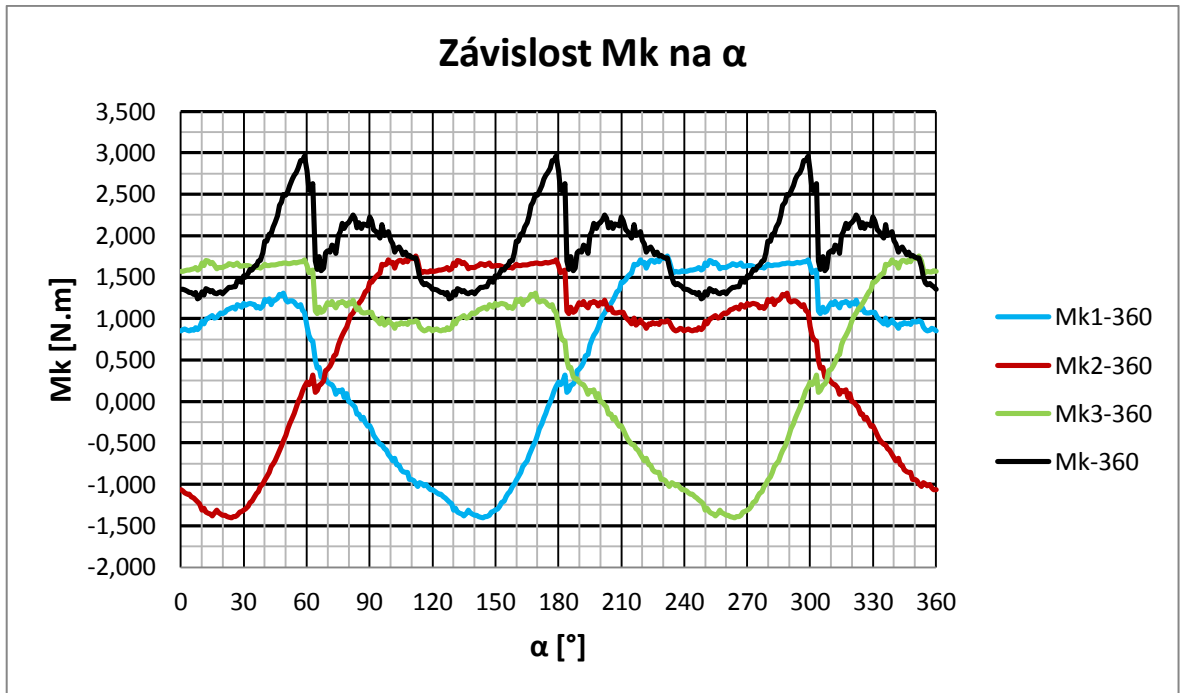
Obr. 61. Trajektorie proudnic na rotoru 6 pro $\alpha = 9^\circ$ - barevné měřítko rychlosti

9 VYHODNOCENÍ SILOVÝCH POMĚRŮ NA ROTORU 12 A JEHO SROVNÁNÍ S ROTOREM 6

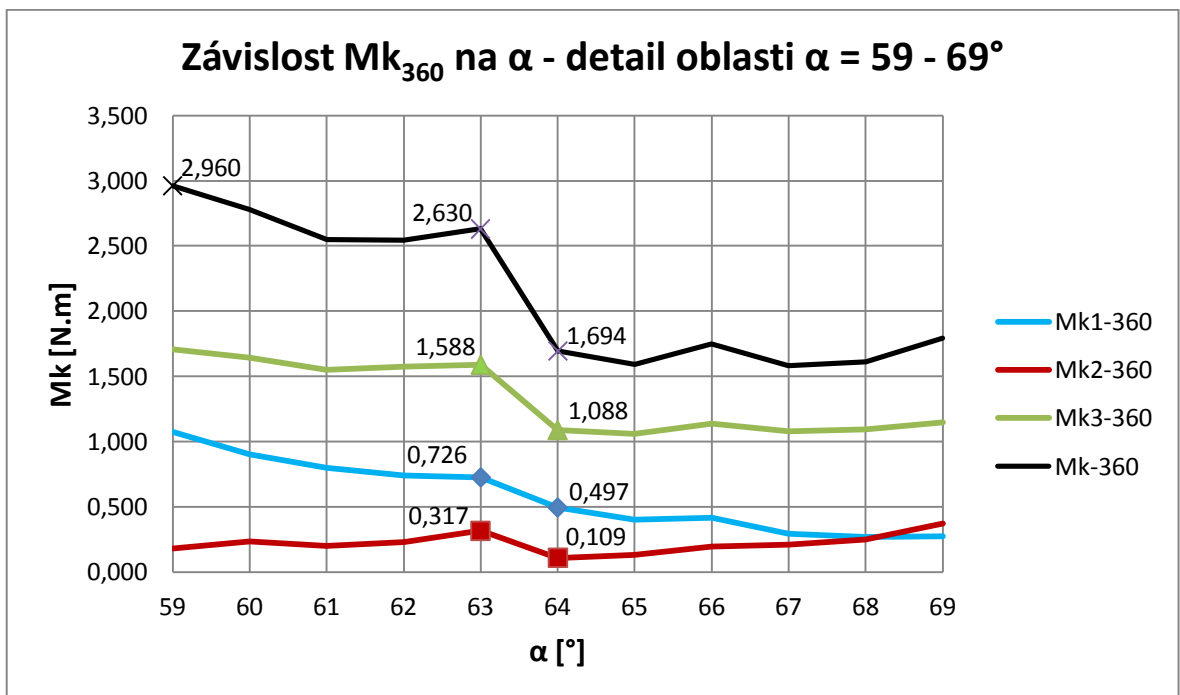
Rotor 12 je takto označen z toho důvodu, že je zatížen proudícím vzduchem o rychlosti $v = 12$ m/s. Na grafu (viz Obr. 62) lze vidět, že průběh celkového krouticího momentu $M_{k_{\text{celk.}}}$ a momentu $M_{k_{360}}$ získaného součtem momentů od jednotlivých lopatek se příliš neliší (průměrná odchylka je 0,018 N.m). Oproti rotoru 6 se ale průměrná odchylka zvýšila téměř 5x, což je pravděpodobně dáno nastavením 2x větší rychlosti proudění vzduchu. Tabulka s výsledky analýzy rotoru zatíženého rychlostí vzduchu 12 m/s jsou uvedeny na DVD 2. Všechny provedené výpočty k rotoru 12 jsou uvedeny v Příloze 8. Tabulka se srovnáním rotoru 12 s rotorem 6 je k dispozici taktéž na DVD 2.



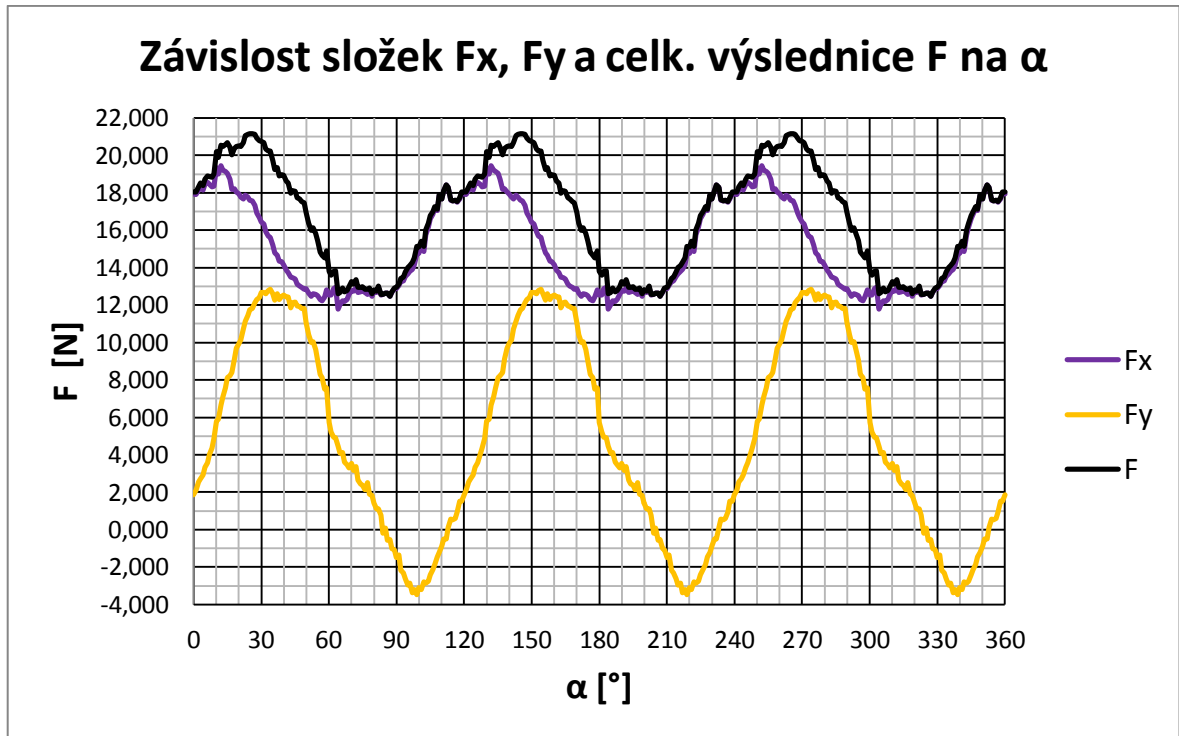
Obr. 62. Srovnání $M_{k_{\text{celk.}}}$ a $M_{k_{360}}$ od jednotlivých lopatek pro rotor 12



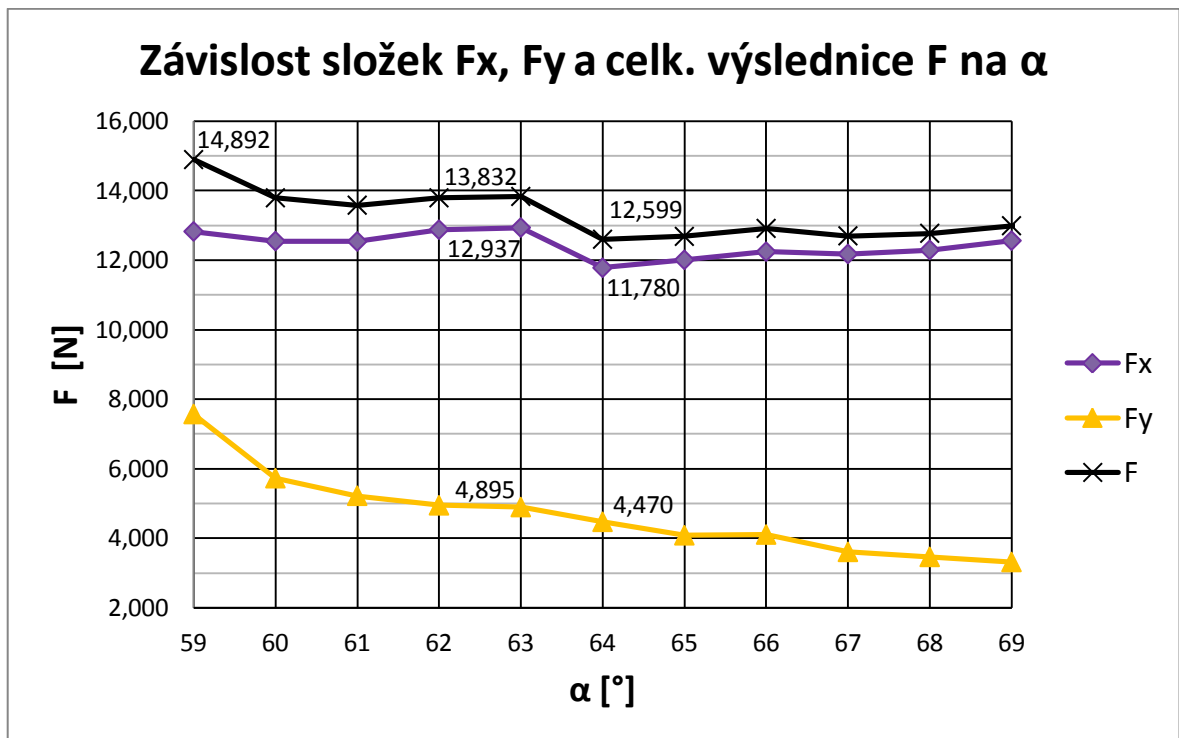
Obr. 63. Závislost Mk_{360} a Mk od jednotlivých lopatek na α pro rotor 12



Obr. 64. Závislost Mk_{360} na α - detail $\alpha = 59 - 69^\circ$ pro rotor 12



Obr. 65. Závislost složek F_x , F_y a celk. výslednice F na α pro rotor 12

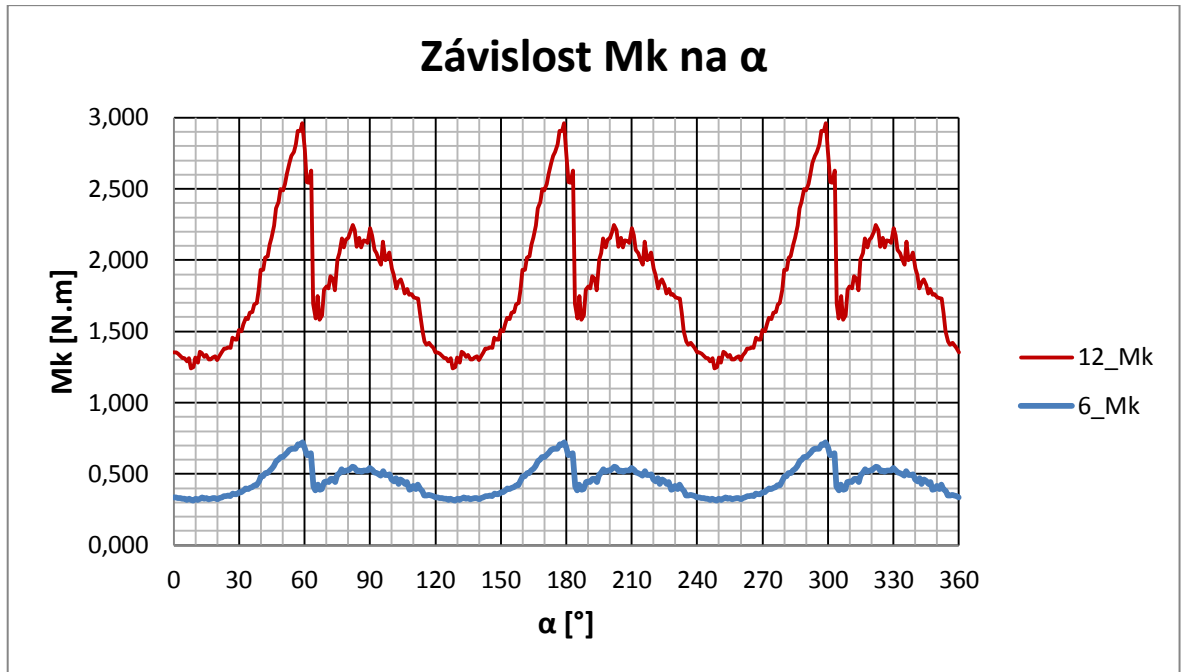


Obr. 66. Závislost složek F_x , F_y a celk. výsl. F na α pro rotor 6 – detail $\alpha = 63 - 64^\circ$

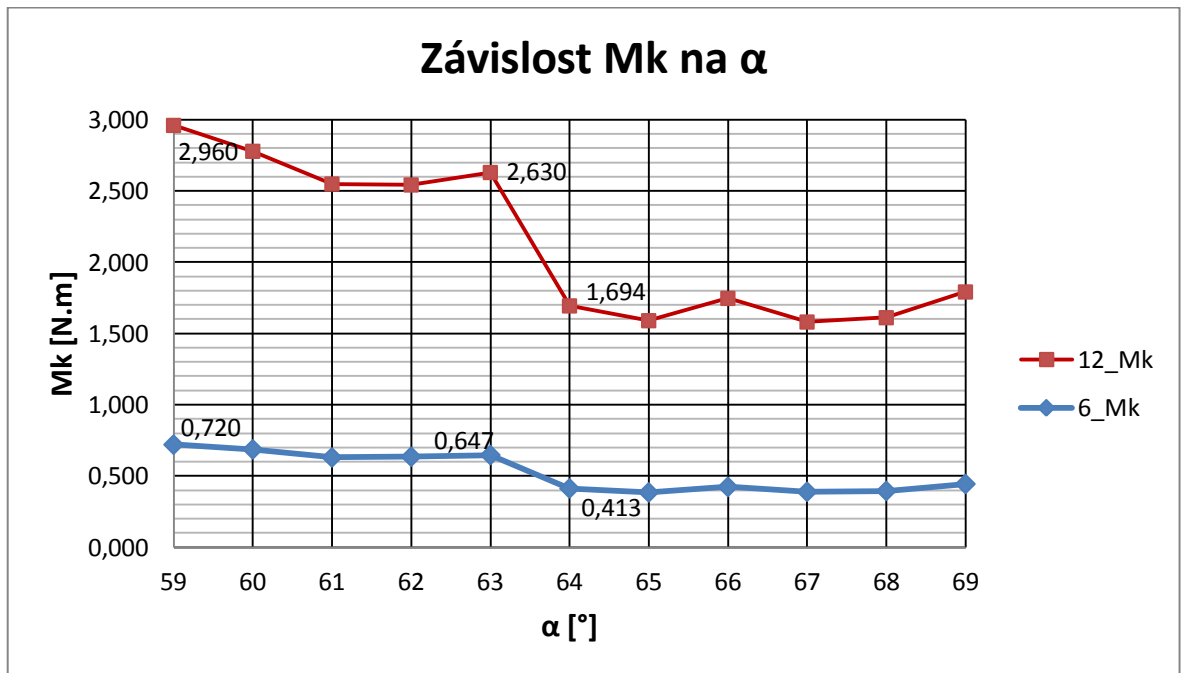
Největšího krouticího momentu M_{k360} dosahuje rotor 12 při natočení $\alpha = 59^\circ$ a jeho hodnota je $M_{k360} = 2,96$ N.m. (viz Obr. 68). Největšího M_k se tedy dosáhne jak u rotoru 6 ($M_{k360} = 0,720$ N.m), tak i u rotoru 12 při stejném natočení $\alpha = 59^\circ$, přičemž velikost M_k

od rotoru 12 je v místě největšího krouticího momentu větší o hodnotu 2,24 N.m. Průměrně je potom v celém rozsahu otáčky vyšší o hodnotu 1,39 N.m.

Nejmenší krouticí moment u rotoru 12 byl naměřen při natočení $\alpha = 8^\circ$ a jeho hodnota je $M_{k360} = 1,24$ N.m.



Obr. 67. Srovnání závislosti Mk na α pro rotor 6 a 12



Obr. 68. Srovnání závislosti Mk na α pro rotor 6 a 12 – detail $\alpha = 59 - 69^\circ$

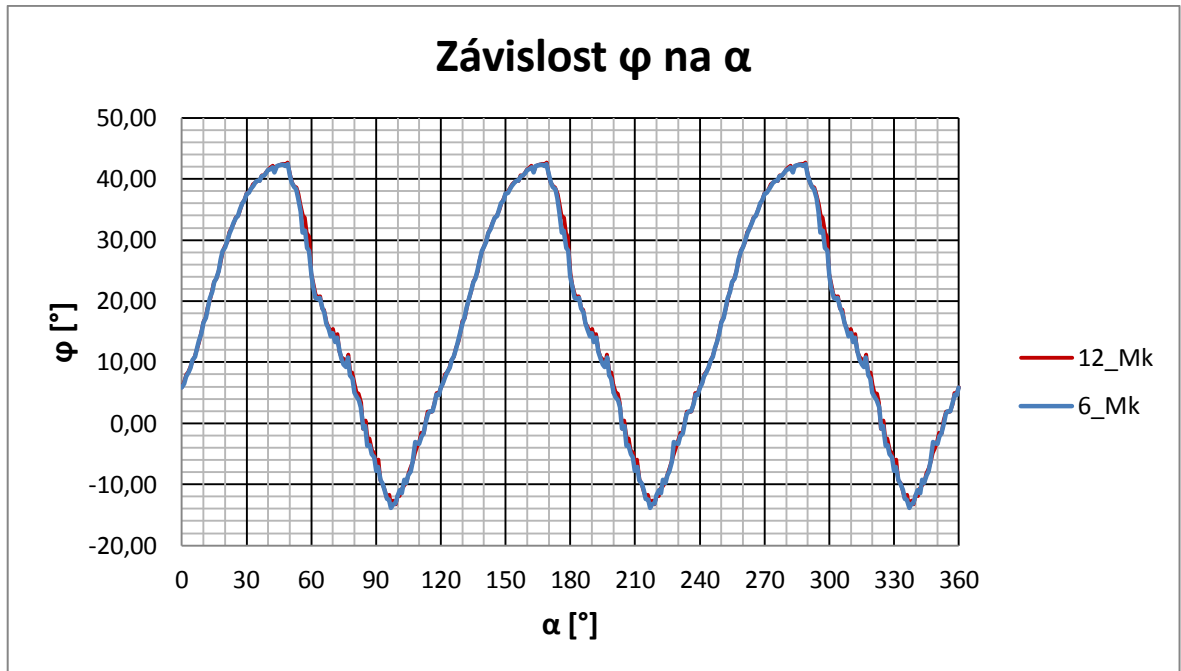
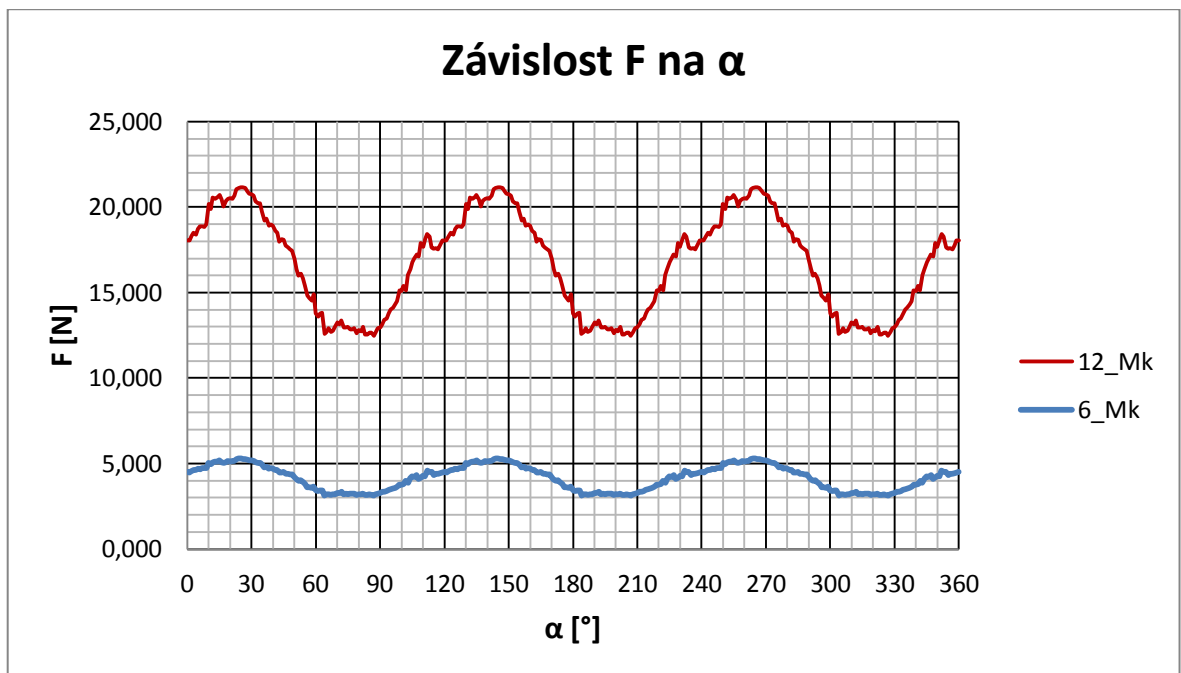
Na Obr. 68 je dobře vidět, jak velikost rychlosti proudění vzduchu ovlivňuje velikost skokové změny v průběhu krouticího momentu. Zatímco u rotoru 6 došlo při změně natočení z $\alpha = 63^\circ$ na $\alpha = 64^\circ$ ke snížení krouticího momentu M_{k360} o hodnotu 0,234 N.m, u rotoru 12 už se jedná o rozdíl 0,936 N.m (skoková změna je tedy přesně 4x větší).

V Tab. 7 jsou pro přehlednost zobrazeny výsledné hodnoty obou srovnávaných rotorů při natočení $\alpha = 59^\circ, 63^\circ$ a 64° .

Tab. 7. Srovnání rotoru 12 s rotorem 6 pro $\alpha = 59^\circ, 63^\circ$ a 64°

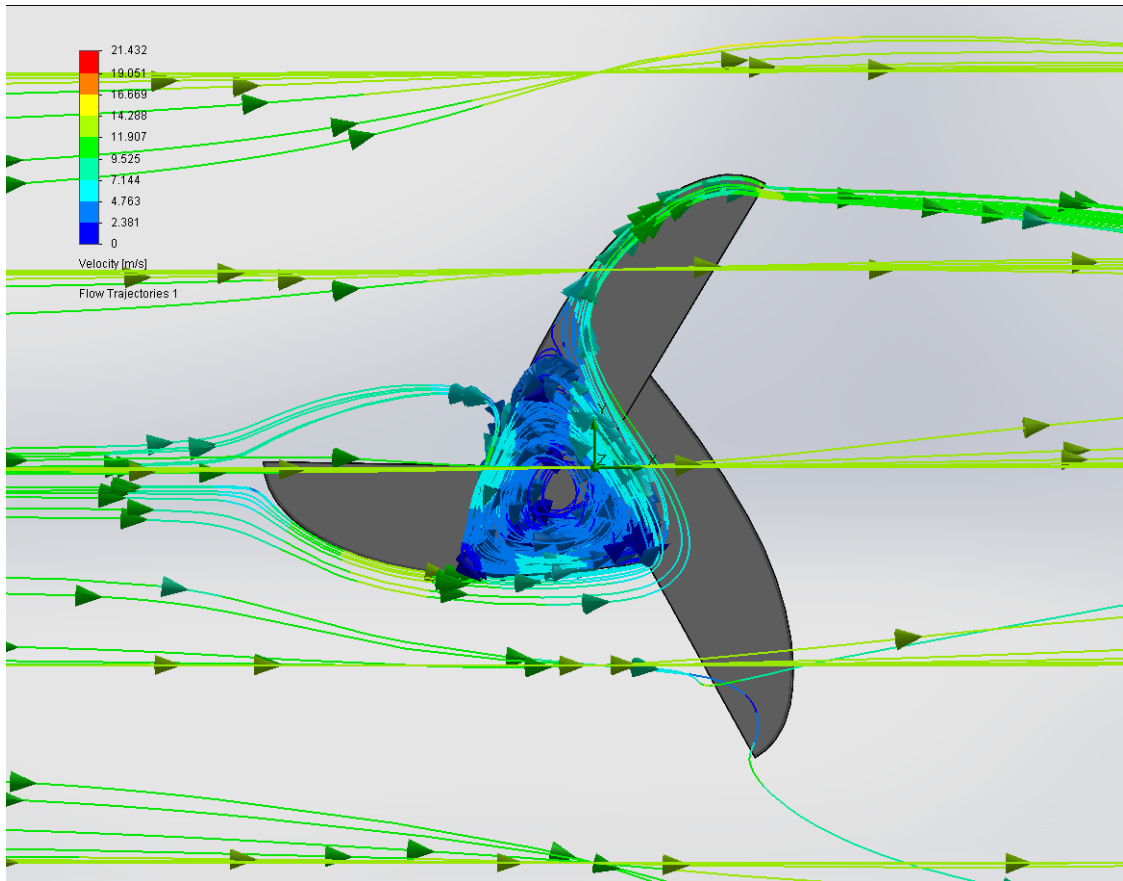
	α	φ_{1-360}	φ_{2-360}	φ_{3-360}	F_{1-360}	F_{2-360}	F_{3-360}	M_{k360}	F_x	F_y	F	φ
	[°]	[°]	[°]	[°]	[N]	[N]	[N]	[N.m]	[N]	[N]	[N]	[°]
Rotor 12	59	94,10	-70,54	11,12	5,995	1,004	13,165	2,960	12,824	7,571	14,892	30,56
	63	79,27	-85,66	15,01	3,808	2,091	12,496	2,630	12,937	4,895	13,832	20,72
	64	40,09	-46,45	16,57	3,743	0,638	8,844	1,694	11,780	4,470	12,599	20,78
Rotor 6	59	93,30	-72,20	11,17	1,366	0,279	3,283	0,720	3,228	1,734	3,664	28,24
	63	78,20	-85,12	14,96	0,934	0,525	3,088	0,647	3,219	1,188	3,431	20,27
	64	38,44	-40,29	16,43	0,933	0,150	2,170	0,413	2,926	1,097	3,125	20,55
Rozdíl	59	0,80	1,65	0,06	4,63	0,72	9,88	2,240	9,60	5,84	11,23	2,32
	63	1,07	0,54	0,05	2,87	1,57	9,41	1,983	9,72	3,71	10,40	0,46
	64	1,65	6,16	0,14	2,81	0,49	6,67	1,281	8,85	3,37	9,47	0,23

Z této tabulky lze vyčíst, že s rostoucí rychlostí proudění vzduchu se zvyšuje velikost působících sil na jednotlivých lopatkách a velikost celkové výslednice F , ale téměř se nemění orientace těchto sil. Orientace výslednice F na rotoru 6 se průměrně odchyluje od orientace výslednice F na rotoru 12 o hodnotu $\varphi = 0,4^\circ$ (viz Obr. 69), což je zanedbatelná změna. Průměrná odchylka v orientaci sil F_{1-360} , F_{2-360} a F_{3-360} na rotoru 6 a na rotoru 12 během celé otáčky rotoru je $0,36^\circ$. K větší změně orientace působící síly dochází pouze při natočení rotoru $\alpha = 64^\circ$ a 65° , kdy se orientace síly na lopatce 2 změní o hodnotu $6,16^\circ$ a $8,25^\circ$, což je zapříčiněno již zmiňovanou změnou v proudění vzduchu a tím i změnou ve velikosti působících sil (viz kapitola 8.4). Tyto hodnoty se v dalších natočeních navrací zpět do svého průměru.

Obr. 69. Závislost úhlu natočení výslednice φ na α pro rotor 6 a 12Obr. 70. Závislost velikosti výslednice F na α pro rotor 6 a 12

Největší velikost výslednice na rotoru 6 je při natočení $\alpha = 25^\circ$ a její hodnota je $F = 5,289$ N. Na rotoru 12 je to velikost $F = 21,169$ N při natočení rotoru $\alpha = 26^\circ$.

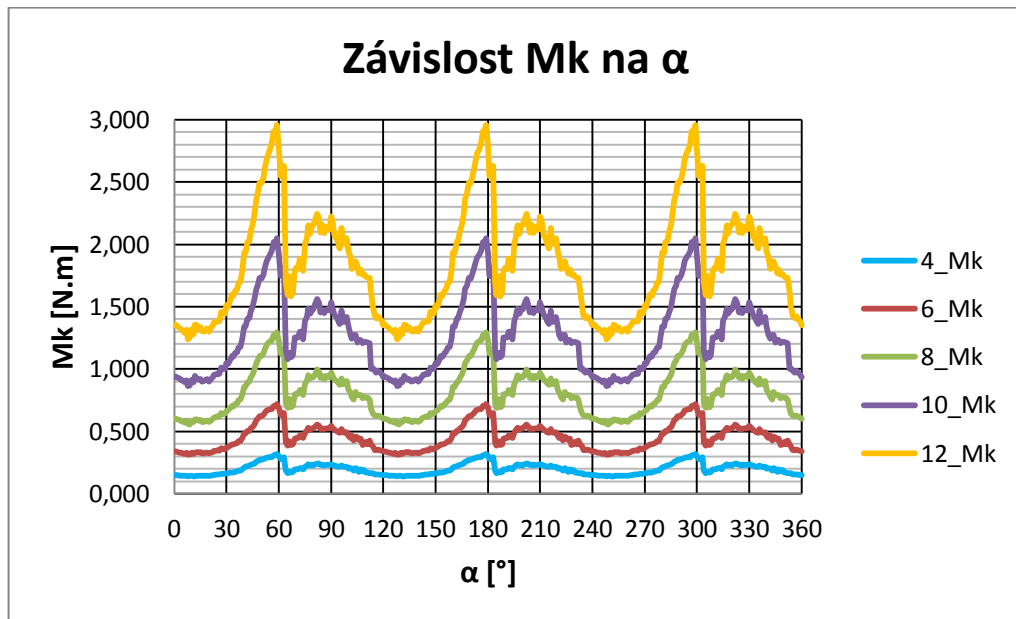
Na Obr. 71 je dobře vidět, že trajektorie proudnic se při zvýšení rychlosti proudění vzduchu z $v = 6$ m/s u rotoru 6 na $v = 12$ m/s u rotoru 12 nemění (mění se pouze jejich rychlost).



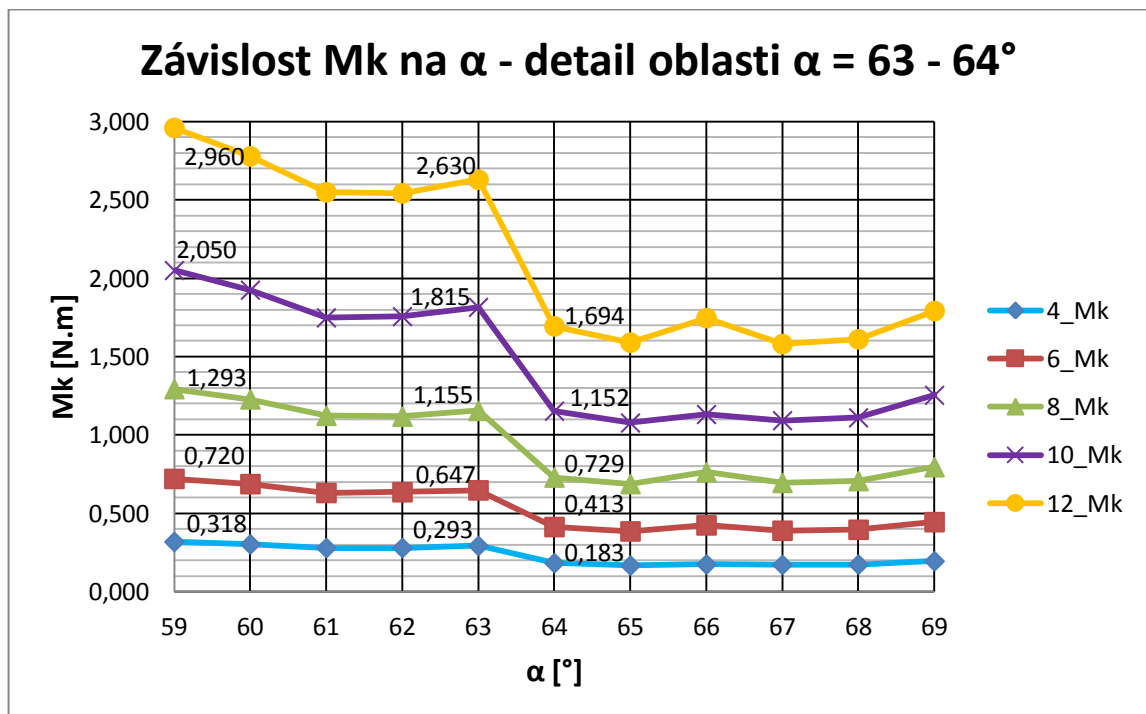
Obr. 71. Trajektorie proudnic na rotoru 12 pro $\alpha = 59^\circ$ - barevné měřítko rychlosti
Animace proudění vzduchu na rotoru 12 při $\alpha = 59^\circ$ je k dispozici na DVD 2.

10 SROVNÁNÍ ROTORŮ 4, 6, 8, 10 A 12

V této kapitole se nachází srovnání závislostí krouticích momentů M_{k360} , celkových výslednic F a úhlů jejich natočení φ , na úhlu natočení rotoru α , pro rotory 4, 6, 8, 10 a 12. Výpočty těchto hodnot jsou obsaženy v Přílohách 2, 5, 6, 7 a 8. Tabulky s výsledky analýzy jsou k dispozici na DVD 2.



Obr. 72. Srovnání závislosti M_k na α pro rotory 4, 6, 8, 10 a 12

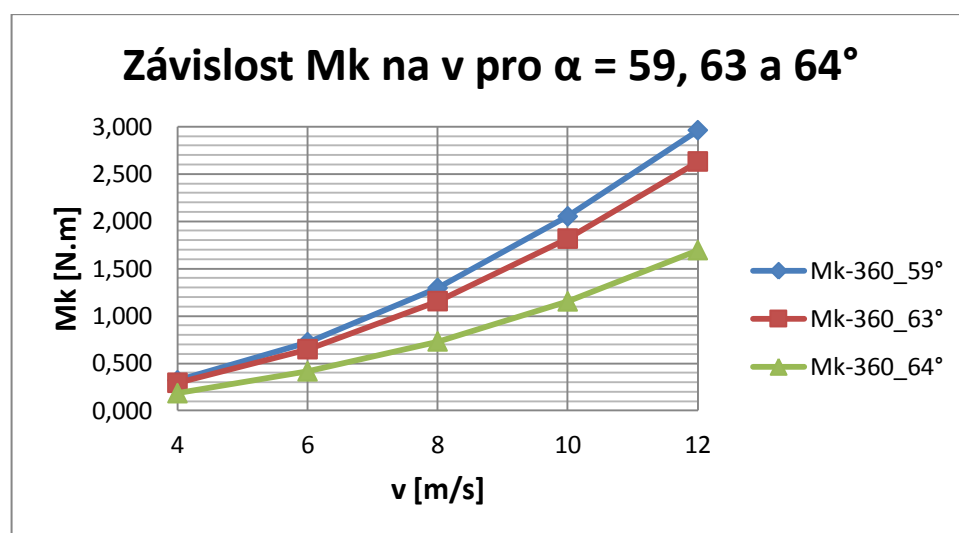


Obr. 73. Srovnání závislosti M_k na α pro rotory 4, 6, 8, 10 a 12 – detail $\alpha = 63 - 64^\circ$

Na Obr. 72 lze vidět, že velikost krouticího momentu M_k roste spolu se zvyšující se rychlostí proudění vzduchu. Je zde také dobře vidět oblast, kdy dochází k velké skokové změně ve velikosti krouticího momentu. Jedná se o již dříve zmíněný úsek natočení $\alpha = 63 - 64^\circ$, který je podrobně popsán pro rotor 6 v kapitole 8.4. Při této změně natočení došlo ke skokové změně v krouticím momentu u všech rotorů, tedy u všech rychlostí proudícího vzduchu. Zároveň je z obrázku patrné, že čím vyšší rychlost vzduchu na rotor působí, tím je i větší skoková změna při přechodu přes natočení rotoru $\alpha = 63 - 64^\circ$ (viz Obr. 73). Rotor je tedy při vyšších rychlostech proudícího vzduchu více cyklicky zatěžován. Popisky s příslušnými hodnotami M_k jsou na Obr. 73 přidány pro natočení $\alpha = 59^\circ$, při kterém byly naměřeny největší hodnoty krouticích momentů u všech rotorů, a dále potom pro úsek $\alpha = 63 - 64^\circ$, kde docházelo k výrazné skokové změně v krouticím momentu.

Tab. 8. Hodnoty M_k pro rotor 4, 6, 8, 10 a 12 při natočení $\alpha = 59, 63$ a 64°

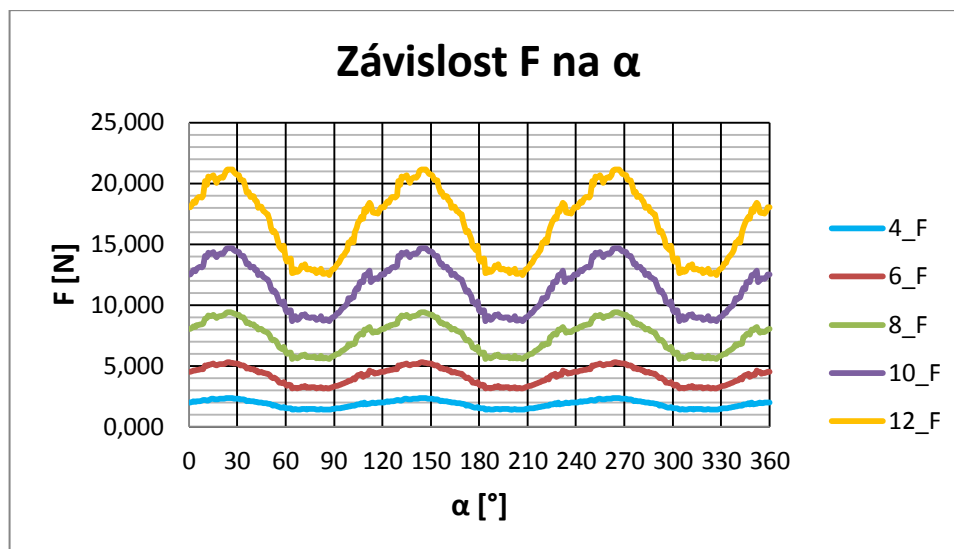
	Rotor 4 (4 m/s)	Rotor 6 (6 m/s)	Rotor 8 (8 m/s)	Rotor 10 (10 m/s)	Rotor 12 (12 m/s)
	M_{k360} [N.m]	M_{k360} [N.m]	M_{k360} [N.m]	M_{k360} [N.m]	M_{k360} [N.m]
α [°]/v [m/s]	4	6	8	10	12
59	0,318	0,720	1,293	2,050	2,960
63	0,293	0,647	1,155	1,815	2,630
64	0,183	0,413	0,729	1,152	1,694



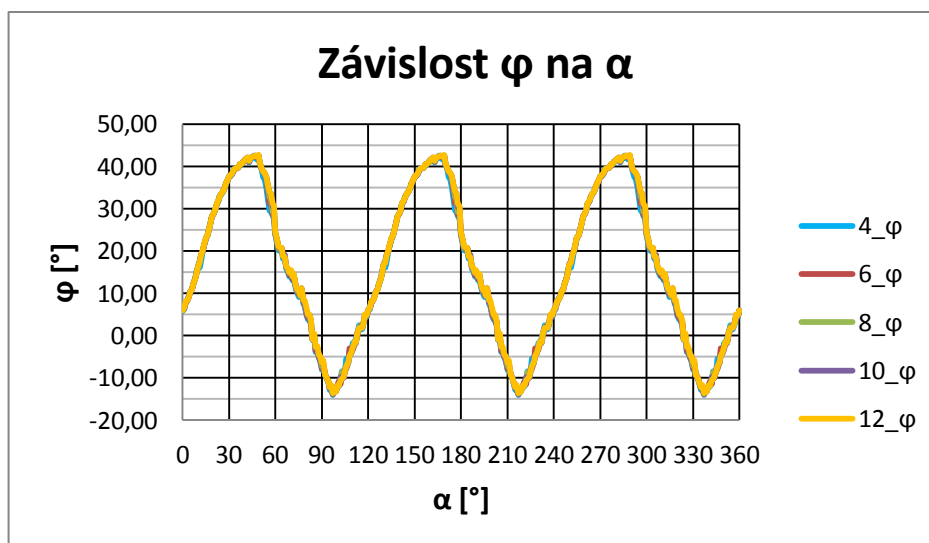
Obr. 74. Průběh závislosti M_k na rychl. vzduchu „v“ pro $\alpha = 59, 63$ a 64°

Z průběhu na Obr. 74 a hodnot v Tab. 8 lze vyčíst, že se zvyšující se rychlostí proudění vzduchu se nejenom zvyšuje krouticí moment M_k , ale současně s ním se také zvyšují rozdíly ve velikosti krouticího momentu mezi jednotlivými rychlostmi zatížení. Pro natočení

rotoru $\alpha = 59^\circ$ jsou tyto rozdíly největší a průběh M_k na Obr. 74 je nejstrmější. Velikost krouticího momentu narůstá mezi rychlostmi $v = 4 \text{ m/s}$ a 6 m/s o hodnotu $0,402 \text{ N.m}$, mezi rychlostmi $v = 6 \text{ m/s}$ a 8 m/s o hodnotu $0,573 \text{ N.m}$, dále pak o hodnotu $0,757 \text{ N.m}$ a nakonec až o hodnotu $0,91 \text{ N.m}$.



Obr. 75. Srovnání závislosti celkové výsl. F na α pro rotory 4, 6, 8, 10 a 12



Obr. 76. Srovnání závislosti úhlu natoč. výsl. φ na α pro rotory 4, 6, 8, 10 a 12

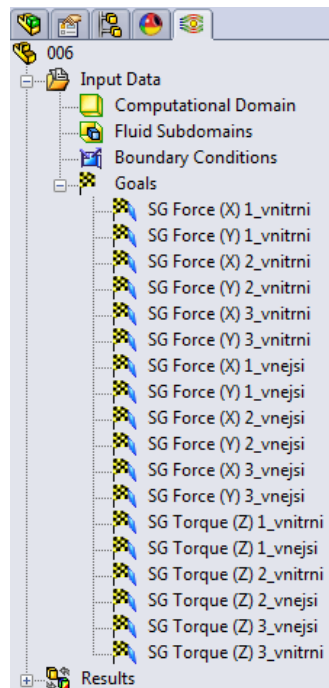
Z průběhů na Obr. 75 lze vyčíst, že čím vyšší rychlost vzduchu na lopatky rotoru působí, tím je i větší jeho namáhání. Největší velikost výslednice F působí na všechny rotory v intervalu natočení $\alpha = 25 - 26^\circ$ při úhlu natočení výslednice přibližně $\varphi = 33 - 34^\circ$ (viz Obr. 76). Z Obr. 76 je patrné, že rychlost proudění vzduchu nemá téměř žádný vliv na úhel natočení φ výslednice F . Jednotlivé průběhy se navzájem překrývají a odchylky se pohybují převážně v řádech desetin stupně.

11 VYHODNOCENÍ SILOVÝCH POMĚRŮ NA JEDNOTLIVÝCH PLOCHÁCH LOPATEK ROTORU 6

Zatímco předchozí kapitoly praktické části se zabývaly silami, které vznikají na jednotlivých lopatkách rotoru účinkem různých rychlostí proudícího vzduchu, tato kapitola se zaměřuje na síly, které vznikají na jednotlivých plochách lopatek (vnitřních a vnějších). Výsledná podoba rozvinuté položky „Goals“ (stejná pro všechny rychlosti proudění vzduchu) je zobrazena na Obr. 77. V Tab. 9 se poté nachází názvy těchto cílů výpočtu tak, jak byly pro zjednodušení upraveny při vyhodnocování výsledků. Indexy 1, 2 a 3 jsou stejně jako v předchozí části práce označeními pro jednotlivé lopatky rotoru. Index „vni“ označuje vnitřní plochu lopatky, index „vne“ pak vnější plochu lopatky. Úhel natočení síly $\varphi_{1,2,3-vni,vne}$ je brán jako kladný ve směru kladné osy y a záporný ve směru záporné osy y (dle kapitoly 8.1).

Cíl této kapitoly vychází z předpokladu, že se budou jednotlivé lopatky rotoru vyrábět jako sendvičové struktury. Při takovéto konstrukci lopatek by mohlo při určitém natočení rotoru dojít k „trhání“ lopatek od sebe, což by se muselo při samotné konstrukci zohlednit. Cílem je tedy vyhodnotit interval natočení, ve kterém dochází k tomuto nežádoucímu efektu.

Na Obr. 78 je zobrazen srovnávací graf závislosti krouticího momentu na úhlu natočení rotoru. Modrou barvou je zobrazený průběh momentu $M_{k_{120}}$, jehož velikost je dána součtem momentů od jednotlivých lopatek rotoru ($M_{k_1} + M_{k_2} + M_{k_3}$). Červenou barvou je zobrazen průběh momentu $M_{k_{celk.}}$, který byl získán součtem momentů na jednotlivých plochách lopatek rotoru (vnitřních a vnějších), tzn. součtem šesti krouticích momentů (viz Tab. 9).



Obr. 77. Cíle výpočtu

Tab. 9. Vysvětlivky pro výsledky z jednotl. ploch lopatek

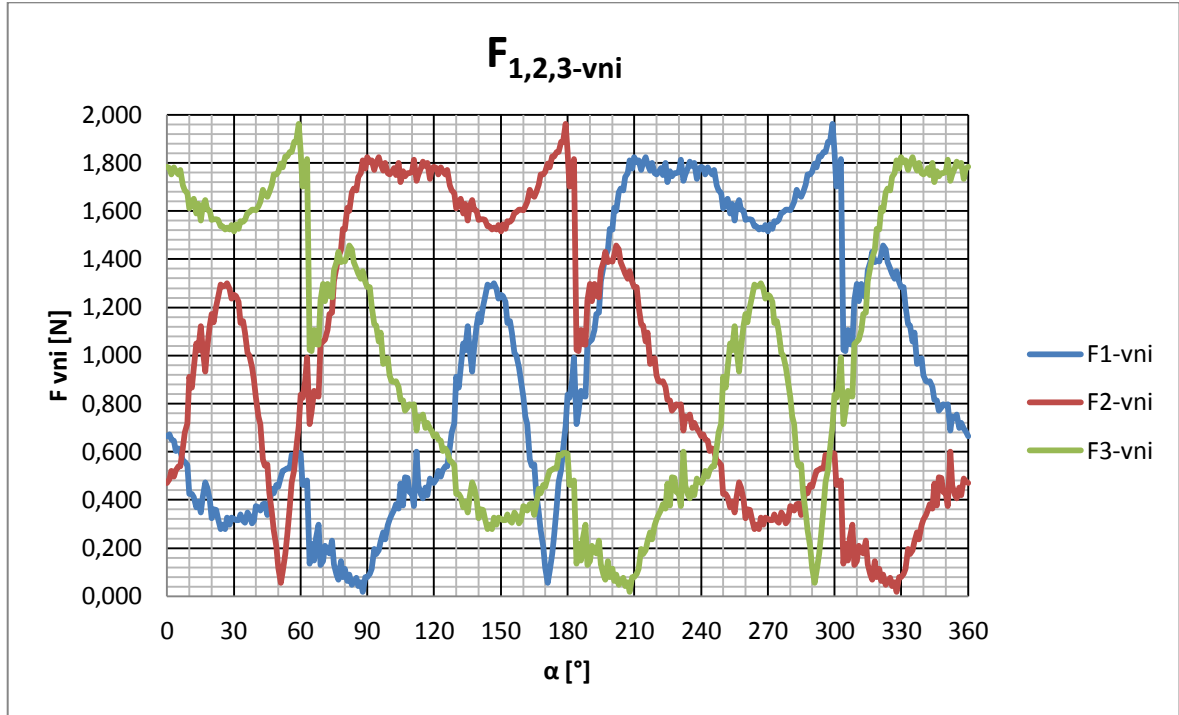
Goals (v textu)	Goals (cíle zadané v analýze)
F_{X1-vni}	SG Force (X) 1_vnitřni
F_{Y1-vni}	SG Force (Y) 1_vnitřni
F_{X2-vni}	SG Force (X) 2_vnitřni
F_{Y2-vni}	SG Force (Y) 2_vnitřni
F_{X3-vni}	SG Force (X) 3_vnitřni
F_{Y3-vni}	SG Force (Y) 3_vnitřni
F_{X1-vne}	SG Force (X) 1_vnější
F_{Y1-vne}	SG Force (Y) 1_vnější
F_{X2-vne}	SG Force (X) 2_vnější
F_{Y2-vne}	SG Force (Y) 2_vnější
F_{X3-vne}	SG Force (X) 3_vnější
F_{Y3-vne}	SG Force (Y) 3_vnější
M_{k1-vni}	SG Torque (Z) 1_vnitřni
M_{k1-vne}	SG Torque (Z) 1_vnější
M_{k2-vni}	SG Torque (Z) 2_vnitřni
M_{k2-vne}	SG Torque (Z) 2_vnější
M_{k3-vni}	SG Torque (Z) 3_vnitřni
M_{k3-vne}	SG Torque (Z) 3_vnější



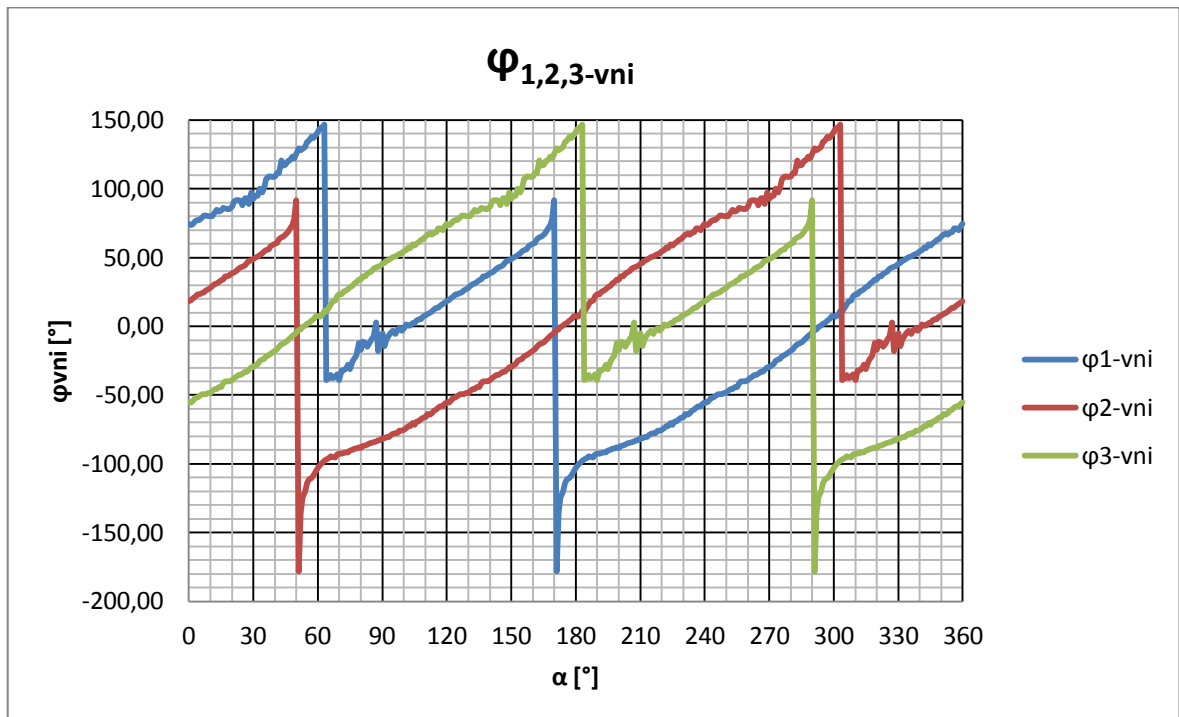
Obr. 78. Srovnání M_{k120} a $M_{kcelk.}$ v závislosti na úhlu natočení rotoru α

Na Obr. 78 můžeme vidět, že průběhy obou krouticích momentů se od sebe výrazně neliší. Maximální naměřená odchylka mezi oběma průběhy je 0,057 N.m, průměrná odchylka 0,003 N.m, což je hodnota zanedbatelná, která by se při zvýšení přesnosti výpočtu ze současného stupně 4 minimalizovala.

Na Obr. 79 je zobrazen průběh výsledných sil na vnitřních plochách všech lopatek v závislosti na úhlu natočení rotoru α . Na Obr. 80 je pak znázorněn graf závislosti úhlu natočení těchto výslednic na úhlu natočení rotoru α .

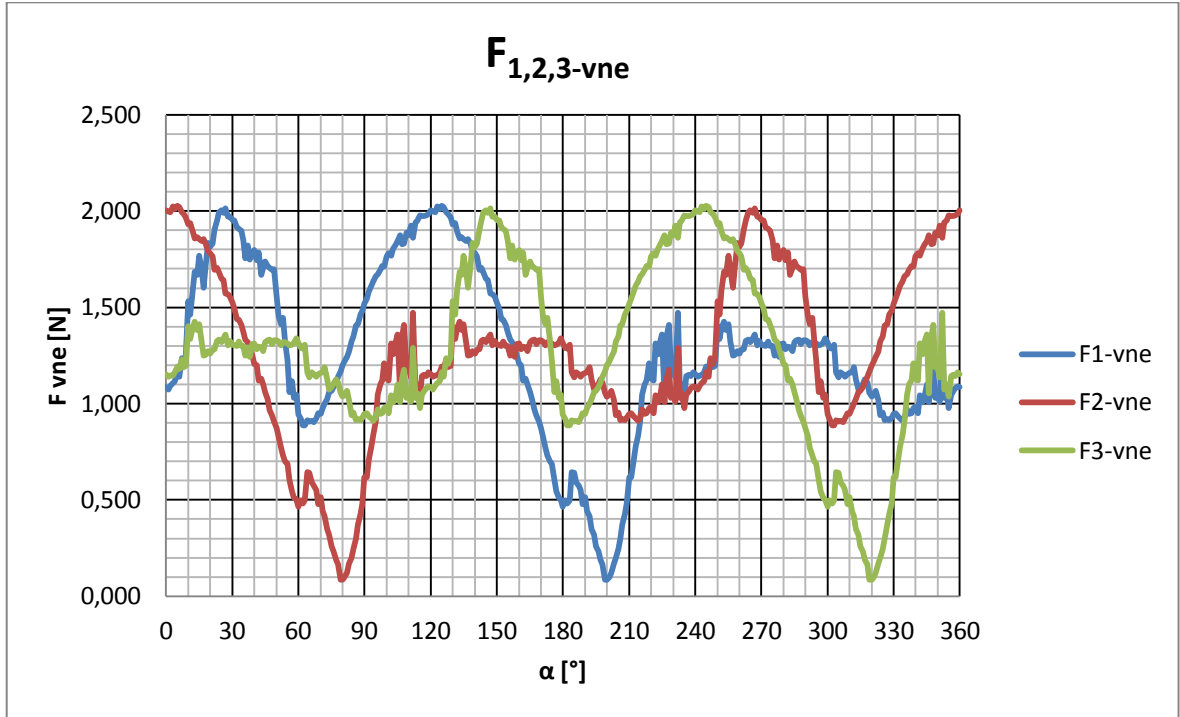


Obr. 79. Závislost velikosti výslednice F od vnitřních ploch lopatek 1, 2, 3 na α

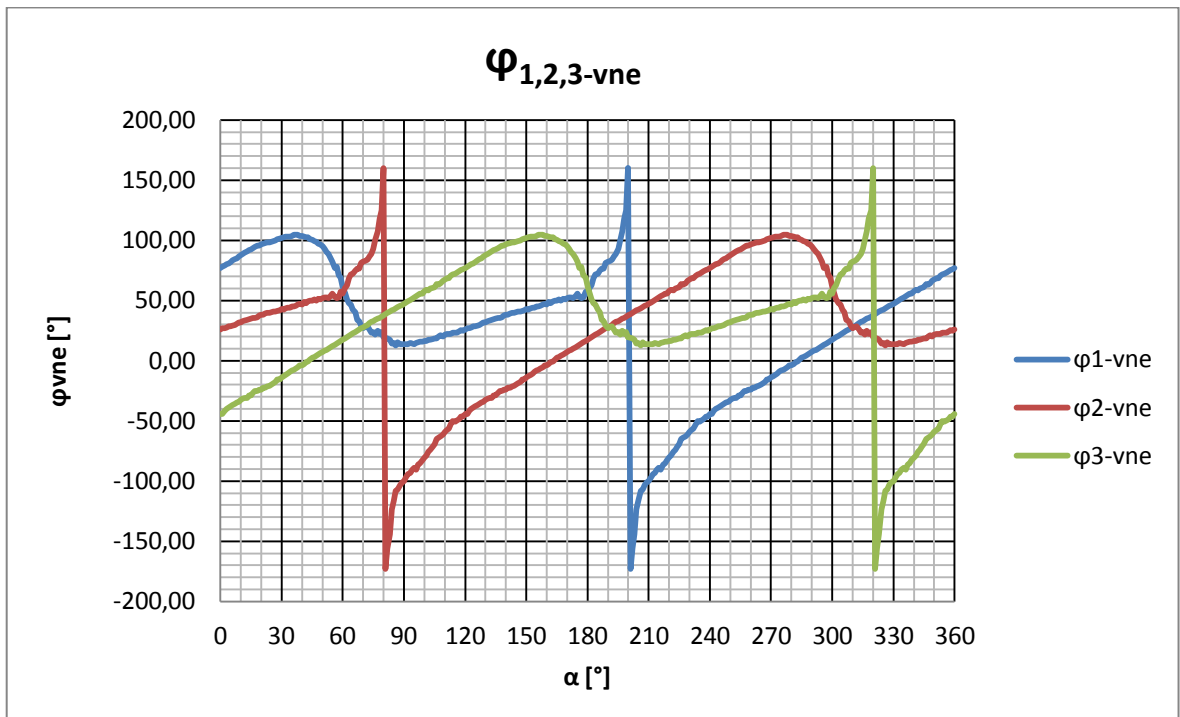


Obr. 80. Závislost úhlu natočení $\varphi_{1,2,3-vni}$ výslednice $F_{1,2,3-vni}$ na α

Na Obr. 81 je zobrazen průběh výsledných sil na vnějších plochách všech lopatek v závislosti na úhlu natočení rotoru α . Na Obr. 82 je pak znázorněn graf závislosti úhlu natočení těchto výslednic na úhlu natočení rotoru α .



Obr. 81. Závislost velikosti výslednice F od vnějších ploch lopatek 1, 2, 3 na α



Obr. 82. Závislost úhlu natočení $\varphi_{1,2,3-vne}$ výslednice $F_{1,2,3-vne}$ na α

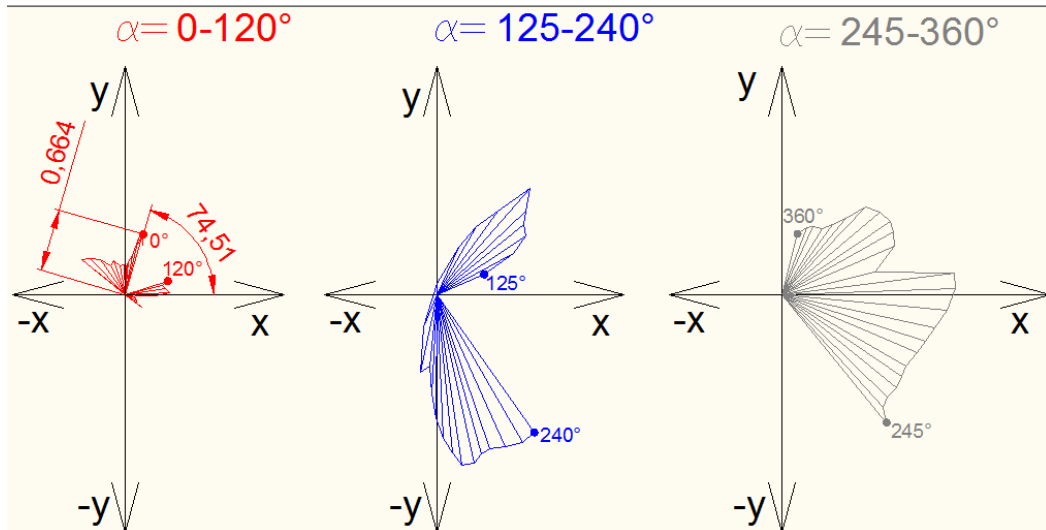
V kapitole 8.4 bylo vyhodnoceno, že k největší ztrátě v krouticím momentu M_{k360} dochází při změně natočení rotoru z $\alpha = 63^\circ$ na $\alpha = 64^\circ$. Dále bylo zjištěno, že tato ztráta je způsobena změnou orientace a velikosti působících sil na všech lopatkách rotoru. Z hodnot uvedených v Tab. 10 lze vyvodit, že tuto změnu v krouticím momentu způsobuje snížení velikosti síly, která působí na vnitřní plochu lopatky 1 (F_{1-vni} se sníží o hodnotu 0,346 N) a její přeorientování se z úhlu natočení $\varphi_{1-vni} = 146,78^\circ$ na $\varphi_{1-vni} = -39,15^\circ$. Dále je tento pokles v M_{k360} způsoben snížením velikosti síly F_{2-vni} (síla se sníží o 0,227 N) a také snížením síly F_{3-vni} o hodnotu 0,792 N. Orientace vnitřních sil na lopatkách 2 a 3 se téměř nemění (viz Obr. 79 a 80). Velikost sil a jejich orientace na vnějších plochách lopatek (viz Tab. 10) pravděpodobně příliš neovlivňuje výslednou sílu, která na jednotlivých lopatkách působí (průběhy sil na vnějších plochách a jejich orientace jsou vykresleny na Obr. 81 a 82).

Tab. 10. Výslednice $F_{1,2,3-vni,vne}$ a jejich orientace $\varphi_{1,2,3-vni,vne}$ pro $\alpha = 63 - 64^\circ$

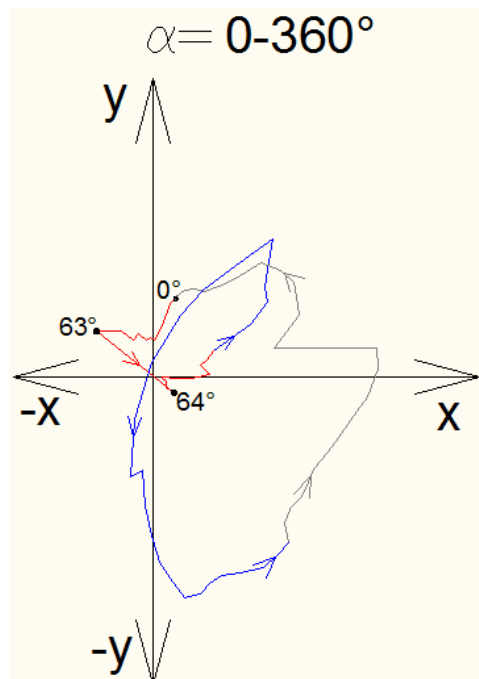
α	F_{1-vni}	F_{2-vni}	F_{3-vni}	φ_{1-vni}	φ_{2-vni}	φ_{3-vni}	F_{1-vne}	F_{2-vne}	F_{3-vne}	φ_{1-vne}	φ_{2-vne}	φ_{3-vne}
[°]	[N]	[N]	[N]	[°]	[°]	[°]	[N]	[N]	[N]	[°]	[°]	[°]
63	0,480	0,991	1,816	146,78	-97,84	11,10	0,885	0,497	1,306	47,70	68,63	20,64
64	0,134	0,714	1,024	-39,15	-96,97	10,55	0,914	0,644	1,163	46,83	71,78	21,65

Pro lepší představu o velikosti a orientaci působících sil na vnitřních a vnějších plochách lopatek byla v následující části práce sestrojena vektorová obálka pro sílu F_{vni} a F_{vne} , které působí na vnitřní a vnější ploše lopatky 1 (viz Obr. 83 až 88). Vektorové obálky pro tyto síly jsou k dispozici rovněž na DVD 2.

Na Obr. 83 jsou zobrazeny vektorové obálky pro vnitřní sílu F_{vni} působící na lopatce 1 při natočení rotoru $\alpha = 0 - 120^\circ$, $125 - 240^\circ$ a $245 - 360^\circ$. Na Obr. 84 je pak zobrazena výsledná vektorová obálka vnitřní síly působící na lopatce 1 během jedné otáčky rotoru o 360° (velikost výslednice a její orientace jsou vynášeny po 5° natočení rotoru). Na těchto obrázcích si lze všimnout změny v orientaci síly při změně natočení rotoru z 63° na 64° , která způsobuje již zmiňovaný pokles v celkovém krouticím momentu M_{k360} .

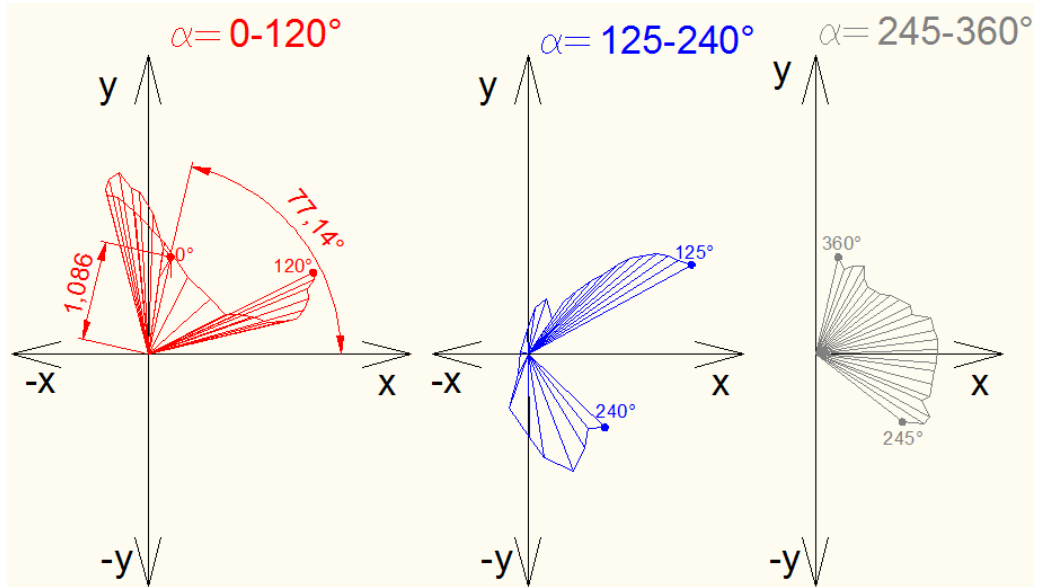


Obr. 83. Vektorová obálka pro vnitř. sílu na lop. 1 dělená na jedn. intervaly α

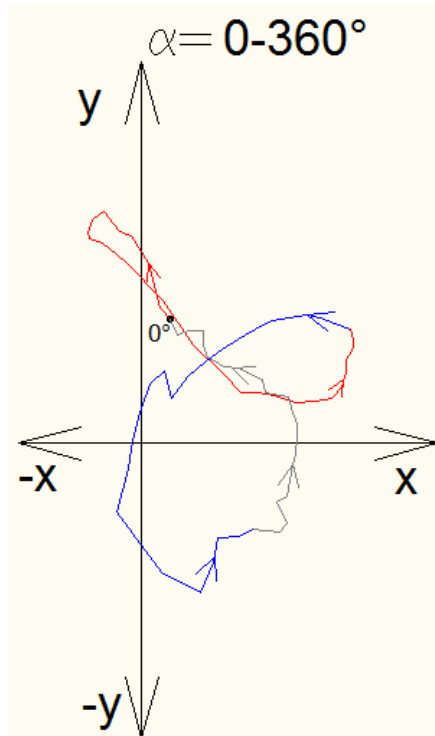


Obr. 84. Výsl. vektorová obálka pro vnitřní sílu na lop. 1 během jedné otáčky

Na Obr. 85 jsou zobrazeny vektorové obálky pro vnější sílu F_{vne} působící na lopatce 1 při natočení rotoru $\alpha = 0 - 120^\circ$, $125 - 240^\circ$ a $245 - 360^\circ$. Na Obr. 86 je pak zobrazena výsledná vektorová obálka pro vnější sílu působící na lopatce 1 během jedné otáčky rotoru o 360° (velikost výslednice a její orientace jsou znovu vynášeny po 5° natočení rotoru).

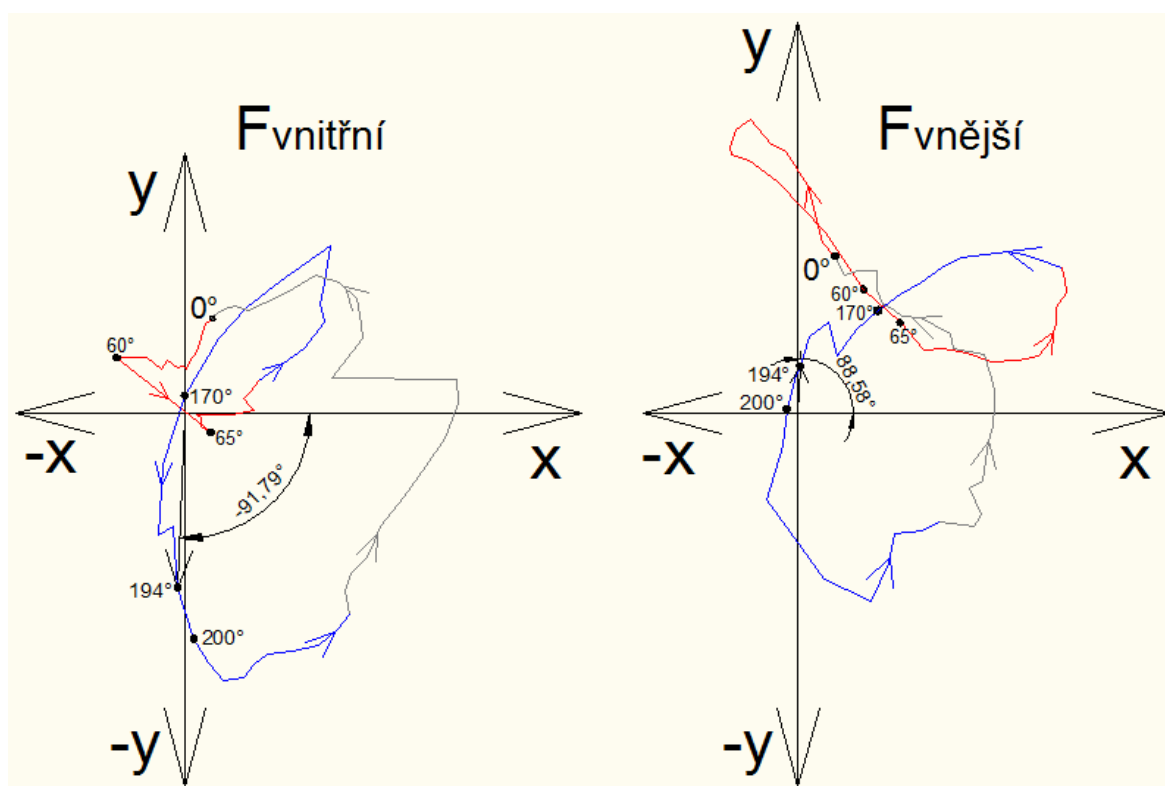


Obr. 85. Vektorová obálka pro vnější sílu na lop. 1 dělená na jedn. intervaly α



Obr. 86. Výsl. vektorová obálka pro vnější sílu na lop. 1 během jedné otáčky

Na Obr. 87 je zobrazeno srovnání vektorových obálek pro výslednice F_{vni} a F_{vne} působící na vnitřní a vnější ploše lopatky 1.



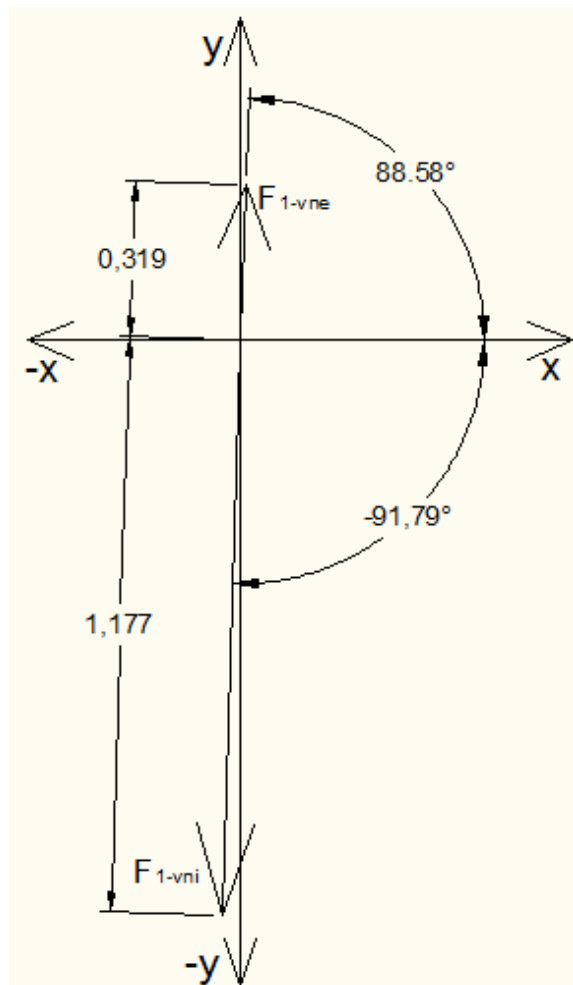
Obr. 87. Srovnání výsl. vektorových obálek pro vnitřní a vnější sílu na lop. 1

V této kapitole bylo hlavní cílem zjistit, při jakém natočení rotoru bude pravděpodobně docházet k největšímu „odtrhávání“ vnitřní a vnější plochy lopatky 1 od sebe. K maximálnímu odtrhávání by docházelo logicky v případě, pokud by síly F_{1-vni} a F_{1-vne} byly kolmé na plochu lopatky a působily by v navzájem opačném směru, tzn., byly by vůči sobě pootočený o úhel 180° . V Tab. 11 jsou zobrazeny výslednice $F_{1-vni,vne}$ a jejich orientace $\varphi_{1-vni,vne}$ pro natočení rotoru, při kterém dochází pravděpodobně k největšímu odtrhávání vnitřní a vnější plochy lopatky 1. Jedná se o natočení rotoru $\alpha = 194^\circ$, kdy je síla F_{1-vni} orientována pod úhlem $\varphi_{1-vni} = -91,79$ a její velikost je $F_{1-vni} = 1,177$ N a síla F_{1-vne} je orientována pod úhlem $\varphi_{1-vne} = 88,58^\circ$ a její velikost je $F_{1-vne} = 0,319$ N. Při natočení rotoru $\alpha = 194^\circ$ jsou tedy síly F_{vni} a F_{vne} vůči sobě natočeny o úhel $179,63^\circ$. Tento nežádoucí efekt odtrhávání vnitřní a vnější plochy lopatky 1 od sebe se dá očekávat na celém intervalu natočení rotoru $\alpha = 172 - 197^\circ$, kde se úhel vzájemného natočení výslednic $F_{1-vni,vne}$ pohybuje v rozsahu $158,68 - 179,63^\circ$.

Výsledky a výpočty z analýzy vnitřních a vnějších ploch na rotoru 6 jsou k dispozici v Příloze 3 a 4.

Tab. 11. Natoč. rotoru s největším odtrháváním vnitřní a vnější plochy lop. 1 od sebe

α	F_{1-vni}	φ_{1-vni}	F_{1-vne}	φ_{1-vne}
[°]	[N]	[°]	[N]	[°]
194	1,177	-91,79	0,319	88,58



Obr. 88. Výslednice $F_{1-vni,vne}$ a jejich orientace při natočení rotoru 194°

ZÁVĚR

V praktické části diplomové práce byla prováděna simulace zátěže průtažného rotoru proudícím vzduchem o různých rychlostech za cílem vyhodnocení silových poměrů na rotoru během jedné otáčky. Z průběhu krouticího momentu M_k na rotoru zatíženém rychlostí vzduchu 6 m/s (rotor 6) vyšlo najevo, že při změně natočení rotoru z 63° na 64° dojde k poměrně velkému poklesu M_k o hodnotu 0,234 N.m. Další kapitola se zabývala právě touto skokovou změnou a jejími důsledky na chování rotoru.

Pro objasnění příčiny tohoto poklesu v M_k , se musely provést ještě další výpočty, a to výpočet sil $F_{1,2,3-360}$, F_x , F_y a výslednice F , včetně úhlu natočení φ . Z průběhů těchto sil vyšlo najevo, že pokles v M_k je dán především snížením výsledné síly F_x o hodnotu 0,293 N. Z vektorové obálky výslednice F se dále zjistilo, že výslednice F je orientována po dobu jedné otáčky ze $\frac{3}{4}$ ve směru kladné osy y a x , přičemž její max. úhel natočení je $\varphi = 42,45^\circ$ a min. úhel $\varphi = -13,85^\circ$. Z toho lze usoudit, že rotor je v rozsahu jedné otáčky nerovnoměrně zatěžován. Dále byly podrobně popsány jevy, které se na rotoru zatíženém rychlostí vzduchu 6 m/s dějí při jeho natočení $63 - 64^\circ$. Bylo zjištěno, že pokles v M_k je způsoben změnou proudění vzduchu především na vnitřních plochách lopatek a z toho vyplývající změny ve velikosti působících sil $F_{1,2,3-360}$ a jejich orientace. Také bylo zjištěno, že největšího M_k dosahuje rotor 6 při natočení $\alpha = 59^\circ$ a jeho hodnota je $M_{k360} = 0,72$ N.m.

Při srovnání rotoru 6 s rotorem zatíženým rychlostí vzduchu 12 m/s (rotorem 12) bylo vyhodnoceno, že největšího M_k dosahuje rotor 12 při natočení $\alpha = 59^\circ$ a jeho hodnota je $M_{k360} = 2,96$ N.m. Největšího M_k se tedy dosáhne jak u rotoru 6, tak i u rotoru 12, při stejném natočení $\alpha = 59^\circ$, přičemž velikost M_k od rotoru 12 je v místě největšího M_k větší o hodnotu 2,24 N.m (téměř 4x vyšší než u rotoru 6). Průměrně je potom v celém rozsahu otáčky vyšší o hodnotu 1,39 N.m. Při srovnávání těchto rotorů byl dále vyhodnocen vliv rychlosti proudění vzduchu na velikost skokové změny v průběhu M_k . Zatímco u rotoru 6 došlo při změně natočení z 63° na 64° ke snížení M_k o hodnotu 0,234 N.m, u rotoru 12 už se jedná o rozdíl 0,936 N.m. Skoková změna je tedy přesně 4x větší a rotor 12 je tak v tomto intervalu natočení mnohem více rázově zatěžován než rotor 6. Z těchto výsledků je patrné, že s rostoucí rychlostí proudění vzduchu se zvyšuje i velikost působících sil na jednotlivých lopatkách a tím i velikost výslednice F , ale téměř se nemění orientace těchto sil. Orientace výslednice F na rotoru 6 se průměrně odchyluje od orientace výslednice F na rotoru 12 o hodnotu $\varphi = 0,4^\circ$.

Jedna kapitola praktické části se zabývala také srovnáním všech rotorů. Z výsledků vyšlo najevo, že se zvyšující se rychlostí proudění vzduchu se nejenom že zvyšuje M_k , ale současně s ním se také zvyšují rozdíly ve velikosti M_k mezi jednotlivými rychlostmi zatížení. Pro $\alpha = 59^\circ$ (natočení rotoru s nejvyšším M_k) jsou tyto rozdíly největší a průběh M_k je tak nejstrmější. Dalším výstupem této kapitoly je konstatování, že čím vyšší rychlost vzduchu na lopatky rotoru působí, tím je i větší jeho namáhání. Jedná se především o intervaly natočení, kde dochází ke skokové změně v M_k , která by mohla při provozu rotoru v praxi způsobovat velká rázová zatížení při přenosu sil z lopatek na ložiska. Největší velikost výslednice F působí na všechny rotory v intervalu natočení $\alpha = 25 - 26^\circ$, při úhlu natočení výslednice přibližně $\varphi = 33 - 34^\circ$.

Poslední kapitola praktické části se zabývala krouticími momenty a silami, které vznikají na vnitřních a vnějších plochách lopatky 1. Bylo zjištěno, že k největšímu odtrhávání vnitřní a vnější plochy od sebe dochází při natočení rotoru $\alpha = 194^\circ$, kdy je síla F_{1-vni} orientována pod úhlem $\varphi_{1-vni} = -91,79^\circ$ a její velikost je 1,177 N a síla F_{1-vne} je orientována pod úhlem $\varphi_{1-vne} = 88,58^\circ$ a její velikost je 0,319 N. Při natočení rotoru $\alpha = 194^\circ$ jsou tedy tyto síly vůči sobě natočeny o úhel $\varphi = 179,63^\circ$. Tento nežádoucí efekt odtrhávání vnitřní a vnější plochy lop. 1 od sebe se dá očekávat na celém intervalu natočení rotoru $172 - 197^\circ$, kde se úhel vzájemného natočení výslednic $F_{1-vni,vne}$ pohybuje v rozsahu $158,68 - 179,63^\circ$.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SCHULZ, Heinz. Savoniův rotor : Návod na stavbu. Ostrava-Plesná : HEL, 2005. 77 s. ISBN 80-86167-26-7
- [2] KULÍNSKÝ A KOL., Kulínský, et al. Mechanika v příkladech. Praha : SNTL, Práce, 1971. 376 s.
- [3] DASSAULT SYSTÈMES SOLIDWORKS CORP. Flow Simulation 2012: technical reference.
- [4] SCHAUER, Pavel. Doplnkové texty BB01: hydrodynamika [online]. Brno, 2006, 6 s. [cit. 2013-02-20]. Interní materiál FAST VUT v Brně. Dostupné z: http://fyzika.fce.vutbr.cz/doc/vyuka_schauer/hydrodynamika.pdf
- [5] Obnovitelné zdroje: Energie větru. PRAŽSKÁ ENERGETIKA, a.s. [online]. 2008 [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: <http://www.energeticky poradce.cz/cs/uspory-energie/obnovitelne-zdroje/energie-vetru/>
- [6] Obnovitelné zdroje energie: Energie větru. EKOWATT. EkoWATT: Centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie [online]. 2011 [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-vetru>
- [7] Energie: Větrná energie. SCHUHOVÁ, Tereza. Nazeleno.cz [online]. 2009, 19. 10. 2009 [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/vetrna-energie/nejvetsi-vetrna-farma-roscoe-o-vykonu-781-5-mw-stoji-v-usa.aspx>
- [8] Middelgrunden, Denmark. Power-technology.com [online]. 2012 [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: <http://www.powertechnology.com/projects/middelgrunden/middelgrunden16.html>
- [9] ŠKORPÍK, Jiří. Využití energie větru, Transformační technologie, 2006-10, [date of last update 2012-10]. Brno: Jiří Škorpík, [online] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <http://www.transformacni-technologie.cz/vyuziti-energie-vetru.html>.
- [10] CAXMIX: Počítačové technologie v průmyslu. Ing. Jan Homola. Praha 10: Springwinter, s. r. o., 2011, roč. 2011, č. 4.
- [11] Savoniova turbína. In: Wikipedie: Otevřená encyklopedie [online]. 10. 2. 2012 [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Savoniova_turbina

- [12] HORNÍČEK, Dominik. Vliv úhlu náběžné hrany lopatek na účinnost průtažného rotoru. Zlín, 2011. Dostupné z: http://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/17323/hornicek_2011_bp.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. UTB FT ÚVI. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Maloch, CSc.
- [13] PROCHÁZKA, Adam. Vliv zaoblení náběžné hrany lopatky na účinnost průtažného rotoru. Zlín, 2011. Dostupné z: http://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/17920/prochazka_2011_bp.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. UTB FT ÚVI. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Maloch, CSc.
- [14] Novinky. DS SolidWorks [online]. 2011. vyd. [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: <http://www.solidworks.cz/novinky-a-udalosti/novinky/solidworks-2012-prinasi-reseni-pro-navrhovani-kte-a2049245>
- [15] Vítr. In: Wikipedie: Otevřená encyklopedie [online]. 24. 9. 2012 [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Vítr>
- [16] Větrné elektrárny ve světě. ČSVE: Česká společnost pro větrnou energii [online]. ČSVE. Praha 1, 2012 [cit. 2013-05-4]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/cz/clanky/vetrne-elektrarny-ve-svete/283>. Zdroj statistických údajů: GWEC.
- [17] Větrné elektrárny v Evropě. ČSVE: Česká společnost pro větrnou energii [online]. ČSVE. Praha 1, 2012 [cit. 2013-05-4]. Zdroj statistických údajů: EWEA. Dostupné z: <http://www.csve.cz/clanky/vetrne-elektrarny-v-evrope/282>. Zdroj statistických údajů: EWEA.
- [18] Vznik vztlaku. In: ČSVE: Česká společnost pro větrnou energii [online]. ČSVE. Praha 1, 2012 [cit. 2013-02-20]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/cz/clanky/vznik-vztlaku/307>
- [19] DEJČ, M. E. Technická dynamika plynů. 1. vyd. Josef MALICKÝ. Miloslav VLK. Vlastimil ČIHÁK. Praha: SNTL, 1967, 660 s.
- [20] HORÁK, K. *Návrh řešení malého alternativního zdroje elektrické energie*. Brno, VUT-FSI., 2007, 48 s. Dostupné z: http://old.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor8280.pdf?id=248
- [21] Aerodynamika profilu. Malé větrné elektrárny [online]. [cit. 2013-02-20]. Dostupné z: <http://ve.mzf.cz/index.php?aerodynamika>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

v	[m/s]	Rychlost proudění tekutiny (vzduchu)
P	[W]	Výkon
U	[V]	Napětí
p	[Pa]	Tlak
F_y	[N]	Vztlaková složka
S	[m ²]	Plocha lopatky
ρ	[kg/m ³]	Hustota vzduchu
v_s	[m/s]	Rychlost skutečného proudu vzduchu
C_y	[-]	Součinitel vztlaku
C_x	[-]	Součinitel odporu
c_∞	[m/s]	Rychlost nerozrušeného proudu
P_x	[N]	Čelní odpor profilu
P_y	[N]	Vztlaková síla
p_s	[Pa]	Tlak na spodní kontrolní ploše
p_H	[Pa]	Tlak na horní kontrolní ploše
c'_s	[m/s]	Malý přírůstek rychlosti na spodní kontrolní ploše
c'_H	[m/s]	Malý přírůstek rychlosti na horní kontrolní ploše
Γ_{abcd}	[-]	Cirkulace rychlosti po uzavřené křivce
Q_m	[kg/s]	Hmotnostní průtok
Q_V	[m ³ /s]	Objemový průtok
t	[s]	Čas
w_r	[m/s]	Relativní rychlost proudění
w	[m/s]	Absolutní rychlost proudění
w_u	[m/s]	Unášecí rychlost

F_d	[N]	Síla proudu kapaliny na ustupující desku
h	[m]	Výška, ve které je rychlost proudění počítána
h_0	[m]	Výška, ve které je rychlost proudění známa
v_h	[m/s]	Rychlost proudění ve výšce „ h “
v_0	[m/s]	Rychlost proudění ve výšce „ h_0 “
p_k	[-]	Bezrozměrný koeficient (vyjadřuje vliv atmosférické turbulence)
l	[m]	Charakteristický rozměr
ν	[m ² /s]	Kinematická viskozita
η	[Pa.s]	Dynamická viskozita
Re	[-]	Reynoldsovo číslo
T	[°C]	Teplota
U_{inlet}	[m/s]	Rychlost vody při vstupu do potrubí
L_{inlet}	[m]	Vzdálenost od vstupu do potrubí
L_{pipe}	[m]	Délka potrubí
$u(y)$	[m/s]	Rychlostní profil
dP/dx	[Pa]	Tlakový gradient podél trubky
R	[m]	Rádus potrubí
μ	[Pa.s]	Dynamická viskozita
α	[°]	Úhel natočení rotoru
$Mk_{celk.}$	[N.m]	Celkový krouticí moment
F_{x1}	[N]	Síla do osy x pro lopatku 1
F_{y1}	[N]	Síla do osy y pro lopatku 1
Mk_1	[N.m]	Krouticí moment od lopatky 1
F_{x2}	[N]	Síla do osy x pro lopatku 2
F_{y2}	[N]	Síla do osy y pro lopatku 2

M_{k_2}	[N.m]	Krouticí moment od lopatky 2
F_{x_3}	[N]	Síla do osy x pro lopatku 3
F_{y_3}	[N]	Síla do osy y pro lopatku 3
M_{k_3}	[N.m]	Krouticí moment od lopatky 3
φ	[°]	Úhel natočení výslednice
F_{1-120}	[N]	Vypočtená výsledná síla na lopatce 1
F_{2-120}	[N]	Vypočtená výsledná síla na lopatce 2
F_{3-120}	[N]	Vypočtená výsledná síla na lopatce 3
$M_{k_{120}}$	[N.m]	Vypočtený krouticí moment (součet krouticích momentů od všech lopatek)
φ_{1-120}	[°]	Úhel natočení výsledné síly F_{1-120}
φ_{2-120}	[°]	Úhel natočení výsledné síly F_{2-120}
φ_{3-120}	[°]	Úhel natočení výsledné síly F_{3-120}
F_x	[N]	Součet složek v ose x ($F_{x_1} + F_{x_2} + F_{x_3}$)
F_y	[N]	Součet složek v ose y ($F_{y_1} + F_{y_2} + F_{y_3}$)
F	[N]	Celková velikost výslednice na rotoru
φ	[°]	Úhel natočení celkové výslednice na rotoru
$F_{x_{1-vni}}$	[N]	Síla do osy x pro vnitřní plochu lopatky 1
$F_{x_{2-vni}}$	[N]	Síla do osy x pro vnitřní plochu lopatky 2
$F_{x_{3-vni}}$	[N]	Síla do osy x pro vnitřní plochu lopatky 3
$F_{x_{1-vne}}$	[N]	Síla do osy x pro vnější plochu lopatky 1
$F_{x_{2-vne}}$	[N]	Síla do osy x pro vnější plochu lopatky 2
$F_{x_{3-vne}}$	[N]	Síla do osy x pro vnější plochu lopatky 3
$F_{y_{1-vni}}$	[N]	Síla do osy y pro vnitřní plochu lopatky 1
$F_{y_{2-vni}}$	[N]	Síla do osy y pro vnitřní plochu lopatky 2
$F_{y_{3-vni}}$	[N]	Síla do osy y pro vnitřní plochu lopatky 3
$F_{y_{1-vne}}$	[N]	Síla do osy y pro vnější plochu lopatky 1

F_{y2-vne} [N]	Síla do osy y pro vnější plochu lopatky 2
F_{y3-vne} [N]	Síla do osy y pro vnější plochu lopatky 3
M_{k1-vni} [N.m]	Krouticí moment na vnitřní ploše lopatky 1
M_{k1-vne} [N.m]	Krouticí moment na vnější ploše lopatky 1
M_{k2-vni} [N.m]	Krouticí moment na vnitřní ploše lopatky 2
M_{k2-vne} [N.m]	Krouticí moment na vnější ploše lopatky 2
M_{k3-vni} [N.m]	Krouticí moment na vnitřní ploše lopatky 3
M_{k3-vne} [N.m]	Krouticí moment na vnější ploše lopatky 3
F_{1-vni} [N]	Výsledná síla na vnitřní ploše lopatky 1
F_{2-vni} [N]	Výsledná síla na vnitřní ploše lopatky 2
F_{3-vni} [N]	Výsledná síla na vnitřní ploše lopatky 3
F_{1-vne} [N]	Výsledná síla na vnější ploše lopatky 1
F_{2-vne} [N]	Výsledná síla na vnější ploše lopatky 2
F_{3-vne} [N]	Výsledná síla na vnější ploše lopatky 3
φ_{1-vni} [°]	Úhel natočení výslednice na vnitřní ploše na lopatky 1
φ_{2-vni} [°]	Úhel natočení výslednice na vnitřní ploše na lopatky 2
φ_{3-vni} [°]	Úhel natočení výslednice na vnitřní ploše na lopatky 3
φ_{1-vne} [°]	Úhel natočení výslednice na vnější ploše na lopatky 1
φ_{2-vne} [°]	Úhel natočení výslednice na vnější ploše na lopatky 2
φ_{3-vne} [°]	Úhel natočení výslednice na vnější ploše na lopatky 3
F_{xvni} [N]	Součet sil v ose x pro vnitřní plochy lopatek ($F_{x1-vni}+F_{x2-vni}+F_{x3-vni}$)
F_{xvne} [N]	Součet sil v ose x pro vnější plochy lopatek ($F_{x1-vne}+F_{x2-vne}+F_{x3-vne}$)
F_{yvni} [N]	Součet sil v ose y pro vnitřní plochy lopatek ($F_{y1-vni}+F_{y2-vni}+F_{y3-vni}$)
F_{yvne} [N]	Součet sil v ose y pro vnější plochy lopatek ($F_{y1-vne}+F_{y2-vne}+F_{y3-vne}$)
F_{vni} [N]	Celková výslednice působící na vnitřních plochách rotoru
F_{vne} [N]	Celková výslednice působící na vnějších plochách rotoru

φ_{vni}	[°]	Úhel natočení celkové výslednice působící na vnitřních plochách rotoru
φ_{vne}	[°]	Úhel natočení celkové výslednice působící na vnějších plochách rotoru
atm		1 atmosféra = 101 325 Pa
km		Kilometr
GW		Gigawatt
MW		Megawatt
kW		Kilowatt
dB		Decibel
kWh		Kilowatthodina
GWh		Gigawatthodina
VtE		Větrná elektrárna

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Anemometr [15]	12
Obr. 2. Průměrná sezónní rychlost větru na podzim v m/s [5]	13
Obr. 3. Větrná farma Middelgrunden [8]	14
Obr. 4. Instalovaný výkon VtE v ČR v letech 1990 až 2006 [6]	17
Obr. 5. Celkový instalovaný výkon ve světě v letech 1996 – 2012 [16].....	17
Obr. 6. Nově instalovaný výkon a celkový výkon VtE roce 2012 [16]	18
Obr. 7. Instalovaný výkon VtE v Evropě na konci roku 2012 [17]	19
Obr. 8. Instal. výkon VtE v EU (1995–2012) a podíl zemí na instal. výkonu [17]	20
Obr. 9. Podíly nově instal. zdrojů v EU v letech 1995 - 2012 (v MW a v %) [17]	20
Obr. 10. Srovnání evropského energetického mixu v roce 2000 a 2012 (v MW) [17].....	21
Obr. 11. Největší větrná farma Roscoe v USA [7]	22
Obr. 12. Proudění v zúžené trubici [18]	23
Obr. 13. Proudění vzduchu okolo tělesa [18]	23
Obr. 14. Vztlková síla [18].....	24
Obr. 15. Výslednice sil na profilu [18].....	25
Obr. 16. Působení F_y v závislosti na směru obtékání profilu [18]	25
Obr. 17. Profil lopatky [21]	26
Obr. 18. Závislost koeficientu vztlaku a odporu na úhlu náběhu [21]	26
Obr. 19. Teorém N. E. Žukovského [19].....	27
Obr. 20. Závislost výkonu P na unášecí rychlosti w_u [2]	30
Obr. 21. Savoniův rotor [11].....	32
Obr. 22. Savoniova tří-stupňová turbína [11]	32
Obr. 23. Vhodnost umístění rotoru [20]	34
Obr. 24. Konstrukce průtažného rotoru [13].....	35
Obr. 25. Schematický model potrubí [3]	39
Obr. 26. Model potrubí pro výpočet v SW Flow Simulation [3].....	39
Obr. 27. Tlakový spád podél trubky pro $Re_d = 100$ [3].....	41
Obr. 28. Rychlostní profil na výstupu z potrubí pro $Re_d = 100$ [3]	41
Obr. 29. Tlakový spád podél potrubí pro $Re_d = 10^5$ [3].....	42
Obr. 30. Rychlostní profil na konci potrubí pro $Re_d = 10^5$ [3].....	42
Obr. 31. Profil lopatky průtažného rotoru	44
Obr. 32. Sestava průtažného rotoru.....	44

Obr. 33. Oblast výpočtu.....	47
Obr. 34. Oblast výpočtu – využití symetrie	47
Obr. 35. Cíle výpočtu	48
Obr. 36. Vložení SG na jednu z lopatek.....	48
Obr. 37. Konfigurační tabulka	49
Obr. 38. Označení lopatek při natočení 0° (vlevo) a při natočení 119° (vpravo)	50
Obr. 39. Orientace výslednice sil $F_{1,2,3-120}$ a její složky (max. rozsah)	52
Obr. 40. Srovnání $M_{k_{celk.}}$ a $M_{k_{360}}$ od jednotlivých lopatek pro rotor 6.....	53
Obr. 41. Závislost $M_{k_{360}}$ a M_k od jednotlivých lopatek na α pro rotor 6	54
Obr. 42. Závislost krouticího momentu M_{k_1} na úhlu natočení rotoru α pro rotor 6	54
Obr. 43. Závislost krouticího momentu M_{k_2} na úhlu natočení rotoru α pro rotor 6	55
Obr. 44. Závislost krouticího momentu M_{k_3} na úhlu natočení rotoru α pro rotor 6	55
Obr. 45. Závislost $M_{k_{360}}$ na α - detail $\alpha = 59 - 69^\circ$ pro rotor 6.....	56
Obr. 46. Velikost a orientace výsl. síly F na rotoru 6 pro $\alpha = 0-39^\circ$, $40-79^\circ$ a $80-119^\circ$	58
Obr. 47. Výsl. vektorová obálka na rotoru 6 pro 1/3 otáčky	58
Obr. 48. Grafické znázornění celkové výslednice na rotoru	59
Obr. 49. Výsledné síly na jednotl. lopatkách rotoru 6 při natočení $\alpha = 63^\circ$ a 64°	59
Obr. 50. Závislost F_{1-360} , F_{2-360} , F_{3-360} na α pro rotor 6	60
Obr. 51. Závislost F_{1-360} , F_{2-360} a F_{3-360} na α pro rotor 6 - detail $\alpha = 63 - 64^\circ$	60
Obr. 52. Závislost složek F_x , F_y a celk. výslednice F na α pro rotor 6	61
Obr. 53. Závislost složek F_x , F_y a celk. výsl. F na α pro rotor 6 – detail $\alpha = 63 - 64^\circ$	61
Obr. 54. Závislost úhlů $\varphi_{1,2,3-360}$ a φ na α pro rotor 6.....	62
Obr. 55. Závislost úhlů $\varphi_{1,2,3-360}$ a φ na α pro rotor 6 – detail $\alpha = 63 - 64^\circ$	62
Obr. 56. Trajektorie proudnic na rotoru 6 pro $\alpha = 63^\circ$ - barevné měřítko rychlosti	65
Obr. 57. Trajektorie proudnic na rotoru 6 pro $\alpha = 64^\circ$ - barevné měřítko rychlosti.....	65
Obr. 58. Trajektorie proudnic na rotoru 6 pro $\alpha = 63^\circ$ - barevné měřítko tlaku.....	66
Obr. 59. Trajektorie proudnic na rotoru 6 pro $\alpha = 64^\circ$ - barevné měřítko tlaku.....	66
Obr. 60. Trajektorie proudnic na rotoru 6 pro $\alpha = 59^\circ$ - barevné měřítko rychlosti.....	67
Obr. 61. Trajektorie proudnic na rotoru 6 pro $\alpha = 9^\circ$ - barevné měřítko rychlosti.....	68
Obr. 62. Srovnání $M_{k_{celk.}}$ a $M_{k_{360}}$ od jednotlivých lopatek pro rotor 12.....	69
Obr. 63. Závislost $M_{k_{360}}$ a M_k od jednotlivých lopatek na α pro rotor 12.....	70
Obr. 64. Závislost $M_{k_{360}}$ na α - detail $\alpha = 59 - 69^\circ$ pro rotor 12.....	70
Obr. 65. Závislost složek F_x , F_y a celk. výslednice F na α pro rotor 12	71

Obr. 66. Závislost složek F_x , F_y a celk. výsl. F na α pro rotor 6 – detail $\alpha = 63 - 64^\circ$	71
Obr. 67. Srovnání závislosti M_k na α pro rotor 6 a 12	72
Obr. 68. Srovnání závislosti M_k na α pro rotor 6 a 12 – detail $\alpha = 59 - 69^\circ$	72
Obr. 69. Závislost úhlu natočení výslednice φ na α pro rotor 6 a 12	74
Obr. 70. Závislost velikosti výslednice F na α pro rotor 6 a 12	74
Obr. 71. Trajektorie proudnic na rotoru 12 pro $\alpha = 59^\circ$ - barevné měřítko rychlosti	75
Obr. 72. Srovnání závislosti M_k na α pro rotory 4, 6, 8, 10 a 12	76
Obr. 73. Srovnání závislosti M_k na α pro rotory 4, 6, 8, 10 a 12 – detail $\alpha = 63 - 64^\circ$	76
Obr. 74. Průběh závislosti M_k na rychl. vzduchu „v“ pro $\alpha = 59, 63$ a 64°	77
Obr. 75. Srovnání závislosti celkové výsl. F na α pro rotory 4, 6, 8, 10 a 12	78
Obr. 76. Srovnání závislosti úhlu natoč. výsl. φ na α pro rotory 4, 6, 8, 10 a 12	78
Obr. 77. Cíle výpočtu	80
Obr. 78. Srovnání M_{k120} a $M_{kcelk.}$ v závislosti na úhlu natočení rotoru α	81
Obr. 79. Závislost velikosti výslednice F od vnitřních ploch lopatek 1, 2, 3 na α	82
Obr. 80. Závislost úhlu natočení $\varphi_{1,2,3-vni}$ výslednice $F_{1,2,3-vni}$ na α	82
Obr. 81. Závislost velikosti výslednice F od vnějších ploch lopatek 1, 2, 3 na α	83
Obr. 82. Závislost úhlu natočení $\varphi_{1,2,3-vne}$ výslednice $F_{1,2,3-vne}$ na α	83
Obr. 83. Vektorová obálka pro vnitř. sílu na lop. 1 dělená na jedn. intervaly α	85
Obr. 84. Výsl. vektorová obálka pro vnitřní sílu na lop. 1 během jedné otáčky	85
Obr. 85. Vektorová obálka pro vnější sílu na lop. 1 dělená na jedn. intervaly α	86
Obr. 86. Výsl. vektorová obálka pro vnější sílu na lop. 1 během jedné otáčky	86
Obr. 87. Srovnání výsl. vektorových obálek pro vnitřní a vnější sílu na lop. 1	87
Obr. 88. Výslednice $F_{1-vni,vne}$ a jejich orientace při natočení rotoru 194°	88

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Závislost koeficientu „p“ na druhu povrchu [20].....	35
Tab. 2. Reynoldsovo číslo [13]	39
Tab. 3. Parametry pro jednotlivá Re [3]	40
Tab. 4. Vysvětlivky pro označení veličin	51
Tab. 5. Pokles M_k při změně natočení z $\alpha = 63^\circ$ na $\alpha = 64^\circ$ pro rotor 6.....	56
Tab. 6. Velikost výsl. F a úhlu jejího natočení φ při $\alpha = 63^\circ$ a 64° pro rotor 6.....	57
Tab. 7. Srovnání rotoru 12 s rotorem 6 pro $\alpha = 59^\circ, 63^\circ$ a 64°	73
Tab. 8. Hodnoty M_k pro rotor 4, 6, 8, 10 a 12 při natočení $\alpha = 59, 63$ a 64°	77
Tab. 9. Vysvětlivky pro výsledky z jednotl. ploch lopatek	80
Tab. 10. Výslednice $F_{1,2,3-vni,vne}$ a jejich orientace $\varphi_{1,2,3-vni,vne}$ pro $\alpha = 63 - 64^\circ$	84
Tab. 11. Natoč. rotoru s největším odtrháváním vnitřní a vnější plochy lop. 1 od sebe	88

SEZNAM PŘÍLOH

- P I Rotor 6 – výsledky analýzy
- P II Rotor 6 - výpočty
- P III Rotor 6 – plochy – výsledky analýzy
- P IV Rotor 6 – plochy – výpočty
- P V Rotor 4 - výpočty
- P VI Rotor 8 - výpočty
- P VII Rotor 10 - výpočty
- P VIII Rotor 12 - výpočty
- DVD1 A - Rotor 6 – výsledky analýzy (sudé konfigurace) ve formátu *.7zip
B - Diplomová práce ve formátu *.pdf
C - Základní nastavení výpočtu pro všechny rotory
D - Model lopatky + sestava průtažného rotoru
- DVD2 A - Rotor 6 – výsledky analýzy (liché konfigurace) ve formátu *.7zip
B - Rotor 4, 6, 8, 10 a 12 – tabulky výsledků + výpočty + grafy
C - Tabulka se srovnáním rotorů 6 a 12
D - Tabulka se srovnáním všech rotorů
E - Rotor 6 (rozdělení na plochy) – tabulka výsledků + výpočty + grafy
F - Porovnání výsledků ze symetrické (zmenšené) a původní domény
G - Trajekt. proudnic pro rotor 6 při natočení 59 – 69° - rychlost a tlak
H - Animace proudění na rotoru 6 pro natočení rotoru 9, 59, 63 a 64°
J - Animace a obrázky proudění na rotoru 12 pro 59, 63 a 64°
K - Schémata vytvořená v programu AutoCAD 2009

PŘÍLOHA P I: ROTOR 6 – VÝSLEDKY ANALÝZY

Rotor 6 – výsledky analýzy										
α	$M_{kcelk.}$	M_{k1}	M_{k2}	M_{k3}	F_{x1}	F_{x2}	F_{x3}	F_{y1}	F_{y2}	F_{y3}
[°]	[N.m]	[N.m]	[N.m]	[N.m]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
0	0,331	0,212	-0,268	0,393	0,419	2,239	1,836	1,693	1,023	-2,255
1	0,328	0,214	-0,271	0,394	0,408	2,236	1,818	1,693	1,069	-2,255
2	0,330	0,214	-0,276	0,395	0,381	2,255	1,891	1,690	1,093	-2,174
3	0,324	0,212	-0,279	0,395	0,344	2,251	1,970	1,701	1,109	-2,138
4	0,323	0,212	-0,282	0,396	0,307	2,246	2,001	1,679	1,168	-2,113
5	0,326	0,217	-0,289	0,397	0,297	2,270	2,049	1,741	1,185	-2,085
6	0,316	0,212	-0,289	0,396	0,252	2,244	2,090	1,713	1,203	-2,036
7	0,319	0,221	-0,299	0,405	0,210	2,296	2,113	1,778	1,256	-2,028
8	0,313	0,220	-0,307	0,402	0,195	2,329	2,086	1,764	1,313	-1,965
9	0,307	0,221	-0,309	0,400	0,172	2,313	2,103	1,776	1,357	-1,924
10	0,322	0,238	-0,329	0,418	0,133	2,448	2,260	1,948	1,448	-1,965
11	0,317	0,232	-0,323	0,409	0,111	2,377	2,249	1,882	1,476	-1,889
12	0,322	0,241	-0,330	0,415	0,059	2,393	2,347	2,004	1,533	-1,895
13	0,331	0,251	-0,338	0,422	0,011	2,438	2,340	2,053	1,587	-1,861
14	0,323	0,252	-0,338	0,414	-0,005	2,403	2,368	2,078	1,597	-1,796
15	0,326	0,259	-0,347	0,420	-0,045	2,449	2,360	2,111	1,690	-1,767
16	0,316	0,249	-0,336	0,409	-0,080	2,346	2,398	2,069	1,647	-1,674
17	0,317	0,253	-0,329	0,400	-0,096	2,260	2,391	2,066	1,634	-1,586
18	0,323	0,263	-0,336	0,402	-0,126	2,304	2,361	2,159	1,698	-1,561
19	0,321	0,267	-0,341	0,403	-0,154	2,303	2,387	2,209	1,765	-1,539
20	0,313	0,263	-0,345	0,404	-0,188	2,310	2,363	2,129	1,840	-1,498
21	0,321	0,268	-0,345	0,406	-0,240	2,269	2,427	2,177	1,814	-1,443
22	0,324	0,274	-0,348	0,408	-0,267	2,244	2,442	2,241	1,844	-1,415
23	0,335	0,278	-0,350	0,415	-0,285	2,241	2,510	2,254	1,917	-1,398
24	0,336	0,283	-0,352	0,415	-0,302	2,242	2,506	2,266	1,958	-1,361
25	0,342	0,285	-0,347	0,412	-0,301	2,195	2,512	2,289	1,944	-1,308
26	0,340	0,278	-0,346	0,413	-0,347	2,172	2,546	2,233	1,973	-1,263
27	0,354	0,290	-0,343	0,416	-0,366	2,098	2,581	2,300	1,959	-1,242
28	0,354	0,286	-0,334	0,407	-0,371	2,040	2,547	2,240	1,972	-1,149
29	0,348	0,281	-0,332	0,408	-0,435	1,994	2,619	2,216	1,962	-1,097
30	0,369	0,291	-0,327	0,408	-0,418	1,938	2,578	2,240	1,979	-1,065
31	0,365	0,288	-0,324	0,409	-0,452	1,905	2,626	2,225	1,955	-1,024
32	0,379	0,291	-0,315	0,409	-0,464	1,808	2,625	2,196	1,925	-0,976
33	0,391	0,293	-0,303	0,408	-0,499	1,724	2,703	2,202	1,880	-0,913
34	0,387	0,290	-0,300	0,404	-0,485	1,689	2,684	2,162	1,884	-0,857
35	0,397	0,288	-0,288	0,401	-0,503	1,598	2,685	2,099	1,847	-0,808
36	0,401	0,281	-0,276	0,403	-0,554	1,511	2,718	2,035	1,776	-0,756

37	0,414	0,284	-0,271	0,406	-0,578	1,477	2,768	2,079	1,765	-0,714
38	0,416	0,278	-0,257	0,401	-0,547	1,382	2,742	1,982	1,735	-0,660
39	0,439	0,287	-0,248	0,407	-0,530	1,305	2,798	2,026	1,686	-0,612
40	0,475	0,305	-0,236	0,413	-0,546	1,240	2,835	2,089	1,601	-0,571
41	0,477	0,299	-0,226	0,410	-0,524	1,157	2,827	2,046	1,548	-0,522
42	0,499	0,306	-0,214	0,412	-0,514	1,075	2,875	2,075	1,464	-0,458
43	0,496	0,290	-0,195	0,411	-0,553	0,979	2,939	1,950	1,376	-0,390
44	0,515	0,302	-0,188	0,409	-0,506	0,933	2,900	2,017	1,332	-0,341
45	0,531	0,304	-0,179	0,411	-0,481	0,897	2,924	2,005	1,305	-0,284
46	0,549	0,307	-0,162	0,411	-0,481	0,798	2,936	2,001	1,185	-0,226
47	0,584	0,321	-0,148	0,416	-0,489	0,738	3,006	2,069	1,067	-0,169
48	0,593	0,317	-0,134	0,415	-0,455	0,663	3,034	2,037	0,990	-0,095
49	0,615	0,322	-0,118	0,416	-0,445	0,613	3,041	2,076	0,900	-0,041
50	0,614	0,304	-0,102	0,417	-0,398	0,536	3,073	1,922	0,807	0,024
51	0,623	0,297	-0,082	0,416	-0,392	0,451	3,097	1,836	0,657	0,095
52	0,642	0,300	-0,067	0,415	-0,333	0,394	3,052	1,820	0,536	0,130
53	0,663	0,301	-0,050	0,417	-0,304	0,347	3,109	1,853	0,431	0,210
54	0,668	0,293	-0,036	0,419	-0,249	0,289	3,099	1,749	0,346	0,262
55	0,671	0,278	-0,017	0,415	-0,215	0,233	3,111	1,612	0,223	0,328
56	0,672	0,259	0,001	0,417	-0,185	0,189	3,100	1,460	0,041	0,379
57	0,702	0,271	0,015	0,420	-0,211	0,151	3,129	1,497	-0,070	0,455
58	0,698	0,250	0,033	0,419	-0,109	0,118	3,128	1,381	-0,181	0,515
59	0,715	0,247	0,047	0,426	-0,079	0,085	3,221	1,363	-0,266	0,636
60	0,682	0,220	0,058	0,409	-0,019	0,076	3,088	1,202	-0,432	0,633
61	0,626	0,195	0,051	0,385	0,136	0,092	2,898	1,033	-0,375	0,610
62	0,632	0,183	0,060	0,393	0,191	0,080	2,951	0,955	-0,446	0,699
63	0,644	0,176	0,079	0,393	0,191	0,045	2,983	0,914	-0,523	0,797
64	0,411	0,119	0,026	0,268	0,731	0,114	2,081	0,580	-0,097	0,614
65	0,382	0,094	0,029	0,263	0,860	0,118	2,043	0,469	-0,126	0,689
66	0,422	0,098	0,048	0,278	0,821	0,086	2,132	0,500	-0,277	0,768
67	0,387	0,070	0,053	0,266	0,935	0,064	2,031	0,356	-0,273	0,806
68	0,392	0,063	0,061	0,271	1,010	0,049	2,016	0,322	-0,298	0,825
69	0,441	0,066	0,095	0,283	0,942	0,017	2,154	0,385	-0,561	0,969
70	0,439	0,055	0,098	0,293	0,949	0,015	2,206	0,342	-0,550	1,046
71	0,443	0,049	0,108	0,289	1,039	0,004	2,137	0,348	-0,633	1,037
72	0,462	0,046	0,119	0,301	1,037	0,003	2,208	0,378	-0,694	1,129
73	0,460	0,039	0,137	0,288	1,076	-0,014	2,087	0,354	-0,826	1,124
74	0,445	0,020	0,144	0,282	1,177	-0,028	2,027	0,312	-0,857	1,131
75	0,489	0,030	0,171	0,290	1,084	-0,025	2,085	0,361	-1,055	1,228
76	0,505	0,025	0,186	0,297	1,100	-0,038	2,121	0,360	-1,137	1,293
77	0,529	0,029	0,200	0,302	1,067	-0,027	2,146	0,445	-1,223	1,384
78	0,514	0,009	0,211	0,296	1,183	-0,045	2,066	0,373	-1,299	1,367
79	0,521	0,015	0,223	0,286	1,142	0,006	1,992	0,454	-1,450	1,400
80	0,520	-0,006	0,239	0,290	1,239	-0,035	1,972	0,369	-1,499	1,408

81	0,537	-0,008	0,257	0,291	1,220	-0,012	1,979	0,383	-1,637	1,493
82	0,553	-0,016	0,268	0,301	1,266	-0,023	1,991	0,373	-1,691	1,532
83	0,545	-0,023	0,280	0,290	1,263	-0,018	1,909	0,367	-1,781	1,560
84	0,520	-0,041	0,285	0,276	1,340	0,033	1,787	0,310	-1,859	1,500
85	0,525	-0,048	0,294	0,279	1,392	0,036	1,768	0,338	-1,904	1,544
86	0,515	-0,057	0,308	0,266	1,410	0,078	1,671	0,298	-2,025	1,526
87	0,524	-0,056	0,317	0,264	1,422	0,087	1,628	0,373	-2,103	1,534
88	0,524	-0,069	0,330	0,264	1,444	0,121	1,620	0,343	-2,208	1,581
89	0,522	-0,079	0,337	0,265	1,522	0,127	1,587	0,342	-2,230	1,570
90	0,542	-0,083	0,361	0,265	1,556	0,158	1,542	0,356	-2,413	1,611
91	0,528	-0,096	0,359	0,267	1,594	0,196	1,532	0,338	-2,398	1,642
92	0,511	-0,105	0,366	0,251	1,654	0,247	1,420	0,349	-2,486	1,587
93	0,506	-0,116	0,376	0,246	1,749	0,244	1,338	0,392	-2,520	1,551
94	0,494	-0,125	0,380	0,240	1,761	0,329	1,300	0,382	-2,600	1,562
95	0,488	-0,132	0,387	0,233	1,801	0,391	1,236	0,389	-2,686	1,545
96	0,516	-0,140	0,412	0,246	1,841	0,364	1,269	0,410	-2,802	1,619
97	0,492	-0,147	0,410	0,229	1,896	0,452	1,143	0,439	-2,820	1,521
98	0,492	-0,152	0,411	0,231	1,886	0,530	1,133	0,460	-2,860	1,567
99	0,494	-0,162	0,419	0,238	1,936	0,585	1,140	0,455	-2,893	1,585
100	0,463	-0,173	0,406	0,228	2,009	0,622	1,046	0,478	-2,805	1,560
101	0,441	-0,183	0,403	0,226	2,053	0,697	0,999	0,505	-2,777	1,548
102	0,467	-0,183	0,420	0,232	2,029	0,861	1,016	0,531	-2,931	1,608
103	0,428	-0,190	0,396	0,223	2,057	0,823	0,948	0,537	-2,736	1,573
104	0,454	-0,196	0,424	0,231	2,084	1,025	0,957	0,585	-2,932	1,647
105	0,451	-0,213	0,427	0,237	2,211	1,033	0,952	0,608	-2,894	1,659
106	0,431	-0,214	0,419	0,226	2,183	1,129	0,879	0,628	-2,826	1,621
107	0,436	-0,219	0,426	0,235	2,209	1,212	0,881	0,673	-2,840	1,690
108	0,385	-0,210	0,380	0,221	2,091	1,201	0,792	0,690	-2,558	1,651
109	0,391	-0,225	0,396	0,222	2,175	1,241	0,764	0,702	-2,581	1,640
110	0,409	-0,231	0,421	0,228	2,196	1,357	0,747	0,761	-2,707	1,690
111	0,391	-0,226	0,402	0,218	2,139	1,415	0,690	0,778	-2,594	1,662
112	0,417	-0,252	0,437	0,240	2,328	1,550	0,725	0,814	-2,771	1,823
113	0,386	-0,255	0,415	0,235	2,321	1,504	0,692	0,839	-2,591	1,750
114	0,377	-0,253	0,405	0,227	2,275	1,585	0,636	0,878	-2,501	1,745
115	0,342	-0,247	0,383	0,213	2,212	1,549	0,575	0,885	-2,371	1,635
116	0,344	-0,256	0,392	0,213	2,240	1,642	0,524	0,890	-2,401	1,660
117	0,349	-0,254	0,392	0,216	2,189	1,695	0,517	0,915	-2,368	1,694
118	0,340	-0,262	0,391	0,218	2,239	1,680	0,508	0,982	-2,289	1,668
119	0,344	-0,265	0,394	0,215	2,233	1,779	0,460	0,977	-2,307	1,688

PŘÍLOHA P II: ROTOR 6 - VÝPOČTY

Rotor 6 - výpočty											
α	F_{1-120}	F_{2-120}	F_{3-120}	M_{K-120}	φ_{1-120}	φ_{2-120}	φ_{3-120}	F_x	F_y	F	φ
[°]	[N]	[N]	[N]	[N.m]	[°]	[°]	[°]	[N]	[N]	[N]	[°]
0	1,744	2,461	2,908	0,337	76,09	24,57	-50,85	4,494	0,460	4,517	5,85
1	1,741	2,479	2,897	0,337	76,45	25,55	-51,12	4,463	0,506	4,491	6,47
2	1,733	2,506	2,882	0,332	77,30	25,85	-48,98	4,528	0,609	4,568	7,66
3	1,736	2,510	2,907	0,329	78,57	26,22	-47,34	4,565	0,672	4,615	8,37
4	1,707	2,531	2,910	0,326	79,64	27,47	-46,56	4,554	0,733	4,612	9,15
5	1,766	2,560	2,923	0,326	80,32	27,56	-45,50	4,615	0,841	4,691	10,32
6	1,731	2,547	2,918	0,318	81,62	28,19	-44,25	4,587	0,880	4,670	10,86
7	1,790	2,618	2,928	0,327	83,27	28,68	-43,82	4,619	1,006	4,727	12,29
8	1,774	2,674	2,866	0,315	83,69	29,40	-43,28	4,611	1,111	4,743	13,55
9	1,784	2,682	2,851	0,312	84,45	30,41	-42,46	4,588	1,209	4,745	14,76
10	1,953	2,844	2,994	0,327	86,10	30,59	-41,01	4,841	1,431	5,048	16,47
11	1,886	2,798	2,937	0,318	86,61	31,83	-40,02	4,738	1,470	4,960	17,23
12	2,005	2,842	3,017	0,327	88,31	32,64	-38,91	4,799	1,642	5,073	18,89
13	2,053	2,909	2,990	0,335	89,69	33,06	-38,50	4,789	1,779	5,108	20,38
14	2,078	2,885	2,972	0,328	90,14	33,62	-37,17	4,766	1,880	5,123	21,52
15	2,112	2,976	2,948	0,333	91,22	34,60	-36,82	4,764	2,034	5,180	23,12
16	2,070	2,867	2,925	0,322	92,22	35,07	-34,93	4,664	2,042	5,091	23,64
17	2,068	2,789	2,869	0,324	92,66	35,87	-33,55	4,555	2,114	5,022	24,90
18	2,163	2,862	2,831	0,329	93,35	36,39	-33,47	4,539	2,297	5,087	26,84
19	2,214	2,902	2,841	0,330	93,98	37,47	-32,81	4,537	2,435	5,149	28,22
20	2,137	2,953	2,798	0,322	95,06	38,54	-32,38	4,484	2,470	5,120	28,85
21	2,191	2,905	2,824	0,329	96,29	38,63	-30,74	4,456	2,548	5,133	29,76
22	2,257	2,904	2,822	0,334	96,80	39,42	-30,09	4,418	2,671	5,163	31,15
23	2,272	2,949	2,873	0,342	97,22	40,54	-29,12	4,466	2,773	5,257	31,84
24	2,286	2,977	2,851	0,346	97,60	41,14	-28,51	4,445	2,864	5,288	32,79
25	2,309	2,932	2,832	0,349	97,50	41,53	-27,50	4,406	2,925	5,289	33,58
26	2,260	2,934	2,842	0,345	98,82	42,26	-26,38	4,371	2,944	5,270	33,96
27	2,329	2,870	2,865	0,363	99,04	43,04	-25,70	4,313	3,017	5,264	34,97
28	2,271	2,837	2,794	0,359	99,41	44,04	-24,29	4,215	3,063	5,211	36,00
29	2,259	2,797	2,839	0,357	101,11	44,53	-22,72	4,177	3,081	5,191	36,41
30	2,278	2,770	2,790	0,372	100,57	45,61	-22,44	4,098	3,154	5,171	37,58
31	2,271	2,730	2,819	0,373	101,47	45,75	-21,30	4,080	3,157	5,158	37,73
32	2,244	2,641	2,801	0,385	101,92	46,79	-20,40	3,970	3,144	5,064	38,38
33	2,258	2,551	2,853	0,398	102,78	47,47	-18,66	3,928	3,169	5,047	38,89
34	2,216	2,530	2,817	0,394	102,65	48,13	-17,72	3,887	3,189	5,028	39,37
35	2,158	2,442	2,804	0,402	103,46	49,14	-16,74	3,780	3,138	4,913	39,70
36	2,109	2,332	2,821	0,409	105,23	49,60	-15,55	3,675	3,055	4,779	39,73
37	2,158	2,302	2,859	0,420	105,54	50,08	-14,46	3,667	3,131	4,822	40,49

38	2,056	2,218	2,820	0,423	105,42	51,46	-13,54	3,577	3,057	4,705	40,52
39	2,094	2,132	2,865	0,446	104,66	52,27	-12,35	3,573	3,100	4,730	40,95
40	2,159	2,024	2,892	0,482	104,64	52,24	-11,39	3,529	3,118	4,709	41,46
41	2,112	1,933	2,874	0,483	104,36	53,23	-10,46	3,460	3,073	4,627	41,61
42	2,138	1,816	2,911	0,504	103,92	53,72	-9,06	3,435	3,081	4,614	41,89
43	2,027	1,689	2,965	0,506	105,83	54,56	-7,57	3,366	2,935	4,466	41,09
44	2,080	1,626	2,920	0,523	104,08	54,98	-6,71	3,327	3,008	4,485	42,11
45	2,062	1,584	2,938	0,536	103,49	55,49	-5,55	3,340	3,027	4,508	42,18
46	2,058	1,429	2,945	0,556	103,51	56,05	-4,41	3,253	2,960	4,398	42,30
47	2,126	1,298	3,011	0,589	103,29	55,34	-3,22	3,255	2,967	4,404	42,35
48	2,088	1,192	3,036	0,599	102,58	56,22	-1,80	3,242	2,933	4,371	42,13
49	2,123	1,089	3,041	0,620	102,09	55,77	-0,78	3,209	2,935	4,349	42,45
50	1,963	0,969	3,073	0,620	101,69	56,42	0,44	3,211	2,753	4,230	40,61
51	1,878	0,797	3,098	0,630	102,05	55,54	1,75	3,156	2,588	4,081	39,35
52	1,850	0,666	3,055	0,648	100,36	53,66	2,44	3,114	2,486	3,985	38,61
53	1,878	0,554	3,116	0,668	99,31	51,18	3,87	3,152	2,494	4,020	38,35
54	1,767	0,451	3,110	0,676	98,09	50,12	4,83	3,139	2,357	3,926	36,89
55	1,627	0,322	3,128	0,676	97,59	43,86	6,02	3,129	2,164	3,804	34,67
56	1,471	0,194	3,123	0,676	97,24	12,09	6,96	3,104	1,879	3,629	31,18
57	1,512	0,166	3,162	0,706	98,01	-24,92	8,28	3,069	1,883	3,600	31,53
58	1,385	0,216	3,170	0,702	94,50	-56,87	9,34	3,138	1,714	3,576	28,65
59	1,366	0,279	3,283	0,720	93,30	-72,20	11,17	3,228	1,734	3,664	28,24
60	1,202	0,439	3,152	0,687	90,93	-80,06	11,58	3,144	1,403	3,443	24,04
61	1,042	0,386	2,961	0,631	82,48	-76,22	11,89	3,126	1,268	3,374	22,08
62	0,974	0,453	3,033	0,636	78,69	-79,81	13,32	3,222	1,207	3,441	20,54
63	0,934	0,525	3,088	0,647	78,20	-85,12	14,96	3,219	1,188	3,431	20,27
64	0,933	0,150	2,170	0,413	38,44	-40,29	16,43	2,926	1,097	3,125	20,55
65	0,980	0,173	2,156	0,385	28,61	-46,89	18,64	3,022	1,032	3,193	18,86
66	0,961	0,290	2,266	0,424	31,37	-72,72	19,81	3,038	0,991	3,196	18,07
67	1,001	0,280	2,185	0,390	20,83	-76,87	21,64	3,030	0,889	3,158	16,35
68	1,061	0,302	2,178	0,396	17,68	-80,70	22,25	3,075	0,849	3,190	15,43
69	1,018	0,561	2,362	0,444	22,20	-88,24	24,21	3,114	0,792	3,213	14,27
70	1,009	0,550	2,441	0,446	19,82	-88,41	25,36	3,171	0,837	3,279	14,79
71	1,096	0,633	2,375	0,445	18,51	-89,65	25,88	3,180	0,752	3,267	13,30
72	1,104	0,694	2,480	0,466	20,06	-89,79	27,09	3,248	0,814	3,348	14,08
73	1,133	0,826	2,371	0,464	18,19	-90,94	28,30	3,150	0,652	3,216	11,69
74	1,217	0,857	2,321	0,445	14,84	-91,90	29,15	3,176	0,585	3,229	10,44
75	1,142	1,055	2,420	0,491	18,42	-91,34	30,49	3,144	0,534	3,189	9,63
76	1,158	1,138	2,484	0,508	18,13	-91,90	31,36	3,184	0,516	3,226	9,21
77	1,156	1,223	2,553	0,531	22,63	-91,28	32,82	3,186	0,606	3,243	10,77
78	1,240	1,300	2,477	0,516	17,50	-91,96	33,50	3,204	0,441	3,234	7,83
79	1,229	1,450	2,435	0,524	21,70	-89,78	35,11	3,139	0,405	3,165	7,35
80	1,293	1,499	2,423	0,522	16,59	-91,34	35,52	3,176	0,278	3,188	5,00
81	1,279	1,637	2,479	0,539	17,44	-90,43	37,03	3,188	0,240	3,197	4,31

82	1,320	1,692	2,512	0,553	16,42	-90,79	37,57	3,234	0,213	3,241	3,77
83	1,315	1,781	2,465	0,547	16,20	-90,57	39,25	3,154	0,146	3,158	2,64
84	1,376	1,859	2,333	0,520	13,01	-88,98	40,01	3,161	-0,049	3,161	-0,90
85	1,432	1,905	2,347	0,526	13,66	-88,90	41,13	3,196	-0,022	3,196	-0,40
86	1,442	2,027	2,263	0,517	11,94	-87,79	42,40	3,159	-0,201	3,166	-3,65
87	1,470	2,105	2,237	0,525	14,71	-87,64	43,30	3,137	-0,196	3,143	-3,57
88	1,484	2,211	2,264	0,525	13,37	-86,87	44,30	3,185	-0,284	3,197	-5,09
89	1,560	2,233	2,233	0,522	12,65	-86,74	44,69	3,237	-0,318	3,252	-5,60
90	1,596	2,418	2,230	0,543	12,88	-86,26	46,26	3,255	-0,446	3,285	-7,80
91	1,629	2,407	2,246	0,529	11,97	-85,32	46,98	3,322	-0,419	3,349	-7,18
92	1,690	2,499	2,130	0,512	11,93	-84,32	48,18	3,321	-0,550	3,366	-9,40
93	1,792	2,531	2,048	0,506	12,63	-84,47	49,22	3,331	-0,577	3,380	-9,82
94	1,802	2,621	2,033	0,495	12,23	-82,78	50,23	3,391	-0,656	3,454	-10,95
95	1,843	2,714	1,979	0,488	12,18	-81,71	51,34	3,429	-0,752	3,510	-12,37
96	1,887	2,825	2,057	0,518	12,55	-82,59	51,92	3,474	-0,773	3,559	-12,54
97	1,946	2,856	1,903	0,493	13,04	-80,89	53,06	3,491	-0,860	3,596	-13,85
98	1,941	2,909	1,933	0,490	13,71	-79,50	54,13	3,549	-0,834	3,645	-13,22
99	1,989	2,952	1,952	0,495	13,22	-78,57	54,26	3,661	-0,854	3,759	-13,13
100	2,065	2,873	1,879	0,461	13,38	-77,49	56,16	3,677	-0,766	3,756	-11,77
101	2,114	2,864	1,842	0,446	13,81	-75,91	57,17	3,749	-0,725	3,819	-10,94
102	2,097	3,054	1,902	0,468	14,66	-73,63	57,73	3,906	-0,791	3,985	-11,45
103	2,126	2,857	1,836	0,429	14,63	-73,25	58,93	3,828	-0,627	3,879	-9,30
104	2,164	3,106	1,904	0,459	15,69	-70,73	59,85	4,066	-0,700	4,125	-9,77
105	2,293	3,073	1,912	0,451	15,38	-70,36	60,14	4,196	-0,627	4,242	-8,50
106	2,271	3,043	1,844	0,431	16,05	-68,21	61,52	4,191	-0,577	4,231	-7,84
107	2,310	3,088	1,906	0,443	16,93	-66,88	62,46	4,303	-0,477	4,329	-6,32
108	2,202	2,826	1,831	0,391	18,27	-64,85	64,37	4,084	-0,217	4,090	-3,04
109	2,285	2,864	1,809	0,393	17,89	-64,32	65,03	4,180	-0,239	4,187	-3,27
110	2,324	3,028	1,848	0,418	19,12	-63,39	66,14	4,300	-0,256	4,307	-3,41
111	2,276	2,955	1,800	0,393	20,00	-61,39	67,45	4,244	-0,154	4,247	-2,08
112	2,466	3,175	1,962	0,425	19,27	-60,78	68,30	4,604	-0,134	4,606	-1,67
113	2,469	2,996	1,882	0,394	19,88	-59,86	68,42	4,518	-0,001	4,518	-0,02
114	2,438	2,961	1,858	0,380	21,11	-57,63	69,97	4,496	0,123	4,498	1,57
115	2,383	2,832	1,733	0,349	21,81	-56,84	70,62	4,336	0,149	4,339	1,97
116	2,410	2,909	1,740	0,350	21,67	-55,62	72,49	4,406	0,149	4,409	1,94
117	2,372	2,913	1,771	0,354	22,69	-54,40	73,03	4,401	0,241	4,408	3,13
118	2,445	2,839	1,743	0,347	23,68	-53,73	73,05	4,427	0,360	4,442	4,65
119	2,437	2,913	1,750	0,343	23,64	-52,37	74,76	4,471	0,358	4,486	4,58

PŘÍLOHA III: ROTOR 6 – PLOCHY – VÝSLEDKY ANALÝZY

Rotor 6 - plochy - výsledky analýzy												
α	F_{x1-vni}	F_{x2-vni}	F_{x3-vni}	F_{x1-vne}	F_{x2-vne}	F_{x3-vne}	F_{y1-vni}	F_{y2-vni}	F_{y3-vni}	F_{y1-vne}	F_{y2-vne}	F_{y3-vne}
[°]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
0	0,177	0,447	1,018	0,242	1,802	0,828	0,640	0,147	-1,465	1,059	0,880	-0,803
1	0,187	0,460	1,005	0,221	1,779	0,819	0,645	0,160	-1,466	1,049	0,908	-0,792
2	0,175	0,487	1,033	0,208	1,774	0,858	0,628	0,182	-1,416	1,074	0,913	-0,758
3	0,154	0,462	1,094	0,193	1,798	0,881	0,627	0,182	-1,407	1,090	0,930	-0,733
4	0,134	0,480	1,100	0,174	1,767	0,901	0,587	0,207	-1,380	1,102	0,961	-0,734
5	0,136	0,496	1,109	0,161	1,778	0,944	0,599	0,211	-1,357	1,152	0,976	-0,731
6	0,115	0,491	1,154	0,136	1,764	0,945	0,589	0,221	-1,342	1,132	0,987	-0,704
7	0,090	0,559	1,109	0,121	1,730	0,995	0,556	0,260	-1,299	1,231	0,993	-0,720
8	0,092	0,611	1,104	0,100	1,708	0,980	0,549	0,299	-1,274	1,202	1,007	-0,674
9	0,094	0,639	1,115	0,076	1,675	0,989	0,537	0,325	-1,252	1,239	1,033	-0,670
10	0,072	0,806	1,074	0,062	1,638	1,179	0,418	0,425	-1,202	1,531	1,021	-0,758
11	0,074	0,753	1,112	0,037	1,626	1,136	0,419	0,426	-1,190	1,462	1,051	-0,699
12	0,050	0,815	1,160	0,008	1,577	1,192	0,409	0,482	-1,174	1,587	1,050	-0,722
13	0,032	0,897	1,115	-0,021	1,541	1,225	0,369	0,547	-1,133	1,684	1,040	-0,728
14	0,046	0,863	1,172	-0,053	1,539	1,208	0,389	0,545	-1,132	1,666	1,051	-0,671
15	0,035	0,934	1,120	-0,081	1,515	1,238	0,345	0,619	-1,085	1,766	1,071	-0,681
16	0,029	0,851	1,211	-0,111	1,499	1,176	0,410	0,575	-1,075	1,687	1,076	-0,594
17	0,036	0,754	1,259	-0,132	1,506	1,133	0,471	0,551	-1,061	1,596	1,083	-0,527
18	0,039	0,827	1,228	-0,166	1,476	1,136	0,451	0,614	-1,036	1,703	1,083	-0,527
19	0,035	0,893	1,229	-0,187	1,421	1,163	0,398	0,682	-1,024	1,824	1,092	-0,514
20	0,017	0,913	1,214	-0,206	1,397	1,148	0,325	0,736	-0,985	1,804	1,103	-0,514
21	-0,005	0,880	1,241	-0,235	1,386	1,183	0,361	0,719	-0,956	1,816	1,092	-0,489
22	-0,010	0,921	1,258	-0,258	1,318	1,185	0,359	0,774	-0,933	1,887	1,067	-0,489
23	-0,011	0,926	1,271	-0,275	1,313	1,232	0,321	0,826	-0,907	1,931	1,089	-0,487
24	-0,005	0,949	1,254	-0,297	1,292	1,246	0,278	0,879	-0,886	1,972	1,079	-0,469
25	0,010	0,938	1,271	-0,310	1,259	1,243	0,297	0,881	-0,863	1,979	1,065	-0,443
26	-0,016	0,926	1,275	-0,333	1,242	1,269	0,278	0,897	-0,834	1,963	1,073	-0,430
27	-0,017	0,903	1,285	-0,350	1,192	1,296	0,325	0,934	-0,833	1,984	1,023	-0,410
28	0,006	0,862	1,297	-0,376	1,181	1,256	0,296	0,941	-0,800	1,935	1,034	-0,347
29	-0,042	0,830	1,340	-0,400	1,158	1,278	0,324	0,914	-0,766	1,929	1,040	-0,350
30	-0,016	0,820	1,317	-0,400	1,119	1,267	0,320	0,945	-0,752	1,912	1,036	-0,314
31	-0,024	0,807	1,359	-0,425	1,099	1,269	0,314	0,949	-0,732	1,902	1,007	-0,291
32	-0,028	0,774	1,352	-0,427	1,043	1,272	0,316	0,947	-0,706	1,866	0,989	-0,261
33	-0,060	0,702	1,408	-0,435	1,029	1,299	0,335	0,890	-0,663	1,857	0,999	-0,244
34	-0,039	0,688	1,417	-0,438	1,010	1,282	0,310	0,911	-0,642	1,847	0,983	-0,202
35	-0,055	0,635	1,434	-0,439	0,974	1,287	0,301	0,891	-0,625	1,796	0,968	-0,181
36	-0,103	0,575	1,478	-0,450	0,938	1,238	0,334	0,831	-0,591	1,697	0,947	-0,164
37	-0,109	0,559	1,489	-0,466	0,922	1,283	0,317	0,829	-0,571	1,760	0,942	-0,140
38	-0,098	0,502	1,512	-0,446	0,883	1,238	0,288	0,808	-0,544	1,690	0,932	-0,116

39	-0,100	0,462	1,520	-0,424	0,848	1,307	0,297	0,770	-0,523	1,732	0,923	-0,090
40	-0,121	0,412	1,527	-0,429	0,825	1,311	0,354	0,716	-0,489	1,745	0,880	-0,084
41	-0,133	0,367	1,551	-0,390	0,792	1,280	0,345	0,650	-0,464	1,702	0,901	-0,057
42	-0,130	0,322	1,581	-0,383	0,754	1,296	0,331	0,639	-0,426	1,744	0,828	-0,030
43	-0,194	0,243	1,646	-0,363	0,735	1,291	0,331	0,514	-0,378	1,627	0,858	-0,014
44	-0,176	0,228	1,630	-0,327	0,707	1,272	0,343	0,491	-0,361	1,673	0,844	0,022
45	-0,156	0,217	1,624	-0,319	0,684	1,319	0,300	0,503	-0,335	1,708	0,808	0,053
46	-0,190	0,157	1,651	-0,283	0,646	1,327	0,329	0,400	-0,299	1,691	0,793	0,076
47	-0,226	0,116	1,688	-0,259	0,623	1,330	0,386	0,329	-0,267	1,684	0,740	0,099
48	-0,236	0,078	1,740	-0,216	0,586	1,303	0,355	0,263	-0,210	1,682	0,730	0,117
49	-0,243	0,042	1,742	-0,192	0,574	1,322	0,392	0,202	-0,180	1,686	0,704	0,143
50	-0,263	-0,003	1,758	-0,134	0,539	1,318	0,370	0,120	-0,145	1,553	0,688	0,169
51	-0,314	-0,054	1,794	-0,078	0,505	1,308	0,383	-0,001	-0,093	1,454	0,658	0,189
52	-0,322	-0,074	1,779	-0,007	0,469	1,284	0,408	-0,072	-0,073	1,411	0,610	0,207
53	-0,332	-0,100	1,826	0,034	0,448	1,300	0,408	-0,145	-0,020	1,443	0,579	0,234
54	-0,342	-0,125	1,827	0,104	0,415	1,293	0,405	-0,218	0,011	1,324	0,563	0,258
55	-0,369	-0,152	1,844	0,165	0,387	1,284	0,380	-0,340	0,055	1,213	0,566	0,279
56	-0,414	-0,173	1,844	0,235	0,363	1,265	0,414	-0,441	0,081	1,035	0,482	0,302
57	-0,432	-0,181	1,883	0,231	0,334	1,264	0,392	-0,495	0,139	1,094	0,430	0,325
58	-0,436	-0,191	1,881	0,335	0,311	1,267	0,406	-0,581	0,173	0,972	0,404	0,350
59	-0,452	-0,185	1,946	0,377	0,272	1,284	0,387	-0,682	0,260	0,975	0,420	0,380
60	-0,464	-0,184	1,832	0,445	0,259	1,255	0,371	-0,816	0,236	0,831	0,384	0,396
61	-0,374	-0,154	1,689	0,511	0,247	1,222	0,272	-0,809	0,205	0,765	0,433	0,411
62	-0,377	-0,144	1,713	0,556	0,220	1,212	0,266	-0,882	0,256	0,691	0,429	0,432
63	-0,401	-0,135	1,782	0,596	0,181	1,222	0,263	-0,982	0,350	0,655	0,463	0,460
64	0,104	-0,087	1,006	0,625	0,201	1,081	-0,085	-0,709	0,187	0,666	0,612	0,429
65	0,172	-0,080	0,989	0,671	0,195	1,047	-0,132	-0,761	0,240	0,610	0,612	0,438
66	0,121	-0,068	1,064	0,697	0,154	1,067	-0,085	-0,850	0,300	0,587	0,570	0,466
67	0,190	-0,071	0,996	0,750	0,136	1,044	-0,147	-0,829	0,328	0,501	0,559	0,489
68	0,239	-0,080	0,990	0,776	0,130	1,027	-0,179	-0,824	0,334	0,501	0,534	0,498
69	0,106	-0,054	1,139	0,827	0,071	1,028	-0,074	-1,045	0,457	0,466	0,472	0,521
70	0,113	-0,052	1,191	0,841	0,068	1,024	-0,091	-1,056	0,517	0,433	0,510	0,540
71	0,176	-0,049	1,124	0,863	0,055	1,018	-0,111	-1,066	0,488	0,460	0,437	0,559
72	0,164	-0,042	1,175	0,876	0,044	1,035	-0,104	-1,105	0,548	0,482	0,412	0,588
73	0,152	-0,033	1,121	0,923	0,022	0,965	-0,091	-1,172	0,551	0,445	0,347	0,580
74	0,203	-0,037	1,107	0,975	0,008	0,909	-0,107	-1,177	0,559	0,417	0,319	0,571
75	0,112	-0,010	1,189	0,975	-0,014	0,910	-0,068	-1,307	0,647	0,431	0,259	0,593
76	0,081	0,006	1,208	1,011	-0,043	0,917	-0,039	-1,366	0,684	0,401	0,229	0,615
77	0,062	0,029	1,221	1,005	-0,056	0,926	-0,026	-1,405	0,742	0,471	0,181	0,644
78	0,137	0,033	1,177	1,056	-0,078	0,901	-0,053	-1,439	0,734	0,426	0,147	0,648
79	0,079	0,053	1,155	1,067	-0,049	0,848	-0,017	-1,524	0,780	0,470	0,070	0,631
80	0,108	0,043	1,150	1,131	-0,079	0,821	-0,033	-1,523	0,781	0,403	0,029	0,633
81	0,061	0,084	1,145	1,154	-0,098	0,821	-0,012	-1,612	0,836	0,396	-0,012	0,656
82	0,089	0,100	1,176	1,179	-0,112	0,817	-0,019	-1,598	0,861	0,392	-0,050	0,684

83	0,047	0,119	1,130	1,211	-0,136	0,770	-0,012	-1,673	0,894	0,381	-0,099	0,668
84	0,056	0,142	1,078	1,282	-0,110	0,702	-0,013	-1,689	0,874	0,323	-0,165	0,625
85	0,076	0,151	1,038	1,304	-0,109	0,701	-0,012	-1,679	0,880	0,350	-0,221	0,645
86	0,040	0,175	0,999	1,373	-0,093	0,662	-0,005	-1,734	0,895	0,303	-0,285	0,631
87	0,057	0,197	0,969	1,362	-0,108	0,658	0,003	-1,746	0,892	0,373	-0,357	0,645
88	0,018	0,221	0,981	1,420	-0,099	0,640	-0,006	-1,798	0,930	0,350	-0,412	0,650
89	0,077	0,222	0,945	1,440	-0,092	0,640	-0,012	-1,763	0,899	0,355	-0,471	0,671
90	0,079	0,267	0,901	1,476	-0,108	0,640	-0,007	-1,804	0,917	0,363	-0,609	0,696
91	0,089	0,275	0,891	1,501	-0,077	0,631	-0,023	-1,782	0,926	0,361	-0,612	0,712
92	0,113	0,302	0,815	1,538	-0,050	0,609	-0,019	-1,786	0,885	0,370	-0,706	0,708
93	0,194	0,287	0,749	1,559	-0,044	0,588	-0,022	-1,746	0,845	0,413	-0,776	0,710
94	0,174	0,339	0,730	1,585	-0,007	0,569	-0,014	-1,768	0,855	0,396	-0,836	0,710
95	0,191	0,379	0,673	1,612	0,016	0,565	-0,011	-1,784	0,816	0,401	-0,909	0,734
96	0,227	0,375	0,695	1,614	-0,005	0,576	-0,021	-1,754	0,847	0,431	-1,048	0,779
97	0,264	0,383	0,597	1,635	0,073	0,549	-0,012	-1,726	0,756	0,451	-1,096	0,771
98	0,236	0,435	0,594	1,650	0,098	0,537	-0,006	-1,746	0,782	0,465	-1,116	0,785
99	0,293	0,436	0,595	1,647	0,154	0,550	-0,017	-1,703	0,788	0,473	-1,199	0,808
100	0,319	0,441	0,534	1,695	0,184	0,524	-0,010	-1,697	0,746	0,490	-1,117	0,833
101	0,336	0,480	0,505	1,710	0,218	0,493	0,008	-1,693	0,736	0,496	-1,098	0,811
102	0,358	0,538	0,484	1,686	0,330	0,547	0,004	-1,696	0,747	0,529	-1,269	0,889
103	0,383	0,520	0,487	1,720	0,342	0,506	0,003	-1,671	0,748	0,542	-1,208	0,872
104	0,363	0,606	0,441	1,732	0,421	0,511	0,016	-1,696	0,748	0,570	-1,249	0,897
105	0,466	0,548	0,425	1,746	0,487	0,528	0,018	-1,631	0,695	0,590	-1,269	0,964
106	0,375	0,619	0,404	1,777	0,441	0,444	0,027	-1,653	0,705	0,597	-0,956	0,905
107	0,493	0,624	0,371	1,716	0,588	0,508	0,046	-1,629	0,677	0,626	-1,209	1,010
108	0,489	0,675	0,357	1,707	0,640	0,510	0,046	-1,622	0,699	0,667	-1,257	1,062
109	0,431	0,703	0,357	1,769	0,575	0,417	0,052	-1,612	0,712	0,655	-1,040	0,943
110	0,422	0,713	0,334	1,742	0,604	0,401	0,059	-1,611	0,718	0,696	-1,016	0,963
111	0,369	0,804	0,316	1,782	0,612	0,372	0,059	-1,625	0,731	0,723	-0,955	0,939
112	0,592	0,753	0,263	1,721	0,808	0,468	0,102	-1,554	0,636	0,709	-1,230	1,200
113	0,451	0,788	0,299	1,797	0,647	0,345	0,086	-1,565	0,684	0,729	-0,858	0,969
114	0,413	0,854	0,275	1,794	0,705	0,336	0,087	-1,560	0,687	0,769	-0,846	1,000
115	0,394	0,896	0,275	1,814	0,656	0,300	0,094	-1,569	0,704	0,790	-0,804	0,931
116	0,438	0,915	0,223	1,810	0,737	0,303	0,104	-1,536	0,662	0,788	-0,873	1,003
117	0,406	0,951	0,230	1,799	0,762	0,289	0,109	-1,527	0,684	0,811	-0,860	1,023
118	0,469	0,910	0,242	1,786	0,788	0,275	0,137	-1,476	0,653	0,851	-0,826	1,045
119	0,456	0,987	0,203	1,796	0,806	0,263	0,142	-1,477	0,654	0,843	-0,840	1,058

α	Mk _{1-vni}	Mk _{1-vne}	Mk _{2-vni}	Mk _{2-vne}	Mk _{3-vni}	Mk _{3-vne}
[°]	[N.m]	[N.m]	[N.m]	[N.m]	[N.m]	[N.m]
0	0,090	0,123	-0,047	-0,222	0,274	0,121
1	0,093	0,122	-0,049	-0,222	0,275	0,119
2	0,093	0,124	-0,052	-0,225	0,274	0,120
3	0,089	0,125	-0,050	-0,230	0,275	0,121
4	0,087	0,126	-0,051	-0,231	0,273	0,123
5	0,087	0,131	-0,055	-0,234	0,273	0,125
6	0,085	0,128	-0,055	-0,236	0,273	0,124
7	0,084	0,138	-0,064	-0,234	0,273	0,130
8	0,084	0,135	-0,070	-0,236	0,273	0,126
9	0,083	0,138	-0,075	-0,235	0,273	0,127
10	0,068	0,170	-0,095	-0,233	0,269	0,148
11	0,070	0,162	-0,089	-0,234	0,269	0,140
12	0,065	0,175	-0,098	-0,232	0,268	0,147
13	0,067	0,185	-0,109	-0,230	0,267	0,155
14	0,067	0,182	-0,106	-0,232	0,268	0,148
15	0,066	0,193	-0,116	-0,231	0,265	0,155
16	0,068	0,184	-0,106	-0,231	0,268	0,140
17	0,078	0,175	-0,095	-0,234	0,270	0,131
18	0,076	0,186	-0,106	-0,231	0,268	0,134
19	0,069	0,200	-0,115	-0,227	0,267	0,136
20	0,064	0,199	-0,119	-0,226	0,265	0,139
21	0,067	0,201	-0,118	-0,227	0,266	0,140
22	0,065	0,209	-0,126	-0,221	0,267	0,143
23	0,061	0,216	-0,130	-0,220	0,265	0,149
24	0,058	0,223	-0,134	-0,218	0,264	0,150
25	0,058	0,225	-0,132	-0,215	0,264	0,148
26	0,054	0,224	-0,133	-0,213	0,262	0,151
27	0,063	0,228	-0,133	-0,209	0,263	0,153
28	0,061	0,224	-0,128	-0,207	0,265	0,143
29	0,061	0,225	-0,127	-0,204	0,264	0,147
30	0,064	0,226	-0,127	-0,200	0,265	0,143
31	0,061	0,226	-0,128	-0,196	0,265	0,144
32	0,063	0,226	-0,125	-0,192	0,265	0,142
33	0,063	0,229	-0,116	-0,189	0,263	0,145
34	0,059	0,231	-0,115	-0,186	0,263	0,140
35	0,061	0,227	-0,108	-0,181	0,265	0,140
36	0,064	0,216	-0,101	-0,176	0,267	0,137
37	0,057	0,227	-0,101	-0,171	0,266	0,140
38	0,056	0,222	-0,091	-0,166	0,267	0,135
39	0,056	0,232	-0,087	-0,162	0,269	0,142
40	0,070	0,236	-0,078	-0,157	0,269	0,145
41	0,064	0,235	-0,072	-0,154	0,270	0,141

42	0,062	0,245	-0,066	-0,148	0,270	0,142
43	0,059	0,231	-0,051	-0,143	0,270	0,141
44	0,060	0,242	-0,049	-0,139	0,271	0,138
45	0,056	0,248	-0,048	-0,131	0,270	0,143
46	0,061	0,250	-0,037	-0,126	0,272	0,144
47	0,068	0,253	-0,028	-0,120	0,274	0,144
48	0,061	0,255	-0,020	-0,114	0,274	0,142
49	0,065	0,258	-0,011	-0,108	0,275	0,144
50	0,062	0,242	-0,001	-0,101	0,274	0,143
51	0,064	0,233	0,013	-0,095	0,273	0,143
52	0,069	0,231	0,020	-0,087	0,275	0,141
53	0,066	0,235	0,029	-0,080	0,276	0,143
54	0,067	0,223	0,038	-0,074	0,278	0,143
55	0,064	0,211	0,050	-0,068	0,275	0,142
56	0,070	0,187	0,059	-0,059	0,278	0,141
57	0,068	0,201	0,065	-0,051	0,280	0,141
58	0,070	0,180	0,075	-0,043	0,279	0,142
59	0,066	0,181	0,083	-0,036	0,282	0,144
60	0,062	0,158	0,094	-0,036	0,267	0,142
61	0,049	0,147	0,089	-0,038	0,247	0,139
62	0,048	0,136	0,095	-0,034	0,251	0,139
63	0,048	0,129	0,103	-0,025	0,255	0,140
64	-0,007	0,127	0,077	-0,052	0,144	0,126
65	-0,018	0,113	0,085	-0,054	0,140	0,122
66	-0,008	0,107	0,092	-0,044	0,152	0,126
67	-0,021	0,090	0,095	-0,043	0,143	0,124
68	-0,024	0,087	0,101	-0,041	0,148	0,123
69	-0,007	0,075	0,118	-0,022	0,160	0,124
70	-0,011	0,065	0,125	-0,028	0,169	0,125
71	-0,014	0,063	0,131	-0,024	0,164	0,125
72	-0,015	0,061	0,137	-0,017	0,172	0,128
73	-0,011	0,051	0,148	-0,011	0,166	0,121
74	-0,018	0,037	0,154	-0,010	0,164	0,116
75	-0,005	0,035	0,168	0,002	0,174	0,117
76	0,000	0,026	0,176	0,010	0,178	0,119
77	0,000	0,029	0,180	0,021	0,181	0,122
78	-0,007	0,015	0,190	0,020	0,178	0,119
79	0,000	0,014	0,203	0,021	0,174	0,114
80	-0,003	-0,003	0,210	0,028	0,177	0,112
81	0,001	-0,009	0,218	0,037	0,175	0,114
82	-0,002	-0,015	0,219	0,042	0,187	0,115
83	0,001	-0,023	0,230	0,049	0,178	0,110
84	0,002	-0,043	0,233	0,051	0,173	0,102
85	0,000	-0,046	0,236	0,057	0,172	0,103

86	0,004	-0,061	0,244	0,062	0,165	0,099
87	0,002	-0,057	0,246	0,071	0,164	0,100
88	0,004	-0,072	0,253	0,077	0,165	0,099
89	-0,002	-0,077	0,254	0,083	0,164	0,101
90	0,000	-0,083	0,257	0,103	0,162	0,103
91	-0,005	-0,091	0,259	0,099	0,161	0,103
92	-0,007	-0,098	0,260	0,107	0,150	0,102
93	-0,015	-0,101	0,260	0,116	0,145	0,100
94	-0,013	-0,112	0,262	0,119	0,141	0,099
95	-0,014	-0,118	0,263	0,125	0,132	0,101
96	-0,019	-0,120	0,264	0,148	0,141	0,106
97	-0,023	-0,124	0,263	0,147	0,126	0,104
98	-0,019	-0,132	0,265	0,146	0,127	0,104
99	-0,028	-0,134	0,264	0,157	0,131	0,108
100	-0,030	-0,143	0,264	0,143	0,123	0,108
101	-0,030	-0,152	0,266	0,140	0,121	0,105
102	-0,034	-0,151	0,265	0,161	0,119	0,117
103	-0,038	-0,157	0,267	0,151	0,120	0,112
104	-0,036	-0,162	0,267	0,158	0,115	0,116
105	-0,048	-0,164	0,266	0,162	0,114	0,123
106	-0,037	-0,173	0,268	0,115	0,110	0,113
107	-0,048	-0,170	0,267	0,159	0,108	0,127
108	-0,051	-0,171	0,266	0,166	0,105	0,132
109	-0,044	-0,184	0,269	0,138	0,109	0,115
110	-0,044	-0,183	0,271	0,137	0,109	0,116
111	-0,038	-0,190	0,272	0,126	0,105	0,114
112	-0,062	-0,188	0,267	0,171	0,098	0,144
113	-0,046	-0,200	0,272	0,114	0,105	0,117
114	-0,043	-0,202	0,272	0,116	0,101	0,120
115	-0,040	-0,207	0,272	0,111	0,102	0,111
116	-0,046	-0,210	0,272	0,121	0,094	0,119
117	-0,043	-0,213	0,274	0,121	0,097	0,121
118	-0,050	-0,214	0,273	0,120	0,099	0,123
119	-0,048	-0,219	0,273	0,122	0,094	0,124

PŘÍLOHA IV: ROTOR 6 – PLOCHY – VÝPOČTY

Rotor 6 - plochy - výpočty												
α	F_{1-vni}	F_{2-vni}	F_{3-vni}	φ_{1-vni}	φ_{2-vni}	φ_{3-vni}	F_{1-vne}	F_{2-vne}	F_{3-vne}	φ_{1-vne}	φ_{2-vne}	φ_{3-vne}
[°]	[N]	[N]	[N]	[°]	[°]	[°]	[N]	[N]	[N]	[°]	[°]	[°]
0	0,664	0,470	1,784	74,51	18,22	-55,19	1,086	2,005	1,153	77,14	26,03	-44,13
1	0,671	0,487	1,778	73,81	19,23	-55,57	1,072	1,997	1,139	78,10	27,05	-44,02
2	0,652	0,520	1,753	74,40	20,53	-53,89	1,094	1,995	1,145	79,04	27,23	-41,45
3	0,646	0,497	1,782	76,19	21,54	-52,14	1,107	2,024	1,147	79,97	27,36	-39,77
4	0,602	0,522	1,765	77,19	23,31	-51,44	1,116	2,012	1,162	81,01	28,55	-39,20
5	0,615	0,539	1,753	77,20	23,11	-50,74	1,163	2,028	1,194	82,02	28,75	-37,73
6	0,600	0,539	1,770	78,97	24,21	-49,30	1,140	2,021	1,179	83,15	29,22	-36,68
7	0,563	0,617	1,708	80,79	24,92	-49,51	1,237	1,995	1,229	84,38	29,85	-35,89
8	0,557	0,680	1,686	80,48	26,12	-49,07	1,206	1,983	1,190	85,23	30,53	-34,52
9	0,545	0,717	1,676	80,08	26,96	-48,30	1,241	1,968	1,195	86,48	31,67	-34,09
10	0,424	0,911	1,612	80,20	27,79	-48,21	1,532	1,930	1,401	87,68	31,92	-32,74
11	0,426	0,865	1,628	79,99	29,47	-46,93	1,463	1,936	1,334	88,55	32,89	-31,61
12	0,412	0,947	1,650	83,07	30,61	-45,35	1,587	1,894	1,393	89,69	33,65	-31,19
13	0,370	1,050	1,590	84,97	31,36	-45,45	1,684	1,859	1,425	90,72	34,02	-30,73
14	0,392	1,020	1,629	83,28	32,29	-44,01	1,667	1,864	1,382	91,82	34,33	-29,07
15	0,347	1,121	1,560	84,16	33,52	-44,10	1,768	1,855	1,413	92,61	35,25	-28,82
16	0,411	1,027	1,619	85,92	34,08	-41,59	1,690	1,845	1,317	93,77	35,67	-26,79
17	0,472	0,934	1,646	85,67	36,19	-40,11	1,602	1,855	1,250	94,72	35,70	-24,92
18	0,453	1,030	1,607	85,03	36,57	-40,17	1,711	1,830	1,252	95,55	36,28	-24,87
19	0,400	1,124	1,599	85,02	37,37	-39,80	1,834	1,792	1,271	95,84	37,54	-23,83
20	0,325	1,173	1,563	86,95	38,90	-39,04	1,816	1,780	1,258	96,50	38,30	-24,10
21	0,361	1,136	1,567	90,77	39,26	-37,60	1,832	1,765	1,280	97,38	38,22	-22,44
22	0,359	1,203	1,566	91,60	40,02	-36,59	1,905	1,696	1,282	97,79	39,00	-22,43
23	0,321	1,240	1,562	91,90	41,74	-35,51	1,950	1,706	1,325	98,10	39,67	-21,58
24	0,278	1,294	1,536	91,07	42,80	-35,25	1,994	1,683	1,331	98,56	39,87	-20,64
25	0,297	1,287	1,536	88,08	43,20	-34,18	2,003	1,649	1,320	98,90	40,23	-19,62
26	0,278	1,290	1,523	93,26	44,09	-33,19	1,992	1,641	1,340	99,63	40,81	-18,73
27	0,326	1,299	1,532	93,02	45,94	-32,96	2,014	1,571	1,359	100,02	40,63	-17,57
28	0,296	1,277	1,524	88,76	47,51	-31,67	1,971	1,569	1,303	100,98	41,21	-15,46
29	0,327	1,235	1,543	97,44	47,78	-29,74	1,970	1,557	1,325	101,71	41,94	-15,30
30	0,320	1,252	1,516	92,88	49,05	-29,72	1,953	1,525	1,305	101,82	42,78	-13,94
31	0,315	1,246	1,543	94,32	49,64	-28,31	1,949	1,491	1,302	102,59	42,51	-12,94
32	0,317	1,223	1,525	95,00	50,74	-27,57	1,914	1,437	1,299	102,90	43,49	-11,59
33	0,341	1,134	1,557	100,08	51,72	-25,22	1,907	1,434	1,322	103,17	44,14	-10,66
34	0,313	1,142	1,556	97,17	52,95	-24,35	1,898	1,409	1,298	103,33	44,24	-8,96
35	0,306	1,094	1,564	100,41	54,51	-23,53	1,849	1,373	1,299	103,72	44,85	-8,00
36	0,349	1,010	1,592	107,13	55,32	-21,79	1,755	1,333	1,249	104,85	45,29	-7,53
37	0,335	0,999	1,595	109,04	56,01	-20,97	1,820	1,318	1,291	104,82	45,61	-6,24

38	0,304	0,951	1,607	108,80	58,11	-19,80	1,748	1,283	1,244	104,77	46,55	-5,33
39	0,313	0,898	1,607	108,66	59,03	-19,00	1,783	1,254	1,311	103,75	47,41	-3,93
40	0,374	0,826	1,603	108,86	60,07	-17,77	1,796	1,206	1,313	103,81	46,86	-3,65
41	0,369	0,746	1,619	111,08	60,57	-16,65	1,746	1,199	1,282	102,90	48,68	-2,53
42	0,356	0,716	1,638	111,42	63,22	-15,08	1,786	1,119	1,296	102,38	47,69	-1,33
43	0,384	0,568	1,689	120,38	64,73	-12,93	1,667	1,129	1,292	102,59	49,42	-0,61
44	0,385	0,542	1,670	117,10	65,10	-12,49	1,705	1,101	1,272	101,07	50,04	0,99
45	0,338	0,548	1,658	117,52	66,62	-11,65	1,738	1,058	1,320	100,59	49,76	2,29
46	0,380	0,430	1,677	120,05	68,58	-10,27	1,714	1,023	1,329	99,50	50,82	3,29
47	0,448	0,349	1,709	120,38	70,60	-8,99	1,704	0,967	1,333	98,75	49,90	4,24
48	0,426	0,274	1,752	123,53	73,39	-6,87	1,696	0,936	1,308	97,32	51,25	5,11
49	0,461	0,207	1,752	121,85	78,14	-5,91	1,697	0,908	1,329	96,51	50,82	6,17
50	0,454	0,120	1,764	125,42	91,56	-4,71	1,559	0,874	1,329	94,94	51,89	7,32
51	0,495	0,054	1,797	129,31	-178,41	-2,98	1,456	0,829	1,321	93,06	52,49	8,21
52	0,519	0,103	1,781	128,27	-135,89	-2,36	1,411	0,770	1,301	90,27	52,42	9,14
53	0,526	0,176	1,826	129,10	-124,45	-0,63	1,444	0,732	1,321	88,67	52,26	10,21
54	0,530	0,251	1,827	130,21	-119,92	0,34	1,328	0,700	1,319	85,52	53,59	11,29
55	0,530	0,373	1,845	134,19	-114,11	1,71	1,225	0,686	1,314	82,25	55,68	12,28
56	0,586	0,474	1,846	135,01	-111,37	2,52	1,061	0,604	1,301	77,20	53,00	13,40
57	0,583	0,527	1,888	137,79	-110,14	4,23	1,118	0,544	1,305	78,06	52,13	14,41
58	0,596	0,611	1,889	137,07	-108,20	5,25	1,028	0,510	1,315	70,96	52,41	15,46
59	0,595	0,707	1,963	139,40	-105,20	7,61	1,045	0,500	1,339	68,84	57,09	16,50
60	0,594	0,837	1,847	141,38	-102,71	7,34	0,942	0,464	1,316	61,85	55,97	17,52
61	0,463	0,824	1,701	143,98	-100,77	6,93	0,919	0,498	1,289	56,26	60,31	18,60
62	0,462	0,893	1,732	144,80	-99,25	8,51	0,887	0,482	1,286	51,19	62,78	19,60
63	0,480	0,991	1,816	146,78	-97,84	11,10	0,885	0,497	1,306	47,70	68,63	20,64
64	0,134	0,714	1,024	-39,15	-96,97	10,55	0,914	0,644	1,163	46,83	71,78	21,65
65	0,217	0,765	1,018	-37,54	-96,00	13,63	0,907	0,642	1,135	42,25	72,32	22,69
66	0,148	0,852	1,105	-35,24	-94,55	15,75	0,911	0,591	1,164	40,12	74,93	23,61
67	0,240	0,832	1,048	-37,59	-94,86	18,23	0,902	0,576	1,153	33,75	76,36	25,11
68	0,298	0,828	1,045	-36,86	-95,52	18,64	0,924	0,549	1,141	32,85	76,30	25,85
69	0,129	1,046	1,227	-34,91	-92,97	21,86	0,949	0,478	1,153	29,39	81,40	26,87
70	0,146	1,058	1,298	-38,84	-92,81	23,47	0,946	0,515	1,158	27,21	82,37	27,80
71	0,208	1,067	1,226	-32,11	-92,64	23,46	0,978	0,440	1,162	28,09	82,81	28,78
72	0,194	1,106	1,297	-32,27	-92,16	25,02	1,000	0,414	1,190	28,85	83,91	29,62
73	0,177	1,173	1,250	-30,79	-91,63	26,19	1,025	0,348	1,126	25,76	86,34	31,01
74	0,230	1,177	1,241	-27,83	-91,79	26,80	1,060	0,319	1,074	23,15	88,58	32,14
75	0,131	1,307	1,353	-31,07	-90,43	28,56	1,066	0,260	1,086	23,87	92,98	33,08
76	0,090	1,366	1,389	-25,64	-89,76	29,52	1,088	0,233	1,104	21,65	100,52	33,86
77	0,067	1,405	1,429	-23,03	-88,81	31,30	1,110	0,189	1,127	25,13	107,32	34,83
78	0,147	1,439	1,387	-21,35	-88,68	31,95	1,139	0,167	1,110	21,97	117,96	35,72
79	0,080	1,525	1,393	-12,15	-87,99	34,03	1,166	0,085	1,057	23,76	124,82	36,64
80	0,113	1,523	1,390	-17,14	-88,38	34,17	1,201	0,084	1,036	19,60	159,99	37,63
81	0,062	1,614	1,418	-11,17	-87,00	36,11	1,220	0,099	1,051	18,93	-173,08	38,63

82	0,090	1,601	1,457	-11,91	-86,43	36,21	1,243	0,122	1,066	18,37	-156,06	39,91
83	0,048	1,677	1,440	-14,93	-85,95	38,35	1,269	0,168	1,019	17,46	-144,03	40,92
84	0,057	1,695	1,388	-12,66	-85,19	39,06	1,322	0,198	0,940	14,15	-123,58	41,68
85	0,077	1,686	1,361	-9,19	-84,84	40,28	1,350	0,246	0,953	15,02	-116,37	42,65
86	0,041	1,742	1,341	-7,48	-84,25	41,83	1,406	0,300	0,914	12,43	-108,17	43,63
87	0,057	1,757	1,317	2,80	-83,57	42,64	1,412	0,373	0,921	15,30	-106,90	44,47
88	0,019	1,811	1,351	-18,27	-83,00	43,47	1,462	0,424	0,913	13,85	-103,55	45,44
89	0,078	1,777	1,304	-8,92	-82,82	43,57	1,483	0,480	0,927	13,86	-101,04	46,33
90	0,079	1,824	1,285	-5,22	-81,57	45,50	1,520	0,619	0,946	13,83	-100,04	47,41
91	0,092	1,803	1,285	-14,20	-81,24	46,11	1,544	0,617	0,951	13,51	-97,19	48,45
92	0,114	1,811	1,203	-9,79	-80,42	47,33	1,582	0,708	0,934	13,52	-94,03	49,33
93	0,195	1,770	1,129	-6,52	-80,68	48,43	1,613	0,777	0,922	14,84	-93,21	50,39
94	0,175	1,801	1,124	-4,73	-79,14	49,52	1,633	0,836	0,910	14,04	-90,49	51,25
95	0,191	1,824	1,057	-3,43	-78,02	50,50	1,662	0,909	0,926	13,96	-89,00	52,40
96	0,228	1,794	1,096	-5,36	-77,93	50,63	1,670	1,048	0,968	14,97	-90,30	53,53
97	0,264	1,768	0,964	-2,61	-77,50	51,69	1,696	1,099	0,947	15,43	-86,21	54,55
98	0,236	1,799	0,982	-1,41	-76,02	52,79	1,714	1,120	0,951	15,75	-84,97	55,60
99	0,294	1,758	0,988	-3,32	-75,63	52,94	1,713	1,209	0,977	16,02	-82,66	55,75
100	0,319	1,753	0,917	-1,85	-75,43	54,38	1,764	1,132	0,984	16,11	-80,63	57,85
101	0,336	1,760	0,892	1,30	-74,18	55,54	1,781	1,120	0,949	16,18	-78,77	58,68
102	0,358	1,779	0,890	0,70	-72,41	57,08	1,766	1,312	1,044	17,41	-75,41	58,40
103	0,383	1,750	0,892	0,47	-72,70	56,96	1,804	1,256	1,008	17,48	-74,20	59,88
104	0,364	1,801	0,868	2,50	-70,35	59,49	1,823	1,318	1,033	18,22	-71,36	60,34
105	0,466	1,721	0,815	2,23	-71,42	58,54	1,843	1,360	1,099	18,67	-69,02	61,31
106	0,376	1,765	0,813	4,07	-69,47	60,17	1,875	1,053	1,008	18,56	-65,22	63,85
107	0,495	1,745	0,772	5,33	-69,05	61,26	1,827	1,345	1,130	20,05	-64,08	63,29
108	0,491	1,757	0,784	5,38	-67,42	62,96	1,833	1,410	1,178	21,36	-63,01	64,34
109	0,434	1,758	0,796	6,87	-66,44	63,40	1,886	1,189	1,031	20,32	-61,06	66,13
110	0,426	1,762	0,792	7,99	-66,13	65,08	1,876	1,182	1,043	21,78	-59,26	67,38
111	0,374	1,813	0,796	9,03	-63,68	66,59	1,923	1,135	1,010	22,08	-57,33	68,36
112	0,601	1,727	0,689	9,78	-64,14	67,52	1,862	1,471	1,288	22,39	-56,71	68,71
113	0,460	1,752	0,747	10,79	-63,28	66,37	1,940	1,074	1,028	22,09	-52,99	70,38
114	0,423	1,778	0,740	11,92	-61,30	68,14	1,952	1,101	1,055	23,20	-50,22	71,45
115	0,405	1,807	0,755	13,43	-60,25	68,65	1,978	1,037	0,978	23,53	-50,80	72,12
116	0,450	1,788	0,698	13,33	-59,21	71,39	1,974	1,143	1,048	23,54	-49,85	73,22
117	0,420	1,799	0,721	15,00	-58,08	71,43	1,973	1,149	1,063	24,28	-48,46	74,25
118	0,489	1,734	0,696	16,32	-58,34	69,65	1,979	1,142	1,080	25,47	-46,37	75,24
119	0,478	1,776	0,685	17,30	-56,25	72,76	1,984	1,164	1,090	25,14	-46,18	76,04

PŘÍLOHA V: ROTOR 4 – VÝPOČTY

Rotor 4 - výpočty											
α	F_{1-120}	F_{2-120}	F_{3-120}	M_{k-120}	φ_{1-120}	φ_{2-120}	φ_{3-120}	F_x	F_y	F	φ
[°]	[N]	[N]	[N]	[N.m]	[°]	[°]	[°]	[N]	[N]	[N]	[°]
0	0,769	1,094	1,285	0,148	76,15	24,49	-50,88	1,991	0,203	2,001	5,83
1	0,757	1,095	1,276	0,147	76,52	25,45	-51,20	1,965	0,212	1,976	6,15
2	0,773	1,121	1,280	0,147	77,33	25,80	-48,91	2,020	0,278	2,039	7,83
3	0,774	1,126	1,301	0,146	78,72	26,14	-47,24	2,046	0,300	2,067	8,34
4	0,755	1,125	1,286	0,144	79,76	27,39	-46,54	2,017	0,327	2,044	9,21
5	0,780	1,138	1,294	0,144	80,39	27,47	-45,53	2,047	0,370	2,080	10,26
6	0,778	1,146	1,305	0,142	81,84	28,09	-44,23	2,056	0,399	2,094	10,98
7	0,782	1,152	1,288	0,144	83,32	28,57	-43,91	2,030	0,434	2,076	12,06
8	0,784	1,194	1,279	0,139	83,69	29,33	-42,98	2,063	0,493	2,121	13,43
9	0,827	1,224	1,292	0,142	84,37	30,32	-42,30	2,093	0,571	2,170	15,27
10	0,847	1,247	1,313	0,143	85,96	30,54	-40,92	2,125	0,619	2,214	16,23
11	0,797	1,216	1,297	0,139	86,59	31,76	-40,09	2,074	0,600	2,159	16,13
12	0,815	1,215	1,310	0,137	88,45	32,52	-38,77	2,068	0,647	2,167	17,39
13	0,903	1,291	1,324	0,147	89,78	33,01	-38,30	2,125	0,786	2,266	20,30
14	0,917	1,285	1,319	0,145	90,19	33,57	-37,18	2,118	0,830	2,275	21,41
15	0,933	1,322	1,307	0,146	91,32	34,54	-36,70	2,116	0,901	2,300	23,08
16	0,914	1,271	1,294	0,142	92,29	35,03	-34,83	2,066	0,904	2,256	23,63
17	0,914	1,239	1,273	0,143	92,74	35,80	-33,54	2,022	0,934	2,228	24,80
18	0,954	1,272	1,259	0,145	93,41	36,28	-33,37	2,020	1,013	2,259	26,63
19	0,983	1,294	1,262	0,146	93,97	37,37	-32,67	2,023	1,084	2,296	28,19
20	0,949	1,316	1,241	0,142	95,07	38,47	-32,23	1,997	1,102	2,281	28,89
21	0,969	1,292	1,253	0,145	96,32	38,57	-30,65	1,982	1,129	2,281	29,68
22	1,003	1,292	1,252	0,148	96,83	39,38	-30,06	1,963	1,189	2,295	31,19
23	1,004	1,310	1,272	0,151	97,22	40,43	-29,08	1,982	1,228	2,331	31,78
24	1,007	1,318	1,262	0,152	97,71	41,04	-28,53	1,968	1,261	2,337	32,65
25	1,022	1,303	1,259	0,155	97,52	41,47	-27,45	1,960	1,296	2,349	33,48
26	1,004	1,301	1,259	0,153	98,94	42,21	-26,36	1,936	1,307	2,336	34,03
27	1,028	1,275	1,274	0,160	99,15	42,97	-25,59	1,919	1,333	2,336	34,80
28	1,000	1,261	1,239	0,157	99,55	43,96	-24,11	1,873	1,355	2,311	35,89
29	1,015	1,235	1,261	0,161	101,28	44,41	-23,06	1,844	1,366	2,295	36,52
30	1,007	1,227	1,230	0,163	100,70	45,54	-22,38	1,810	1,397	2,286	37,66
31	1,006	1,210	1,252	0,165	101,60	45,67	-21,24	1,810	1,398	2,287	37,67
32	0,988	1,178	1,242	0,169	101,90	46,70	-20,26	1,769	1,394	2,252	38,24
33	0,997	1,133	1,240	0,172	102,90	47,37	-18,48	1,721	1,412	2,226	39,37
34	0,977	1,122	1,240	0,172	102,77	48,01	-17,55	1,717	1,413	2,223	39,46
35	0,952	1,082	1,239	0,177	103,57	48,99	-16,72	1,673	1,385	2,172	39,62
36	0,930	1,035	1,245	0,179	105,34	49,46	-15,49	1,627	1,351	2,114	39,71
37	0,947	1,019	1,261	0,184	105,81	49,98	-14,47	1,618	1,376	2,124	40,36

38	0,906	0,978	1,243	0,186	105,81	51,27	-13,65	1,573	1,341	2,067	40,45
39	0,929	0,938	1,259	0,197	105,06	52,14	-12,45	1,563	1,367	2,077	41,17
40	0,953	0,899	1,282	0,213	104,75	52,12	-11,34	1,566	1,379	2,086	41,36
41	0,933	0,858	1,277	0,214	104,39	53,08	-10,45	1,539	1,358	2,053	41,42
42	0,944	0,804	1,292	0,224	104,09	53,55	-9,13	1,523	1,357	2,040	41,70
43	0,896	0,748	1,317	0,224	105,92	54,36	-7,58	1,495	1,296	1,979	40,90
44	0,917	0,718	1,292	0,231	104,29	54,75	-6,79	1,471	1,322	1,978	41,94
45	0,903	0,697	1,294	0,236	103,83	55,30	-5,75	1,468	1,321	1,975	41,98
46	0,903	0,630	1,285	0,243	104,01	55,90	-4,38	1,416	1,300	1,923	42,55
47	0,930	0,575	1,332	0,259	103,42	55,11	-3,19	1,443	1,302	1,944	42,06
48	0,909	0,528	1,345	0,263	102,62	56,03	-1,76	1,441	1,284	1,930	41,69
49	0,921	0,479	1,343	0,272	102,41	55,50	-0,87	1,416	1,273	1,904	41,96
50	0,868	0,426	1,347	0,273	102,03	56,12	0,36	1,404	1,211	1,854	40,79
51	0,824	0,353	1,369	0,278	102,14	55,23	1,75	1,397	1,137	1,801	39,14
52	0,776	0,290	1,346	0,280	100,67	53,11	2,45	1,375	1,052	1,731	37,44
53	0,792	0,242	1,378	0,290	99,39	50,58	3,91	1,400	1,063	1,757	37,21
54	0,724	0,194	1,379	0,292	98,09	48,84	4,88	1,400	0,981	1,709	35,01
55	0,660	0,138	1,383	0,291	97,17	42,12	6,08	1,395	0,894	1,657	32,66
56	0,609	0,085	1,384	0,293	96,43	8,15	7,01	1,390	0,787	1,597	29,51
57	0,619	0,077	1,406	0,306	97,03	-28,92	8,32	1,383	0,781	1,588	29,45
58	0,608	0,101	1,406	0,310	94,28	-57,47	9,39	1,396	0,751	1,585	28,28
59	0,595	0,132	1,457	0,318	93,08	-72,75	11,20	1,436	0,752	1,621	27,62
60	0,528	0,196	1,390	0,303	90,63	-79,58	11,55	1,392	0,614	1,521	23,80
61	0,459	0,181	1,309	0,279	82,59	-76,80	11,89	1,381	0,549	1,487	21,67
62	0,428	0,208	1,331	0,280	78,44	-79,76	13,30	1,418	0,521	1,511	20,16
63	0,421	0,256	1,390	0,293	79,72	-85,34	15,15	1,438	0,523	1,530	19,97
64	0,414	0,074	0,958	0,183	38,27	-44,86	16,52	1,297	0,477	1,381	20,19
65	0,431	0,080	0,926	0,167	27,68	-49,33	18,37	1,313	0,432	1,382	18,20
66	0,449	0,084	0,987	0,174	24,96	-60,03	20,11	1,375	0,455	1,449	18,32
67	0,447	0,128	0,969	0,172	19,88	-76,54	21,58	1,351	0,384	1,405	15,86
68	0,473	0,140	0,956	0,174	17,08	-80,13	22,16	1,362	0,362	1,409	14,88
69	0,455	0,253	1,039	0,195	21,30	-87,71	24,33	1,381	0,341	1,422	13,87
70	0,451	0,248	1,071	0,196	18,97	-88,34	25,34	1,401	0,357	1,446	14,30
71	0,491	0,283	1,044	0,194	17,60	-89,21	26,17	1,409	0,326	1,446	13,04
72	0,492	0,314	1,087	0,204	18,93	-89,60	27,13	1,435	0,341	1,475	13,37
73	0,502	0,373	1,040	0,204	17,70	-90,77	28,19	1,390	0,271	1,416	11,02
74	0,547	0,381	1,025	0,195	14,13	-91,73	29,24	1,414	0,253	1,436	10,15
75	0,517	0,473	1,081	0,217	17,41	-90,98	30,29	1,418	0,227	1,436	9,10
76	0,516	0,507	1,102	0,225	17,67	-91,68	31,54	1,416	0,226	1,434	9,08
77	0,515	0,545	1,127	0,234	22,29	-91,14	33,00	1,410	0,264	1,435	10,61
78	0,555	0,578	1,095	0,227	16,83	-91,81	33,51	1,426	0,187	1,438	7,48
79	0,549	0,646	1,073	0,231	21,19	-89,62	35,20	1,393	0,171	1,404	7,01
80	0,581	0,665	1,061	0,228	15,90	-90,96	35,79	1,409	0,115	1,413	4,66
81	0,571	0,730	1,091	0,237	16,80	-90,20	37,16	1,414	0,094	1,417	3,81

82	0,593	0,749	1,108	0,242	15,89	-90,61	37,70	1,439	0,091	1,442	3,63
83	0,586	0,793	1,084	0,240	15,74	-90,34	39,40	1,397	0,054	1,398	2,22
84	0,616	0,826	1,033	0,229	12,61	-88,81	40,03	1,410	-0,026	1,410	-1,07
85	0,640	0,847	1,034	0,231	13,22	-88,65	41,17	1,422	-0,020	1,422	-0,81
86	0,648	0,899	1,000	0,227	11,47	-87,62	42,42	1,410	-0,095	1,413	-3,87
87	0,658	0,938	0,990	0,232	14,33	-87,48	43,28	1,399	-0,096	1,403	-3,92
88	0,664	0,983	1,001	0,232	13,03	-86,64	44,33	1,420	-0,133	1,426	-5,34
89	0,698	0,994	0,983	0,230	12,26	-86,52	44,71	1,440	-0,153	1,448	-6,04
90	0,711	1,075	0,980	0,239	12,60	-86,03	46,35	1,445	-0,209	1,460	-8,21
91	0,730	1,062	0,987	0,231	11,58	-85,15	47,09	1,477	-0,189	1,489	-7,29
92	0,756	1,104	0,943	0,225	11,67	-84,22	48,19	1,480	-0,243	1,500	-9,31
93	0,802	1,123	0,903	0,223	12,38	-84,30	49,15	1,485	-0,262	1,508	-10,01
94	0,800	1,160	0,894	0,218	12,08	-82,61	50,32	1,502	-0,295	1,530	-11,11
95	0,820	1,209	0,871	0,216	12,02	-81,62	51,31	1,523	-0,345	1,561	-12,78
96	0,840	1,252	0,902	0,227	12,37	-82,38	51,95	1,543	-0,351	1,582	-12,80
97	0,869	1,272	0,840	0,218	12,85	-80,67	53,12	1,557	-0,390	1,605	-14,06
98	0,867	1,291	0,853	0,216	13,53	-79,38	54,17	1,580	-0,375	1,624	-13,33
99	0,885	1,309	0,862	0,218	13,06	-78,27	54,34	1,631	-0,381	1,675	-13,14
100	0,922	1,275	0,830	0,203	13,24	-77,35	56,21	1,638	-0,343	1,674	-11,83
101	0,944	1,317	0,825	0,206	13,72	-75,91	56,56	1,693	-0,365	1,732	-12,16
102	0,912	1,318	0,814	0,200	14,74	-73,45	58,30	1,685	-0,339	1,718	-11,37
103	0,947	1,240	0,811	0,185	14,55	-73,01	59,00	1,697	-0,253	1,716	-8,49
104	0,963	1,380	0,848	0,204	15,60	-70,68	59,88	1,810	-0,310	1,836	-9,72
105	1,010	1,325	0,828	0,193	15,33	-70,21	60,30	1,833	-0,261	1,851	-8,10
106	0,994	1,241	0,793	0,173	16,09	-67,76	62,22	1,794	-0,171	1,803	-5,46
107	1,027	1,371	0,841	0,196	16,87	-66,79	62,54	1,912	-0,215	1,924	-6,42
108	0,977	1,282	0,813	0,179	18,26	-64,94	64,34	1,823	-0,122	1,827	-3,84
109	1,074	1,373	0,860	0,190	17,59	-64,41	64,56	1,987	-0,137	1,991	-3,95
110	1,014	1,250	0,787	0,169	19,13	-62,99	66,37	1,841	-0,060	1,842	-1,87
111	1,008	1,288	0,795	0,170	19,96	-61,22	67,56	1,871	-0,050	1,872	-1,55
112	1,036	1,270	0,787	0,164	19,42	-60,12	68,56	1,897	-0,024	1,897	-0,74
113	1,070	1,270	0,797	0,165	19,92	-59,84	68,66	1,934	0,009	1,934	0,28
114	1,087	1,284	0,826	0,164	21,11	-57,39	69,96	1,989	0,086	1,991	2,47
115	1,055	1,266	0,759	0,155	21,72	-56,96	70,78	1,921	0,046	1,921	1,38
116	1,072	1,296	0,765	0,155	21,61	-55,68	72,57	1,957	0,054	1,957	1,58
117	1,059	1,298	0,782	0,157	22,59	-54,40	73,17	1,960	0,100	1,963	2,91
118	1,089	1,263	0,770	0,153	23,61	-53,69	73,12	1,970	0,155	1,976	4,50
119	1,085	1,294	0,772	0,152	23,57	-52,37	74,91	1,985	0,155	1,991	4,45

PŘÍLOHA VI: ROTOR 8 – VÝPOČTY

Rotor 8 - výpočty											
α	F_{1-120}	F_{2-120}	F_{3-120}	M_{k-120}	φ_{1-120}	φ_{2-120}	φ_{3-120}	F_x	F_y	F	φ
[°]	[N]	[N]	[N]	[N.m]	[°]	[°]	[°]	[N]	[N]	[N]	[°]
0	3,102	4,365	5,166	0,599	76,08	24,61	-50,81	7,980	0,825	8,022	5,90
1	3,127	4,428	5,150	0,599	76,37	25,54	-51,02	7,972	0,944	8,027	6,75
2	3,114	4,463	5,112	0,594	77,27	25,89	-48,98	8,056	1,130	8,135	7,98
3	3,108	4,479	5,205	0,589	78,59	26,25	-47,31	8,161	1,202	8,249	8,38
4	3,038	4,492	5,166	0,581	79,65	27,50	-46,56	8,082	1,311	8,188	9,21
5	3,136	4,551	5,216	0,581	80,39	27,60	-45,55	8,209	1,477	8,341	10,20
6	3,111	4,562	5,235	0,572	81,69	28,20	-44,30	8,217	1,577	8,367	10,86
7	3,189	4,668	5,237	0,584	83,26	28,69	-43,89	8,243	1,778	8,433	12,17
8	3,160	4,733	5,093	0,561	83,66	29,44	-43,14	8,187	1,984	8,424	13,62
9	3,174	4,761	5,083	0,557	84,49	30,45	-42,42	8,162	2,143	8,438	14,71
10	3,435	4,993	5,291	0,582	85,90	30,60	-41,08	8,531	2,491	8,887	16,28
11	3,440	5,035	5,266	0,577	86,51	31,85	-40,13	8,513	2,697	8,930	17,58
12	3,651	5,119	5,422	0,596	88,31	32,68	-39,20	8,619	2,987	9,122	19,11
13	3,614	5,159	5,339	0,595	89,71	33,08	-38,46	8,522	3,110	9,072	20,05
14	3,695	5,125	5,290	0,584	90,11	33,64	-37,17	8,475	3,338	9,108	21,50
15	3,748	5,280	5,241	0,591	91,21	34,62	-36,79	8,463	3,608	9,200	23,09
16	3,694	5,111	5,217	0,576	92,19	35,10	-34,97	8,316	3,640	9,078	23,64
17	3,664	4,947	5,107	0,577	92,67	35,89	-33,54	8,094	3,739	8,916	24,79
18	3,841	5,086	5,045	0,586	93,34	36,43	-33,53	8,074	4,068	9,041	26,74
19	3,920	5,116	5,033	0,588	94,07	37,50	-32,94	8,004	4,287	9,080	28,17
20	3,813	5,255	4,977	0,574	95,01	38,59	-32,39	7,977	4,411	9,115	28,94
21	3,900	5,161	5,026	0,587	96,31	38,66	-30,74	7,921	4,532	9,126	29,77
22	4,035	5,155	5,022	0,600	96,77	39,44	-30,17	7,847	4,758	9,177	31,23
23	4,045	5,244	5,115	0,611	97,22	40,57	-29,15	7,942	4,932	9,349	31,84
24	4,064	5,283	5,067	0,616	97,59	41,17	-28,51	7,893	5,089	9,391	32,81
25	4,108	5,216	5,028	0,620	97,49	41,56	-27,50	7,828	5,212	9,404	33,65
26	4,027	5,223	5,074	0,616	98,80	42,28	-26,38	7,794	5,239	9,391	33,91
27	4,153	5,113	5,106	0,648	98,98	43,08	-25,74	7,686	5,377	9,380	34,98
28	4,041	5,057	4,981	0,639	99,34	44,08	-24,31	7,516	5,455	9,287	35,97
29	4,058	4,968	5,043	0,642	101,08	44,56	-22,95	7,403	5,502	9,224	36,62
30	4,061	4,931	4,972	0,663	100,51	45,64	-22,48	7,301	5,618	9,212	37,58
31	4,043	4,855	5,018	0,665	101,44	45,77	-21,33	7,259	5,616	9,178	37,73
32	4,005	4,698	4,992	0,690	101,88	46,83	-20,46	7,067	5,600	9,017	38,39
33	4,024	4,546	5,054	0,705	102,76	47,57	-18,66	6,966	5,663	8,978	39,11
34	3,945	4,510	5,023	0,701	102,55	48,22	-17,65	6,935	5,690	8,970	39,37
35	3,846	4,339	5,003	0,719	103,49	49,18	-16,82	6,728	5,576	8,739	39,65
36	3,737	4,165	5,037	0,725	105,14	49,68	-15,48	6,573	5,439	8,532	39,61
37	3,851	4,093	5,089	0,749	105,55	50,17	-14,52	6,516	5,577	8,577	40,56

38	3,658	3,952	5,024	0,753	105,35	51,54	-13,53	6,373	5,447	8,383	40,52
39	3,728	3,796	5,102	0,795	104,61	52,36	-12,37	6,361	5,520	8,422	40,95
40	3,838	3,604	5,156	0,858	104,59	52,32	-11,40	6,291	5,547	8,387	41,41
41	3,760	3,440	5,115	0,859	104,30	53,31	-10,45	6,157	5,474	8,239	41,64
42	3,809	3,237	5,172	0,895	103,86	53,87	-8,97	6,105	5,506	8,222	42,05
43	3,611	3,014	5,272	0,899	105,76	54,67	-7,48	5,989	5,248	7,963	41,23
44	3,692	2,906	5,222	0,932	103,84	55,16	-6,63	5,964	5,367	8,023	41,98
45	3,673	2,819	5,225	0,955	103,47	55,61	-5,59	5,937	5,389	8,018	42,23
46	3,680	2,548	5,258	0,994	103,41	56,19	-4,39	5,807	5,294	7,858	42,35
47	3,790	2,309	5,355	1,049	103,27	55,49	-3,26	5,785	5,287	7,837	42,43
48	3,715	2,122	5,397	1,066	102,60	56,46	-1,84	5,756	5,221	7,771	42,20
49	3,785	1,937	5,415	1,105	102,12	55,95	-0,80	5,704	5,231	7,740	42,52
50	3,501	1,723	5,475	1,105	101,70	56,56	0,42	5,714	4,906	7,531	40,65
51	3,351	1,418	5,516	1,123	102,07	55,70	1,73	5,612	4,615	7,265	39,43
52	3,305	1,185	5,438	1,155	100,39	53,90	2,42	5,536	4,438	7,096	38,72
53	3,354	0,988	5,544	1,190	99,31	51,52	3,84	5,603	4,454	7,158	38,48
54	3,210	0,812	5,539	1,211	98,03	50,67	4,81	5,585	4,271	7,031	37,40
55	3,040	0,587	5,573	1,223	97,60	44,98	5,99	5,555	4,009	6,851	35,82
56	2,794	0,349	5,562	1,230	97,70	14,20	6,92	5,485	3,525	6,520	32,73
57	2,791	0,290	5,625	1,271	98,27	-23,04	8,24	5,433	3,454	6,438	32,45
58	2,521	0,373	5,642	1,260	94,92	-56,14	9,32	5,560	3,115	6,373	29,26
59	2,508	0,475	5,843	1,293	93,70	-71,65	11,15	5,721	3,182	6,546	29,08
60	2,156	0,784	5,620	1,228	91,33	-80,58	11,60	5,584	2,512	6,123	24,22
61	1,867	0,665	5,269	1,123	82,62	-75,99	11,89	5,557	2,291	6,010	22,41
62	1,715	0,761	5,333	1,118	78,19	-79,28	13,15	5,686	2,144	6,076	20,66
63	1,668	0,924	5,505	1,155	78,42	-85,28	14,96	5,730	2,134	6,114	20,43
64	1,665	0,264	3,834	0,729	38,07	-40,14	16,65	5,186	1,955	5,542	20,65
65	1,752	0,298	3,849	0,687	28,56	-46,11	18,67	5,391	1,855	5,701	18,98
66	1,706	0,510	4,064	0,763	32,04	-73,08	19,77	5,419	1,792	5,708	18,30
67	1,774	0,492	3,885	0,695	20,80	-77,27	21,42	5,383	1,569	5,607	16,25
68	1,876	0,549	3,867	0,706	18,02	-81,35	22,18	5,448	1,498	5,650	15,37
69	1,820	0,980	4,244	0,795	22,33	-88,33	24,28	5,581	1,457	5,768	14,63
70	1,802	0,971	4,390	0,799	20,14	-88,50	25,46	5,681	1,536	5,885	15,13
71	1,939	1,118	4,264	0,799	19,19	-89,73	26,02	5,668	1,390	5,835	13,78
72	1,951	1,236	4,399	0,831	20,56	-89,97	27,16	5,742	1,458	5,924	14,25
73	2,019	1,460	4,234	0,827	18,28	-91,00	28,29	5,620	1,180	5,742	11,85
74	2,171	1,509	4,121	0,789	14,85	-92,07	29,19	5,641	1,057	5,739	10,62
75	2,017	1,869	4,360	0,885	19,11	-91,65	30,41	5,612	0,999	5,701	10,10
76	2,053	2,019	4,418	0,906	18,39	-92,02	31,26	5,653	0,923	5,728	9,27
77	2,041	2,177	4,543	0,948	23,07	-91,38	32,80	5,644	1,084	5,747	10,88
78	2,198	2,308	4,422	0,922	17,92	-92,09	33,53	5,694	0,813	5,751	8,13
79	2,180	2,600	4,347	0,939	21,72	-89,99	35,21	5,577	0,714	5,623	7,29
80	2,289	2,650	4,337	0,934	17,04	-91,58	35,62	5,641	0,548	5,667	5,55
81	2,249	2,880	4,395	0,957	18,05	-90,64	37,35	5,600	0,483	5,620	4,93

82	2,345	2,993	4,546	0,997	16,84	-91,05	37,49	5,797	0,453	5,815	4,47
83	2,324	3,154	4,407	0,978	16,67	-90,67	39,28	5,600	0,303	5,609	3,10
84	2,434	3,311	4,163	0,930	13,31	-89,11	40,01	5,609	-0,074	5,609	-0,75
85	2,520	3,397	4,196	0,946	14,15	-89,12	41,04	5,661	-0,025	5,661	-0,26
86	2,561	3,578	4,053	0,919	12,12	-87,84	42,53	5,626	-0,297	5,634	-3,03
87	2,586	3,740	4,009	0,944	15,39	-87,80	43,33	5,553	-0,300	5,561	-3,09
88	2,619	3,931	4,049	0,942	13,80	-86,97	44,37	5,646	-0,469	5,665	-4,75
89	2,752	3,959	3,995	0,934	13,10	-86,85	44,78	5,734	-0,515	5,757	-5,13
90	2,813	4,283	3,981	0,971	13,62	-86,28	46,30	5,762	-0,734	5,809	-7,26
91	2,879	4,278	3,993	0,944	12,12	-85,43	47,04	5,877	-0,738	5,923	-7,16
92	2,991	4,456	3,797	0,916	12,09	-84,33	48,13	5,899	-0,980	5,979	-9,43
93	3,174	4,511	3,650	0,905	12,82	-84,52	49,21	5,910	-1,023	5,998	-9,82
94	3,195	4,675	3,627	0,887	12,39	-82,84	50,17	6,026	-1,168	6,139	-10,97
95	3,266	4,829	3,529	0,871	12,31	-81,76	51,36	6,087	-1,326	6,230	-12,29
96	3,348	5,027	3,674	0,926	12,68	-82,68	51,87	6,174	-1,361	6,323	-12,43
97	3,451	5,083	3,391	0,879	13,15	-80,94	53,04	6,199	-1,525	6,384	-13,82
98	3,449	5,199	3,480	0,883	13,81	-79,63	53,89	6,336	-1,479	6,507	-13,14
99	3,548	5,328	3,553	0,903	13,28	-78,69	54,01	6,586	-1,535	6,762	-13,12
100	3,652	5,138	3,359	0,830	13,49	-77,66	56,10	6,523	-1,380	6,667	-11,94
101	3,742	5,195	3,293	0,813	13,90	-76,23	56,99	6,663	-1,385	6,806	-11,74
102	3,664	5,108	3,261	0,774	14,82	-73,50	58,66	6,689	-1,175	6,792	-9,96
103	3,755	4,991	3,273	0,756	14,73	-73,47	58,90	6,743	-1,028	6,821	-8,67
104	3,847	5,539	3,381	0,818	15,71	-70,78	59,87	7,225	-1,264	7,334	-9,92
105	4,038	5,392	3,353	0,793	15,68	-70,35	60,08	7,374	-1,080	7,453	-8,33
106	4,068	5,462	3,404	0,790	16,11	-68,35	61,29	7,558	-0,963	7,619	-7,26
107	4,101	5,501	3,387	0,790	16,99	-66,97	62,34	7,647	-0,865	7,696	-6,45
108	4,011	5,424	3,389	0,765	18,14	-65,40	63,97	7,557	-0,638	7,584	-4,82
109	4,284	5,554	3,473	0,775	17,71	-64,55	64,26	7,975	-0,584	7,996	-4,19
110	4,263	5,524	3,473	0,773	19,08	-63,49	65,77	7,920	-0,382	7,930	-2,76
111	4,281	5,666	3,521	0,770	19,77	-61,58	67,24	8,088	-0,288	8,093	-2,04
112	4,379	5,646	3,483	0,755	19,31	-60,80	68,36	8,172	-0,242	8,176	-1,70
113	4,369	5,234	3,259	0,682	19,90	-60,07	68,40	7,919	-0,019	7,919	-0,14
114	4,176	5,046	3,161	0,642	21,29	-57,31	70,02	7,697	0,241	7,701	1,79
115	4,293	5,073	3,156	0,627	21,83	-56,71	70,58	7,818	0,332	7,826	2,43
116	4,265	5,145	3,087	0,620	21,72	-55,61	72,50	7,796	0,276	7,801	2,03
117	4,189	5,154	3,129	0,628	22,75	-54,45	73,09	7,770	0,420	7,782	3,09
118	4,328	5,023	3,115	0,619	23,76	-53,74	72,97	7,845	0,672	7,873	4,90
119	4,335	5,180	3,126	0,613	23,66	-52,34	74,73	7,959	0,654	7,985	4,70

PŘÍLOHA VII: ROTOR 10 – VÝPOČTY

Rotor 10 - výpočty											
α	F_{1-120}	F_{2-120}	F_{3-120}	M_{k-120}	φ_{1-120}	φ_{2-120}	φ_{3-120}	F_x	F_y	F	φ
[°]	[N]	[N]	[N]	[N.m]	[°]	[°]	[°]	[N]	[N]	[N]	[°]
0	4,847	6,820	8,069	0,937	76,10	24,62	-50,86	12,458	1,289	12,524	5,91
1	4,870	6,888	8,047	0,939	76,34	25,57	-51,02	12,425	1,450	12,509	6,66
2	4,860	6,965	7,994	0,930	77,25	25,93	-49,01	12,580	1,752	12,702	7,93
3	4,865	6,985	8,120	0,923	78,60	26,26	-47,37	12,725	1,885	12,863	8,43
4	4,747	7,014	8,083	0,910	79,62	27,52	-46,53	12,636	2,044	12,800	9,19
5	4,907	7,093	8,138	0,911	80,37	27,61	-45,54	12,806	2,317	13,014	10,25
6	4,885	7,132	8,168	0,895	81,77	28,21	-44,28	12,832	2,504	13,074	11,04
7	4,970	7,267	8,152	0,911	83,26	28,71	-43,86	12,835	2,778	13,132	12,21
8	4,858	7,367	7,903	0,861	83,54	29,45	-42,99	12,744	3,061	13,106	13,50
9	4,956	7,440	7,928	0,867	84,51	30,46	-42,36	12,745	3,362	13,181	14,78
10	5,480	7,906	8,296	0,915	85,93	30,62	-41,03	13,450	4,048	14,046	16,75
11	5,349	7,858	8,205	0,896	86,61	31,88	-40,11	13,265	4,204	13,915	17,59
12	5,748	8,023	8,518	0,944	88,25	32,69	-39,32	13,518	4,680	14,305	19,10
13	5,638	8,085	8,348	0,926	89,67	33,09	-38,40	13,348	4,866	14,208	20,03
14	5,781	8,015	8,257	0,912	90,10	33,66	-37,21	13,238	5,230	14,234	21,56
15	5,849	8,243	8,183	0,922	91,22	34,62	-36,74	13,216	5,635	14,367	23,09
16	5,767	7,965	8,142	0,901	92,14	35,10	-34,98	12,973	5,676	14,160	23,63
17	5,728	7,721	7,979	0,903	92,66	35,91	-33,58	12,635	5,837	13,918	24,79
18	5,989	7,964	7,892	0,914	93,30	36,44	-33,46	12,645	6,358	14,154	26,69
19	6,123	8,013	7,873	0,918	94,07	37,51	-32,95	12,528	6,704	14,209	28,15
20	5,957	8,210	7,782	0,899	94,99	38,59	-32,40	12,468	6,886	14,244	28,91
21	6,088	8,035	7,857	0,922	96,32	38,66	-30,88	12,347	7,039	14,213	29,69
22	6,292	8,056	7,854	0,936	96,78	39,46	-30,13	12,270	7,425	14,342	31,18
23	6,322	8,192	7,991	0,954	97,22	40,59	-29,15	12,405	7,708	14,605	31,85
24	6,329	8,265	7,903	0,955	97,61	41,18	-28,47	12,330	7,948	14,670	32,81
25	6,414	8,154	7,852	0,966	97,49	41,58	-27,46	12,230	8,150	14,697	33,68
26	6,291	8,169	7,934	0,962	98,77	42,30	-26,34	12,193	8,194	14,691	33,90
27	6,483	8,009	7,992	1,012	98,99	43,13	-25,77	12,029	8,404	14,674	34,94
28	6,330	7,905	7,791	1,003	99,31	44,10	-24,37	11,749	8,534	14,522	35,99
29	6,337	7,764	7,884	1,003	101,06	44,57	-22,93	11,576	8,597	14,419	36,60
30	6,391	7,694	7,773	1,047	100,51	45,66	-22,62	11,387	8,797	14,390	37,69
31	6,323	7,591	7,842	1,040	101,41	45,80	-21,35	11,346	8,786	14,350	37,75
32	6,257	7,354	7,795	1,075	101,82	46,86	-20,44	11,052	8,768	14,108	38,43
33	6,309	7,104	7,909	1,107	102,71	47,60	-18,69	10,895	8,866	14,047	39,14
34	6,196	7,045	7,852	1,101	102,50	48,24	-17,67	10,832	8,921	14,033	39,47
35	6,025	6,789	7,846	1,129	103,41	49,23	-16,82	10,547	8,731	13,692	39,62
36	5,855	6,514	7,874	1,135	105,07	49,73	-15,49	10,276	8,520	13,349	39,66

37	6,029	6,401	7,955	1,172	105,52	50,22	-14,50	10,184	8,736	13,418	40,62
38	5,719	6,182	7,858	1,177	105,32	51,58	-13,54	9,970	8,520	13,114	40,51
39	5,834	5,935	7,975	1,243	104,59	52,41	-12,38	9,941	8,639	13,170	40,99
40	6,013	5,640	8,055	1,341	104,53	52,38	-11,38	9,831	8,699	13,127	41,50
41	5,891	5,389	7,990	1,343	104,22	53,37	-10,39	9,628	8,594	12,905	41,75
42	5,964	5,061	8,087	1,401	103,83	53,93	-8,98	9,541	8,619	12,858	42,09
43	5,661	4,717	8,242	1,407	105,69	54,72	-7,42	9,367	8,236	12,473	41,32
44	5,777	4,551	8,175	1,458	103,75	55,24	-6,65	9,342	8,404	12,565	41,97
45	5,764	4,413	8,173	1,498	103,39	55,71	-5,61	9,285	8,455	12,558	42,32
46	5,771	3,991	8,235	1,559	103,34	56,27	-4,39	9,096	8,304	12,316	42,39
47	5,935	3,614	8,373	1,642	103,25	55,61	-3,27	9,040	8,282	12,260	42,49
48	5,839	3,321	8,441	1,671	102,61	56,51	-1,84	8,995	8,196	12,169	42,34
49	5,939	3,028	8,465	1,731	102,11	56,03	-0,82	8,909	8,197	12,107	42,62
50	5,474	2,690	8,563	1,728	101,70	56,67	0,41	8,932	7,669	11,772	40,65
51	5,244	2,213	8,624	1,758	102,06	55,84	1,72	8,767	7,218	11,356	39,46
52	5,170	1,856	8,504	1,807	100,38	54,05	2,40	8,655	6,944	11,096	38,74
53	5,250	1,544	8,664	1,862	99,34	51,72	3,81	8,750	6,969	11,186	38,54
54	5,026	1,274	8,654	1,895	98,04	51,01	4,78	8,722	6,689	10,991	37,48
55	4,759	0,917	8,713	1,913	97,65	45,41	5,97	8,676	6,276	10,708	35,88
56	4,544	0,553	8,702	1,949	97,91	16,26	6,89	8,545	5,700	10,272	33,71
57	4,588	0,446	8,805	2,018	98,28	-19,98	8,21	8,473	5,645	10,181	33,67
58	4,132	0,569	8,835	2,000	95,51	-55,17	9,30	8,647	5,074	10,026	30,40
59	4,128	0,713	9,138	2,050	94,06	-70,89	11,13	8,907	5,207	10,318	30,31
60	3,396	1,226	8,791	1,925	91,63	-80,83	11,60	8,710	3,952	9,565	24,41
61	2,911	1,003	8,206	1,748	82,31	-75,47	11,83	8,672	3,597	9,389	22,53
62	2,706	1,163	8,391	1,756	78,23	-79,03	13,19	8,943	3,421	9,575	20,94
63	2,624	1,444	8,639	1,815	78,86	-85,50	14,99	8,965	3,369	9,578	20,60
64	2,591	0,395	6,039	1,152	38,85	-38,43	16,42	8,120	3,087	8,687	20,82
65	2,735	0,456	6,029	1,077	28,76	-45,36	18,63	8,431	2,918	8,921	19,09
66	2,770	0,517	6,286	1,131	27,54	-63,04	20,03	8,596	2,973	9,096	19,08
67	2,776	0,771	6,106	1,092	21,19	-77,33	21,47	8,439	2,487	8,798	16,42
68	2,926	0,865	6,068	1,110	18,38	-81,61	22,18	8,522	2,357	8,842	15,46
69	2,838	1,539	6,676	1,254	22,81	-88,46	24,22	8,745	2,300	9,043	14,73
70	2,816	1,514	6,888	1,255	20,29	-88,72	25,42	8,896	2,419	9,219	15,21
71	3,029	1,740	6,663	1,251	19,40	-89,83	25,94	8,854	2,181	9,119	13,84
72	3,039	1,930	6,877	1,302	20,79	89,85	27,15	8,955	2,287	9,243	14,33
73	3,146	2,290	6,623	1,298	18,53	-91,15	28,26	8,772	1,846	8,964	11,89
74	3,384	2,356	6,464	1,238	15,08	-92,18	29,19	8,821	1,678	8,979	10,77
75	3,157	2,904	6,844	1,388	19,24	-91,69	30,29	8,805	1,589	8,947	10,23
76	3,212	3,142	6,917	1,417	18,60	-92,07	31,31	8,840	1,478	8,963	9,49
77	3,197	3,383	7,118	1,484	23,29	-91,42	32,84	8,833	1,743	9,003	11,16
78	3,426	3,606	6,915	1,444	18,10	-92,13	33,56	8,884	1,284	8,977	8,22
79	3,396	4,057	6,775	1,471	22,25	-90,00	35,09	8,687	1,124	8,759	7,37
80	3,551	4,160	6,820	1,479	17,49	-91,83	35,50	8,806	0,870	8,849	5,64

81	3,509	4,546	6,966	1,523	18,44	-90,78	37,06	8,826	0,763	8,859	4,94
82	3,663	4,647	7,116	1,559	17,20	-91,12	37,53	9,052	0,773	9,085	4,88
83	3,620	4,935	6,887	1,531	17,01	-90,67	39,40	8,726	0,496	8,740	3,25
84	3,791	5,178	6,494	1,454	13,41	-89,15	39,99	8,739	-0,125	8,740	-0,82
85	3,938	5,294	6,531	1,472	14,14	-89,11	41,13	8,819	-0,036	8,819	-0,24
86	3,988	5,601	6,347	1,446	12,39	-87,96	42,47	8,776	-0,456	8,788	-2,97
87	4,043	5,834	6,264	1,473	15,46	-87,81	43,41	8,671	-0,447	8,682	-2,95
88	4,071	6,142	6,349	1,479	14,05	-87,02	44,40	8,805	-0,703	8,833	-4,57
89	4,279	6,202	6,250	1,470	13,37	-86,87	44,69	8,944	-0,808	8,981	-5,16
90	4,349	6,695	6,253	1,538	14,82	-86,33	46,30	8,954	-1,047	9,015	-6,67
91	4,441	6,670	6,255	1,491	13,48	-85,50	47,11	9,099	-1,030	9,157	-6,46
92	4,674	6,961	5,954	1,435	12,21	-84,47	48,13	9,213	-1,506	9,335	-9,28
93	4,953	7,061	5,713	1,419	12,95	-84,57	49,17	9,232	-1,597	9,369	-9,82
94	4,981	7,306	5,673	1,389	12,56	-82,85	50,24	9,399	-1,805	9,571	-10,87
95	5,091	7,550	5,513	1,363	12,38	-81,78	51,34	9,496	-2,076	9,720	-12,33
96	5,197	7,872	5,784	1,468	13,54	-82,81	51,75	9,619	-2,050	9,835	-12,03
97	5,376	7,940	5,305	1,378	13,46	-80,98	53,03	9,664	-2,352	9,946	-13,68
98	5,346	8,112	5,448	1,391	14,57	-79,66	53,89	9,840	-2,234	10,090	-12,79
99	5,539	8,350	5,571	1,420	13,36	-78,85	53,98	10,281	-2,408	10,559	-13,18
100	5,701	8,165	5,344	1,339	14,16	-77,91	55,71	10,249	-2,174	10,477	-11,98
101	5,833	8,097	5,148	1,271	13,99	-76,32	56,99	10,380	-2,140	10,598	-11,65
102	5,679	8,071	5,164	1,242	15,45	-73,56	58,60	10,449	-1,819	10,606	-9,88
103	6,002	8,351	5,299	1,272	14,63	-73,52	58,15	10,972	-1,990	11,151	-10,28
104	5,983	8,630	5,250	1,275	15,94	-70,84	59,91	11,218	-1,966	11,389	-9,94
105	6,161	8,229	5,109	1,211	16,22	-70,42	60,48	11,192	-1,586	11,303	-8,06
106	6,340	8,514	5,308	1,232	16,14	-68,38	61,30	11,777	-1,497	11,871	-7,24
107	6,369	8,568	5,252	1,232	17,31	-67,05	62,32	11,860	-1,344	11,936	-6,47
108	6,273	8,514	5,323	1,206	18,23	-65,45	63,95	11,833	-0,999	11,875	-4,83
109	6,692	8,693	5,444	1,216	17,86	-64,61	64,37	12,453	-0,893	12,485	-4,10
110	6,693	8,659	5,493	1,219	19,22	-63,56	65,78	12,428	-0,541	12,440	-2,49
111	6,665	8,859	5,512	1,211	19,97	-61,59	67,17	12,618	-0,436	12,625	-1,98
112	6,824	8,920	5,512	1,205	19,38	-60,75	68,22	12,841	-0,400	12,847	-1,78
113	6,581	7,775	4,888	1,002	20,14	-59,48	68,64	11,907	0,120	11,908	0,58
114	6,507	7,910	4,952	1,009	21,36	-57,16	70,01	12,043	0,379	12,049	1,80
115	6,656	7,971	4,903	0,987	21,83	-56,61	70,53	12,200	0,442	12,208	2,08
116	6,651	8,056	4,808	0,971	21,73	-55,61	72,47	12,177	0,399	12,183	1,88
117	6,546	8,071	4,896	0,985	22,76	-54,44	73,11	12,153	0,651	12,170	3,07
118	6,766	7,866	4,877	0,971	23,75	-53,69	72,96	12,281	1,049	12,326	4,88
119	6,788	8,112	4,899	0,961	23,68	-52,38	74,66	12,465	1,025	12,507	4,70

PŘÍLOHA VIII: ROTOR 12 – VÝPOČTY

Rotor 12 - výpočty											
α	F_{1-120}	F_{2-120}	F_{3-120}	M_{k-120}	φ_{1-120}	φ_{2-120}	φ_{3-120}	F_x	F_y	F	φ
[°]	[N]	[N]	[N]	[N.m]	[°]	[°]	[°]	[N]	[N]	[N]	[°]
0	6,995	9,822	11,627	1,352	76,05	24,63	-50,84	17,957	1,868	18,054	5,94
1	7,023	9,924	11,597	1,354	76,31	25,58	-50,98	17,915	2,098	18,038	6,68
2	7,017	10,038	11,517	1,342	77,18	25,93	-49,01	18,139	2,538	18,316	7,97
3	6,995	10,048	11,690	1,328	78,56	26,27	-47,36	18,317	2,703	18,515	8,40
4	6,827	10,078	11,635	1,314	79,64	27,54	-46,64	18,152	2,916	18,384	9,13
5	7,063	10,213	11,718	1,312	80,34	27,63	-45,54	18,441	3,336	18,740	10,26
6	7,038	10,301	11,808	1,292	81,68	28,22	-44,34	18,541	3,582	18,883	10,93
7	7,164	10,441	11,712	1,313	83,26	28,72	-43,86	18,442	4,017	18,875	12,29
8	6,955	10,570	11,381	1,240	83,53	29,45	-43,01	18,310	4,345	18,819	13,35
9	7,161	10,724	11,420	1,251	84,51	30,46	-42,40	18,362	4,865	18,996	14,84
10	7,875	11,358	11,952	1,319	85,91	30,62	-41,04	19,350	5,794	20,199	16,67
11	7,579	11,206	11,782	1,281	86,57	31,88	-40,05	18,989	5,902	19,885	17,27
12	8,216	11,495	12,272	1,358	88,19	32,70	-39,25	19,437	6,656	20,545	18,90
13	8,217	11,622	12,005	1,349	89,61	33,11	-38,45	19,194	7,100	20,465	20,30
14	8,386	11,589	11,923	1,322	90,06	33,66	-37,28	19,123	7,587	20,573	21,64
15	8,452	11,861	11,802	1,337	91,19	34,64	-36,81	19,033	8,120	20,692	23,10
16	8,343	11,493	11,744	1,303	92,11	35,11	-35,02	18,711	8,209	20,433	23,69
17	8,252	11,116	11,490	1,302	92,67	35,92	-33,57	18,191	8,411	20,041	24,82
18	8,611	11,457	11,380	1,317	93,29	36,44	-33,48	18,214	9,124	20,371	26,61
19	8,836	11,553	11,338	1,324	94,04	37,52	-32,97	18,053	9,681	20,485	28,20
20	8,601	11,825	11,214	1,300	95,00	38,63	-32,42	17,954	9,937	20,521	28,96
21	8,775	11,570	11,321	1,330	96,31	38,67	-30,89	17,784	10,140	20,472	29,69
22	9,105	11,597	11,327	1,353	96,88	39,49	-30,10	17,659	10,733	20,665	31,29
23	9,128	11,802	11,508	1,378	97,19	40,59	-29,18	17,866	11,124	21,046	31,91
24	9,114	11,893	11,389	1,378	97,59	41,18	-28,47	17,758	11,436	21,122	32,78
25	9,234	11,746	11,295	1,388	97,51	41,60	-27,44	17,600	11,748	21,161	33,72
26	9,065	11,781	11,415	1,383	98,76	42,33	-26,34	17,557	11,827	21,169	33,97
27	9,339	11,531	11,502	1,457	98,92	43,12	-25,77	17,325	12,107	21,136	34,95
28	9,115	11,385	11,223	1,445	99,30	44,12	-24,36	16,924	12,291	20,916	35,99
29	9,120	11,186	11,354	1,442	101,06	44,59	-22,90	16,675	12,385	20,772	36,60
30	9,212	11,089	11,219	1,512	100,51	45,67	-22,62	16,424	12,675	20,746	37,66
31	9,133	10,929	11,300	1,500	101,42	45,83	-21,31	16,334	12,685	20,681	37,83
32	9,005	10,592	11,238	1,550	101,81	46,88	-20,45	15,926	12,620	20,320	38,39
33	9,100	10,235	11,389	1,595	102,69	47,61	-18,71	15,688	12,784	20,238	39,18
34	8,928	10,153	11,323	1,587	102,47	48,26	-17,67	15,621	12,856	20,231	39,45
35	8,692	9,780	11,309	1,630	103,37	49,24	-16,84	15,199	12,588	19,735	39,63
36	8,440	9,379	11,339	1,637	105,05	49,74	-15,51	14,796	12,277	19,226	39,69

37	8,690	9,218	11,463	1,690	105,51	50,25	-14,52	14,669	12,587	19,329	40,63
38	8,250	8,905	11,323	1,699	105,29	51,60	-13,54	14,365	12,287	18,903	40,54
39	8,414	8,550	11,485	1,792	104,56	52,43	-12,39	14,315	12,456	18,976	41,03
40	8,678	8,128	11,601	1,934	104,50	52,41	-11,39	14,158	12,551	18,920	41,56
41	8,501	7,771	11,499	1,933	104,18	53,41	-10,34	13,863	12,418	18,612	41,85
42	8,599	7,286	11,642	2,019	103,84	53,97	-9,01	13,728	12,418	18,511	42,13
43	8,144	6,797	11,878	2,025	105,66	54,75	-7,41	13,503	11,860	17,972	41,29
44	8,357	6,553	11,775	2,106	103,71	55,28	-6,67	13,447	12,138	18,115	42,07
45	8,293	6,361	11,771	2,156	103,37	55,77	-5,62	13,375	12,175	18,086	42,31
46	8,303	5,751	11,861	2,244	103,30	56,33	-4,40	13,105	11,956	17,740	42,37
47	8,552	5,205	12,054	2,364	103,23	55,69	-3,29	13,011	11,934	17,655	42,53
48	8,412	4,783	12,161	2,407	102,62	56,56	-1,84	12,952	11,810	17,528	42,36
49	8,571	4,364	12,194	2,496	102,11	56,11	-0,82	12,828	11,828	17,449	42,68
50	7,891	3,878	12,336	2,490	101,70	56,75	0,39	12,861	11,054	16,959	40,68
51	7,558	3,189	12,426	2,533	102,07	55,92	1,71	12,627	10,403	16,360	39,48
52	7,462	2,674	12,251	2,605	100,40	54,16	2,38	12,460	10,017	15,987	38,80
53	7,565	2,229	12,480	2,683	99,32	51,87	3,80	12,603	10,046	16,117	38,56
54	7,245	1,835	12,462	2,730	98,04	51,22	4,77	12,555	9,639	15,829	37,52
55	6,867	1,322	12,552	2,758	97,69	45,58	5,95	12,492	9,050	15,426	35,92
56	6,607	0,799	12,534	2,815	97,94	17,15	6,87	12,295	8,278	14,822	33,95
57	6,593	0,636	12,691	2,906	98,27	-18,89	8,20	12,214	8,130	14,672	33,65
58	6,139	0,800	12,736	2,908	95,73	-54,02	9,29	12,427	7,516	14,523	31,17
59	5,995	1,004	13,165	2,960	94,10	-70,54	11,12	12,824	7,571	14,892	30,56
60	4,919	1,762	12,674	2,779	91,72	-80,89	11,60	12,547	5,725	13,792	24,53
61	4,235	1,490	11,937	2,549	83,09	-76,53	11,92	12,536	5,219	13,580	22,60
62	3,917	1,692	12,116	2,542	78,66	-79,45	13,20	12,875	4,945	13,792	21,01
63	3,808	2,091	12,496	2,630	79,27	-85,66	15,01	12,937	4,895	13,832	20,72
64	3,743	0,638	8,844	1,694	40,09	-46,45	16,57	11,780	4,470	12,599	20,78
65	3,867	0,770	8,688	1,590	30,85	-55,14	18,33	12,007	4,083	12,683	18,78
66	3,824	1,164	9,266	1,747	33,28	-73,94	19,71	12,242	4,105	12,912	18,54
67	3,995	1,108	8,831	1,581	21,37	-77,62	21,47	12,176	3,605	12,699	16,49
68	4,206	1,220	8,788	1,611	18,76	-81,90	22,17	12,293	3,461	12,771	15,72
69	4,097	2,176	9,561	1,792	22,52	-88,55	24,21	12,560	3,315	12,990	14,78
70	4,035	2,180	9,930	1,814	20,79	-88,83	25,49	12,781	3,526	13,258	15,42
71	4,363	2,506	9,599	1,804	19,55	-89,93	25,95	12,745	3,155	13,130	13,90
72	4,361	2,770	9,967	1,887	21,27	-90,12	27,19	12,924	3,366	13,355	14,60
73	4,549	3,297	9,566	1,871	18,28	-91,26	28,12	12,685	2,639	12,956	11,75
74	4,869	3,386	9,328	1,788	15,20	-92,30	29,16	12,708	2,439	12,940	10,86
75	4,570	4,162	9,942	2,002	19,26	-91,79	30,33	12,766	2,369	12,984	10,51
76	4,589	4,538	9,955	2,049	19,04	-92,10	31,29	12,679	2,132	12,857	9,54
77	4,558	4,894	10,175	2,150	24,69	-91,46	32,69	12,580	2,507	12,827	11,27
78	4,919	5,192	9,984	2,088	18,35	-92,22	33,55	12,789	1,878	12,926	8,36
79	4,864	5,812	9,823	2,145	23,96	-90,04	35,16	12,472	1,820	12,604	8,30
80	5,102	5,987	9,979	2,159	17,93	-92,15	35,70	12,734	1,411	12,812	6,32

81	5,040	6,552	10,030	2,199	18,59	-90,83	37,05	12,688	1,099	12,735	4,95
82	5,251	6,706	10,209	2,247	17,45	-91,23	37,56	12,958	1,093	13,004	4,82
83	5,198	7,099	9,926	2,210	17,24	-90,73	39,46	12,538	0,751	12,561	3,43
84	5,447	7,461	9,334	2,094	13,51	-89,19	39,99	12,553	-0,189	12,555	-0,86
85	5,602	7,634	9,472	2,157	15,60	-89,26	41,02	12,641	0,090	12,642	0,41
86	5,724	8,041	9,190	2,090	12,59	-88,05	42,47	12,639	-0,584	12,653	-2,65
87	5,772	8,393	9,080	2,141	16,04	-87,85	43,45	12,453	-0,547	12,465	-2,52
88	5,861	8,848	9,142	2,133	14,23	-87,04	44,38	12,671	-1,001	12,710	-4,52
89	6,164	8,909	9,035	2,121	13,62	-86,97	44,73	12,881	-1,087	12,927	-4,82
90	6,244	9,653	9,026	2,226	15,15	-86,36	46,29	12,877	-1,478	12,961	-6,55
91	6,346	9,616	9,072	2,177	14,54	-85,62	47,06	13,058	-1,354	13,128	-5,92
92	6,709	10,039	8,573	2,072	12,30	-84,48	48,14	13,242	-2,177	13,419	-9,34
93	7,127	10,178	8,237	2,049	13,02	-84,61	49,13	13,290	-2,299	13,487	-9,81
94	7,157	10,553	8,173	2,009	12,70	-82,84	50,21	13,527	-2,618	13,778	-10,95
95	7,325	10,875	7,955	1,968	12,48	-81,80	51,35	13,672	-2,968	13,991	-12,25
96	7,446	11,333	8,363	2,131	14,15	-82,86	51,71	13,811	-2,860	14,104	-11,70
97	7,713	11,477	7,649	2,001	13,99	-80,96	53,04	13,887	-3,358	14,287	-13,59
98	7,674	11,711	7,876	2,019	14,91	-79,71	53,86	14,153	-3,188	14,507	-12,70
99	7,951	12,041	8,012	2,051	13,51	-78,99	54,05	14,734	-3,476	15,138	-13,27
100	8,212	11,784	7,738	1,939	14,36	-77,99	55,66	14,774	-3,100	15,096	-11,85
101	8,378	11,923	7,541	1,898	14,53	-76,40	56,65	15,060	-3,188	15,394	-11,95
102	8,094	11,705	7,332	1,802	15,71	-73,85	58,52	14,875	-2,799	15,136	-10,66
103	8,618	12,068	7,640	1,846	15,00	-73,63	58,15	15,757	-2,859	16,014	-10,28
104	8,600	12,487	7,643	1,863	16,52	-70,98	59,91	16,146	-2,746	16,378	-9,65
105	9,056	12,264	7,638	1,825	16,30	-70,59	59,94	16,593	-2,415	16,768	-8,28
106	9,085	12,215	7,602	1,767	16,24	-68,43	61,33	16,861	-2,149	16,997	-7,26
107	9,173	12,405	7,636	1,798	17,65	-67,04	62,24	17,137	-1,883	17,240	-6,27
108	9,013	12,332	7,702	1,757	18,46	-65,51	63,88	17,052	-1,454	17,114	-4,87
109	9,589	12,518	7,840	1,760	18,33	-64,64	64,37	17,855	-1,227	17,897	-3,93
110	9,486	12,383	7,740	1,740	19,34	-63,52	65,70	17,658	-0,888	17,680	-2,88
111	9,602	12,654	7,964	1,733	20,10	-61,61	67,24	18,114	-0,488	18,121	-1,54
112	9,790	12,782	7,935	1,730	19,49	-60,74	68,29	18,411	-0,514	18,418	-1,60
113	10,007	12,148	7,735	1,625	20,27	-60,11	68,52	18,274	0,133	18,275	0,42
114	9,538	11,615	7,321	1,501	21,56	-57,57	69,91	17,614	0,577	17,623	1,88
115	9,581	11,540	7,026	1,429	21,86	-56,75	70,55	17,559	0,541	17,567	1,77
116	9,603	11,645	6,959	1,405	21,73	-55,62	72,51	17,589	0,582	17,598	1,90
117	9,419	11,630	7,049	1,421	22,78	-54,45	73,09	17,496	0,929	17,521	3,04
118	9,737	11,328	7,041	1,402	23,79	-53,70	72,95	17,680	1,530	17,746	4,94
119	9,788	11,661	7,090	1,386	23,69	-52,35	74,59	17,971	1,535	18,037	4,88