



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

TÖÖSTUSLIKE EMULSIONI AURUDE KOLLEKTOR

INDUSTRIAL EMULSION VAPOR COLLECTOR

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Harri Liis.....
/nimi/

Üliõpilaskood 178108MATM.....

Juhendaja: Dotsent, Toivo Tähemaa.....
/nimi, amet/

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 201.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....201.... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Harri Liis _____ (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 14.12.88.)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Tööstuslike emulsiooni aurude kollektor

_____ ,

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on Toivo Tähemaa _____

(*juhendaja nimi*)

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

_____ (*allkiri*)

_____ (*kuupäev*)

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Harri Liis 178108MATM..... (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava, peeriala: MATM02/15 Tootearendus ja tootmistehnika. (kood ja nimetus)
Juhendaja(d): dotsent, Toivo Tähemaa..... (amet, nimi, telefon)
Konsultant:(nimi, amet)
..... (ettevõtte, telefon, e-post)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Tööstuslike emulsiooni aurude kollektor

(inglise keeles) Industrial emulsion vapor collector.....

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Uurida kollektori tööpõhimõtet
2. Projekteerida ning valmistada tsentrifugaal tiivik
3. Projekteerida ning konstrueerida tööstuslike emulsiooni aurude kollektor

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Magistritöö plaani koostamine ning ülesande püstitamine	Veebruar 2020
2.	Teoreetiline osa	Märts 2020
3.	Projekteerimine	Aprill 2020
4.	Joonised ja vormistamine	Mai 2020

Töö keel: Eesti keel..... **Lõputöö esitamise tähtaeg:** ".....".....201....a

Üliõpilane: Harri Liis..... ".....".....201....a
/allkiri/

Juhendaja: Toivo Tähemaa..... ".....".....201....a
/allkiri/

Konsultant: ".....".....201....a
/allkiri/

Programmijuht: ".....".....201....a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA.....	7
SISSEJUHATUS.....	8
1. UDU JA SUITS TOOTMISES.....	9
2. EMULSIOONI AURUDE KOLLEKTORI TÖÖPÕHIMÕTE.....	11
2.1 Kollektori jõudluse parameetrid.....	12
2.2 Erinevat tüüpi udukogujate tööpõhimõtted.....	13
3. ERINEVAD TIIVIKUD/VENTILAATORID.....	16
3.1 Ventilaatorite tüübid.....	16
3.2 Levinumad puhurite tüübid.....	17
3.3 Tiivikutega seonduvad füüsilised põhireeglid.....	19
3.4 Tiivik vs. propeller.....	20
3.5 Kasutusel olevad tiivikud.....	21
3.6 Tiiviku labad.....	22
3.7 Ventilaatori valik.....	25
4. KOLLEKTORI SUURUSE MÄÄRAMINE.....	26
4.1 Tsentrifugaal tiiviku arvutused.....	29
4.1.1 Tsentrifugaal tiiviku projekteerimine.....	30
4.1.2 Tsentrifugaal ventilaatori spiraalkambri arvutused.....	32
4.1.3 Hüdraulilised-, lekke- ja energiakaod.....	34
4.1.4 Efektiivsus.....	34
4.1.5 Tsentrifugaal tiiviku töötamiseks vajalik ideaalne võlli võimsus.....	35
4.1.6 Võlli arvutuslik diameter.....	35
4.1.7 Laba profiil.....	36
4.2 Tsentrifugaal tiiviku projekteerimine.....	36
5. ERINEVAD ELEKTRIMOOTORI TÜÜBID.....	46
5.1 Mootori valiku kriteeriumid.....	46
5.2 Alalis ning vahelduvoolu elektrimootorid.....	47
5.2.1 AC mootorid.....	47
5.2.2 DC mootorid.....	47
5.3 Erinevat tüüpi elektrimootorid.....	48
5.3.1 Harjadega motor.....	48
5.3.2 Püsimagnetiga.....	49
5.3.3 Harjadeta mootor.....	49
5.4 Elektrimootori valik.....	50
6. KOLLEKTORI PROJEKTEERIMINE.....	52
6.1 Kollektori projekteerimine.....	52

7. MAJANDUSLIK OSA	55
KOKKUVÕTE	57
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	58
GRAAFILINE OSA	60
Joonis 1. Mootori kinnitus flants	60
Joonis 2. Tiiviku rumm	60
Joonis 3. Tsentrifugaal ventilaator	60
Joonis 4. Spiraalkambri kooste joonis	60
Joonis 5. Kollektori kooste joonis	60

EESSÕNA

Käesoleva magistritöö teema on „Tööstuslike emulsiooni aurude kollektor“. Teema aktuaalsus kerkis üles lõiketöötuses tekkivatest emulsiooni lõhnadest ning sellest tulenevalt tekkinud huvi uurida aurude kollektori tööpõhimõtet. Valisin selle teema kuna kogemused, teadmised ja oskused mis selle magistritöö kirjutamise ajal on võimalik omandada saab rakendada ka enda edasises elus ja töömaastikul.

Sooviks tänu avaldada Toivo Tähemaale kelle kiirele reageerimisele, juhendamisel ja täpsustavatele märkustele sain magistritöös edasi liikuda.

Lõputöö võtmesõnad: emulsiooni aurud, kollektor, projekteerimine, ventilaator, magistritöö

SISSEJUHATUS

Teema aktuaalsus kerkis üles töötades lõiketöötusega tegelevas ettevõttes ning külastades erinevaid lõiketöötusega tegelevaid Eesti firmasid. Kuna lõiketöötuse ajal kasutatakse emulsioone/lõikeõlisid, et saavutada paremad lõikekiirused ning pinnakaredused ning selle protsessi käigus tekkivad lõhnad ning aurud mis on häiriva ning spetsiifilise tooniga.

Sellest tulenevalt tekkis magistritöö autoril huvi uurida emulsiooni aurude kollektoreid ja nende tööpõhimõtet. Emulsiooni aurude ning udu kollektorid aitavad koguda endasse masinas lendlevaid emulsiooni udu ja auru osakesi mis kogujas moodustavad piisad ning langevad põhja kus kaudu liiguvad pinki tagasi.

Emulsiooni udu ja aurude kogumis seadmed on üldiselt kallid. Magistritöö raames on plaanis uurida erinevate tootjate valmistatud emulsiooni udu ja aurude kogujaid ning leida odavam alternatiiv oma valmistatud kollektori näol. Emulsiooni/õli aurude kollektoreid kasutatakse metalli tööstuses lõike – ning lihvpinkide lõikeprotsessides kasutatavate jahutusvedelike kahjulike ainete kui ka tekkinud jääkide eemaldamiseks mis tekivad materjali töötlemise ajal.

Magistritöö käigus on kasutatud järgnevaid tarkvara programme: SolidWorks 2019, Ansys 16.0; Matlab ja CalQlata

Magistritöö käigus tuuakse välja udu ja suitsu tekkimise põhjused tootmises ning nende kahjulikkus, uuritakse emulsiooni aurude kollektori tööpõhimõtteid, uuritakse erinevaid tsentrifugaal tiivikuid ja ventilaatoreid ning proovitakse leida sobivaim emulsiooni aurude kollektori valmistamiseks. Erinevate elektrimootorite hulgast valitakse välja antud aplikatsiooni jaoks sobivaim ja odavaim lahendus. Arvutuste käigus leitakse tsentrifugaal tiiviku, spiraalkambri ja kollektori korpuse gabariit mõõtmed ning majanduslikus osas leitakse ühe kollektori maksumus ning viiekümne kollektori valmistamise maksumus.

1. UDU JA SUITS TOOTMISES

Udu tootmises võib üldiselt defineerida, kui vedeliku tilgana, mille läbimõõt on 20 mikronit või väiksem. Tootmises kasutatakse mitmeid erinevaid määrdeaineid. Määrdeaineid ja jahutusvedelikke kasutatakse paljudes rakendustes nagu näiteks metalli lõikamisel, metalli vormimisel, lihvimisel, osade pesemisel ja muudes tootmisoperatsioonides. Näiteks vesilahustuvate metallitöötlemisvedelike abil lihvimise ja treimise käigus tekivad tavaliselt udupiisad, mille suurus jääb vahemikku 2 kuni 20 mikronit. Õlipõhistel vedelikel, tekivad tavaliselt udupiisad vahemikus 0,5 mikronist kuni 10 mikronini.

Tootmises leviv suits on tavaliselt oma mõõtmetelt palju väiksema läbimõõduga 0,07 mikronit kuni 1 mikron ja see võib olla kas tahke või vedel aerosool, mis tuleneb üleküllastunud auru mittetäielikust põlemisest või kondenseerumisest. Seda nimetatakse mõnikord terminiliselt tekivaks uduks või õliseks suitsuks. Levinumad suitsu tekitavad operatsioonid tootmises on külmjuhtimine, kõvade metallide töötlemine õliga, õli reservuaaride kasutamine suurtel generaatoritel ja kuumtöötlus.

Usutakse, et, kui udu või suitsu pole näha siis seda tootmises ei eksisteeri. See on aga väär arusaam. Ning paljud ei tea, millist kahju võib submikroniline udu tekitada tootmiskeskonnale, töötajatele sissehingamisel, hoolduses ja majapidamises ja siseõhu kvaliteedis, kui ei jälgita õhu heitenormide standardeid. Tegelikult ei näe inimsilm individuaalseid õhus levivaid udu tilkasid, mis on väiksemad kui 40 mikronit. Kuid on olemas tõendeid selle kohta, et paljudes metallitöötlemistoimingutes esinevad väiksemad udutilgad.

Seega on äärmiselt tähtis likvideerida võimalikult palju tootmise õhus levivat udu ja suitsu. Kuna õhus leviva udu, emulsiooni aurude, saaste ja suitsu kogumine aitab:

- Tagada puhtama töökeskkonna maksimaalse tootlikkuse saavutamiseks
- Vähendab uduga seotud ohtude riski
- Aitab vältida töötajatel kahjuliku udu sissehingamist (vähem võimalikke haigusi ja tervisealaseid häireid)
- Madalamad tehase ülalpidamiskulud
- Puhtam tehas ja masinapark
- Takistab udu ladestumist tootmise pörandatel, mis hoiab ära libisemise ja kukkumised
- OSHA nõuded puhtamale töökeskkonnale
- Kulude kokkuhoid saastatud jahutusvedeliku asendamisel

- Puhtam jahutusvedelik võimaldab tööriista pikemat kasutusiga
- Töötaja üldine rahulolu oma töökeskkonnaga

Kõige enam tekib emulsiooni aurudest udu tootmises ning õhus levivat suitsu keevituses. Põhilised murekohad tootmis ettevõtetes on:

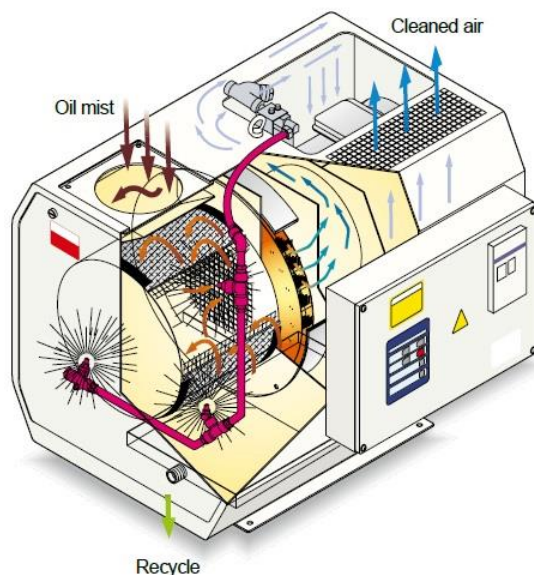
- Treipingid (ühe- ja mitme spindliga)
- Teritajad ja lihvijad, mis on varustatud kaitse seadmetega, et töötaja endale viga ei teeks
- CNC tööpingid
- Lihvimispingid
- Freespingid
- Puurpingid
- Keerulised tööpingid, milles tehakse mitu operatsiooni korraga.
- Keevituses [1]

2. EMULSIOONI AURUDE KOLLEKTORI TÖÖPÕHIMÕTE

Kiirel ühtlasel kiirusel pöörlev mootor tekitab trumli sees vaakumi, mis tõmbab trumli keskele õhus levivad uduosakesed. Trumlis põrkavad uduosakesed kokku teiste osakestega moodustades seejärel suuremad tilga suurused osakesed. Kui osakesed on kasvanud piisavalt suurteks piiskadeks, läbivad nad trumlis olevad avad ning tsentrifugaal jõud paiskab piisad vastu korpuse siseseina. Rõhu all olevad osakesed suunatakse seejärel tagasi õli tagasilaske kanalisse, kust nad suunatakse edasi masina jahutusvedeliku paaki. Õlist vaba ning puhas õhk suunatakse tagasi töökotta. [1]

Töökohas aitab õhus levivaid aerosoolseid, uduosakesi ning auru vähendada udu ning aurude kogujad. Udu ning aurude kogujad on tööstuses kasutust leidnud koos ülejäänud tootmises kasutatava masinapargiga. Udu ning aurude kogujad koguvad masinate töötamisel ajal õhus lendlevad õli, emulsiooni aerosoolsete ning aurude osakesed. Udu ning aurude kogujad on üldiselt disainitud kahte rühma. Ühed nendest koguvad kogu õhus leiduva saaste endasse. Teised aga koguvad õhus leiduvad osakesed endasse ning suunavad õli tagasi masinasse ning puhta õhu taas tootmisesse.

Õhus levivad auru ning suits on tavaline nähtus tootmises, kus toimub keevitamine, kummi ning plasti tootmine, kiirlõike töötuluses, kus kasutatakse emulsioone ja karastamist. [2]



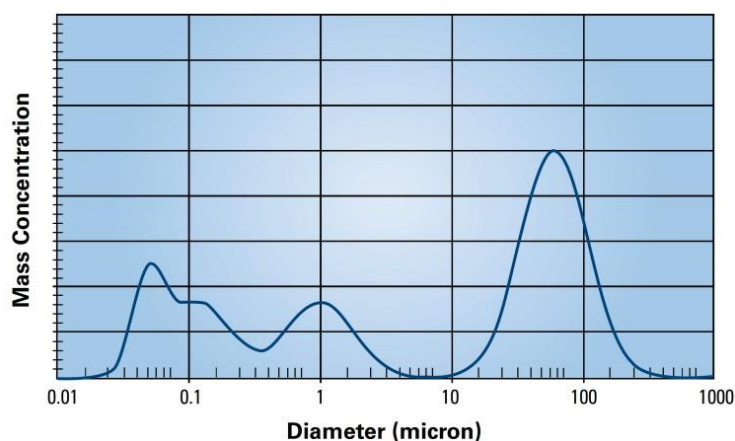
Joonis 2.1 Kollektori läbilõige [2]

2.1 Kollektori jõudluse parameetrid

Õhust uduosakeste kollektori funktsioneerimist saab iseloomustada kolme mõõdetava omadusega.

- Surve langus: Töötava udu kollektori tööõhu langus on väga oluline osa energiakuludest. Suuremad rõhu langused tähendavad, et vaja läheb rohkem energiat, et vajalik õhuvool läbiks udu kollektorit. See omakorda tähendab rohkem kulusid.
- Efektiivsus: Kollektori efektiivsus seisneb selles, et õhuvoolust eemaldatakse udu ning suitsu piisad. Udukollektori efektiivsus on väga oluline, sest see määrab ära, kui puhas õhk peale seda, kui kollektorist läbi minev õhk lastakse tagasi töökeskkonda. See ongi põhjus udukollektori paigaldamiseks - õhu puhastamiseks. Kollektori efektiivsus on põhiline, mis aitab mõõta, kui puhas on õhk peale kollektorist väljumist.
- Voolukiirus: Kollektori õhu voolukiirus on väga oluline, sest see määrab ära, kui palju õhku puhastatakse. Kui õhu voolu kiirus on liiga aeglane, siis udu kollektor tõmbab endasse vähem õhus levivat udu ning suitsu ning ei täida oma ülesannet. Kui õhu voolukiirus on liiga suur raisatakse energiat, kuna õhu ülejääk tõmmatakse läbi kollektori. Soovitav on konstantne ühtlane õhu voolukiirus, mis tagab, et kõik õhus lendlevad udu osakesed jõuaksid kollektorisse.

Lisaks kollektori põhikonstruktsioonile on veel mitmeid udu omadusi, mis mõjutavad udukollektori tööd:



Joonis 2.2 Hüpooteetiline udu ja suitsu piiskade suuruse metallide töötlemisel [3]

- Udu kontsentratsioon - õhus sisalduva udu hulk varieerub suuresti. Katsete käigus on mõõdetud õhus leviva udu kontsentratsiooni ning kõige madalam

sisaldus on 3 mg/m³ ja kõige kõrgem sisaldus õhus 37 mg/m³. On väga tõenäoline, et tööstuses on õhus leviv udu kontsentratsioon tunduvalt suurem. OSHA piirmäärad õhus levivate udu metallitöötlemisvedelike jaoks varieeruvad - 5 mg/m³ (8-tunnine kokkupuude) mineraalõli ning 15 mg/m³ (8-tunnine kokkupuude) muude jahutusvedelike puhul. NIOSH-i soovitatavad piirväärtused on madalamad, kuni 0,4 mg/m³. Üldiselt on kontori töökeskkonnas õhus levivate tahkete osakeste kontsentratsioon vahemikus 0,02–0,03 mg/m³, mis on oluliselt madalam, kui udu kontsentratsioon metallitöötlemise ajal.

- Udu temperatuur - kondenseerumine võib tekkida, kui temperatuurid on kõrged ning udu osakesed ise on jahedad. See võib mõjutada tekkiva udu tilga suurust ja nende kogumist. Veepõhiste jahutusvedelike puhul aurustub vesi kõrgematel temperatuuridel ja madalamal suhtelise õhuniiskuse tasemel, luues sellega väiksema tilga suuruse. Udu või suitsu kogumise tehnoloogia valimisel on oluline arvestada ka filtri töötemperatuuri piire.
- Udu tüüp - erinevat tüüpi udupiiskadel on erinevad pind pinevuse ja viskoossuse omadused, mis mõjutavad udukoguja võimet udu koonduda ja endasse tõmmata.
- Udutilkade suuruse jaotus - üldiselt on kollektoril suuremaid udu piisku hõlpsam koguda, kuid suured tilgad võivad märkimisväärselt mõjutada udus sisalduva vedeliku kogumassi, mis peab lõpuks kollektorist välja voolama. Joonis 1 näitab hüpoteetilist udu ja suitsutilkade suuruse jaotusest.
- Kaasamine – kui udu on puhas ja ei sisalda tahkeid/kuivi osakesi tuleb huvituda ainult vedeliku tühjendamise ning liitmisest. Siiski sisaldab ka mitte puhas udu murdosa tahkeid osakesi, mis tuleb eraldada üldisest õhuvoolust, mis lastakse tagasi tööstuse masinaparki. [3]

2.2 Erinevat tüüpi udukogujate tööpõhimõtted

Udu tilkasid on võimalik koguda mitmel viisil.

- Elektrostaatiline sadestaja

Elektrostaatilised sadestajad töötavad järgmiselt. Uduga koormatud õhk läbib ionisaatori, mis annab igale udu tilgale kas positiivse või negatiivse laengu. Seejärel positiivse või negatiivse laenguga laetud udu tilgad püütakse kinni kogumisrakkude poolt, mis kasutavad udu tilkade kinni püüdmiseks vahelduvat kõrgepinget ja maandatud plaate laetud udu tilkade surumiseks/tõmbamiseks plaadile. Tilgad kogunevad plaatidele ja voolavad kollektorist välja. Elektrostaatilistel sadestajatel on mitmeid eeliseid, sealhulgas pole vaja vahetada filtreid, suhteliselt madal energiakulu ja kõrge kasutegur, kui need on uued ja täielikult puhastatud.

Siiski on elektrostaatilised sadestajad on eelistusest välja langenud tänu raske ja sagedase hooldusvajaduse tõttu. Elektrostaatilise sadestaja tõhususe säilitamiseks tuleb tema sees olevaid osi tuleb hoolikalt puhastada. Isegi regulaarse hoolduse korral võib tekkida täiendavaid raskusi. Igasugune kahjustus laetud plaatidele võivad põhjustada elektrikaare. Samuti võivad udupiiskadega koos kogunud metallitolm, laastud või sülem elektrostaatilise sadestaja sees tekitada elektrikaare. Ja lõpuks tekitavad elektrostaatilised sadestajad osooni, mis saastavad ning ärritavad tööstuses olevat siseõhku.

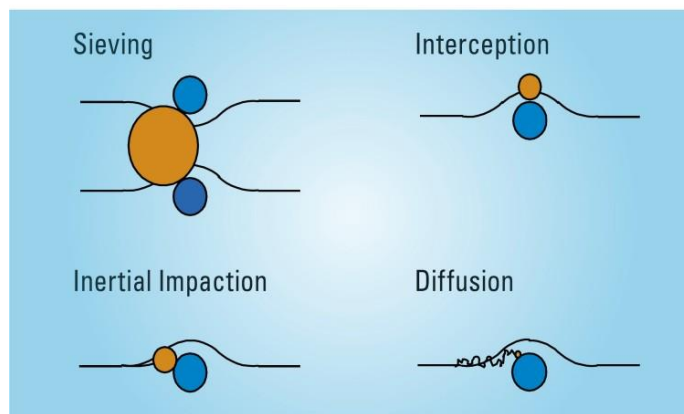
- Inertsiaalne eraldamine

Kollektorid, mis tuginevad peamiselt inertsiaalsele eraldamisele, töötavad järgnevalt, õhuvoos leiduvad tilgad eraldatakse ülejäänud õhust. Kui õhuvoog on suunatud ümber pinna on udu piiskadel sees hoog, mis suunab nad mööda oma rada, mõjutades pinda kus nad saavad kokku õhus leiduvate teiste piiskadega ning juhatakse äravoolu. Ehkki inertsiaalse eraldamise tüüpe ja stiile on palju on neil kõigil siiski midagi ühist. Esiteks võivad inertsiaalsed eraldajad töötada ilma tõkke filtreerimismehhanismita - tavaliselt pole neil primaarseid filtreid, mida oleks vaja vahetada.

Üldiselt vajavad nad siiski regulaarset hooldust, mille käigus komponendid puhastatakse saastest. Lisaks toimib inertsiaalne eraldamine paremini suurte udu tilkade korral, kuna tilgad ei liigu otseses õhuvoos. Suurematel tilkadel on rohkem massi, rohkem hoogu ja suurem võimalus jõuda pinnale kuhu nad kogunevad. Inertsiaalsetel eraldajatel on nõrk efektiivsus tilkade puhul, mille läbimõõt on väiksem kui 1-2 mikronit. Ning lõpuks mootoriga inertsiaalsed separaatorid, mis pöörlevad, võivad tahked ained koguneda ja takerduda keerlevatesse osadesse. See viib omakorda lõpuks inertsiaalse separaatori tasakaalust välja ning hakkab põhjustama liigset vibratsiooni tööpingile. Mis omakorda hakkab mõjutama töödeldavate detailide tolerantsi.

- Filtriga

Kollektorid, mis kasutavad kiud filtreid tuginevad nelja filtri süsteemile, mis eemaldavad õhust udu ning suitsu piisad (Joonis 2.3)Joonis 2.3 Filtri mehhanismid:



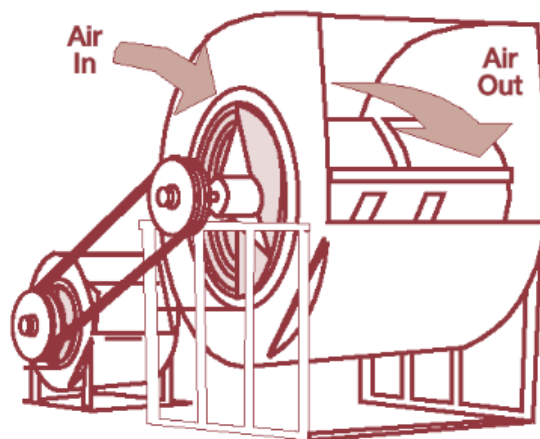
Joonis 2.3 Filtri mehhanismid [3]

1. Sõelumine (Sieving) on valdav filtreerimismehhanism, mis kogub suuremaid, üle 10 mikroni tilke. Sõelumine toimub siis, kui tilk on kahe või enama kiu vahel liikumiseks füüsiliselt liiga suur. Sõelumine takistab õhus lendlevate tahkete osade läbimist läbi filtri. Kui õhus olev udu tilk puutub kiudfiltriga kokku, kleepub see tema pinnale ning ühineb teiste tilkadega ja voolab kollektorist välja.
2. Inertsiaalne löök (Inertial Impaction) on filtreerimismehhanism, mis kogub enamasti mikroni suuruseid ja suuremaid udu tilkasid. Inertsiline löök toimub siis, kui õhuvoog nihkub meediumikiu abil, samal ajal kui tilk jätkab oma liikumist massi tõttu algsel kursil.
3. Kinni pidamine (Interception) on filtreerimismehhanism, mis kogub peamiselt 0,1 kuni 1 mikroni suuruseid tilka. Kinni pidamine toimub siis, kui udu tilk on õhuvoos, kuid on siiski filtri kiu jaoks piisavalt lähedal, et sellele kinnituda.
4. Difusioon (Diffusion) on filtreerimismehhanism, mis kogub peamiselt väga peeneid, alla 0,1 mikroni suuruseid udu tilkasid. Kuna tilgad on nii väikesed, siis mõjutavad neid õhuvoos olevad molekulaarsed jõud, mis põhjustavad tilkade liikumist õhuvooga samas suunas, kuid siiski liiguvad nad õhuvoost sõltumatult edasi. [3]

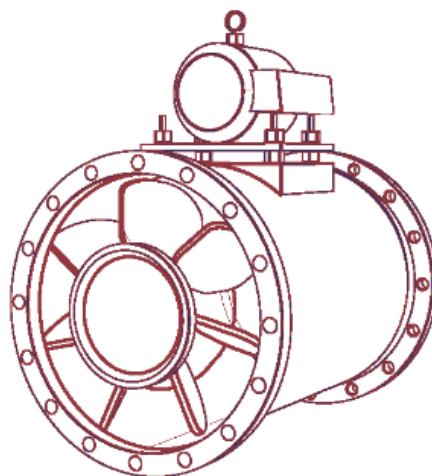
3. ERINEVAD TIIVIKUD/VENTILAATORID

3.1 Ventilaatorite tüübid

Tsentrifugaal ventilaatorite ja puhurite valik sõltub vooluhulgast, rõhust, töödeldava materjali tüübist mille osakesi leidub õhus, ruumi piirangutest ja efektiivsusest. Tiivikute efektiivsus erineb nii disainilt, kui ka nende tüüpide järgi. Tiivikute efektiivsuse vahemikud on esitatud tabelis (Tabel 3.1). Tiivikud jagunevad kahte kategooriasse: tsentrifugaalne ja aksiaalne õhuvool. Tsentrifugaalvoolu korral muudab õhuvool suunda kaks korda. Esimene kord sisenemisel ja teine kord väljumisel (ettepoole kõver, tahapoole kõverdatud või kaldu, radiaalne) (Joonis 3.1). Aksiaalsuunalise õhuvoolu korral siseneb õhk ja väljub ventilaatorist ilma suunda muutmata (propeller, aksiaalselt labad, tuub aksiaalselt) (Joonis 3.2). [4]



Joonis 3.1 Tsentrifugaal ventilaator [4]



Joonis 3.2 Aksiaalne ventilaator [4]

Tabel 3.1 Tiiviku efektiivsus [4]

Tiiviku tüüp	Maksimaalne efektiivsuse vahemik
Tsentrifugaal tiivik	
Tahapoole kaardus	79-83
Modifitseeritud radiaalne	72-79
Radiaalne	69-75
Rõhu puhur	58-68
Ettepoole kaardus	60-65
Aksiaalne tiivik	
Labad aksiaalselt	78-85
Tuub aksiaalselt	67-72
Propeller	45-50

3.2 Levinumad puhurite tüübid

Puhurid suudavad saavutada $1,20 \text{ kg/cm}^2$ suuremat rõhku, kui tiivikud. Neid kasutatakse ka negatiivsete rõhkude tekitamiseks tööstuslikes vaakum süsteemides. Puhurite peamised tüübid on: tsentrifugaal puhur ja õhu asendamisega puhur. Tsentrifugaal puhurid näevad välja nagu tsentrifugaal pumbad, kui ventilaatorid. Puhuri tiivik töötab üldjuhul käigukasti meetodil ja pöörleb kuni $15\,000 \text{ 1/min}$. Mitmeastmelistes puhurites õhk kiireneb, kui see läbib iga tiivikut. Üheastmelise puhuri korral ei õhk ei kiirene nii kiiresti ja on seetõttu tõhusam. Tsentrifugaal puhurid töötavad üldjuhul $0,35$ kuni $0,70 \text{ kg/cm}^2$ rõhkude korral, kuid need võivad saavutada ka kõrgema rõhu.

Üks negatiivne omadus on see, et õhuvool kipub süsteemi rõhu suurenedes drastiliselt langema, mis võib mõjutada õhuvoolust udu tilkade kogumist, mis sõltuvad püsivast õhukogusest. Seetõttu kasutatakse neid kõige sagedamini kohtades, mis ei ummistumise nii kergelt. Positiivse nihkega puhuritel on rootorid, mis õhku niiõelda "kinni püüavad" ja suruvad õhu läbi korpuse. Positiivse nihkega puhurid tagavad püsiva õhuhulga isegi siis, kui rõhk on erinev. Seetõttu sobivad positiivse nihkega puhurid eriti hästi ummistustele kalduvate rakenduste jaoks, kuna need võivad tekitada piisavalt survet. Tavaliselt kuni $1,25 \text{ kg/cm}^2$ - ummistunud osakeste läbi puhumiseks. Positiivse nihkega puhurid pöörlevad palju aeglasemalt, kui tavalised tsentrifugaal puhurid (nt 3600 pööret minutis) ja kiiruse muutmise hõlbustamiseks töötavad puhurid sageli rihma meetodil. [5]

Tabel 3.2 Puhurite, tiivikute tüübid, omadused ja tüüpilised rakendused [5]

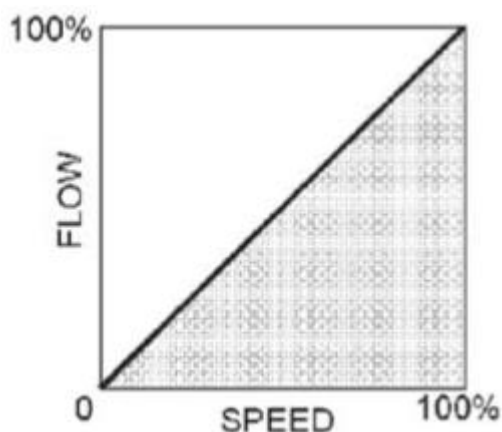
Tsentrifugaal puhurid			Aksiaalsed õhuvoolu tiivikud		
Tüüp	Omadused	Tüüpilised rakendused	Tüüp	Omadused	Tüüpilised rakendused

Radiaal	Kõrge rõhk, keskmine vooluhulk, efektiivsus umbes sama nagu tuub aksiaalsetel puhuritel, võimsus suureneb pidevalt	Erinevad tööstuslikud rakendused, sobivad keskkonda, kus niiskes õhus / gaasides leidub tolmu	Propeller	Madal rõhk, suur õhu vool, madal kasutegur. Maksimaalne kasutegur (staatiline rõhk null)	Õhuringlus, ventilatsioon, heitgaasid
Ettepoolekaardus labad	Keskmine rõhk, suur vooluhulk, rõhukõvera langus, radiaalsuunalistest tiivikutest kõrgem kasutegur, võimsus tõuseb pidevalt	Madal rõhk HVAC, sobivad puhta ja õhus leiduva tolmuiga koormatud õhu / gaaside jaoks	Tuubaksiaalne	Keskmine rõhk, suur vooluhulk, kõrgem kasutegur kui propelleri tüüpi tiivikul	HVAC, kuivatusahjud, väljalaskesüsteemid
Tahapoolekaardus labad	Kõrge rõhk, suur vooluhulk, kõrge kasutegur, võimsus väheneb, kui õhuvool ületab kõrgeima kasuteguri piiri	HVAC, erinevad tööstusrakendused, sundventilaatorid jne.	Labad aksiaalselt	Kõrg rõhk, keskmise vooluhulk, rõhu ja voolu langetamine, juhendite kasutamine parandab tõhusust	Kõrgsurverakendused, sealhulgas HVAC-süsteemid, heitgaasid
Aerodünaamika tüüpi	Sama nagu tahapoolekaardus labad, kõrgeim efektiivsus	Sama nagu tahapoolekaardus, kuid puhta õhu jaoks			

3.3 Tiivikutega seonduvad füüsikalised põhireeglid

Tiivikud töötavad kiirust, võimsust ja rõhku käsitlevate etteaimatavate seaduste alusel. Iga tiiviku kiiruse muutus (RPM) muudab ennustatavalt rõhu tõusu ja võimsust, mis on vajalik tiiviku töötamiseks uutel pööretel.

- Õhuvool/kiirus

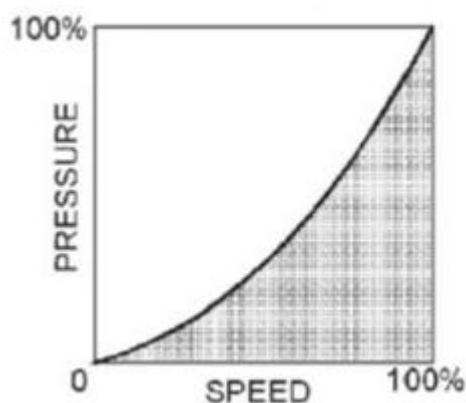


Joonis 3.3 Õhuvool/kiirus [4]

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (3.1)$$

Pöörete arvu muutmine 10% võrra vähendab või suurendab õhu edastamist 10%

- Rõhk/kiirus²

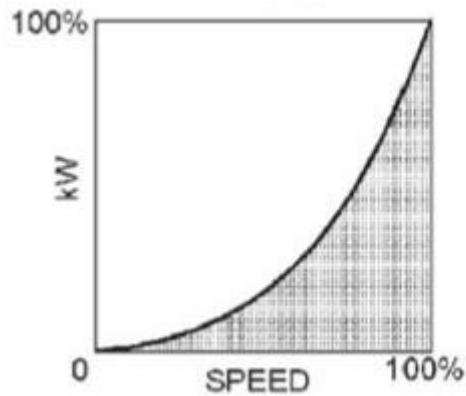


Joonis 3.4 Rõhk/kiirus² [4]

$$\frac{SP_1}{SP_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \quad (3.2)$$

Pöörete arvu vähendamine 10% võrra vähendab staatilist rõhku 19% ja pöörete suurenemine 10% suurendab staatilist rõhku 21%.

- Võimsus/kiirus³



Joonis 3.5 Võimsus/kiirus³ [4]

$$\frac{kW_1}{kW_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \quad (3.3)$$

Pöörete arvu vähendamine 10% võrra vähendab energiat 27% ja pöörete arvu suurendamine 10% suurendab energiat 33%

kus, Q – õhuvool

SP – staatiline rõhk

kW – võimsus

N – kiirus (RPM) [4]

3.4 Tiivik vs. propeller

Propeller muudab pöörlemise ajal pöördliikumise aksiaalseks tõukejõuks, mida kasutatakse laevadel, allveelaevadel või õhusõidukitel. Tsentrifugaal tiivikut kasutatakse pumpades vedeliku imemiseks ja vedelik väljub kõrgema rõhuga. Nii propelleril, kui ka tiivikul on spetsiaalselt disainitud labad, mis töötavad mootori jõul. Kui propeller on disainitud pöördliikumise muutmiseks ettepoole suunatud tõukejõuks, siis tsentrifugaal tiivik on disainitud kasutama pöörlevat liikumist vedeliku imemiseks. Propeller on disainitud nii, et tema konstruktsioon on avatud. Samal ajal, kui tsentrifugaal tiivik on disainitud nii, et ta on alati korpuse sees. [6]



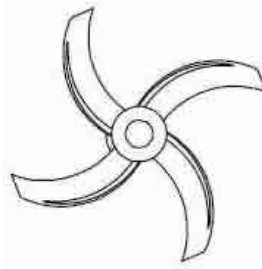
Joonis 3.6 Tsentrifugaal tiivik ja propeller [7]

3.5 Kasutusel olevad tiivikud

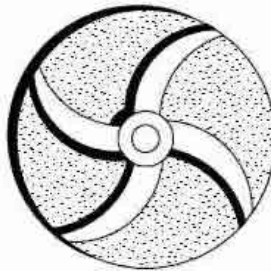
Tsentrifugaal pumba jõudluse määramisel on kõige olulisem tegur tiiviku disain. Õigesti kujundatud tiivik optimeerib voolu, minimeerides samal ajal turbulentsi ja maksimeerides tõhusust.

Tsentrifugaal pumba tiivik võib olla disainitud kolme moodi (Joonis 3.7):

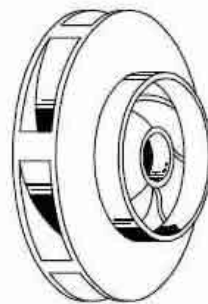
- Avatud tiivik (open impeller). Avatud tiivikutel on labad disainitud nii, et need on mõlemalt poolt vabad. Avatud tiivikud on see eest oma struktuurilt nõrgad. Neid kasutatakse tavaliselt väikese läbimõõduga odavates pumpades ning pumpades, mis koguvad endasse hõljuvaid tahkeid aineid.
- Pool avatud tiivik (semi-open impeller). Tiiviku labad on ühelt poolt vabad ja teiselt poolt suletud. Suletud tiiviku labad lisavad mehaanilist tugevust. Samuti pakuvad need suuremat efektiivsust, kui täiesti avatud tiivikud. Neid kasutatakse keskmise läbimõõduga pumpades ja seadetes, kus kasutatakse vedelike, mis sisaldavad väikeses koguses tahket ainet. On väga oluline, et retsirkulatsiooni ja muude kadude minimeerimise tõttu oleks tiiviku labade ja korpuse vahel väike vahe.
- Suletud tiivik (closed impeller). Suletud tiiviku labad asuvad kahe ketta vahel, kõik ühtselt jaotatud. Suletud tiivikuid kasutatakse suurtes pumpades, millel on suur kasutegur ja madal nõutav positiivne imemispea. Suletud tiivikuga tsentrifugaalpumbad on kõige laialdasemalt kasutatavad puhaste vedelike käitlemiseks mõeldud pumbad. Need tuginevad tiiviku ja pumba korpuse vahelistele kulumisrõngastele. Suletud tiivik on oma disainilt keerulisem ja kallim mitte ainult tiiviku enda tõttu, vaid vaja on ka täiendavaid kulumisrõngaid. [8]



open impeller



semi-open impeller

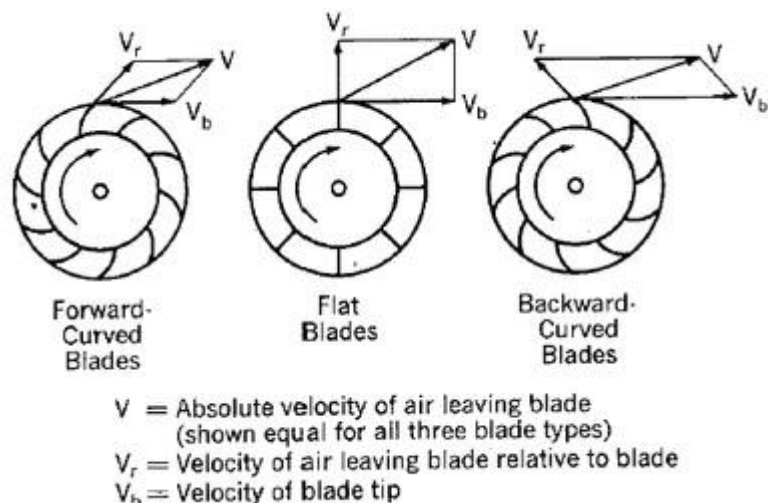


closed impeller

Joonis 3.7 Avatud, pool avatud ja suletud tiivik [8]

3.6 Tiiviku labad

Tiiviku disainimisel ja projekteerimisel tuleb silmas pidada mitmeid kriteeriume. Projekteerimise nõuded on järgmised: efektiivsus, lihtne vahetada labasid, lihtne oma üldehituselt, arvestama peab õhuvoolu hulgaga, ohutu ja töökindel, hea tehnoloogia, materjalide valik, võimalikult kerge, kohandatud jõudlus, võimalikult vähe vibratsiooni ning müra ja võimalikult lihtne hooldada. Seetõttu mängivad kõige suuremat rolli tiiviku juures kasutus keskkond ning tiiviku labad. [9]



Joonis 3.8 Tsentrifugaal tiivikud

kus, V = Absoluutne õhu kiirus, kui õhk lahkub tiivikult

V_r = Tiivikult väljuva õhu kiirus tiiviku suhtes

V_b = Tiiviku tipu kiirus

Tiivik ise koosneb südamikust, millele on kinnitatud mitu ventilaatori labad. Labasid on võimalik paigutada südamikule viiel erineval viisil: ettepoole kaardus, tahapoole kaardus, tahapoole kaldus lamedad, aerofoorselt või radiaalselt.

Ettepoole kaardus

Ettepoole kõverdatud tiiviku labad, nagu (Joonis 3.8 a), kõverduvad tiiviku pöörlemissuunas. Sellised tiivikud on eriti tundlikud tahkete osakeste suhtes ja on tavaliselt ette nähtud kasutamiseks ainult puhta õhu jaoks, näiteks kliimaseadetes. Ettepoole kõverdatud tiiviku labad on head kuna müratase on madalam ning õhuvool on suhteliselt väike, kui staatiline rõhk natuke suureneb. [10]

Tahapoole kaardus

Tahapoole kaardus tiiviku labad nagu näidatud (Joonis 3.8), kaarduvad vastupidises suunas tiiviku pöörlemissuuna suhtes. Väiksematel tiivikutel võivad olla tahapoole kaardus labad, kuid, mis on hoopis sirged, mitte kaardus. Suurematel tahapoole kaldus/kaardus tiivikutel on labad, mille disain imiteerib aerodünaamilise ristlõike oma. Siiski mõlemad disainid on oma konstruktsioonilt suhteliselt ökonoomsed ning pakuvad head tööefektiivsust. Seda tüüpi tiivikud on disainitud madala või mõõduka tahkete osakeste sisaldusega gaasivoogude käsitlemiseks. Selliseid tiivikuid saab hõlpsasti kaitsta kulumise eest, kuid teatud tahapoole kaardus labad hakkavad endasse koguma tahkeid õhus levivaid osakesi.

Tahapoole kaardus tiivikud on oma ülesehituselt sageli raskemad, kui analoogsed ettepoole kaardus tiivikud. Tahapoole kaardus tiivikute raskus sõltub sellest, et nad pöörlevad suurema kiirusega ja vajavad tugevamat konstruktsiooni. Tahapoole kaardus

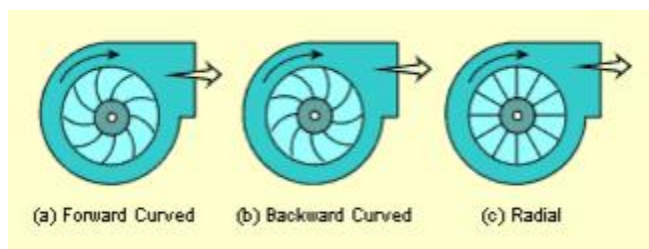
disainitud tiivikute pöörlemis kiirus võib suuresti varieeruda, mistõttu kasutatakse neid enamasti keskmise kiirusega rakenduste jaoks. Näiteks kõrgsurve, keskmise vooluga rakendustes. Tahapoole kaardus labadega tiivikud on palju energiatõhusamad, kui radiaalsete labadega tiivikud. Seega on nad hea alternatiiv rakendustele, mis kasutavad suuremat võimsust. [10]

Tahapoole kaldu lamedad

Tahapoole kaldu labadega tiivik on oma disainilt tõhusam ja kujult tugevam, kui tahapoole kaardus labadega tiivik ning samuti kulu poolest efektiivsem. Selle tulemuseks on pisut madalam efektiivsus, kuid mida kompenseerib tiiviku labade hõlpsam paigaldamine. [9]

Sirge radiaalne

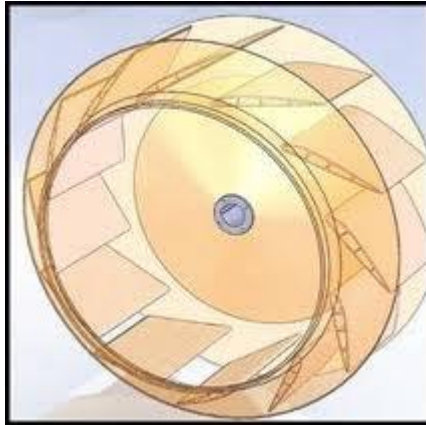
Radiaal tiivikutel nagu näidatud (Joonis 3.8 b), on labad asetatud sirgelt nii, et need ulatuvad otse südamikule keskest välja. Radiaalseid tiivikuid kasutatakse sageli õhus levivate tahkete osakeste korral, näiteks gaasi keskkonnas, kuna nendesse ei kogune nii palju õhus levivat tahket sodi. Kuid neid iseloomustab sageli suurem müra. Radiaalset tiivikut iseloomustab suur kiirus, madal maht ja suur surve ning neid kasutatakse sageli tolmuimejates, pneumaatilistes edastussüsteemides ja protsessides. [10]



Joonis 3.9 Tsentrifugaalse ventilaatori labad [10]

Aerofoorsed

Aerofoorse labadega tiivikuid kasutatakse kõige sagedamini rakendustes, mis töötavad madala rõhuga. Selliselt disainitud tiivik on äärmiselt efektiivne ning kasutatakse rakendustes, kus on puhas õhk või gaasilises keskkonnas, mis sisaldab väga väikeses koguses õhus leiduvaid osakesi. [9]



Joonis 3.10 Aerofoorne ventilaator [9]

3.7 Ventilaatori valik

Valitakse tahapoole kaardus ventilaator kuna suurem rõhk, vooluhulk, suur kasutegur, ökonoomsus ja energiatõhusus ning pakuvad head tööefektiivsus.

4. KOLLEKTORI SUURUSE MÄÄRAMINE

Udu kollektori suuruse määramisel mängib olulist rolli mitu asja. Kus ja millistel masinatel hakatakse udukollektorit kasutama. Milline on udukollektori võime imada endasse võimalikult palju õhus levivat udu. Ning, kui lihtne või keeruline on masinat hooldada. Järjest enam soovitatakse kasutada udukollektoreid, mis suudavad imada järjest suuremat õhuvoolu kiirust (CFM/m³/h). Näiteks vajavad mehaanilised lahendused 3-4 korda suuremat õhuvoolu CFM/m³/h kuna filtrites ja pikemates torustikes tekib rõhulangus

Udukollektori määramisel tuleb veel arvesse võtta, kui tihti käivad tööpingi ukseid lahti, milline on tööstuses kasutatava emulsiooni surve, millist tööprotsessi just parasjagu teostatakse ning, milline on spindli kiirus. Kõiki neid asju arvesse võttes saab määrata, millist udukollektorit on tööd teostatavale masinale vaja. [11]

Näiteks kasutades järgmist valemit on võimalik välja arvutada, kui suurt udukollektorit on vaja.

- Kollektori suurus (cfm) = Sisemine ruumala x 5
- Masina sisemõõdud: 5 ft x 3 ft x 5ft.

Korrutades sisemõõdud omavahel saadakse ruumala:

$$5 * 3 * 5 = 75 (ft^3)$$

Korrutades eelneva tulemuse viiega saab teada vajaliku kollektori suuruse

$$75 * 5 = 375 (ft^3)$$

Saadud tulemus annab umbkaudselt teada, millist kollektorit tuleb kasutada. [12]

Arvestades, et põhiliselt on kasutuses väiksemat/keskmist sorti masinad, siis on mõistlik valik teha keskmise suurusega kollektoritest. Sellisel juhul oleks võimalik sama kollektorit kasutada ka näiteks kahe lähestikku asetseva väiksema lõiketöötlus masina jaoks.

Tabel 4.1 Erinevad emulsiooni kollektorid

Kollektorid:	Koton KF-20E [13]	Losma Icarus M [14]	Kube 1200 [15]
Tehniline informatsioon:			
m ³ /h	1080	1040	1200
kW	0,4	0,75	0,55
m ²	-	-	6
Õhuvõtu ava Ø, mm	150	200	150
dB	65	69,9	67
kg	46	57	41

Standard ventilaatoritel on kindlaks määratud õhuvõtu ava diameeter ning sellest tulenevalt saab tuletada ventilaatori diameetri mis eelneva tabeli (Tabel 4.1) õhuvõtu ava järgi on ventilaatori diameetrite vahemik järgnev Ø225-315 mm.

Selliste emulsiooni kollektorite hinnavahe on umbes 1900-2500€

Üldiselt on

Tabel 4.2 Morfoloogiline maatriks

Funktsioon	Lahendus				
Konstruksioon	Silinder	Risttahukas	Kuup		
Tiivik	Propeller	Tahapoole kaardus	Radiaal	Ettepoole kaardus	
Tiiviku materjal	Teras	Alumiinium	Komposiit		
Elektrimootor	AC	DC			

Ventilaatorite otsingul sarnaste tulemuste leidmisel kasutan 1200 m³/h (õhuvoolu maht). Staatiliseks rõhuks võtan 981 Pa kuna torudes kui ka kollektoris endas tekib takistus millest peab ventilaator üle olema. Ventilaatorite otsimisel kasutan lehti Punker (Puncat web) ja Ziehl-Abegg (Fanselect).

Kasutan otsingute parameetriteks:

Õhuvoolu maht = 1200 m³/h

Staatiline rõhk = 981 Pa

Pöörded = 3000 1/min

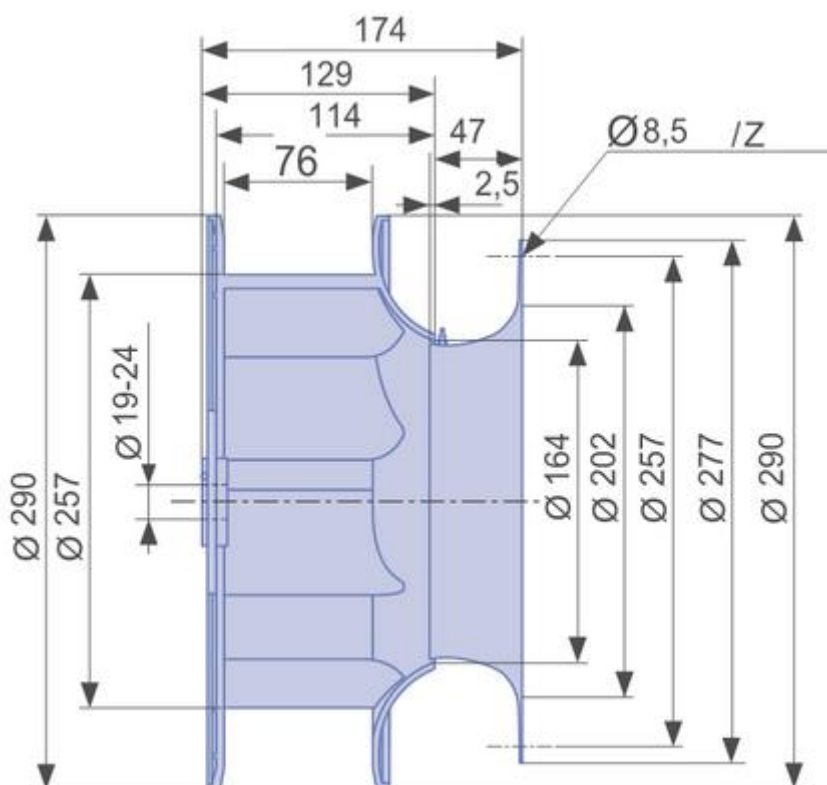
type [-]	article no. [-]	size [mm]	qV [m³/h]	P _{sF} [Pa]	PF [Pa]	SFP [-]	BHP [W]	P _{L max} [W]	η _{F,L} [%]	n [1/min]	L _{w(A),5} [dB]	L _{w(A),6} [dB]	f _{DP} [Hz]	U _{DP} [V]	I _{DP} [A]	mains supply [-]	guard c [-]
RH22C.1R/SM12	112261VAR	225	1200	981	1013	0	488	497	69.2	4018	77	85	50	400	1.19	-	no
RH25C.CR/SM12	113908VAR	250	1200	981	998	0	506	543	65.8	3436	77	84	50	400	1.28	-	no
RH25C.1R/SM12	112262VAR	250	1200	981	1001	0	510	541	65.4	3467	78	85	50	401	1.27	-	no
RH28C.1R/SM12	112263VAR	280	1200	981	994	0	541	638	61.3	3031	78	85	50	401	1.45	-	no
RH28C.CR/SM12	113909VAR	280	1200	981	992	0	551	661	60.0	3038	78	85	50	401	1.46	-	no
RH31C.1R/SM12	112264VAR	315	1200	981	990	0	604	785	54.6	2669	80	87	50	373	1.82	-	no
RH31C.CR/SM12	113910VAR	315	1200	981	988	0	633	838	52.1	2689	81	87	50	378	1.85	-	no
RH35C.1R/SM12	112265VAR	355	1200	981	986	0	662	956	49.7	2352	81	88	50	402	1.63	-	no
RH35C.CR/SM12	113911VAR	355	1200	981	986	0	714	999	46.0	2364	81	88	50	401	1.69	-	no
RH40C.1R/SM20	112275VAR	400	1200	981	984	0	769	1197	42.6	2110	82	89	50	401	1.76	-	no

Joonis 4.1 Fanslecti valik [16]

#	fan wheel name	design size D2 [mm]	housing angle in°	V [m³/h]	P _{sF} [Pa]	P _r [Pa]	L _{pA} [dB]	L _{wA} [dB]	n [1/Min]	density [kg/m³]	P _r [W]	P _{r(max)} [W]	η _{sF} [%]	η _r [%]	unit width [mm]
1	<input checked="" type="checkbox"/> Dprime AWA 315 x 94-E	314.00	-	1200.00	980.92	986.99		85.3	2703	1.21	584	819	55.6	55.9	190.00
2	<input checked="" type="checkbox"/> HLR70 315 x 90-E	315.00	-	1200.00	981.03	990.14	75.9		2759	1.21	600	680	54.0	54.5	178.00
3	<input checked="" type="checkbox"/> HL45 355 x 75-E	355.00	-	1200.00	980.89	990.26			2456	1.21	610	764	53.6	54.2	140.00
4	<input type="checkbox"/> HL45 315 x 67-E	315.00	-	1200.00	980.42	995.54			2902	1.21	629	699	52.0	52.8	125.00
5	<input type="checkbox"/> HLR56 315 x 60-E	315.00	-	1200.00	980.38	1039.73		89.0	2869	1.21	630	696	51.8	54.9	135.00
6	<input type="checkbox"/> HL45 400 x 85-E	400.00	-	1200.00	981.61	987.46			2128	1.21	644	894	50.8	51.1	160.00
7	<input type="checkbox"/> HL45 355 x 60-E	355.00	-	1200.00	981.09	996.47			2504	1.21	648	795	50.3	51.1	125.00
8	<input type="checkbox"/> HLS70 315 x 90-E	315.00	-	1200.00	981.29	990.58	75.9		2815	1.21	643	723	50.2	50.7	178.00
9	<input type="checkbox"/> HLR56 355 x 70-E	355.00	-	1200.00	980.10	991.41		91.9	2401	1.21	660	803	49.2	49.8	155.00
10	<input type="checkbox"/> HLS70 315 x 102-E	315.00	-	1200.00	981.85	989.41	76.3		2788	1.21	657	773	49.0	49.5	190.00

Joonis 4.2 Puncat web [17]

Valitakse Fanslecti RH25C.CR/SM12 D250 diameetriga ventilaator kuna see sobib alg tingimustega. Puncat lehelt kõige väiksem ventilaator on diameetriga D314 mm mis mahub küll alg tingimustesse, aga muudab korpuse projekteerimise suuremaks.



Joonis 4.3 RH25C.CR/SMR12 ventilaatori mõõdud (7 laba)

4.1 Tsentrifugaal tiiviku arvutused

Kasutades samu algandmeid ning raamatud „Fans“ [18] leitakse teoreetiline ventilaatori suurus:

Õhuvoolu maht = 1200 m³/h

Staatiline rõhk = 981 Pa

Pöörded = 3000 1/min

Väljuva õhu rõhk

$$= \frac{1}{2} * \rho * V_4^2 \quad (4.1)$$

kus ρ – tihedus $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

V_4 – korpuse väljalaskekiirus $\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Kogu rõhk tsentrifugaal tiivikus Euleri järgi

$$P = \rho * U_2 * Vu_2 \quad (4.2)$$

kus U_2 – perifeerne kiirus $\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Vu_2 – keerise kiirus $\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Labade ringluse ja libisemise tõttu rõhk

$$P = \rho * U_2 * Vu_2' \quad (4.3)$$

4.1.1 Tsentrifugaal tiiviku projekteerimine

Tsentrifugaal tiiviku väljalaskekanali parameetrid

$$P_{se} = \rho * U_2 * Vu'_2 - \frac{1}{2} * \rho * V_4^2 \quad (4.4)$$

Vu_2 kahaneb Vu'_2 le labade ringluse tõttu mida nimetatakse libisemiseks.

$$Vu'_2 = Vu_2 - \frac{\pi * \sin \beta_2}{Z} * U_2 \quad (4.5)$$

kus β_2 – laba nurk, °

Z – labade arv

$$= P_{se} + \frac{1}{2} * \rho * V_4^2 = \rho * U_2 \left[Vu_2 - \frac{\pi * \sin \beta_2}{Z} * U_2 \right] \quad (4.6)$$

$$981,2 + \frac{1}{2} * 1,165 * V_4^2 = \rho * U_2^2 \left[1 - \frac{\pi}{7} \right] \quad (4.7)$$

Eeldame, et spiraalkambri algne väljumis kiirus on

$$V_4 = 0,3 * U_2 \quad (4.8)$$

$$981,2 + \frac{1}{2} * 1,165 * (0,3 * U_2)^2 = 1,165 * U_2^2 * (0,5512)$$

$$U_2 = \sqrt{\left(\left(\frac{981,2}{1,165} \right) - 0,5 * 0,3^2 \right)} = 38,99 \text{ (m/s)}$$

Väljalakse perifeerne kiirus

$$U_2 = 38,99$$

Sisselaske ava äärne kiirus

$$Vu'_2 = 38,99 * \frac{1 - \pi * \sin \beta_2}{7} = 23,35 \quad (4.9)$$

Tsentrifugaal tiiviku välimise diameetri saab arvutada välise kiiruse järgi

$$U_2 = \frac{\pi * D_2 * N}{60} \quad (4.10)$$

Kus D_2 – välimine diameeter, m

N – pöörlemis kiirus, 1/min

Tsentrifugaal tiiviku välimine diameeter

$$D_2 = \frac{38,99 * 60}{\pi * 3000} = 0,248 \text{ (m)} = 248 \text{ (mm)} \quad (4.11)$$

Võetakse

$$Vm_1 = Vm_2 = 0,2U_2 = 0,2 * 38,99 = 7,79$$

kus $Vm_1 = Vm_2$ – radiaalne kiirus, m/s

Väljalakse kiiruse kolmnurgast

$$V'_2 = \sqrt{Vm_2^2 + Vu_2'^2} = \sqrt{7,79^2 + 23,35^2} = 24,61 \quad (4.12)$$

$$\tan \alpha'_2 = \frac{Vm_2}{Vu'_2} = \frac{7,79}{23,35} = 0,3336 \quad (4.13)$$

$$\alpha'_2 = 18,45^\circ$$

Ideaalselt kiirus läbi tsentrifugaal tiiviku avas ei tohi olla suurem kui Vm_1 . Kuigi seda ei saa alati saavutada kuna sisselaske diameeter muutub liiga suureks, V_{eye} on tavaliselt kaks korda Vm_1 või $0,4 * U_2$.

Eeldame

$$V_{eye} = 0,4 * U_2 = 0,4 * 38,99 = 15,59 \quad (4.14)$$

kus V_{eye} – kiirus tsentrifugaal tiivikui avas, m/s

Tsentrifugaal tiiviku sisselaske diameeter:

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V_{eye}}} = \sqrt{\frac{4 * 0,333}{\pi * 15,59}} = 0,165 \quad (4.15)$$

kus D_1 – Tsentrifugaal tiiviku sisselaske ava, m

Q – õhuvoolu maht, m^3/s

Lekete vältimiseks tsentrifugaal tiiviku silmas ja sisselaskes peab seal olema pilu. Piluks võetakse 3%

$$D_1 = 1,03 * D_{eye} = 1,03 * 0,165 = 0,1699 \quad (4.16)$$

Tsentrifugaal tiiviku sisselaske perifeerne kiirus leitakse sama valemiga millega leiti väljalaske kiirus

$$U_1 = \frac{\pi * D_1 * N}{60} = \frac{\pi * 169,9 * 3000}{60} = 26,67$$

kus U_1 – impelleri sisselaske kiirus, m/s

Tsentrifugaal tiiviku sisselaske laius

$$b_1 = \frac{Q}{\pi * D_1 * Vm_1} = \frac{0,333}{\pi * 0,1699 * 7,79} = 0,08 \quad (4.17)$$

kus b_1 – impelleri laius sisselaske juures, m

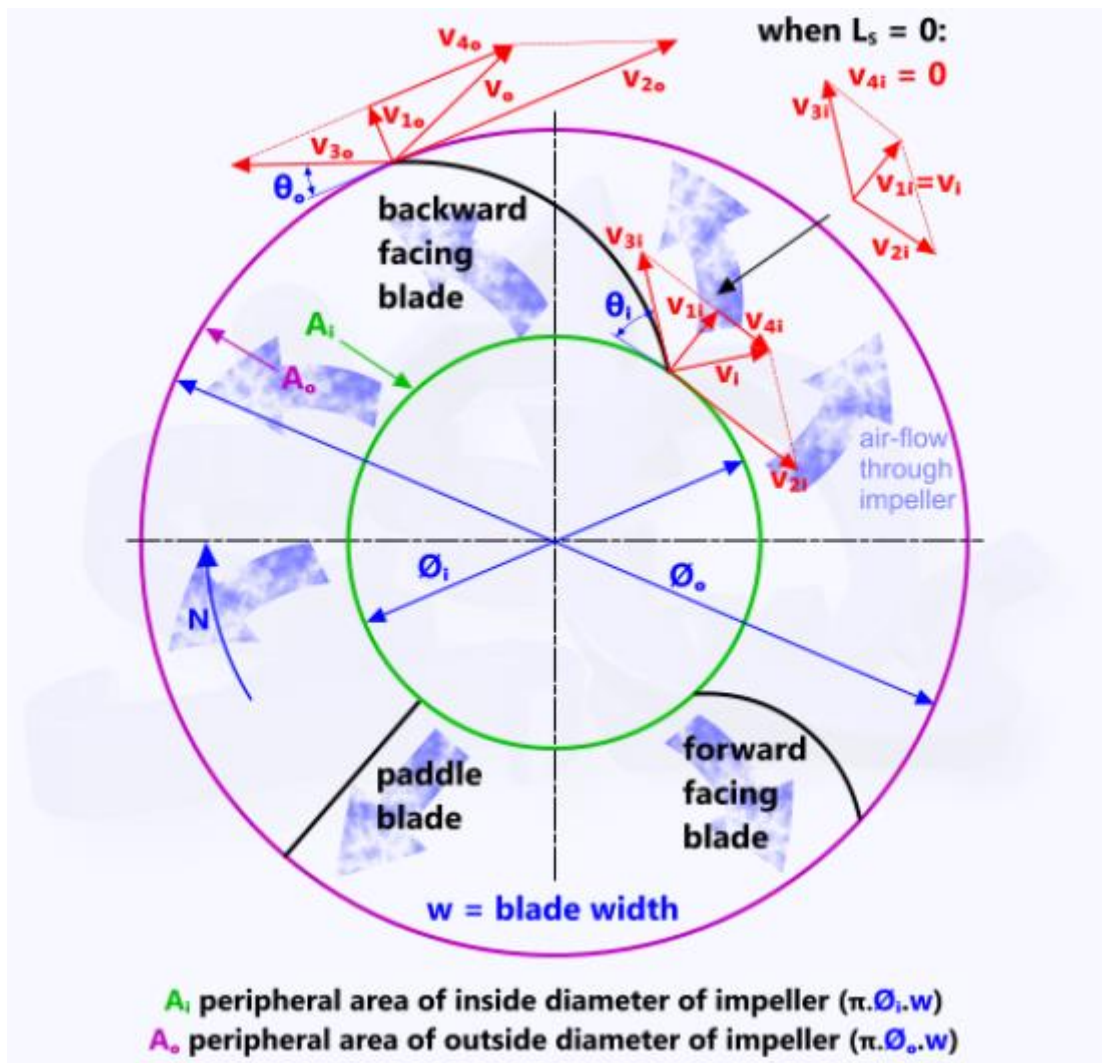
Tsentrifugaal tiiviku väljalaske laius

$$b_2 = \frac{Q}{\pi * D_2 * Vm_2} = \frac{0,333}{\pi * 0,248 * 7,79} = 0,0547 \quad (4.18)$$

kus b_2 – impelleri laius väljalaske juures, m

Sisselaske laba nurk

$$\beta_1 = \tan^{-1} * \left(\frac{Vm_1}{U_1} \right) = \tan^{-1} * \left(\frac{7,79}{26,67} \right) = 16,29 \quad (4.19)$$



Joonis 4.4 Teoreetilised ja tegelikud kiiruse kolmnurgad [19]

Relatiivne sisselaske kiirus

$$W_1 = \sqrt{Vm_1^2 + U_1^2} = \sqrt{7,79^2 + 26,67^2} = 27,79 \quad (4.20)$$

kus W_1 – relatiivne sisselaske kiirus, m/s

4.1.2 Tsentrifugaal ventilaatori spiraalkambri arvutused

Nagu eelnevalt eeldatud.

$$V_4 = 0,3 * U_2 = 0,3 * 38,99 = 11,697 \quad (4.21)$$

Spiraalkambri laius b_v erinevate labade variatsioonide juures; tahapoole kaardus labad on $2,5 b_2$, ettepoole kaardus labad on $1,25 b_2$ ja radiaalsed labad on $2 b_2$

$$b_v = 2,5 * b_2 = 2,5 * 54,7 = 136,8 \quad (4.22)$$

kus b_v – spiraalkambri laius, m

Spiraalkambri väljalaske pindala

$$\frac{Q}{V_4} = \frac{0,333}{11,697} = 0,0284 \quad (4.23)$$

Sisselaske raadius

$$r_3 = \frac{D_2}{2} + 5 = \frac{0,248}{2} + 5 = 0,129 \quad (4.24)$$

kus r_3 – spiraalkambri alus raadius, m

$$D_3 = r_3 * 2 = 0,129 * 2 = 0,258 \quad (4.25)$$

Tsentrifugaal ventilaatori spiraalkambri raadius

$$r_\theta = r_3 * (1 + k * \theta) = 0,129 * (1 + 0,0023 * \theta) \quad (4.26)$$

kus

$k = 0,0023$ tahapoole kaardus

$k = 0,0020$ ettepoole kaardus

$k = 0,00215$ radiaalne

Arvutatud spiraalkambri raadiused erinevate nurkade juures (Tabel 4.3)

Tabel 4.3 Spiraalkambri projekteerimise parameetrid kasutades Osborne'i meetodit

θ (°)	R (m)
0	0,129
60	0,146
120	0,164
180	0,182
240	0,200
300	0,218
360	0,235

$$r_4 = R_{360} = 0,235 \text{ m}$$

$$D_4 = 2 * 0,235 = 0,470 \text{ m}$$

Spiraalkambri väljalaske kõrgus

$$H_s = r_4 - r_3 = 0,235 - 0,129 = 0,106 \quad (4.27)$$

kus H_s – spiraalkambri väljalaske kõrgus, m

Spiraalkambri keele raadius

$$r_t = 1,075 * r_2 = 1,075 * 0,124 = 0,1334 \quad (4.28)$$

kus r_t – spiraalkambri keele raadius, m

Spiraalkambri nurk

$$\theta_t = \frac{132 \log\left(\frac{r_t}{r_2}\right)}{\tan \alpha_2} = \frac{132 * \log\left(\frac{0,1334}{0,124}\right)}{\tan 16,29} = 12,41^\circ \quad (4.29)$$

Kus θ_t – spiraalkambri keele nurk, °

Eelnevalt (Tabel 4.3) arvutatud parameetreid kontrollitakse hiljem peale optimaalseima lahendi leidmist programmiga Matlab.

4.1.3 Hüdraulilised-, lekke- ja energiakaod

Lekke kaod

$$Q_L = C_d * \pi * D_1 * \delta * \sqrt{\frac{2 * P_s}{\rho}} = 0,6 * \pi * 0,1699 * 2 * \sqrt{\frac{2 * \left(\frac{2}{3}\right) * 981,2}{1,165}} = 0,0215 \quad (4.30)$$

kus Q_L – sisemised lekke kaod, $\frac{m^3}{s}$

C_d – väljavoolu koefitsent 0,6 – 0,7

δ – lõtk tsentrifugaal tiiviku sisselaske ja spiraalkambri vahel, m

siin,

$$P_s = \frac{2}{3} * \Delta P_s \quad (4.31)$$

Hõõrdumise ja turbulentsi kadu tsentrifugaal tiiviku avas,

$$dp_{suc} = \frac{1}{2} * k_i * \rho * V_{eye}^2 = \frac{1}{2} * 0,65 * 1,165 * 15,59^2 = 92,02 \quad (4.32)$$

kus dp_{suc} – sissetõmbe rõhu kadu, Pa

k_i – lekke tegur 0,5 – 0,8

Tsentrifugaal tiiviku rõhu kadu

$$dP_{imp} = k_{ii} * \frac{1}{2} * \rho * (W_1 - W_2')^2 = 0,25 * 0,5 * 1,165 * (27,79 - 17,47)^2 = 15,51 \quad (4.33)$$

kus dP_{imp} – rõhu kadu tsentrifugaal tiivikus, Pa

k_{ii} – maksimaalse lehtterasest labade efektiivsus, 0,2 – 0,3

Spiraalkambri rõhu kadu

$$dp_{vc} = k_{iii} * \frac{1}{2} * \rho_2 * (V_2' - V_4')^2 = 0,4 * 0,5 * 1,165 * (24,61 - 11,697)^2 = 38,85 \quad (4.34)$$

kus dp_{vc} – spiraalkambri rõhu kadu, Pa

k_{iii} – on suurusjärgus 0,4

Ketta hõõrdumis kadu

$$T_{df} = \pi * f * \rho * \omega_2^2 * \frac{r_2^5}{5} = \pi * f * \rho * \left(\frac{U_2}{r_2}\right)^2 * \frac{r_2^5}{5} = \pi * 0,005 * 1,165 * \left(\frac{38,99}{0,124}\right)^2 * \frac{0,124^5}{5} = 0,011 \quad (4.35)$$

kus T_{df} – hõõrdumisest tekkiv pöördemoment, $N * m$

f – teras lehe hõõrdumis tegur, 0,005

Seega on ketta hõõrdumisest tingitud energiakadu

$$P_{df} = \frac{2\pi NT}{60} = \frac{2 * \pi * 3000 * 0,011}{60} = 3,455 \quad (4.36)$$

kus P_{df} – ketta hõõrdumis kadu, W

4.1.4 Efektiivsus

Hüdrauliline efektiivsus

$$\eta_{hy} = \frac{\Delta P}{\Delta P + dp_{suc} + dp_{imp} + dp_{vc}} = \frac{981,2}{981,2 + 92,02 + 15,51 + 38,85} = \frac{981,2}{1127,58} = 0,87 \quad (4.37)$$

$$\eta_{hy} = 0,87 * 100 = 87\%$$

kus η_{hy} – hüdrauliline efektiivsus

Volumetriline efektiivsus

$$\eta_{vol} = \frac{Q}{Q + Q_L} = \frac{0,333}{0,333 + 0,0215} = \frac{0,333}{0,3545} = 0,939 \quad (4.38)$$

$$\eta_{vol} = 0,939 * 100 = 93,9\%$$

kus η_{vol} – volumetriline efektiivsus

Totaalne efektiivsus

$$\eta_{total} = \eta_{hy} * \eta_{vol} = 0,87 * 0,939 = 0,817 \quad (4.39)$$

$$\eta_{total} = 0,817 * 100 = 81,7\%$$

kus η_{total} – totaalne efektiivsus

4.1.5 Tsentrifugaal tiiviku töötamiseks vajalik ideaalne võlli võimsus

$$P_s = \frac{(\Delta P + dp_{suc} + dp_{imp} + dp_{vc}) * (Q + Q_L)}{\eta_{total}} + P_{df} = \frac{1127,58 * 0,3545}{0,817} + 3,455 \quad (4.40)$$

$$= 492,72$$

kus P_s – vajalik võimsus töötamiseks, W

Võlli vääne

$$T = \frac{P_s * 60}{2\pi * N} = \frac{492,72 * 60}{2 * \pi * 3000} = 1,57 \quad (4.41)$$

kus T – pöördemoment, $N * m$

4.1.6 Võlli arvutuslik diameeter

$$D_s = \sqrt[3]{\frac{16 * T * Ohutustegur}{\pi \tau}} = \sqrt[3]{\frac{16 * 1,57 * 4}{\pi * 50 * 10^5}} = 0,0186 \quad (4.42)$$

kus D_s – mootori võlli diameeter, m

Ohutusteguriks on 4

Võlli diameetri arvutus tehakse väändepingete järgi. Ei arvestada paindepingeid, pingete kontsentratsioon ja pingete vahelduvust ajas. Selleks, et kompenseerida selle arvutusmeetodi ligikaudsust, võetakse lubatud väändepingeteks vähendatud väärtus:

$$[\tau]_v = 50 \text{ Mpa} [20]$$

4.1.7 Laba profiil

Labaprofiil arvutatakse tangent arc meetodi järgi. Selle meetodi kasutamisel jaotatakse tsentrifugaal tiivik mitmeks eeldatavaks kontsentriliseks rõngaks, mis ei pruugi olla võrdselt paigutatud sisemise ja välimise raadiuse vahel. Kaare raadius R_b määrab labakuju sisemise ja välimise raadiuse vahel.

$$R_b = \frac{r_2^2 - r_1^2}{2 * (r_1 * \cos\beta_1 - r_2 * \cos\beta_2)} = \frac{0,0825^2 - 0,124^2}{2 * 0,124 * \cos 16,29 - 0,0825 * \cos 90} = -0,036 \quad (4.43)$$

kus R_b – labaprofiili raadius, m

Peale tsentrifugaal tiiviku esialgsete mõõtmete saamist algandmete põhjal tehakse optimaalsete disainiparameetrite saamiseks lisa iteratsioone. Selleks kasutatakse programmi Matlab. Järgmises etapist võetakse arvesse varasemad lekked ja rõhukaod, mis lisatakse järgmistesse arvutustesse hüdrauliliste, tühjendus- ja energiakadude arvessevõtmiseks erinevatel voolu käikudel.

Iteratsiooni protsessiga jätkatakse seni, kuni tiiviku tähtsamates parameetrites ei ole enam näha muutusi.

Labade paksuseks võetakse 2 mm ning kogu ventilaatori valmistamiseks kasutatakse materjal teras DC01 [21]. Edasistes Ansys analüüsides selgub, kas valitud materjali paksus on piisav.

4.2 Tsentrifugaal tiiviku projekteerimine

Optimaalseima lahendi leidmiseks on kasutatud iteratsioone, mis sõltuvad eelnevate hüdrauliliste-, lekke- ja energiakadude arvutustest.

Tabel 4.4 Optimaalseim lahend

Parameetrid	Ühikud	Esialgsed arvutused	3. iteratsioon	5. iteratsioon	Viimane (7) iteratsioon
Tsentrifugaal tiiviku sisend väärtused					
Deye	mm	165	165	165	165
Veye	m/s	15,59	16,84	16,85	16,86
U1	m/s	26,67	26,54	26,53	26,53
W1	m/s	27,79	27,84	27,84	27,84
Vm1	m/s	7,79	8,42	8,43	8,43
V1	m/s	7,79	8,42	8,43	8,43
D1	mm	169,9	168,9	168,9	168,9
b1	mm	80	79,63	79,61	79,61
α_1	°	90	90	90	90
β_1	°	18,45	17,61	17,62	17,62
Tsentrifugaal tiiviku väljund väärtused					

Parameetrid	Ühikud	Esialgseid arvutused	3. iteratsioon	5. iteratsioon	Viimane (7) iteratsioon
U2	m/s	38,99	42,11	42,14	42,14
W2'	m/s	17,47	18,87	18,89	18,89
VU2'	m/s	23,35	25,21	25,23	25,24
Vm2	m/s	7,79	8,42	8,43	8,43
V2'	m/s	24,61	26,58	26,60	26,61
D2	mm	248	268,07	268,3	268,3
b2	mm	54,7	50,18	50,12	50,12
a2'	°	16,29	18,47	18,47	18,47
β2	°	90	90	90	90
Spiraalkambri väärtused					
bv	mm	136,8	125,46	125,3	125,3
V4	m/s	11,697	24,64	24,67	24,67
r3	mm	129	139	139	139
r4	mm	235	254,15	254,4	254,4
Hs	mm	106	115,1	115,2	115,2
rt	mm	133,4	144,09	144,21	144,21
θt	°	12,41	12,41	12,41	12,41
Rõhk, leke ja muud kaod					
dPsuc	Pa	92,02	107,41	107,60	107,60
dPimp	Pa	15,51	11,70	11,65	11,65
dPVC	Pa	38,85	45,34	45,42	45,42
QL	m ³ /s	0,0215	0,023	0,023	0,023
Tdf	Nm	0,011	0,015	0,016	0,016
Pdf	W	3,45	4,91	4,93	4,93
Efektiivsus					
ηhy	%	87,0	87,43	87,44	87,44
ηvo	%	93,9	93,92	93,92	93,92
ηtotal	%	81,7	82,11	82,12	82,12
Muud parameetrid					
ΔP	Pa	1127,69	1145,66	1145,87	1145,87
Q	m ³ /s	0,354	0,356	0,356	0,356
Rb	mm	-0,036	67,25	67,48	67,5
Ds	mm	18,6	18,66	18,7	18,7
P	W	492,72	501,67	501,78	501,78

Saadud andmetega on tehtud kontroll arvutused arvutus programmiga CalQlata [19], ning saadud tulemused on väga sarnased nagu võib näha allpool olevast võrdlus tabelist (Tabel 4.5)

Tabel 4.5 Andmete võrdlus

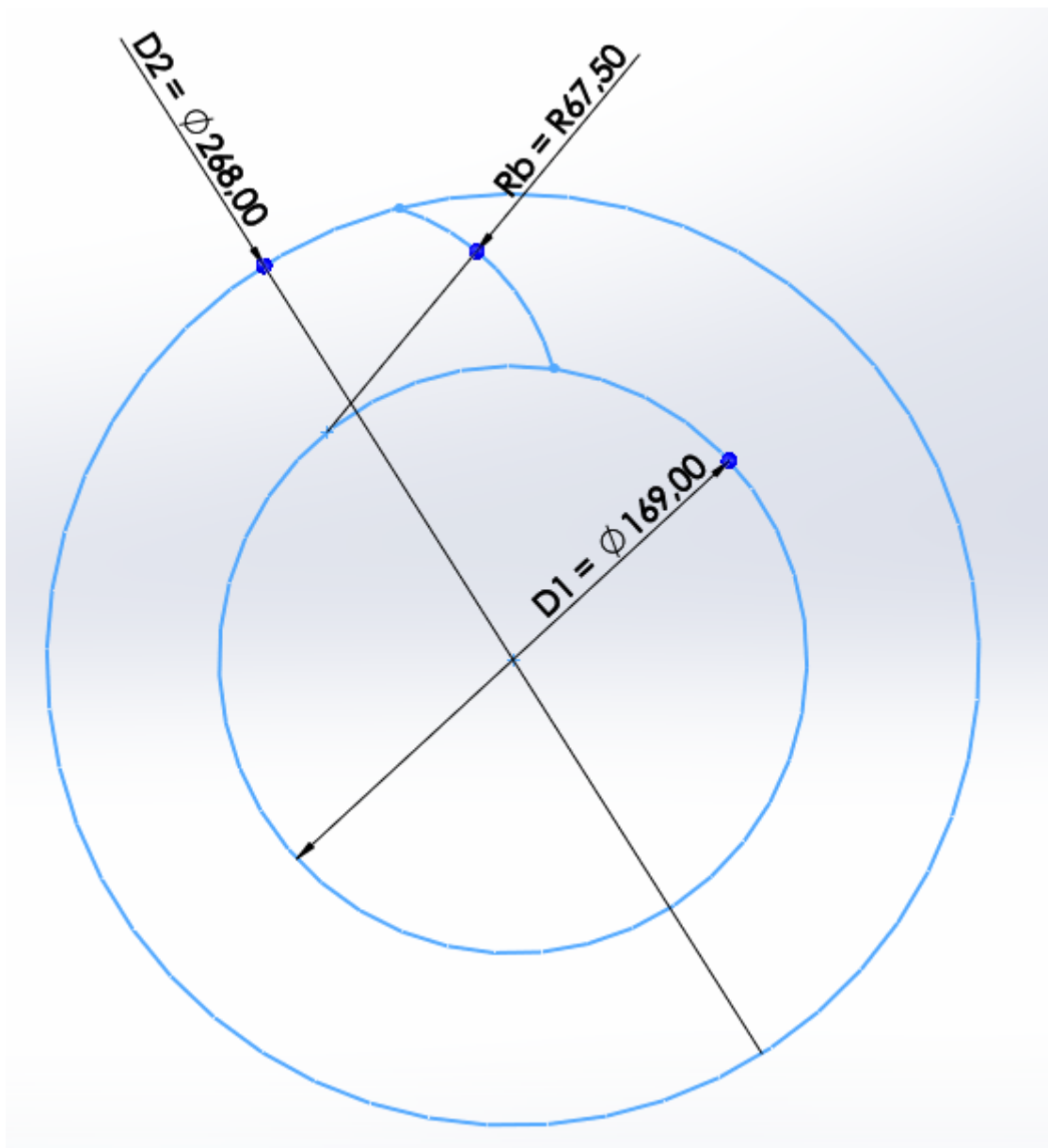
Parameetrid	Ühikud	Osborne	CalQlata
Q	m ³ /s	0,356	0,44
T	N*m	1,57	1,59
P	W	501,78	502,39
W1	m/s	27,84	28,5
W2	m/s	18,89	21,71
U1	m/s	26,53	26,54
U2	m/s	42,14	42,09

Eelnevate väärtuste järgi (

Tsentrifugaal tiiviku projekteerimine

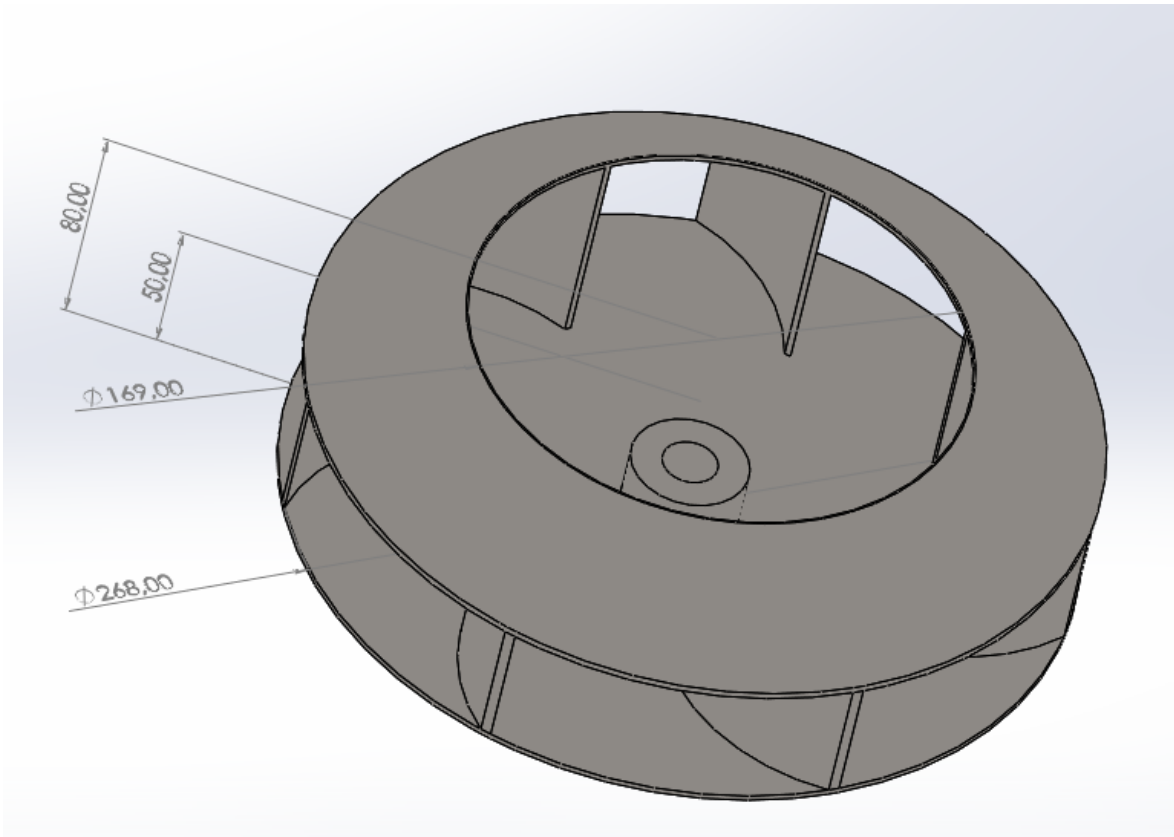
Optimaalseima lahendi leidmiseks on kasutatud iteratsioone mis sõltuvad eelnevate hüdrauliliste-, lekke- ja energiakadude arvutustest

Tabel 4.4) sai tehtud ventilaatori eskiis (Joonis 4.5). Mõõdud D2 ja D1 on ümardatud lähima täisarvuni



Joonis 4.5 Ventilaatori eskiis

Ansys analüüside jaoks koostati 3D mudel (Joonis 4.6) eelnevalt arvutatud ventilaatorile.



Joonis 4.6 Ventilaatori 3D mudel

Eelnevalt Matlabiga leitud optimaalseimate lahendite järgi erinevad spiraalkambri moodsud algself arvatust. Spiraalkambri koostatakse uued arvutused:

Sisselaske raadius

$$r_3 = \frac{D_2}{2} + 5 = \frac{268}{2} + 5 = 0,139$$

Ja

$$D_3 = 0,139 * 2 = 0,278$$

Tsentrifugaal ventilaatori spiraalkambri raadius

$$r_\theta = r_3 * (1 + k * \theta) = 0,139 * (1 + 0,0023 * \theta)$$

Optimeeritud spiraalkambri raadiused erinevate nurkade juures (Tabel 4.6)

Tabel 4.6 Spiraalkambri projekteerimise parameetrid kasutades optimaalseimat lahendit

θ (°)	R (m)
0	0,139
60	0,158
120	0,177
180	0,196
240	0,215
300	0,234
360	0,254

$$r_4 = R_{360} = 0,254 \text{ m}$$

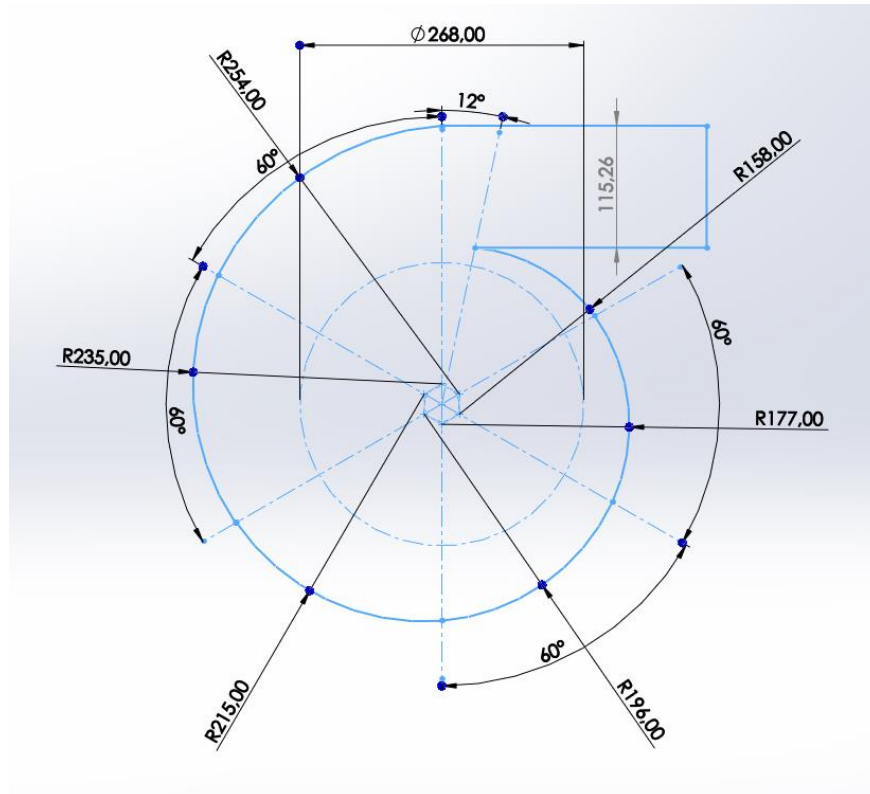
$$D_4 = 2 * 0,254 = 0,508 \text{ m}$$

Spiraalkambri väljalaske kõrgus

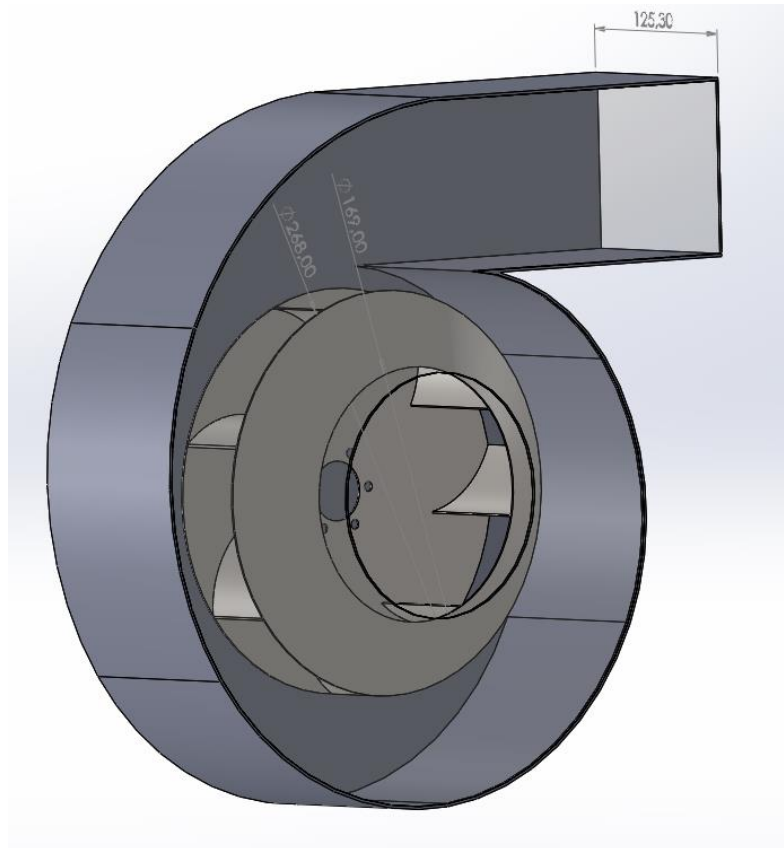
$$H_s = r_4 - r_3 = 0,254 - 0,139 = 0,115$$

Optimeeritud lahendi järgi tehtud spiraalkambri eskiis (

Joonis 4.7) ja spiraalkambri 3D mudel (Joonis 4.8).

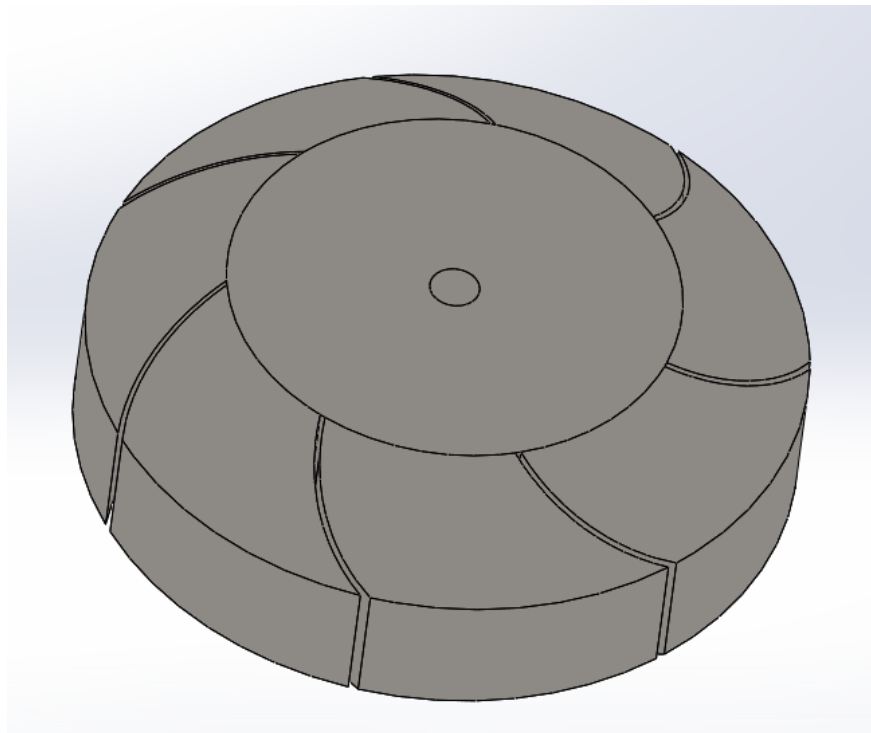


Joonis 4.7 Spiraalkambri eskiis



Joonis 4.8 Spiraalkambri 3D

Ansys analüüside tegemiseks tehakse ventilaatorist lihtsustatud 3D mudel millel on labade kohad kujutatud väljalõikena (Joonis 4.9). [22]



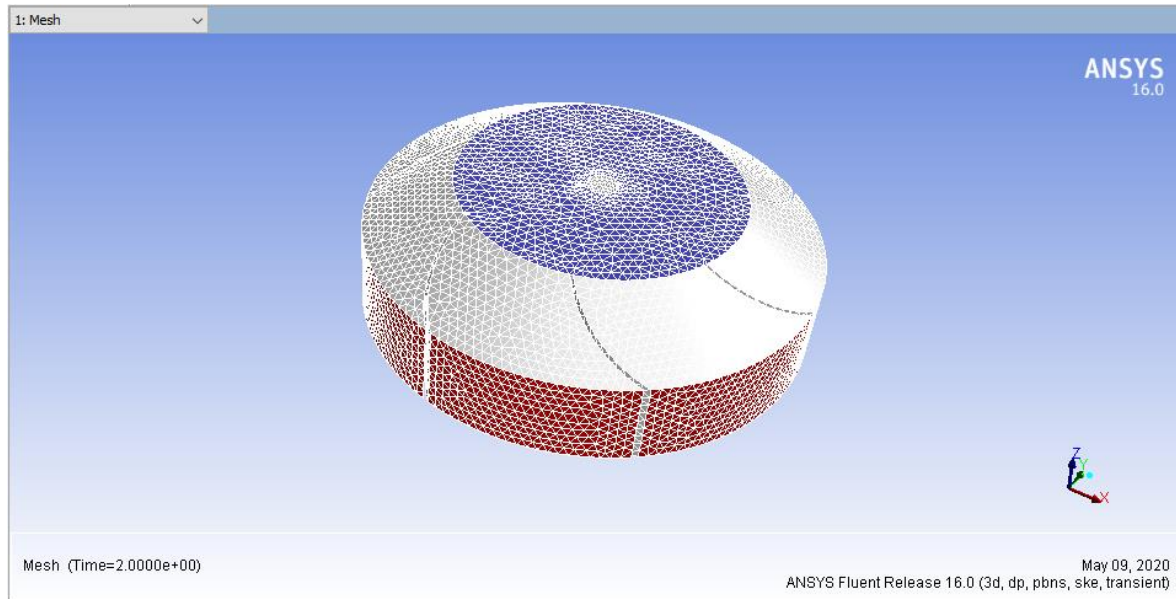
Joonis 4.9 Lihtsustatud 3D mudel

Kasutades Ansys simuleerimis programmi keskkonda Fluid Flow (Fluent) ning parameetreid $N=3000$ 1/min ja $Q=0,333$ m³/s saadakse sarnased ventilaatori sisselaske (Veye) ja väljalaske (U2) väärtused mis on välja toodud eelnevas tabelis (

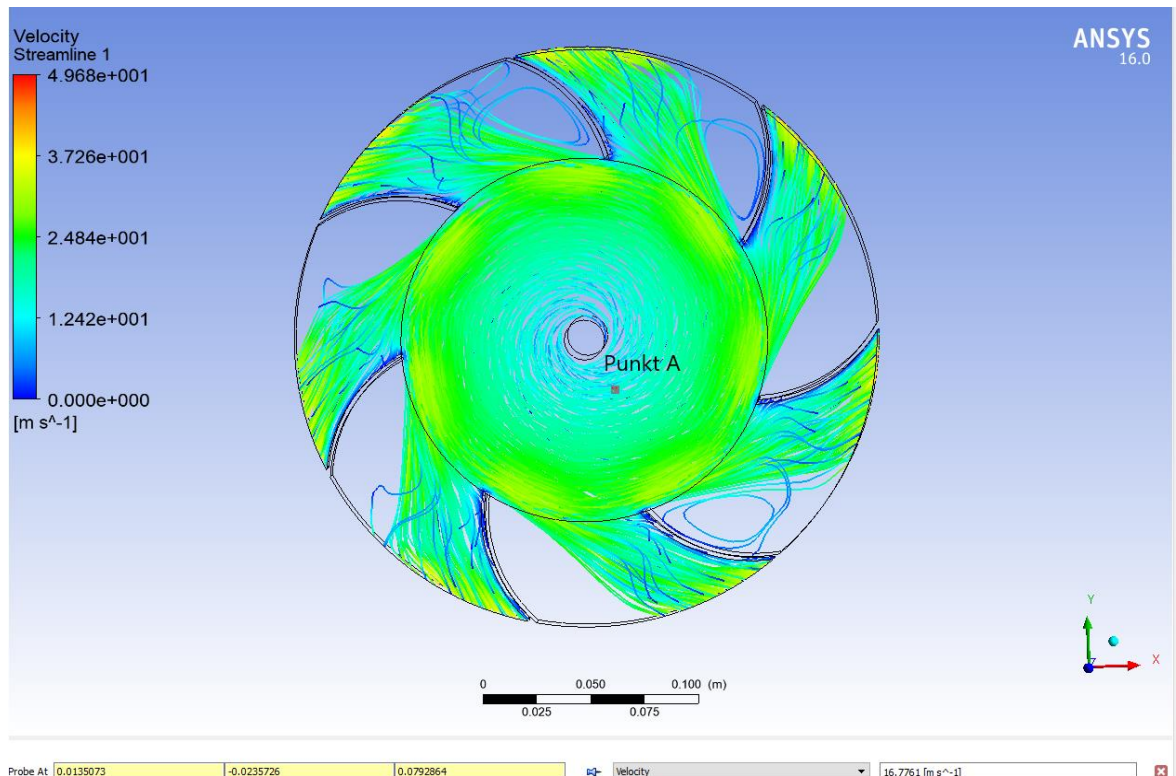
Tsentrifugaal tiiviku projekteerimine

Optimaalseima lahendi leidmiseks on kasutatud iteratsioone mis sõltuvad eelnevate hüdrauiliste-, lekke- ja energiakadude arvutustest

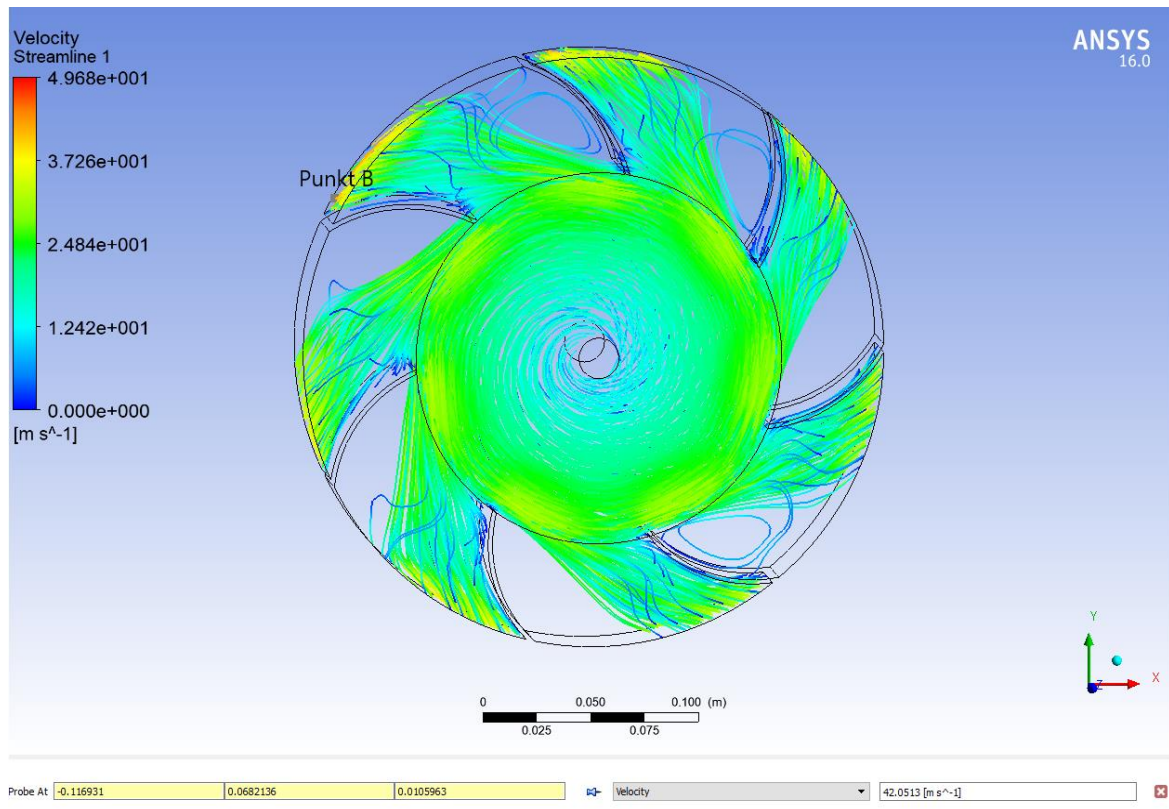
Tabel 4.4). Ansys määratakse sisselaskeks sinisega kujutatud osa väljalaske osa on kujutatud punasega (Joonis 4.10).



Joonis 4.10 Fluid Flow (Fluent) seadistamine



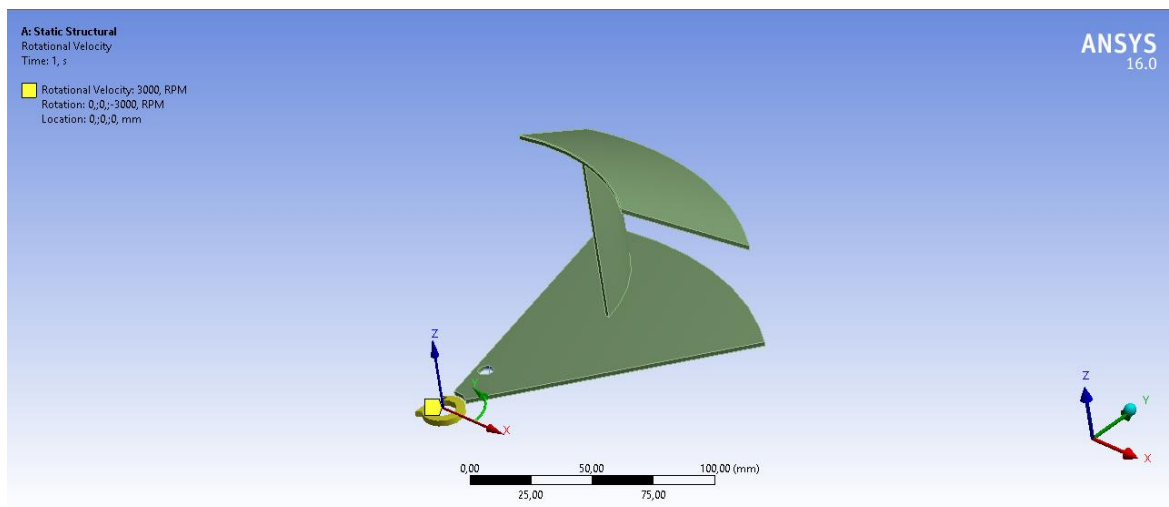
Joonis 4.11 Ansys sisselaske kiirus 16,7751 m/s (Veye)



Joonis 4.12 Ansys väljalaske kiirus 42,051 m/s (U2)

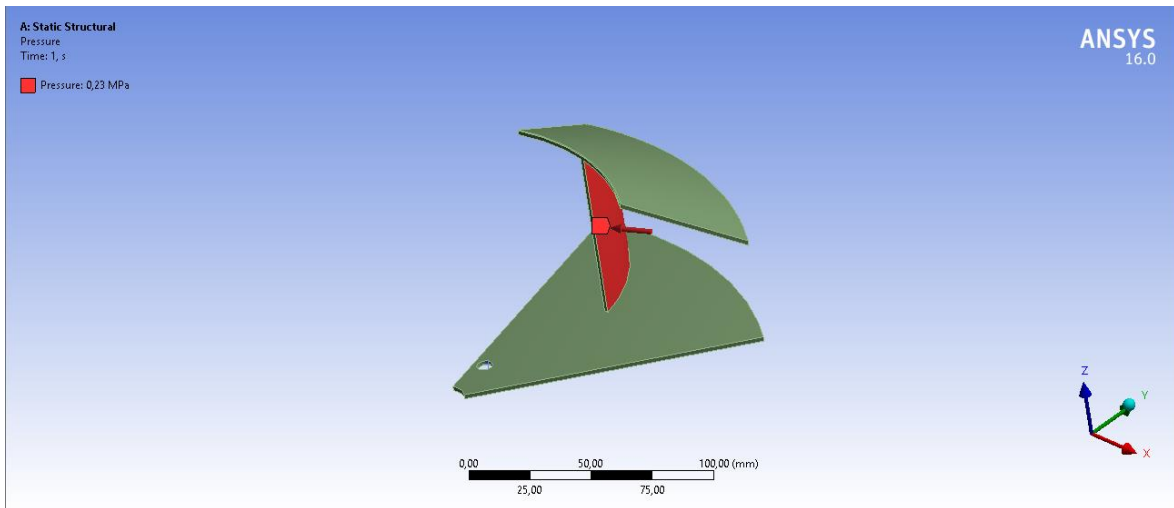
Järgnevalt kasutatakse Calqlata ventilaatori kalkulaatorit [19], et teada saada spiraalkambris tekkiv rõhk mis on 231536,26 Pa = 0,23 Mpa ning seda väärtust kasutatakse Ansys'is ventilaatori deformatsiooni analüüsid. Ventilaator on lõigatud ühe laba juurest lahti, et lihtsustada analüüsi tegemist. [23]

Ventilaatori pöörlemisagedus on 50 1/s ning antud lahendi saamise puhul on see negatiivse väärtusega (Joonis 4.13).



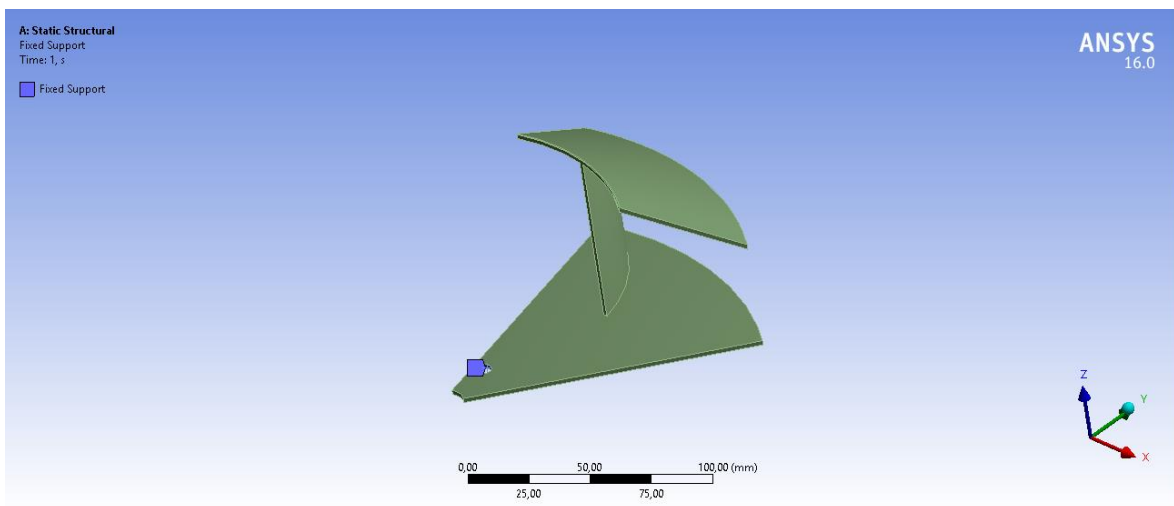
Joonis 4.13 Pöörlemisagedus 50 1/s

Surve on määratud laba küljele (Joonis 4.14)



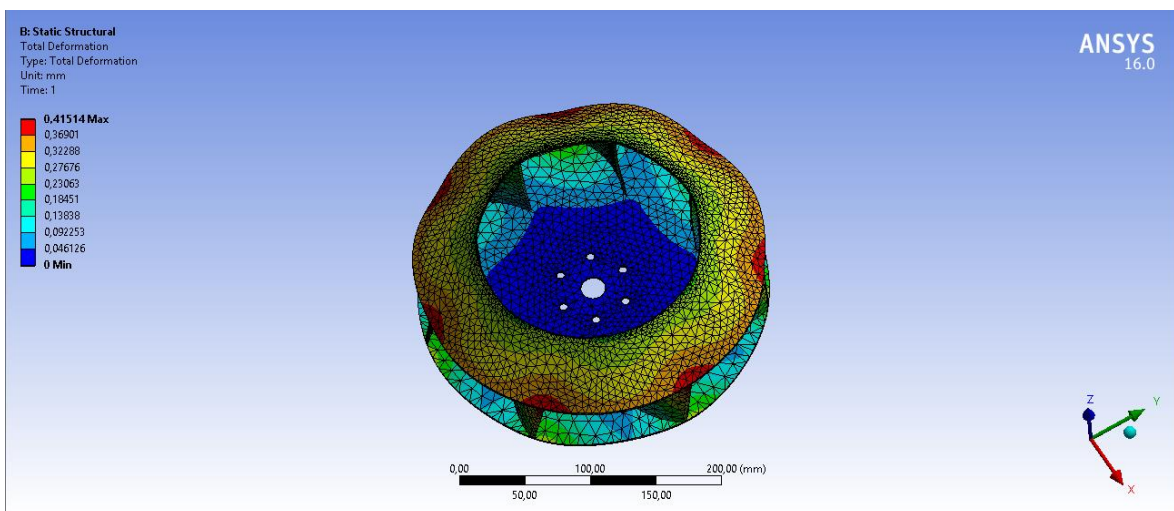
Joonis 4.14 Labale avalduv surve 0,23 Mpa

Ventilaator on kinnitatud keskelt prismaliistuga võllile (Joonis 4.15)



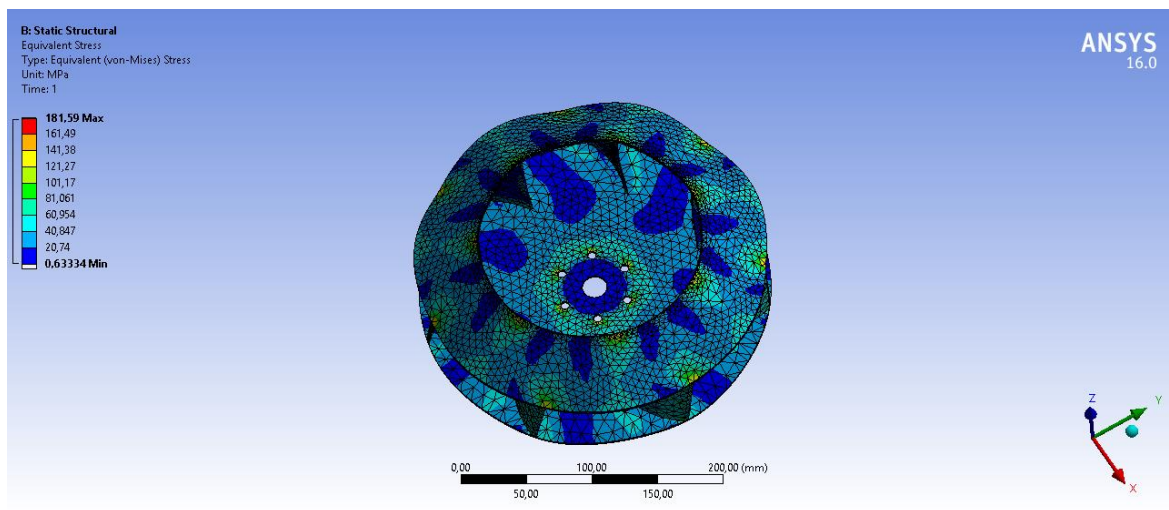
Joonis 4.15 Ventilaatori kinnitus

Täielikust deformatsioonist on näha (Joonis 4.16), et labade ülemine serv deformeerub kõige rohkem.



Joonis 4.16 Täielik deformatsioon

Ekvivalentse pinge maksimaalne väärtus on 181,59 Mpa mis asub samuti labade ülemises servas (Joonis 4.17).



Joonis 4.17 Ekvivalent pinge

5. ERINEVAD ELEKTRIMOOTORI TÜÜBID

5.1 Mootori valiku kriteeriumid

Elektrimootorid võimaldavad kiiret, täpset, pidevat, käiguvahetusega või ilma erinevat tüüpi liikumist. Kõik need rakendused vajavad oma mootoritehnoloogiat.

1. Esiteks tuleb valida kolme peamise elektrimootori tüübi vahel:
 - Vahelduvvoolu asünkroonmootor (ühe faasiline või kolme faasiline)
 - Sünkroonmootor: alalisvoolumootor (alalisvool), harjadeta jne.
 - Astmeline mootor
2. Nende kolme mootori tüübi vahel valimiseks tuleb kindlaks määrata rakenduse tüüp, kus mootorit kasutama hakatakse kuna see mõjutab mootori valikut:
 - Kui on soov, et mootor töötaks pidevalt ja vähese käiguvahetusega, tuleks valida asünkroonmootor.
 - Dünaamiliste rakenduste jaoks on oluline valida sünkroonmootor.
 - Ning viimaseks, kui on vaja täpset positsioneerimist, tuleks valida astmeline mootor.
3. Sõltuvalt vajalikust mootori liikumisest tuleb ära määrata ka mootori tehnilised andmed ning suuruse:
 - Tehniliste andmete kindlaksmääramisel tuleb eelnevalt kindlaks määrata mootori võimsus, pöördemoment ja kiirus.
 - Mootori suuruse määramiseks tuleb teada, kui palju mootor ruumi võtab ning kuidas ja kuhu see paigaldatakse (st kuidas see süsteemis fikseeritakse).
4. Lisaks mootori enda gabariitidele ning võimsusele tuleb arvestada ka töökeskkonnaga kus mootorit kasutama hakatakse:
 - On olemas vorm, mis on loodud igat tüüpi töökeskkonna jaoks (plahvatusohtlik, niiske, söövitav, kõrge temperatuur jne)
 - Karmides töötingimustes on kasutusel tugevdatud, veekindlad, põrutus- või mustuskindlad mootorid.
5. Ning viimaseks on viimastel aastatel energiatõhusus muutunud oluliseks teguriks, mida mootori valimisel arvestada tuleb:
 - Vähem energiat kulutaval elektrimootoril on väike energiamõju keskkonnale ning ka väiksem energiakulu. [24]

5.2 Alalis ning vahelduvoolu elektrimootorid

5.2.1 AC mootorid

Vahelduvoolu asünkroonmootorid on kõige populaarsemad mootorid, mida kasutatakse tööstuses, kuna neil on mitmeid eeliseid:

- Neid on lihtne koostada.
- Nad on ökonoomsemad madalama starditarbimise tõttu.
- Nad on ka vastupidavamad ja seetõttu on nende eluiga tavaliselt pikem.
- Nad ei vaja nii tihti hooldust.

Tänu nende tööpõhimõttele, mis hõlmab rootori pöörlemist ja voolu sageduse sünkroniseerimist, jääb vahelduvvoolumootorite kiirus konstantseks. Vahelduvvoolu mootorid sobivad eriti hästi töökeskkonda, mis nõuavad pidevat liikumist ja väheseid käiguvahetusi. Seega on vahelduvvoolu mootorid seetõttu suurepäraselt kohandatud kasutamiseks pumpades, konveierites ja suurtes ventilaatorites.

Vahelduvvoolu mootoreid saab integreerida ka töö süsteemidesse, mis ei vaja suurt täpsust, kui neid kasutatakse rakendustes, mille kiirus on muutuv.

Teisest küljest muudavad kiiruse reguleerimise funktsioonid vahelduvvoolu mootorid kallimaks, kui teised mootorid.

Vahelduvvoolu mootoreid on kahte tüüpi: ühefaasilised ja kolmefaasilised. [24]

5.2.2 DC mootorid

Alalisvoolu mootorid on samuti levinud ning laialdast kasutust leidnud tööstuskeskkonnas, kuna neil on olulised eelised (vt harjadeta mootorit)

- Nad on täpsed ja kiired.
- Nende kiirust on võimalik reguleerida toitepinge varieerimisega.
- Neid on lihtne paigaldada, isegi mobiilsetesse (akutoitega) süsteemidesse.
- Nende käivitamis pöördemoment on kõrge.
- Käivitamine, peatamine, kiirendamine ja järsult suuna muutmine toimub kiiresti.

Alalisvoolu mootorid sobivad väga hästi kasutamiseks dünaamilistes rakendustes, mis nõuavad suurt täpsust, eriti kiiruse osas. Nagu näiteks liftide puhul, või asukoha osas, nagu robotite või tööpinkide puhul.

Alalisvoolu mootorid on väga kasulikud ka rakendustes, kus on vaja suurt võimsust (näiteks 10000 kW).

Siiski on alalisvoolu mootoritel võrreldes vahelduvmootoritega neil oma struktuurist sõltuvalt teatud puudused:

- Alalisvoolu mootorid ei ole siiski nii levinud, kuna nad ei sobi kõigile rakendustele, mis vajavad suuremat võimsust.
- Alalisvoolu mootorid koosnevad paljudest osadest, mis aja jooksul töötamise käigus kuluvad ning asendus detailid on suhteliselt kallid. [24]

5.3 Erinevat tüüpi elektrimootorid

5.3.1 Harjadega motor

Harjadega mootorid on kõige lihtsamad ja sagedamini kasutust leidvad mootorid, eriti tööstusseadmetes ja väikese eelarvega rakendustes.

Harjadega mootoritel on teatud eelised:

- Neid on lihtne kontrollida
- Pöördemoment madalatel pööretel on väga hea
- Nad ei ole nii kallid

Olenevalt kasutusotstarbest on olemas nelja erinevat tüüpi harjadega mootoreid.

1. Järjestiku mähitud:

- Seda tüüpi mootorites on staator ühendatud rootori abil järjestikku ja kiirust juhitakse toitepinge muutmise kaudu.
- Siiski on niiviisi kiiruse reguleerimine üsna halb: kiirus langeb kohe, kui mootori pöördemoment suureneb.
- Sellist tüüpi mootor on kasulik rakendustes, mis vajavad suurt käivitusmomenti, näiteks autode või kraanade jaoks.

2. Šunt mähitud:

- Sellist tüüpi mootorites on staator ühendatud rootoriga paralleelselt, mis võimaldab mootori voolu suurenemisel suuremat pöördemomenti seejuures kiirust vähendamata.
- Sellist tüüpi mootor sobib hästi püsikiirusega töötamiseks, näiteks tolmuimejates või konveierites.

3. Liidetult mähitud:

- Sellist tüüpi mootorites on omavahel ühendatud nii šunt, kui ka järjestiku mähised.
- Tulenevalt sellest pakub niiviisi mähitud mootor suuremat käivitusmomenti kui ka suuremat kiiruse muutmist.
- Sellist tüüpi mootor sobib suurepäraselt pöörpresside, liftide, karussellide, tsentrifugaalpumpade ja kompressorite jaoks. [24]

5.3.2 Püsimagnetiga

- Sellist tüüpi mootor sisaldab püsimagnetit, mis võimaldab madalat pöördemomenti.
- Püsimagnetiga mootor on kasulik, kui vajatakse täpset juhtimist rakenduste jaoks, näiteks robotika või servosüsteemid.

Kõigil harjastega mootoritel on siiski olulisi puudusi:

- Harjadega mootorid on vähem tõhusad, kui harjadeta mootorid (75–80% võrreldes harjadeta mootorite 85–90% -ga).
- Nende kasutusiga on oluliselt lühem, kuna harjad kuluvad regulaarse hõõrdumise tõttu aja jooksul kiiremini ära (vahemikus 1000–10 000 töötundi, sõltuvalt kasutamise sagedusest, võimsusest, kiirusest, vibratsioonist jne).
- Mootori harjade ja kollektori kaar võib tekitada elektromagnetilist müra, mis võib põhjustada sädeme ning tulekahju.
- Sarnaselt muudab hõõrdumisest tulenev sädemete oht seda tüüpi mootori kasutamist plahvatusohtlikus keskkonnas ebasoovitavaks.
- Harjade kuumenemise tõttu on mootori kiirus piiratud.
- Grafiidist valmistatud harjad tekitavad tolmu, mis võib kahjustada muid seadmeid, näiteks optilisi seadmeid.
- Kuluvosasisid tuleb õlitada, mis muudab nende kasutamise tolmuimejates võimatuks. [24]

5.3.3 Harjadeta mootor

Harjadeta mootorid korvavad harjadega mootorite mõned nõrgad kohad, näiteks harjade olemasolu. Kuid nendel mootoritel on ka muid eeliseid:

- Harjadeta mootorid suudavad töötada suurematel kiirustel (kuni 100 000 pööret minutis, harjadega mootorid ainult 20 000 pööret minutis).
- Harjadega mootorite eluiga on pikem (üle 10 000 töötundi).
- Harjadega mootorid on töökindlamad ja tõhusamad.
- Puuduvad kuluvad osad, mis vähendab hooldustöid. Välja arvatud laagrid.

Kuna harjadeta mootorid on võimelised töötama väga suurte kiirustel, leiavad nad eriti sobivat kasutust tööstuses, kus kasutatakse saage, lihvimist ning ventilaatorites.

Harjadeta mootorid on süstemaatiliselt varustatud inverteriga, anduriga, mis võimaldab elektroonilist lülitust ja rootori asendi määramist. Harjadeta mootorid sobivad seega suurepäraselt rakendustes, kus kasutatakse servomootoreid.

Siiski on harjadeta mootoritel teatud puudused:

- Esialgssed kulud on suured, kuna on vaja integreerida mootorile spetsiaalne lülitusseade (kontrolleri).

- Üldiselt vajavad harjadeta mootorid ka reduktorit. [24]

5.4 Elektrimootori valik

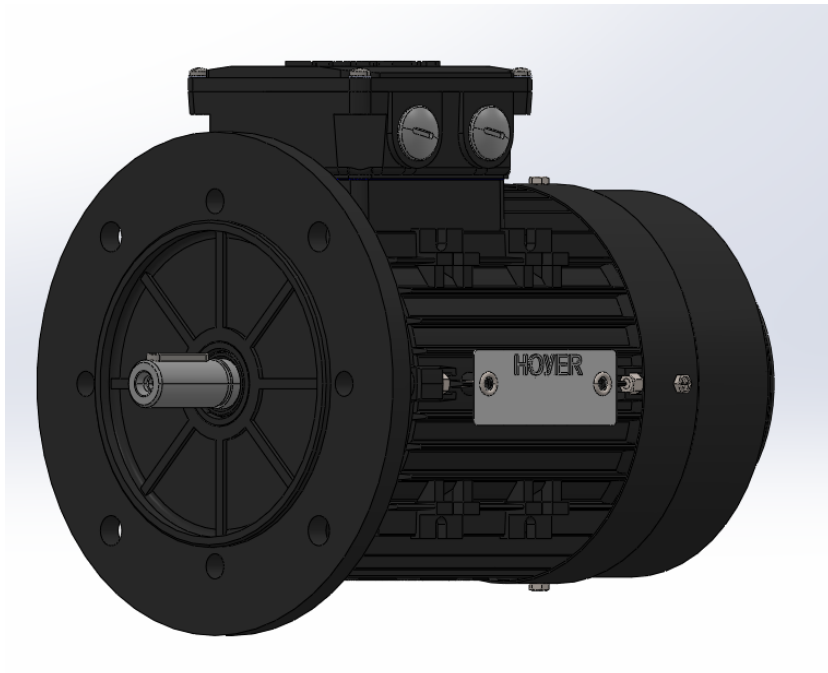
Valitakse kolmefaasiline vahelduvvoolu asünkroonmootor tänu lihtsale kooste konstruktsioonile, ökonoomsusele ja odavale hinnale. Vahelduvvoolu elektrimootorit on võrreldes teiste mootoritega kergem hooldada tänu vähestele detailidele. Kuna kollektorid ostetakse pingile lisavarustusena, siis ei ole vaja kollektoris kasutada kallimaid elektrimootoreid. Elektrimootor peab töötama pingi töötamise ajal konstantselt ühtlasel kiirusel, et aurude kogumine toimuks koguaeg.

Eelnevas peatükis arvatud tulemuste järgi valitakse elektrimootor (Tabel 5.1). Elektrimootorite valikul lähtutakse müratasemest, hinnast, pöörlemis kiirusest ja voolutarbest. Elektrimootoreid valitakse Eesti firmadest.

Tabel 5.1 Elektrimootorid

Elektrimootor: Tehniline informatsioon:	ACA 80 A-2/HE [25]	MA801-2 [26]	MS 80 1-2 [27]	HMA3 80-1 [28]
Võimsus (kW)	0,75	0,75	0,75	0,75
Pöörlemissagedus (1/min)	2875	2840	2770	2910
Pinge (V)	230	380	230	230
Moment (Nm)	2,5	2,54	2,59	2,48
Vool (A)	2,9	1,83	1,77	3,0
Helirõhu tase (dB)	61	64	67	58
Mass (kg)	8,9	8,7	8,7	9,5
Hind (€)	102	108	109	95

Elektri mootoriks valitakse HMA3-80-1 Joonis 5.1 Hoyer HMA3 80-1 elektrimootori 3D mudel (Joonis 5.1) kuna hind, müratase kiirus ja hind on teistega võrreldes paremad.

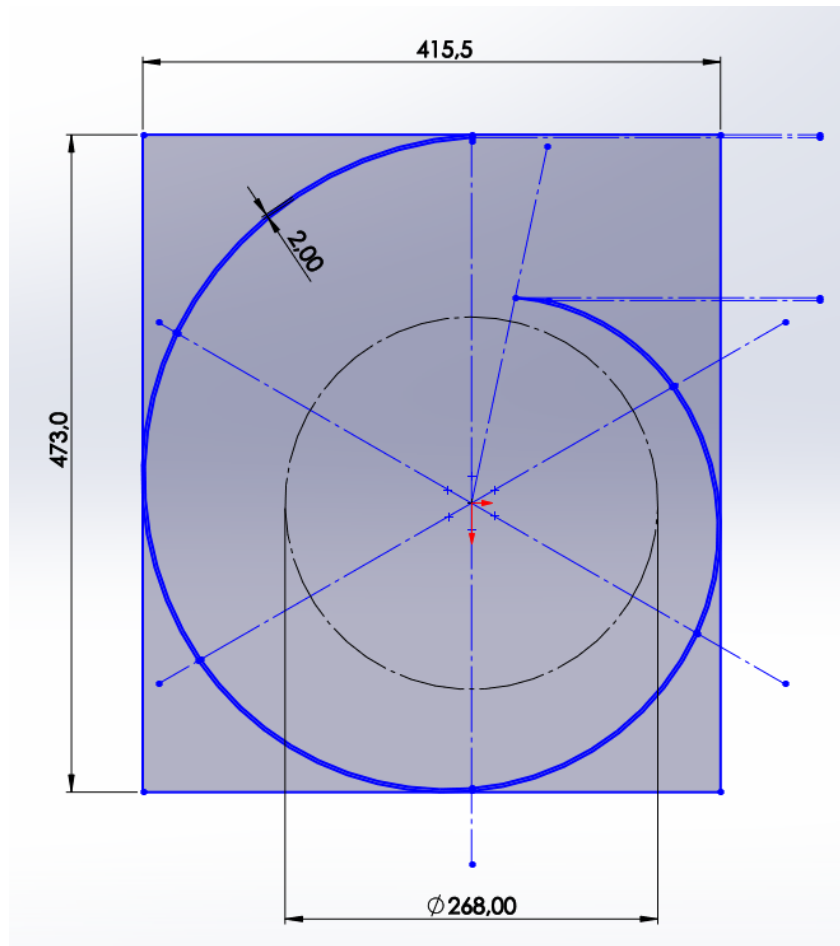


Joonis 5.1 Hoyer HMA3 80-1 elektrimootori 3D mudel

6. KOLLEKTORI PROJEKTEERIMINE

6.1 Kollektori projekteerimine

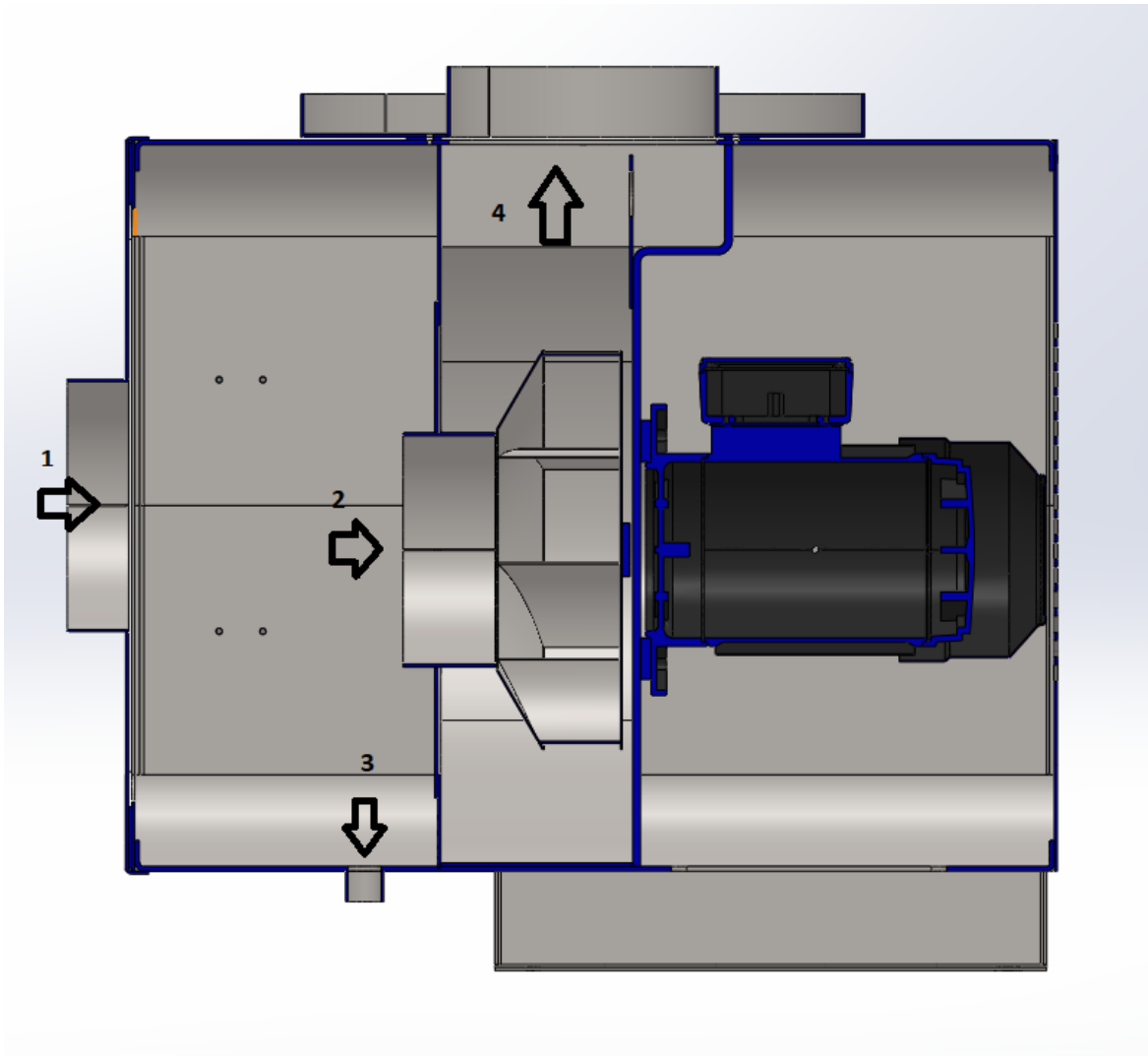
Kollektori projekteerimisel lähtutakse eelnevalt projekteeritud spiraalkambrist (Joonis 4.8) mille ümber tuleb kollektor. Kollektori minimaalsed sisemõõdud on näha jooniselt (Joonis 6.1)



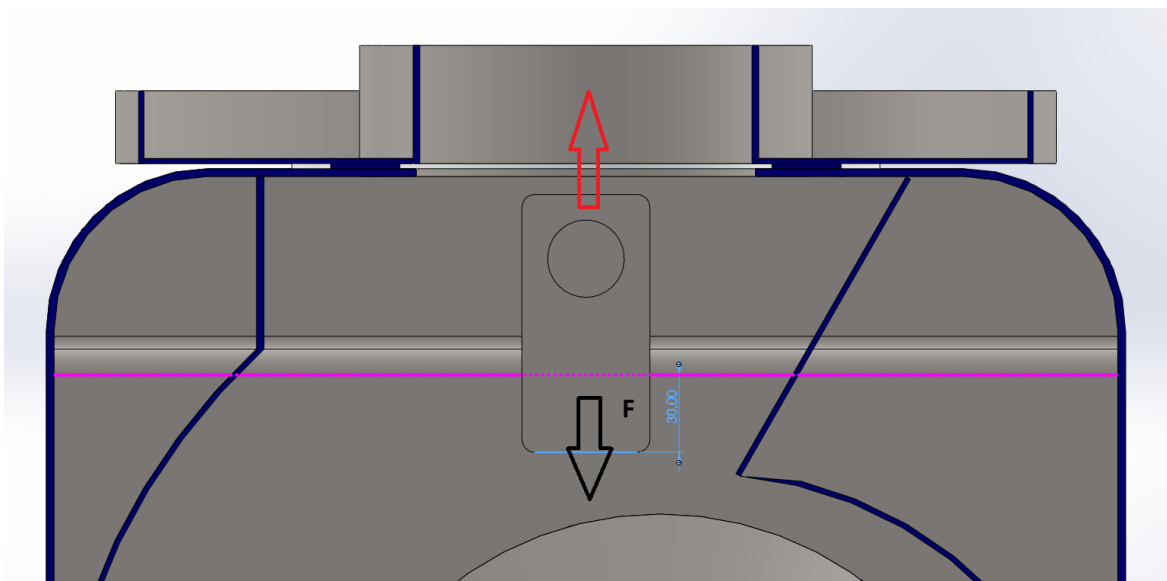
Joonis 6.1 Kollektori minimaalsed sisemõõdud

Joonisel (Joonis 6.2) on näidatud tööpõhimõtte, nool 1 suunas liigub emulsiooni aur kollektorisse, nool 2 suunas liigub emulsiooni aur läbi esimese filtri mis tõkestab suurtemate osakeste pääsemist ventilaatorisse kogudes osakesed enda peale ning osakesed moodustavad lõpuks tilgad, nool 3 suunas liigub kogunenud emulsioon pinki tagasi ja nool 4 suunas liigub ülejäänud emulsiooni aur läbi viimase filtri mis tõkestab suurem osa osakestest ning puhas õhk tuleb läbi filtri välja.

Kollektori valmistamisel kasutatakse külmaltsitud terast DC01 mis vastab standardile EN 10130:2006 [21]



Joonis 6.2 Kollektori läbilõige
 Kogu kollektori mass koos mootoriga on umbes 65 kg.



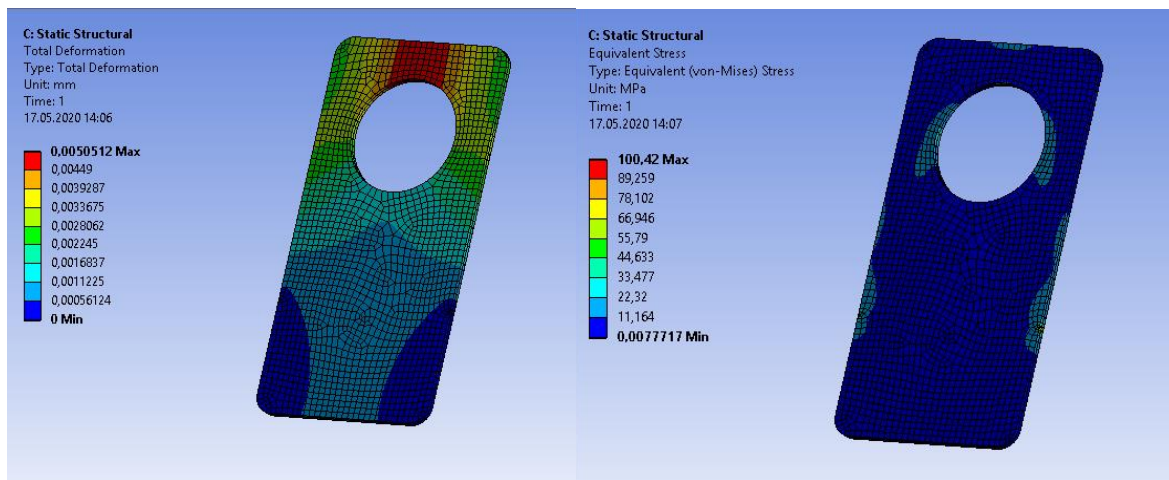
Joonis 6.3 Tõsteaas

Tõsteaas paksusega $s = 2 \text{ mm}$ on keevitatud korpuse külge (Joonis 6.3) ning keevisiiteks on nurkõmblus. . Keevituse kõrgus on $a = 2 \text{ mm}$ ja keevituse pikkuseks on $l = 30 \text{ mm}$. Keevisekõrguse $a = 2 \text{ mm}$ korral on keevituse tugevus $P_k = 0,462 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$ [29]

Antud andmetega saab arvutada keevise lubatud koormuse [29] :

$$F = P_k * l = 0,462 * 30 = 13,86 \text{ kN} \quad (6.1)$$

Tõsteaasale mõjuv jõud on $F = 0,64 \text{ kN}$ (näidatud musta noolega eelmisel lehel Joonis 6.3). Keevituse ja tõõsteaasa vastupidavust kontrollitakse programmis Ansys. Ansys kinnitab keevituse vastupidavust (Joonis 6.4)



Joonis 6.4 Tõsteaasa Ansys analüüs

Jooniselt (Joonis 6.4) on näha kuidas kollektori tõstmisel mõjuvad pinged tõsteaasale erinevates punktides. Kõige rohkem deformeerub tõstmisel tõõsteaasa ava ülemine serv ning ekvivalentse pinge korral on näha, et pingekontsentraatorid tekivad keevituse servades, ava mõlemal pool ning ülemises osas. Tulemus tundub loogiline kuna ava ja ülemise serva vahe on kõige väiksem ning peab antud jõule vastupidama.

7. MAJANDUSLIK OSA

Järgnevas tabelis (Tabel 7.1) toodakse välja detailide hinnad millest koosneb kollektor. Hinnad on ühe kollektori valmistamise korral ning viiekümne kollektori valmistamise ühe tüki hind.

Kollektori detailide lõikamise, painutamise, treimise ja keevitamise hinnad on küsitud Eesti-sisestelt allhanke firmadelt ning ei sisalda käibemaksu..

Tabel 7.1 Valmistamise hinnad

Jrk. nr	Nr.	Kogus (1 kmpl)	Hind (€/tk)	Kokku (€/kmpl)	Kogus (50 kmpl)	Hind (€/tk)	Kokku (€/50 kmpl)
1.	EKK.001.0	2	25	50	100	17,5	1750
2.	EKK.001.1	1	28,14	28,14	50	14,07	703,5
3-	EKK.001.2	1	12,3	12,3	50	6,15	307,5
4.	EKK.001.3	1	18,8	18,8	50	9,4	470
5.	EKK.001.4	1	16,72	16,72	50	8,36	418
6.	EKK.001.5	1	17,34	17,34	50	8,67	433,5
7.	EKK.001.6	1	7,9	7,9	50	3,95	197,5
8.	EKK.001.7	1	6,76	6,76	50	3,38	169
9-	EKK.001.8	1	10,42	10,42	50	5,21	260,5
10.	EKK.001.9	1	3,95	3,95	50	1,97	98,5
11.	EKK.001.10	1	7,5	7,5	50	3,75	187,5
12.	EKK.001.11	1	15,34	15,34	50	7,67	383,5
13.	EKK.001.12	2	8,86	17,72	100	4,43	443
14.	EKK.001.13	1	3,7	3,7	50	1,85	92,5
15.	EKK.001.14	1	10,06	10,06	50	5,03	521,5
16.	EKK.001.15	1	1,98	1,98	50	0,99	49,5
17.	EKK.001.16	1	1,05	1,05	50	1,05	52,5
18.	EKK.001.17	1	0,7	0,7	50	0,7	35
19.	EKK.002	1	30,66	30,66	50	15,33	766,5
20.	EKK.004	1	18,5	18,5	50	9,5	475
21.	EKK.004.1	1	10,52	10,52	50	5,26	263
22.	EKK.004.2	1	11,92	11,92	50	5,96	298
23.	EKK.004.3	1	7,52	7,52	50	3,76	188
24.	EKK.005	1	129	129	50	63	3150
25.	Vibratsiooni puks 30/25	4	1,8	7,2	200	1,8	360
26.	Kiirkinnitid	4	2,02	8,08	200	2,02	404
27.	Lõdvikuklamber 25-40 mm	1	0,215	0,43	50	0,215	10,75

Jrk. nr	Nr.	Kogus (1 kmpl)	Hind (€/tk)	Kokku (€/kmpl)	Kogus (50 kmpl)	Hind (€/tk)	Kokku (€/50 kmpl)
28.	Voolikuklamber 160-180	2	0,43	0,86	100	0,43	43
29.	Õlikindel voolik 25x35	3	4,86	14,58	150	4,86	729
30.	Spiraalvoolik 160 mm	2	12,9	25,8	100	12,9	1290
31.	ISO 4032 M8	4	0,006	0,024	200	0,006	1,2
32.	ISO 4762 M5x8	4	0,010 2	0,0408	200	0,0102	2,04
33.	ISO 4762 M6x10	1	0,010 5	0,042	50	1,05	52,5
34.	ISO 7093 M6	1	0,017	0,017	50	0,017	0,85
35.	ISO 4017 M10x10	4	0,094	0,376	200	0,094	18,8
36.	ISO 7380 M6x10	14	0,013 3	0,1862	700	0,0133	9,31
37.	ISO 7380 M5x10	26	0,012 2	0,3172	1300	0,0122	15,86
38.	ISO 7380 M3x6	3	0,007 5	0,0225	150	0,0075	1,125
39.	ISO 7089 M5	26	0,001	0,026	1300	0,001	1,3
40.	ISO 7089 M6	14	0,002 3	0,0322	700	0,0023	1,61
50.	ISO 7089 M3	3	0,000 8	0,0024	150	0,0008	0,12
51.	Manomeeter (0-5 kPa)	1	27,3	27,3	50	27,3	1365
52.	Vaskkaabel 5 G 2,5 mm ²	3	3,25	9,75	150	3,217	482,55
53.	HMA3-80-1	1	95	95	50	95	4750
Kokku				628,58			20982,52

Arvestades hinnavahemiku 1900-2500€ kollektoritele mis on tabelis (Tabel 4.1), siis omavalmistatud ühe kollektori korral on hinnaks 628,58€ ning viiekümne kollektori valmistamise puhul on ühe tüki hind 419,65€.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistri lõputöö raames oli eesmärk projekteerida spiraalkambriga tsentrifugaal ventilaator tööstusliku emulsiooni aurude ning udu kollektori jaoks ning välja selgitada tootmis kulud Eestis tootmise korral. Teema mõtte tekkis emulsiooni lõhnadest, ning kallitest kollektoritest. Emulsiooni udu ning aurude kollektor aitab tagada puhtama töökeskkonna maksimaalse tootlikuse saavutamiseks, aitab vältida töötajatel kahjulikku udu sissehingamist.

Lõputöö raames sai uuritud erinevaid emulsiooni aurude kollektoreid ning erinevaid tööpõhimõtteid, tsentrifugaal ventilaatoreid ning nende efektiivsusi. Emulsiooni aurude kollektori jaoks jäi valikusse tahapoole kaardus tsentrifugaal tiivik oma positiivsete parameetrite ja efektiivsuse poolest.

Erinevaid elektrimootoreid toodetakse maailmas palju ning väga mitmete erinevate aplikatsioonide jaoks. Valikusse jäi kolmeefaasiline vahelduvvoolu asünkroonmootor tänu oma lihtsale kooste konstruktsioonile, ökonoomsusele ja odavale hinnale. Vahelduvvoolu elektrimootorit on võrreldes teiste mootoritega kergem hooldada tänu vähestele detailidele.

Töö raames sai tiivikule tehtud analüüs Ansys programmis mis kinnitas arvutusliku käiku. Samuti sai arvutatud väärtusi kontrollitud CalQlata „Fans“ kalkulaatoriga mis andis lähedased tulemused.

Majanduslikus osas selgus, et magistri lõputöö raames konstrueeritud tööstuslike emulsiooni aurude kollektori Eesti-siseselt valmistamise hind ühe toote puhul on 628,58€. Tuleviku plaanis on optimeerida ning lihtsustada korpuse tootmist mille tulemusena vähendada ühe toote valmistamis hinda. Samuti on plaan spiraalkambri ja tsentrifugaal tiiviku valmistamine vähendatud versioonis ning kontrollida analüüside ja arvutuste tulemusi.

Projekteerimise ja konstrueerimise käigus sai magistriltõõ autor omandada uusi Ansys tarkvara Fluid Flow (Fluent) keskkonnas.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Flodraulic, „The Flodraulic Group,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://flodraulic.com/tech-tips/filtration-mist-collectors-industrial-applications>. [Kasutatud 1 veebruar, 2020].
- [2] Engineering360, „Globalspec,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/air_quality/mist_collectors. [Kasutatud 1 veebruar, 2020].
- [3] Donaldson, „Donaldson,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.donaldson.com/en-us/industrial-dust-fume-mist/technical-articles/mist-collection-fundamentals-applications/>. [Kasutatud 2. veebruar, 2020].
- [4] B. o. e. efficiency, „Beeindia,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://beeindia.gov.in/sites/default/files/3Ch5.pdf>. [Kasutatud 2. veebruar, 2020].
- [5] Knowledgeplatform, „Knowledgeplatform,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://knowledgeplatform.in/wp-content/uploads/2017/03/Chapter-3.5-Fans-Blowers.pdf>. [Kasutatud 2. märts, 2020].
- [6] Learnpick, „Learnpick,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.learnpick.in/questions/details/6865/what-is-difference-between-impeller-and-propeller>. [Kasutatud 3. märts, 2020].
- [7] MrReid, „Wordpress,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://wordpress.mrreid.org/2014/08/29/propellers-and-impellers/>. [Kasutatud 3. märts, 2020].
- [8] Nuclear-Power, „Nuclear-Power,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.nuclear-power.net/nuclear-engineering/fluid-dynamics/centrifugal-pumps/impeller-types-of-impellers/>. [Kasutatud 23. veebruar, 2020].
- [9] Fan Engineering, „Centrifugal fan engineering,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://centrifugalfanengineering.blogspot.com/2013/01/basic-design-of-centrifugal-fan.html>. [Kasutatud 5. veebruar 2020].
- [10] Wikipedia, „Centrifugal Fan,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Centrifugal_fan. [Kasutatud 4. veebruar, 2020].
- [11] „3nine,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.3nine.com/knowledge/selecting-right-product/>. [Kasutatud 1. märts, 2020].
- [12] „Flodraulic,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://flodraulic.com/tech-tips/filtration-mist-collectors-industrial-applications>. [Kasutatud 1. märts, 2020].
- [13] „Koton Technologies,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.koton-edm.com/products/oil-mist-air-cleaner.html>. [Kasutatud 4. veebruar, 2020].
- [14] „Losma,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.losma.it/en/prodotti/icarus/>. [Kasutatud 4. veebruar, 2020].
- [15] „Micronfilter,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.micronfilter.it/products/kube>. [Kasutatud 4. veebruar, 2020].
- [16] „Ziehl-Abegg,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.fanselect.net/>. [Kasutatud 22. märts, 2020].
- [17] „Punker,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.punker.com/puncat-web-en/>. [Kasutatud 22. märts, 2020].
- [18] W. C. Osborne, Fans: (in SI/metric Units), Oxford: Pergamon Press, 1966.

- [19] „Calqlata,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.calqlata.com/proddetail.asp?prod=00060>. [Kasutatud 09. mai, 2020].
- [20] M. Tiidemann, MASINAELEMENTIDE PROJEKTEERIMISE ALUSED, Tallinn: Tallinna Tehnikakõrgkool, 2010.
- [21] „EUROPEAN STEEL AND ALLOY GRADES,” [Võrgumaterjal]. Available: http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=199. [Kasutatud 09. mai, 2020].
- [22] „Youtube,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=5TzUkEXVG1M>. [Kasutatud 09 mai, 2020].
- [23] „Youtube,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=FSLyfuH8wh8>. [Kasutatud 9. mai, 2020].
- [24] DirectIndustry, „DirectIndustry,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://guide.directindustry.com/choosing-the-right-electric-motor/>. [Kasutatud 4. veebruar, 2020].
- [25] „Tulekel,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://tulekel.ee/toode/aca-80-2he/>. [Kasutatud 11. mai, 2020].
- [26] „Elektrimasinad,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.elektrimasinad.ee/et/teenused/uute-eelektrimootorite-muuk/>. [Kasutatud 11. mai, 2020].
- [27] „Elektrimootorid,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://elektrimootorid.ee/images/CEMER-IE1-IE2-ENGLISH.pdf>. [Kasutatud 11. mai, 2020].
- [28] „Hoyermotors,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://hoyermotors.com/products/motors/hoyer-ie3-electric-motors/5520800209/>. [Kasutatud 11 mai, 2020].
- [29] „Keevituse tugevus,” Roymech, [Võrgumaterjal]. Available: https://roymech.org/Useful_Tables/Form/Weld_strength.html. [Kasutatud 17. mai, 2020].

GRAAFILINE OSA

Joonis 1. Mootori kinnitus äärik

Joonis 2. Tiiviku rumm

Joonis 3. Tsentrifugaal ventilaator

Joonis 4. Spiraalkambri kooste joonis

Joonis 5. Kollektori kooste joonis