



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Masinaehituse instituut

Tootearenduse õppetool

MES70LT

Andreas Liiv

**LABORATOORSE DESINTEGRAATORVESKI
MODERNISEERIMINE
DESINTEGRAATOR TOOTMISE OÜ**

Autor taotleb
tehnikateaduse magistri
akadeemilist kraadi

Tallinn
2015

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE

2015. aasta kevadsemester

Üliõpilane: Andreas Liiv 132197 (nimi, kood)
Õppekava: MATM02/11
Eriala: Tootearendus ja tootmistehnika
Juhendaja: professor Martin Eerme (amet, nimi)
Konsultandid: (nimi, amet, telefon)

BAKALAUREUSETÖÖ TEEMA:

(eesti keeles) LABORATOORSE DESINTEGRAATORVESKI MODERNISEERIMINE
DESINTEGRAATOR TOOTMISE OÜ

(inglise keeles) Modernisation of the laboratory disintegrator in Desintegrator Tootmise OÜ

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1	Probleemi analüüs. Info kogumine. Info analüüs	02.03.15
2.	Lahendusvariantide genereerimine, 3D modelleerimine, koostajooniste koostamine	05.04.15
3.	Keerukama detaili tootmistehnoloogia käsitus ja seadme eksploatatsioonijuhendi koostamine	27.04.15
4.	Keskkonnaohutuse hinnang, seletuskirja koostamine ja töö viimistlemine	25.05.15

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid: Laboratoorse desintegratorveski konstruktsiooniarvutused

Täiendavad märkused ja nõuded: -

Töö keel: Eesti keel

Kaitsemistaotlus esitada dekanaati hiljemalt 12.05.2015. **Töö esitamise tähtaeg** 25.05.2015.

Üliõpilane Andreas Liiv /allkiri/ kuupäev.....

Juhendaja professor Martin Eerme /allkiri/ kuupäev.....

SISUKORD

EESSÕNA.....	5
SISSEJUHATUS.....	6
1 SEADME ÜLDINE TÖÖPÕHIMÕTE.....	8
2 EELNEVAD ANALÜÜSID JA UURINGUD	10
2.1 Klientide rahulolu.....	10
2.2 Ettevõttepoolsed ettepanekud seadme moderniseerimiseks	10
2.3 Konkurentsianalüüs	11
3 SEADMELE ESITATAVAD NÕUDED	13
4 ERINEVAD LAHENDUSVARIANDID JA ANALÜÜS.....	14
4.1 Elektrimootorid.....	14
4.1.1 Elektrimootorite valik	14
4.1.2 Sobiva elektrimootori valimine	19
4.2 Filter.....	20
4.2.1 Filtri konstruktsiooni lahenduste genereerimine	20
4.2.2 Sobivaima filtri konstruktsiooni valimine.....	24
5 KONSTRUKTSIOONIARVUTUSED JA 3D MODELLEERIMINE.....	25
5.1 Jahvatuskambri kaane ja tagaseina konstrueerimine	25
5.1.1 Sisendkanaliga tagasein.....	26
5.1.2 Kaas	28
5.2 Rootorid	30
5.2.1 Nelinurksete jahvatusesementidega rootorid	32
5.2.2 Kolmnurksete jahvatusesementidega rootorid.....	41
5.3 Filter.....	46
5.4 Lõpplüliti	47
6 MODERNISEERITUD LABORATOORNE DESINTEGRAATORVESKI	49

7	TAGASEINA TOOTMISTEHNOLLOOGIA KÄSITLUS	51
8	SEADME LIGIKAUDSE HINNA ARVUTUS	53
9	SEADME OHUTUSE TAGAMINE	55
9.1	Seadme eksploatatsioonijuhend.....	55
9.1.1	Paigaldamine ja tööks ettevalmistamine	55
9.1.2	Töötamise kord.....	56
9.2	Keskkonnaohutuse hinnang	57
	KOKKUVÕTE.....	58
	SUMMARY	60
	VIITELOETELU	62
	GRAAFILINE OSA	63

EESSÕNA

Käesoleva töö teema on antud välja töö autori ning ettevõtte Desintegraator Tootmise OÜ juhatuse liikme Jaan Külaviiru algatusel. Töö koostamine ning algandmete kogumine toimus peamiselt Desintegraator Tootmise OÜ-s. Töö valmimise juures olid suureks abiks Tallinna Tehnikaülikoolist töö juhendaja professor Martin Eerme, Desintegraator Tootmise OÜ tootmisjuht ja juhatuse liige Jaan Külaviir, peatehnoloog Boris Kipnis ning ettevõtte peakonstruktor Juha Pirn.

Töö autor avaldab nimetatud isikutele ning ka kõigile teistele, kes antud töö juures abiks olid, siirast tänu.

SISSEJUHATUS

Desintegraator Tootmise OÜ on masinaehitusettevõtte, mis eriprojektidena valmistab mitmesuguseid seadmeid peenjahvatuse, purustamise, segamise ja emulgeerimise ning homogeniseerimise otstarbeks. Desintegraator Tootmise OÜ on välja kasvanud 1974ndal aastal asutatud kooperatiivettevõttest "Desintegraator". Desintegraator oli erikonstrueerimisbüroo, mille 1974. aasta jaanuaris asutas tehnikateaduste doktor Johannes Hint. Dr Hindi juhtimise all (1974–1981) oli firma tegevusalade seas uurimistöö ainetes mehaaniline aktiveerimine desintegraatormenetluse abil. Sellel ajal konstrueeriti ettevõttes mitmesuguseid desintegraatorseadmeid ja tootmisliine, projekteeriti käsitsi ka masinaparke ehitusmaterjalide, väetiste, sööda jm tootmiseks.[1]

Magistritöös käsitletakse laboratoorseid desintegraatorveskit. Desintegraatorveski töö põhineb desintegreerimisel, mille all mõistetakse eelkõige materjalide töötlemist purustamise eesmärgil desintegraatoriks nimetatud seadme abil, aga ka igasugust materjalide peenestamist.[2]

Laboratoorne desintegraator on mõeldud väikeste koguste pulbriliste ja teraliste materjalide peenestamiseks laboratoorsesel ja teaduslikel uurimistöödel. Seade jahvatab materjali, mille algosakeste suurus on kuni 2,6 mm, peensuseni 0,01 ... 0,2 mm. Vastavalt rootorite konstruktsioonile peab jääma töödeldava materjali kõvadus alla 6 ühiku Mohsi skaala järgi.

Laboratoorseid desintegraatorit kasutatakse ka vedelike töötlemiseks. Nimelt desintegraatorjahvatamisega ei kaasne vaid materjali osakeste soovitud peensuse saavutamine. Desintegreerimisel toimub ka aineosakeste aktiveerimine - struktuuri muutus, keemiline reaktsioon aineosakeste pinnal, elektrilised laengud osakeste uutel pindadel.

Aastail 1949-1950 märgati Tallinnas, et desintegraatoris jahvatatud liiv, võrreldes teiste veskitega, annab lubi-liivtoodetele suurema tugevuse.

1953. aastal jahvatati sama liiv täiesti võrdse eripinnani (võrdse osakeste pinna pindalani massiühiku suhtes) kuulveskis, vibroveskis ja desintegraatoris. Jahvatatud liivadest valmistati täiesti ühesugustes tingimustes proovikehad. Proovikehade tugevust mõõtes, selgus, et kuul- ja vibroveskis jahvatatud liivast valmistatud proovikehade tugevus oli peaaegu võrdne. Desintegraatoris jahvatatud silikaatliivast proovikehade tugevus oli aga kuni 80% suurem.[3]

Laboratoorse desintegraatorveski moderniseerimine on vajalik sellepärast, et ettevõtte poolt hetkel pakutaval seadmel esineb mõningaid probleemseid kohti, lisaks on soov seadet täiustada ja võimsamaks konstrueerida.

Desintegraatorveski võimsamaks moderniseerimine tõstab seadme tootlikkust, aineosakeste löögikiirust purustamisel ja laiendab materjalide laboratoorseid uurimisvõimalusi.

Moderniseeritud desintegraatori puhul selgitatakse katseliselt vastavalt jahvatatavatele materjalidele ja nõuetele produktile sobivad jahvatusrežiimi parameetrid.

Seadme moderniseerimisel tuleb arvesse võtta seadme võimalikult lihtsaid koostamist võimaldavaid tehnoloogiaid ja ka kasutajasõbralikku seadme kasutamist. Kindlasti ei tohi arvestamata jätta ka ohutegurite ning keskkonnaga seotud probleemide kohta käivaid aspekte.

Seadme konstrueerimisel tuleb silmas pidada, et seade on mõeldud kasutamiseks laboratoorsetel eesmärkidel nii farmaatsia, ehitus, toiduaine, metallurgia ning muudes valdkondades, millest lähtuvalt tuleb teostada ka seadme komponentide materjalivalikud.

Raalprojekteerimise tarkvarana on antud töös kasutatud tarkvara SolidWorks.

Seadme moderniseerimist alustatakse konkureerivate ettevõtete poolt pakutavate sarnaste seadmete uurimisega. Seejärel analüüsitakse klientide tagasisidet ning ettevõtte poolseid ettepanekuid seadme moderniseerimiseks.

Pärast analüüsi valitakse suurema võimsuse ja pöörlemissagedusega elektrimootorid. Valitud elektrimootor peaks vastama ülesande püstituses määratud parameetritele. Sobivaima elektrimootori valimiseks koostatakse hindamismatriks, mille järgi selgub parim elektrimootor antud töö jaoks. Seejärel teostatakse seadme konstruktsioonile vajalikud muudatused. Teostatakse jahvatusselementide ehk rootorite analüüs. Valitakse uus filtrielement ning projekteeritakse efektiivsem filtrikonstruktsioon koos filtri puhastusmehhanismiga.

Optimaalse konstruktsiooni projekteerimiseks teostab autor tugevusarvutused raalprojekteerimise tarkvara SolidWorks lisa SolidWorks Simulation abil.

Töö põhiliste osade hulka kuulub konkurentsiuuring, kliendi rahulolu analüüs, seadme probleemsete kohtade välja selgitamine, erinevate lahendusvariantide genereerimine ja valik. Raalprojekteerimise ja konstruktsiooniarvutuste osas on toodud erinevad tehnilised lahendused ja sooritatud tugevusarvutused. Lisaks sisaldab töö ühe detaili tootmistehnoloogia käsitlust, seadme ligikaudse omahinna arvutust, seadme eksploatatsioonijuhendit ning hinnangut keskkonnaohutusele. Seejärel on toodud järeldus töö tulemuste kohta.

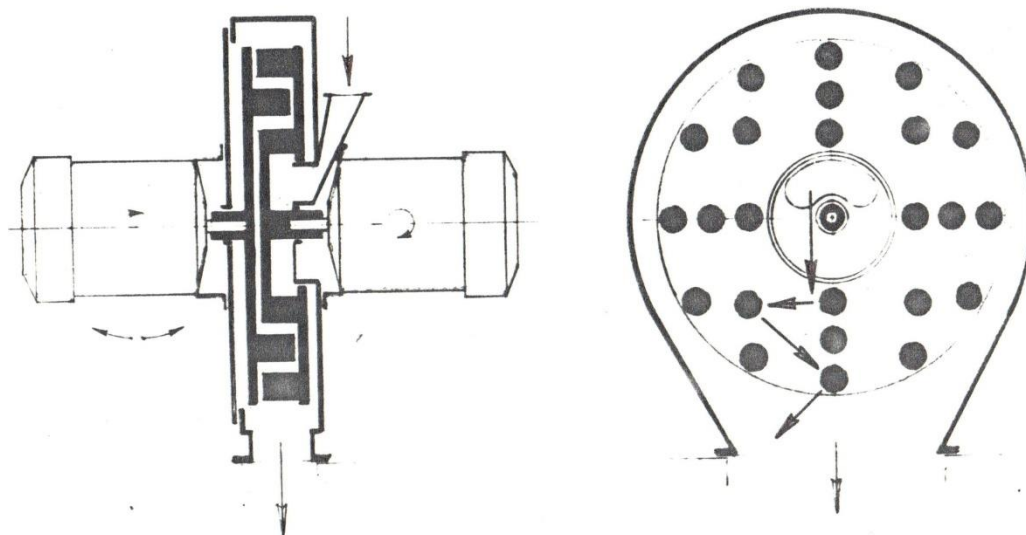
1 SEADME ÜLDINE TÖÖPÕHIMÕTE



Sele 1.1 Laboratoorne desintegraator

Laboratoorne desintegraator (sele 1.1) on seade, mis põhineb Carr skeemil (USA patent 518010, 1849 aasta) [4]. Sellise seadme oluliseks tunnuseks on rootorite komplekt, mis koosneb kahest vastassuunas pöörlevast, löögisõrmedega varustatud rootoritepoolest. Rotorid on kinnitatud horisontaalselt asetatud elektrimootori võllidele. Jahvatamise põhimõte seisneb materjali osakeste mitmekordsel pörkumisel rootorite jahvatuselementide pihta. Nimelt jahvatatava materjali osakesed antakse ühtlaselt sisendkanali kaudu desintegraatorveski rootorite sisemisele jahvatuselementide ringile. Tsentrifugaaljõudude mõjul paisatakse materjali osakesed väljapoole teisele jahvatuselementide ringile, mis pöörleb vastassuunas. Jahvatuselementidelt saadud löökide mõjul osakesed purunevad, saades iga löögiga uue kiirenduse ning lendavad jahvatuskambri keskosast väljapoole kuni rootori jahvatuselemendid paiskavad peenestatud materjali jahvatuskambri väljundkanalisse.

Jahvatamise tööpõhimõte on näidatud seel 1.2.



Sele 1.2 Desintegraatori tööpõhimõte

Seadme jahvatuskambril moodustavad šarniiriga ühendatud korpus ja kaks kaant, millest üks on varustatud lehtriga sisendkanaliga. Korpuse alumisele osale on kinnitatud väljundkanal. Jahvatuskambril kaante suletust kontrollib lõpplüüti. Laboratoorse desintegraatori rootorite komplekt on kinnitatud keermesliitega elektrimootorite võllidele. Rotorite ajamiseks on kaks elektrimootorit, mis kinnituvad kaante külge.

Puksid on ette nähtud rootorite vahelise aksiaalpilul reguleerimiseks ja töökambrist tolmu välja sattumise vältimiseks. Vastavalt rootorite tüübile, on rootoritel kokku neli või kuus rida sõrmi, ehk jahvatuslemente. Väljundkanali äärikul külge on kinnitatud produkti vastuvõtu konteiner ja äärikuga kanal õhufiltri kinnitamiseks.

Laboridesintegraator sisaldab lisaks vibroetteandjat, mille ülesandeks on algmaterjali ühtlane doseerimine jahvatuskambrisse.

Õhufilter on ette nähtud jahvatuskambrist tuleva tolmu püüdmiseks. Filter koosneb silindrilisest korpusest, mille sisse on kahe klambriga kinnitatud kooniline, polüester-riidest valmistatud filtrielement. Filter on varustatud raputusmehhanismiga.

Laboratoorse desintegraatoriga töötamisel satub materjal vibroetteandja abil desintegraatori sisendkanalisse ning sealt edasi rootorite jahvatuslementide ringidele. Jahvatuslementidelt saadud löökide mõjul paiskuvad peenestatud materjali jahvatuskambrist väljundkanali kaudu kogumiskonteinerisse.

2 EELNEVAD ANALÜÜSID JA UURINGUD

2.1 Klientide rahulolu

Klientidelt, kes on omale soetanud laboratoorse desintegraatori, on jõudnud nii positiivset kui negatiivset vastukaja. Suurimaks probleemiks peetakse mootorite ülekuumenemist raskesti jahvatatavate materialide (metallisulamid või kõvad materialid nagu keraamika) – jahvatamisel intensiivsel režiimil. Kuigi tegemist on laboratoorse seadmega, kasutavad mõned kliendid seadet ka tootmiseks. Laboratoorse desintegraatori funktsioon on materjalide omaduste uurimine laboratoorsetes tingimustes, see tähendab seda, et materjali kogused jahvatamiseks on väikesed. Seade ei sobi kasutamiseks tootmiseseadmena. Tulles vastu klientidele, kes siiski tahavad seadmega toota väikestes kogustes jahvatatud materjali, teostatakse seadme moderniseerimise ühe osana võimsamate mootorite valik. Võimsam mootor ja suuremad pöörlemiskiirused võimaldavad laiendada materjalide uurimisvõimalusi – jahvatada materjali peenemaks, muuta materjaliosakeste pinnaomadusi ning uurida materjalide omadusi suurematel löögikiirustel.

2.2 Ettevõttepoolsed ettepanekud seadme moderniseerimiseks

Ettevõttesiseselt on täheldatud samuti mõningaid konstruktiivseid puudujääke, mida võiks kõrvaldada.

Esiteks kipub filtrielement liiga kiiresti ummistuma, eriti just intensiivsel režiimil. Filtrielemendina kasutatakse laboratoorse desintegraatori puhul riidest filtrikotti. Võrreldes filtrikotti padrunfiltritega, siis on filtrikoti pinna pindala kordades väiksem padrunfiltri pindalast. Samuti võib ummistumisele kaasa aidata filtrikoti raputusmehhanism, mis ei tööta nii hästi kui võiks.

Ohutuse tagamiseks on seadmele paigaldatud lõpplüliti, mis fikseerib kaane suletud või avatud olekut. Hetkel kasutusel oleva lõpplüliti paigaldamiseks seadmele on konstrueeritud spetsiaalne kronstein, mille külge lõpplüliti on kinnitatud. Tootmismahu vähendamise mõttes tuleks eemaldada lisakronstein ning valida lõpplüliti, mille kinnitamine seadmele oleks lihtsam. Samuti peaks uus lõpplüliti olema töökindlam ja kvaliteetsem.

2.3 Konkurentsianalüüs

Seadme moderniseerimisele aitab kaasa ka sarnaseid seadmeid tootvate ettevõtete tootevaliku uurimine. Selle abil saab hinnata, milliseid eeliseid omavad konkurentide poolt pakutavad seadmed ning seejärel arvestada neid seadme moderniseerimisel.

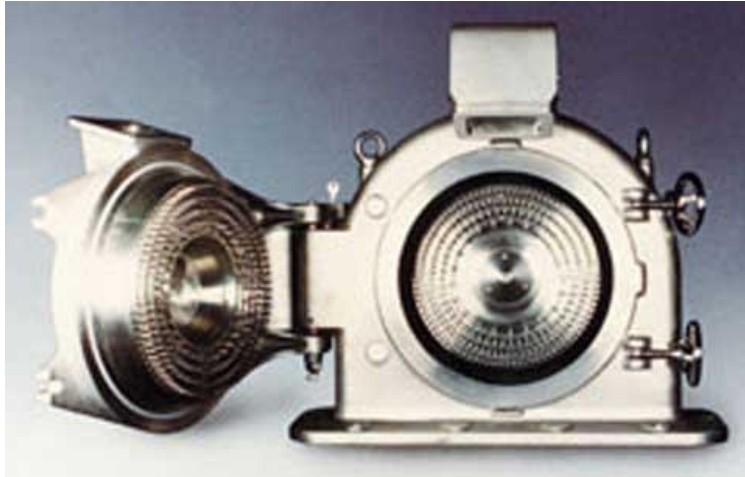
Suurimateks konkurentideks on Retsch GmbH [5] ning Hosokawa Alpine [6], kes toodavad erinevaid jahvatusseadmeid. Nende tootevalikust võib leida kuulveskeid, rootorveskeid (desintegraatorid), vibroveskeid, haamerveskeid ning palju muud. Mõlema tootja tootevalikusse kuuluvad ka laboratoorsed jahvatusseadmed.



Sele 2.1 Retsch Disc mill DM 200

Retsch GmbH tootevalikust võiks välja tuua ühe huvitava laboratoorse jahvatusveski, mis on näidatud seel 2.1. Selle seadme tööorganiteks on kaks ketast, mis erinevad oluliselt desintegraatorveski jahvatusketastest. Nimelt on kummalegi rootorile projekteeritud sektoriteks jagatud kambritest. Jahvatatav materjal saab lööke, põrkudes vastu kambrite seinu. Mõlemad rootorid on seadistatud üksteisest soovitud kaugusele ning materjali osakesed ei pääse enne rootorite vahelt välja, kui on saavutanud väiksema mõõdu kui on seadistatud rootorite vaheline mõõt.

Jahvatusveski DM 200 materjali jahvatuse peensus jääb vahemikku 0,1 – 5 mm. Seadmele on paigaldatud elektrimootor võimsusega 1,5 kW, mille võlli pöörlemiskiiruseks on 440 p/min. Autori hinnangul on selle jahvatusseadme poolt jahvatatud materjali peensus väga ühtlane, kuid teisest küljest on tekkivad hõõrdejõud materjali osakeste ja rootorite vahel suured. Hõõrdejõu tõttu toimub kiire tööorganite kulumine, mistõttu on tööroganeid vaja tihedamini uute vastu vahetada.



Sele 2.2 Hosokawa Alpine 100 UPZ II

Hosokawa Alpine tootevalikust võiks välja tuua laboratoorse desintegratorveski 100 UPZ-II, mis on näidatud seel 2.2 See desintegratorveski on varustatud ühe elektrimootoriga võimsusega 1,5 kW, mille võlli pöörlemiskiiruseks on maksimaalselt 18000 p/min. Elektrimootori parameetrid sarnanevad Desintegrator Tootmise OÜ poolt pakutava laboratoorse desintegratori puhul kasutatavaga. Ühe mootori kasutamine vähendab aga jahvatatava materjali osakeste löögikiirust, mistõttu ei ole jahvatamine väga efektiivne. Seadme 100 UPZ II tööorganiteks on jahvatuseslementidega varustatud rotor- ja staatorketas. Tööorganite puhul tasub ära märkida jahvatuseslementide paigutus kettal (sele 2.3). Nimelt on elementide paigutamisel järgitud asjaolu, et igal elemendi ringil jääks elementide vaheline tühi ala iga elementide ringi juures samaks. Seetõttu on väiksemal läbimõõdul paiknevate elementide samm oluliselt suurem kui viimasel ringil paiknevate elementide vaheline samm. Töö autor võtab arvesse sellise jahvatuseslementide paigutuse võtte ning sobivuse korral kasutatakse seda ka laboratoorse desintegratori moderniseerimisel.



Sele 2.3 Jahvatuseslementide paigutus

3 SEADMELE ESITATAVAD NÕUDED

Kasutades infot, mida oleme saanud klientidelt, ettevõttepoolseid nõudeid ning seadme varasemaid parameetreid, on koostatud seadme moderniseerimiseks toote spetsifikatsioon, mis kirjeldab tootele esitatavaid nõudeid. Tootele esitatud nõuded on toodud tabelis 3.1.

Tabel 3.1 Seadmele esitatud nõuded

Nr	Nõue	Väärtus	Olulisus (5 oluline, 1 väheoluline)
1	Elektrimootori võimsus	2 ... 4 kW	5
2	Elektrimootori võlli pöörlemiskiirus	18000 ... 24000 p/min	5
3	Seadme ohutus ekspluateerimisel		5
4	Võimalikult lihtne toota		4
5	Kuluvad elemendid lihtsalt vahetatavad		3
6	Mugav ekspluateerimine		4
7	Lihtsalt puhastatav		3
8	Pinnakate		2
9	Seadme hind		5
10	Jahvatuse kvaliteet		4

Lõplik seade peab sobima laboratoorsesse töökeskkonda, kus tegeletakse toiduainetega, farmaatsia, ehitusmaterjalidega, metallidega ja muuga. Sellest tulenevalt valitakse jahvatatava materjaliga otseselt kokkupuutuvate detailide materjaliks happekindel roostevaba teras AISI 304 või AISI 316. Võimaluse korral valitakse jahvatatava materjaliga mitte kokkupuutuvate detailide materjaliks teras S235. Sel juhul kuumtsingitakse detailid korrosiooni vältimiseks. Seadmele tuleb lisaks koostada ka elektriskeem, mis antud diplomitöö hulka ei kuulu.

4 ERINEVAD LAHENDUSVARIANDID JA ANALÜÜS

4.1 Elektrimootorid

Hetkel toodetava desintegraatorveski puhul kasutatakse elektrimootorit Teknomotor 4147-D [7], mille parameetrid on näidatud seel 4.1, kus Teknomotor 4147-D parameetrid on punase joonega märgitud. Sele 4.1 järgi selgub, et elektrimootori 4147-D võimsuseks on 1,8 kW, võlli maksimaalne pöörlemiskiirus 12000 pööret minutis ning mass 7 kg.

Type	Power kW	Voltage V	Freq. Hz	rpm	Absor. A	Weight kg
4147-A	0.75	220/380	200	12000	4.2/2.4	4.7
4147-B	1.1	220/380	200	12000	5.4/3.1	5.3
4147-C	1.5	220/380	200	12000	6.7/3.9	6.6
<u>4147-D</u>	<u>1.8</u>	<u>220/380</u>	<u>200</u>	<u>12000</u>	<u>8.0/4.6</u>	<u>7.0</u>

Sele 4.1 Teknomotor 4147-D parameetrid

Teknomotor 4147-D on ilma kinnitusflantsita elektrimootor, see tähendab seda, et mootor toetub konstruktsioonile taldade abil ning kinnitatakse poltidega. Selline kinnitusviis raskendab elektrimootori tsentreerimist desintegraatori korpuse suhtes.

Teiseks miinuseks võib välja tuua mootori väikese võimsuse ning madalad pöörded. Kui kasutada suurema võimsuse ning suurema võlli pöörlemiskiirusega mootoreid, siis on võimalik laiendada erinevate materjalide uurimisvõimalusi. Näiteks võimsamad mootorid võimaldavad materjalide jahvatamist väiksema peensuseni. Samuti suurema löögikiiruse juures on võimalik avastada materjalide uusi omadusi.

4.1.1 Elektrimootorite valik

Elektrimootorite valikut alustatakse hetkel olemasolevate mootorite voolutarbimise, ehk koormuse uurimisega. Voolutarvet uuritakse seadme tööolukorras jahvatatavat materjali lisamata. Voolutarvet uuritakse desintegraatorveski rootoritega ning rootoriteta. Tulemused on näidatud tabelis 4.1, kusjuures andmed on tabelisse sisestatud ühe mootori kohta.

Tabel 4.1 Teknomotor 4147-D analüüs

Sagedus (Hz)	Pöörlemiskiirus (p/min)	Voolutugevus rootoritega (A)	Voolutugevus rootoriteta (A)
50	3000	3,75	3,8
100	6000	3,3	3,3
150	9000	3,25	3,1
200	12000	3,0	2,45

Teknomotor 4147-D maksimaalne lubatud voolutugevus on 4,6 A. Tabel 4.1 selgub, et tööolukorras rootoriga ning maksimaalsel kiirusel, ulatub voolutugevus 3 amprini. Materjali jahvatamisel aga voolutugevus tõuseb ning lubatud 4,6 amprini jääb seega vaid 1,6 A varu.

Siit tulenevalt saadakse esimene parameeter elektrimootori valikul – võimsus. Kasutades võimsamaid mootoreid, saadakse materjali jahvatamiseks suurem voolutugevuse varu.

Teiseks oluliseks faktoriks, elektrimootori valimisel desintegraatorile, on mootori kinnitamisviis seadme konstruktsioonile. Kinnitusviisist sõltub mootorite tsentreerimise keerukus desintegraatori jahvatuskambri suhtes. Desintegraatorite puhul eeldatakse võimalikult täpset elektrimootorite tsentreeritust seadme radiaalelementide suhtes.

Kolmandaks oluliseks parameetrik on hind. Kõik tootjad soovivad oma tooteid toota võimalikult madalate kuludega, kuid samas tuleb silmas pidada ka komponentide kvaliteeti.

Sobivaid elektrimootoreid otsitakse internetis olevatest kataloogidest ja vajadusel saadetakse tootjatele päringuid rohkema info saamiseks.

Järgnevalt loetletakse sobilikumad elektrimootorid ning peatüki lõpus teostab autor elektrimootorite hindamismatriksi, mille alusel valitakse sobivaim elektrimootor.



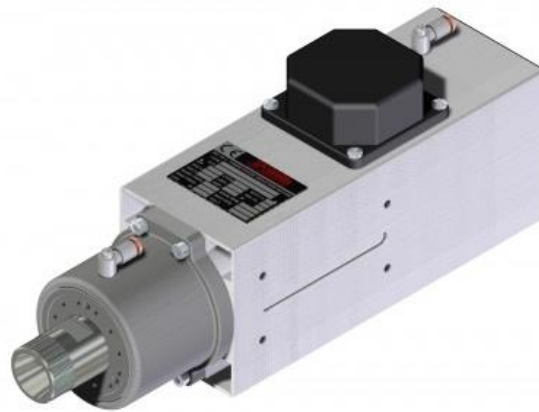
Sele 4.2 Spindelmootor iSA 2200

Selel 4.2 on näidatud elektrospindelmootor iSA 2200, tootjalt iselGermanyAG [8]. Sele 4.3 on näidatud elektrimootori parameetrid, milleks on: nominaalvõimsus 2,2 kW, maksimaalne võlli pöörlemiskiirus 18000 p/min, maksimaalne voolutugevus 7,6 A ning mass 14,6 kg. Elektrimootor toetub seadme konstruktsioonile mootori alaosas asuvate taldade abil. Kinnitatakse poltidega. Selline kinnitusviis muudab mootori tsentreerimise korpuse suhtes keerukamaks. Mootori iSA 2200 puudusteks võib veel lugeda väikest võimsust ning suurt

massi. Elektrimootori iSA 2200 hinna teada saamiseks saadetakse mootori tootjale hinnapäring, millest selgub hind 2356 €.

Description		iSA 2200
Torque at rated speed 18,000 rpm.	[Nm]	1.26
Speed range	[rpm]	5,000 to 20,000
Cut-off frequency	[Hz]	280
Number of poles		2
Rated voltage	[V]	3 x 230
Rated current	[A]	7.6
cos ϕ		0.84
Rated power (S 6 = 40% operation)	[W]	2.2
Concentricity	[mm]	0.01
Weight	[kg]	14.6

Sele 4.3 iSA 2200 parameetrid



Sele 4.4 Teknomotor C51/60-D

Selel 4.4 on kujutatud spindelmootor Teknomotor C51/60-D [7]. Mootori parameetriteks on: nominaalvõimsus 3,7 kW; maksimaalne võlli pöörlemiskiirus 24000 p/min; mass 16,5 kg. Hind 1200€.

Teknomotor C51/60-D on projekteeritud töötamiseks väga tolmu keskkonnas. Nimelt on mootori mõlemas otsas ventiilid. Ventiilide kaudu suunatakse suruõhk mootori korpusesse, ning see takistab peene tolmu sattumist võlli ja korpuse vahelisest pilust korpuse sisse.

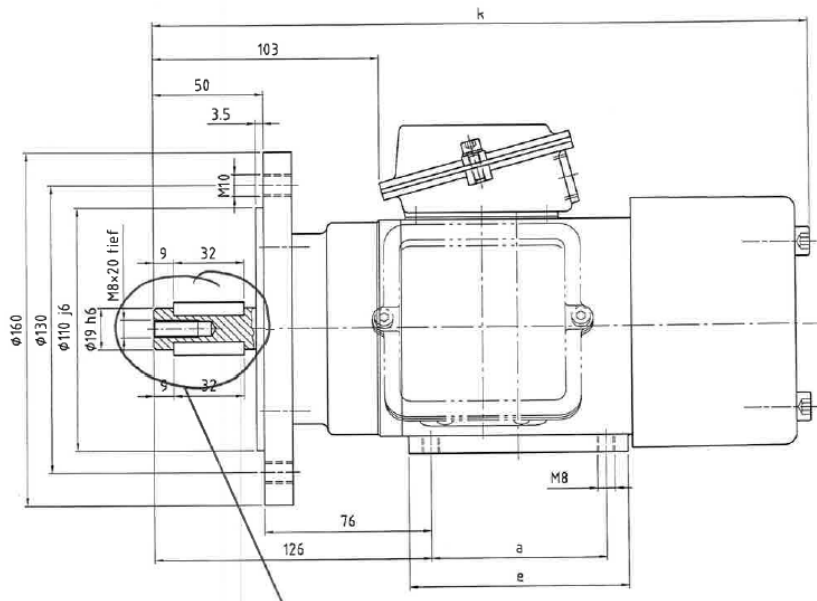
Sarnaselt iSA 2200 mootorile, toetub ka see mootor konstruktsioonile mootori alaosas asuvate taldade abil ning kinnitatakse poltidega. Mootori puuduseks on veel tema suur mass.



Sele 4.5 Changzhou Jinsanishi Mechatronics GDZ100-3

Selel 4.5 on näidatud hiinlaste pakutav elektrospindel mootor GDZ100-3[9]. Selle mootori nominaalvõimsuseks on 2,2 kW, maksimaalseks võlli pöörlemiskiiruseks 24000 p/min, ning mass 8kg. Maksimaalne lubatud voolutugevus on 8 A. Mootori hind saadakse teada hinnapäringu alusel – 212 €.

Selle mootori eeliseks on vesijahutus, mis tagab mootorile väiksema võimaluse ülekuumenemiseks. Lisaks võib mootori plussideks lugeda madalat hinda ning väikest massi. Puudusteks võib lugeda mootori kinnitamist seadme konstruktsioonile. Selleks tuleb konstrueerida mootori ümber korpus, ehk hülss, millesse mootor kinnitatakse.



Sele 4.6 Perske VFS 50.09-2

Selel 4.6 on kujutatud Perske GmbH [10] pakutavat elektrimootorit VFS 50.09-2. Selle elektrimootori parameetriteks on: nominaalvõimsus 3,0 kW; maksimaalne võlli pöörlemiskiirus 24000 p/min; mass 8,5 kg. Vastavalt hinnapäringule on mootori hinnaks

1096€. See hind kehtib 5 kuni 9 mootori tellimisel – see on piisav arv kolme kuni nelja laboratoorse desintegraatori valmistamiseks.

Selle mootori eeliseks on äärikuga kinnitamine seadme konstruktsiooni külge. Selline kinnitamise viis tagab täpseima tsentreerimise võimaluse. Eeliseks võib lugeda ka suhteliselt suurt nominaalvõimsust ning väikest massi.

Sarnaselt Teknomotor C51/60-D elektrimootoriga on võimalik Perske VFS 50.09-2 elektrimootorile paigaldada suruõhu tihendid, mis soodustavad mootori töötamist väga tolmuses keskkonnas. Suruõhu tihend lisab elektrimootori hinnale lisaks 150 €, mis teeb mootori lõpphinnaks 1246 €.

Elektrimootori VFS 50.09-2 puhul on tegemist niiöelda tellimustööga, sest tellijale anti võimalus oma äranägemise järgi projekteerida kinnitusääriku ning mootori võlli parameetrid.



Sele 4.7 Sorotec ZSP.EL2200

Selel 4.7 on näidatud elektrimootor Sorotec ZSP.EL2200 [11]. Mootori nominaalvõimsuseks on 2,2 kW, maksimaalne võlli pöörlemiskiirus 24000 p/min, mass 8 kg ning hind 940 €.

Eelisteks võib lugeda mootori väikest massi ning suurt võlli pöörlemiskiirust. Puudustest võiks välja tuua mootori kinnitamisviisi seadme korpuse külge, mis raskendab võlli tsentreerimist seadme korpuse suhtes.

4.1.2 Sobiva elektrimootori valimine

Tabelisse 4.2 on kantud eelpool loetletud elektrimootorid, et võrrelda neid omavahel ja otsustada, milline mootor on sobivaim laboratoorse desintegraatori moderniseerimiseks. Hindamiskriteeriumitena on kasutatud mootori parameetreid iseloomustavaid kriteeriume ja mootoritele antud hinnangud. Kriteeriumitele on antud osakaal vahemikus 1 kuni 5, kusjuures 5 näitab, et kriteerium on väga oluline ja 1 väheoluline.

Kriteeriumidest kõige olulisematel kohtadel on hind ja tsentreerimise keerukus. Hind määrab seadme omahinna, ehk mida soodsam on elektrimootor, seda soodsam on ka kogu seadme omahind. Tsentreerimise keerukus mõjutab samuti seadme omahinda – lisaeg tsentreerimiseks tõstab seadme hinda.

Kõige vähem olulisemaks kriteeriumiks on elektrimootori mass. Seda selleks, et sarnaste parameetritega elektrimootorid on suhteliselt sarnase massiga ning desintegraatori konstruktsiooni tugevdamine ei mõjuta oluliselt seadme teisi parameetreid.

Tabelisse on kantud hinnangud elektrimootoritele vahemikus 1 kuni 5. Kusjuures väärtus 1 tähendab, et hinnang on halb ja väärtus 5 näitab, et hinnang on hea. Kõik hinnangute väärtused on läbi korrutatud vastavate osakaaludega ja tulemused on summeeritud. Summeerimise tulemused on kantud tabeli 4.2 alumisse ritta.

Tabel 4.2 Hindamismatriks

Kriteerium	Osakaal	Elektrimootor				
		iSA 2200	C51/60-D	GDZ100-3	VFS 50.09-2	ZSP.EL2200
Hind	5	1	2	5	2	3
Tsentreerimise keerukus	5	3	3	2	5	3
Võimsus	4	3	5	4	4	3
Võlli pöörlemiskiirus	4	4	5	5	5	5
Mass	3	2	1	4	4	5
$\Sigma(\text{hinnang} \times \text{osakaal})$		54	68	83	83	77

Tabel 4.2 põhjal selgub, et sobivaimateks elektrimootoriteks on Perske VFS 50.09-2 3 kW elektrimootor ning hiinlaste pakutav CJM GDZ100-3 3 kW elektrimootor. Võttes arvesse mootorite seadmele installeerimise lihtsuse, valib autor laboratoorse desintegraatorveski moderniseerimiseks elektrimootori Perske VFS 50.09-2.

Tootja valmistab mootorite võllid vastavalt autori soovile. Seega mootori võlli ots on keermestatud M20x1,5 keermega. Rootorid kinnitatakse keermega abil mootorite võllidele. Kaante konstrueerimisel tuleb arvestada ka mootori võlli pikkust. Kuigi võlli pikkus tehakse vastavalt tellimusele, tuleb arvestada asjaolu, et võlli pikkus peab olema võimalikult minimaalne. Mida väiksem on võlli pikkus, seda väiksem on viskumise mõju mootori laagritele. Viskumine põhjustab laagrite kulumist ning võib põhjustada rootorite omavahelist kokkupuudet tööolukorras. See oht tekib eriti suurtel pöörlemiskiirustel.

4.2 Filter

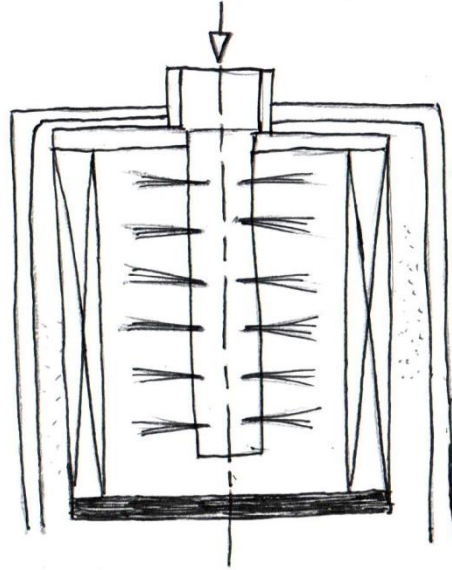
Filtrit kasutatakse jahvatatud materjalist lenduva tolmuse õhu filtreerimiseks. Filtri põhilisteks komponentideks on filtrielement, korpus ning puhastusmehhanism.

Desintegraator Tootmise OÜ hetkel tootevalikus oleva laboratoorse desintegraatori filtri puhul toimub filtrielemendi puhastamine korpuse ülaosas asuva nupu abil. Nupp on ühendatud vardaga filtrikoti ülemise osaga. Vedru nupu ja filtri korpuse vahel hoiab filtri riidet pingul. Juhul kui nuppu alla vajutada, vajub filtrikott kortsu. Nupu lahti lastes lööb vedru nupu üles ja pingutab järsult koti. See puhastusmehhanism ei ole aga kuigi tõhus.

Filtrikott kipub suhteliselt kiiresti ummistuma (eriti just intensiivsel töörežiimil) ning selle puhastamise mehhanismi tuleb väga tihti kasutada, et piisaval hulgal õhku saaks läbi filtri liikuda. Seetõttu genereeritakse käesoleva töö käigus erinevaid filtri konstruktsiooni lahendusi ning hindamismatriksi alusel valitakse sobivaim lahendus.

4.2.1 Filtri konstruktsiooni lahenduste genereerimine

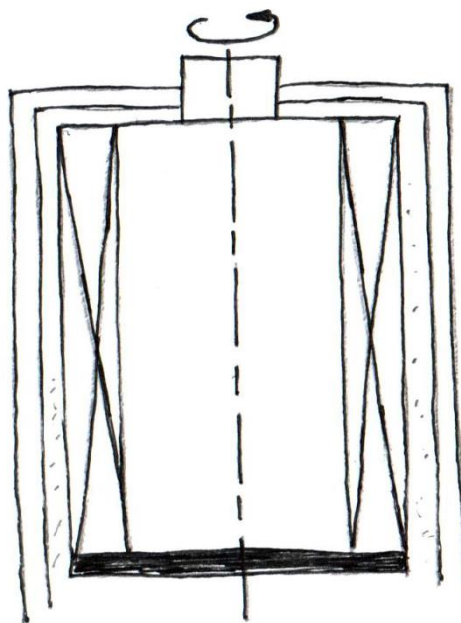
Üheks filtri konstruktsiooni lahenduseks on seel 4.8 näidatu. Selle lahenduse puhul kasutatakse filtrielemendina padrunfiltrit. Filtri puhastamiseks on filtri korpusele konstrueeritud toru. Sellele torule on puuritud mitu väikese läbimõõduga ava, millede kaudu suunatakse suruõhk filtrielemendi sisepinna suunas. Suruõhk läbib filtrielemendi seinaga ja puhub väikesed tolmuosakesed filtri välispinnalt minema.



Sele 4.8 Suruõhuga puhastatav padrunfilter

Selle lahenduse eeliseks on suur filtrielemendi pindala, mis tagab filtri aeglasema ummistatuse. Puuduseks võib lugeda suruõhu mõju kogu desintegraatorseadmele. Nimelt võib suruõhk puhuda jahvatatud materjali osakesed läbi desintegraatori jahvatuskambri ja sisendkanali tööruumi.

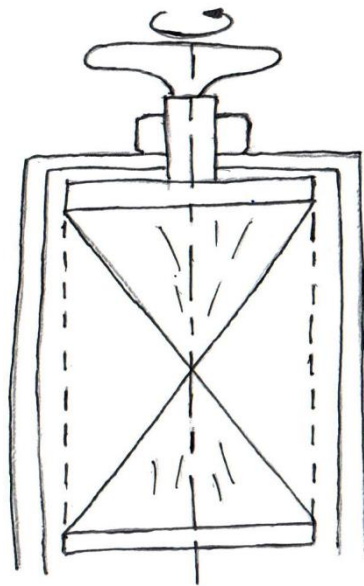
Teiseks lahenduseks on seel 4.9 näidatu. Selle lahenduse puhul toimub filtrielemendi puhastamine inertsjõu toimetel. Nimelt antakse ajami abil filtrielemendile pöörlemoment, mis lennutab materjali osakesed filtrielemendi välispinnalt minema. See lahendus on aga keeruline ning kallis, mida võib pidada ka üheks olulisemaks puuduseks selle variandi juures.



Sele 4.9 Inertsjõuga puhastatav padrunfilter

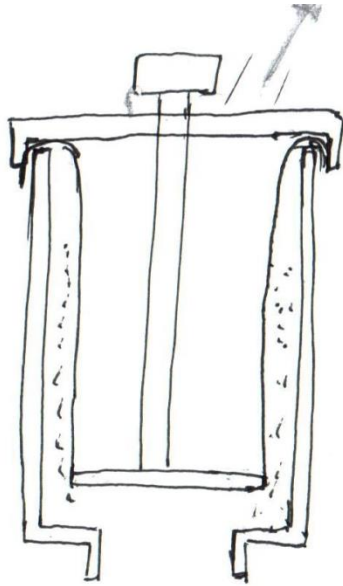
Selel 4.10 on näidatud kolmas filtri konstruktsiooni variant. Seda lahendust võib võrrelda märjast pesust vee välja väänamisega. Nimelt kasutatakse antud lahenduse puhul filtrielemendina riidest filtri kotti, mis on alumisest otsast fikseeritud filtri korpuse külge ning ülemine osa on kinnitatud plaadi külge, millel on filtri korpusest välja ulatuv hoob. Hooba keerates väänatakse filtrielement kokku. Samal ajal pingutatakse konstruktsioonis sisalduvat vedru. Vedru vabastamisel tagab see filtrikoti kiire algse kuju saavutamise.

Selle lahenduse eeliseks on lihtne ja küllalt tõhus filtrielemendi puhastamine. Puuduseks on filtrikoti väiksem pindala võrreldes padrunfiltriga.



Sele 4.10 Väändel töötava puhastusmehhanismiga filter

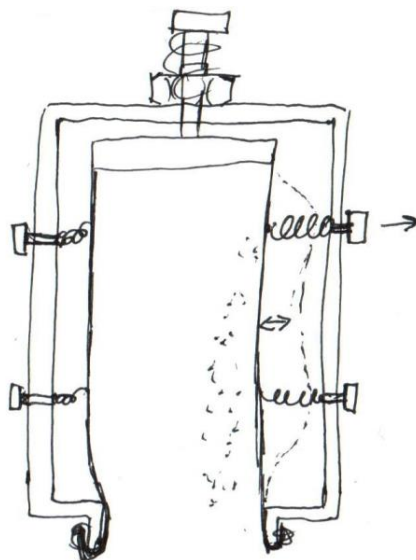
Neljas võimalus on näidatud seel 4.11. Filtrielemendina kasutatakse riidest kotti, mille ülemine serv on kinnitatud korpuse kaane külge ning alumine osa terasest ketta külge. Terasest ketta tsentrist ulatub läbi filtri korpuse kaanest välja varras, mille keermestatud otsa külge on kinnitatud nupp. Nupust tõmmates väänatakse filtrielement kokku. Nupu lahti lastes vajub terasest ketas koos filtrielemendiga alla ning tõmbab filtrielemendi uuesti pingule. Riidest koti kortsutamise ja pingutamise on küllalt tõhus riide puhastamiseks tolmu osakekestest. Samuti on antud lahenduse konstruktsioon väga lihtne. Puudusteks võiks välja tuua vaid filtrikoti väiksema pindala võrreldes padrunfiltriga.



Sele 4.11 Filtrielemendi raputusmehhanism

Viiendaks variandiks on vedrude abil filtrielemendi kloppimine (sele 4.12). Filtrikoti puhastamine toimub vedrude abil. Vedrude üks ots kinnitub filtrikoti külge ning teine ots tihvti külge. Tihvt läbib filtri korpuse seina ning selle teise otsa on kinnitatud nupp. Nupust tõmmates surutakse vedru kokku, mis omakorda tõmbab filtrikotti korpuse seina poole. Nupust lahti lastes lükkab vedru filtrikoti suurel kiirusel tagasi oma algasendisse. Sel põhimõttel raputatakse filtrielemendi sisepinnale kogunenud tolmu osakesed minema.

Selle lahenduse puudusteks on keeruline konstruktsioon ning filtrikoti väike pindala.



Sele 4.12 Filtrielemendi kloppimise mehhanism

4.2.2 Sobivaima filtri konstruktsiooni valimine

Sobivaima filtri konstruktsiooni valimiseks koostatakse hindamismatriks (tabel 4.3).

Hindamismatriks sisaldab kriteeriumeid, milleks on filtrielemendi pindala, konstruktsiooni lihtsus, valmistamise lihtsus, puhastusmehhanismi efektiivsus.

Kriteeriumitele on antud osakaal vahemikus 1 kuni 5, kusjuures 5 näitab, et kriteerium on väga oluline ja 1 väheoluline.

Olulisemateks kriteeriumiteks on puhastusmehhanismi efektiivsus ning konstruktsiooni lihtsus. Vähem olulisem on filtrielemendi pindala. Põhjendatud on see seetõttu, et kui filtri puhastusmehhanism on küllalt efektiivne, siis ei mängi filtrielemendi pindala suurt rolli – sel juhul on lihtsalt vajalik tihedam filtrielemendi puhastamine.

Tabelisse on kantud hinnangud filtri konstruktsiooni lahendustele vahemikus 1 kuni 5. Kusjuures väärtus 1 tähendab, et hinnang on halb ja väärtus 5 näitab, et hinnang on hea. Kõik hinnangute väärtused on läbi korrutatud vastavate osakaaludega ja tulemused on summeeritud. Summeerimise tulemused on kantud tabeli 4.3 alumisse ritta.

Tabel 4.3 Hindamismatriks

Kriteerium	Osakaal	Filtri konstruktsioon				
		Suruõhuga puhastatav	Inertsjõuga puhastatav	Väändel töötav puhastusmehhanism	Filtrielemendi raputusmehhanism	Filtrielemendi kloppimise mehhanism
Puhastusmehhanismi efektiivsus	5	5	5	4	4	3
Konstruktsiooni lihtsus	5	2	1	3	5	1
Valmistamise lihtsus	4	3	2	3	5	2
Filtrielemendi pindala	2	5	5	3	3	3
$\Sigma(\text{hinnang} \times \text{osakaal})$		57	48	53	71	34

Hindamismatriksi alusel selgub, et parimaks lahendiks on raputusmehhanismiga filter. Selle lahenduse eelisteks on puhastusmehhanismi efektiivsus ning konstruktsiooni ja valmistamise lihtsus. Puuduseks on filtrielemendi väiksem pindala võrreldes padrunfiltrielemendiga.

5 KONSTRUKTSIOONIARVUTUSED JA 3D MODELLEERIMINE

5.1 Jahvatuskambri kaane ja tagaseina konstrueerimine

Hindamismatriksi (tabel 4.2) põhjal valitakse sobivaimaks elektrimootoriks Perske VFS 50.09-2. See on 3 kW elektrimootor, mille võlli maksimaalne pöörlemiskiirus on 24000 p/min. Elektrimootor kinnitub seadme konstruktsioonile ääriku abil.

Moderniseeritava laboratoorse desintegraatori kaas ja tagasein konstrueeritakse ümber vastavalt elektrimootori VFS 50.09-2 kinnitamiseks. Lisaks konstrueeritakse uued kaante hingede konstruktsioonid.

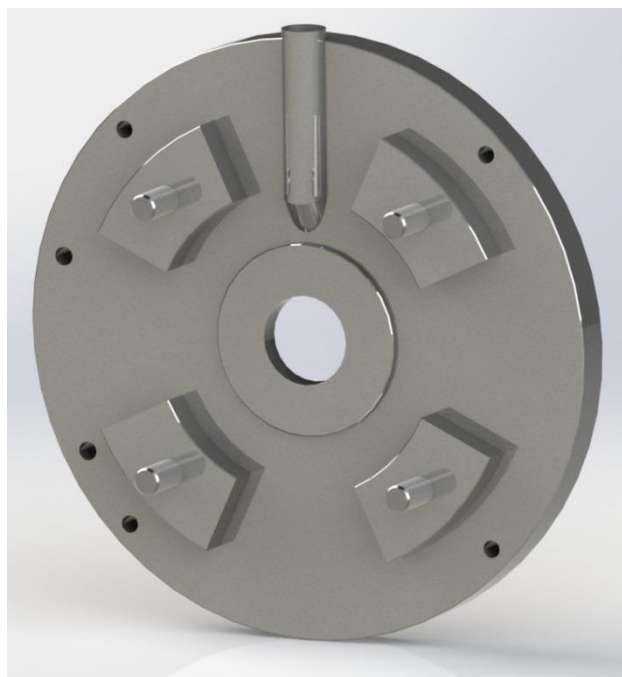


Sele 5.1 Moderniseerimata laboratoorse desintegraatori tagasein

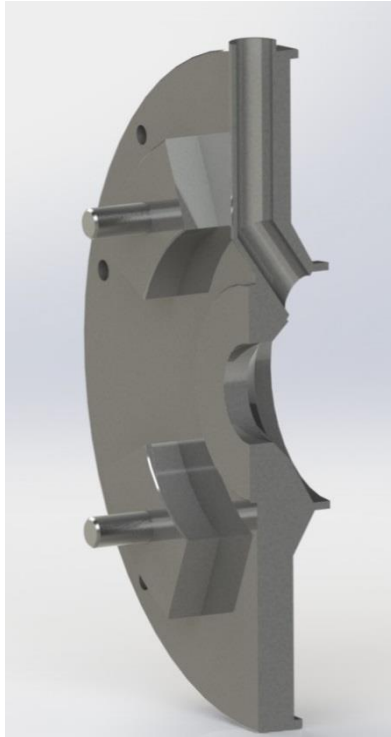
Selel 5.1 on näidatud moderniseerimata laboratoorse desintegraatori korpuse lahendus – mootorid toetuvad taldade abil konstruktsioonile. Vältimaks keevituse tõttu tekkivaid deformatsioone ja sisepingeid, on mootori kinnituskonstruktsioon ja kaas konstrueeritud kahes osas. Sellise lahenduse puhul on konstruktsiooni valmistamisel keeruline tagada elektrimootorite samatelgsust.

5.1.1 Sisendkanaliga tagasein

Sisendkanaliga tagasein, nagu ka nimi ütleb, sisaldab sisendkanalit, mille kaudu suunatakse jahvatatav materjal jahvatuskambrisse. Selel 5.2 on näidatud sisendkanaliga tagaseina modelleeritud mudel. Tagaseina konstrueerimisel võetakse aluseks varem konstrueeritud sein ning teostatakse vajalikud muudatused. Sein valmistatakse roostevabast teraslehest paksusega 40 mm. Esmalt treitakse ketas läbimõõduga 218 mm. Mootori tsentreerimiseks treitakse kaane pinnale rõngas, mis hiljem sektoriteks freesitakse. Freesitult tagatakse jahvatuskambriga parem jahutus ning välditakse tolmu sattumist mootorisse. Kaane tsentrisse treitakse ava mootori võlli ning puksi läbimiseks. Lisaks treitakse tsentreeriv aste tagaseina tsentreerimiseks jahvatuskambriga korpuse suhtes. Puuritakse avad kaane kinnitamiseks korpuse külge ning keermestatud avad hinge kinnitamiseks. Sisendkanali jaoks freesitakse kaanele süvend. Süvendi kohal on kaane minimaalseks seinapaksuseks määratud konstruktiivselt 5 mm. Seejärel valmistatakse sisendkanal torust läbimõõduga 16 mm ja seinapaksusega 1,5 mm. Kanal paigaldatakse freesitud süvendisse ning keevitatakse kaane külge (sele 5.3). Kaane maksimaalne seinapaksus on 13 mm. Lisaks keevitatakse tikkpoldid, millede abil kinnitatakse elektrimootor kaane külge. Tikkpoldid keevitatakse kaane jahvatuskambriga poolsest küljelt.



Sele 5.2 Sisendkanaliga tagasein



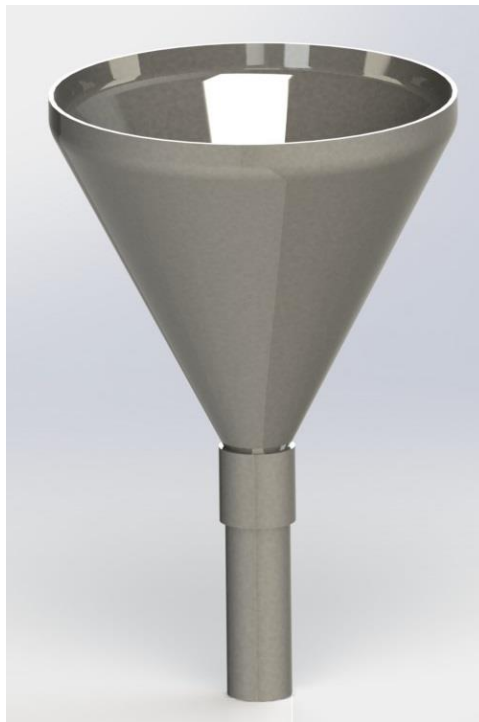
Sele 5.3 Tagasein lõikes

Sisendkanaliga tagaseina hinge kronstein (sele 5.4) on keeviskonstruktsioon, mis koosneb kahest püksist ning plaadist. Kronsteini valmistamisel tuleb garanteerida mõlema püksi samatelgsus. Kronstein valmistatakse terasest EN235. See on lubatud seetõttu, et hing ei puutu otseselt kokku jahvatatava materjaliga. Küll aga tsingitakse konstruktsioon korrosiooni vältimiseks.



Sele 5.4 Tagaseina hinge kronstein

Materjali suunamiseks sisendkanalisse konstrueeritakse lehter (sele 5.5). Lehtri kooniline osa valtsitakse roostevabast terasest lehest paksusega 1 mm. Koonuse suurema läbimõõduga serv trugitakse 5 mm ulatuses. Koonuse väiksema läbimõõduga servale keevitatakse toru läbimõõduga 15 mm ning seinapaksusega 2 mm. Toru üks ots treitakse 35 mm ulatuses läbimõõdule 12,8 mm. Lehter asetatakse tagaseina sisendkanalisse ning jääb toetuma toru treitud astmele.

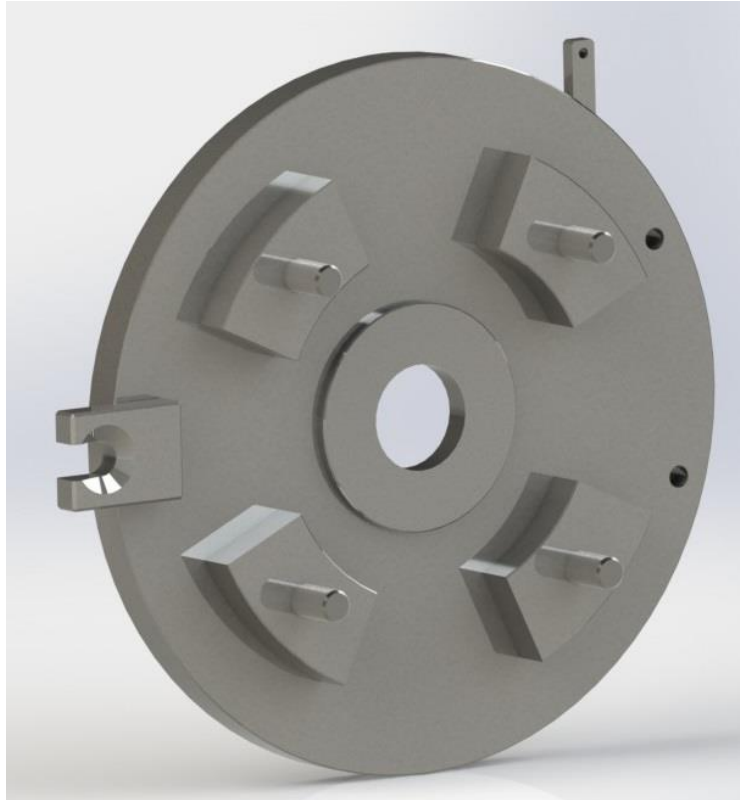


Sele 5.5 Lehter

5.1.2 Kaas

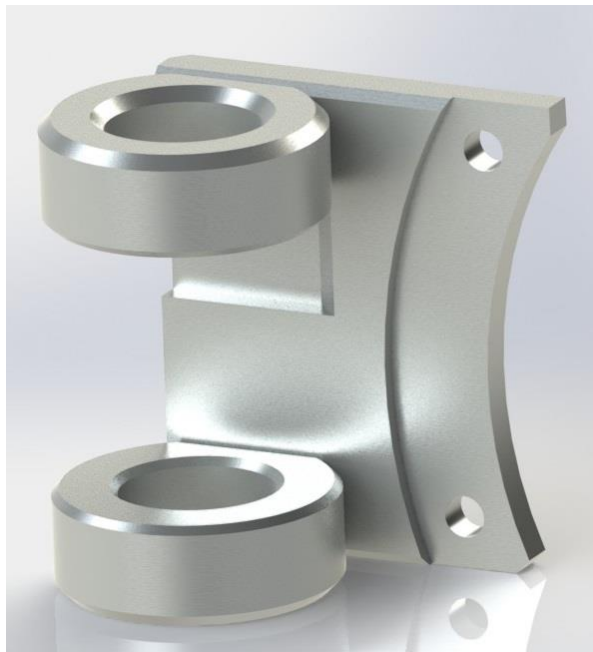
Kaas (sele 5.6) sarnaneb oma konstruktsioonilt tagaseinale. Tegemist on keeviskonstruktsiooniga, mis sisaldab kaane ketast, tikkpolte elektrimootori kinnitamiseks ning kaane lukusti plaati. Kaane ketas treitakse roostevabast 30 mm paksusest roostevabast teraslehest ning läbimõõduga 218 mm. Treitakse kaane tsentreeriv aste, mis tagab kaane samatelgsuse jahvatuskambri korpuse suhtes. Sarnaselt tagaseinale freesitakse seejärel mootori kinnitamiseks treitud rõngas sektoriteks. Puuritakse avad tikkpoltide jaoks ning keermestatud avad hinge kronsteini kinnitamiseks. Lisaks valmistatakse kaane lukusti plaat, mis keevitatakse kaane külge.

Montaažil keevitatakse kaane külge väike plaadike, millel on keermestatud ava. Selle plaadi funktsiooniks on lõpplüliti lülitamine kaane suletud olekus.



Sele 5.6 Kaas

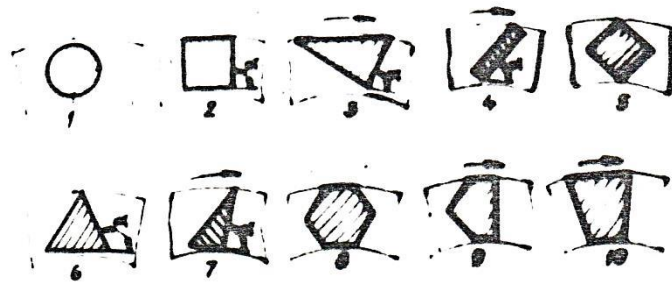
Kaane hinge kronstein (sele 5.7) on samuti keeviskonstruktsioon, mis koosneb kahest puksist ning plaadist. Kronstein valmistatakse terasest EN235 ning hiljem kuumtsingitakse.



Sele 5.7 Kaane hinge kronstein

5.2 Rootorid

Desintegraatori tööorganiteks on rootorite paar. Rootorid on konsentriliste jahvatus-elementide ringidega kettad, mis kinnituvad elektrimootori võllile. Jahvatamine toimub rootorite vastupidises pöörlemissuunas osakeste jahvatus-elementidele pörkumisel. Seel 5.8 on näidatud erinevaid võimalikke jahvatus-elementide kujusid.



Sele 5.8 Rootorite jahvatus-elementide kujude variandidid

Laboratoorse desintegraatorite puhul kasutatakse vaid kahte elemendi kuju – nelinurkne (sele 5.8, variant 2) ja kolmnurkne (sele 5.8, variant 3).



Sele 5.9 Laboratoorse desintegraatori rootorid

Seel 5.9 on näidatud laboratoorse desintegraatori puhul kasutatavaid rootoreid. Parempoolse rootoripaari jahvatus-elementideks on nelinurkse kujuga jahvatus-elementid. Sellist tüüpi elementid freesitakse eelnevalt treitud roostevabast terasest kettast välja ning seetõttu on valmistamise protsess lihtne ja kiire. Nelinurkse kujuga jahvatus-elemente kasutatakse eelkõige plastide, bioloogiliste ja orgaaniliste ainete jahvatamisel. Seda seetõttu, et materjali

jahvatamisel lendab materjali osake vastu jahvatuselemendi löögipinda nurga all. Nurga all toimuva löögi puhul toimub elemendi löögipinnal hõõrdumine, mistõttu ei saa elemendi pinnale tekkida jahvatatava materjali kihti. Teisest küljest toimub hõõrdumise tõttu jahvatuselemendi kiirem kulumine.

Puudustest võib veel sellise variandi puhul välja tuua elemendi tagumise külje taga tekkivad õhukeerised. Õhukeeristes toimub materjaliosakeste omavaheline pörkumine ja seega ka osakeste jahvatamine, kuid toimub ka jahvatuselemendi tagakülje kulumine.

Kolmnurkse jahvatuselemendi puhul toimub löök risti elemendi löögipinnaga ning seetõttu on habraste materjali osakese purunemine efektiivsem. Selle variandi kasuks räägib ka aerodünaamiline kuju, mistõttu ei teki elemendi tagaosas õhukeeriseid ning jahvatuselemendi kulumine on minimaalne. Kolmnurkne kuju tagab ka materjali osakeste pideva liikumise vastu elemendi löögipinda. Puuduseks selle variandi puhul on jahvatatava materjali kihi tekkimine elemendi löögipinnale, mis vähendab löökpurustamise efektiivsust.

Antud diplomitöös uuritakse mõlemat tüüpi jahvatuselementidega rootoripaari sobivust valitud mootoritele. Rootorite analüüsimist alustatakse varem konstrueeritud rootorite modelleerimisega. Moderniseerimata desintegraatori rootorite pöörlemiskiiruseks on 12000 p/min, kuid moderniseeritud desintegraatori jaoks valitud elektrimootori võlli maksimaalne pöörlemiskiirus on 24000 p/min.

Jõudusid, millega rootori iga jahvatuselement jahvatamisel löögi korral koormatud on, on väga raske määrata. See sõltub jahvatatava materjali omadustest, materjali osakese massist, osakese liikumise suunast, rootorite pöörlemiskiirusest ja veel paljudest muudest määramatutest teguritest. Küll aga on võimalik arvutada pöördemoment elektrimootori maksimaalse rakendatava võimsuse korral, maksimaalsetel pöörlemiskiirustel.

Järgnevalt arvutatakse elektrimootori võllilt rootori kettale kanduv pöördemoment

$$M = 9,55 \cdot \frac{P}{n} = 9,55 \cdot \frac{3000 \text{ W}}{24000 \text{ p/min}} = 1,194 \text{ Nm} \quad (5.1).$$

kus M – pöördemoment, Nm;

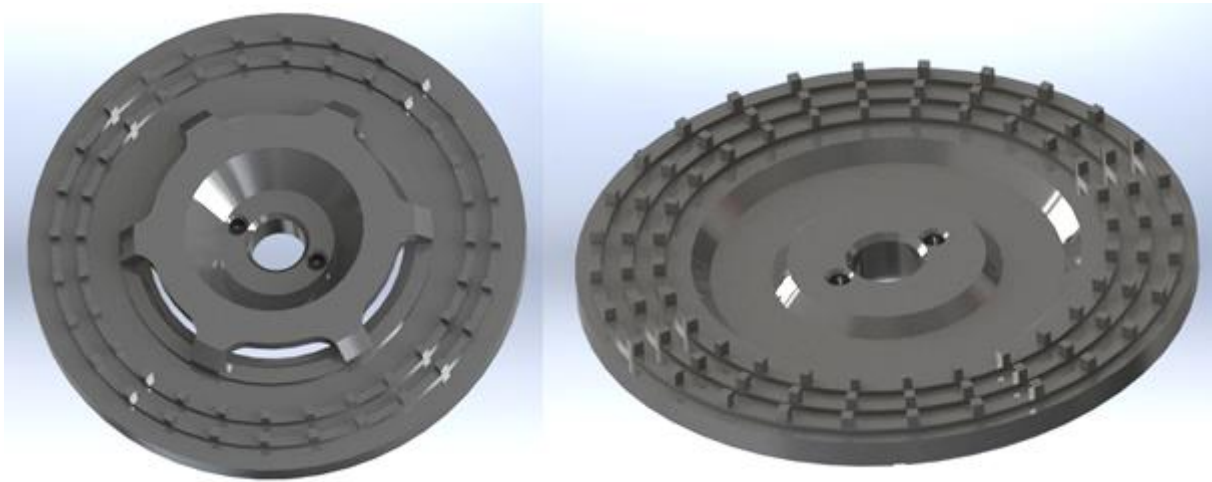
P – võimsus, W;

n – pöörlemiskiirus, p/min.

Arvutuse põhjal selgub, et elektrimootori võllilt rootorile ülekantav pöördemoment on niivõrd väike, et selle võib arvutustes arvestamata jätta, kuna see ei avalda olulist mõju rootoritele.

Järgnevates alapeatükkides analüüsitakse olemasolevate rootorite vastupidavust tsentrifugaaljõule ning omavõnkesagedusest tingitud resonantsi. Vastavalt vajadusele teostatakse rootoritele konstruktsioonilised muudatused.

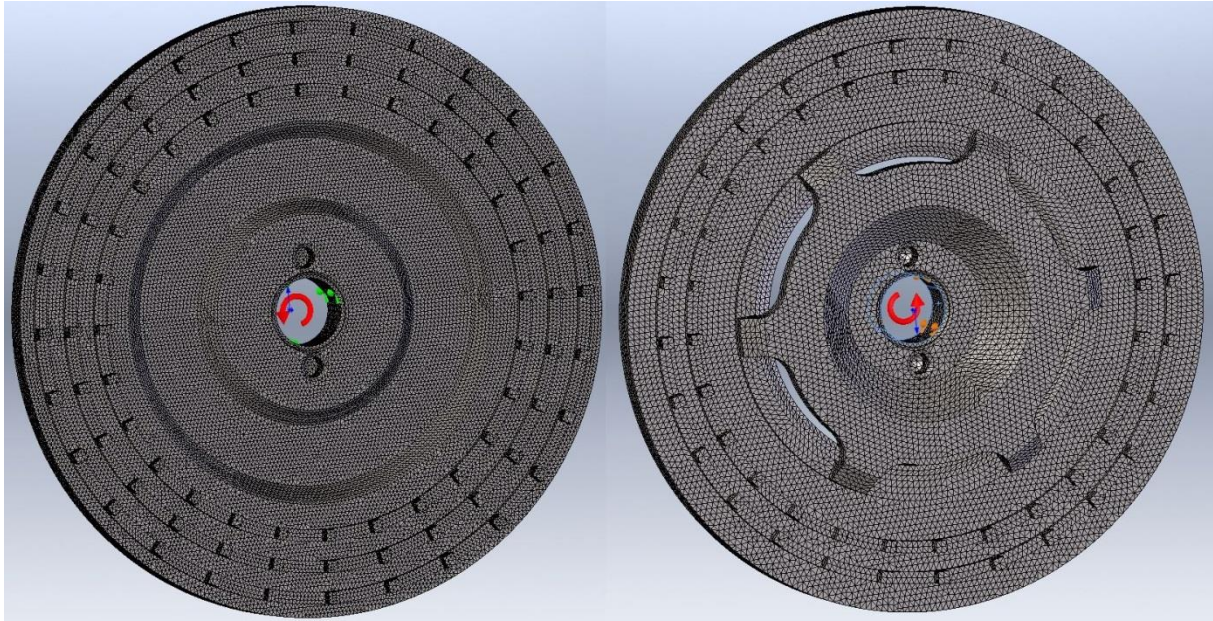
5.2.1 Nelinurksete jahvatusesementidega rootorid



Sele 5.10 Nelinurksete jahvatusesementidega rootoripaar
(paremal: rootor 2AP.34.01; vasakul: rootor 2AP.34.02)

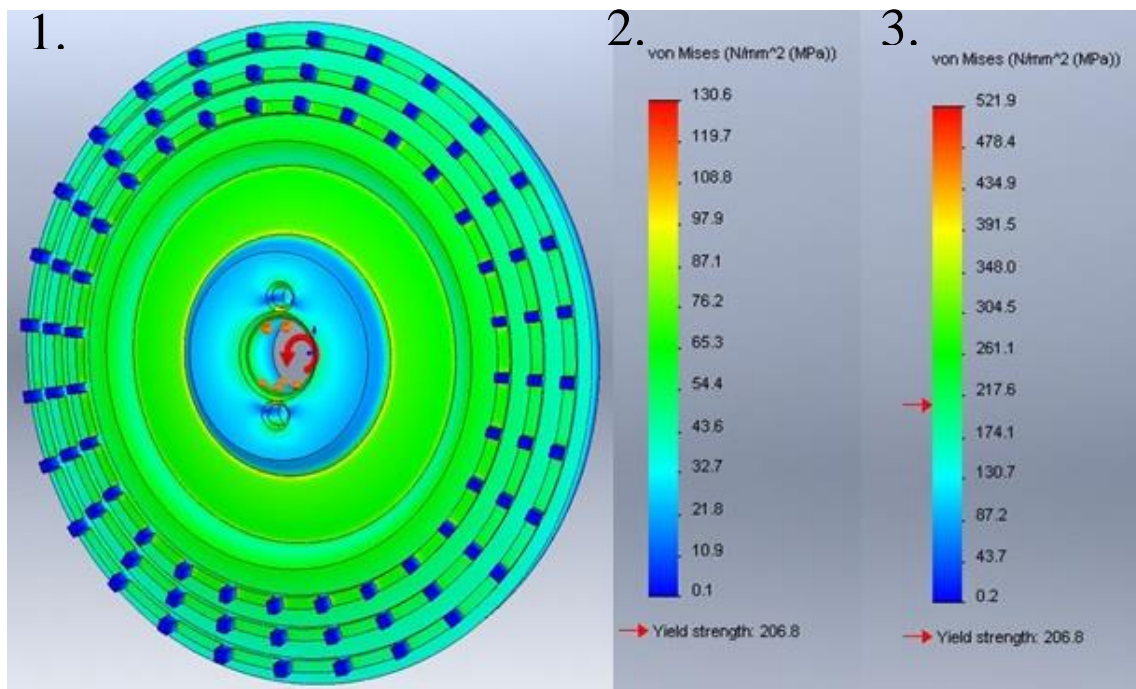
Selel 5.10 on näidatud nelinurksete jahvatusesementidega rootoripaari rootorite mudelid. Rotorid on valmistatud terasest AISI 304 või AISI 316. Raalprojekteerimise tarkvara Solidworks lisa Solidworks Simulation abil analüüsitakse esmalt rootoriketaste vastupidavust tsentrifugaaljõule, mis tekib pöörlemisel kiirusega 12000 ja 24000 p/min.

Selel 5.11 on näidatud rootorite 2AP.34.01 ja 2AP.34.02 arvutusmudelid. Arvutusmudelis on kasutatud mõlema rootori puhul samu parameetreid. Kummalegi rootorile on määratud kinnitus tsentriava pinnale. Kinnituse puhul on kaotatud aksiaal- ja rotatsioonliikumine, samal ajal on jäetud võimalus pinna diameetri suurenemiseks ja vähenemiseks. Võrgu elemendi suuruseks on valitud 1 mm. Kettale on määratud pöörlemiskiirus 24000 p/min ehk 2513 rad/s.

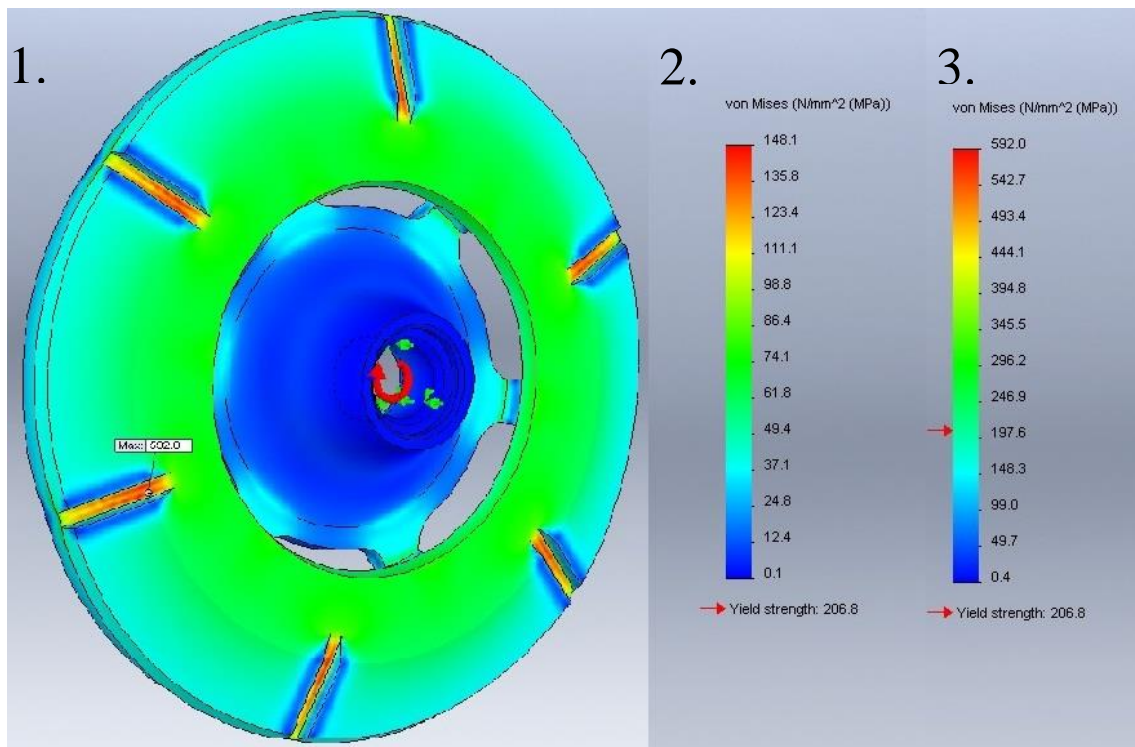


Sele 5.11 Roorite 2AP.34 arvutusmudelid

Seledel 5.12 ja 5.13 on näidatud rootoripaari rooorite analüüsi tulemus pöörlemiskiiruse 12000 p/min puhul ning pöörlemiskiiruse 24000 p/min puhul.



Sele 5.12 Roori 2AP.34.01 tugevusanalüüs tsentrifugaaljõule (1 – arvutuse tulemus, 2 – maksimaalsed pinged 12000 p/min puhul, 3 – maksimaalsed pinged 24000 p/min puhul)

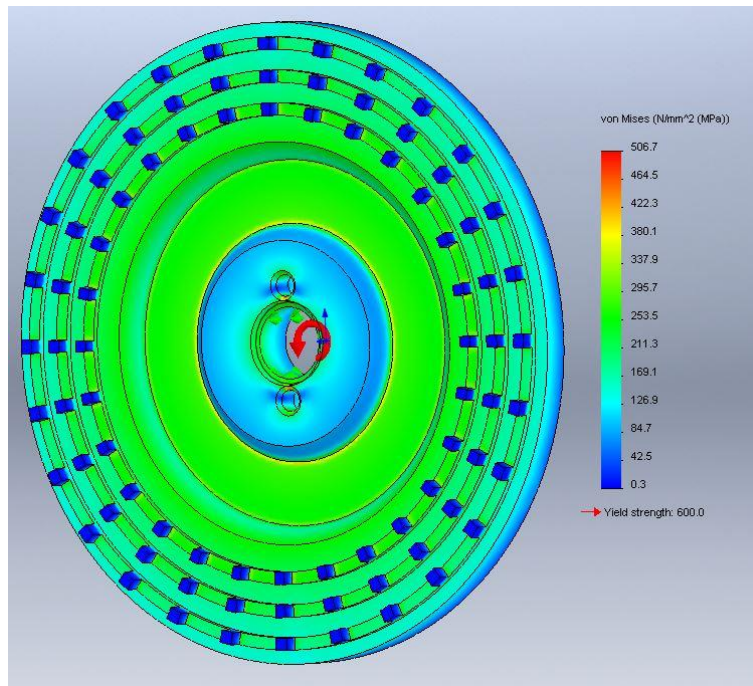


Sele 5.13 Rootori 2AP.34.02 tugevusanalüüs tsentrifugaaljõule (1 – arvutuse tulemus, 2 – maksimaalsed pinged 12000 p/min puhul, 3 – maksimaalsed pinged 24000 p/min puhul)

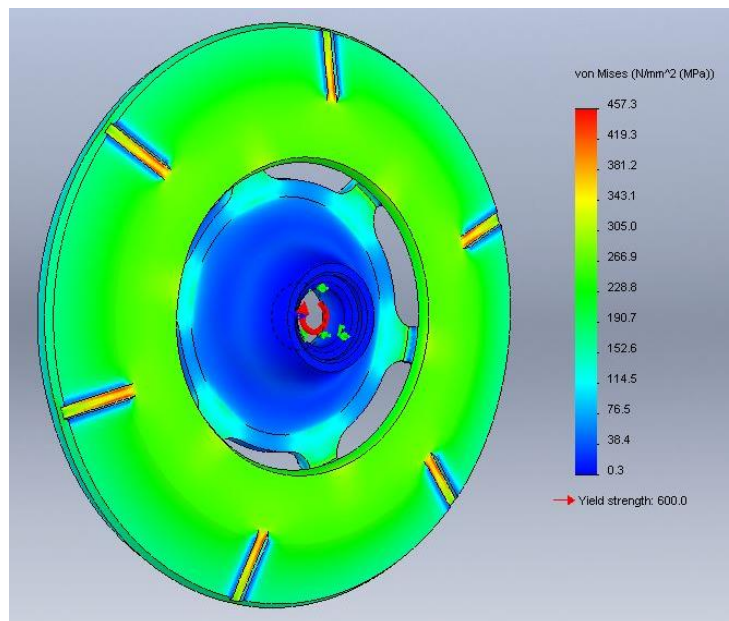
Analüüsi graafiline osa jäi mõlemal juhul samaks – muutusid vaid värvigammadele vastavad väärtused. Analüüsi tulemusena selgub, et pöörlemiskiirusel 12000 p/min jäävad rootorite maksimaalsed pinged lubatud 200 MPa piiresse, kuid probleem tekib pöörlemiskiirusel 24000 p/min. Poole suurema pöörlemiskiiruse juures ulatuvad maksimaalsete pingete väärtused üle kahe korra lubatust suuremaks. Seetõttu on vaja teostada rootoriketaste konstruktsioonis muudatusi või valida suurema voolepiiriga roostevaba teras.

Autor otsustab esmalt jätta konstruktsiooni samaks ning valida rootoritele uus materjal – roostevaba teras X20Cr13. See roostevaba teras sisaldab 0,17...0,22 % süsinikku ning 12,0...14,0 % kroomi. Maksimaalne voolavuspiir on 550 N/mm^2 , ehk 550 MPa. [12]

Sele 5.14 ja Sele 5.15 on näidatud roostevabast terasest X20Cr13 valmistatud rootoriketaste 2AP.34.01 ja 2AP.34.02 tugevusanalüüsi tulemused pöörlemiskiiruse 24000 p/min juures.



Sele 5.14 Rootori 2AP.34.01 tugevusanalüüs



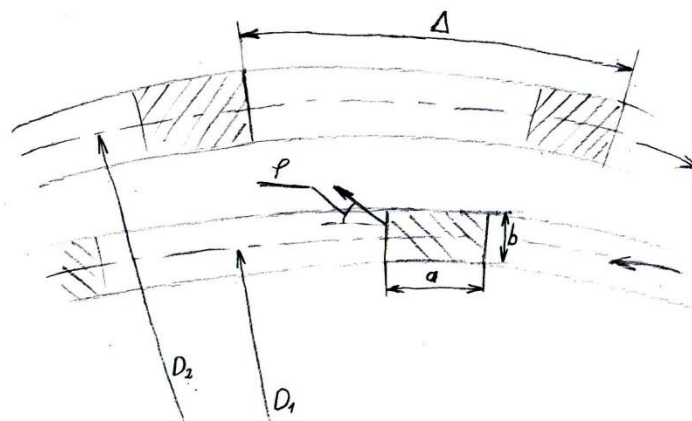
Sele 5.15 Rootori 2AP.34.02 tugevusanalüüs

Nagu analüüsist selgub, jäävad maksimaalsed pinged alla materjali voolavuspiiri 550 MPa, kuid tugevuse varu on alla 100 MPa. Arvestades jahvatamisel tekkivaid määramatuid jõudusid, siis tuleks rootorite konstruktsiooni muuta nii palju, et konstruktsiooni varutegur oleks vähemalt ~1,5.

Lisaks soovitakse parandada rootorite jahvatamise efektiivsust. Praegu kasutusel olevate rootoriketaste puhul on sisemiste jahvatuselementide omavahelise ala pindala väiksem kui välimiste ringide jahvatuselementide omavahelise ala pindala. See soodustab aga olukorda,

kus jahvatatava materjali osakesed võivad liikuda rootori jahvatuseslementide vahelt läbi nii, et välimiste ringide elementide pihta lööki ei toimugi. Selle tõttu satub jahvatatud produkti palju suuremõdulisi materjali osakesi, ehk jahvatuse kvaliteet langeb. Selle olukorra parendamiseks lisatakse rootorite välimisele jahvatuseslementide ringile elemente juurde. Arvestatakse aga asjaoluga, et elementide vaheline ala oleks peaaegu võrdne, kuid mitte väiksem kui eelneval elementide ringil olevate elementide vaheline ala. Väiksem ei tohi elementide vahe olla seetõttu, et kui suuremal läbimõõdul paiknevate elementide vaheline ala on väiksem kui eelneval läbimõõdul, siis võib tekkida ummistus ning materjal ei läbi jahvatusprotsessi korrektselt.

Jahvatuseslementide lisamise esimese etapina kontrollitakse rootorile sobivaimat jahvatuseslementide sammu ringjoonel.



Sele 5.16 Jahvatuseslementide paigutus

Jahvatuseslementide samm leitakse valemi 5.1 [2] abil, mille karakteristikud on näidatud seel 5.16.

$$\Delta = \frac{3 \cdot b \cdot D_2 \cdot n_2}{4 \cdot D_1 \cdot n_1 \cdot \tan \varphi} \cdot k + a \quad (5.1)$$

kus Δ - jahvatuseslementide vaheline samm, mm;

b – jahvatuseslementi laius, mm;

a – jahvatuseslementi pikkus, mm;

D_1 – jahvatuseslementide eelviimase ringi läbimõõt, mm;

D_2 – jahvatuseslementide viimase ringi läbimõõt, mm;

n_1 – rootori pöörlemiskiirus, p/min;

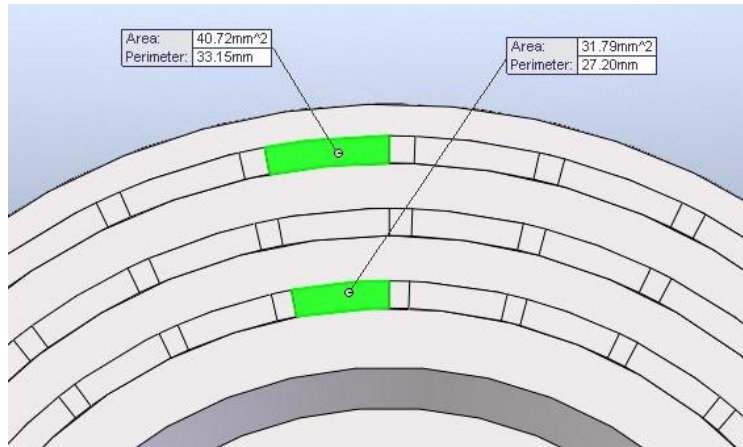
n_2 – rootori pöörlemiskiirus, p/min;

φ – nurk, materjali osakese trajektoori ja jahvatuselemendi pinna vahel, $13^\circ \dots 15^\circ$;

k – kulumise koefitsent, 1,3.

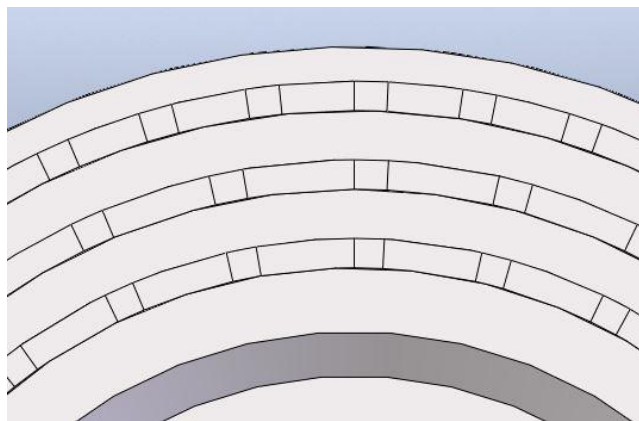
$$\Delta = \frac{3 \cdot 3 \cdot 144,5 \cdot 24000}{4 \cdot 136,5 \cdot 24000 \cdot \tan 15^\circ} \cdot 1,3 + 3,5 = 14,97 \text{ mm}$$

Arvutuse põhjal leitakse, et sobivaks jahvatuselementide sammuks on ~ 15 mm. Sellise sammuga on paigutatud jahvatuselemendid seel 5.17.



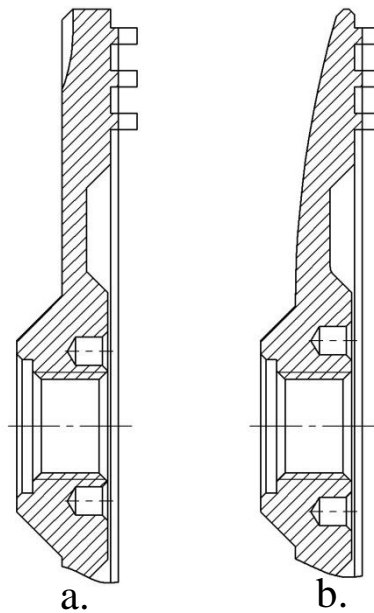
Sele 5.17 Jahvatuselementide vaheline ala

Seel 5.17 on näidatud sisemise ja välimise elementide ringi elementide vahelised alad. Pindalade erinevus on umbes 9 mm^2 , mis teeb kogu ringide elementide vaheliste pindalade erinevuseks 250 mm^2 . Rootori valmistamise seisukohalt viiakse vaid välimise ja sisemise ringi elementide vahelised alad võimalikult lähedaseks, ehk välimisele ringile konstrueeritakse jahvatuselemente tihedamalt kui sammuga 15 mm. Sobilikuks osutus projekteerida mõlemale rootori kettale kokku 42 elementi välimisele ringile ning jätta sisemistele ringidele 28 jahvatuselementi ringi peale (sele 5.18).



Sele 5.18 Rootor suurema arvu jahvatuselementidega välimisel ringil

Seoses rootoriketaste konstruktsiooni muutmisega, määratakse rootoritele uued tähised 2AP179.01 ja 2AP179.02. Rootorite joonised sisalduvad diplomitöö graafilises osas.

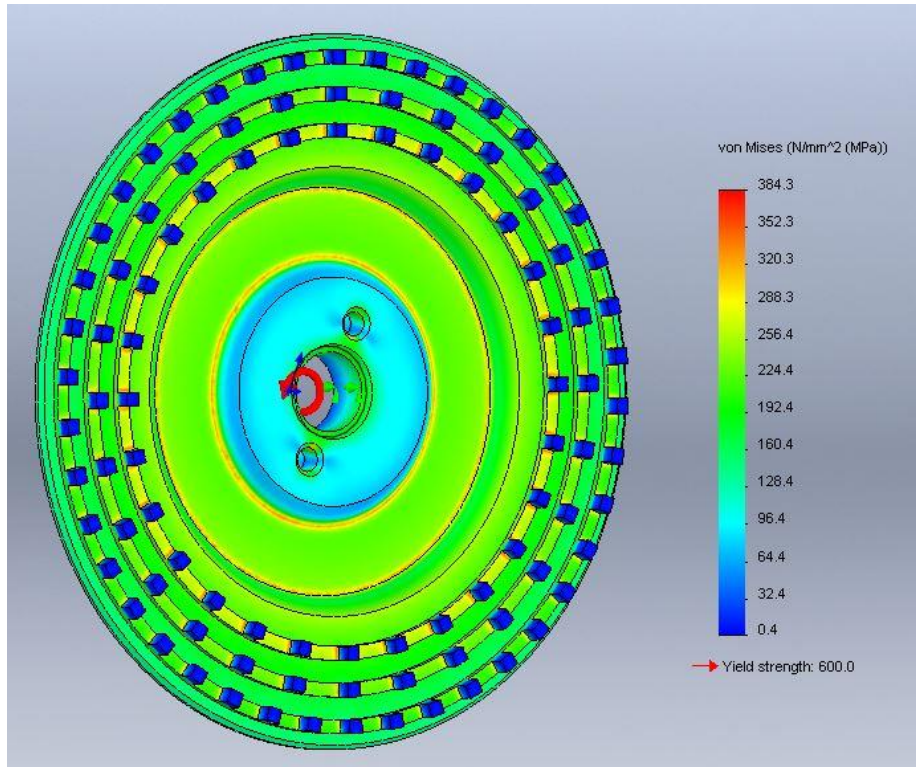


Sele 5.19 Rootorid (a - 2AP.34.01, b - 2AP179.01)

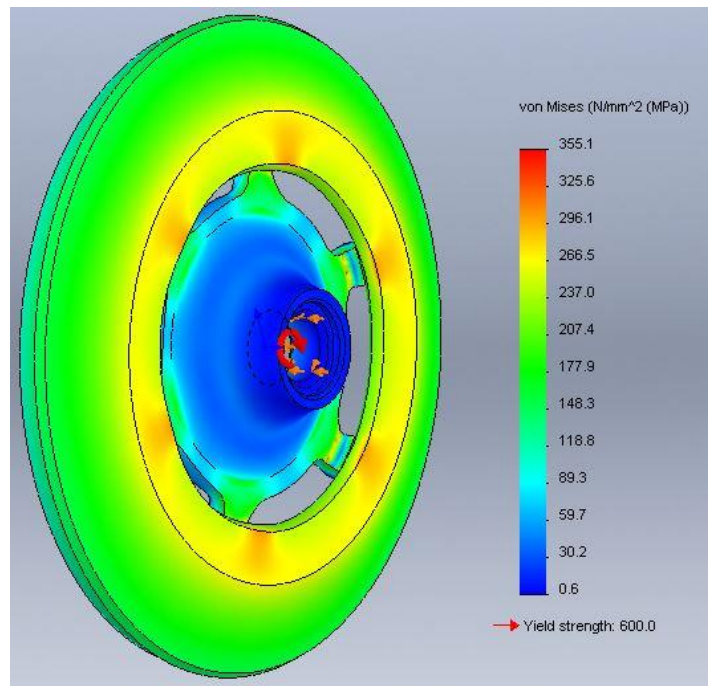
Rootorikettaga 2AP.34.01 puhul lisati ketta viimasele jahvatus-elementide ringile lisaelemente ning tugevuse lisamiseks konstrueeriti ümber ketta tagumine külg. Ketta suuremal läbimõõdul vähendati massi, mis vähendab tsentrifugaaljõudude suurust. Lisaks suurendati pöörlemistelje läheduses paikneva kahe väikse ava omavahelist kaugust.

Rootorikettaga 2AP179.02 puhul teostati konstruktsioonilisi muudatusi vähem. Lisaks jahvatus-elementide lisamisele viimasele elementiringile kaotati ära ketta tagaseinal olevad sooned ning suurendati pöörlemistelje läheduses paiknevate avade omavahelist kaugust.

Rootorikettaga 2AP.34.01 ja 2AP179.01 konstruktsiooni muudatused on näidatud seel 5.19. Seledel 5.20 ja 5.21 on kujutatud rootoriketaste tugevusanalüüsi tulemused. Maksimaalsed lubatud pinged jäävad ka suurema arvu jahvatus-elementide korral lubatud maksimaalse paindepinge 550 MPa piirde. Rootori 2AP179.01 puhul on maksimaalseks pingeks 384 MPa. Rootori ketta konstruktsiooni puhul võib öelda, et varutegur on umbes 1,5 ning on tagatud rootori piisav tugevus. Rootori 2AP179.02 puhul on varutegur 1,5 tagatud, ehk rootor on piisava tugevusega.



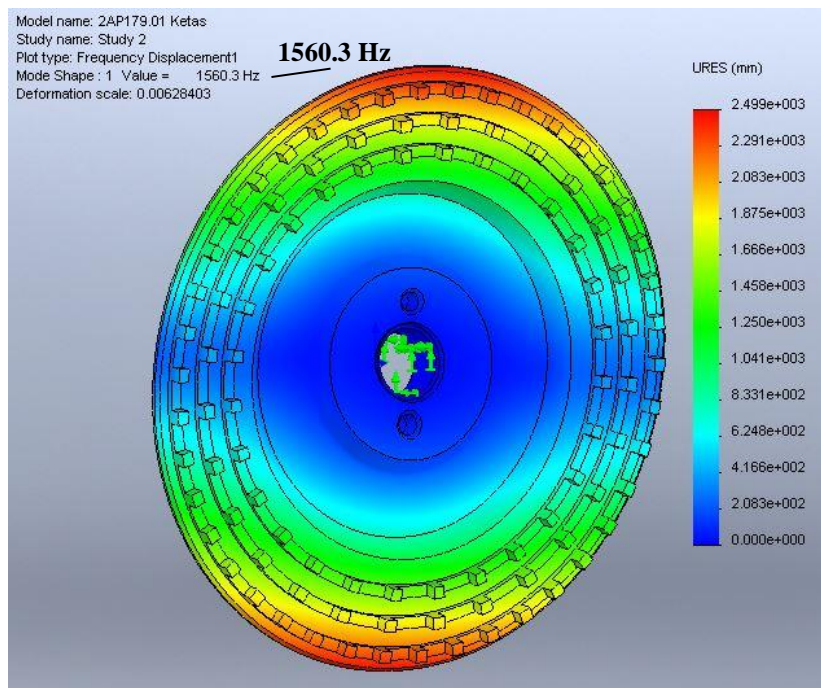
Sele 5.20 Rootori 2AP179.01 tugevusanalüüs tsentrifugaaljõule



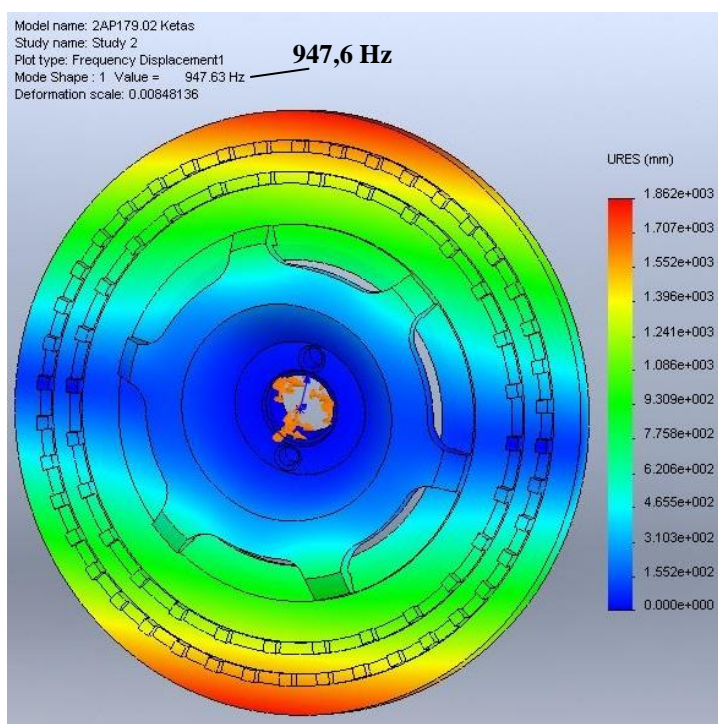
Sele 5.21 Rootori 2AP179.02 tugevusanalüüs tsentrifugaaljõule

Peale tugevusanalüüsi tsentrifugaaljõule teostatakse mõlemale rootori kettale resonantsi analüüs. Analüüsi käigus selgitatakse välja sagedus, mil tekib mõlema rootori puhul resonants. Mudeli võrgu elementide suuruseks on valitud 1 mm ning mudel on jäigalt kinnitatud tsentriava abil. Resonantsi analüüsimisel kasutatakse keskkonda frequency. Valitud

elektrimootorid pöörlevad kiirusel 24000 p/min, mis teeb sageduseks 400 Hz. Analüüside tulemused on näidatud seledel 5.22 ja 5.23, kust selgub, et rootori kettad hakkavad võnkuma sagedusel 1560 Hz ja 947 Hz. See tähendab seda, et rootoripaar 2AP179 on sobilik kasutamiseks moderniseeritud desintegraatoris, pöörlemiskiirusel 24000 pöret minutis.



Sele 5.22 Rootori 2AP179.01 resonants



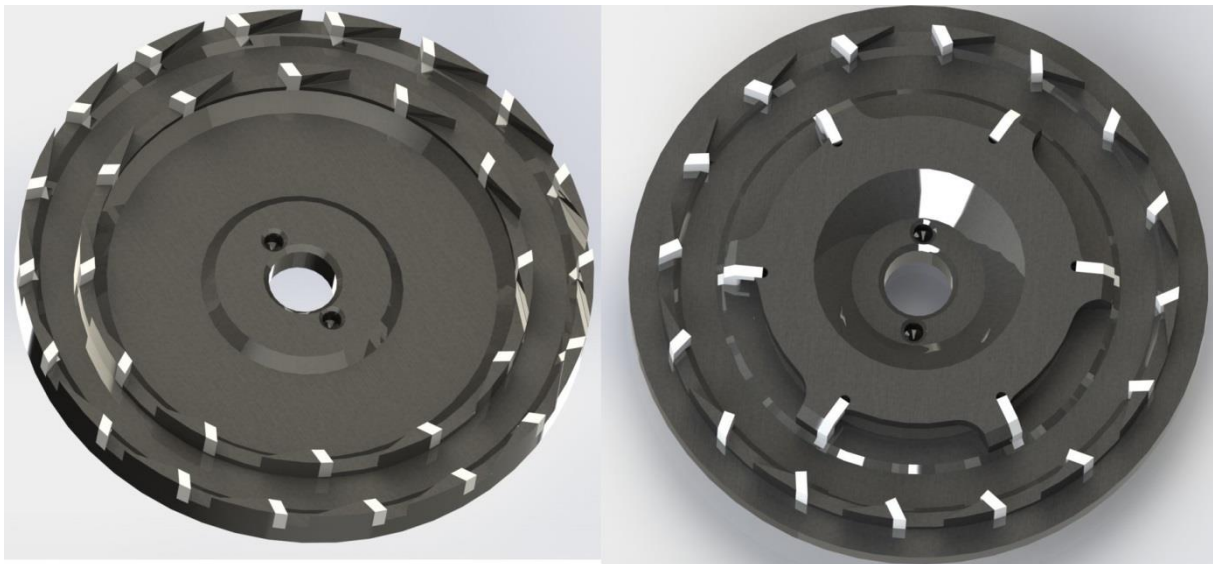
Sele 5.23 Rootori 2AP179.02 resonants

Roorite komplekti kuulub lisaks rooriketastele veel võti, mille abil roorid seadme külge kinnitatakse ja seadmelt võetakse. Rooripaari 2AP179 jaoks konstrueeritakse uus võti (sele 5.24), mille sõrmede vaheline mõõt on 32 mm.



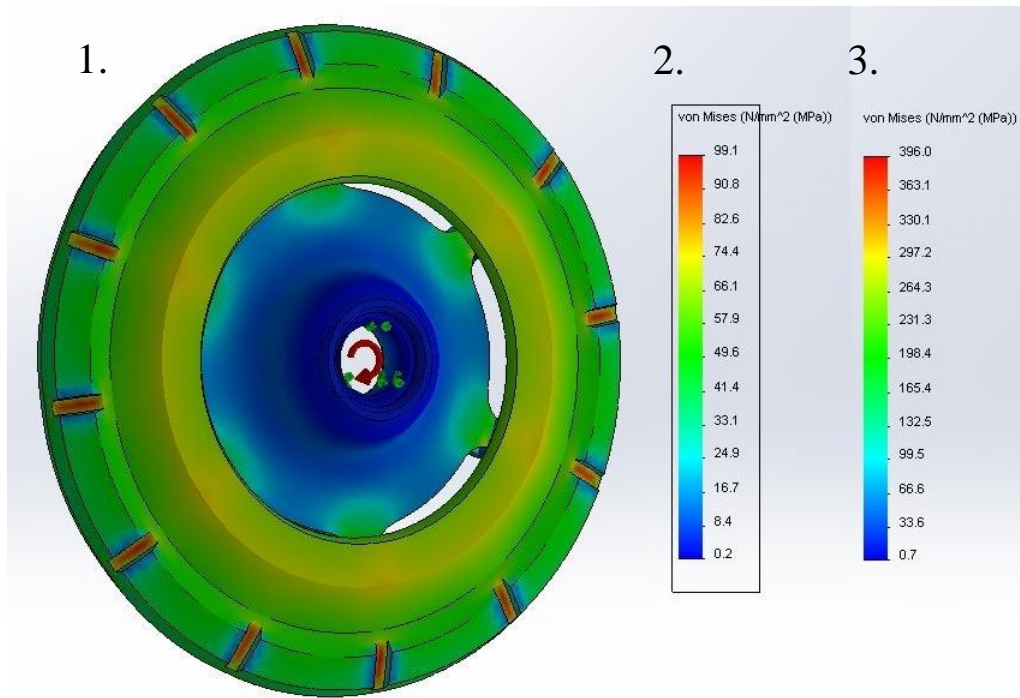
Sele 5.24 Rooripaari 2AP179 võti

5.2.2 Kolmnurksete jahvuselementidega roorid

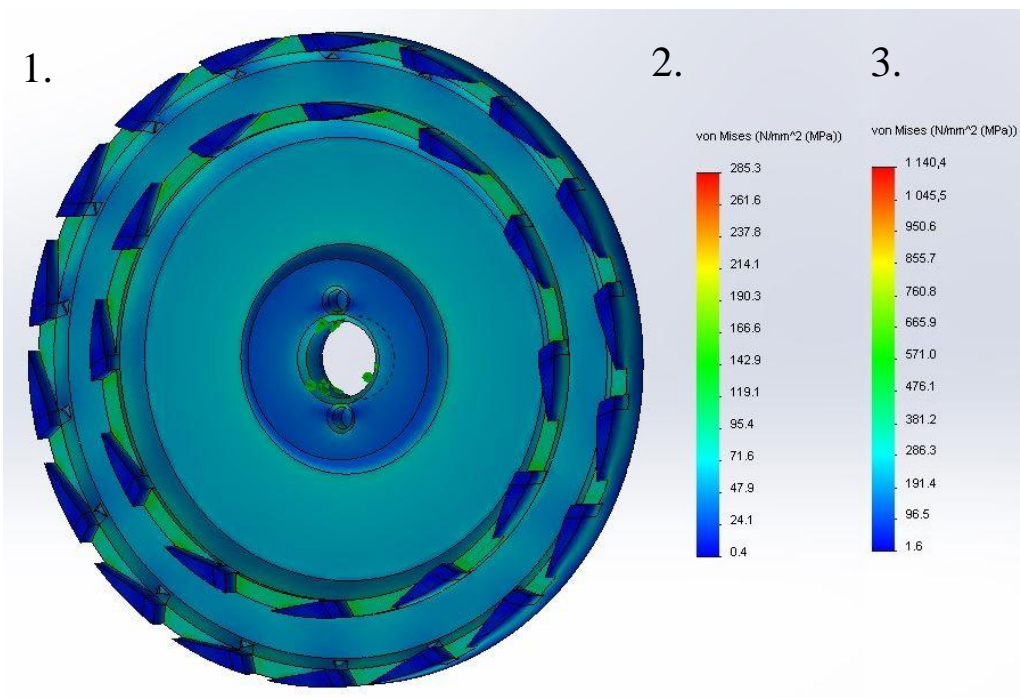


Sele 5.25 Kolmnurksete jahvuselementidega rooripaar
(paremal: roor 2AP51.01.00; vasakul: roor 2AP51.02.00)

Selel 5.25 on näidatud kolmnurksete jahvuselementidega rooripaari roorite mudelid. Need rooriketad on konstrueeritud laboratoorsele desintegraatorile, mille elektrimootorite maksimaalne pöörlemiskiirus on 12000 p/min. Roori kettad on valmistatud terasest ning jahvuselementide löögipind on kaetud kõvasulamiga. Järgnevalt viiakse läbi roorite tugevusanalüüs pöörlemiskiirusel 12000 p/min ja 24000 p/min puhul. Tulemused on näidatud seledel 5.26 ja 5.27.

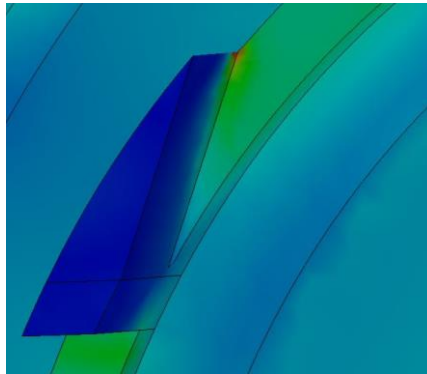


Sele 5.26 Rootori 2AP51.01.00 tugevusanalüüs tsentrifugaaljõule (1 – arvutuse tulemus, 2 – maksimaalsed pinged 12000 p/min puhul, 3 – maksimaalsed pinged 24000 p/min puhul)



Sele 5.27 Rootori 2AP51.02.00 tugevusanalüüs tsentrifugaaljõule (1 – arvutuse tulemus, 2 – maksimaalsed pinged 12000 p/min puhul, 3 – maksimaalsed pinged 24000 p/min puhul)

Sarnaselt nelinurksete jahvatusesementidega rootorite analüüsi tulemustele jäi ka kolmnurksete jahvatusesementidega rootorite analüüsi graafiline osa mõlemal juhul samaks – muutused vaid värvigammadele vastavad väärtused. Analüüsi tulemusena selgub, et pöörlemiskiirusel 12000 p/min on maksimaalsed pinged rootoriketta 2AP51.01.00 puhul madalamad roostevaba terase AISI304 voolepiirist 200 MPa. Küll aga ületavad rootoriketta 2AP51.02.00 pöörlemisel kiirusega 12000 p/min maksimaalsed pinged roostevaba terase AISI 304 puhul lubatud 200 MPa. Veelgi suurem probleem tekib pöörlemiskiirusel 24000 p/min, kus rootoriketta 2AP51.02.00 maksimaalsed pinged ulatuvad 1140 MPa-ni. Seel 5.28 on näidatud rootoriketta 2AP51.02.00 kriitiliseim koht. Selleks on nurk jahvatusesemendi terava tipu ja ketta vahel. Analüüsi tulemuse väärtus ei pruugi küll olla 100 % õige, sest reaalselt valmistatud rootorikettal on antud kohas mingi väikese väärtusega raadius, kuid tulemuse suurusjärguga tuleks siiski arvestada ning teostada vajalikud muudatused.



Sele 5.28 Rotoriketta 2AP51.02.00 kriitiline koht

Muudatustena valitakse rootoriketastele uus materjal ning muudetakse konstruktsiooni. Konstruktsiooni muudatuse all lühendatakse 2 mm rootoriketta 2AP51.02.00 jahvatusesementide pikkust (selel 5.29 näidatud punktiiriga elemendi kuju enne muudatust).

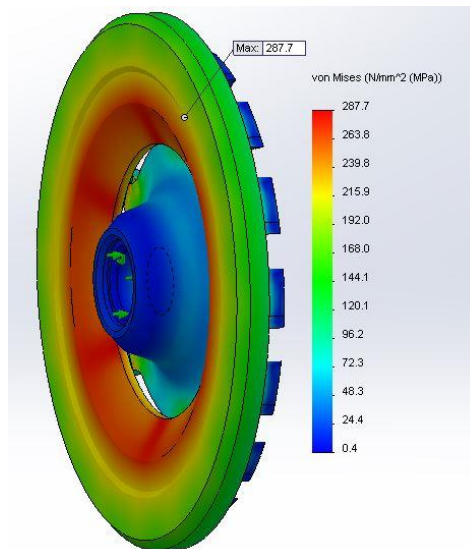


Sele 5.29 Jahvatuseslement

Rooriketta 2AP51.01.00 puhul kaotatakse ketta tagumisel küljel olevad sooned.

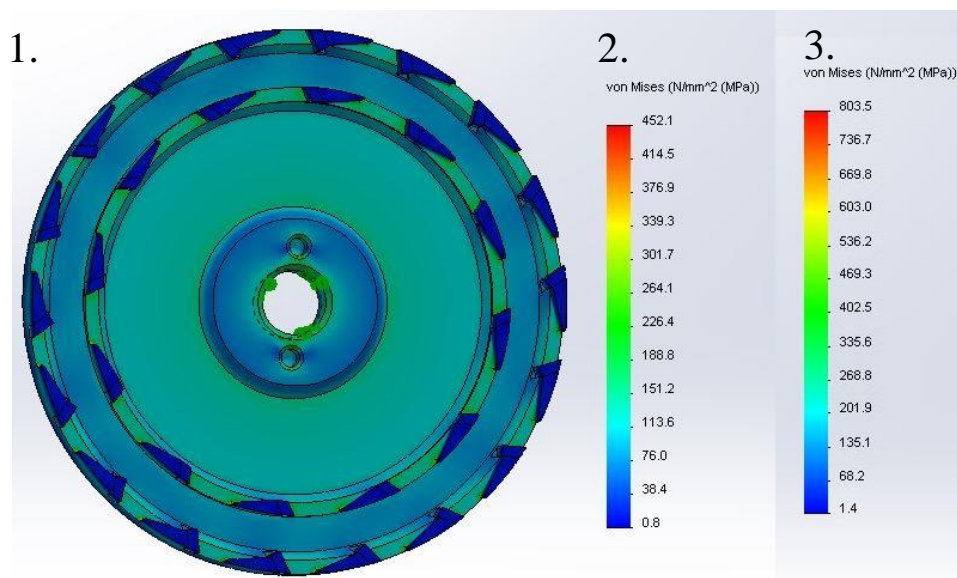
Autor otsustab lisaks määrata rootorite materjaliks roostevaba terase. Maksimaalne voolavuspiir selle terase puhul on 550 N/mm^2 , ehk 550 MPa. [11]

Seledel 5.30 ja 5.31 on näidatud valitud terasest X20Cr13 ja muudetud konstruktsiooniga rootoriketaste tugevusanalüüsi tulemused. Konstruktsiooni muutmise määratakse rootoritele uued tähised, milleks on 2AP180.01.00 ja 2AP180.02.00. Rootoriketta 2AP180.01.00 puhul on maksimaalseks pingeks 287 MPa, seega võib öelda, et rootoriketta tugevus tagatud.



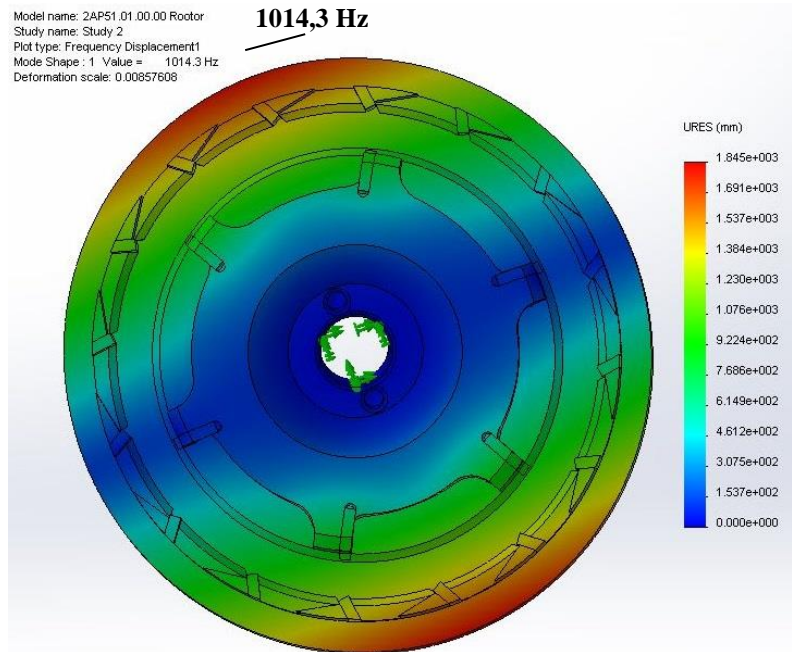
Sele 5.30 Rootori 2AP180.01.00 tugevusanalüüs tsentrifugaaljõule

Seevastu rootoriketta 2AP180.02.00 puhul ei tagatud piisav tugevus pöörlemiskiirusel 24000 p/min, seega vähendati pöörlemiskiirust kiirusele 18000 p/min. Madalama pöörlemiskiiruse puhul on maksimaalseks pingeks 452 MPa. Tugevus tsentrifugaaljõule on küll tagatud, kuid rootori vastupidavus jahvatamisele tuleb siiski kindlaks teha katseliselt.

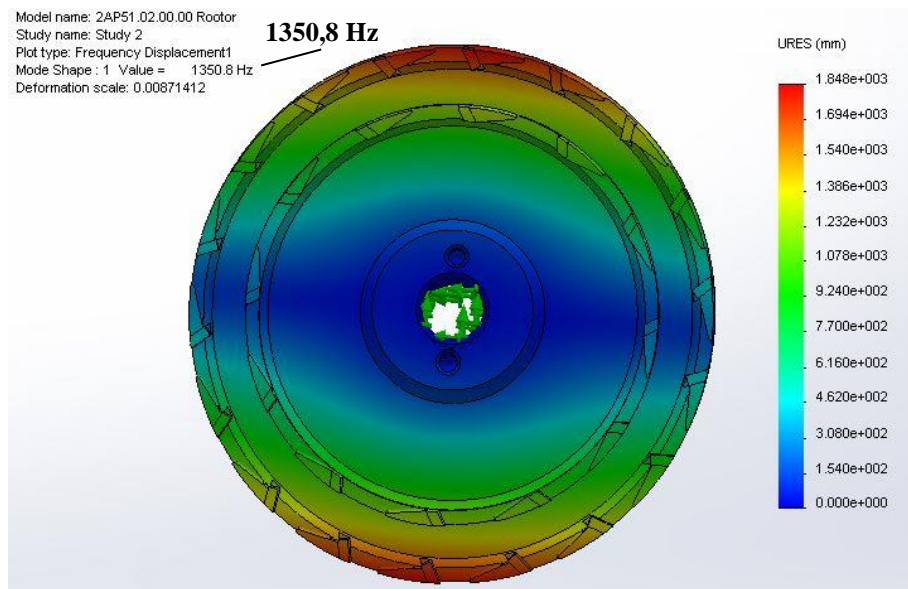


Sele 5.31 Rootori 2AP180.02.00 tugevusanalüüs tsentrifugaaljõule (1 – arvutuse tulemus, 2 – maksimaalsed pinged 18000 p/min puhul, 3 – maksimaalsed pinged 24000 p/min puhul)

Analüüside põhjal selgub, et kolmnurksete jahvuselementidega rootorite puhul on võimalik töötada pöörlemiskiirusel 18000 p/min, mis teeb sageduseks 300 Hz. Järgnevalt teostatakse rootorparile 2AP180.00.00 analüüs omavõnkesagedusele. Tulemused on näidatud seledel 5.32 ja 5.33. Selgub, et rootorikettad satuvad resonantsi sagedusel 1014 ehk pöörlemiskiirusel 60000 p/min. Seega võib öelda, et ohtu rootoriketaste resonantsi sattumiseks ei ole.



Sele 5.32 Rooririketta 2AP180.01.00 resonants



Sele 5.33 Rooririketta 2AP180.02.00 resonants

5.3 Filter

Tabel 4.3 Hindamismaatriks põhjal osutus sobivaimaks filtri konstruktsiooniks raputusmehhanismiga filter. Uus lahendus sarnaneb küll hetkel kasutatava konstruktsiooniga, kuid filtrielemendi puhastamise seisukohalt on see lahendus mitu korda tõhusam. Konstrueerimist alustatakse korpuse (sele 5.34) konstrueerimisest.



Sele 5.34 Filtri korpus

Aluseks võetakse varem konstrueeritud filtri korpus, mis üldjuhul on valmistatud roostevabast terasest paksusega 1 mm. Kui moderniseerimata desintegraatorveski filter kinnitus konstruktsioonile klambritega, siis uue filtri kinnitamiseks konstrueeritakse poldiavadega äärrik, mis fikseerib filtri jäigemalt konstruktsiooni külge. Järgmiseks konstrueeritakse kaas (sele 5.35), mis sisaldab valtsitud servadega kettast, väljundiks toru ning ava filtrielemendi raputamise varda jaoks. Filtrielement on valmistatud spetsiaalsest materjalist ja kinnitub alumisest osast roostevabast terasest ketta külge ning ülemine serv on kinnitatud korpuse ja kaane vahele.



Sele 5.35 Filtri kaas

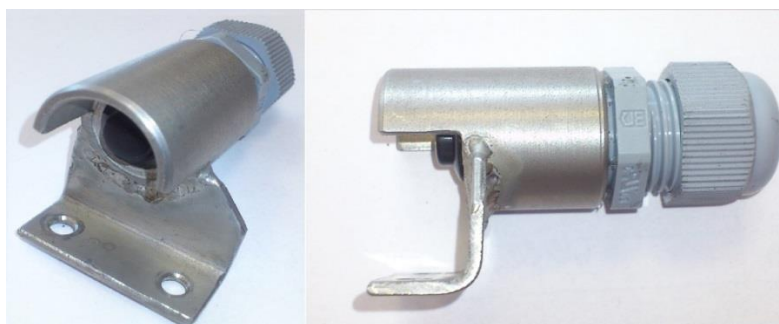
Filtrielemendi sisse on paigaldatud vedru, mis hoiab filtrielementi tavaolekus pinge all. Filtrielemendi puhastamine toimub nii, et vardale kinnitatud nupust tõstetakse varras korpusest välja. Varda külge kinnitatud ketas haarab kaasa filtrielemendi, millelt kortsu tõmmates juba tolmu osakesi maha pudeneb. Nupust lahti lastes vajub ketas oma raskusega ning vedru jõu abil hooga tagasi ning lõpuni jõudes saadud löögist puhastub filtrielement tolmuosakestest. Seel 5.36 on näidatud moderniseeritud desintegraatorveski filter.



Sele 5.36 Filter

5.4 Lõpplüliti

Lõpplüliti on üks laboratoorse desintegraatori komponent, mille funktsiooniks on jahvatuskambri kaane suletuse kontrollimine. Moderniseerimata desintegraatori puhul kasutatakse lõpplülitit, mille kinnitamiseks on konstrueeritud kronstein. Kinnituskronstein kinnitatakse jahvatuskambri korpuse külge poltidega.



Sele 5.37 Lõpplüliti kinnituskronsteiniga

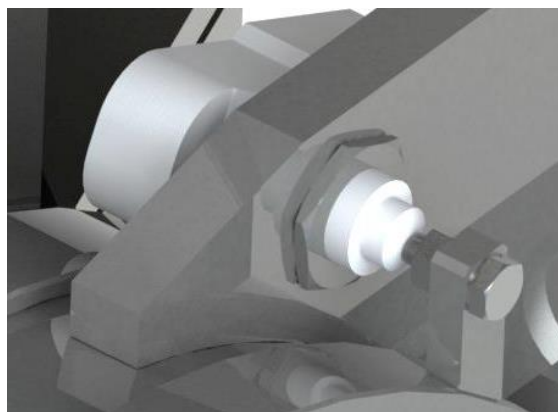
Kasutatava lõplüliti miinuseks on lüliti madal kvaliteet ning kinnituskronsteini vajadus. Kinnituskronstein on suhteliselt keeruline ja selle valmistamine nõuab küllalt palju ressursi. Ressursi kokkuhoidmiseks valib autor moderniseeritud desintegraatori jaoks uue lõplüliti. Uue lõplüliti valimisel on peamisteks kriteeriumiteks väikesed gabariitmõõtmed ning lihtne kinnitusviis seadmele. Lõplüliti on suhteliselt primitiivne komponent, seega peaks see olema seadme valmistamisel võimalikult väikese osatähtsusega.

Sobivaimaks lõplülitiks osutub OEM Eesti OÜ [13] poolt pakutav lõplüliti CROUZET 83733 (sele 5.38), mille eelisteks on väikesed gabariitmõõtmed ning kinnitamiseks ei vaja see spetsiaalset kronsteini. Lõplüliti kinnitatakse konstrueeritakse jahvatuskambri hinge plaadile 12 mm läbimõõduga ava, lõplüliti paigaldatakse sellest avast läbi ning kinnitatakse mutritega.



Sele 5.38 Lõplüliti CROUZET 83733

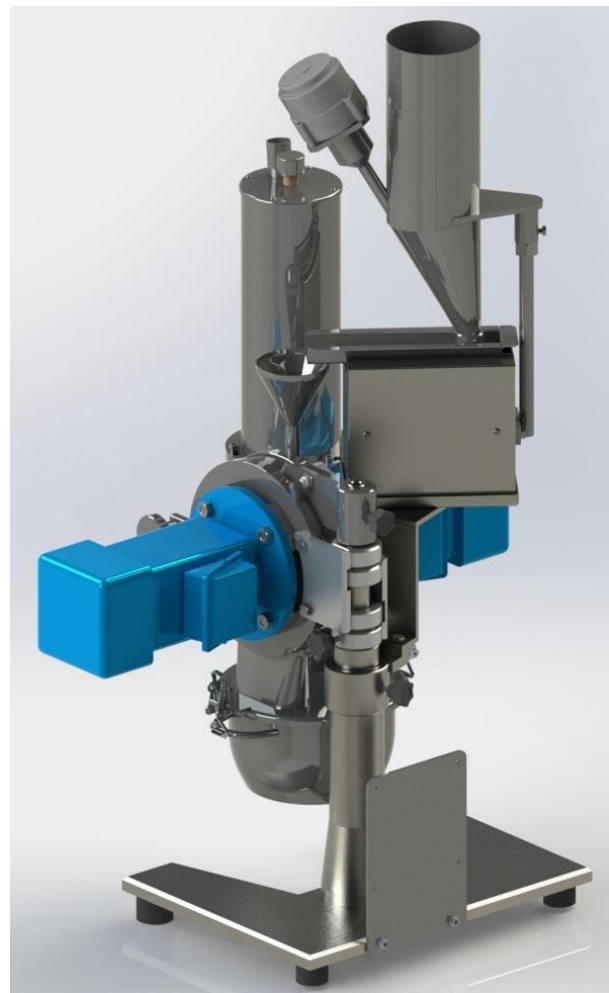
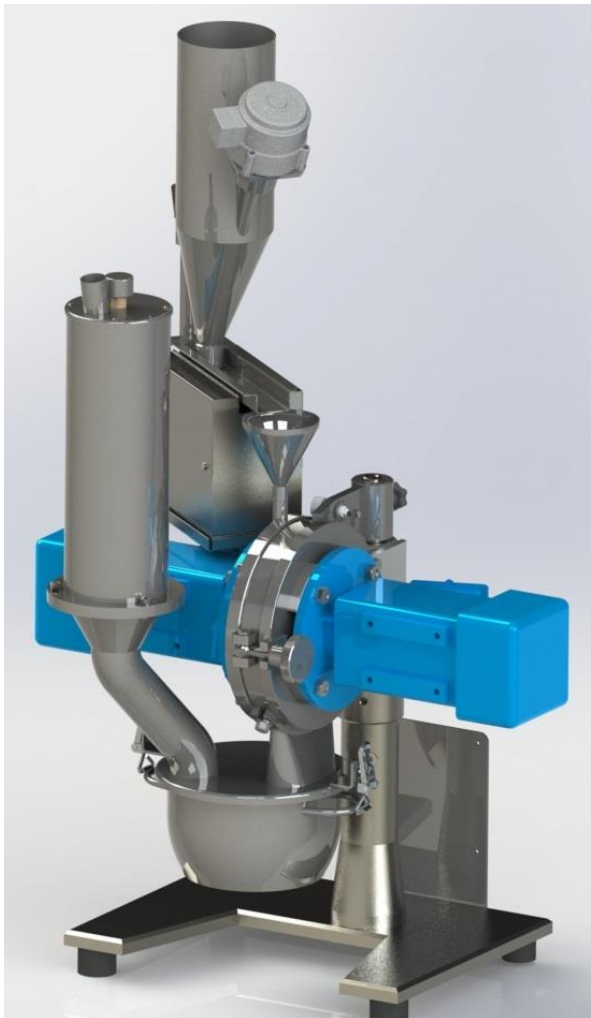
Jahvatuskambri kaanele konstrueeritakse lõplüliti jaoks vastus (sele 5.39). Vastus peaks olema lihtne ning reguleeritava vahekaugusega lõplüliti suhtes. Vastuse all mõeldakse roostevaba terasest plaadikest, milles on keermestatud ava. Keermestatud avasse paigaldatakse väike polt, mis hakkab lõplülitit lülitama ning tänu keermele on see reguleeritav.



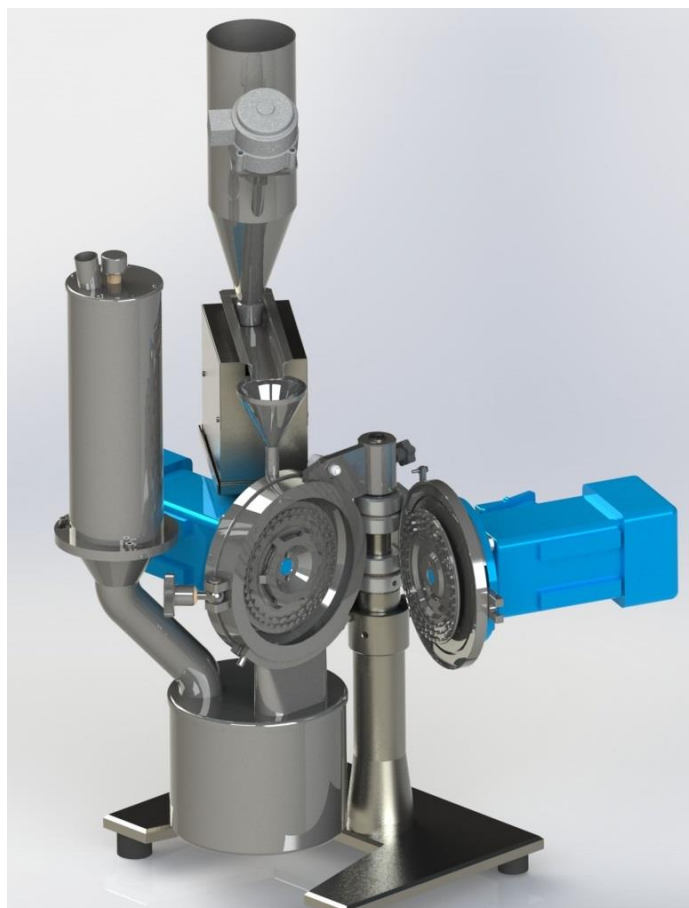
Sele 5.39 Lõplüliti ning vastus

6 MODERNISEERITUD LABORATOORNE DESINTEGRAATORVESKI

Desintegraatorveski registreeritakse ettevõtte dokumentatsioonis, tootenimetusega Laboratoorne desintegraatorveski DESI-11, tähis 2A124.00.00. Kõik kinnitusdetailid, nagu näiteks poldid, mutrid ning seibid valitakse Baltic Bolt OÜ tootekataloogist [14]. Seadme kõrgus on ligikaudu üks meeter. Selle kõrguseni ulatub vibroetteandja punkri ülemine serv. Mugavaks materjali doseerimiseks vibroetteandjasse tuleks seade asetada tasapinnale, mis on maapinnast umbes 700 mm kõrgusel. Sellisel juhul jääb veski jahvatuskamber 1100 mm kõrgusele maapinnast ning seadmega töötamise mugavus on maksimaalne. Seadme valminud 3D mudel on kujutatud seledel 6.1 ja 6.2. Lisaks koosneb seadme juurde elektrikilp, mis on näidatud seel 6.3



Sele 6.1 Moderniseeritud laboratoorne desintegraatorveski 2A124.00.00



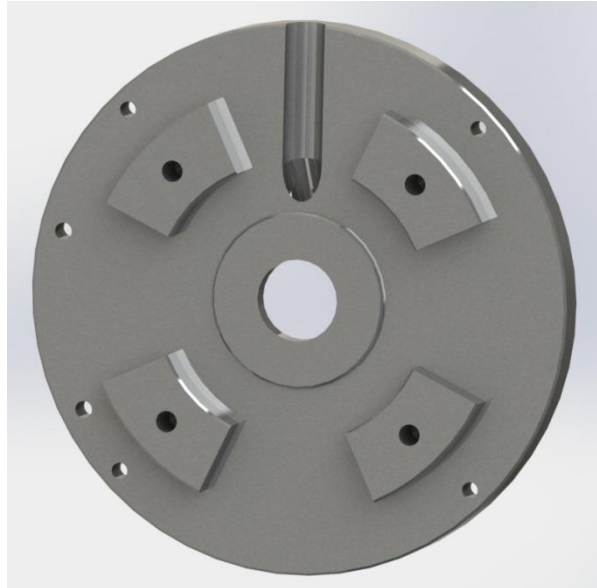
Sele 6.2 Moderniseeritud laboratoorne desintegratorveski avatud jahvatuskambriga



Sele 6.3 Laboratoorse desintegratorveski elektrikilp

7 TAGASEINA TOOTMISTEHNOLLOOGIA KÄSITLUS

Detailiks, mille tootmistehnoloogiat käsitletakse, on valitud tagasein, mille külge keevitatakse sisendkanal ning elektrimootori kinnitamise jaoks tikkpoldid. Tagasein kinnitub hinge konstruktsiooni külge poltidega. Detail on näidatud seel 7.1 ning detaili joonis on toodud töö graafilises osas.



Sele 7.1 Tagasein

Detaili toorikuks sobiks näiteks AISI 304 või AISI 316 roostevabast terasest leht paksusega 40 mm, mida pakub ettevõtte Metallstar OÜ [15]. Detaili toorik läbimõõduga 220 mm lõigatakse vesilõikuse protsessi kasutades. Vesilõikusega lõigatakse toorikule ka tsentriava läbimõõduga 30 mm. Järgnevalt asetatakse detail treipinki, kus treitakse elektrimootori kinnitusäärrik välisläbimõõduga 170 mm, siseläbimõõduga 110 mm ning sügavusega 12 mm. Seejuures tuleb rangelt jälgida joonisel näidatud pinna A suhtes lubatud radiaalviskumist ja ristseisu. See tagab elektrimootori samatelgsuse tagaseina ning jahvatuskambri suhtes. Lisaks treitakse aste läbimõõduga 70 mm, astme kõrguseks tagaseina välispinnalt 2,5 mm. Seejärel treitakse 1 mm x 45° faasid läbimõõdudel 218 mm, 170 mm, 110 mm ja 70 mm. Avade, läbimõõduga 6,4 mm, M8 ja M10, töötlemise lihtsustamiseks treitakse ka väga väikese sügavusega sooned läbimõõdudele, kus avad asetsema hakkavad. See lihtsustab avade asukohtade märkimist.

Järgmisena asetatakse detail teistpidi treipinki, kusjuures tsentreeritakse ja kinnitatakse seekord eelnevalt treitud elektrimootori kinnitusääriku sisepinna, läbimõõduga 110 mm, abil. Selline kinnitusviis tagab järgnevate treitavate pindade samatelgsuse ääriku sisepinna suhtes.

Järgnevalt vähendatakse tooriku välisdiameetrit välisteraga ligikaudu 2 mm ulatuses läbimõõduni 218 mm ning faasid 1 mm x 45°. Seejärel treitakse mõõtu aste läbimõõduga 79 mm ning faas 30°, treitakse ka osa siseseina mõõtu. Seejärel vahetatakse välistreitera sisetreitera vastu ning treitakse tagaseina sisepind läbimõõduni 212 mm. Läbimõõdul 212 mm treitud astme pinnakaredus ei tohi olla suurem kui Ra 3,2. Aste on edaspidi tagaseina tsentreerivaks pinnaks desintegraatoveski korpuse suhtes. Treitakse ka 212 mm läbimõõdul faas 1 mm x 45°. Järgmisena suurendatakse tooriku tsentriava läbimõõduni 32,4 mm. Seejärel treitakse kaldpinnad 45° ja 30° nurga all läbimõõduni 74 mm. Viimati treitud pindade pinnakareduseks saavutatakse Ra 3,2. Seda seetõttu, et antud pinnad puutuvad palju kokku jahvatatava materjaliga ning siledam pind raskendab materjali kleepumist pinnale.

Järgmise etapina asetatakse toorik freespinki. Sõrmfreesi kasutades freesitakse elektrimootori kinnitusäärik osadeks nii, et freesitud osad moodustavad igaüks 50° nurga ning freesimata osad 40°. Seejärel vahetatakse instrument 8 mm läbimõõduga sõrmfreesi vastu ning freesitakse 35° nurga all 16 mm läbimõõduga ava sisendkanali jaoks. Seejärel vahetatakse instrument 16 mm läbimõõduga sfäärilise otsaga sõrmfreesi vastu, mille abil freesitakse sisendkanali jaoks ketta pinnale süvend.

Järgmisena asetatakse detail puurpingi, kus puuritakse mootori kinnitusavade jaoks neli ava läbimõõduga 8 mm sügavuseni 20 mm. Seejärel keermestatakse need keermepuuriga M10 sügavuseni 15 mm. Järgmisena puuritakse neli ava läbimõõduga 6,4 mm. Hinge kronsteini kinnitamiseks puuritakse esmalt kaks ava läbimõõduga 6,8 mm ning seejärel keermestatakse need avad M8 keermepuuriga.

8 SEADME LIGIKAUDSE HINNA ARVUTUS

Enamik tootjaid ei avalda veebipõhistes kataloogides oma toodete hindasid ja sageli sõltuvad need tellitava partii suuruselt või on hind kokkuleppeline. Lisaks on raske ennustada, kui palju mingi detaili valmistamine maksma võib minna.

Laboratoorse desintegraatorveski ligikaudse hinna leidmiseks liidetakse kokku kõikide sõlmede maksumus, ostutoodete hinnad ning ettevõtte üldkulu. Ettevõtte üldkuluks on arvestatud 100% seadme hinnast, ehk seadme ligikaudse hinna arvutamisel kasutatakse üldkulu koefitsienti $k_{\text{üldkulu}}=2$.

Seega seadme ligikaudse hinna leidmiseks tuletatakse valem

$$C_{\text{seade}} = (C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5) \cdot k_{\text{üldkulu}}, \quad (8.1)$$

kus C_{seade} – seadme ligikaudne hind, €;

C_1 – jahvatuskambri, rootorite ja väljundkanali ligikaudne hind, €;

C_2 – õhufiltri ligikaudne hind, €;

C_3 – šarniiri ja aluse ligikaudne hind, €;

C_4 – ostutoodete maksumus, €;

C_5 – diplomitöös mittekuuluvate komponentide maksumus, €.

$k_{\text{üldkulu}}$ – ettevõtte üldkulu koefitsent, 2.

Kõikide arvutuste tulemused on näidatud tabelis 8.1. Eelnevate hinnapäringute põhjal on võetud keskmiseks roostevabast terasest materjali hinnaks 3,1 €/kg ning mustast terasest materjali hinnaks 0,6 €/kg.

Tabel 8.1 Seadme ligikaudne hind

Kuluartikkel	Ligikaudne hind, €
Jahvatuskamber, rootorid ja väljundkanal	3000
Õhufilter	200
Šarniir alusega, hingede kronsteinid	500
Ostutooted	
Elektrimootorid (2 tk)	2492
Lõpplüliti	16
Kinnitusdetailid	60
Kokku:	2568
Diplomitöösse mittekuuluvad komponendid	
Elektrikilp ja kaablid	800
Vibrotoitja koos punkriga	900
Kokku:	1700
Ettevõtte üldkulu	7968
Seadme hind:	15936

Tabeli 8.1 järgi selgub laboratoorse desintegraatorveski ligikaudseks hinnaks 15936 eurot.

9 SEADME OHUTUSE TAGAMINE

Moderniseeritud laboratoorse desintegraatorveski kasutamise juures on oluline jälgida ohutusnõudeid ja kasutada seadet vaid selleks ettenähtud moel. Järgnevalt on desintegraatorveski tehnilisest passist välja toodud punktid seadme eksploatatsiooni ning ohutuse kohta.

9.1 Seadme eksploatatsioonijuhend

9.1.1 Paigaldamine ja tööks ettevalmistamine

1. Desintegraator paigaldada ruumi, mis vastab järgmistele nõuetele:
 - temperatuur 5 kuni 25 C;
 - õhu niiskus kuni 80 %;
 - üld- ja kohaliku ventilatsiooni olemasolu;
 - tuletõrjevahendite olemasolu.
2. Enne seadme paigaldamist veenduda tema kompleksuses ja korrasolekus.
3. Seade paigaldada horisontaalsele pinnale. Seadme asukoht peab võimaldama seadme mugavat eksploatatsiooni ja hooldust.
4. Juhtpuldi asukoht peab võimaldama seadme mugavat ja kiiret käivitamist ning seiskamist.
5. Seadet on lubatud paigaldada, sellega töötada ja seda teenindada isikutel, kes tunnevad seadme ehitust ja on tutvunud käesoleva passiga. Seadme elektrilise installatsiooni peab teostama vastavat kvalifikatsiooni omav elektrik.
6. Enne seadme käivitamist:
 - avada jahvatuskamber ja paigaldada vastav tööorganite komplekt;
 - veenduda, et jahvatuskambris pole kõrvalisi esemeid;
 - sulgeda tihedalt jahvatuskamber;
 - elektrimootori ventilaatori katte avade kaudu kontrollida rootorite vaba pöörlemist;
 - kontrollida filtrielemendi kinnitus ja seisukord;
 - kontrollida kohaliku ventilaatsiooni efektiivsus.
7. Käivitada seade ja kontrollida elektrimootorite rootorite pöörlemissuundade õigsust.
8. Lasta seadmel töötada tühikäigul 2-3 minutit. Kui ei teki liigset vibratsiooni või kõrvalist heli, on seade tööks valmis.
9. Kõik tööd tehnilisel teenindamisel teostada pärast seadme vooluvõrgust väljalülitamist.

10. Seadme käivitamine vigastatud elektrikaabli korral on keelatud.
11. Töökambris ei tohi sattuda kõrvalisi esemeid.
12. Kui jahvatusprotsessi käigus tekivad kõrvalised helid või vibratsioon tuleb seade viivitamatult seisata ning selgitada põhjus.
13. Keelatud on:
 - jahvatada materjale, mille osakeste suurus ületab lubatud;
 - seadme käivitamine ummistunud jahvatuskambril puhul;
 - jahvatuskambril avamine enne rootorite täielikku seiskumist;
 - rootorite pidurdamine läbi elektrimootori ventilaatori katte avade;
 - jätta töötav seade järelevalveta;
 - personaali töö ilma tolmu- ja müravastaste kaitsevahenditeta.
14. Hoida ruum ja seade tolmuvabana.

9.1.2 Töötamise kord

1. Seadet teenindab operaator, kes on läbinud spetsiaalse väljaõppe, tunneb seadme konstruktsiooni, eksploatatsiooni spetsiifikat ja ohutustehnika nõudeid.
2. Paigaldada ja ühendada vastuvõtu konteiner.
3. Täita vibroetteandja punker lähtematerjaliga ja tareerida vibroetteandja tootlikusele umbes 10 kg/h.
4. Inverteri abil valida elektrimootorite nõutav pöörlemissagedus. Lülitada sisse seade ja alustada tööd. Jälgida ampermeetri näitu, sest elektrimootorite vool ei tohi ületada väärtust, mis on elektrimootori tootja antud mootorile määratud.
5. Kontrollida jahvatuse kvaliteeti ja vajadusel muuta tootlikkust.
6. Töö käigus perioodiliselt puhastada õhufiltrit.
7. Kui juhtpuldil lülitub välja automaatlüliti, tuleb selgitada rikke või ülekoormuse põhjus ja see kõrvaldada.
8. Seadme seiskamiseks lülitada välja vibroetteandja ja 2 kuni 3 sekundi pärast seisata seade. Jahvatuskambril ei tohi avada enne rootorite täieliku seiskumist.
9. Pärast töö lõppu puhastada jahvatuskamber, kontrollida seadme, eriti tööorganite, seisukorda ja kõrvaldada avastatud rikked.

9.2 Keskkonnaohutuse hinnang

Laboratoorne desintegraatorveski koosneb valdavas osas terasdetailidest. Teras on ümbersulatatav, seega taaskasutatav ja keskkonnale ohutu. Keskkonnale võivad ohtu kujutada seadmes jahvatatavad ohtlikud kemikaalid, mis võivad sattuda keskkonda, kuid see on tingitud vaid seadme mittehoolsa kasutamise tõttu. Korrekse ekspluatatsiooni puhul on laboratoorne desintegraatorveski keskkonnale ohutu.

KOKKUVÕTE

Töö teema saadi masinaehitusettevõttest Desintegraator Tootmise OÜ, mis eriprojektidena valmistab mitmesuguseid seadmeid peenjahvatuse, segamise, purustamise ja emulgeerimise ning homogeniseerimise otstarbeks.

Diplomitöö eesmärk oli moderniseerida ettevõtte tootevalikus olev laboratoorne desintegraatorveski. Moderniseerimine oli vajalik sellepärast, et ettevõtte poolt hetkel pakutaval seadmel esineb mõningaid probleemseid kohti, lisaks on soov seadet täiustada ja võimsamaks konstrueerida.

Suurema võimsuse ja pöörlemiskiirusega elektrimootorid laiendavad oluliselt materjalide laboratoorseid uurimisvõimalusi. Suurema võimsusega elektrimootorid lahendavad ka klientide probleemi, kelle soov on seadet kasutada väikese tootlikusega tootmises. Uute mootorite sobitamiseks seadmele teostati seadme konstruktsioonilised muudatused. Suuremate pöörlemiskiiruste tõttu oli vajalik analüüsida desintegraatorveski tööorganeid ehk rootoreid.

Ettevõttel oli soov parendada ka seadme õhufiltrit. Varem konstrueeritud õhufilter kippus liiga tihti ummistuma ning filtri puhastusmehhanism ei töötanud väga hästi.

Seega moodustas töö sisu eespool nimetatud ettepanekutele ja probleemidele lahenduste otsimist.

Konkurentsianalüüsis tutvuti ja analüüsiti konkureerivate ettevõtete poolt pakutavaid desintegraatorveskeid. Jahvatusseadmeid tootva ettevõtte Alpine Hosokawa poolt pakutava desintegraatorilt saadi idee jahvatusselementide teistsuguse jaotuse kohta tööorganil, mis suurendab oluliselt materjalide jahvatamise efektiivsust.

Lahendusvariantide genereerimise ja valiku osas kirjeldati erinevaid elektrimootoreid, mis võiksid sobida laboratoorsele desintegraatorveskile. Peatüki lõpus koostati hindamismaatriks, mille alusel osutus sobivaimaks elektrimootoriks Perske 50.09-2, mille võimsuseks on 3 kW ning võlli pöörlemiskiirus 24000 p/min. Järgmisena genereeriti erinevaid filtri konstruktsiooni variante, misjärel valiti hindamismaatriksi abil sobivaim filtri konstruktsioon.

Konstruktsiooniarvutuste ja 3D modelleerimise osas on kirjeldatud jahvatuskambri kaante ja konstrueerimist. Jahvatuskambri kaantele konstrueeriti äärikud elektrimootorite kinnitamiseks. Lisaks konstrueeriti uued kaante hingede konstruktsioonid.

Analüüsi ka seadme tööorganite sobivust pöörlemiseks kiirusel 24000 p/min. Tööorganite analüüs koosnes tugevusanalüüsist tsentrifugaaljõule ning leiti iga rootoriketta omavõnkesagedus. Esialgse analüüsi järel selgus, et varem konstrueeritud rootorid ei sobi moderniseeritud laboratoorse desintegraatorveski tööorganiteks. Autor valis esmalt rootoritele suurema voolavuspiiriga terase ning seejärel teostas vajalikud konstruktsioonimuudatused. Konstrueeriti nelinurksete jahvatuselementidega tööorganid, mille maksimaalseks pöörlemiskiiruseks lubatakse 24000 p/min. Ebapiisava konstruktsiooni tugevuse tõttu lubatakse kolmnurksete jahvatuselementidega konstrueeritud rootoripaari maksimaalseks pöörlemiskiiruseks aga 18000 p/min.

Peatüki lõpus on kirjeldatud õhufiltri konstrueerimist. Filtrile leiti hindamismatriksi abil sobivaim konstruktsioon ning puhastusmehhanism. Koostati õhufiltri 3D mudel ning tehniline dokumentatsioon. Filtri täielikust efektiivsusest saab ülevaate seadet katsetades. Vajadusel teostatakse konstruktsioonilised muudatused.

Lisaks on kirjeldatud ühe keerukama komponendi tootmistehnoloogiat ja välja arvatud moderniseeritud laboratoorse desintegraatorveski ligikaudne hind, milleks on 15936 eurot. Koostatud on seadme eksploatatsioonijuhend ja on antud hinnang seadme keskkonnaohutusele. Viimase kohaselt on seadme poolt keskkonnale suurimaks ohuks seadmes jahvatatavad ohtlikud kemikaalid, mis võivad sattuda keskkonda seadme ebakorrekse eksploatatsiooni tõttu.

Laboratoorse desintegraatorveski moderniseerimise võib konstrueerimise lõppedes pidada õnnestunuks. Loodud on seadme 3D mudel ning tehniline dokumentatsioon. Desintegraatori töötamisel materjale jahvatades esineb aga väga palju määramatuid aspekte, seega saab kõige põhjalikuma ülevaate seadme efektiivsusest ja konstruktsiooni tugevusest seadet katsetades.

SUMMARY

The topic arose from Desintegrator Tootmise OÜ, a machine building company, which manufactures various custom equipments for finegrinding, mixing, crushing and emulsification and homogenization.

The purpose of the diploma thesis was to modernize the laboratory disintegrator. Modernization was necessary because the equipment had some problematic areas and company had the desire to construct the device more powerful and effective.

Greater power and speed of the electric motors significantly expand the possibilities for laboratory research of different materials. More powerful electric motors also solve the problem for customers, who wish to use the device in small productivity production. To fit the new electric motors to the device, structural changes were made. The need to analyze the rotors arose because of higher rotational velocity of the rotors.

The company had also a desire to improve the disintegrators air filter. The old air filter tended to clog too often and the filter cleaning mechanism did not work efficiently.

Thus, firstly finding solutions for problems and suggestions named before took place. Research was made on the competitive companies, who produce similar devices.

The idea of placement of the pins on the rotors was taken from the company Hosokawa Alpine, which produces similar grinding devices. This type of placement of the pins significantly increases the efficiency of the grinding.

In the topic of generating solutions, different suitable electric motors were described. Evaluation matrix was made at the end of the chapter, where most suitable electric motor was selected. The most suitable electric motor was Perske 50.09-2, which has the output of 3 kW and spindle rotational velocity of 24000 rpm. Next step was generating a variety of filter designs and then the best filter design was selected.

3D modeling and structural analyzes were described for the device lids and rotors. Lids were designed according to the flange of the electric motor. Furthermore, the new hinges of the lids were designed.

Also the suitability of the rotors at rotational velocity of 24000 rpm were analyzed. After the analysis it appeared that the previously constructed rotors are not suitable for the modernized laboratory disintegrator and structural changes of the rotors were necessary.

At the end of the chapter the structural design of the air filter was described. The best filter design and cleaning mechanism were selected by using the evaluation matrix . The 3D model of the new air filter and technical documentation were created. A full review of the effectiveness of the filter can be tested on working with the device and when necessary structural changes could be made.

Also the production technology of one complicated detail was described and the approximate cost of the laboratory disintegrator was calculated, which is 15936 EUR. The service manual and the evaluation of the effect on the environment by the device was created. According to the devices environmental evaluation, the greatest threat to the environment are milled hazardous chemical materials that may be released into the environment from the device due to incorrect usage.

In the end of the thesis, the modernization of the laboratory disintegrator could be considered successful. The 3D model of the device and technical documentation were created. There are many uncertain aspects when grinding materials with laboratory disintegrator, therefore the most comprehensive overview of the strength of the structure and the efficiency of the disintegrator are obtained by testing the device.

VIITELOETELU

1. Desintegraator Tootmise OÜ [WWW] <http://www.desi.ee> (05.03.2015)
2. Õppeaine „Desintegraatorseadmed“ Loengu nr. 3 konspekt: „Ülevaade desintegraatorite põhilistest konstruktsiooniarendustest ja rootorite konstrueerimise alustest“. Tallinn, Tallinna Tehnikaülikool 1989, 84 lk
3. Hint, J. Ainete mehaanilise aktivatsiooni põhiprobleemidest. Tallinn: Eksperimentaalkombinaat „Bit“, 1976.
4. United States Patent and Trademark Office [WWW] <http://www.uspto.gov/> (10.03.2015)
5. Retsch GmbH [WWW] <http://www.retsch.com> (10.03.2015)
6. HOSOKAWA ALPINE Aktiengesellschaft [WWW] <https://www.hosokawa-alpine.com> (10.03.2015)
7. Teknomotor S.r.l [WWW] <http://www.teknomotor.com/> (10.03.2015)
8. iselGermani AG [WWW] <https://www.isel.com/> (10.03.2015)
9. Changzhou JinSanShi Mechatronics CO. ,LTD. [WWW] <http://www.jss-motor.com/> (10.03.2015)
10. Walter Perske GmbH [WWW] <http://www.perske.de/> (10.03.2015)
11. Sorotec GmbH [WWW] <http://www.sorotec.de/> (10.03.2015)
12. Kulu, P. Mehaanikainseneri käsiraamat. Tallinn, Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, 2012, 492 lk.
13. OEM Eesti OÜ [WWW] <http://www.oem.ee/> (07.04.2015)
14. Baltic Bolt OÜ [WWW] <http://www.balticbolt.ee> (01.05.2015)
15. Metallstar OÜ [WWW] <http://www.setaare-metall.ee> (01.05 2015)

GRAAFILINE OSA

1. Laboratoorne desintegraator DESI-11, tähis 2A124.00.00KJ
2. Korpus, tähis 2A124.01.00KJ
3. Tagasein, tähis 2A124.02.00KJ
4. Toru, tähis 2A124.02.10
5. Tagasein, tähis 2A124.02.01
6. Kaas, tähis 2A124.03.00KJ
7. Kaas, tähis 2A124.03.01
8. Hinge kronstein, tähis 2A124.04.00KJ