

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS

TECHNOLOGIJOS, FIZINIŲ IR BIOMEDICINOS MOKSLŲ FAKULTETAS

MECHANIKOS IR STATYBOS INŽINERIJOS KATEDRA

Tomas Kinas

**VENTILIATORIAUS VKAP 200LD 2.0. SLĖGIO-
SRAUTO CHARAKTERISTIKOS IR
NAUDINGUMO TYRIMAS**

Magistro darbas

ŠIAULIAI, 2016

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS

TECHNOLOGIJOS, FIZINIŲ IR BIOMEDICINOS MOKSLŲ FAKULTETAS

MECHANIKOS IR STATYBOS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

2016-05-31

VENTILIATORIAUS VKAP 200LD 2.0. SLĖGIO- SRAUTO CHARAKTERISTIKOS IR NAUDINGUMO TYRIMAS

Magistro darbas

Vadovas

doc. dr. S.Rimovskis

2016-05-31

Recenzentas

ŠU Technologijos ir gamtos mokslų

doc. dr. R.Šniuolis

2016-05-31


Atliko

MM-14 gr. stud.

T.Kinas

2016-05-31

ŠIAULIAI, 2016

TVIRTINU
Mechanikos ir statybos inžinerijos katedros vedėja
 Loreta Kelpšienė
2014 m. spalio mėn. 14 d.

MAGISTRO DARBO UŽDUOTIS

Išduota magistrantui Tomui Kinui

Darbo tema Ventiliatoriaus VKAP 200LD 2.0. slėgio-srauto charakteristikos ir naudingumo tyrimas

Patvirtinta 2016 m. balandžio 4 d. katedros posėdžio protokolu Nr. TFBMSIKP-5.

1. Darbo tikslas


Nustatyti ventiliatoriaus VKAP 200LD 2.0. slėgio ir oro srauto bei naudingumo charakteristiką, taikant skaitinio modeliavimo sistemą SOLIDWORKS Flow Simulation ir palyginti gautus skaičiavimo duomenis su eksperimentinių tyrimų rezultatais.

2. Darbo struktūra

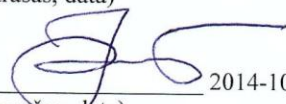
1. Įvadas.
2. Ventiliatorių bandymai ir juos reglamentuojanti dokumentacija.
3. Ventiliatoriaus VKAP 200LD 2.0. skaitinio modelio sudarymas ir tyrimo sąlygų parinkimas.
4. Teorinių ir eksperimentinių tyrimų rezultatų palyginimas.
5. Išvados.
6. Literatūra.
7. Priedai

Darbo pateikimo terminas 2016 m. birželio mėn. 9 d.

Užduotį gavau Tomas Kinas
(magistranto vardas, pavardė)

 2014-10-14
(parašas, data)

Vadovas Sergėjus Rimovskis
(pareigos, vardas, pavardė)

 2014-10-14
(parašas, data)

Turinys

LENTELIŲ SĄRAŠAS	6
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	7
1. ĮVADAS	8
2. VENTILIATORIŲ BANDYMUS REGLAMENTUOJANTI DOKUMENTACIJA	11
2.1. Ventiliatorių tipai	11
2.2. Ventiliatoriams keliami reikalavimai	12
2.4. Ventiliatoriaus pagrindinių parametrų nustatymas, taikant D instaliaciją	15
3. VENTILIATORIAUS VKAP 200LD 2.0. SKAITINIO MODELIO SUDARYMAS	21
3.1. Ventiliatoriaus pagrindiniai techniniai duomenys	21
3.2. Ventiliatoriaus sąrankos modelis	24
3.4. Ventiliatoriaus skaitinis modelis	25
3.5. Tinklelio sudarymas ir kraštinių sąlygų parinkimas	28
4. SKAITINIO MODELIAVIMO REZULTATAI IR JŲ PALYGINIMAS SU EKSPERIMENTINIAIS DUOMENIMIS	31
4.1. Skaitinio modeliavimo rezultatų vizualizacija	31
4.2. Skaitinio modeliavimo rezultatų interpretavimas ir palyginimas su eksperimentiniais duomenimis	34
IŠVADOS	38
LITERATŪRA	39
PRIEDAI	42

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS, FIZINIŲ IR BIOMEDICINOS MOKSLŲ FAKULTETAS
MECHANIKOS IR STATYBOS INŽINERIJOS KATEDRA

TOMAS KINAS. VENTILIATORIAUS VKAP 200LD 2.0. SLĖGIO-SRAUTO CHARAKTERISTIKOS IR NAUDINGUMO TYRIMAS / vadovas doc.dr. S. Rimovskis

SANTRAUKA

Darbe pateikiami kanalinio ventiliatoriaus VKAP 200LD 2.0. aerodinaminių charakteristikų ir naudingumo eksperimentinių tyrimų ir skaičiavimų, naudojant skaitinius metodus, rezultatai. Modeliavimas atliktas naudojant programą Solidworks Flow Simulation. Nustatyta ventiliatoriaus slėgio-srauto ir naudingumo priklausomybės, taikant D instaliaciją (uždaras įtekėjimas, uždaras ištekėjimas), kaip numatyta tarptautiniame standarte LST EN ISO 5801:2009. Gautas pakankamai geras teorinių ir eksperimentinių naudingumo kreivių sutapimas visoje matuojamo srauto srityje. Teorinės ir eksperimentinės slėgio-srauto kreivės pakankamai gerai sutapo didelių ir vidutinių srautų srityje. Pateikta skaitinio modeliavimo metodika gali būti taikoma, tiriant kanalinių ventiliatorių charakteristikas ir naudingumą, esant D instaliacijai.

Reikšminiai žodžiai: kanalinis ventiliatorius, D instaliacija, ventiliatoriaus charakteristika

ŠIAULIAI UNIVERSITY
FACULTY OF TECHNOLOGY, NATURAL AND BIOMEDICAL SCIENCES
DEPARTAMENT OF MECHANICAL AND CIVIL ENGINEERING

TOMAS KINAS. STUDY OF FAN VKAP 200LD 2.0 PRESSURE-FLOW CHARACTERISTICS AND PERFORMANCE EFFICIENCY / supervisor assoc. prof. dr. S. Rimovskis.

SUMMARY

The work presents the results of experimental research and numerical modeling of ducted fan VKAP 200LD 2.0. characteristic curves and efficiency. Numerical modeling was realised by use of Solidworks Flow Simulation. Fan instalation category D (ducted inlet, ducted outlet) was used for analysis, according to international standart LST EN ISO 5801:2009. The research shows good coinsidence of experimental and theoretical efficiency curves in all range of measured flowrate. Experimental and theoretical pressure-flowrate curves coinside in the range of midle and large flowrate. Presented methods of numerical modeling can be utilised in analysis of aerodynamic characteristic and efficiency of ducted fan used in instalation category D.

Keywords: ducted fan, installation category D, fan characteristic curves

LENTELIŲ SĄRAŠAS

3.1 lentelė.....	22
3.2 lentelė.....	30

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

2.1 pav. Ventiliatorių tipai	11
2.2 pav. Ventiliatoriaus montavimo schema ir sutartiniai ploštumų žymėjimai	16
2.3 pav. Ventiliatoriaus charakteristikų kreivės	20
3.1 pav. Ventiliatoriaus matmenys	21
3.2 pav. Sparnuotė RH22L-2EP.WC.4R-SU	22
3.3 pav. Ventiliatoriaus sąrankos SW modelio bendras vaizdas ir vaizdas frontaliniam pjūvyje	24
3.4 pav. Sparnuotės SW modelis	25
3.5 pav. Ventiliatoriaus skaitinio modelio vaizdas pjūvyje	26
3.6 pav. Rotacinės srities SW modelis	27
3.7 pav. Bazinio tinklelio vaizdas	29
3.8 pav. Lokaliai sutankinto tinklelio vaizdas	29
4.1 pav. Statinio slėgio laukas frontalinėje ventiliatoriaus plokštumoje	31
4.2 pav. Dinaminio slėgio laukas frontalinėje ventiliatoriaus plokštumoje	32
4.3 pav. Pilnojo slėgio laukas frontalinėje ventiliatoriaus plokštumoje	32
4.4 pav. Slėgio pasiskirstymas ventiliatoriaus įtekėjimo ir ištekėjimo plokštumoje	33
4.5 pav. Greičių laukas frontalinėje ventiliatoriaus plokštumoje	33
4.6 pav. Slėgio ir tangentinių įtempių pasiskirstymas sparnuotės paviršiuje	34
4.7 pav. Ventiliatoriaus VKAP 200LD 2.0. slėgio-srauto charakteristikos (teorinės ir eksperimentinės kreivės)	35
4.8 pav. Ventiliatoriaus VKAP 200LD 2.0. statinė oro galia ir pilna oro galia	36
4.9 pav. Teoriškai nustatytas ventiliatoriaus VKAP 200LD 2.0. sparnuotę veikiantis sukimo momentas	37
4.10 pav. Ventiliatoriaus VKAP 200LD 2.0. naudingumas	37

1. ĮVADAS

Pasaulio sveikatos organizacijos duomenimis žmogus daugiau nei 80 % savo laiko praleidžia uždaroje patalpose, iš jo – 60 % gyvenamosiose. Dėl šios priežasties, vidaus patalpų oro kokybė yra labai svarbus veiksnys, lemiantis žmogaus sveikatą, gyvenimo kokybę ir komfortą. Oro kokybė gyvenamosiose, gamybinėse ir kt. paskirties patalpose užtikrinama pastatuose įrengiant vėdinimo sistemas. Pigiausios įrengiamos natūralaus vėdinimo sistemos, tačiau jų našumas priklauso nuo daugelio nekontroliuojamų veiksnių (visų pirma nuo meteorologinių sąlygų). Norint užtikrinti pastovų patalpų vėdinimą, įrengiamos priverstinio vėdinimo sistemos. Priverstinis vėdinimas skiriasi nuo natūralaus tuo, kad oro tiekimas į patalpą ar ištraukimas iš jos organizuojamas, naudojant įrenginius, iš kurių pagrindinis – *ventiliatorius*.

Kaip atskira technikos ir mokslo sritis, vėdinimas atsirado XIX a. pabaigoje, kai buvo pradėti gaminti ortakiai, elektros varikliai, vamzdžiai ir orpūtės [1]. Pirmosios vėdinimo sistemos buvo įrengtos šachtose, siekiant sumažinti ore tvyrančių dulkių ir tvankos poveikį. Vėdinimo mokslo ir technikos lygis smarkiai išaugo XX a. viduryje, kai be gero vėdinimo tapo neįmanomos medicininės operacijos, tiksliosios optikos, precizinių staklių, aukštos kokybės poligrafijos ir kitų priemonių gamyba.

Vėdinimą galima skirstyti į du tipus. Siaurąja prasme, vėdinimas yra tai, kai oras pašildomas ir reguliuojama jo tėkmė ir švarumas patalpose. Plačiąja prasme į vėdinimą įeina ir oro kondicionavimas, kai reguliuojama santykinė oro drėgmė ar oras vėsinamas. Patalpos, kurių ore yra degių medžiagų koncentracija, pavyzdžiui, dažų bei lakų gamyklos ir dažyklos, būtinai turi būti vėdinamos. Drėgnose patalpose vėdinimas taip pat būtinas siekiant pašalinti perteklinę drėgmę. Priešingu atveju, patalpos drėksta, atsiranda pelėsis, o nukritus temperatūrai susidaro rūkas, galintis sutrikdyti darbą patalpose.

Vėdinimo funkcijos gali būti įvairios: kuriant palankesnes mikroklimato sąlygas žmonių darbui, didėja darbo našumas, reguliuojama oro kokybė ir jo užterštumas, apsaugoma nuo gaisrų, sprogamų ir kitų nelaimingų atsitikimų, pailginama pastatų tarnavimo trukmė.

Pagrindinis mechaninio (priverstinio vėdinimo) sistemos elementas – ventiliatorius. Ventiliatorių galima apibūdinti kaip įrenginį, skirtą oro judėjimui ortakiuose ir patalpose sukelti. Projektuojant vėdinimo sistemas labai svarbu parinkti tinkamo tipo ir charakteristikų ventiliatorių/ventiliatorius. Nuo to priklauso vėdinimo sistemos patikimumas ir našumas.

Parenkant ventiliatorių taip pat reikia atsižvelgti į jo suvartojamą elektros energiją, skleidžiamą triukšmą, vibracijas. Ventiliatorių gamintojai pateikia išsamius duomenis apie savo gaminius kataloguose, internetiniuose puslapiuose. Viena iš svarbiausių ventiliatorių charakteristikų – sukuriama slėgio ir oro srauto (našumo) priklausomybė $p = f(q)$, kuri dažniausiai pateikiama grafiškai. Be šios charakteristikos taip pat labai svarbios yra galios, naudingumo koeficiento, skleidžiamo triukšmo lygio priklausomybės. Visos šios ventiliatorių charakteristikos nustatomos specializuotose laboratorijose, naudojant bandymo metodus, aprašytus įvairiuose Europos ir tarptautiniuose standartuose. Pagrindinis ventiliatorių standartas, kuriuo vadovaujamosi nustatant slėgio-srauto charakteristiką – LST EN ISO 5801:2009 [2].

Reikia paminėti, kad ventiliatorių bandymai yra brangūs ir labai imlūs laiko atžvilgiu. Juos atliekant naudojama sudėtinga laboratorinė įranga, reikalingas kompetetingas personalas tai įrangai valdyti. Projektuojant ventiliatorius ne visada pavyksta tiksliai įvertinti būsimų gaminių charakteristikas. Tai ypač aktualu, atliekant konstrukcijos optimizaciją arba siekiant rasti geriausią sprendimą iki bandomojo gaminio gamybos. Tačiau naudojant šiuolaikines kompiuterinio modeliavimo programas, į daugelį klausimų galima atsakyti iki eksperimento. Yra sukurtos metodikos, kurios leidžia modeliuoti įvairius fizikinius procesus, turint tik projektuojamo gaminio kompiuterinį modelį. Praktiškai visuose šiuolaikinėse inžinerinio projektavimo sistemose (CAD) yra įdiegti įvairūs skaitinio modeliavimo įrankiai, kurie leidžia konstruktoriams atlikti „virtualius eksperimentus“ be sudėtingos laboratorinės įrangos, didelių investicijų ir laiko sąnaudų paruošiamiesiems darbams. Skaitiniai metodai labai praplėtė pažinimo ribas ir paspartino teorinių rezultatų diegimą praktikoje. Šiame darbe naudojama inžinerinė projektavimo programa SOLIDWORKS Flow Simulation, kuri pritaikyta skaitiniais metodais spręsti srautų analizės ir šilumos mainų uždavinius. Matematinis pernašos procesų modeliavimas, arba skaičiuojamoji fluidų dinamika – SFD (angl. *Computational Fluid Dynamics* – CFD), gali būti aiškinama, kaip lygčių, aprašančių fluidų judėjimą, analizinis ir skaitinis sprendimas naudojant kompiuterius norint gauti informacijos apie fluidų tekėjimo tam tikromis sąlygomis būdus [3].

Tiriamas UAB „Salda“ gaminys – kanalinis ventiliatorius VKAP 200LD 2.0, skirtas oro srautui ortakiuose sukelti.

Tyrimo objektas

Kanalinis ventiliatorius VKAP 200LD 2.0.

Tyrimo tikslas

Nustatyti ventiliatoriaus VKAP 200LD 2.0. slėgio ir oro srauto bei naudingumo charakteristiką, taikant skaitinio modeliavimo sistemą SOLIDWORKS Flow Simulation ir palyginti gautus skaičiavimo duomenis su eksperimentinių tyrimų rezultatais.

Tyrimo uždaviniai

- Išsiaiškinti ventiliatoriaus slėgio ir srauto bei našumo charakteristikos nustatymo metodikas;
- Sudaryti tiriamo ventiliatoriaus modelį programa SOLIDWORKS (SW);
- Atlikti tiriamo gaminio skaitinį modeliavimą programa SOLIDWORKS Flow Simulation;
- Palyginti gautus skaitinio modeliavimo duomenis su eksperimentinių tyrimų rezultatais.

Tyrimo metodika

Darbe naudojama Skaičiuojamosios fluidų dinamikos modeliavimo sistema SOLIDWORKS Flow Simulation. Ventiliatoriaus skaitinis modeliavimas ir eksperimentinis tyrimas pagrįstas bandymo metodika, kuri aprašoma standarte ISO EN LST 5801:2009 (Pramoniniai ventiliatoriai. Eksploatacinių charakteristikų bandymai naudojant standartizuotus ortakius). Gaunami duomenys lyginami su eksperimentinių tyrimų rezultatais.

Praktinė darbo reikšmė

Darbe pateikta metodika gali būti naudojama programa SOLIDWORKS Flow Simulation nustatant pagrindines naujai projektuojamų ar tobulinamų ventiliatorių charakteristikas. Ventiliatorių modeliai gali būti sukurti SOLIDWORKS ar kita CAD projektavimo programa.

2. VENTILIATORIŲ BANDYMUS REGLAMENTUOJANTI DOKUMENTACIJA

2.1. Ventiliatorių tipai

Ventiliatorių paskirtis – oro judėjimui vėdinimo sistemos ortakiuose ir patalpose sukelti. Jų sparnuotėms sukti sunaudojama beveik visa vėdinimo sistemos suvartojama energija. Reikia įvertinti tai, kad ventiliatorius yra pagrindinis vėdinimo sistemose keliamo triukšmo ir vibracijos šaltinis. Dėl šios priežasties, netinkamai parinktas ventiliatorius gali sukelti diskomfortą vartotojui arba sąlygoti galimą sistemos gedimą.

Pagal veikimo principą ventiliatoriai skirstomi į (žr. 2.1 pav.):

- radialiuosius (išcentrinus);
- ašinius;
- kanalinius.



a)



b)



c)

2.1 pav. Ventiliatorių tipai: a – radialieji; b – ašiniai; c – kanaliniai

Vieni ventiliatoriai skirti švariam orui (oro užterštumas artimas gyvenamųjų patalpų užterštumui, oro temperatūra nuo -40°C iki 80°C), kiti dulkėtam orui arba aukštos temperatūros dujoms. Pneumatinio transporto sistemose naudojami specialūs ventiliatoriai. Jie gali būti nerūdyjantys, nesukeliantys sprogdimo pavojaus, keliantys mažą triukšmą.

Radialieji ventiliatoriai veikia sukantis jo darbo ratui (žr. 1.1 pav., a), o išcentrinė jėga numeta oro daleles nuo menčių, todėl ties menčių galais oro slėgis padidėja, o rato centre sumažėja. Darbo rato centre susidariusio vakuomo veikiamas oras įsiurbiamas į ventiliatorių vietoje išmesto oro. Pūtimo anga gali būti nukreipta kas 45° nuo vertikalės. Darbo ratas jungiamas su varikliu trapecinių diržų pavara arba užmaunamas ant elektros variklio veleno. Naudojami pastoviojo arba kintamojo sūkių dažnio varikliai. Ventiliatorių su atgal lenktomis mentimis naudingumo koeficientas yra didžiausias ir siekia $\eta_{max} = 86\%$. Jie naudojami ten, kur reikalingas žemas triukšmo lygis. Ventiliatoriai su į priekį lenktomis mentimis, esant tam pačiam našumui ir sūkių skaičiui, yra mažesni, tačiau jų naudingumo koeficientas siekia $\eta_{max} = 72\%$. Šio tipo ventiliatoriai gali generuoti didesnę slėgį. Ventiliatoriai su tiesiomis mentimis pasiekia $\eta_{max} = 67\%$. Prie šio tipo ventiliatorių menčių ne taip limpa dulkės, mentės lėčiau dyla, todėl tokie ventiliatoriai naudojami vėdinimo sistemose, kuriose transportuojamas oras savyje turi daug dulkių ir vandens lašelių.

Ašiniai ventiliatoriai (žr. 1 pav., b) įprastai montuojami į pačią vėdinimo sistemą, per kurią yra transportuojamas oras. Jie tinka orui be agresyvių priemaišų ir lipnių dulkių. Oro temperatūra turi būti tokia, kad variklis būtų gerai aušinamas (ne daugiau nei 40°C). Dauguma ašinių ventiliatorių yra mažo slėgio (0,3-0,4 kPa). Didžiausias naudingumo koeficientas $\eta_{max} = 86\%$. Palyginti su radialiaisiais ventiliatoriais, ašiniai yra triukšmingesni, tačiau kur kas kompaktiškesni. Specialiems tikslams gaminami ašiniai ventiliatoriai su į išorę iškeltu varikliu. Tokie ventiliatoriai naudojami karštomis dujoms pūsti.

Kanaliniai ventiliatoriai (žr. 1 pav., c) yra nedideli, jų našumas - iki kelių tūkst. m^3/h . Šie įrenginiai pritaikyti tvirtinti tiesiog ortakiuose. Plokšti stačiakampės formos ventiliatoriai telpa virš kabamųjų lubų, taigi neužima daug ploto. Šis tipas sukurtas gyvenamiesiems ir viešiesiems pastatams vėdinti.

2.2. Ventiliatoriams keliami reikalavimai

Nuo 2015 metų rugsėjo visi šilumos gamybos, šilumos atgavimo ir kiti energiją naudojančios įranginiai, kurie parduodami Europos Sąjungos šalyse, privalo atitikti Ekologinio projektavimo direktyvoje numatytus energijos naudojimo efektyvumo reikalavimus. Ekologinis projektavimas gali būti suprastas kaip aplinkai nežalingo produkto projektavimas, siekiant

sumažinti poveikį aplinkai per visą gaminio eksploatacijos laikotarpį. Įvesdama šią direktyvą Europos sąjunga iki 2020 metų siekia 20 % sumažinti šiltnamio efektą skatinančių dujų išmetimą į aplinką, tiek pat padidinti atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimą, bei energijos naudojimo efektyvumą.

Su energija susijusiems produktams (elektros varikliams bei ventiliatoriams) pradėti taikyti šie normatyviniai dokumentai:

- Ekologinio projektavimo direktyva 2005/32/EC energiją vartojantiems gaminiams (EuP, angl. Energy using product);
- Ekologinio projektavimo direktyva 2009/125/EC visiems su energija susijusiems gaminiams (ErP, angl. Energy related product).

Varikliai ir ventiliatoriai, naudojami HVAC sistemose, privalo atitikti Europos komisijos nustatytus reikalavimus:

- Nuo 2015 metų sausio 1 d., visi varikliai, kurių nominali galia yra nuo 7,5 kW iki 375 kW, privalo atitikti ne žemesnę nei IE3 efektyvumo klasę, arba turi atitikti IE2 klasės reikalavimus bei turėti tolydžiojo reguliavimo pavarą (dažnio keitiklį).
- Nuo 2017 metų sausio 1 d., visi varikliai, kurių nominali galia yra nuo 0,75 kW iki 375 kW, privalės atitikti ne žemesnę nei IE3 efektyvumo klasę, arba turės atitikti IE2 klasės reikalavimus bei turėti tolydžiojo reguliavimo pavarą.

Visiems ventiliatoriams turi būti nustatomas jų naudingumas, kuris išreiškiamas tokia priklausomybe:

$$\text{Ventiliatoriaus efektyvumas (\%)} = \frac{\text{Oro srautas} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \cdot \text{Slėgis (Pa)}}{\text{Variklio nominali galia (W)}}$$

Slėgis šiuo atveju gali būti statinis arba pilnas, priklausomai nuo to, koks ventiliatoriaus bandymo metodas taikomas.

Lietuvoje vėdinimo sistemų projektavimą reglamentuoja STR 2.09.02 „Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas“. Kitose šalyse vėdinimas apibrėžiamas kitais standartais, tačiau Europos standartų komitetas (CEN), Tarptautinė standartų organizacija (ISO) ir kitos organizacijos stengiasi suvienodinti įvairių šalių standartus.

2.3. Ventiliatorių charakteristikų nustatymą reglamentuojančių normatyvinių dokumentų apžvalga

Gaminių charakteristikų ir darbo parametrų nustatymai ar įvertinimai atliekami, vadovaujantis įvairiais standartais. Pagrindinė organizacija, kuri kuria ir leidžia tarptautinius standartus – Tarptautinė standartizacijos organizacija (angl. International Organization for Standardization - ISO). Tarptautinių standartų pavadinimai prasideda raidėmis ISO. Europos standartus tvarko Europos standartų komitetas CEN (pranc. Comité Européen de Normalisation). Jo sukurtų standartų pavadinimai prasideda raidėmis EN. Lietuvos standartus tvarko Lietuvos standartizacijos departamentas prie Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerijos. Atskirų šakų standartus priima technikos komitetai. Dažniausiai Lietuvos standartais tampa tarptautiniai bei Europos standartai. Jie prasideda trumpiniu LST.

Šiame skyriuje apžvelgiami pagrindiniai standartai, kurie svarbūs vėdinimo sistemų įrangos (kurių pagrindinis elementas – ventiliatorius) projektuotojams ir gamintojams, taip pat bandymo laboratorijų techniniam personalui, kurie atlieka šių gaminių bandymus.

Apibendrinta informacija apie ventiliatorius, jų tipus ir klasifikavimą, montavimą, charakteristikas ir kt. aprašyta standarte LST EN ISO 13349:2010 [4]. Jame taip pat pateiktas svarbiausių terminų ir sąvokų žodynas.

Pagrindinis standartas, aprašantis reikalavimus ventiliatorių bandymams - LST EN ISO 5801:2009. Šis standartas buvo sukurtas po daugiau kaip 30-ties metų diskusijų, tyrimų ir palyginamųjų bandymų tarp įvairių pasaulio laboratorijų, kuriose vykdomi pramoninių ventiliatorių eksploatacinių charakteristikų nustatymai. Standartas aprašo bandomojo gaminio instaliacijas, parametrų ir charakteristikų apskaičiavimo metodus, oro srauto nustatymo būdus. Standartas reglamentuoja keturias ventiliatoriaus instaliacijas (instaliacija šiuo atveju suprantama, kaip bandomo gaminio montavimas pagal pasirinktą bandymo schemą). Oro srauto matavimas leidžiamas įvairiais būdais (naudojant daugiatautes kameras, slėgių skirtumų matavimo įrenginius, Pitot vamzdelius, kt.). Taikant šiame normatyviniame dokumente aprašytas bandymų metodikas ir skaičiavimus, gaunami svarbūs duomenys apie bandomą gaminį. Pagrindinė ventiliatoriaus charakteristika - tai slėgio-srauto priklausomybė. Ši priklausomybė nustatoma esant statiniam ir/arba pilnam ventiliatoriaus slėgiui. Šios charakteristikos ir kita informacija apie gaminį pateikiamos gamintojų kataloguose, kuriuos toliau naudoja

projektuotojai, parinkdami tinkamo našumo ventiliatorius projektuojamai vėdinimo sistemai. Papildomai, vadovaujantis LST EN ISO 5801:2009, nustatoma ventiliatoriaus galia, naudingumas ir kiti priklausomi nuo sukūriamo oro srauto parametrai.

Bandymų rezultatams didelę svarbą turi matavimų neapibrėžtis. Fluidų srautų neapibrėžčiai įvertinti taikomas standartas LST ISO 5168:2007 [5]. Reikia pažymėti, kad LST EN ISO 5801:2009 numato pakankamai griežtus reikalavimus matuojamų parametrų ir gaunamų išvestinių dydžių (rezultatų) neapibrėžčiai.

Papildomai naudojami ir kiti standartai, kurie aprašo vėdinimo elementų sandarumo, triukšmo, vibracijų ir kt. charakteristikų įvertinimą [6-8], taip pat standartai, kurie reglamentuoja pastatų vėdinimą, ortakių ir ortakyno komponentus, sandarumo klasifikaciją ir bandymus, galinių oro paskirstymo įtaisų aerodinaminius bandymus ir charakteristikų nustatymus esant sroviniam tekėjimui ir kt. [9-11].

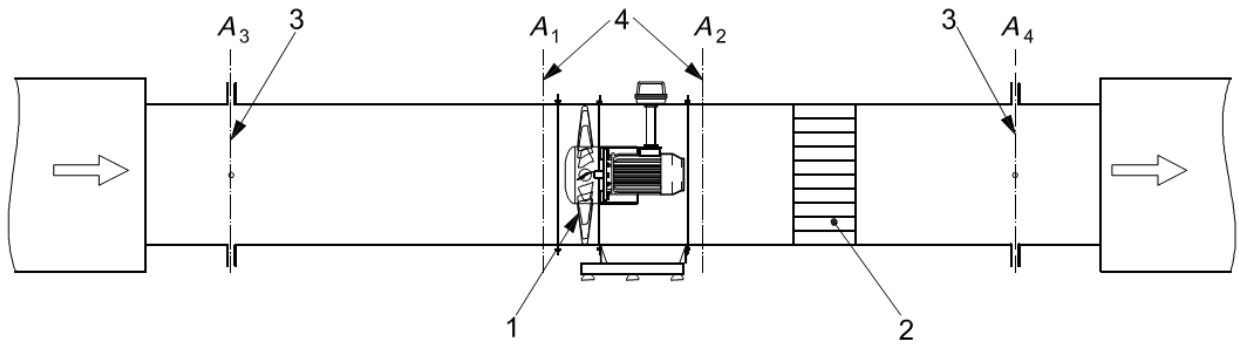
2.4. Ventiliatoriaus pagrindinių parametrų nustatymas, taikant D instaliaciją

Kanaliniai ventiliatoriai dažniausiai bandomi, taikant D instaliaciją (ducted inlet; ducted outlet) [2], kurios schema pateikta 2.2 pav. Taikant šią instaliaciją, ventiliatorius montuojamas tarp oro įtekėjimo ir ištekėjimo ortakių. Būtina pažymėti, kad ištekėjimo ortakyje rekomenduojama įrengti oro srauto tiesintuvą, už kurio atliekamas slėgio p_{e4} matavimas. Tiesintuvas nebūtinai tik ventiliatoriams, kurių ištekantis oras nesūkūriuoja. 2.2 pav. A_n vaizduoja ventiliatoriaus įtekėjimo ($n=1$) ir ištekėjimo ($n=2$) kanalų plotus; A_x - slėgių matavimo plokštumos įtekėjimo ($x=3$) ir ištekėjimo ($n=4$) kanalų plotus.

Atliekant bandymus, oro srautas, nustatomas daugiataūte kamera arba matuojamas kanale, taikant skirtuminio slėgio įrenginius, kaip nurodyta standarte [2], arba taikant lygiaverčius matavimo metodus [12].

Ventiliatoriaus slėgio nustatymas.

Ventiliatoriaus slėgio-srauto charakteristika gali būti nustatoma, matuojant pilnąjį arba statinį ventiliatoriaus slėgį, arba abu slėgius (kaip pageidauja gamintojas). Ventiliatoriaus pilnutinis slėgis (toliau vadinamas tiesiog ventiliatoriaus slėgiu) gali būti apskaičiuojamas lygybe [2]:



2.2 pav. Ventiliatoriaus montavimo schema ir sutartiniai ploštumų žymėjimai [2]: 1 – bandomas ventiliatorius; 2 – srauto tiesintuvas; 3 – statinio slėgio matavimo plokštumos; 4 – ventiliatoriaus oro įtekėjimo ir ištekėjimo kanalų plokštumos

$$P_{fD} = P_{esg2} - P_{esg1}, \quad (2.1)$$

čia: p_{esg2} – stagnacinis manometrinis slėgis pjūvyje 2.

Ventiliatoriaus statinis slėgis gali būti apskaičiuojamas lygybe [2]:

$$P_{sfD} = P_{e2} - P_{esg1}, \quad (2.2)$$

čia: p_{e2} – statinis manometrinis slėgis pjūvyje 2;

p_{esg1} – stagnacinis manometrinis slėgis pjūvyje 1.

Kai plokštumoje 2 Macho skaičius Ma_{2ref} neviršija 0,15 ir slėgio santykis mažesnis kaip 1,02, standartas [2] leidžia taikyti supaprastintas parametrų apskaičiavimo lygybes, kuriose Macho faktorius f_{Mx} prilyginamas 1. Nagrinėjamu atveju, ši sąlyga išpildoma, todėl p_{esg1} , p_{esg2} ir p_{e2} (Pa) apskaičiuojami lygybėmis [2]:

$$p_{esg1} = p_{e3} + \frac{1}{2\rho_1} \frac{q_m^2}{A_3^2} [1 - (\xi_{1-3})_3], \quad (2.3)$$

$$p_{esg2} = p_{e4} + \frac{1}{2\rho_1} \frac{q_m^2}{A_4^2} [1 + (\xi_{2-4})_4], \quad (2.4)$$

$$p_{e2} = p_{esg2} - \frac{1}{2\rho_1} \frac{q_m^2}{A_2^2}, \quad (2.5)$$

čia: p_{e3} – išmatuota manometrinio slėgio plokštumoje 3 reikšmė, Pa,

p_{e4} – išmatuota manometrinio slėgio plokštumoje 4 reikšmė, Pa,

q_m – nustatytas oro masės srautas, kg/s,

A_3 ir A_4 – ortakio skerspjūvio plotai atitinkamai 3 ir 4 plokštumose, m²,

ρ_1 – oro tankis plokštumoje 1, kg/m³ ($\rho_1 = \rho_2 = \rho_3 = \rho_4$),

$(\xi_{3-1})_3$ – koeficientas, įvertinantis nuostolius dėl trinties ortakyje tarp pjūvių 3-1,

$(\xi_{2-4})_4$ – koeficientas, įvertinantis nuostolius dėl trinties ortakyje tarp pjūvių 2-4.

Tuo atveju, kai naudojamas tiesus ortakis prieš ventiliatorių ir atstumas tarp plokštumų 1 ir 3 sudaro $3D_3$, koeficientas $(\xi_{3-1})_3$ apskaičiuojamas pagal formulę [2]:

$$(\xi_{3-1})_3 = 0,015 + 1,26(\text{Re}_{D3})^{-0,3}, \quad (2.6)$$

čia Reinoldso skaičius ortakio pjūvyje 3 (standartiniam orui) apskaičiuojamas tokia lygybe

$$\text{Re}_{D3} = \frac{v_{m3} D_3 \rho_3}{\mu} \times 10^6 \approx \frac{v_{m3} D_3}{15} \times 10^6. \quad (2.7)$$

Ortakyje už ventiliatoriaus (tarp plokštumų 2 ir 4), kai naudojamas oro srauto tiesintuvas ir bendras ortakio ilgis kartu su srauto tiesintuvu sudaro $5D_4$, koeficientas $(\xi_{2-4})_4$ apskaičiuojamas pagal formulę [2]:

$$(\xi_{2-4})_4 = 0,015 + 1,26(\text{Re}_{D_4})^{-0,3} + 0,95(\text{Re}_{D_4})^{-0,12}, \quad (2.8)$$

čia:

$$\text{Re}_{D_4} = \frac{v_{m4} D_4 \rho_4}{\mu} \times 10^6 \approx \frac{v_{m4} D_4}{15} \times 10^6, \quad (2.9)$$

standartiniam orui.

Būtina atkreipti dėmesį, kad formulėse (2.3) ir (2.4) dydis $(\xi_{3-1})_3$ visada neigiamas, o $(\xi_{2-4})_4$ - teigiamas.

Oro tūrio srauto nustatymas.

Oro tūrio srautas q_{Vsg1} (m^3/s) apskaičiuojamas lygybe:

$$q_{Vsg1} = \frac{q_m}{\rho_{sg1}}. \quad (2.10)$$

Esant nedideliems greičiams ortakyje, kai $Ma_{2ref} < 0,15$, $\rho_{sg1} = \rho_1$.

Ventiliatoriaus galios nustatymas.

Ventiliatoriaus galia P_{uD} ir statinė galia P_{usD} (W) apskaičiuojamos atitinkamai pagal formules:

$$P_{uD} = q_{Vsg1} p_{fD}, \quad (2.11)$$

$$P_{usD} = q_{Vsg1} p_{sfD}. \quad (2.12)$$

Ventiliatoriaus naudingumo nustatymas.

Ventiliatoriaus naudingumas P_{uD} ir statinis naudingumas P_{usD} (W) apskaičiuojamos atitinkamai pagal formules:

$$\eta_{eD} = \frac{P_{uD}}{P_e}, \quad (2.13)$$

$$\eta_{seD} = \frac{P_{usD}}{P_e}. \quad (2.14)$$

Formulėse (2.13) ir (2.14) P_e - elektrinė ventiliatoriaus suvartojama galia, W. Standartas taip pat numato ventiliatoriaus naudingumo įvertinimą, kai vietoj P_e formulių (2.13) ir (2.14) vardikliuose naudojama ventiliatoriaus sparnuotei arba velenui suteikiama mechaninė galia. Antrasis naudingumo nustatymo variantas dažniausiai naudojamas sparnuočių gamintojų.

Ventiliatoriaus slėgio perskaičiavimas.

Standartas numato, kad ventiliatoriaus charakteristikos turi būti pateikiamos standartiniam orui, t. y., 101325 Pa ir 293,15 K temperatūros orui, kurio tankis $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$. Tuo atveju, kai ventiliatoriai eksploatuojami sąlygose, kurios skiriasi nuo standartinių, vėdinimo sistemų projektuotojai turi tai įvertinti ir ventiliatoriaus slėgį perskaičiuoti.

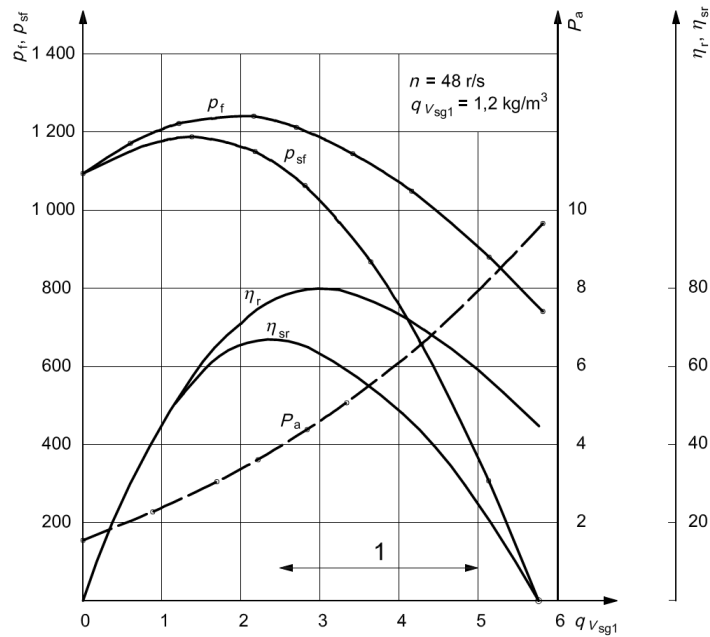
Perskaičiuojant ventiliatoriaus charakteristiką, patikslinamos ventiliatoriaus slėgio ir statinio slėgio reikšmės, atsižvelgiant į ortakio plokštumoje 1 esantį oro tankį:

$$P_{fD(1,2)} = P_{fD} \frac{1,2}{\rho_1}, \quad (2.15)$$

$$P_{sfD(1,2)} = P_{sfD} \frac{1,2}{\rho_1}. \quad (2.16)$$

Ventiliatoriaus charakteristikos grafikas.

Ventiliatoriaus bandymų rezultatus geriausia pateikti grafine forma. Standarte [2] pateiktas ventiliatoriaus grafiko pavyzdys (žr. 2.3 pav.), kuriame pavaizduotos ventiliatoriaus parametrų kreivės, esant pastoviam oro tankiui ($1,2 \text{ kg/m}^3$) ir pastoviam sukimosi greičiui.

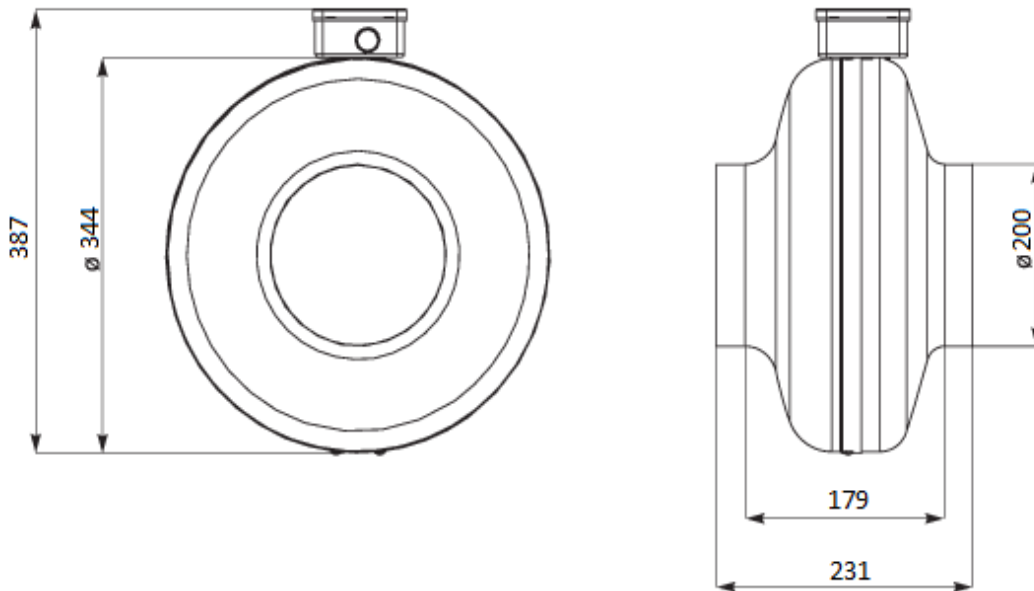


2.3 pav. Ventiliatoriaus charakteristikų kreivės [2]: 1 – darbinė zona; P_a – sparnuotės galia, W; p_f – ventiliatoriaus slėgis, Pa; p_{sf} – ventiliatoriaus statinis slėgis, Pa; q_{vsg1} – ventiliatoriaus įtekėjimo tūrio srautas, m³/s; η_r – procentais išreikštas ventiliatoriaus naudingumas; η_{sr} – procentais išreikštas statinis ventiliatoriaus naudingumas;

3. VENTILIATORIAUS VKAP 200LD 2.0. SKAITINIO MODELIO SUDARYMAS

3.1. Ventiliatoriaus pagrindiniai techniniai duomenys

Tyrimui pasirinktas UABN „Salda“ gaminys – kanalinis ventiliatorius **VKAP 200LD 2.0**. Ventiliatorius VKAP 200LD 2.0. naudojamas gyvenamųjų patalpų vėdinimo sistemose. Gamintojo deklaruojamas šio ventiliatoriaus našumas - 1007 m³/h, maksimalus sukuriamas slėgis – 520 Pa [13]. Ventiliatorius montuojamas tiesiai į apvalų ortakį, jo padėtis ašies atžvilgiu gali būti bet kokia. Ventiliatoriaus matmenys pateikti 3.1 pav.



3.1 pav. Ventiliatoriaus matmenys

Ventiliatoriuje sumontuota vokiečių gamintojo „Ziehl-Abegg“ sparnuotė RH22L-2EP.WC.4R-SU (žr. 3.2 pav.).

Ventiliatoriaus sukimo momentą sukuria EC variklis. Pagrindiniai ventiliatoriaus techniniai duomenys pateikti 3.1 lentelėje.



3.2 pav. Sparnuotė RH22L-2EP.WC.4R-SU

3.1 lentelė

Sparnuotės RH22L-2EP.WC.4R-SU variklio pagrindiniai techniniai duomenys

Charakteristika	Reikšmė
Fazių sk., ~	1
Įtampa/dažnis, V/Hz	230/50
Galia, kW	0,146
Srovė, A	0,65
Apsukos, esant didžiausiai apkrovai, min ⁻¹	2560
Kondensatorius, μF	5
Saugos klasė, IP	44
Maks. Aplinkos temp., °C	70
Min. Aplinkos temp., °C	-30

Deja, ventiliatoriaus gamintojai nepateikė elektros variklio mechaninės charakteristikos (priklausomybės tarp variklio sukimosi dažnio ir momento), pagal kurią būtų galima tiksliau

modeliuoti ventiliatoriaus charakteristikas. Skaitiniame modeliavime naudojama sparnuotės apsisukimų reikšmė $n = 2560 \text{ min}^{-1}$.

Sparnuotės korpusas pagamintas iš nerūdijančio plieno. Sparneliai pagaminti iš geromis mechaninėmis charakteristikomis pasižyminčio plastiko PA-GF 50. Šiuo metu ši medžiaga plačiai taikoma konstrukcijų elementuose, kuriuose metalinės detalės keičiamos į plastikines. Sparnuotės korpusas pagamintas iš lakštinio plieno, kurio storis 0,8 mm.

Radialiųjų ventiliatorių sparneliai gali būti lenkti atgal, į priekį arba tiesūs. Ventiliatoriai, su į priekį lenktais sparneliais, esant tam pačiam našumui ir sūkių skaičiui, yra mažesni, jų naudingumo koeficientas mažesnis 15% lyginant su ventiliatoriais su atgal išlenktais sparneliais, tačiau jie sukuria didesnę slėgį. Ventiliatorių su tiesiais sparneliais naudingumo koeficientas mažesnis dar apie 5%, tačiau prie tokio tipo sparnuočių mažiau limpa dulkės ir sparneliai lėčiau dyla.

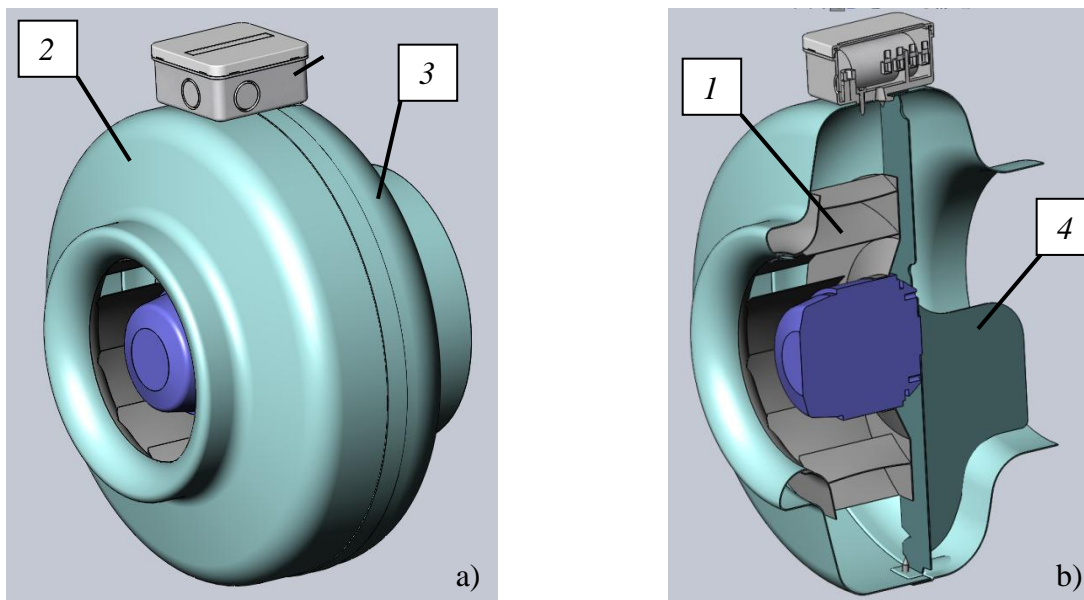
Tiriamas ventiliatorius RH22L-2EP.WC.4R-SU su atgal lenktais sparneliais. Lenkimo spindulys $r = 140 \text{ mm}$. Esant tokiai sparnuotės konstrukcijai, pasiekamas didžiausias naudingumo koeficientas ir žemesnis triukšmo lygis [1].

Ventiliatoriaus sukuriamas statinis slėgis yra proporcingas sparnelių skaičiaus ir sparnelio pločio L sandaugai. Tai reiškia, kad projektuojant ar pasirenkant ventiliatorius, galima naudoti šią proporciją, pvz., padvigubinti sparnelių skaičių ir per pusę sumažinti jų plotį. Dėl tokio pakeitimo ventiliatoriaus slėgio-srauto charakteristika pasikeičia nežymiai. Srauto turbulentiškumas ir triukšmas labiausiai generuojamas sparnelių kraštų, o ne paviršiaus. Dėl to, sparnelių skaičiaus mažinimas ir jų pločio didinimas leidžia išgauti didesnę našumą ir sumažinti triukšmo lygį. Kita vertus, jei sparnelių kiekis yra pernelyg mažas, o patys sparneliai per platūs, ventiliatorių darosi sunku subalansuoti. Bendru atveju, ieškoma kompromiso tarp naudingumo ir kainos. Optimaliausias sparnelių skaičius yra nuo 5 iki 12. Tiriamo ventiliatoriaus sparnuotės sparnelių skaičius – 11. Sparnuotės geometrija (frontalinis vaizdas su matmenimis), gamintojo deklaruojama slėgio-srauto charakteristika ir kiti duomenys pateikti 1 priede. Sparnuotė bandyta taikant A instaliaciją.

3.2. Ventiliatoriaus sąrankos modelis

Ventiliatorius VKAP 200LD 2.0. buvo suprojektuotas UAB „Salda“ konstruktorių inžinerinio projektavimo programa SOLIDWORKS. Gaminio sąrankos SW modelio vaizdai pateikti 3.2 pav. Ventiliatoriaus konstrukciją apibūdina jo tipas, o matmenis - darbo rato skersmuo.

5

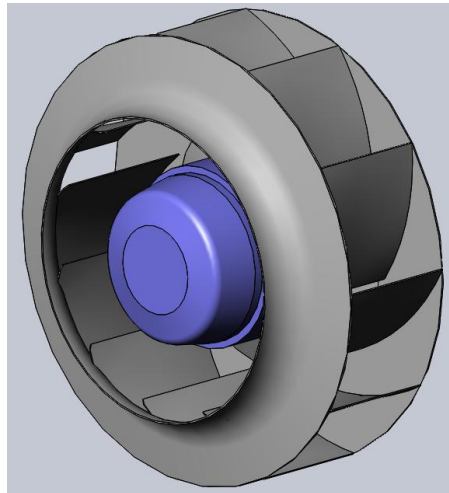


3.3 pav. Ventiliatoriaus sąrankos SW modelio bendras vaizdas (a) ir vaizdas frontaliniaame pjūvyje (b): 1 – sparnuotė; 2 – išorinis dangtelis; 3 – vidinis dangtelis; 4 – laikiklis; 5 – elektros dėžutė

Ventiliatorių sudaro šie elementai:

- *Sparnuotė (darbo ratas)*. Sparnuotė – tai svarbiausias ventiliatoriaus elementas, kurios paskirtis – padidinti ortakyje, kuriame sumontuotas ventiliatorius, slėgį ir oro srautą. Sparnuotės SW modelio vaizdas pateiktas 3.3 pav.
- *Išorinis dangtelis*. Dangtelio paskirtis – apgaubti ventiliatoriaus sparnuotę. Jo forma išgaunama šampavimo metu plastiškai deformuojant metalą. Dangtelio ruošinys yra paprastas lakštinio plieno diskas, išpjautas lazerinio pjovimo staklėmis.

- *Vidinis dangtelis.* Vidinio dangtelio paskirtis ir gamyba yra tokia pati, kaip ir išorinio dangtelio. Kartu sujungti išorinis ir vidinis dangteliai sudaro ventiliatoriaus korpusą.
- *Laikiklis.* Laikiklio paskirtis – išlaikyti sparnuotę su pavara tokioje padėtyje, kad jos ašis sutaptų su ventiliatoriaus korpuso ašimi. Papildomai prie laikiklio yra pritvirtinti laidai (nuo sparnuotės pavaros iki elektros dėžutės ventiliatoriaus išorėje).
- *Elektros dėžutė.* Elektros dėžutėje sumontuotos jungtys ir laidai, kuriais sparnuotės varikliui tiekama elektros energija.



3.4 pav. Sparnuotės SW modelis

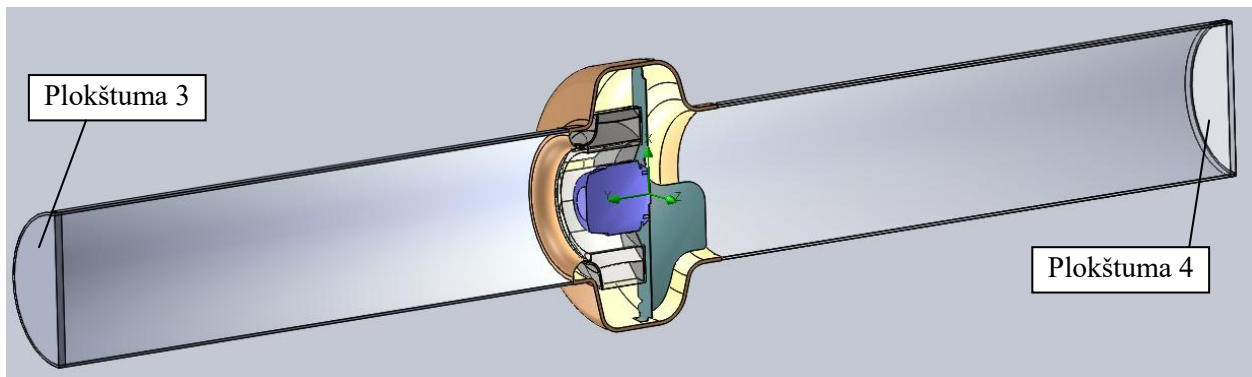
3.4. Ventiliatoriaus skaitinis modelis

Rotorinių įrenginių, skirtų dujų ar skysčių judėjimui užtikrinti, charakteristikų nustatymas skaitiniais metodais atliekamas naudojant įvairias sistemas, pvz., Ansys [14-18], Comsol Multiphysics [19], Fluent [20-23], kt. [24-31].

Ventiliatoriaus VKAP 200LD 2.0. sąrankos skaitinis modelis buvo sudaromas naudojant sistemą SOLIDWORKS Flow Simulation, kuri skirta fluido srautų ir šilumos mainų skaitinei analizei atlikti.

Ventiliatoriaus skaitinio modelio vaizdas pateiktas 3.4 pav. (be tinklelio). Buvo pasinaudota vantiliatoriaus sąrankos SW modeliu, kuriame atlikti tokie pakeitimai:

- į skaitinį modelį neįtraukti srauto analizei neturintys reikšmingos įtakos elementai (elektros dėžutė, tvirtinimo elementai, kt.);
- papildomai, atskiru sąrankos elementu, SW programa sukurtas sukinio formos kūnas, skirtas rotacinei sričiai modeliuoti (žr. 3.5 pav.).
- prie ventiliatoriaus įtekėjimo ir ištekėjimo angų pajungti ortakiai, kurių skersmenys ir ilgiai pasirinkti, atsižvelgiant į standarto [2] reikalavimus;
- ortakių galuose uždėti dangteliai (Lid), kurių vidinėse plokštumose (3.4 pav. - Plokštuma 3 ir Plokštuma 4) užduodamos kraštinės sąlygos (srautas ir slėgis);
- pasirinktas tyrimo tipas - vidinė fluido tėkmė su rotacine sritimi;
- fluido tėkmės tipas - laminarinė ir turbulentinė tėkmė;
- fluidas - oras;
- įtekančio oro parametrai: slėgis – 101325 Pa; temperatūra – 293,2 K);
- paviršiaus tipas - ideliai glotni sienelė be šilumos mainų su aplinka.

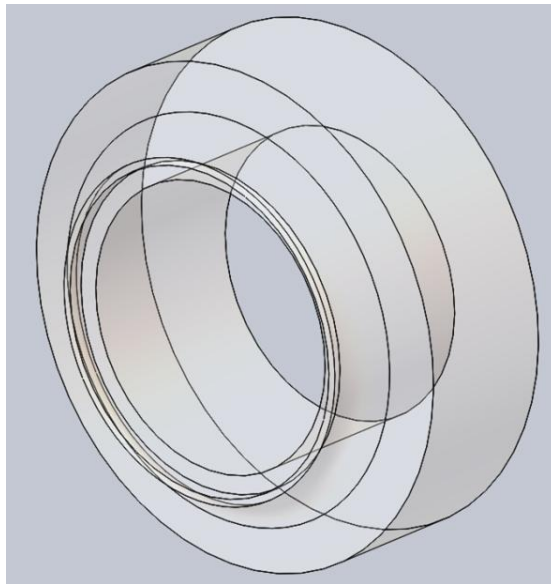


3.5 pav. Ventiliatoriaus skaitinio modelio vaizdas pjūvyje

Rotacinės srities taikymas skaitiniame fluidų tėkmės modeliavime padeda išspręsti uždavinius, kurie susiję su sukamuoju mechanizmų elementų ar terpės judesiu (pvz., sparnuotės sukimasis). Tokiu atveju, sukuriama globali arba lokali rotacinė sritis [32]. Nagrinėjamo ventiliatoriaus sparnuotės sukimasis simuliuojamas lokalia rotacine sritimi, t.y., papildomu sukinio formos kūnu, kurio vaizdas pateiktas 3.5 pav. Šio kūno geometrija ir matmenys

parenkami taip, kad ventiliatoriaus sparneliai būtų pilnai juo apgaubti, o jų ašys sutaptų. Generuodama tinklę, programa automatiškai sukūria kraštines sąlygas ventiliatoriaus ir rotacinės srities sankirtos paviršiuje, taip pat rotacinės srities ir likusio fluido srities sankirtos paviršiuje. Programoje įvedamas rotacinės srities parametras – apsisukimų greitis arba dažnis, nurodant sukimosi kryptį, kuri turi būti priešinga sparnuotės sukimosi kryptčiai. Nagrinėjamoju atveju ventiliatoriaus VKAP 200LD 2.0. skaitinio modelio rotacinei sričiai buvo užduotas sukimasis 2560 aps/min, kas atitinka 268,08 rad/s.

Kaip matyti iš 3.4 pav., sudarant skaitinį modelį ištekėjimo ortakyje nenaudojamas srauto tiesintuvas. Tokio būtinybės nėra, kadangi priešingai nei atliekant eksperimentą, SOLIDWORKS Flow Simulation pateikia maksimalią, minimalią ir vidutinę nagrinėjamo parametro reikšmes užduotoje plokštumoje, pvz., vidutinį slėgį plokštumoje 4 (slėgį p_{e4}). Atliekant realų bandymą be srauto tiesintuvo, šioje plokštumoje galimos problemos dėl pernelyg didelių p_{e4} slėgio svyravimų.



3.6 pav. Rotacinės srities SW modelis

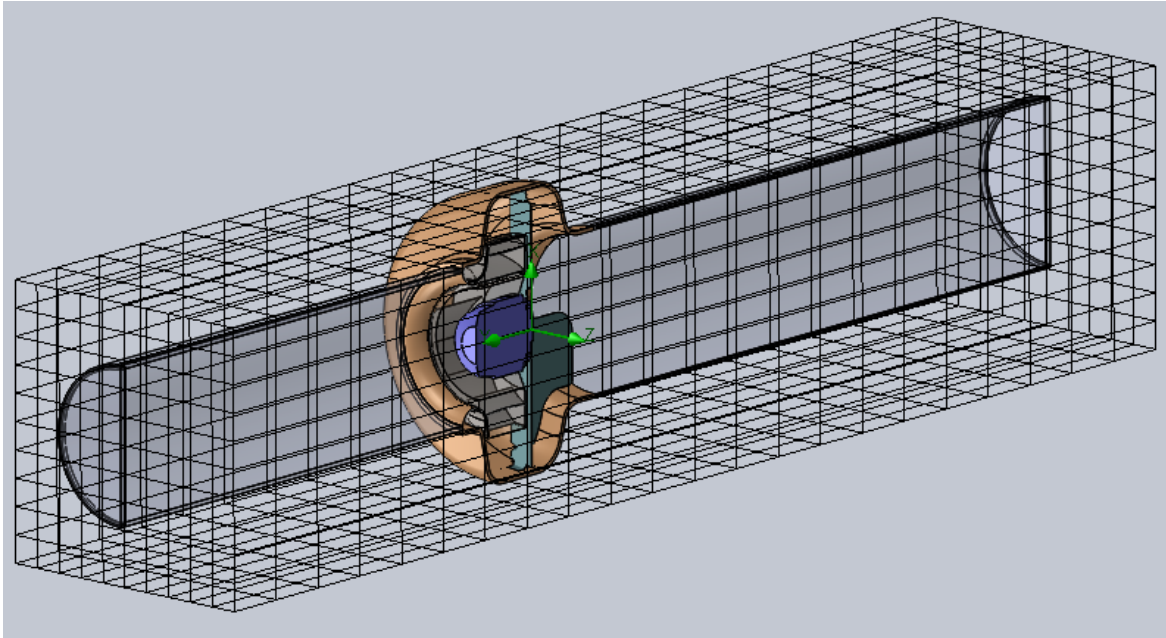
3.5. Tinklelio sudarymas ir kraštinių sąlygų parinkimas

SOLIDWORKS Flow Simulation leidžia spręsti įvairius srautų tėkmės ir šilumos mainų uždavinius. Ypatingai patogu šį įrankį naudoti tais atvejais, kai eksperimentas brangiai kainuoja arba sunkia realizuojamas praktiškai. Skaitiniais metodais tirti įvairius fizikinius reiškinius taip pat yra patogu ir tuo atveju, kai norima patikrinti suprojektuoto gaminio arba jo bandomojo modelio (prototipo) charakteristikas. Toks modelis, sudarytas CAD sistema, tiesiog perkeliamas į pasirinktą skaitinio modeliavimo programą, kurioje sukuriama skaičiuojamosios srities tinklelis, užduodamos kraštinės sąlygos (sudaromos diferencialinės lygtys) ir atliekamas skaičiavimas. Apie naudojamus skaitinių metodų sistemas ir darbą su jomis yra plačiai aprašyta įvairių autorių darbuose [32-34]. Šiose darbuose pateiktos taip pat ir rekomendacijos, kurių laikantis galima pasiekti reikiamą skaičiavimo rezultatų tikslumą su minimaliomis laiko ir kompiuterio resursų sąnaudomis.

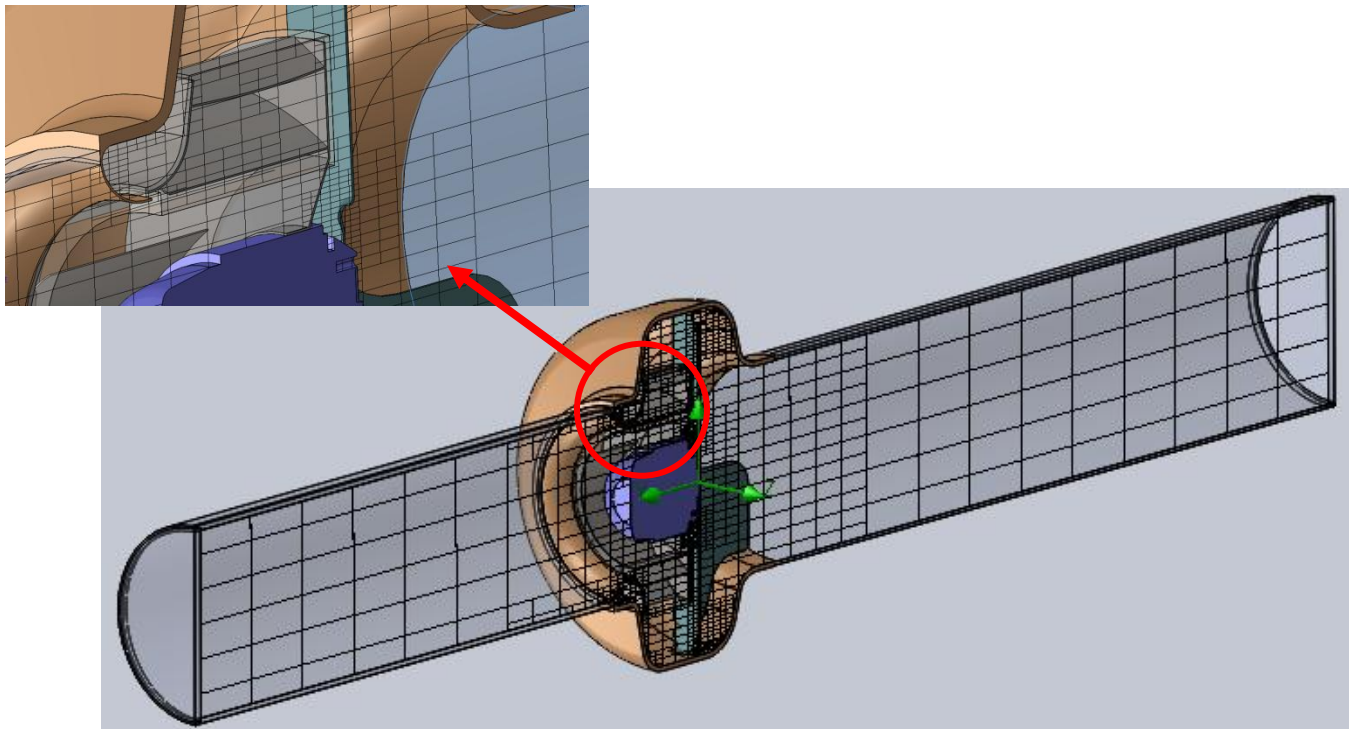
Baigtinių tūrių tinklelio suformavimas.

Sistema SOLIDWORKS Flow Simulation galima sudaryti skaitinio modelio tinklelį automatiškai, arba naudojant tam tikrus nustatymus, kurie leidžia padidinti tinklelio tankį svarbiose vietose [32-34]. Užduodant ventiliatoriaus VKAP 200LD 2.0. modelio tinklelį, buvo atsižvelgta į tai, kad modelyje yra siaurų tarpelių tarp atskirų jo elementų, pro kuriuos realiomis sąlygomis vyksta oro tekėjimas. Parinkus automatinį tinklelio generavimą, programa gali ignoruoti šias siauras vietas, dėl ko gali nukentėti tyrimo tikslumas. Atsižvelgiant į tai, buvo užduotas vietinis tinklelio sutankinimas (Local initial mesh) visoje srityje, kuri ribojasi su rotacine sritimi. Ši sritis apima visas siauras vietas tarp ventiliatoriaus sparnuotės ir vidinės korpuso sienelės, bei laikiklio.

Bazinio tinklelio vaizdas pateiktas 3.6 pav. Galutinio (lokaliai sutankinto) tinklelio vaizdas frontaliniam modelio pjūvyje pateiktas 3.7 pav.



3.7 pav. Bazinio tinklelio vaizdas



3.8 pav. Lokaliai sutankinto tinklelio vaizdas

Kraštinių sąlygų parinkimas.

Kadangi nagrinėjama vidinė fluido tėkmė, būtina užduoti fluido parametrus įtekėjimo ir ištekėjimo paviršiuose. Šios sąlygos gali būti: statinis ar bendras slėgis, masės ar tūrio srautas, greitis, kt. Nagrinėjamos sistemos tyrimą galima atlikti įtekėjime pasirenkant srautą arba greitį, o ištekėjime - slėgį. Jei įtekėjimo ar ištekėjimo angų yra daugiau, jose taip pat būtina užduoti kraštines sąlygas. Tokiu atveju ieškomi dydžiai būtų įtekėjime – slėgis, o ištekėjime srautas arba greitis. Galimi ir kiti kraštinių sąlygų uždavimo variantai. Pvz., įtekėjime ir ištekėjime gali būti užduotas slėgis (arba parenkamas slėgio skirtumas, kuris yra žinomas dydis), o ieškomas dydis – srautas.

Ventiliatoriaus VKAP 200LD 2.0. modelio ištekėjimo plokštumoje 4 buvo užduodamas vienodas oro slėgis, atitinkantis standartinio atmosferinio oro sąlygas ($p = 101325 \text{ Pa}$; $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$). Įtekėjimo plokštumoje 3 naudotos oro masės srauto reikšmės pateiktos 3.2 lentelėje.

3.2 lentelė

Kraštinės sąlygos užduotos įtekėjimo ir ištekėjimo plokštumose

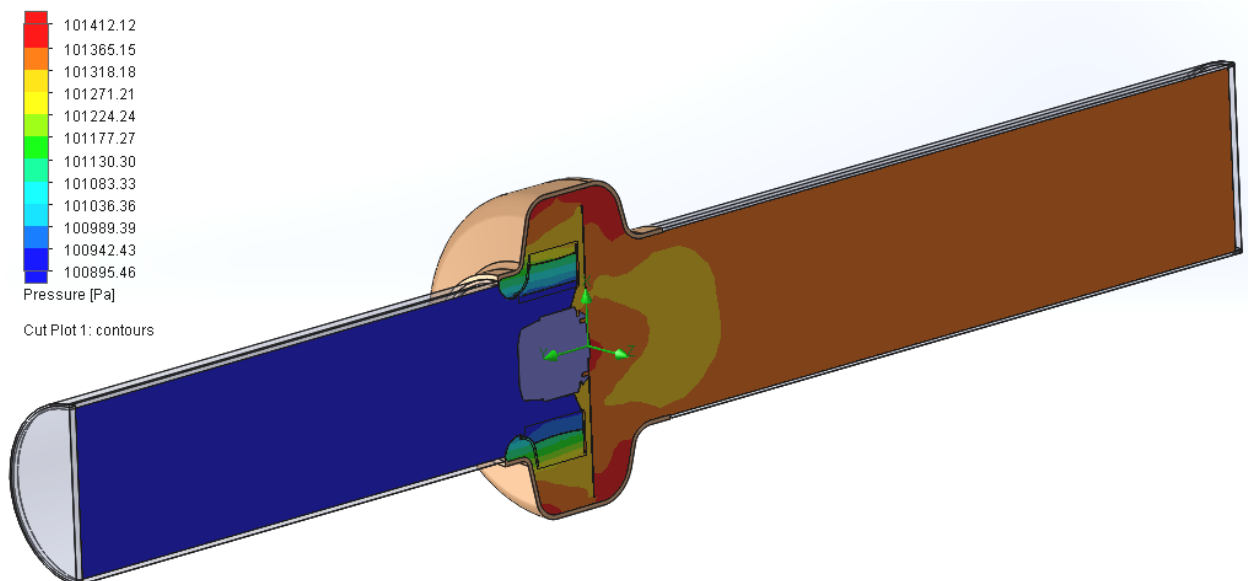
Plokštuma	Oro masės srautas, kg/s									
Įtekėjimo plokštuma 3,	0,012	0,0334	0,067	0,1	0,133	0,167	0,198	0,234	0,267	0,301
	Oro slėgis, Pa									
Ištekėjimo plokštuma 4,	101325									

4. SKAITINIO MODELIAVIMO REZULTATAI IR JŲ PALYGINIMAS SU EKSPERIMENTINIAIS DUOMENIMIS

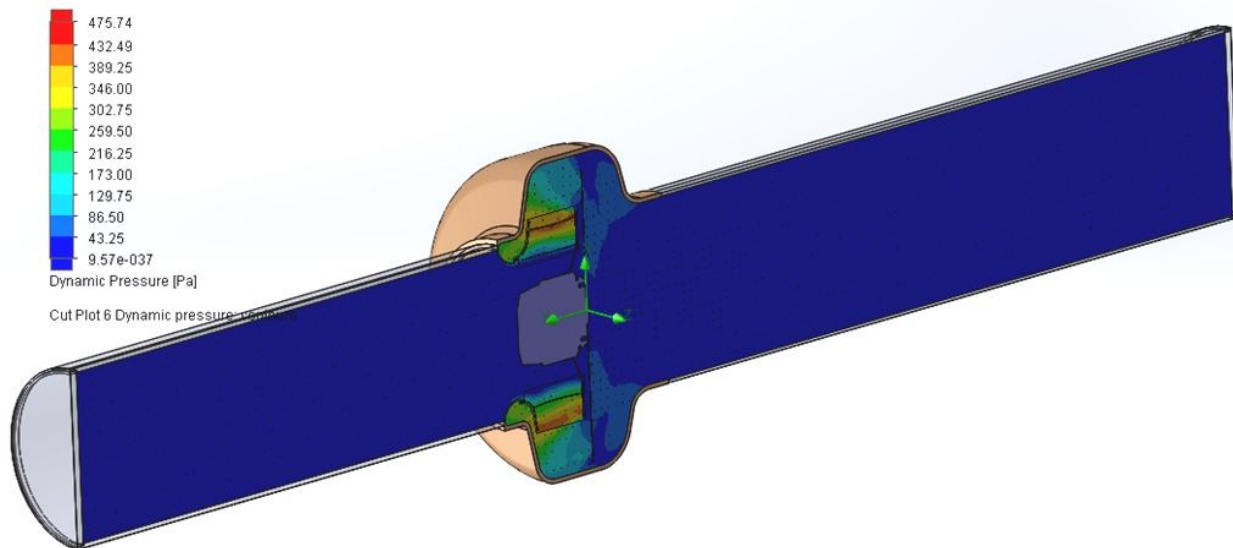
Šioje dalyje pateikiami ventiliatoriaus VKAP 200LD 2.0. skaitinio modeliavimo rezultatai. Analizuojami skirtingi gaminio darbo režimai, kurie atitinka kraštines sąlygas, pateiktas 3.2 lentelėje. Pagrindiniai tyrimo duomenys pateikti 2 ir 3 priede.

4.1. Skaitinio modeliavimo rezultatų vizualizacija

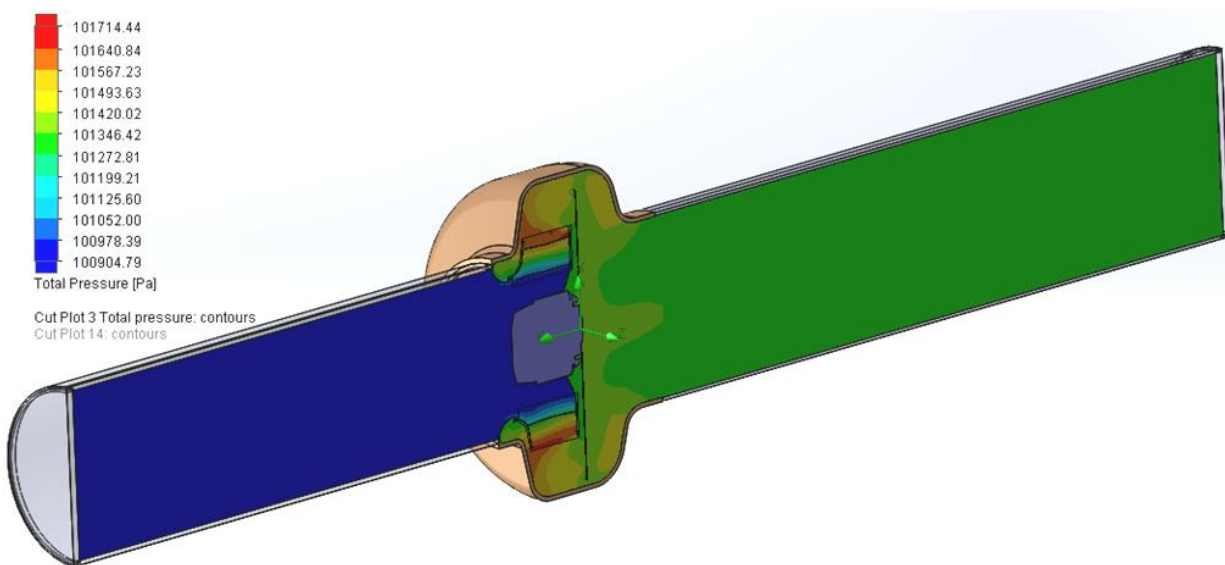
Sistema SOLIDWORKS Flow Simulation leidžia pateikti gaunamus rezultatus labai patogiai forma. Galima pasirinkti kurį nors parametą ir gauti jo konkrečią reikšmę nagrinėjamame taške arba reikšmių lauką nagrinėjamoje plokštumoje lentelių, grafikų arba paveikslų pavidalu. Žemiau paveiksluose (žr. 4.1 - 4.5 pav.) pateikti slėgių ir greičių pasiskirstymo vaizdai frontalinėje ventiliatoriaus plokštumoje, kai apskaičiuotas ventiliatoriaus srautas lygus $200 \text{ m}^3/\text{h}$.



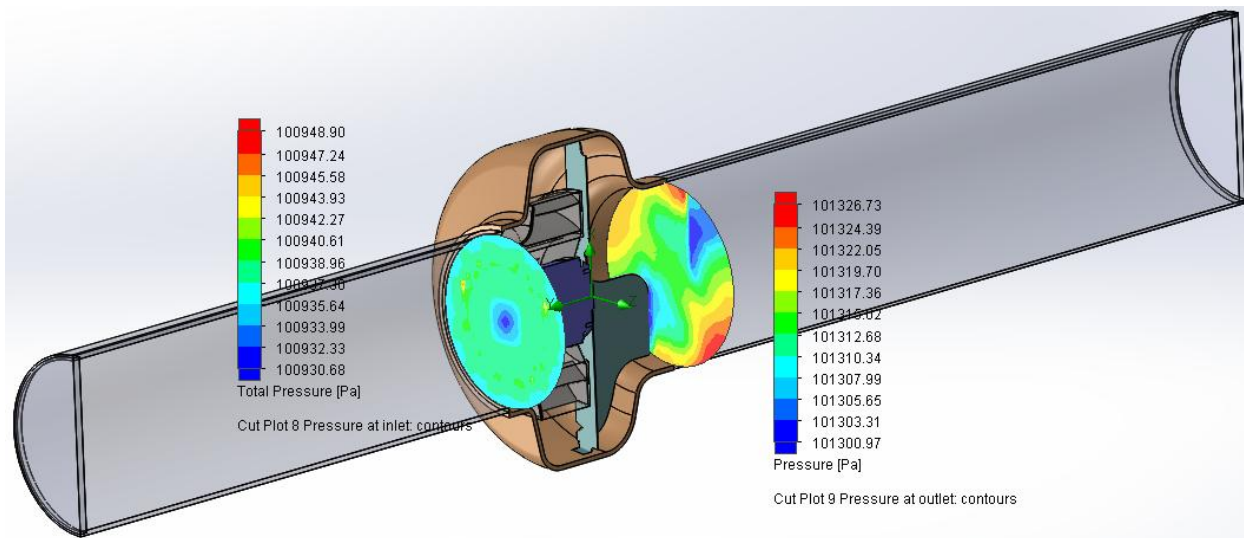
4.1 pav. Statinio slėgio laukas frontalinėje ventiliatoriaus plokštumoje



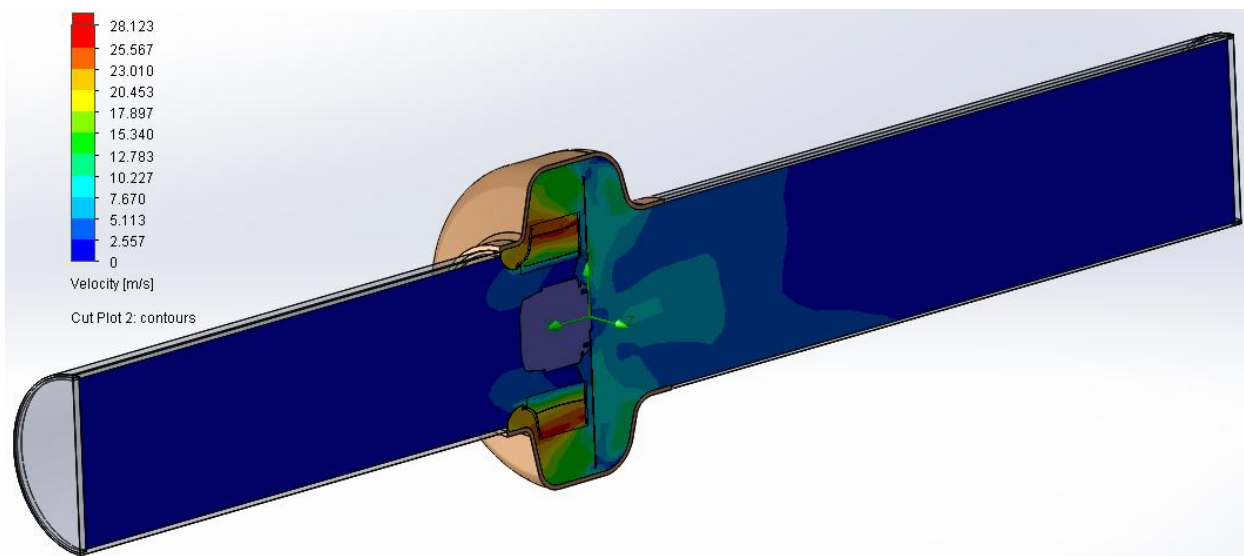
4.2 pav. Dinaminio slėgio laukas frontalinėje ventiliatoriaus plokštumoje



4.3 pav. Pilnojo slėgio laukas frontalinėje ventiliatoriaus plokštumoje

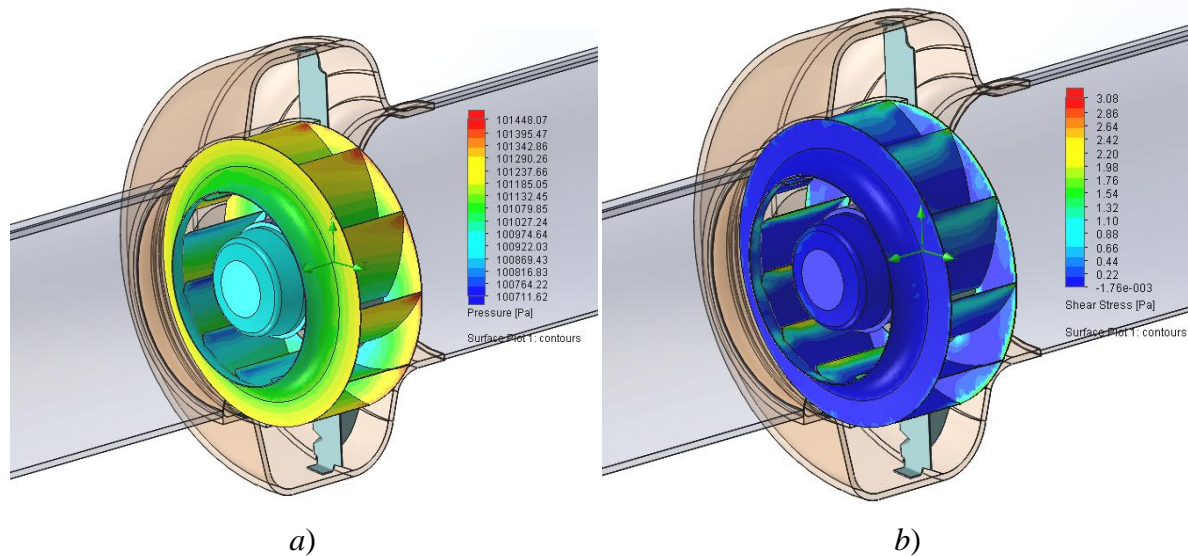


4.4 pav. Slėgio pasiskirstymas ventiliatoriaus įtekėjimo ir ištekėjimo plokštumoje



4.5 pav. Greičių laukas frontalinėje ventiliatoriaus plokštumoje

4.6 pav. pateikti statinio slėgio ir tangentiųjų įtampių pasiskirstymo vaizdai sparnuotės paviršiuje.



4.6 pav. Slėgio (a) ir tangentinį įtempių (b) pasiskirstymas sparnuotės paviršiuje

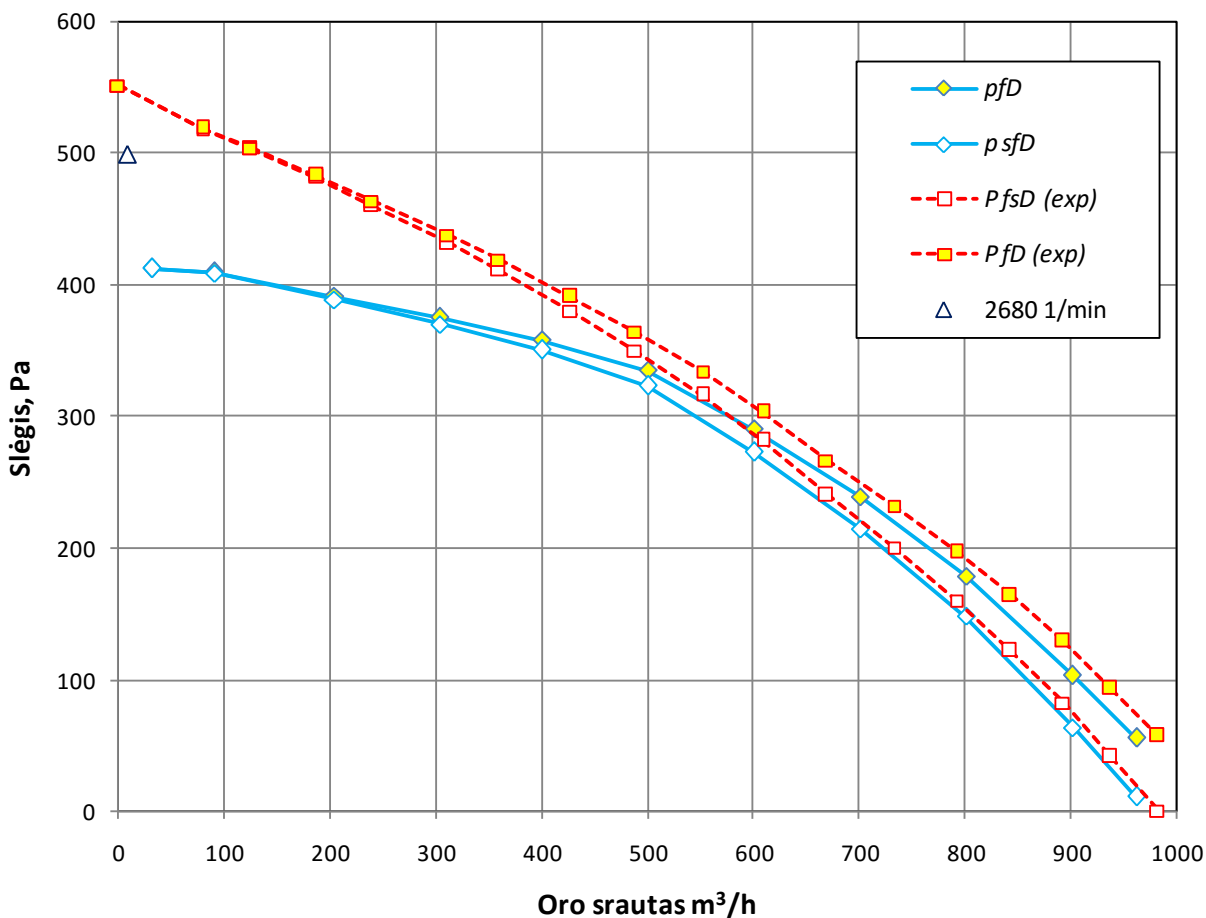
4.2. Skaitinio modeliavimo rezultatų interpretavimas ir palyginimas su eksperimentiniais duomenimis

Skaitinio modeliavimo statinis ir pilnas slėgiai buvo perskaičiuoti, naudojant formules iš [2] standarto, kurios pateiktos 2.4 poskyriuje. Šiais perskaičiavimais įvertinti slėgio nuostoliai trumpose ortakiuose tarp plokštumų 3-1 ir 2-4. Oro tūrio srauto reikšmės nurodytoje plokštumoje programa paskaičiuoja automatiškai.

4.7 pav. pateikiamas statinio ir pilno slėgio-srauto teorinės (nustatytos, taikant skaitinį modeliavimą) ir eksperimentinės kreivės. Gautas pakankamai geras rezultatų sutapimas vidutinių (atitinkančių darbinę ventiliatoriaus zoną) ir didelių srautų srityje (virš 400 m³/h), kur paklaida neviršija 5 %. Mažų srautų srityje (iki 400 m³/h) teorinės ir eksperimentinės kreivės išsiskyrė. Šį nesutapimą galima paaiškinti tuo, kad realiomis sąlygomis kuo mažesnis srautas, tuo mažesnis slėgis prieš sparnuotę ir tuo lengviau ventiliatoriaus varikliui ją sukuti, kas lemia ventiliatoriaus variklio apsukų padidėjimą. Eksperimentiškai nustatyta, kad srautui artėjant prie 0 m³/h reikšmės, variklio apsukos padidėja iki 2680 aps/min. Statiškai modeliuojant ventiliatoriaus slėgio-srauto priklausomybę šioje zonoje, variklio apsukos visais atvejais buvo vienodos, t.y., 2560 aps/min. Grafike pateiktas taškas (trikampis), kuris gautas atlikus skaitinį modeliavimą,

esant sparnuotės apsakoms 2680 aps/min. Natūralu, kad šis taškas pasislinkęs į didesnių slėgių sritį.

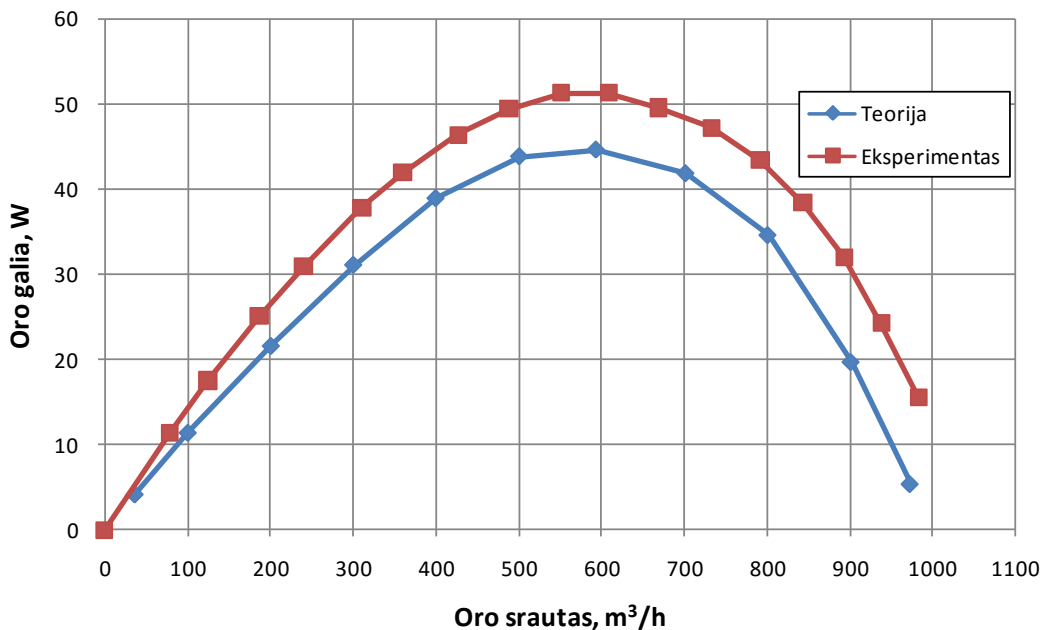
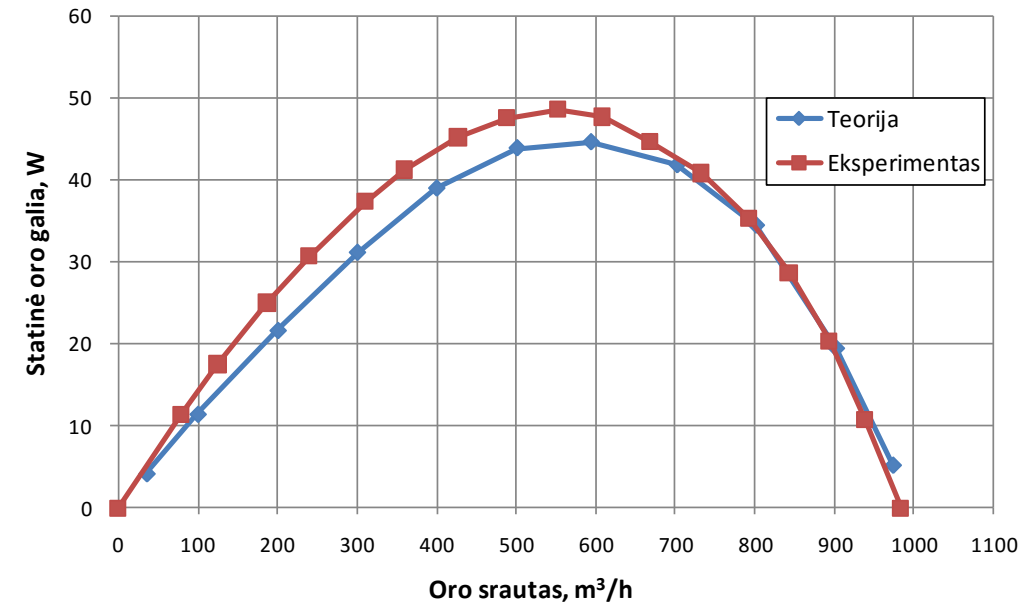
Būtina paminėti ir tai, kad teorinių ir eksperimentinių duomenų nesutapimui įtakos gali turėti ir netiksli skaitinio modelio sparnuotės geometrija, kuri buvo sudaryta pagal tiekėjo pateiktą kataloge brėžinį, be papildomų matavimų.



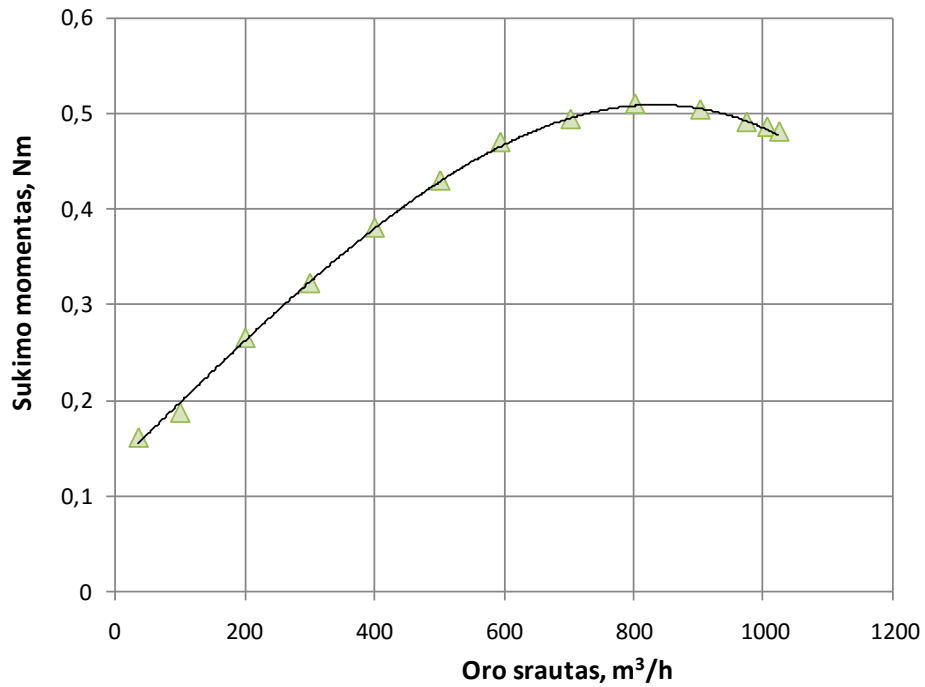
4.7 pav. Ventilatoriaus VKAP 200LD 2.0. slėgio-srauto charakteristikos (teorinės ir eksperimentinės kreivės)

4.8 pav. pateiktos teorinės ir eksperimentinės statinės ir pilnos oro galios kreivės. Kaip matyti, statinės oro galios kreivės pakankamai gerai sutampa visoje srautų srityje, Teoriškai apskaičiuota pilnoji oro galia apie 10 % mažesnė už eksperimentinę.

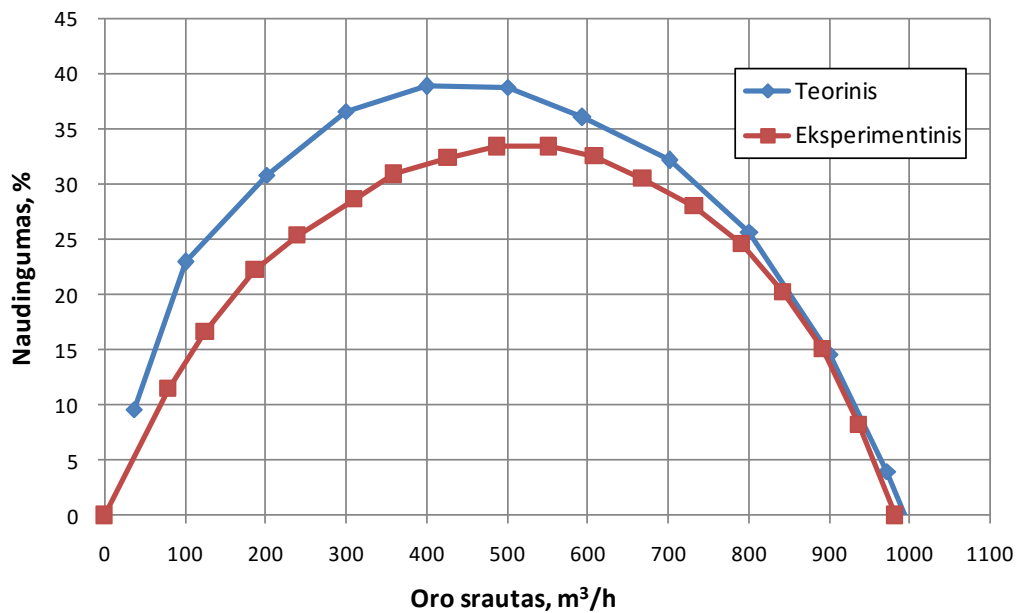
4.9 pav. pateiktas teorinio sparnuotės veikiamo sukimo momento grafikas. 4.10 pav. pateiktos ventiliatoriaus teorinio ir eksperimentiškai nustatyto naudingumo kreivės. Teorinis naudingumas gautas didesnis (5-10 %). Tai natūralu, kadangi neįvertinamas papildomas pasipriešinimas ventiliatoriaus variklio guoliuose ir kitose elementuose, kuriuose veikia trintis.



4.8 pav. Ventiliatoriaus VKAP 200LD 2.0. statinė oro galia ir pilna oro galia



4.9 pav. Teoriškai nustatytas ventiliatoriaus VKAP 200LD 2.0. sparnuotę veikiantis sukimo momentas



4.10 pav. Ventiliatoriaus VKAP 200LD 2.0. naudingumas

IŠVADOS

1. Sistema SOLIDWORKS Flow Simulation sudarytas ventiliatoriaus VKAP 200LD 2.0. skaitinis modelis, kuris atitinka standarto LST EN ISO 5801:2009 D instaliacijai keliamus reikalavimus.
2. Tyrimio metu nustatytos teorinės ventiliatoriaus VKAP 200LD 2.0. slėgio-srauto ir naudingumo charakteristikos ir kiti parametrai, kurie palyginti su eksperimentiniais duomenimis.
3. Gautas pakankamai geras teorinių ir eksperimentinių slėgio-srauto kreivių sutapimas vidutinių ir didelių srautų srityje (virš $400 \text{ m}^3/\text{h}$), kurioje paklaida neviršėjo 5 %. Mažų srautų srityje, dėl neįvertinto ventiliatoriaus variklio apsukų padidėjimo, teoriniai ir eksperimentiniai tyrimo rezultatai nesutapo.
4. Teorinis naudingumas gautas 5-10 % didesnis už eksperimentinį.
5. Tikslesniam skaitiniam ventiliatoriaus modeliavimui būtina patikslinti sparnuotės geometriją ir įvertinti mechaninę elektros variklio charakteristiką.

LITERATŪRA

1. JUODIS. E. *Vėdinimas: Vadovėlis*. Vilnius: Technika, 2008. 400 p.
2. ISO EN LST 5801:2009. *Pramoniniai ventiliatoriai. Eksploatacinių charakteristikų bandymai naudojant standartizuotus ortakius*. 231 p.
3. VAITIEKŪNAS P. *Šiluminių mainų matematinis modeliavimas*. Mokomoji knyga. Technika. Vilnius. 2007 -.290 p.
4. LST EN ISO 13349:2010. *Ventiliatoriai. Aiškinamasis žodynas ir kategorijų apibrėžtys (ISO 13349:2010)*. 46 p.
5. LST ISO 5168:2007. *Fluido srauto matavimas. Neapibrėžčių vertinimo procedūros*. 65 p.
6. ISO 13347-3:2004. *Industrial fans -- Determination of fan sound power levels under standardized laboratory conditions -- Part 3: Enveloping surface methods*. 22 p.
7. EN 13141-4:2011. *Pastatų vėdinimas. Gyvenamųjų patalpų vėdinimo komponentų ir (arba) gaminių eksploatacinių charakteristikų bandymai. 4 dalis. Gyvenamųjų patalpų vėdinimo sistemų ventiliatoriai*. 22 p.
8. ISO 14695:2003. *Industrial fans - Method of measurement of fan vibration*. 33 p.
9. LST EN 15726:2012. *Pastatų vėdinimas. Oro sklaidymas. Matavimai kondicionuoto oro arba vėdinamų patalpų užimtojoje zonoje šiluminėms ir akustinėms sąlygoms įvertinti*. 21 p.
10. ST EN 15727:2010. *Pastatų vėdinimas. Ortakiai ir ortakyno komponentai, sandarumo klasifikacija ir bandymai*. 13 p.
11. LST EN 12238:2003. *Pastatų vėdinimas. Galiniai oro paskirstymo įtaisai. Aerodinaminis bandymas ir charakteristikų nustatymas, esant sroviniam tekėjimui*. 36 p.
12. EN ISO 5167-1:2003/P:2007. *Fluido tekėjimo matavimas skirtuminio slėgio įtaisais, įrengtais vamzdžiuose, kuriuos tėkmė visiškai užpildo. 1 dalis. Bendrieji principai ir reikalavimai (ISO 5167-1:2003)*.
13. <http://www.salda.lt/lt/products/fans/vkap-200-ld-3.0> (žiūrėta 2016-04-22)
14. POLANSKY, Jiry, GAŠPAR, Roman. Aerodynamic Performance Prediction of Centrifugal Fan With Forward Curved Blades. *Transaction of Control and Mechanical Systems*, 2013. p. 267-271.

15. MAHAJAN, Vandana N., SANJAY P. Shekhawat. Analysis of blades of axial flow fan using ANSYS. *International Journal of Advanced Engineering Technology*, 2011. p. 261-270.
16. AKTURK, Ali, CAMCI, Cengiz. *A computational and experimental abalysis of a ducted fan used in VTOL UAV systems*. Pennsylvania State University, United States. 2011. p. 2-11.
17. FRANK, Stefan, et. al. Design improvements of sirocco type fans by means of computational fluid dynamics and stereoscopic particle image velocimetry. *Fan 2012*. 2012. p. 2-12.
18. PANIGRAHI, Durga Charan, Mishra, Devi Prasad. CFD simulations for the selection of an appropriate blade profile for improving energy efficiency in axial flow mine ventilation fans. *Journal of Sustainable Mining*. 2014. p. 16-21.
19. GEORGESCU, Andrei-Mugur, GEORGESCU, Sanda-Carmen. Simplified numerical model of an axial impeller. *COMSOL Conference in Milan*. 2012. p. 2-5.
20. VAN DER SPUY, Sybrand J., VON BLACKSTROM, Theodor W., KROGER, Detlev G. An Evaluation of Simplified Methods to Model the Performance of Axial Flow Fans Arrays. *R&D Journal of the South African Institution of Mechanical Engineering*. 2010. p. 12-20.
21. JIE, Tian, et. al. Research of Collateral Axial Flow Fan System Inside Outdoor Unit of Air-conditioner. *16th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference*. 2010. p. 1-10.
22. DWIVEDI, Dushyant, DANDOTIYA, Devendra Singh. CDF Analysis of Axial Flow Fans with Skewed Blades. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2013. p. 741-751.
23. ROY, Bhaskar, MELKIA, Yilak. Analysis and design of tandem blades for variable duty axial flow fans. *Proceedings of the 3rd BSME-ASME International Conference on Thermal Engineering*. 2006. p. 1-7.
24. SINGH, O.P., et al. Parametric study of centrifugal fan performance: Experiments and numerical simulation. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 2011. p. 33-50.

25. WEN, Jiabin., HE, Haibo. Numerical Simulation and Analysis of Three Dimensional Flow Field of a Counter-Rotating Fan with Various Angles. *International Journal of Control and Automation*, 2013. p. 127-138.
26. DARBANDI, Masoud, SABZPOUSHAN, Seyedali, SCHNEIDER, Gerry. Numerical Investigation on Periodic Simulation of Turbulent Flow through Parrallel Ducted Axial Fans. *Conference Paper*, 2015. p. 2-7.
27. KUNDU, Pijush K., COHEN, Ira M., DOWLING, David R. *Fluid Mechanics. Fifth Edition*. Oxford, United Kingdom, 2012. ISBN 978-0-12-382100-3.
28. WU, Yongmin, et al. Effect of Hub-Ratio on Performance of Assymmetric Dual-Rotor Small Axial Fan. *Open Journal of Fluid Dynamics*, 2013. p. 81-84.
29. ALIC, Izet, BULJUBASIC, Indira, ELJSAN, Sandira. Numerical and experimental determination of the aerodinamic characteristics of the flue gas fan. *Research Conference in Technical Disciplines*, 2013. p. 21-24.
30. GUNDALE, Virajit A., PATIL, S.A. Improvement in the desing of a radial type vertical submersible open well pump impeller using CFD. *International Journal of Engineering Research and Industial Applications*, 2012. p. 99-108.
31. EBERLINC, Matjaž, et al. Influence of Blade Deformation on Integral Characteristic of Axial Flow Fan. *Journal of Mechanical Engineering*, 2008. p. 159-169.
32. АЛЯМОВСКИЙ А. А. *Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation*. М.: ДМК Пресс, 2010. 464 с.
33. VAITIEKŪNAS, Petras. *Šilumos mainų matematinis modeliavimas*. 2007. 290 p.
34. *SolidWorks Flow Simulation 2012. Tutorials*. 2012. 266 p.
35. MATSSON, John. *An introduction to SolidWorks Flow Simulation 2013*. SDC publication. 2013. 340 p.

PRIEDAI

RH22L-2EP.WC.4R

Art.Nr.
Art.no.
113 200



Leistungsdaten
Performance data

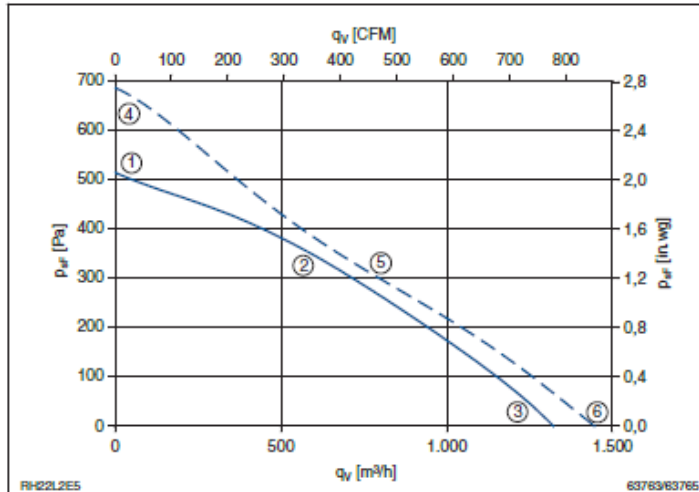
1~ 230V 50/60Hz

Thermische Klasse 155 (F)
Thermal class

Anschlusschaltbild 177X
Connection diagram

P ₁	0,16/0,22	kW
I	0,71/0,96	A
n	2510/2610	min ⁻¹
I _A	1,45/1,35	A
Δ	0	%
C _{400V}	4	μF
t _h	75/50	°C
m	2,6	kg

Kennliniendaten
Characteristic data



50Hz	U	I	P ₁	n	L _{WA}
	V	A	W	min ⁻¹	dB
①		0,48	105	2810	
②	230	0,71	165	2510	69
③		0,61	140	2640	79

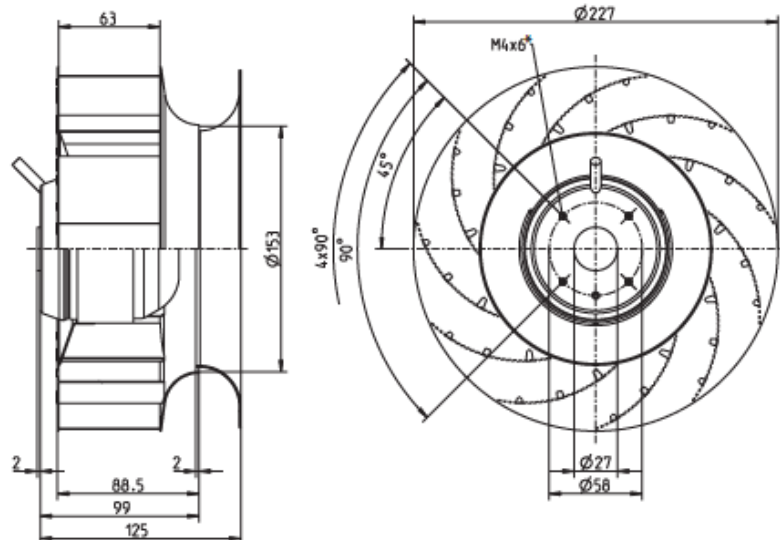
60Hz	U	I	P ₁	n	L _{WA}
	V	A	W	min ⁻¹	dB
④		0,65	150	3260	
⑤	230	0,96	220	2610	70
⑥		0,87	200	2890	81

$$P_{GE} = 2,4 \cdot 10^{-5} \cdot q_v^2$$

Zubehör / Accessories



siehe Seite 126-131 / see page 126-131



* Einschraubtiefe / depth of screw

2 priedas

Ventiliatoriaus VKAP 200LD 2.0. skaitinio modeliavimo duomenys

Eil. nr.	q_m , kg/s	p_{sg3} , Pa	V_{m4} , m/s	Re_{D3}	$(\zeta_{1-3})_3$	p_{sg1} , Pa	p_{sg4} , Pa	p_{stat4} , Pa
1	0,0105	100913,2	0,461	6147	0,1427	100913,1	101325,1	101325,0
2	0,03	100916,4	0,921	12280	0,1197	100916,4	101325,7	101325,0
3	0,068	100936	1,842	24560	0,1010	100936,4	101327,3	101325,0
4	0,1013	100954,5	2,76	36800	0,0917	100955,4	101329,9	101325,0
5	0,1334	100974,1	3,68	49067	0,0858	100975,5	101335,1	101325,0
6	0,1666	101001,1	4,6	61333	0,0815	101003,2	101340,5	101325,0
7	0,2	101051,1	5,53	73733	0,0782	101054,3	101348,6	101325,5
8	0,2335	101107,6	6,45	86000	0,0756	101112,0	101356,6	101325,0
9	0,2669	101173,3	7,37	98267	0,0734	101179,1	101366,4	101324,6
10	0,3006	101256,3	8,29	110533	0,0716	101263,9	101377,1	101324,6
11	0,3207	101308,8	8,842	117893	0,0706	101317,5	101384,1	101325,0

lentelės tęsinys

Eil. nr.	v_{m2} , m/s	Re_{D4}	$(\zeta_{2-4})_4$	p_{stat2} , Pa	p_{sg2} , Pa	p_{fD} , Pa	p_{sfD} , Pa	q_v , m ³ /h
1	0,32	4171,2	0,158	101325,0	101325,1	411,98	411,93	31,5
2	1,07	14200,0	0,115	101325,1	101325,4	409,07	408,67	90,0
3	1,96	26133,3	0,099	101325,2	101327,2	390,83	388,81	204,0
4	2,87	38266,7	0,091	101325,5	101329,9	374,53	370,06	303,9
5	4,08	54400,0	0,084	101325,8	101333,4	357,89	350,13	400,2
6	5,07	67600,0	0,080	101326,3	101338,1	334,88	322,77	499,8
7	6,17	82266,7	0,076	101327,3	101344,4	290,09	272,63	600,0
8	7,20	96000,0	0,074	101327,4	101350,6	238,55	214,76	700,5
9	8,26	110133,3	0,072	101327,6	101358,0	178,84	147,75	800,7
10	9,31	124133,3	0,070	101328,3	101366,8	102,92	63,49	901,8
11	9,87	131600,0	0,069	101329,1	101373,1	55,57	10,69	962,1

lentelės tęsinys

Eil. nr.	τ_s , Nm	P_{usA} , W	P_{uA} , W	η_{eD}	η_{seD}
1	0.289	3.6	3.6	4.7	4.7
2	0.256	10.2	10.2	15.2	15.2
3	0.248	22.0	22.0	33.8	33.8
4	0.318	31.2	31.2	37.4	37.4
5	0.368	38.9	38.9	40.2	40.3
6	0.417	44.8	44.8	40.9	40.9
7	0.456	45.4	45.5	37.9	38.0
8	0.483	41.8	41.9	32.9	33.0
9	0.491	32.9	33.0	25.5	25.6
10	0.493	15.9	16.1	12.3	12.4
11	0.489	2.9	3.1	2.2	2.4

Ventiliatoriaus VKAP 200LD 2.0. eksperimentinio tyrimo duomenys

Eil. nr.	Oro srautas q_v , m^3/h	Statinis slėgis p_{sD} , Pa	Slėgis p_{fD} , Pa	Vent. naudingumas η_{seD}
1	983	0	57.06	0.0
2	938	41	92.96	8.2
3	893	82	129.09	15.1
4	843	122	163.96	20.3
5	792	160	197.04	24.6
6	733	200	231.73	28.1
7	669	240	266.43	30.5
8	609	281	302.90	32.6
9	552	316	333.99	33.4
10	488	350	364.06	33.4
11	427	380	390.77	32.4
12	360	411	418.65	30.9
13	311	432	437.71	28.7
14	240	460	463.40	25.3
15	187	481	483.06	22.3
16	125	503	503.92	16.6
17	79	518	518.37	11.5
18	0	551	551.00	0.0