



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Masinaehituse instituut
Tootearenduse
õppetool

MES70LT

Argo Luus

HAAMERPINNATÖÖTLUSE TÖÖRIIST

Autor taotleb
tehnikateaduse magistri
akadeemilist kraadi

Tallinn
2014

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus. Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis..... juhendamisel

“.....”.....201...a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

“.....”.....201...a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... eriala/õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”.....201... a.

..... allkiri

TTÜ masinaehituse/mehhatroonika/soojustehnika/materjalitehnika
instituut

Tootearenduse
õppetool

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE

2014. aasta 2. semester

Üliõpilane: Argo Luus 122335 MATMM (nimi, üliõpilaskood)

Õppekava : Tootearendus ja tootmistehnika

Eriala: Tootearendus

Juhendaja: Dotsent Toivo Tähemaa (amet, nimi)

Konsultandid: Andrus Kesküla, Tallinna tehase tootmisdirektor, 53402385

Gunnar Ivalo, Saaremaa tehase tehnoloog, 53405532

MAGISTRITÖÖ TEEMA:

(eesti keeles) Haamerpinnatöötluste tööriist

(inglise keeles) Lychee surface finishing tool

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1	Sissejuhatus	10.03.2014
2.	Haamerpinna käsitööriist	24.03.2014
3.	Haamerpinna tööriista kinnituse projekteerimine, joonised	07.04.2014
4.	Vajaliku võimsuse arvutamine, tugevuskontroll	21.04.2014
5.	Omahinna kalkulatsioon, koostamis-, hooldus- ja seadistamisjuhend	05.05.2014

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:

Töödeldava materjali analüüs, haamerkäsitööriista kinnitamise võimalused olemasolevale seadmepargile, tööriista kinnituse projekteerimine, tööparameetrite dimensioneerimine, tööriista töökindluse tagamine rasketes töötingimustes, võimsusarvutused, tööriista kinnituse tugevuskontroll, omahinna kalkulatsioon, koostamis- hooldus- ja seadistamisjuhend.

Täiendavad märkused ja nõuded:

Töö keel:

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt

Töö esitamise tähtaeg

Üliõpilane /allkiri/ kuupäev.....

Juhendaja /allkiri/ kuupäev.....

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE	3
SISUKORD.....	4
EESSÕNA.....	6
1. SISSEJUHATUS.....	7
2. HAAMERPINNATÖÖTLUSE KÄSITÖÖRIIST.....	14
2.1 Hammashaamer käsitööriist	14
2.2 Käsiseade haamerpinna töötlemiseks	15
3. HAAMERPINNA TÖÖRIISTA KINNITUSE PROJEKTEERIMINE	19
3.1 Üldnõuded	19
3.2 Lihvliin	20
3.3 Haamerpinnatöötlemise töötlemisprotsess lihvliinis	22
3.4 Tööriista kinnitusplaat	23
3.5 Kinnitusplaadi lõplikud mõõtmed	24
3.6 Tööparameetrite väljaselgitamine	25
3.7 Haamerpinnatöötlemise tootmismahd lihvliiniga töötlemisel.....	27
3.8 Rulli toed	29
3.9 Kinnitusplaadi projekteerimine	31
4. TÖÖTLUSRULLI LAAGRITE VALIK.....	36
4.1 Teljesuunaline jõud	37
4.2 Radiaaljõud.....	38
4.3 Laagrite tihendus	41
4.4 Laagri eluiga.....	43
5. VAJALIKU VÕIMSUSE ARVUTUS	45
5.1 Mootori pöörlemissageduse vähendamine	47
5.2 Käivitamiseks vajaminev võimsus	47
5.3 Orienteeruv käivitusae.....	48
6. TUGEVUSKONTROLL.....	50
6.1 Tööriista kinnituse tugevuskontroll mootori käivitamisel.....	51
6.2 Tööriista kinnituse tugevuskontroll tööolukorras.....	54
6.3 Kontrollarvutus.....	56
7. OMAHINNA KALKULATSIOON	58
8. KOOSTAMIS-, HOOLDUS - JA SEADISTAMISJUHEND.....	60
8.1 Tööriista transportimine	60
8.2 Koostamine.....	60
8.3 Tööriista vahetus	61
8.4 Tööriista seadistamine	62

8.5 Hooldusjuhend.....	63
KOKKUVÕTE	64
SUMMARY	67
KASUTATUD KIRJANDUS	71
LISAD	72
Lisa 1. SKF laagri valiku maatriks	73
Lisa 2. 42CrMo4 materjali spetsifikatsioon	74
Lisa 3. Staatilise o-rõnga mõõtmised.....	75
Lisa 4. Dünaamilise o-rõnga mõõtmised	76
Lisa 5. Meeterkeermega poltide pingutusmomendid	77
Lisa 6. SKF laagri eluea arvutus	78
Lisa 7. HT01.00.00 - Haamerpinnatöötuse tööriist.....	79
Lisa 8. HT01.00.01 - Rulli tugi	80
Lisa 9. HT01.00.02 - Töötlusrull.....	81
Lisa 10. HT01.00.03 - Laagrikaas.....	82
Lisa 11. HT01.00.04 - Polt M12x1,75	83
Lisa 12. HT01.00.05 - Distantspuks.....	84
Lisa 13. HT01.00.06 - Kummipuks	85
Lisa 14. HT01.00.07 - Tsentreeriv puks.....	86
Lisa 15. HT01.00.08 - Kinnitus.....	87
Lisa 16. HT01.01.00 - Kinnitusplaat.....	88
Lisa 17. HT01.01.01 - Plaat	89
Lisa 18. HT01.01.02 - Veesuunaja L130	90
Lisa 19. HT01.01.03 - Veesuunaja L120	91

EESSÕNA

Lõputöö teema algatus tuli ettevõttelt Saare Dolomiit-Väokivi OÜ, kes tegeleb looduskivi kaevandamise, töötuse, paigalduse ning hooldusega. Konsultatsioonide ning algandmete kogumisega abistasid Tallinna tehase tootmisdirektor hr. Andrus Kesküla ja Saaremaa tehase tehnoloog hr. Gunnar Ivalo.

1. SISSEJUHATUS

Lõputöö teema on seotud ettevõtte Saare Dolomiit-Väokivi OÜ, uue nimega “Reval Stone”, vajadusega suurendada haamerpinnatöötusega (lychee surface) looduskivist fassaadiplaatide ja müürikivide tootmismahu. Haamerpinnatöötuse tulemusena tekitatakse kivile aegunud tekstuuri. Saare Dolomiit-Väokivi tegeleb looduskivi töötlemise ja paigaldamisega ning on üks vanemaid loodusliku kivi kaevandajaid ja töötlejaid Eestis. Ettevõtte loeb oma tegevuse alguseks 01.10.1967 a. Kivi töötlemise tehased asuvad Saaremaal ja Tallinnas. Paekivi kaevandatakse Tallinna Vao karjääris. Dolomiiti kaevandatakse Harjumaal Vasalemma, Raplamaal Orgita, Saaremaal Kaarma ja Selgase karjäärides (sele 1.4).

Looduskivi leiab kasutust seinakividenä, plaat- fassaadidenä, samuti kasutatakse aedade, teede ning kaminäte valmistamisel [1]. Reval Stone pakub suurematele kiviplaadi tellimustele saetud, harjatud ning lihvitud pinnatöötlust. Erineva pinnatöötusega looduskivid leiavad kasutust arhitektuuriliste rajatiste sise- ja välisilmekujundamisel. Antud hetkel suudetakse käsitsi töödelda haamerpinnatöötusega kiviplaate ja müürikivisid, töötades kahes vahetuses maksimaalselt 100 m² kuus, selletõttu on toote hind kõrgem võrreldes automatiseeritud lahendustega.

Haamerpinnatöötlust saab töödelda Tallinna paekivile “Reval” ning “Orgita” ja “Kaarma” dolomiitidenä. Tõõriista võib kasutada ka graniidi ja marmori töötlemiseks, kuid ei tasu ära, sest odavam on tellida töödeldud kivi Hiinast. Alternatiivina võimalik saavutada haamer- pinnatöötlus kivi põletamise (flamed surface) või liivapritsiiga (sand-blasted surface) töötlemise teel. Eelnimetatud seadmete kasutuselevõtuks oleks vajalik teha lisakulutusi nii seadmepargi uuendamise, tehase ümber planeerimise kui ka ohutu töökeskkonna loomiseks.

Haamerpinnatöötuse tootlikkuse suurendamiseks töödeldakse kivi lihvliinis, kus haamertõõriist (bush hammer roller) kinnitatakse spindli flantsi külge. Selleks projekteeritakse olemasolevale lihvliinile haamerpinnatöötuse tõõriista kinnitus. Projekteerimise käigus tagatakse seadme tööohutus, tõõriista töökindlus ja toodangu kvaliteet. Ettevõttel on olemas haamerpinna tõõriist mida on kasutatud lihvliinis. Tõõriista tööpõhimõte on tõestatud, kuid kehva töökindluse tõttu ei olnud võimalik tõõriistaga tööd teha. Haamerpinnatöötuse tõõriista kinnituste projekteerimisel kasutatakse 3D modelleerimis - ja joonestusprogrammi “Solid Works ” ning tugevusarvutuste tegemiseks kasutatakse LEM- analüüsi tarkavara “ANSYS”.

Paekivi (CaCO_3) on tekkinud mere madalas, rannalähedases osas. Tekkelt kuulub paekivi biokeemiliste setendite hulka ja on kujunenud siinsetes meredes elanud organismide elutegevuse kaasabil [2].



Sele 1.1 Vão paekivi [1]

Dolomiidi ($\text{Ca Mg} (\text{CO}_3)_2$) lähtematerjaliks on peamiselt laguunide setted, sest tema peamise komponendi, samanimelise mineraali sadestumiseks vajalik kõrge magneesiumikontsentratsioon tekib vee aurumisel. Dolomiidi sagedaimad lisandid on kaltsiit, kips, kvarts, kaltsedon, raudoksiid ja -hüdroksiidid. Purdmaterjali ja organismide jäänuseid on dolomiidis vähem kui lubjakivis. [2]



Sele 1.2 Lihvitud „Kaarma“ dolomiit [1]



Sele 1.3 Lihvitud „Orgita mix“ dolomiit [1]



Sele 1.4 Reval Stone tehaste ja karjääride asukohad [1]

Tootmisprotsess:

1. Kivi kaevandamine
2. Toormaterjali transport tootmisüksusesse.
3. Kiviplokkide lõikamine ülemõõdus toorikuteks- kus paksusesse jäetakse 2-3 mm, laiusse 10mm lisamaterjali.
4. Pinnatöötlemine
5. Mõõtu lõikamine
6. Pakendamine
7. Paigaldus

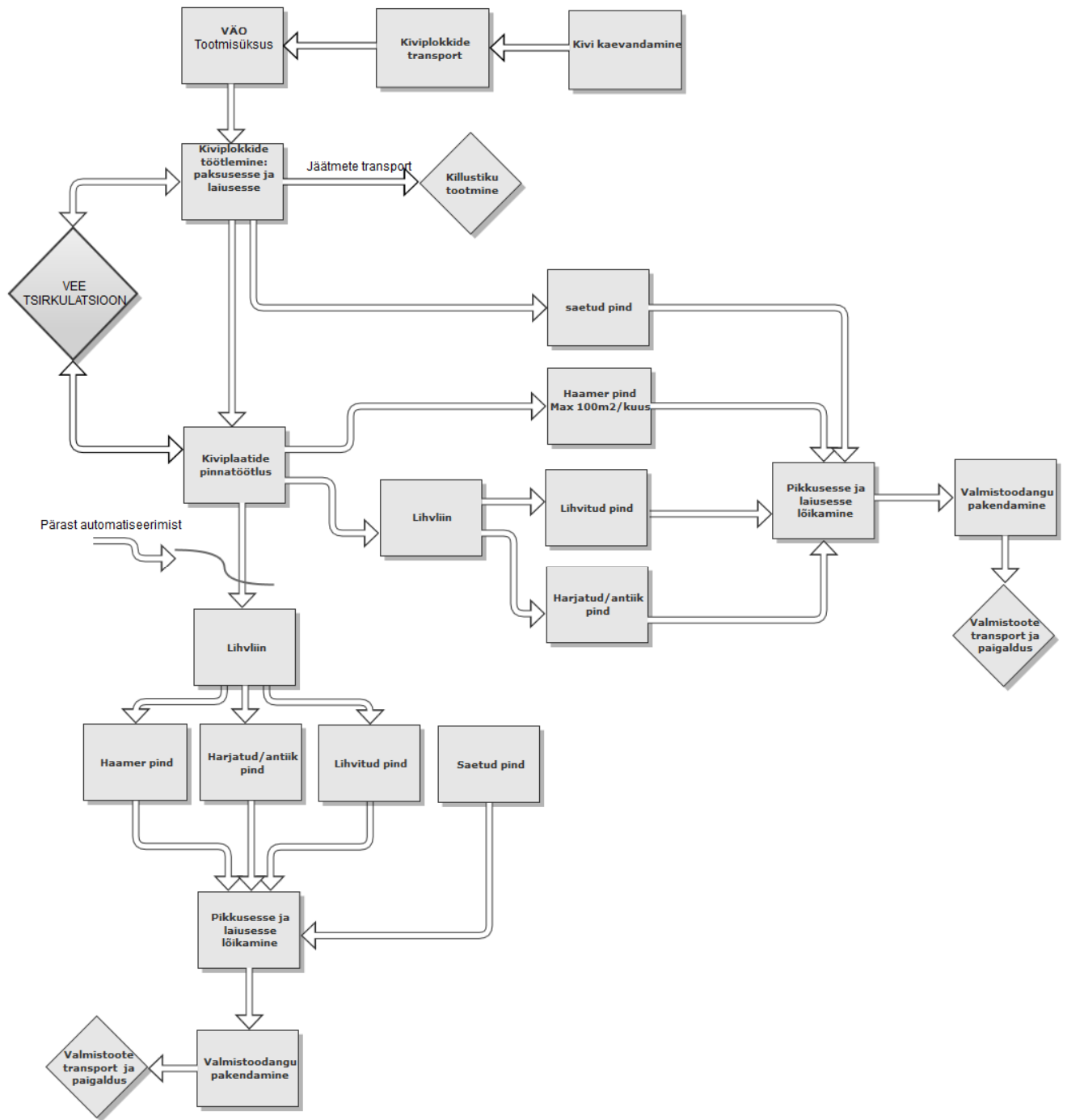
Kuna toormaterjali plokk on ebamäärase kujuga siis kiviplaadid on tavaliselt vabapikkusega ja lõigatakse laiusesse pärast pinnatöötlemist. Tootmisprotsessi käiku enne ja pärast automatiseerimist on võimalik jälgida sele 1.7.



Sele 1.5 Dolomiidi kiviplokk [1]



Sele 1.6 Paekivi toormaterjali plokid [1]



Sele 1.7 Tootmisprotsessi flowchart [3]

Tabel 1.1 Paekivi ja dolomiidi füüsikalised omadused [1]

	Nimetus	Testi standard	“Reval” paekivi	“Orgita” dolomiit	“Kaarma” dolomiit
1	Paindetugevus, MPa	EN 12372	17,4	16,3	8,3
2	Survetugevus, MPa	EN 13364	101	65	48
3	Veeimavus atm. rõhu, %	EN 13755	0,9	4,8	8,9
4	Kapillaarne veeimavus, g/m ²	EN 1925	1,654	16,5	89,5
5	Tihedus, kg/m ³	EN 1936	2650	2390	2220
6	Poorsus, %	EN 1936	2,6	15,7	21,9
7	Külmatsükli, tsükliit	EN 12371	48	48	48
8	Termotöötlus, massi muutus %	EN 14066	0,004	0,08	0,06
9	Kulumiskindlus, mm	EN 12524	19,5	24,5	19,5
10	Hõõrdumine, kuiv/märg pind	EN 14231	55,7/35,6	61,5/51,	68,1/57,9

Kivi kõvadust mõõdetakse Mohsi skaalal, mis on etalonmineraalide kõvadusel põhinev suhtelise kõvaduse määramise skaala. Kõvaduse all peetakse silmas mineraali vastupanu kriimustamisele. Pehmema mineraaliga ei ole võimalik kriimustada kõvemat mineraali.

Astmikul on kümme astet, millele vastavad kümne tuntud mineraali absoluutsed kõvadused.

Tabel 1.2 Mohsi skaala [4]

Mineraal	Suhteline kõvadus	Vickersi kõvadus, HV
Talk(seebikivi, tina)	1	2,4
Kips (sool, alumiinium, vask)	2	36
Kaltsiit (paekivi, dolomiit, marmor)	3	109
Fluoriit(plaattina, klaas, raud)	4	189
Apatiit (aspest, mangaan, teras)	5	536
Ortoklass (hematiit, magnetiit)	6	795
Kvarts (graniit, räni)	7	1120
Topaas(viil)	8	1427
Korund (kroom, boor)	9	2060
Teemant	10	10 060

Kuna Mohsi skaala on ebatäpne - paekivi, dolomiit ja marmor on ühes kõvadusastmes, kasutatakse kuni 200MPa survetugevusega kivimite klassifitseerimiseks vene teadlase M. M. Protodjakonovi klassifikatsiooni (sele 1.8).

Antud klassifikatsioon leiab kasutust mäemasinate töölusinstrumentide projekteerimisel ja valikul. Kivimid jagatakse vastavalt klassifikatsioonile 10-sse klassi.

Kõvadustegur „f“, mis on määratud kivimi survetugevuse alusel (tabel 1.1) ning MPa korral jagatakse 10-ga, määrab kivim tugevuse alates ülitugevatest ($f > 20$, I klass) kuni ujupinnaseni ($f < 0,3$, X klass) [4]

Kivi kõvadus määrab tööriistade töötlemisparameetrid, mis määratakse töö käigus, sest iga kiviplokk on mingil määral erinevate omadustega. Näiteks kuivanud kiviplokk on kõvem kui värskest karjäärast võetud kiviplokk, sest kivi on niiskust täis ja mineraalid on pehmemad.

<i>Category</i>	<i>Hardness Level</i>	<i>Description of Rock</i>	<i>Rock Hardness f</i>
I	Highest	The hardest, toughest and most dense quartzites and basalts.	20
II	Very hard	Very hard granitic rocks, quartz porphyry, siliceous schist, weaker quartzites. Hardest sandstone and limestone.	15
III	Hard	Granite (dense) and granitic rocks. Very hard sandstones and limestones. Quartz veins. Hard conglomerate. Very hard iron ore.	10
IIIa	Hard	Limestones (hard). Weaker granites. Hard sandstones, marble, dolomites and pyrites.	8
IV	Rather hard	Ordinary sandstone. Iron ore.	6
IVa	Rather hard	Sandy schists. Schistose sandstones.	5
V	Moderate	Hard shale. Non-hard sandstones and limestones. Soft conglomerates.	4
Va	Moderate	Various schists (non-hard). Dense marl.	3
VI	Rather soft	Soft schists. Very soft limestones, chalk, rock-salt, gypsum. Frozen soil, anthracite. Ordinary marl. Weathered sandstones, cemented shingle and gravel, rocky soil.	2
VIa	Rather soft	Detritus soil. Weathered schists, compressed shingle and detritus, hard bituminous coal, hardened clay.	1.5
VII	Soft	Clay (dense). Soft bituminous coal, hard alluvium, clayey soil.	1.0
VIIa	Soft	Soft sandy clay, loess, gravel.	0.8
VIII	Earthy	Vegetable earth, peat, soft loam, damp sand.	0.6
IX	Dry Substances	Sand, talus, soft gravel, piled up earth, substances extracted coal.	0.5
X	Flowing	Shifting sands, swampy soil, rare-fractioned loess and other rare-fractioned soils.	0.3

Sele 1.8 M. M. Protodjakonovi klassifikatsioon [4]

2. HAAMERPINNATÖÖTLUSE KÄSITÖÖRIIST

Haamerdatud pind (litchi surface) leiab põhiliselt kasutust välitingimustes müürikivide ja fassaadiplaatide puhul, kuid sobib ka sisetingimustesse (sele 1.12). Tuginedes ettevõtte kogemustele ei ole soovitatav kasutada haamerpinnatöötlust horisontaalsetel välispindadel treppide ja põrandaplaatidena, sest vesi külmub kiviplaadile töödeldud süvendites ja külmatsükliid lõhuvad kivipinda oluliselt rohkem võrreldes saetud või lihvitud pinnaga.

2.1 Hammashaamer käsitööriist

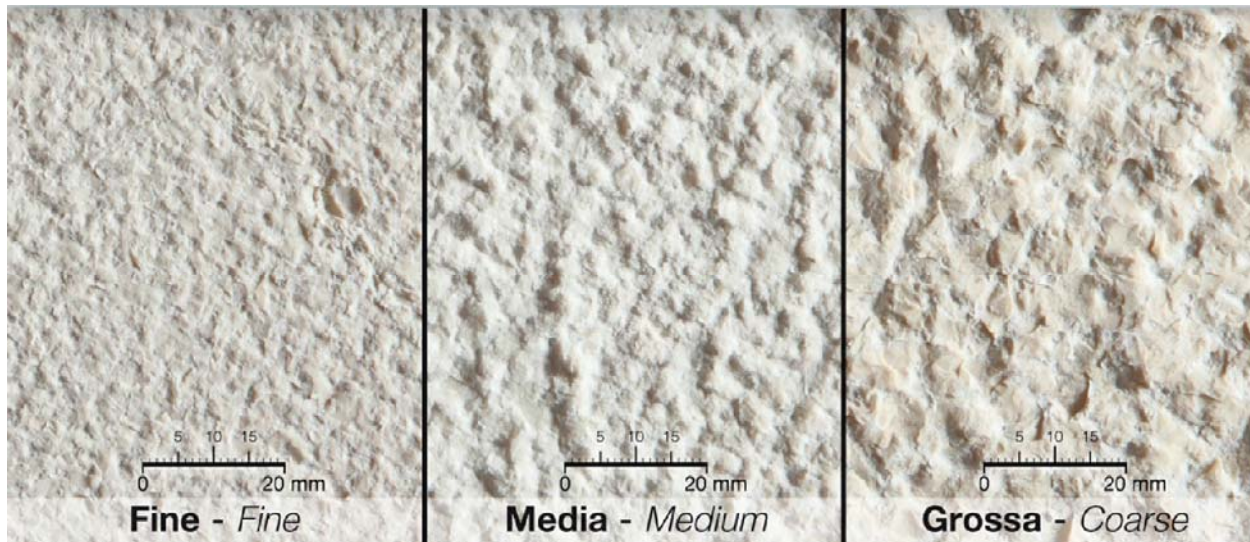
Hammashaamer on laia lameda löögitalaga raiumisriist (sele 2.1), millel on löögitalal teravikud. Teravad hambad asetsevad löögitalal ühtlaselt, need võivad erineda tiheduse ja suuruse poolest. Hammashaamer meenutab välimuselt lihahaamrit. Hammashaamrit kasutatakse kivipinna silumiseks. Jämedamaid hambaid on vähem ja selline haamer jätab jämedama raidejälje. Peenikesi hambaid on rohkem ja need asetsevad tihedamalt; selline haamer jätab peenema raidejälje [6].



Sele 2.1 Hammashaamer tööriist [6]

2.2 Käsiseade haamerpinna töötlemiseks

Haamerpinna tööriista töötlusrull on diameetriga 51 mm ja laiusega 40 mm (sele 2.3). Töötlusrullid (bush hammer roller) on olemas kas 25, 30 või 40 volframkarbiidiga kaetud koonuse kujuliste hammastega. Hammaste kõrguseks on 3 mm. Antud töös on valitud 30- ne hambaga tööriist, millega saavutatakse keskmise karedusega „Medium“ pinnatesktuur (sele 2.2).



Sele 2.2 Haamerpinnatöötamise erinevad tekstuurid [7]

Survetöötamise tulemusena tekkivate süvendite suurus sõltub töötlusrulli koonuste suurusel, arvust ja töötlemissügavusest (sele 2.2). Lähtudes tööpraktikast on dolomiitide puhul võimalik saavutada maksimaalne töötlemissügavus 2,5 mm, paekivi puhul loetakse maksimaalseks sügavuseks 1 mm. Nimetatud parameetrite ületamisel hakkab kivi mõranema, millele järgneb purunemine.



Sele 2.3 „Medium“ haamerpinna töötlusrull [8]

Töötusrullid on kinnitatud taldrikukujulisele plaadile (bush hammer plate) diameetriga 140 mm (sele 2.5). Kinnitusplaadile on sisse lõigatud ristküliku kujulised avad, millesse positioneeritakse plaadist läbi ulatuvad töötusrullid. Kinnitusplaat kinnitatakse mootori võllile plaadi tsentrisse keermestatud avaga.

Kiviplaadi töötlemisel surutakse taldrikust välja ulatuvate rullide koonused vastu kivi pinda. Taldriku pöörleva liikumise tulemusena hakkavad töötusrullid mööda kivipinda rulluma, mille tulemusena tekib kivi pinna purunemine.

Ühtlase pinna tekstuuri saavutamiseks liigutakse käsitööriistaga kivipinnal korduvalt edasi-tagasi mööda sikk -sakk trajektoori. Dolomiidi töötlemisel tekkivad süvendid on 1-2,5 mm ning paekivi puhul 0,5- 1mm sügavused. Töötusrulli elueaks loetakse olenevalt kivist 1500 -3000 m².



Sele 2.4 Haamer pinnatöötlus “Orgita” dolomiidil vasakul ja “Reval” paekivil -paremal [1]



Sele 2.5 Haamerpinna töötlemise seade “Stona L-4“ [7]

Tabel 2.1 Käsitööriista „Stona L-4“ andmed [7]

Nimetus	Ühik	
Pöörlemissagedus	min ⁻¹	1000-3500
Võimsus	kW	1,5
Kinnitusplaadi välimine diameeter	mm	140
Töötusrullide arv	tk	4
Töötusrulli diameeter	mm	51
Koostatud töötusrulli mass	kg	0,4
Koonuste arv perimeetril	tk	30
Koonuse kõrgus	mm	3
Koonuse diameeter	mm	5
Laagri välisvõru diameeter-D ₁	mm	32
Laagri maksimaalne pöörlemissagedus	min ⁻¹	15 000

Suuremad ja massiivsemad kiviplaadid, mis on laiemad kui 600 mm töödeldakse käsitsi taldriklihvijaga (sele 2.6). Kiviplaadi pinnal olevate nurkade töötlemiseks peab tööriista tugipinda suurendama, sest tööriist ulatub üle kiviplaadi servade. Tööriista kontaktpinna suurendamiseks jaotatakse töötusrullid kinnitusplaadi erinevatele raadiustele.



Sele 2.6 Haamerpinna tööriist “VOR“ taldriklihvijale [7]

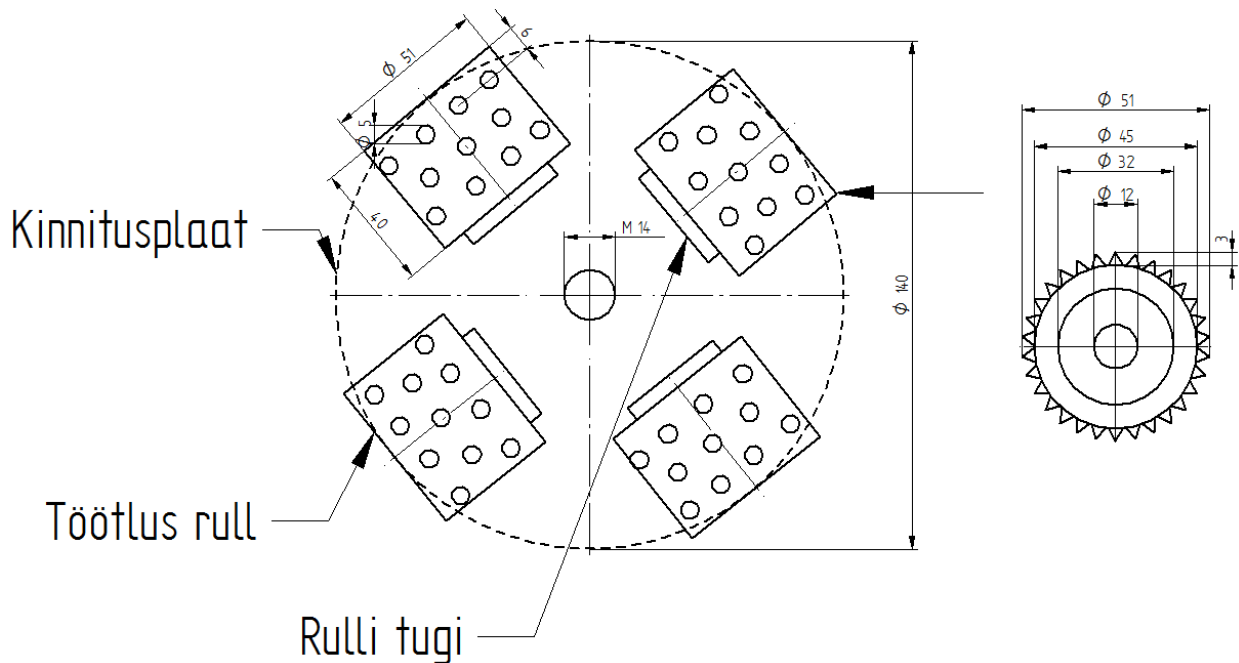
Analüüsides ettevõttel olevaid seadmeid jõuti järeldusele, et haamerpinna tootlikkuse suurendamiseks kinnitatakse haamerpinna töötlusinstrument lihvliini vertikaalselt asetseva spindli võlli flantsi külge (sele 3.6).

Problemaatiliseks kohaks tööriista ümberkohandamisel on lihvliini erinevus võrreldes käsitööriistadega. Nimelt töödeldakse lihvliinis kivimit märjalt ja selle tõttu on vajalik pidev tööriista puhastus, sest töötuse käigus tekkiv kivitolm koos mikrokildudega kleepub töötlusrullide külge suurendades vibratsiooni ja vähendades laagrite eluiga.

Ettevõttes on olemas lihvliini kinnitatav haamerpinna tööriist kuid problemaatilisteks kohtadeks on tööriista puhastus ja pöörlemissagedus mida antud hetkel ei saa reguleerida.

3. HAAMERPINNA TÖÖRIISTA KINNITUSE PROJEKTEERIMINE

Lihvliinile projekteeritava haamertööriista tööpõhimõte ja konstruktsioon jääb võrreldes käsitöömasinaga samaks. Olemasolev haamerpinnatöötluste käsitööriist koosneb kinnitusplaadist, rulli toest ja töötlus-rullist (sele 3.1). Käsitööriist on üles moodistatud ettevõttes.



Sele 3.1 Käsitööriista haamerpinna tööriista eskiis (pealtvaade)

3.1 Üldnõuded

1. Haamerpinnatöötlustusega kiviplaati on võimalik töödelda rohkem kui 100 m² kuus.
2. Tööriista on võimalik kinnitada lihvliinile „Sheng Ya DA 157“.
3. Töödeldud pind on kvaliteetne.
4. Tööriist on pika tööeaga.
5. Tagada tööriista ohutus.

Tabel 3.1 Lihvliini andmed [5]

Võrreldav parameeter	Ühik	„Sheng Ya DA 157“
Pikkus	m	5
Laius	m	2,5
Kõrgus	m	2.5
Töödeldava kiviplaadi laius	mm	300-650
Töödeldav paksus	mm	10-80
Lihvimispead	tk	5
Seadistatavad lõikepead	tk	2
Lihvimispea maksimaalne kõrgus	mm	120
Transportööri kiirus	m/min	0,2 -2
Transportöörilindi laius	mm	720
Vee tarbimine	l/min	250
Spindli võlli diameeter	mm	100
Mootori nr 1 ja 2 pöörlemissagedus	min ⁻¹	1460
Mootorite nr 1 ja 2 võimsus	kW	15
Mootorite nr1 ja 2 tsentrite vahe	mm	650

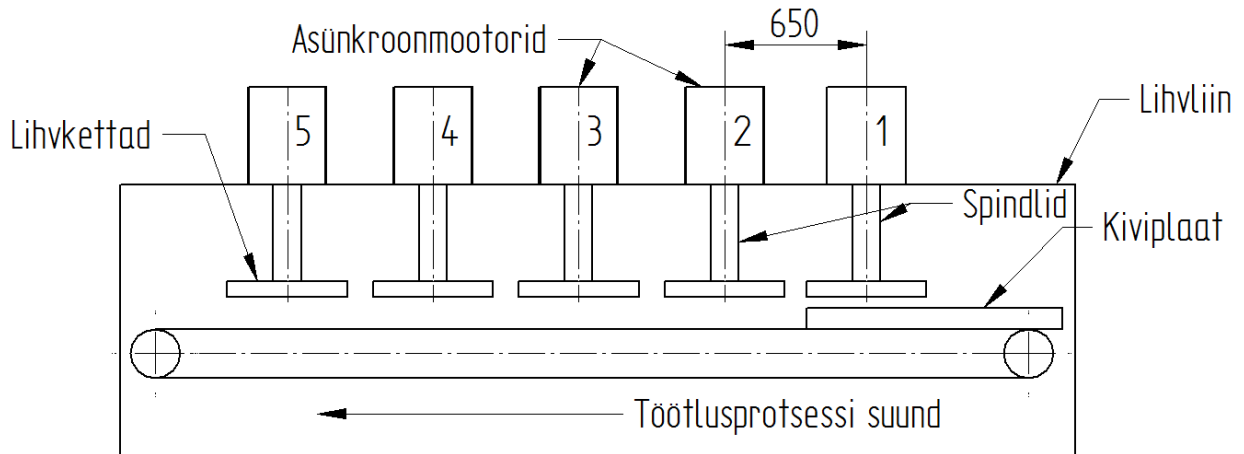
Projekteerimist mõjutavad piirangud:

1. Töödeldav kivim
2. Lihvimispeade mootorite tsentrite vahe - 650 mm
3. Lihvimispea kõrgus 120 mm
4. Mootori võimsus -15 kW
5. Mootori pöörlemissagedus – 1460 min⁻¹
6. Haamer tööriista rulli laagrite pöörlemissagedus -15 000 min⁻¹ (tabel 2.1)

3.2 Lihvliin

Lihvliini eesmärk (sele 3.2 ja) on lihvida kiviplaadi paksus tolerantsini +/- 0,2 mm. Maksimaalse lausega kiviplaati (660 mm) töödeldakse kahes etapis, selle kaudu vähendatakse lihvimiseks vajalikku võimsust (sele 3.4). Lihvliinile on kinnitatud asünkroonmootorid, millede pöörlemissagedusi ei ole hetkel võimalik reguleerida.

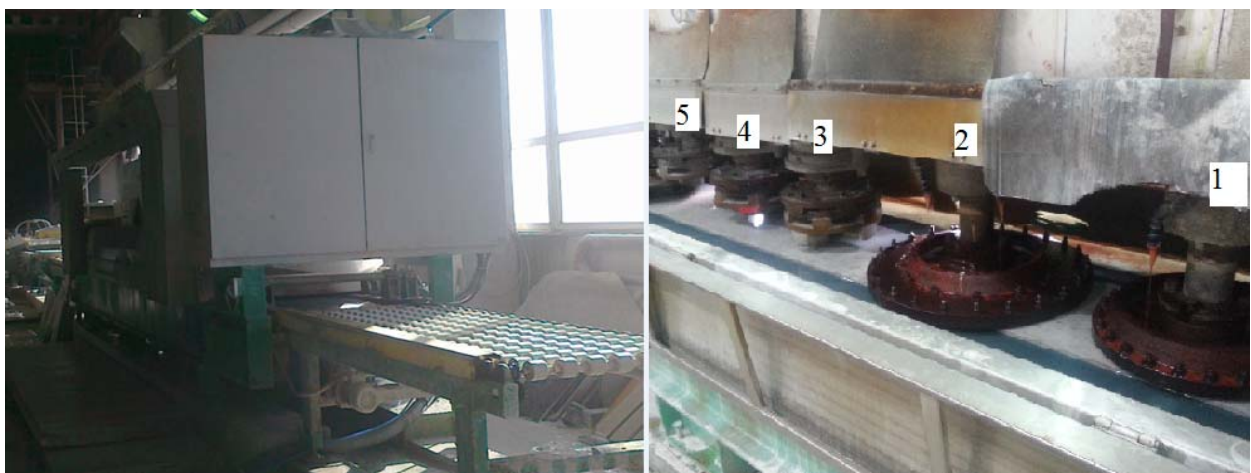
Mootori nr1 võlli flantsi külge on kinnitatud teemantlihvketas diameetriga 550 mm ning teise mootori külge 635 mm diameetriga lihvketas (sele 3.4). Mootoreid 3, 4 ja 5 kasutatakse peenlihvimiseks ja poleerimiseks. Kõrguse reguleerimine toimub pneumaatiliselt ja töötlemise ajal saab reguleerida ainult tööriistale rakenduvat survet, mistõttu on tööriist pideva koormuse all. Selle tõttu ei ole otstarbekas asendada poleerimistööriista haamerpinna tööriistaga.



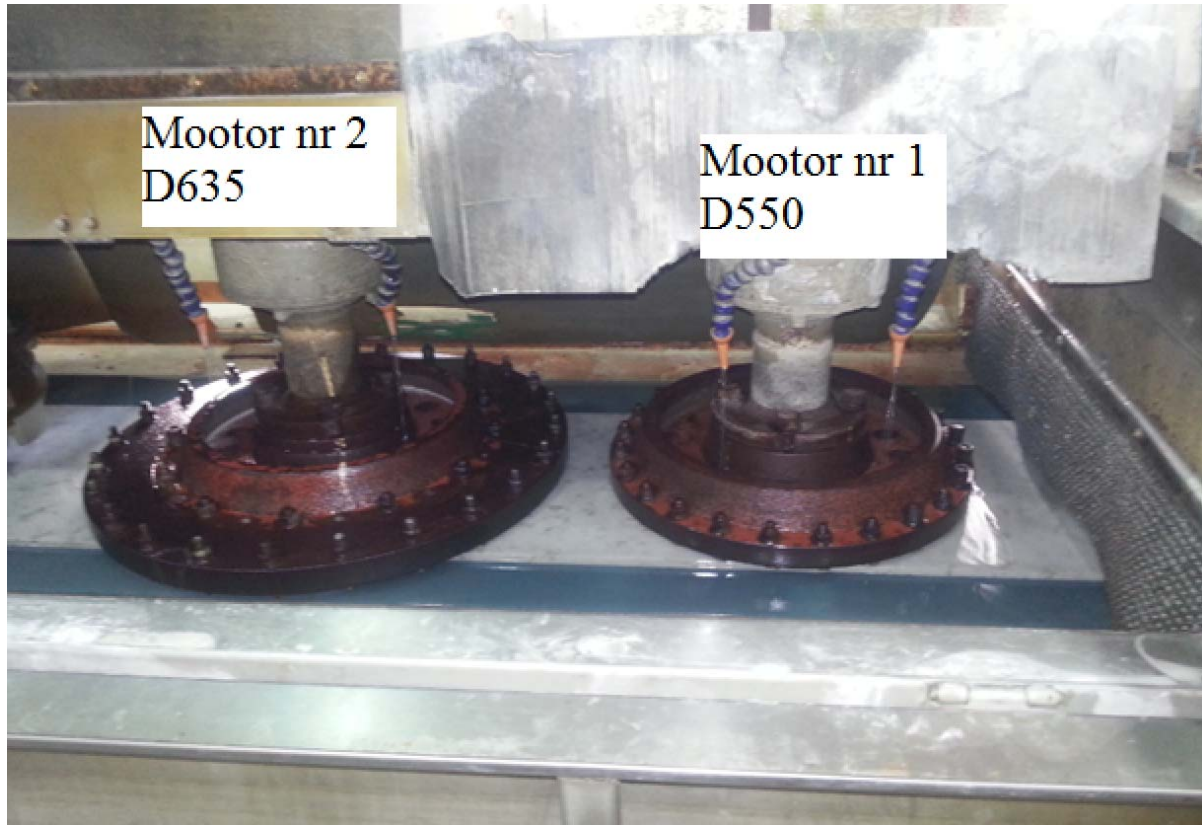
Sele 3.2 Lihvliini põhimõtteline skeem

Mootorite nr 1 ja 2 kõrgust on võimalik positsioneerida 0,2 mm täpsusega. Positsioneerimine teostatakse keermesülekandega. Keermesülekande juhtimine on tagasisidega ehk andur annab kontrolleriile tagasisidet positsiooni muutuste kohta ja tagab selle kaudu täpse tööriista kõrguse seadistuse.

Kuna haamertööriista töötlemissügavus peab olema täpselt reguleeritav, kinnitatakse haamerpinna tööriist mootori nr 2 võlli flantsi külge.



Sele 3.3 Lihvliin

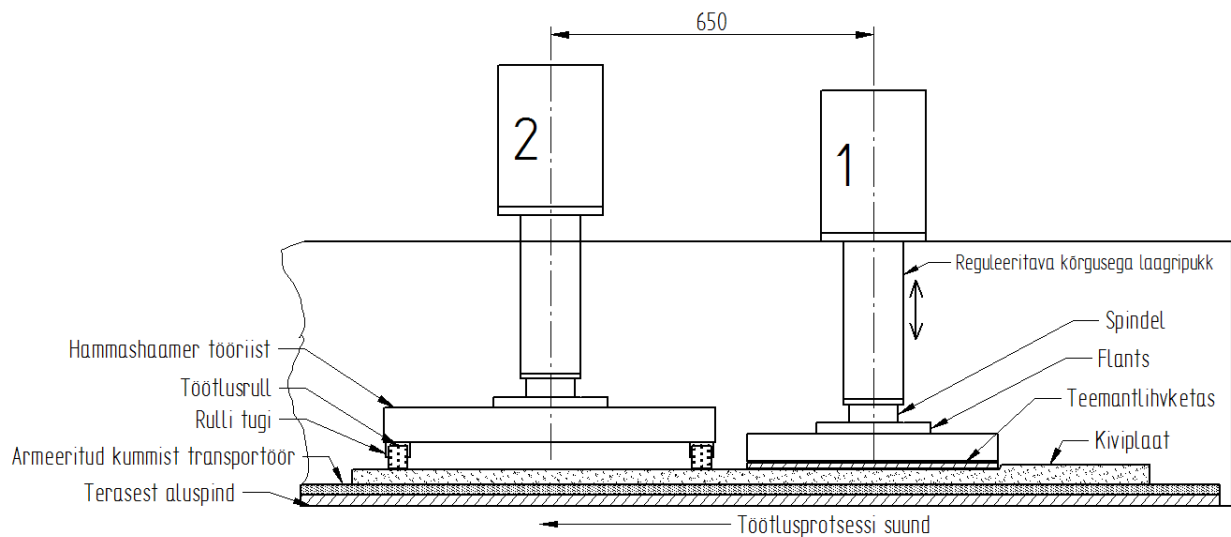


Sele 3.4 Lihvliini teemantlihvkettagad

3.3 Haamerpinnatöötamise töötlemisprotsess lihvliinis

Kivi toorik on valmistatud varuga ja lihvitakse enne haamertöötlust paksusesse. Esmalt asetatakse toorik transportöörilindile, mis viib tooriku töötsooni. Seejärel kalibreeritakse kivipind mootor nr 1 külge kinnitatud teemantlihvkettaga. Haamerpind töödeldakse mootor nr 2 külge kinnitatud haamertööriistaga (sele 3.5). Pärast pinnatöötlemist kiviplaad töödeldakse lõplikku mõõtu, millele järgneb kiviplaadi puhastamine ja pakendamine.

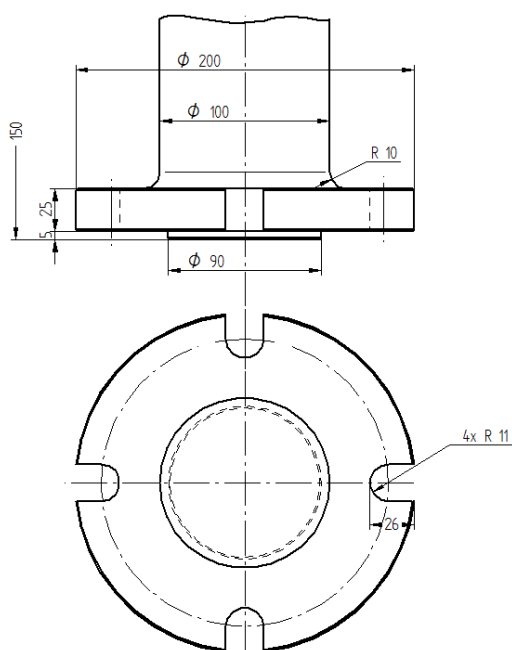
Ettevõttes on olemas lihvliini kinnitatav haamerpinna tööriist millega on töötlemisprotsess testitud. Tööriista ei kasutata, kuna problemaatilisteks kohtadeks on töötlemisrulli puhastamine ja kinnitusplaadi pöörlemissageduse reguleerimine. Selle tõttu on tööriista töökindlus kehva ja töödeldud kivipinna kvaliteet ei ole tagatud.



Sele 3.5 Lihvliini kinemaatiline skeem

3.4 Tööriista kinnitusplaat

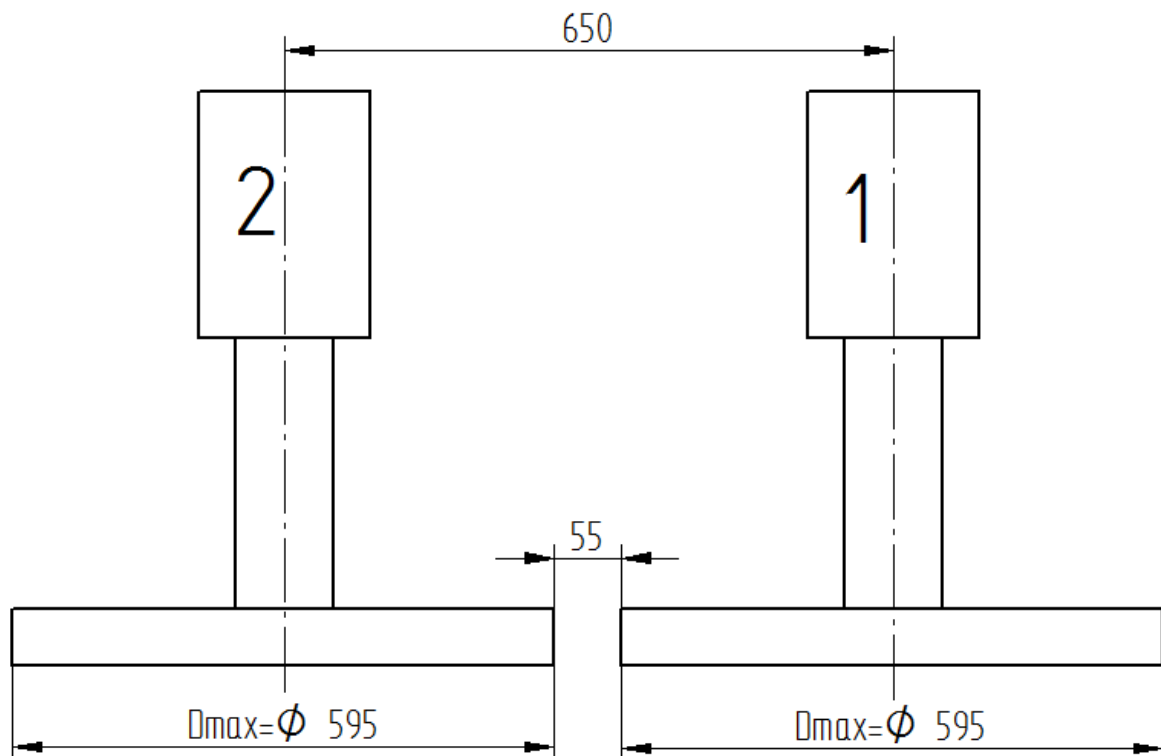
Käsitööriista küljes olevat haamerpinnatöötuse tööriista, diameetriga 140mm, ei saa paigaldada otse lihvliini spindli võlli flantsi külge (sele 3.6). Selle tõttu projekteeritakse suurem kinnitusplaat koos töötusrullile sobivate rulli tugegedega. Lahenduse väljatöötamisel arvestatakse lihvliini mootorite 1 ja 2 spindli võllide kinnituste tsentrite vahega 650 mm. Tsentrite vahest sõltub maksimaalsete kinnitusplaatide mõõtmed (sele 3.7)



Sele 3.6 Lihvliini spindli flants [3]

Kahe kinnitusplaadi vahele jäetakse 55 mm ruum. Juhuks, kui töödeldaval kiviplaadil on sees mõra ja tööriista sügavus seadistatakse valesti ei kiilu purunenud kivitükk kahe plaadi vahele. Samuti on välistatud kinnitusest lahti tulnud töötlusrulli plaatide vahele kinni kiilumine. Töötlusrull on laiusega 40 mm ja diameetriga 51 mm (tabel 2.1). Praktikast lähtudes lükkab tööriist purunenud kivikillud töötsoonist välja

Kinnitusplaadi maksimaalne diameeter $D_{max} = 650 - 55 = 595$ mm.



Sele 3.7 Lihvliini maksimaalne kinnitusplaadi läbimõõt.

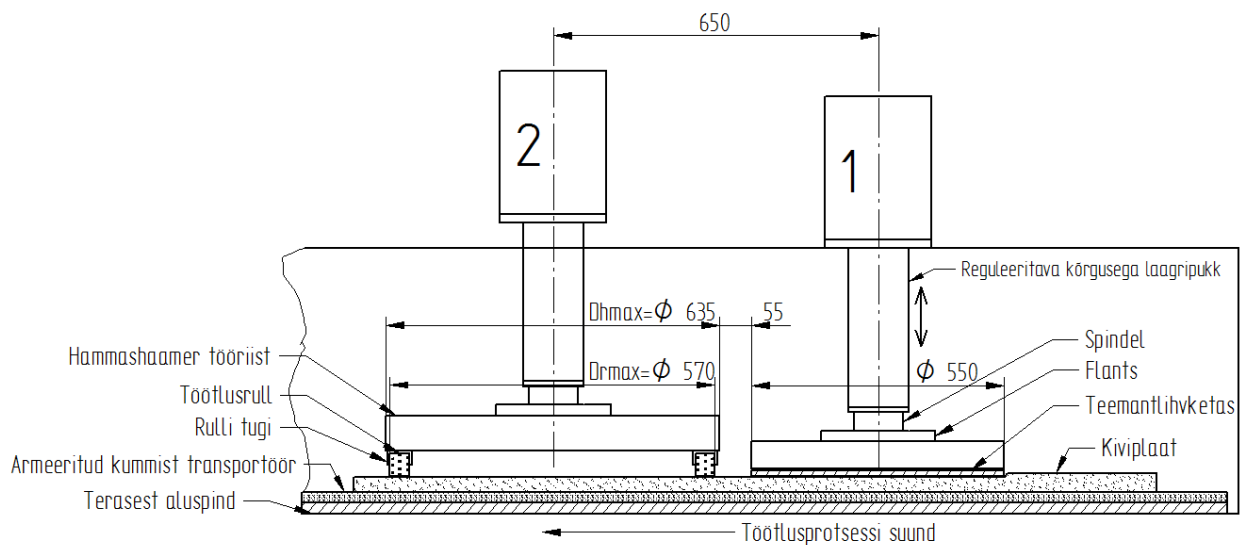
3.5 Kinnitusplaadi lõplikud mõõtmed

Ettevõttel on olemas teemantlihvketas läbimõõduga 550 mm, mis on kinnitatud mootori nr 1 spindli võllile. Kuna suuremat kiviplaati kui 550 mm haamerpinnaga ei toodeta, suurendatakse haamerpinna kinnitusplaadi gabariitmõõdet. Sellest tulenevalt lisandub haamertööriista kinnitusplaadi maksimaalsele diameetrile 45 mm. $(595 - 550) D_{hmax} = 595 + 40 = 635$ mm.

Töödeldava kiviplaadi maksimaalne laius kujuneb väiksema kalibreerimisplaadi laiusest milleks on 550 mm.

Töötlusrulli välimised küljed projekteeritakse kiviplaadist laiemaks, et saavutada ülekatet -see tagab pinnatöötluste kvaliteedi.

Tööriistal oleva koonuse kaugus töötlusrulli välimisest küljest on 6 mm (sele 3.1). Kinnitusplaadi küljes olevate rullidele jäetakse ühepoolseks ülekatteks 4 mm. Seega lihviini kinnitatava haamertööriista kinnitusplaadi töötlusrulli välimiste külgede diameeteriks kujuneb $D_{rmax}=550+(2 \cdot (4+6)) = 570 \text{ mm}$.



Sele 3.8 Lõplikud kinnitusplaatide läbimõõdud

3.6 Tööparameetrite väljaselgitamine

Tööparameetreid selgitatakse välja kasutades käsitööriista ja lihviini töötlusparameetreid (tabel 2.1 ja tabel 3.1). Haamerpinnatöötlusteööriista projekteerimist piiravad põhiliselt töötlusrullid olevad laagrid ja rasked töötingimused. Mida suuremal kinnitusplaadi diameetril töötlusrullid asuvad, seda suuremaks muutub nende pöörlemissagedus. Kuna töötlusrullid on positioneeritud suuremale diameetrile kui käsiseadmepool, siis tuleb spindli pöörlemissagedus vastavalt töötlusrullid olevate laagrite pöörlemissagedusele dimensioneerida.

Tööparameetrite väljaselgitamiseks kasutatakse käsitööriista küljes oleva kinnitusplaadi pöörlemissageduste vahemikku n_{max} ja n_{min} (valemid 3.3 ja 3.4). Töötlusrullide väliskülgede diameetreid D_{rmax} (sele 3.8) ja töötlusrulli laagri välisvõru diameetrit D_l (tabel 2.1)

Käsitööriista kinnitusplaadi ringkiirus [9]:

$$V_{\max} = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000} = \frac{140 \cdot 3,14 \cdot 3500}{60 \cdot 1000} = 25,6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (3.1)$$

$$V_{\min} = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000} = \frac{140 \cdot 3,14 \cdot 1000}{60 \cdot 1000} = 7,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (3.2)$$

kus, $V_{\max/\min}$ - käsitööriista kinnitusplaadi ringkiirus ($\frac{\text{m}}{\text{s}}$)

D_p – käsitööriista töötlusrullide väliskülgede diameeter (mm)

n - käsitööriista pöörlemisagedused (min^{-1})

Märkus: Valem on jagatud 1000 teisendamaks millimeetrid meetriteks.

Kuna töötlusrullid on asuvad kinnitusplaadi tsentrist kaugemal ja puutudes kokku kivipinnaga on nende pöörlemisagedus mitu korda suurem võrreldes kinnitusplaadi omaga. Töötlusrulli pöörlemisagedus on maksimaalne 2,5 mm töötlussügavusel, kus rulli diameeter $D_l = 51 - (2,5 \cdot 2) = 46 \text{ mm}$. Ringkiiruse valemist tuletatakse käsitööriista töötlusrulli pöörlemisagedus $n_{1\min/\max}$. Arvutuses kasutatakse kinnitusplaadi ringkiirust (valemid 3.1 ja 3.2).

$$n_{1\max} = \frac{V_{\max} \cdot 1000}{D_l \cdot \pi} = \frac{25,6 \cdot 60 \cdot 1000}{46 \cdot 3,14} = 10445 \approx 10450 \text{ min}^{-1} \quad (3.3)$$

$$n_{1\min} = \frac{V_{\min} \cdot 1000}{D_l \cdot \pi} = \frac{7,3 \cdot 60 \cdot 1000}{46 \cdot 3,14} = 3043 \approx 3050 \text{ min}^{-1} \quad (3.4)$$

Kus, $n_{1\min/\max}$ - käsitööriista töötlusrulli pöörlemisagedused (min^{-1})

D_l - käsitööriista töötlusrulli diameeter (mm)

Vastavalt punktis 3.5 leitud lihviini kinnitusplaadile kinnitatavate töötlusrullide väliskülgede diameetritele $D_{r\max} = 570 \text{ mm}$, arvutatakse lihviini asünkroonmootori nr2 pöörlemisageduste vahemikud $n_{2\min}$ ja $n_{2\max}$ (valemid 3.5 ja 3.6).

$$n_{2\max} = \frac{V_{\max} \cdot 1000}{D_{r\max} \cdot \pi} = \frac{25,6 \cdot 60 \cdot 1000}{570 \cdot 3,14} = 860 \text{ min}^{-1} \quad (3.5)$$

$$n_{2\min} = \frac{V_{\min} \cdot 1000}{D_{r\max} \cdot \pi} = \frac{7,3 \cdot 60 \cdot 1000}{570 \cdot 3,14} = 245 \text{ min}^{-1} \quad (3.6)$$

kus, $n_{2\min/\max}$ - lihvliini mootori nr 2 pöörlemisagedused (min^{-1})

$D_{r\max}$ - töötlusrullide väliskülgede diameeter (mm)

Asünkroon mootori maksimaalsel pöörlemisagedusel rulluvad kinnitusplaadi 570 mm diameetrile kinnitatud töötlusrullid mööda pinda kordades kiiremini võrreldes käsitööriistale kinnitatud töötlusrullidega. Sellepärast vähendatakse asünkroonmootori pöörlemisagedust 1460 min^{-1} pöörlemisageduseni 860 min^{-1} (valem 3.5). Ülekande paigaldamine on välistatud, sest erinevate kivide töötamise ajal on vajalik reguleerida mootori pöörlemisagedust mille saavutamiseks paigaldatakse seadmele sagedusmuundur.

3.7 Haamerpinna töötlemise tootmismahut lihvliiniga töötlemisel

Tootmismahut sõltub kiviplaadi materjalist, laiusest ja tooriku paksusest. Kalibreerimistöörriista ettenihke kiirus 550 mm laiuse paekivist plaadi töötlemisel on $V_{f550} = 400 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$ ja 300 mm laiuse plaadi puhul $V_{f300} = 800 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$. Dolomiitide töötlemisel on ettenihke kiirus paekiviga võrreldes 25% suurem.

Lihvliinis töödeldava kivimi mahut ühes kuus on piiratud toorikuid töötlevate ketassaag freeside tootlikkusega, milleks on 2000 m^2 kiviplaati kuus.

Ettenihke suurus rulli täispöördele:

Arvutus on tehtud lihvliini maksimaalsel ettenihkel V_{f300} ja mootori minimaalsel pöörlemisagedusel $n_{2\min}$.

$$Fr_n = \frac{V_{f300}}{n_{1\min}} = \frac{800}{245} = 3,2 \text{ mm} \quad (3.7)$$

kus, F_n - ettenihe töötlusrulli ühe pöörde kohta (mm)

V_{f300} - ettenihke kiirus 300 mm laiuse plaadi töötlusel ($\frac{\text{mm}}{\text{min}}$)

Proгноositav tootmismahd paekivi töötlemisel

$$T_{p550} = \frac{v_{f550} \cdot 60 \cdot w}{1000000} = \frac{400 \cdot 60 \cdot 550}{1000000} = 13,2 \frac{\text{m}^2}{\text{h}} \quad (3.8)$$

$$T_{p300} = \frac{v_{f300} \cdot 60 \cdot w}{1000000} = \frac{800 \cdot 60 \cdot 300}{1000000} = 14,4 \frac{\text{m}^2}{\text{h}} \quad (3.9)$$

Märkus: Valem on jagatud 1 000 000 teisendamaks ruutmillimeetrid ruutmeetriteks.

kus, T_p - tootmismahd ($\frac{\text{m}^2}{\text{h}}$)

v_f - Lihvliini ettenihe paekivi töötlemisel ($\frac{\text{mm}}{\text{min}}$)

w - plaadi laius (mm)

Proгноositav tootmismahd dolomiitide töötlemisel

Dolomiidi töötlemisel on transportööri liikumiskiirus 25% suurem võrreldes paekivi ettenihke kiirusega.

$$T_{d550} = T_{p550} \cdot 1,25 = 13,2 \cdot 1,25 = 16,5 \frac{\text{m}^2}{\text{h}} \quad (3.10)$$

$$T_{d300} = T_{p300} \cdot 1,25 = 18 \frac{\text{m}^2}{\text{h}} \quad (3.11)$$

kus, T_d - dolomiidi tootmismahd ($\frac{\text{m}^2}{\text{h}}$)

Märkus. Valem on korrutatud 1,25, sest dolomiidi töötlemisel on ettenihke kiirus paekivi töötlemiskiirusest 25% suurem.

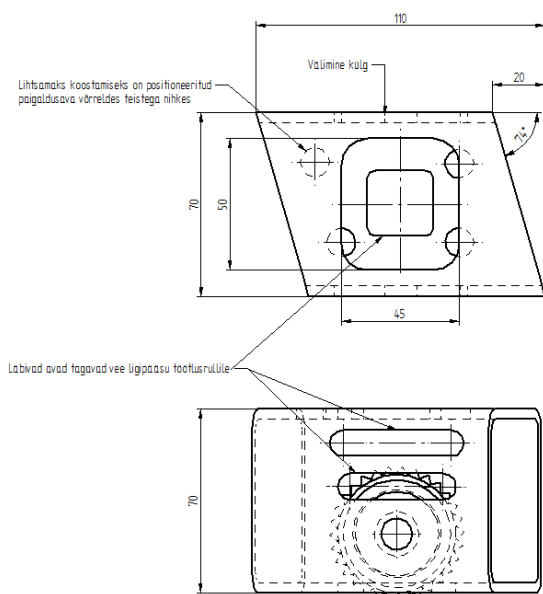
Tabel 3.2 Masina aeg 100 m² kiviplaadi tootmiseks.

Kivituüp	Laius, mm	Aeg, h
Paekivi	550	7,5
	300	7
Dolomiit	550	6
	300	5,5

Saja ruutmeetri haamerpinna tötlusega paekivi plaadi tootmiseks kulub alates ploki saagimisest kuni pakendatud toteni kahe vahetuse korral kolm tööpäeva. Antud tulemuse põhjal suureneb lihvliiniga töödeldava kiviplaadi tootlikkus võrreldes käsitööriistaga kümme korda.

3.8 Rulli toed

Rulli toed valmistatakse ruudukujulisest terasprofiilitorust S355J2H 70x70x4 mm [9], mis töödeldakse CNC torulõikusseadmega. Pindalalt valmistatakse rulli tugi rööpküliku kujuga ning väliskülgedele töödeldakse avad. Eesmärgiks on puhastada tötlusrulli tekitades vee läbivoolu tötlusrulli laagri ja kinnituse vahelt. Kui puhastus ei ole piisav, kleepub tötlusjääkide ja vee segu tötlusrulli külge ning tekitab lisakoormust nii rulli kui ka spindli laagritele. Valmis detail kaetakse punase „Hammerite“ värviga.



Sele 3.9 Rulli toe eskiis

Maksimaalse töötlemisügavuse piiramiseks jäetakse töötlusrulli hambapõhja diameeter samale tasapinnale nelikant profiili välispinnaga.

Rulli tugi monteeritakse kinnitusplaadi külge M10 poltidega ja lukustatakse lukustusseibidega. Koostamise lihtsustamiseks töödeldakse üks poldiava võrreldes teistega nihkesse (sele 3.9). Välistamiseks töötlemisjääkide sattumist rulli toe ning rulli vahele jäetakse nende vahele 18 mm vahemaa (sele 3.10).

Töötlusrull seotakse Rulli toega M12 poldiga, mis on valmistatud kergesti töödeldavast 42CrMo4 parendatavast legerterasest [10] (lisa 2). Polt karastatakse ja seejärel noolutatakse. Lõpptulemusena on poldi kõvadus 320-380 HV. Valmis detaili tõmbetugevus $R_m=920\text{N}\cdot\text{m}$ ja voolavuspiir $R_{p02} = 940\text{N}\cdot\text{m}$. Valmistatud polt on ligilähedaste omadustega 10.9 tugevusklassiga poldile [11].

Töötlemise käigus tekkiv vibratsioon soodustab mutrite iseeneslikku lahti tulemist. Antud nähtuse vältimiseks kasutatakse lukustusseibe, mida peab pärast töötlusrulli vahetust asendama uue seibiga. Seadme ohutuks kasutuseks ja tööriista eluea pikendamiseks paigaldatakse rulli ja rulli tuge siduv polt peaga tsentri poole. Sellisel juhul tagab polt koostu püsimise ka mutri lahti tulemise korral.

Terasprofiili kõrguse arvutus

Rulli tsentri asukoht mõõdetuna profiili põhjast:

$$C = \frac{R_d}{2} + h = \frac{51}{2} + 18 = 43,5 \text{ mm} \quad (3.12)$$

kus, R_d - rulli välisdiameeter (mm)

C - rulli tsentri kaugus profiili põhjast (mm)

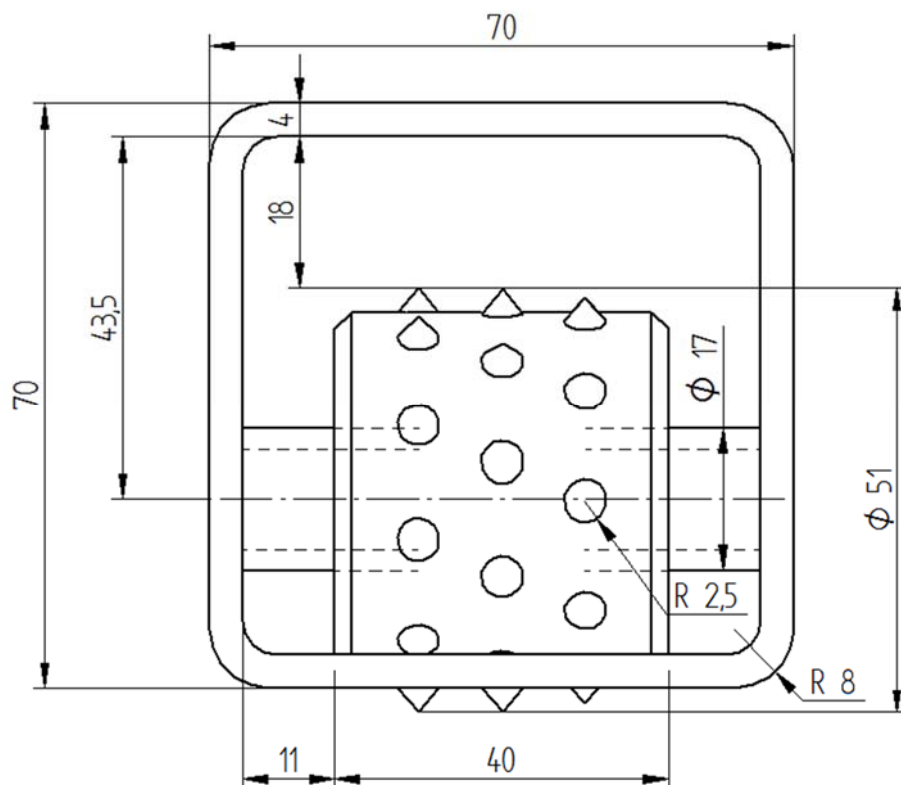
h - kaugus rulli välisdiameetri ja toe kinnituse vahel (mm)

Terasprofiili kõrgus:

$$H = C + \frac{R_d}{2} = \frac{51}{2} + 43,5 = 69 \text{ mm} \quad (3.13)$$

kus, H - terasprofiili kõrgus (mm)

C - rulli tsentri kaugus profiili põhjast (mm)



Sele 3.10 Rulli tugi koos töötlusrulliga.

Töötlusrull positioneeritakse rulli toe vahele roostevabast materjalist valmistatud distantspuksidega.

3.9 Kinnitusplaadi projekteerimine

Kinnitusplaat valmistatakse 25 mm paksusest S355K2 teraslehest [9], mis lõigatakse välja laserpingis. Keermestatud avad töödeldakse varuga, mis järgmise operatsiooniga puuritakse üle ja keermestatakse. Valmis detail värvitakse rohelise „Hammerite“ värviga.

Kvaliteetse pinnatöötuse saamiseks on vaja puhastada töötlusrulli veega. Kinnitusplaadile voolav vesi juhitakse töötlusrullini plaadi sisse töödeldud avade kaudu. Vett aitavad suunata S355 teraslehest valmistatud veesuunajad (sele 3.13, sele 3.14). Töötlusrullid paigutatakse kinnitusplaadi perimeetrile. Rulli toe kabariit piirab ära kinnitusplaadil olevate rullide arvu. Ühtlase jaotusega mahub kinnitusplaadile kaheksa töötlusrulli (sele 3.12).

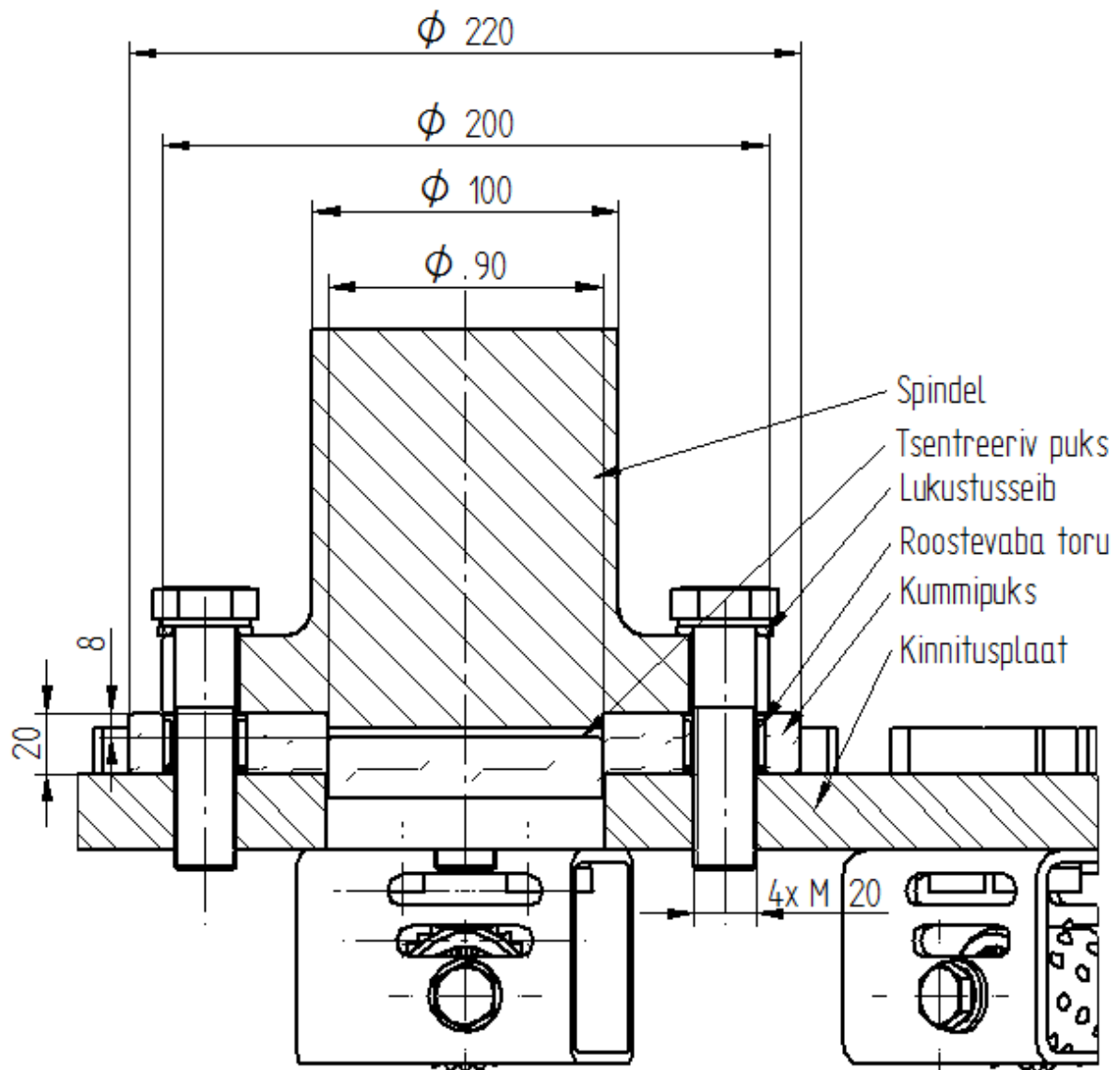
Erinevatele raadiustele ei ole mõtet töötlusrulle kinnitada, sest tsentri pool asetsevad rullid kuluksid aeglasemini võrreldes perimeetril paigutatud töötlusrullidega, tekitades ebaühtlase pinnatöötlust. Tsentri pool olevad töötlusrullid tekitavad suurema tugipinna, mis on vaja käsitöötlusel. Lihvliinis on tegemist fikseeritud kõrgusega ning lisatugipind ei ole vajalik.

Pärast koostamist tasakaalustatakse tööriist balansseerimisingis.

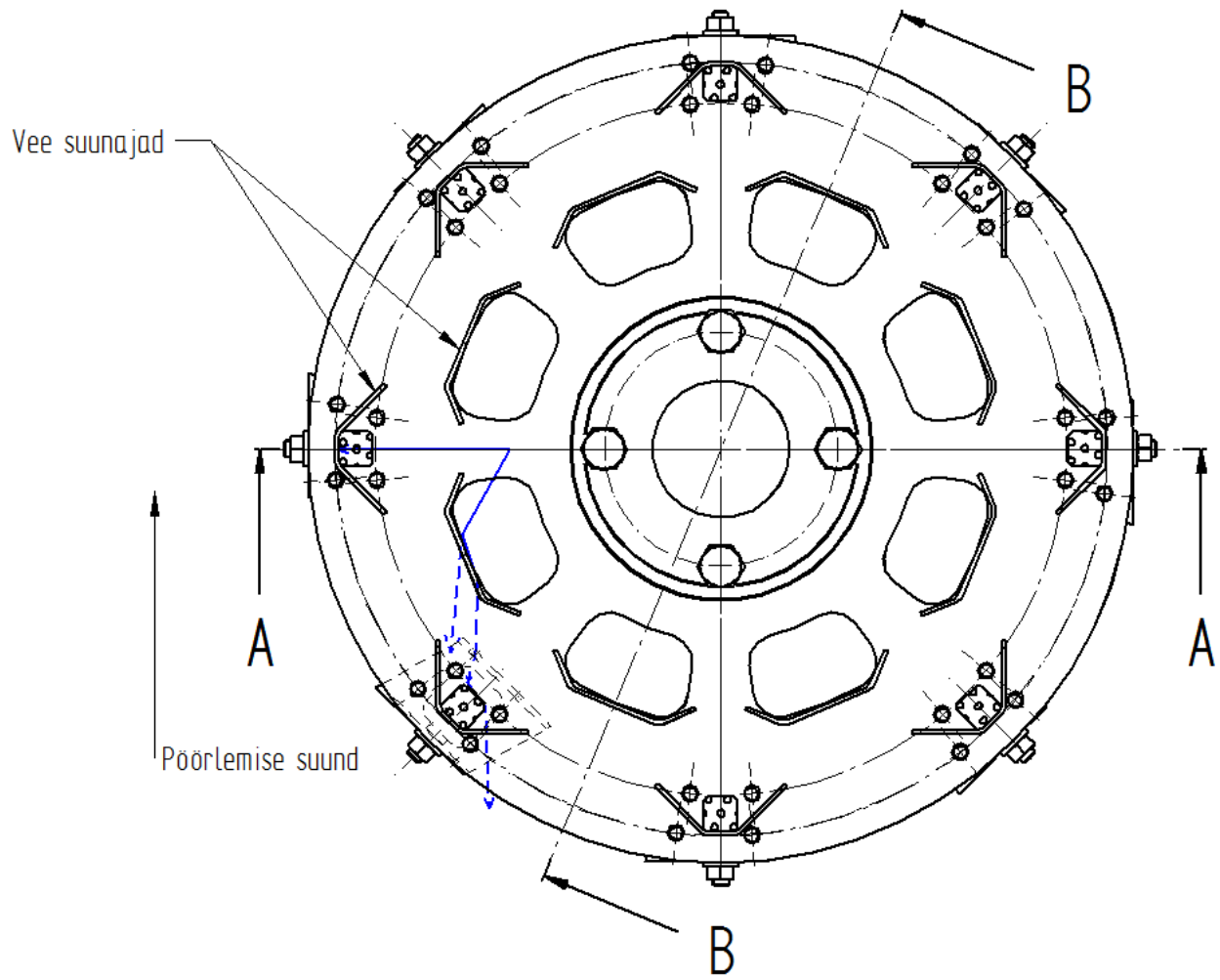
Töötluste käigus tekib tsükliline vibratsioon, mille summutamiseks paigaldatakse väljundvõlli ja kinnitusplaadi vahele kummipuks. Puks, mis koosneb tsentreerivast puksist ja kummipuksist, valmistatakse 20 mm paksusest kummiplaadist ja lõigatakse välja vesilõikusel.

Kummipuksile on töödeldud tsentrisse läbiv ava diameetriga 90 mm, mille sisse on pressitud pingistuga tsentreeriv puks.

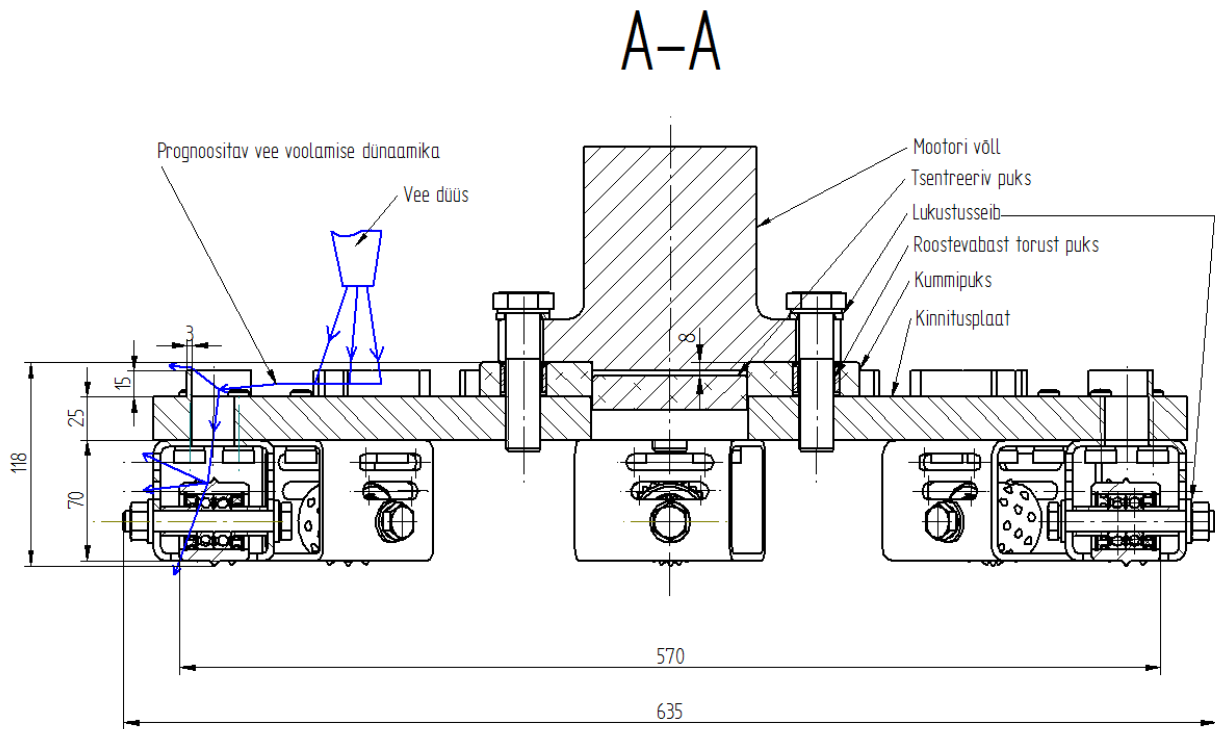
Tsentreeriv puks asetseb 8 mm kummipuksi pealispinnast allpool, tsentreerides kinnitusplaadi spindli flantsile. Puksi läbivad poldiavad on tugevdatud roostevaba toruga (sele 3.11).



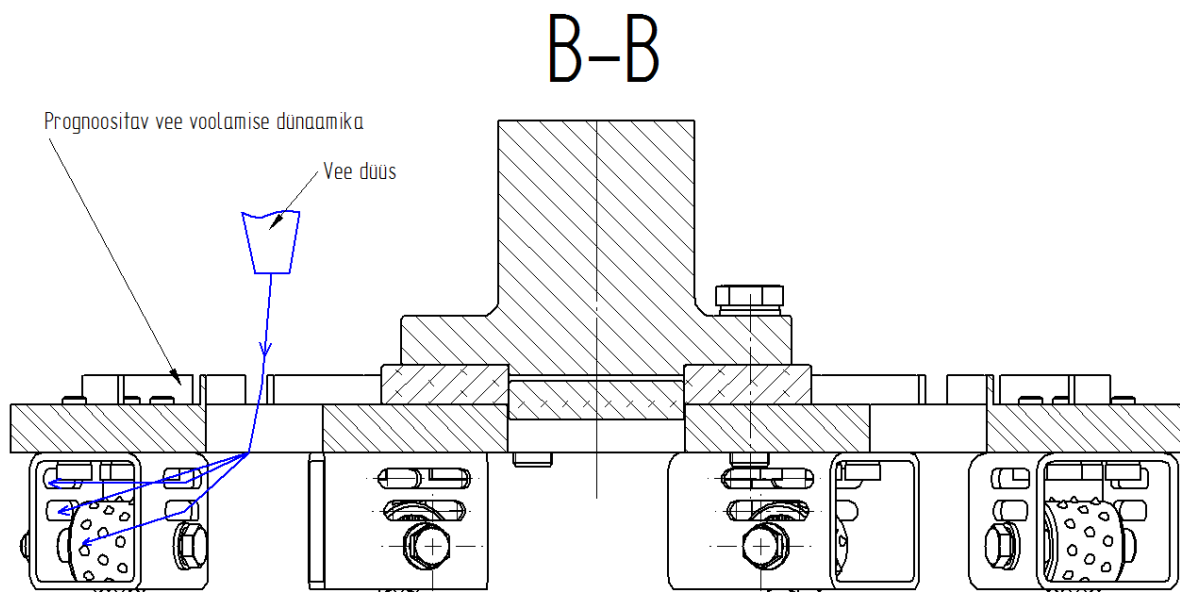
Sele 3.11 Kummipüks.



Sele 3.12 Proгноositav vee voolamise dünaamika



Sele 3.13 Proгноositav vee voolamise dünaamika lõige A-A



Sele 3.14 Proгноositav vee voolamise dünaamika lõige B-B

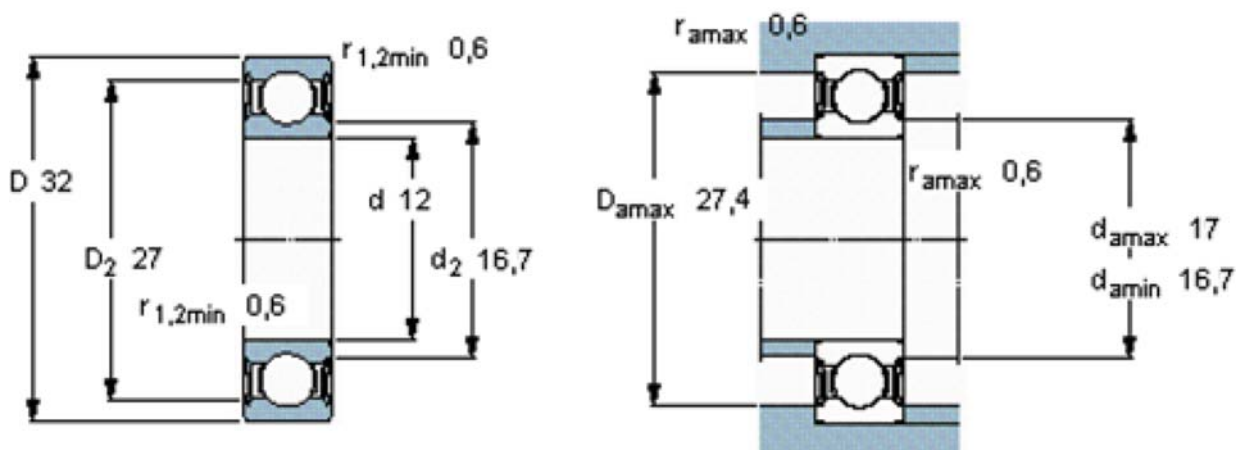
4. TÖÖTLUSRULLI LAAGRITE VALIK

Laagrid valitakse vastavalt töötlusrulli sisediameetrile 32 mm (sele 3.1) ja laagri välisvõru maksimaalsele pöörlemissagedusele $n_{1\max} = 10450 \text{ min}^{-1}$ (valem 3.3). Originaalrulli on paigaldatud 15mm laiune kaherealine radiaal-tugi kuullaager PFI 5201 2RS, mis on olnud käsitööriistal nõrgaks kohaks just vastupidavuse poolest tolmuses keskkonnas. Käsitööriista väiksemal ringkiirusel jäi määrideõli laagrisse püsima, kuid tolmu pääses laagri katete vahelt sisse, mistõttu vähenes laagri eluiga märgatavalt. Laagri elua pikendamiseks paigaldatakse töötlusrullile kaks laagrit mida katavad mõlemalt poolt laagrikaaned. Kuna vanad laagrid on 15 mm laiused, siis laagri kaante paigaldamiseks on vähe ruumi, sellest tulenevalt paigaldatakse töötlusrulli kitsamad laagrid.

Lähtudes SKF laagri valiku maatriksile (lisa 1) on üherealine radiaalkuullaager sobilik töötama suurtel pöörlemissagedustel nii telg- ja radiaalkoormustel [12].

Ühte laagrisse paigaldatakse kaks kontakt-tihendseibiga SKF 6201 2RSH - C3 laagrit (tabel 4.1), mis on täidetud „Addinoli“ kiirpöörde määrdega „HIGH SPEED GREASE2 :NLGI2 “ [12].

Probleemseks kohaks on määrideõli eraldumine paksendajast vibratsiooni ja tsentrifugaaljõu toimel. Kõrge niiskusega keskkonnas töötamise tõttu suureneb ka terase oksüdeerumine. Korrosiooni ja määride kuivamise kaitseks paigaldatakse laagrite ette o-rõngastega tihendatud kaaned, mis takistavad vee sisenemist ning määride väljumist laagrist tsentrifugaaljõu mõjul.



Sele 4.1 Laager SKF 6201 2RSH - C3 [12]

Tabel 4.1 Laager SKF 6201 2RSH -C3 [12]

Nimetus	Ühik	
Tüüp		SKF 6201 2RSH-C3
Sisediameter (d)	mm	12
Välisdiameter(D)	mm	32
Laius(B)	mm	10
Dünaamiline koormus(Cr)	kN	7,28
Staatiline koormus(C _{0r})	kN	3,1
Max.pöörlemissagedus(määrdega)	min ⁻¹	15 000
Mass	kg	0,058

4.1 Teljesuunaline jõud

Töötlusrulli laagrite mõjuv teljesuunaline koormus „F_a“ arvutatakse koostatud töötlusrulli massi (tabel 2.1), ringkiiruse “V_{max}“ valem (3.1) ja rulli väliskülje kaugusest kinnitusplaadi tsentrist “Dr_{max}” (sele 3.8).

$$F_a = \frac{m \cdot V_{\max}^2}{r} = \frac{0,4 \cdot 25,6^2}{0,285} = 919,8 \approx 920 \text{ N} \quad (4.1)$$

kus, F_a- tsentrifugaal jõud (N)

m-mass(kg)

V_{max} - ringkiirus ($\frac{m}{s}$)

r- raadius (m)

Ettenihkest tingitud radiaalkoormust ei arvestata, sest ettenihke suurus rulli hambale on 0,008 mm.

$F_{r_n} = 3,2 \text{ mm}$ (valem 3.7)

$Z = 30$ (tabel 2.1)

$$F_{r_z} = \frac{F_n}{Z} = \frac{3,2}{30} = 0,1 \frac{\text{mm}}{z} \quad (4.2)$$

kus, F_{r_z} - ettenihke suurus ühele koonusele ($\frac{\text{mm}}{z}$)

z - hammaste arv ühel rullil (tk)

4.2 Radiaaljõud

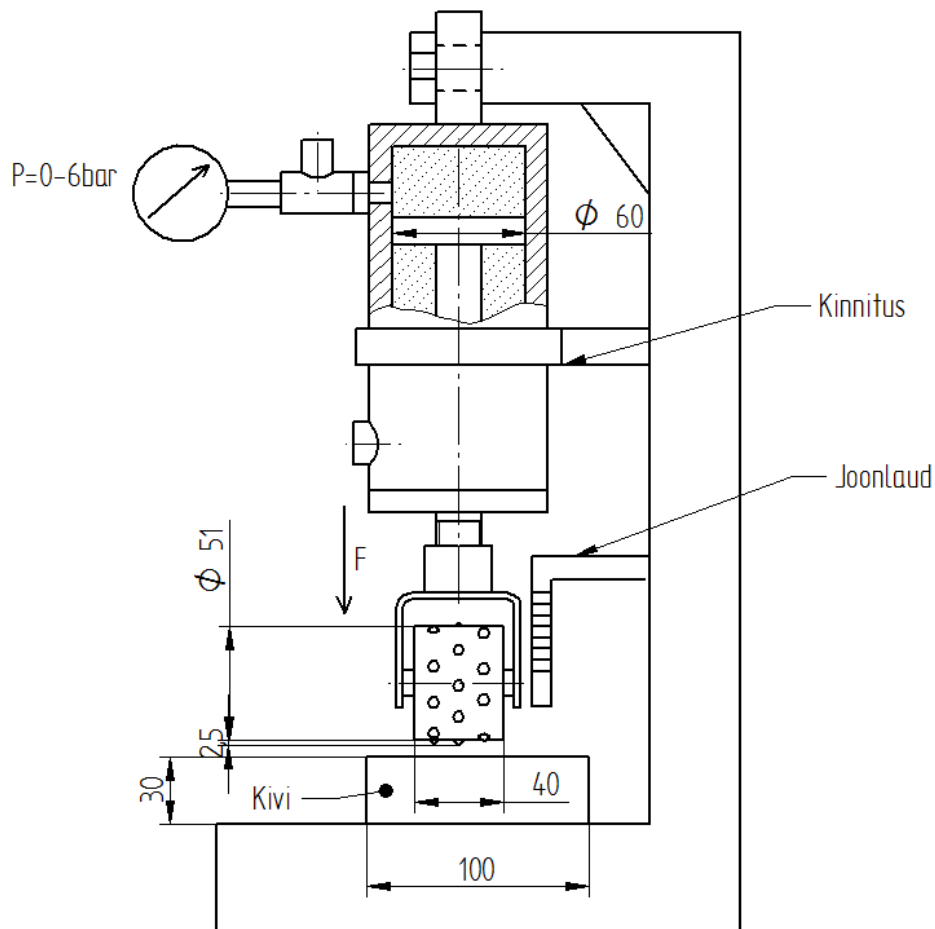
Radiaaljõud sõltub tööriista seadistussügavusest, töötlusrulli pinna puhtusest. Määramatuks jääb kivipinna puhtus, mis suurendab laagri koormust.

Arvestades töökogemusi haamerpinna käsitööriistaga töötlemisel nii dolomiidil kui ka paekivil, võib oletada, et käsitööriistaga töötlemisel on maksimaalseks radiaaljõuks inimese käe keskmine surumise jõud 90 N mõõdetuna käevarre nurga vahemikust 90° - 120° [13].

Antud jõud on piisav, et saavutada käsitöölusel ühtlane paekivi kui ka dolomiidi pinna tekstuur.

Laagrile mõjuva radiaalkoormuse arvestamiseks viidi läbi staatiline survekatse 30 mm paksuse paekivi ja dolomiidi plaadil, kus rull koos kinnitusega kinnitati vertikaalselt asetseva hüdrosilindri kolvivarre külge. Seejärel suruti töötlusrull kiviplaadi sisse ja registreeriti hüdrosilindris olev tööõhk manomeetriga, mille skaala on vahemikus 0-6 Bar. Töötlemissügavuse vahemik dolomiidi puhul on 1-2 mm ning paekivil 0,5- 1 mm. Kui töödelda kivi suuremal sügavusel on oht makropragude moodustamiseks, mille tulemusena kivi külmatsükli arv väheneb (sele 4.3).

Katse teostati seadistussügavuste piires kuni sügavuseni 2,5 mm. Saadud tulemustest arvutati laagri mõjuv jõud (tabel 4.2).



Sele 4.2 Staatilise katse põhimõtteline skeem

Hüdrosilindri kolvi diameeter on 60 mm [5].

$$r = 30 \text{ mm}$$

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 30^2 = 2827 \text{ mm}^2 \quad (4.3)$$

kus, A- kolvi pindala (mm²)

r- hüdrosilindri kolvi raadius (mm)

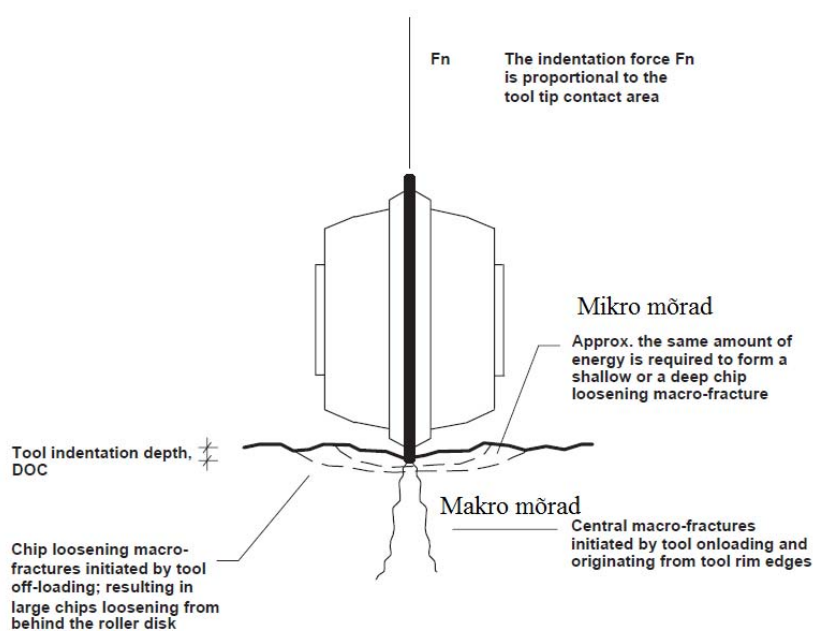
$$F = p \cdot A = 0,05 \cdot 2827 = 141,3 \text{ N} \quad (4.4)$$

kus, F- jõud (N)

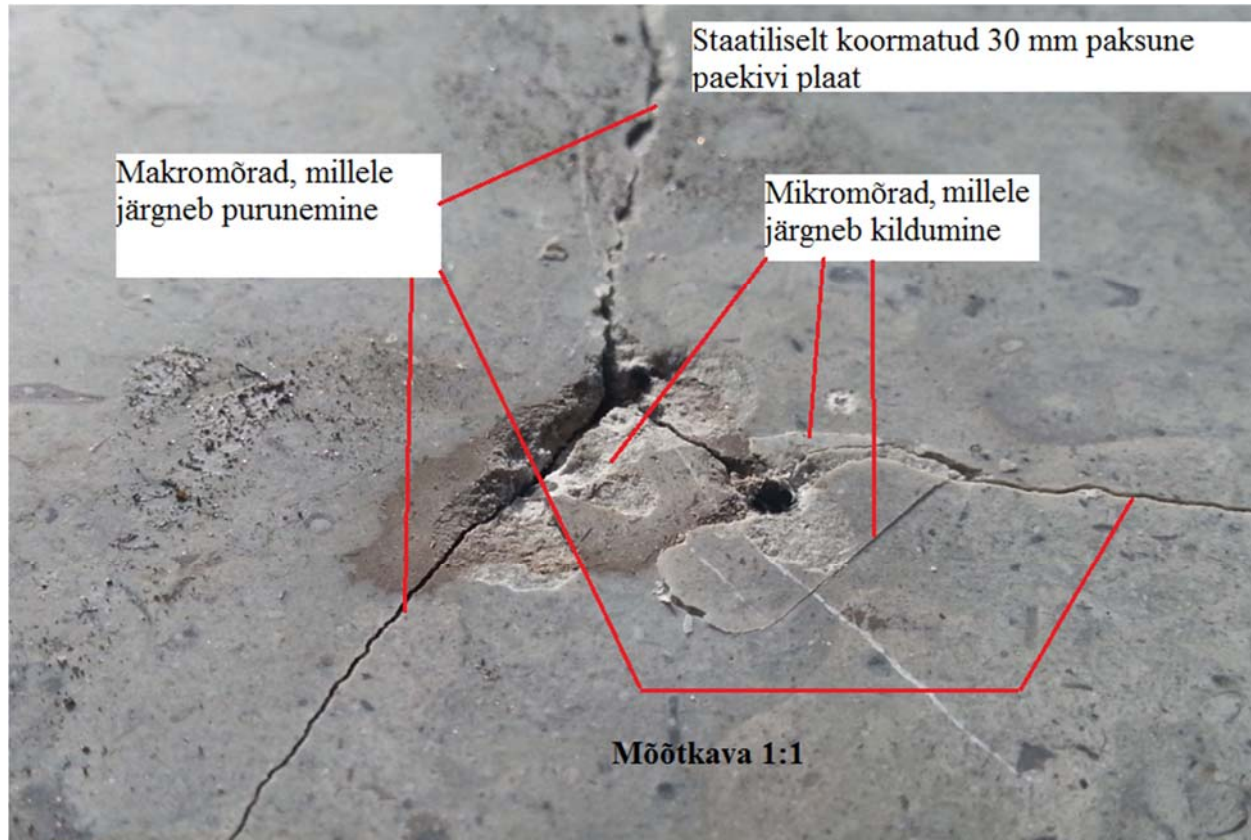
p- rõhk (MPa)

Tabel 4.2 Survekatse tulemused

Kivi	Koonuse sügavus, mm	Rõhk, bar	Rõhk, MPa	Jõud, N	Visuaalne
Paekivi	0,5	0,5	0,05	141,3	Mikro mõrad
	1	1,5	0,15	424	Suurem kildumine
	1,5	3	0,3	847	Makro mõrad
	2	5	0,5	1413	Kivi purunemine
Dolomiidid	1	0,5	0,05	141,3	Plastne deformatsioon
	1,5	1	0,1	282,7	Mikromõrad
	2	1,5	0,15	424	Suurem kildumine
	2,5	2	0,2	565,5	Makro mõrad



Sele 4.3 Muljumise tulemusena tekkivad mõrad [5]



Sele 4.4 Staatiliselt koormatud 30 mm paksune paekivi plaat.

Katsete tulemusena purunes paekivi hetkel, mil rulli koonus oli sisenenud kivisse 1,5 mm sügavusele. Korruga on kiviga kontaktis kolm koonust, millest üks on täielikult kivi sees ning teised kaks 1/3 pindalast. Normaaltöötlusel esineb mikrokildumist, mille tulemusena moodustub haamerpinna tekstuuri. Enne täielikku purunemist esineb kivi pinnapealsete kihtide kildumist ja kivi läbivate makromõrade teket (sele 4.4).

Dolomiitide survekatse tulemusena selgus, et koonused sisenesid materjali maksimaalse sügavuseni 2,5 mm, mille tulemusena kivi ei purunenud, kuid tekkisid makromõrad, mis esinevad enne kivi purunemist.

4.3 Laagrite tihendus

Töötlsruullile paigaldatud kahte laagrit tihendatakse väljastpoolt 6 mm paksusest kergesti töödeldavast EN AW 6061 -T6 alumiiniumist kaanega, mis pärast löiketöötlust anodeeritakse. Anodeeritud pind tagab laagri kaane pika eluea [9]. Kaante eesmärgiks on takistada vee sisenemist laagrisse ja määrdeõli eemaldumist paksendajast tsentrifugaaljõu mõjul.

Sele 4.5 pealt on näha, et kasutades 6 mm laiuseid laagri kaasi on lukustusrõnga soone kaugus töötlusrulli välisküljelt 2,6 mm, mis DIN 472(1981-09) standardi järgi on minimaalne kaugus [9].

Mansettihendite kasutus on välistatud, sest 7 mm laiuste mansettihendite kasutusel jääks lukustusrõnga soone kauguseks 1,6 mm töötlusrulli välisküljest [9].

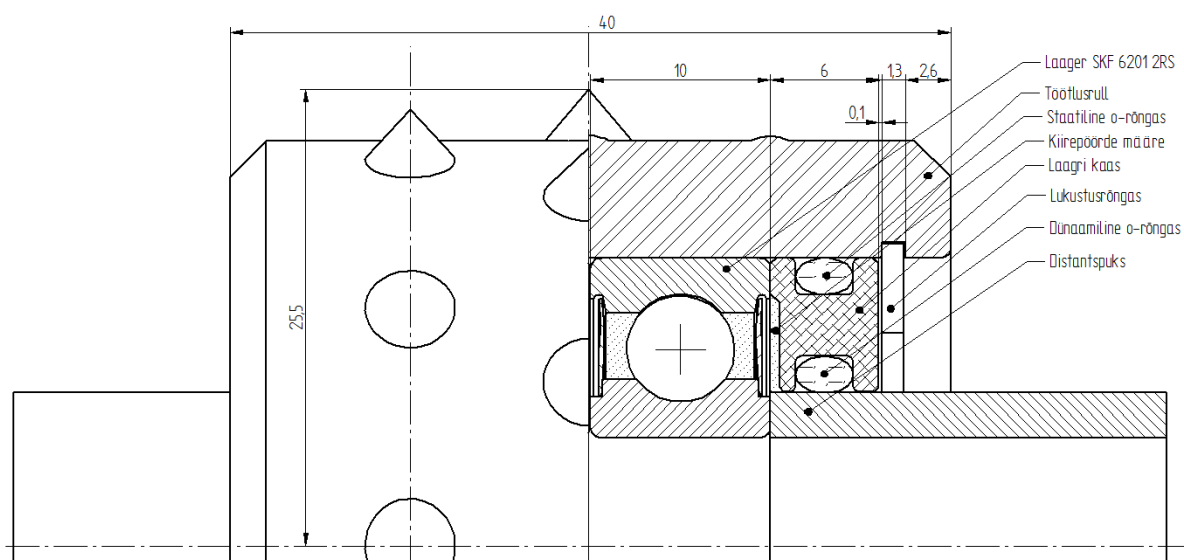
Tihendus on saavutatud kahe o-rõngaga millest välimine rõngas töötab staatilisel koormusel. O-rõngas on sisediameetriga 27,6 mm ja paksusega 2,4 mm ja toetub rulli sisediameetrile 27,9 mm (lisa 3).

Võlli tihendav o-rõngas sisediameetriga 16,6 ning paksusega 2,4 mm töötab dünaamilisel koormusel. O-rõngas toetub laagri kaane diameetrile 20,8 mm ning distantspuksi välisdiameetrile 17 mm (lisa 4).

Pöörlevale liikumisele töötav o-rõngas peab olema väiksema võimaliku ristlõikega või väikse hõõrdeteguriga. Laagri kaane o-rõnga soon peab olema suurema pinnakaredusega kui distantspuksi pind tagamaks, et tihend ei hakkaks kaane sees pöörlema [14].

Hermeetilisuse tagamiseks kantakse laagri kaante nõgusale poolele kiirpöörde mäaret, mis määrab töötlusrulli välimisel küljel olevat o-rõngast.

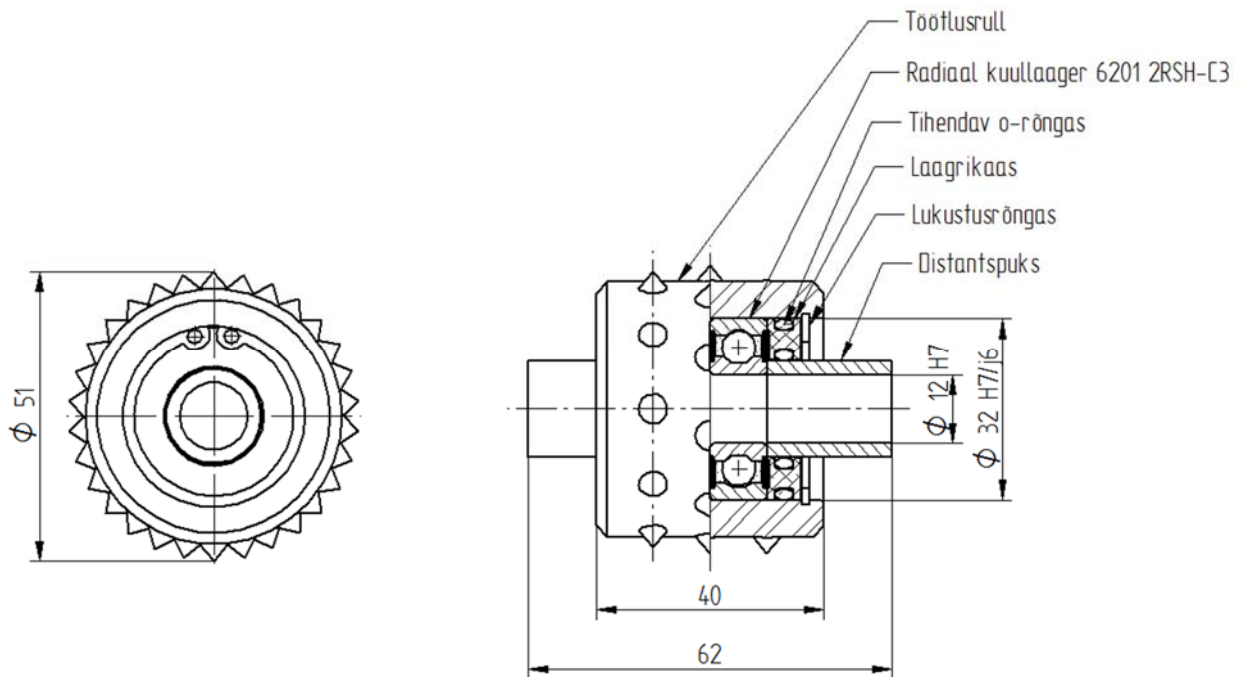
Tsentripoolset o-rõngast õlitatakse väljast poolt igapäevase inspeksiooni käigus.



Sele 4.5 Laagri tihendus

O-rõngad on valmistatud NBR-materjalist ehk nitrilist, mis on väga vastupidavad nafta baasil toodetud õlidele ja kütustele, veele ja alkoholile. Nitril on väga vastupidav ka hapetele ja alustele, välja arvatud need, millel on tugev oksüdeerumise efekt [9].

Tihendite valik ja geomeetrised parameetrid nii staatilisel kui ka dünaamilistel koormustel on valitud tihenditootja „Eriks“ o-rõnga kalkulaatoriga [14].



Sele 4.6 Töötlusrulli ristlõige

4.4 Laagri eluiga

Laagritele üle kanduva koormuse vähendamiseks ja eluea pikendamiseks paigutatakse töötlusrulli kaks laagrit. Selle tulemusena jaguneb radiaaljõud kahe laagri vahel. Laagri eluea arvutamisel võetakse arvesse kildumisel tekkiv jõud $F_{r/2}=424/2=212$ N ja teljesuunaline jõud $F_{a/2}=920/2=460$ N. Laagri eluiga arvutatakse „SKF bearing select“ kalkulaatoriga [12]. Selleks määratakse veebirakenduses laagri töötingimused, kasutatava määride tüüp ning töökoormused.

Kuna laager töötab praktiliselt vee sees ja raskes töökeskkonnas, kus esineb palju vibratsiooni ja koormuse kõikumisi, valitakse arvutuseks kõige raskemad töötingimused.

Laagri elueaks kujuneb $L_{10\text{mh}} = 910$ tundi (lisa 6).

Seega ühe paari laagritega on teoreetiliselt võimalik toota $L_{10\text{mh}} \cdot T_{p550} = 910 / 13,2 = 12\,012 \text{ m}^2$ paekivi plaati. Kuna ühe töötusrulli eluiga on paekivi puhul 1500 m^2 (pt.2.2), siis laagrite teoreetilise eluea jooksul kulub ära 8 töötusrulli.

Selleks, et töötusrullide vahetuseks ei kuluks poolt päeva, on üks komplekt rulle eelnevalt komplekteeritud. Ühe komplekti vahetuseks kulub 1,5 - 2 tundi.

5. VAJALIKU VÕIMSUSE ARVUTUS

Mootori parameetrite järgi (tabel 5.1) arvutatakse nõutud pöörlemissagedustel vajaminev võimsus, mootori töösagedus ja nurkkiirus. Seejärel arvutatakse inertsimomendi järgi mootori käivitusae. Inertsimomendid pöörlemisel ümber “Z” -telje saadakse “Solid Works ” programmi abil. Inertsimoment sõltub keha kogumassist ja samuti tema kujust ja asendist pöörlemistelje suhtes [9]. Põhinedes käsitööriista võimsustarbele läheb vaja vähem energiat pinna töötlemiseks võrreldes käivitamiseks vajamineva võimsusega. Pinna töötlemise ajal koormus langeb, sest veeretakistus on minimaalne. Selletõttu teostatakse võimsuse arvutus ainult tööriista käivitamise hetkel.

Kinnitusplaadi inertsimoment ümber Z telje: $I_{zz}=2,736 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

Nurkkiirus arvutatakse maksimaalse pöörlemissageduse järgi, milleks on $n_{2\max}=860 \text{ min}^{-1}$ (valem 3.5).

$$\omega = \frac{2\cdot\pi\cdot n}{60} = \frac{2\cdot\pi\cdot 860}{60} = 90 \text{ s}^{-1} \quad (5.1)$$

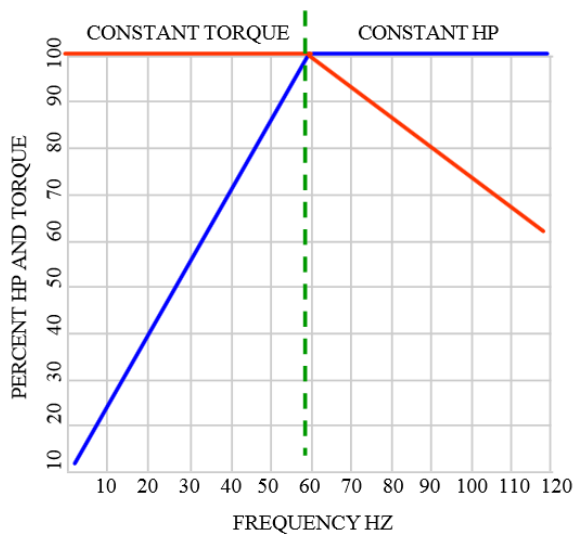
kus, ω - nurkkiirus (s^{-1})

n - pöörlemissagedus (min^{-1})

Tabel 5.1 Asünkroonmootori andmed [3]

Nimetus	Ühik	
Tüüp	-	Siemens Beide Y160L-4
Nimivõimsus	kW	15
Voolutugevus	A	30
Pinge	V	380
Nimi pöörlemissagedus	min^{-1}	1460
Nimimoment	$\text{N}\cdot\text{m}$	98
Käivitusmoment	$\text{N}\cdot\text{m}$	225
Nimisagedus	Hz	50
Pooluste arv	-	4
Võimsustegur $\cos \Phi$	-	0,894
Kasutegur	η	0,85

Vastavalt tabel 5.1 toodud mootori andmetele on võimalik arvutada vajatav võimsus pöörlemissageduste vahemikus 245-860 min⁻¹.



Sele 5.1 Võimsuse ja pöördemomendi sõltuvus sagedusest 60 Hz baasil [15]

Mootori pöörlemissagedus[16]:

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ min}^{-1} \quad (5.2)$$

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} = \frac{1500 - 1460}{1500} = 0,026 \cdot 100\% = 2,6\% \quad (5.3)$$

$$dn = n_{2\max} \cdot s = 860 \cdot 0,026 = 22 \text{ min}^{-1} \quad (5.4)$$

kus n_0 – magnetvälja pöörlemissagedus (min⁻¹)

n - rootori nimikiirus (min⁻¹)

s - libistus(%)

dn – libistuse suurus pöörlemissagedusel $n_{2\max}$ (min⁻¹)

p - pooluspaaride arv

Mootori käivitusae sõltub libistusest, mida võib tõlgendada ka rootori suhtelise maha jäämisena sünkroonkiirusega pöörlevast staatori magnetväljast [16].

Olenevalt koormuse suuruselt tekib kiiruse erinevus staatorvälja ja rootori pöörlemissageduste vahel antud mootori puhul 2,6%, mis pöörlemissagedusel 860 min⁻¹ on 22 min⁻¹. Libistus jäetakse arvestamata, sest tekkiv hälve ei mõjuta pinnatöötlemise kvaliteeti.

5.1 Mootori pöörlemissageduse vähendamine

Mootori pöörlemissagedust vähendatakse või suurendatakse võrgu nimisageduse vähendamise või suurendamise teel. [16] Sageduse suurenemisel väheneb väändemoment ning sageduse vähendamisel väheneb mootori võimsus (sele 5.1). Antud ülesandes vähendatakse mootori pöörlemissagedust võrgusageduse vähendamisega, mis omakorda mõjutab proportsionaalselt mootori väljund võimsust.

$$f_{n2\max} = \frac{n_{2\max} \cdot f_n}{n} = \frac{860 \cdot 50}{1460} = 29,4 \text{ Hz} \quad (5.5)$$

$$f_{n2\min} = \frac{n_{2\min} \cdot f_n}{n} = \frac{245 \cdot 50}{1460} = 8,3 \text{ Hz} \quad (5.6)$$

kus $f_{n2\max}$ - sisendvoolu sagedus pöörlemissagedusel $n_{2\max}$ (Hz)

$f_{n2\min}$ - sisendvoolu sagedus pöörlemissagedusel $n_{2\min}$ (Hz)

$n_{2\max}$ – lihvliini kinnitusplaadi maksimaalne pöörlemissagedus (min^{-1})

$n_{2\min}$ – lihvliini kinnitusplaadi minimaalne pöörlemissagedus (min^{-1})

f_n - mootori nimisagedus (Hz)

5.2 Käivitamiseks vajaminev võimsus

Käivitamiseks vajalik võimsus on suurem kui töötamiseks vajaminev võimsus. Lähtutakse käsitööriista baasil tehtud katsetest, millest selgus, et mikromõrade moodustamiseks piisab 142 N suurusest jõust (tabel 4.2).

$$P_{n2max} = P_{meh} \cdot \frac{f_{n2max}}{f_n} \cdot \eta = 15 \cdot \frac{29,4}{50} \cdot 0,85 = 7,4 \text{ kW} \quad (5.7)$$

$$P_{n2min} = P_{meh} \cdot \frac{f_{n2min}}{f_n} \cdot \eta = 15 \cdot \frac{8,3}{50} \cdot 0,85 = 2,1 \text{ kW} \quad (5.8)$$

kus, P_{n2max} – võimsus pöörlemisagedus n_{2max} (kW)

P_{n2min} – võimsus pöörlemisagedus n_{2min} (kW)

P_{meh} – mootori nimivõimsus (kW)

η – elektrimootori kasutegur

5.3 Orienteeruv käivitusae

Käivitusaja arvutuses on arvestatud olukorraga, kus haamerpinnaööriista töötlusrullid ei ole kivipinnaga puutes ning jahutusvesi ei ole aktiveeritud. Kui käivituseks kulub üle viie minuti võib tekkida oht mootori kahjustamiseks. [16]

$$I_{zz} = 2,736$$

$$\omega = 90 \text{ s}^{-1}, \text{ (valem 5.1)}$$

$$M = I \cdot \alpha; \alpha = \frac{\omega - \omega_0}{t}; P = \frac{M \cdot n}{9550} \Rightarrow \frac{M}{I} = \frac{\omega - \omega_0}{t} \Rightarrow \frac{P \cdot 9550}{n} = \frac{(\omega - \omega_0)}{t} \cdot I; \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t = \frac{(\omega - \omega_0) \cdot n \cdot I}{P_{n2max} \cdot 9550} = \frac{(90 - 0) \cdot 860 \cdot 2,736}{7,4 \cdot 9550} = \frac{211766}{70670} = 2,9 \text{ s} \approx 3 \text{ s} \quad (5.9)$$

kus, ω_0 – algkiirus (s^{-1})

α – Nurkkiirendus (s^{-2})

t- käivitusae (s)

I_{zz} -Massi inertsimoment ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)

M- pöördemoment ($\text{N} \cdot \text{m}$)

Tööriista käivituseks vajaminev pöördemoment:

$$P = \frac{M \cdot n}{9550} \Rightarrow M = \frac{P \cdot 9550}{n} = \frac{7,2 \cdot 9550}{860} = 79,9 \text{ N}\cdot\text{m} \approx 80 \text{ N}\cdot\text{m} \quad (5.10)$$

kus, $T_{n2\max}$ – mootori pöördemoment antud võimsusel $P_{n2\max}$ (N·m)

Lihvliini 15 kW mootor sobib antud tööriistaga töötamiseks. Sagedusmuunduriks valitakse “Vacon 20 - 400V 15kW 31.0A IP20”, mis on ilma tagasisideta (open loop). Mootori sujukäivitus toimub nii sageduse kui ka pinge muutmisega, hoides voolutugevust käivitusmomendil maksimaalse lubatud- 30 ampri piires (tabel 2.4). Mootori pöörlemissagedust muudetakse operaatori paneelile paigaldatud potentsiomeetriga. Sagedusmuundur paigaldatakse lihvliini niiskuskindlasse elektrikilpi (IP67).

Asünkroonmootori pöörlemissageduse vähenedes muutub ka mootori võllile paigaldatud jahutusventilaatori pöörlemissagedus mille tulemusena tekib mootori ülekuumenemise oht. Mootori ülekuumenemise vältimiseks ja mootori elua pikendamiseks paigaldatakse mootorile sundjahutus. Ventilaator on ettevõttel olemas ja seda ei arvestata kuludesse.

6. TUGEVUSKONTROLL

Tugevuskontroll teostatakse tööriista kinnitusele nii vabajooksul kui ka maksimaalses koormusolukorras veendumaks, et tööriistal on piisav tugevusvaru. Tulemusena tagatakse tööriista kinnituse pikk eluiga abrasiivses ja tugevat korrodeerumist soodustavas keskkonnas.

Kuna mootorit nr 2 kasutatakse ka lihvimistöodel, siis maksimaalseks koormusolukorraks tühijooksul loetakse olukorda, kus operaator seadistab haamerpinnatöötlemise instrumendi pöörlemissageduse vahemiku ($420\text{-}860\text{ min}^{-1}$) alles pärast mootori maksimaalse pöörlemissageduse (1460 min^{-1}) saavutamist. Koostule määratakse koormuseks nurkkiirus ja rullitoel asuvate kinnitusavadel töötlusrulli laagritele mõjuv radiaaljõud.

Tööolukorras arvestatakse maksimaalseks koormusolukorraks juht, kus tööriista kõrguse seadistamisel tehakse viga ja töötlemise käigus surutakse tööriist paekivisse kuni kivi purunemiseni.

Tugevuskontroll teostatakse lõplike elementide meetodil ehk LEM analüüsil (FEM - Finite Element Method) ANSYS programmi abil, kus koormusolukorra analüüsi tulemuseks saadakse ekvivalentne pinge ja deformatsioon. LEM simulatsiooni tulemusesse tuleb suhtuda kriitilise pilguga, sest lõpptulemus sõltub 3d mudeli täpsusest, koormusolukorra kirjeldamisest ning õige suuruse ja kujuga elementide kasutamisest võrgu genereerimisel [17].

LEM- analüüsi etapid [17]:

1. Probleemi analüüs
2. Geomeetria defineerimine
3. Elemendi tüübi valik
4. Materjali defineerimine
5. Füüsiliste omaduste defineerimine
6. Võrgu genereerimine
7. Rajatingimused
8. Solver
9. Tulemuste hindamine

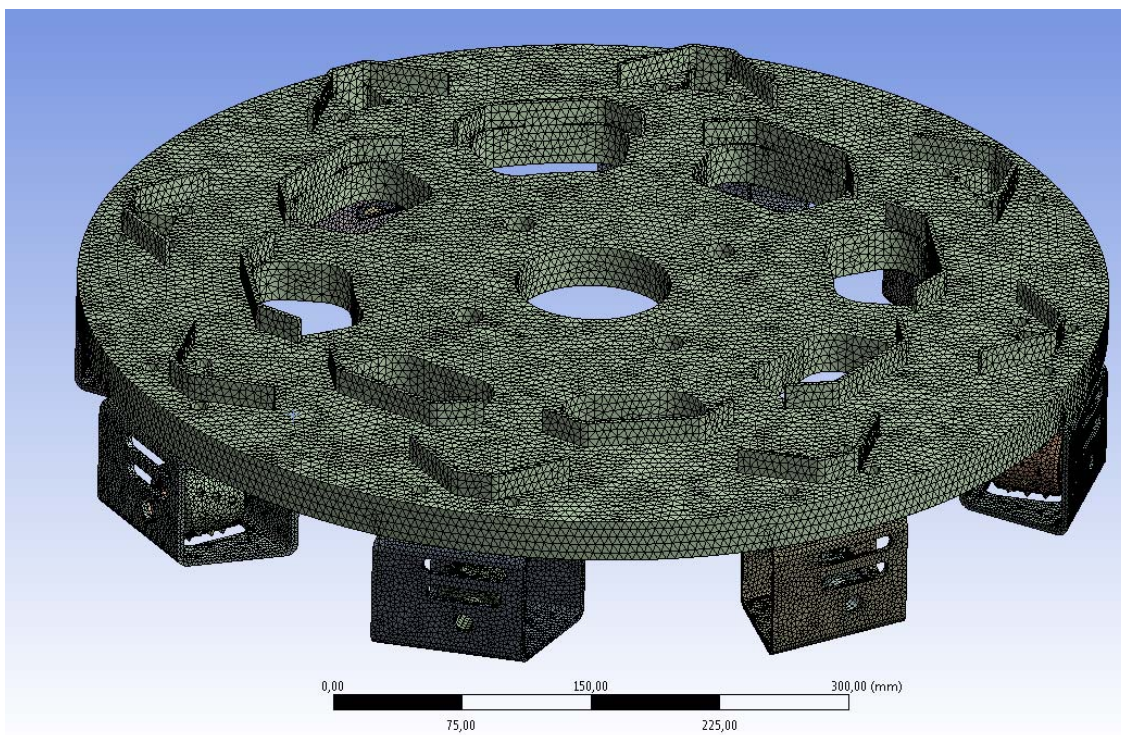
6.1 Tööriista kinnituse tugevuskontroll mootori käivitamisel

Antud simulatsiooni eesmärk on analüüsida koostu jäikust mootori käivitamise olukorras, kus pöörlev tööriist ei ole materjaliga kontaktis.

Esmalt viiakse lihtsustatud 3d mudel ANSYS programmi CAD keskkonda ja defineeritakse koostu kui ühte keha (one part), kus kinnitusplaadi küljes olevad detailid on omavahel jäigalt kinnitatud. Kuna analüüsitav koost on sümmeetriline, on võimalik teha analüüs $\frac{1}{4}$ kehale, kuid tervikliku tulemuse saamiseks tehakse analüüs tervele koostule.

Seejärel määratakse materjali omadused- antud hetkel teras S355J2H voolavuspiiriga (Yield strength) $R_e=355 \text{ MPa}$, tõmbetugevusega (tensile ultimate stress) $R_m= 470 \text{ MPa}$ ja katkevenivusega 22% [9].

Võrgu genereerimisel valitakse rulli toe koostule kolmnurksed elemendid suurusega 2 mm ja kinnitusplaadile 5 mm. Elementide suurus mõjutab tulemuse õigsust ja arvutamise aega, selle pärast on mõttekas suurema vastutusega sõlmede ja detailide võrgustik teha väiksemate ning vähem kriitilisemad detailid suuremate elementidega.



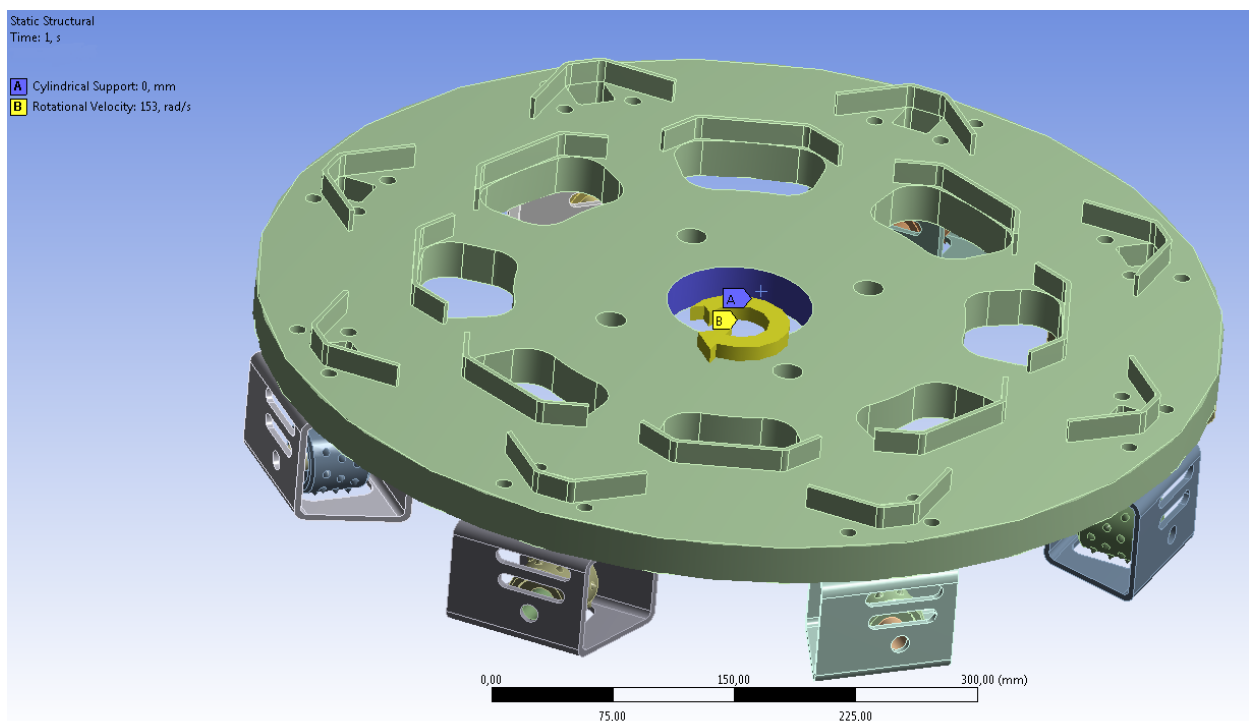
Sele 5.1 Genereeritud võrk

Rajatingimuste kirjeldamine

Haamerpinnatööriist kinnitub nelja poldiga mootori võlli külge ja pöörlemissageduseks on 1460 min^{-1}

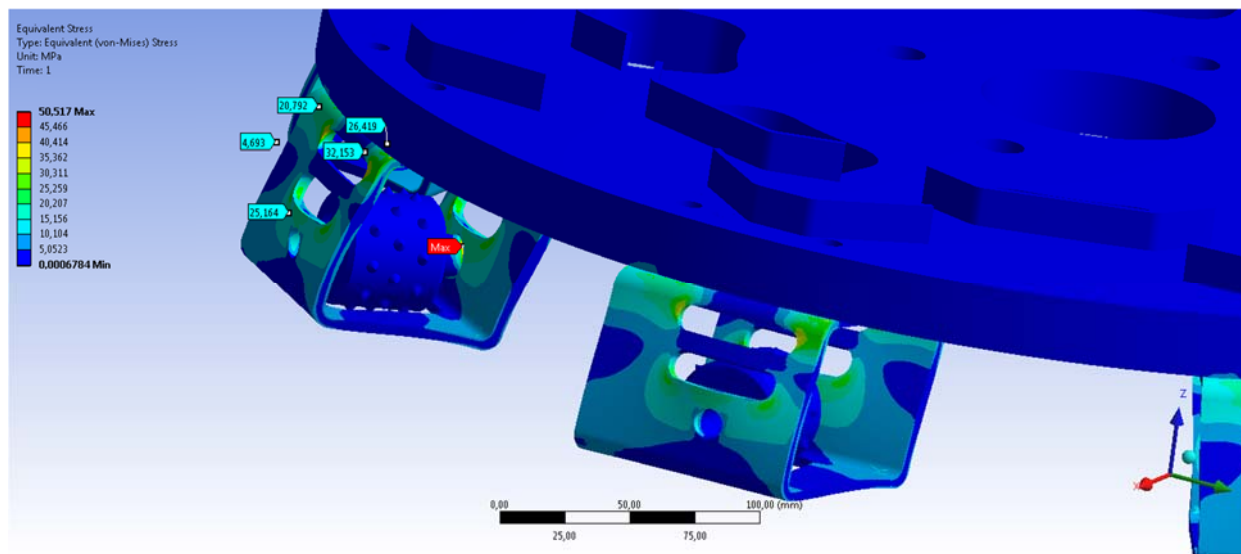
Antud olukorras määratakse tugipinnaks tsentreeriv ava diameetriga 91 mm. Selleks kasutatakse silindrilist tuge (cylindrical support) ja jäetakse vabaks tangentsaalne liikumine - pöörlemine ümber Z -telje (A). Samast pinnast defineeritakse koostule nurkkiirus (B) $\omega_{\max} = 153 \text{ s}^{-1}$ (valem 6.1)

$$\omega_{\max} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\max}}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1460}{60} = 152,9 \approx 153 \text{ s}^{-1} \quad (6.1)$$

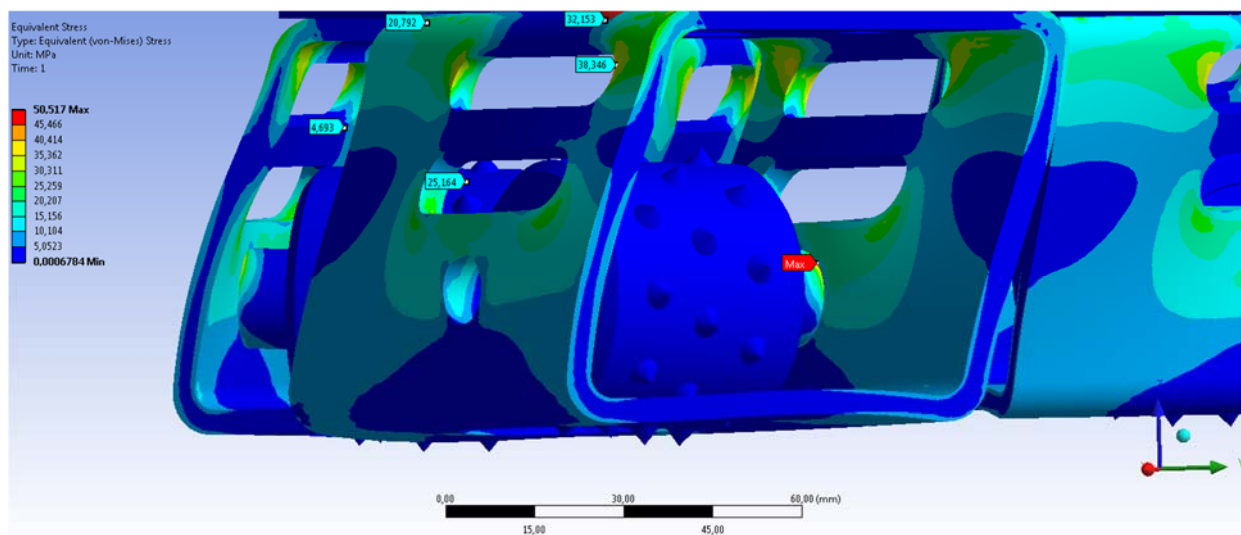


Sele 6.1 Rajatingimused

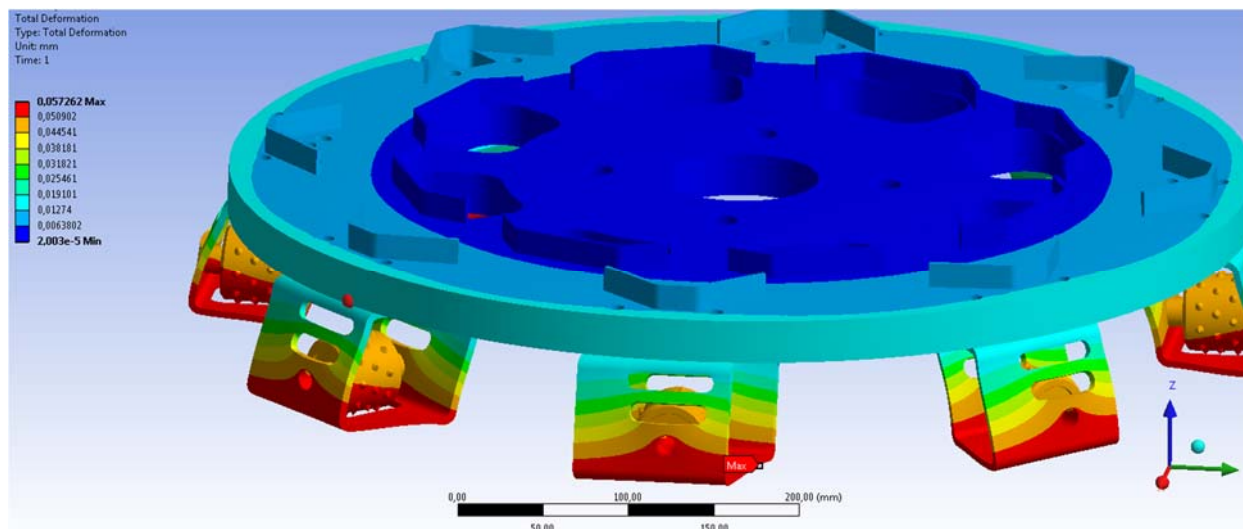
Tulemuste hindamine



Sele 6.2 Ekvivalentne pinge, kus koostul tekkivad deformatsioonid on skaleeritud 0,5x auto režiimis.



Sele 6.3 Pinge kontsentraator



Sele 6.4 Maksimaalsel pöörlemissagedusel tekkivad deformatsioonid

Maksimaalne pinge 50,5 MPa tekib rulli toe ja distantspuksi vahel. Täisnurga tõttu tekib nende vahele pingekontsentraator, sest 3d mudelit käsitletakse kui ühte keha. Reaalselt ei ole distantspuks ja rulli tugi keevisliitega ühendatud ja sellepärast jäetakse maksimaalne pinge arvestamata. Keskmine pinge rulli toe külgedele töödeldud väljalõigete ümber jääb 20-35 MPa lähedale. Maksimaalne deformatsioon tekib rulli toe juures suurusel 0,06 mm. Kuna materjali voolavuspiir on 355 MPa ja simulatsiooni tulemusena selgus, et maksimaalne pinge jääb maksimaalselt 35 MPa lähedale, võib väita, et ringliikumise tulemusena tekkivatele jõudude vastupanuks on olemas piisav tugevusvaru.

6.2 Tööriista kinnituse tugevuskontroll tööolukorras

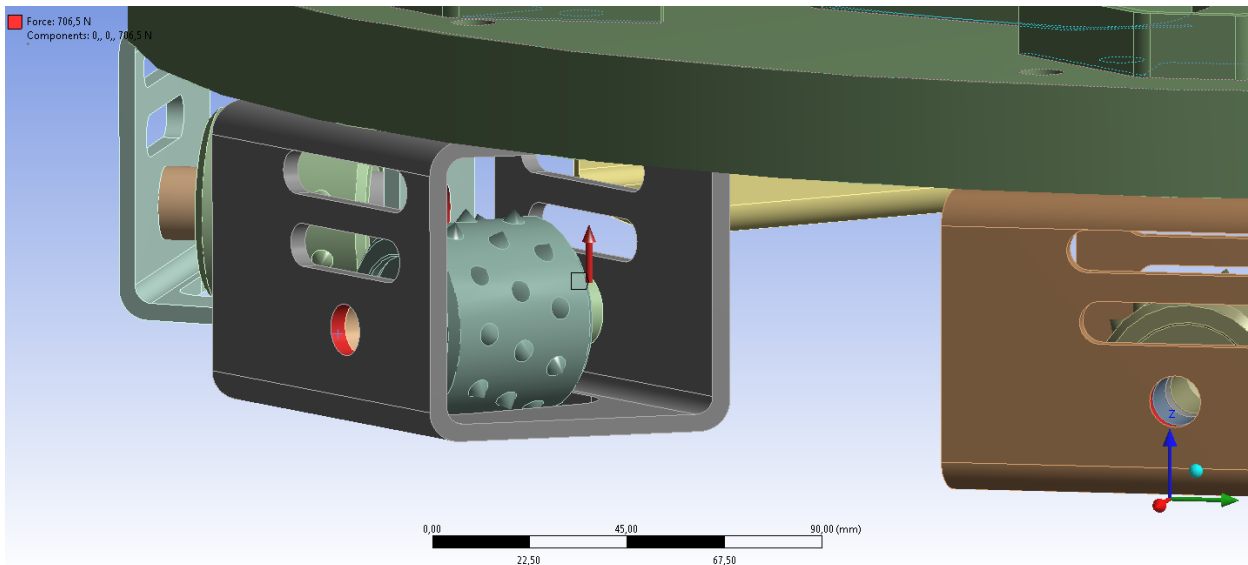
Simulatsiooni kinnituskohadeks on samad pinnad ja vabadusastmed, mis peatükis 6.1. Tugevuskontrolli eesmärgiks on analüüsidaööriista jäikust olukorras, kusööriista pöörlemissageduseks on 860 min^{-1} ning paekivi töötlussügavuseks on määratud 2 mm. Rulli toel diameeter 12 mm tugipinnad on koormatud jõuga $F_{\text{amax}} = 1413 \text{ N}$ (tabel 4.2).

Rajatingimused:

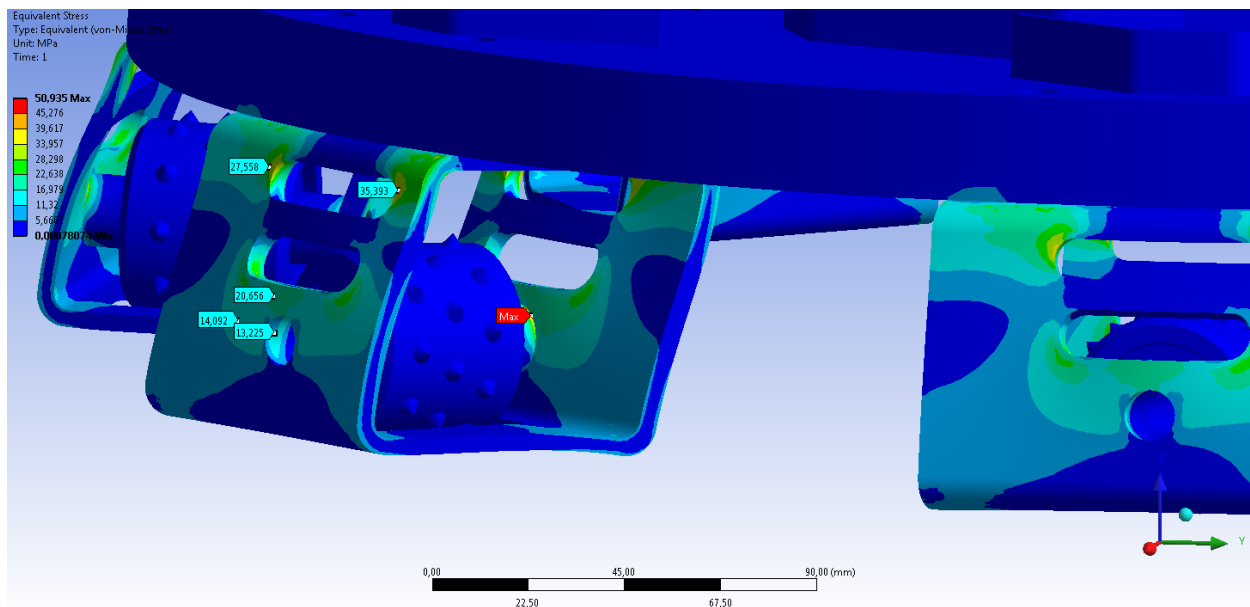
Kasutades silindrilist tuge jäetakse vabaks tangentsaalne liikumine - pöörlemine ümber Z -telje. Samast kinnituskohast defineeritakse koostule nurkkiirus. Nurkkiirus rakendatakse aval $D90 \text{ mm}$ kus $\omega = 90 \text{ s}^{-1}$ (valem 5.1). Maksimaalne koormus paekivi töötlusel tekib juhul, kui töötlemissügavus on liiga suur ning selle tulemusena puruneb kivi.

Rulli toele mõjuv jõud on võetud laagrile mõjuva radiaal koormusest $F_{\text{amax}}=1413 \text{ N}$ (tabel 4.2). Kuna jõud mõjub kahele tugipinnale, siis jaguneb jõud kahe laagri vahel võrdselt.

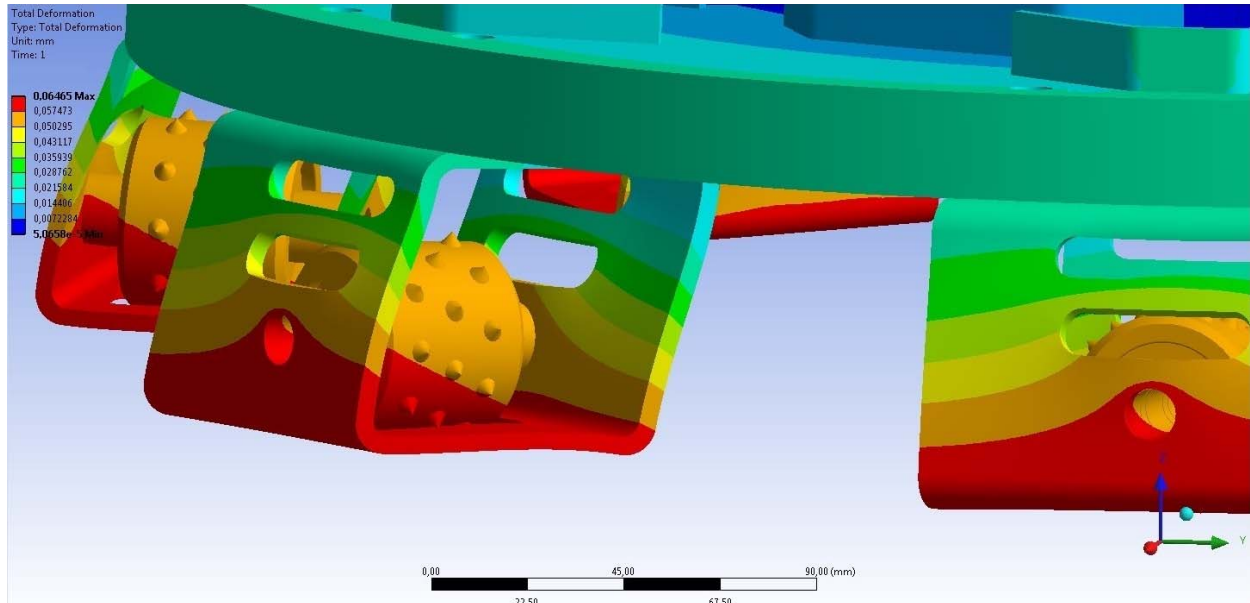
$$F_z = \frac{F_{\text{amax}}}{2} = \frac{1413}{2} = 706,5 \text{ N} \quad (6.2)$$



Sele 6.5 Rulli toele mõjuv jõud.



Sele 6.6 Ekvivalentne ping



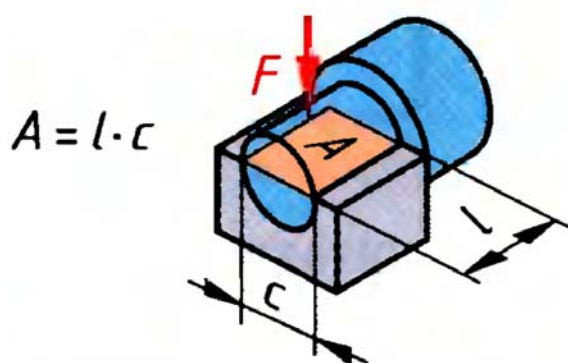
Sele 6.7 Maksimaasel töörežiimil tekkivad deformatsioonid

Maksimaalsed pinged, mis tekivad rulli toe väljalõigete piirkonnas jäävad 20-25 MPa piirsesse, maksimaalne läbipaine on 0,06 mm.

Kinnitusplaadil jääb läbipaine 0,02 mm piirsesse ja sellega on välistatud väsimuspragude moodustamine veesuunajate keevisliidetes.

6.3 Kontrollarvutus

Kontrollarvutus teostatakse rulli toe avale diameetriga 12 mm:



Sele 6.8 Sfäärilise pinna pindala [9]

$$A = l \cdot c = 4 \cdot 12 = 48 \text{ mm}^2 \quad (6.3)$$

kus, A – ristlõike pindala (mm^2)

l - rulli toe seinapaksus (mm)

c - M12 poldi ava diameeter (mm)

$$\sigma = \frac{F_z}{A} \cdot \beta_k = \frac{706,5}{48} \cdot 1,6 = 23,55 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (6.4)$$

kus, σ - pinge ($\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$)

F – jõud (N)

β_k - pingekonsentratsiooni tegur (1,6-1,8)

D - diameeter (mm)

Kontrollarvutuse tulemus ava juures on ligilähedane ANSYS simulatsiooni tulemustega (sele 6.6), seda arvestades võib lugeda ANSYS-i tulemused õigeteks.

Antud tulemuste põhjal on võimalik väita, et projekteeritud detailidel on olemas piisav tugevusvaru, mis tagab tööriista töökindluse ja pika eluea ka raskemates töötingimustes.

7. OMAHINNA KALKULATSIOON

Omahinna kalkulatsioonis on arvestatud ühe toote hind koos vajaliku sisseseadega.

Tabel 7.1 Haamerpinna töölusinstrumendi kulutabel

Pos.	Nimetus	Märkused	Kogus	Ühik	Ühiku hind, €	Hind kokku,€
1	Rulli tugi	HT01.00.01	8	Tk	15	120
2	Rull	HT01.00.02	8	Tk	25	200
3	Laagri kaas	HT01.00.03	16	Tk	10	160
4	Polt M12 x 1,75 42CrMo4	HT01.00.04	8	Tk	5	40
5	Distantspuks	HT01.00.03	16	Tk	5	80
6	Kummipuks	HT01.00.04	1	Tk	10	10
7	Tsentreeriv kummipuks	HT01.00.05	1	Tk	5	5
8	Plaat	HT01.01.01	1	Tk	200	200
9	Veesuunaja L130	HT01.01.02	8	Tk	2,5	20
10	Veesuunaja L125	HT01.01.03	8	Tk	1,5	12
11	Kuuskantmutter DIN934 M12 A4		8	Tk	0,4	3,2
12	Kuuskantpolt DIN931 M20x80-A4-70		4	Tk	7,2	28,8
13	Laager SKF 6201 2RSH-C3		16	Tk	5,9	94,4
14	Lukustusrõngas DIN472 -32 x 1,2		16	Tk	0,17	2,7
15	O-rõngastihend OR 16,6-2,4 N90, NBR-nitriil		16	tk	0,13	2,1
16	O-rõngastihend OR 27,6-2,4 N90, NBR-nitriil		16	tk	0,17	2,7
17	Roostevaba toru AISI316 26.9x2,6 L15		0,5	m	13,5	13,5
18	Roostevaba tähtseib DIN6798 M12 A4		8	Tk	0,4	3,2
19	Roostevaba tähtseib DIN6798 M10 A4		32	Tk	0,4	12,8

20	Sagedusmuundur Vacon 20 - 400V 15kW 31.0A IP20		1	Tk	928	928
21	Seib DIN 125 M12 A4		16	Tk	0,2	3,2
22	Seib DIN 125 M20 A4		4	Tk	0,5	2
23	Sisekuuskant polt DIN912 M10x 35 A4		32	Tk	0,92	29,4
24	Hammerite värv, punane		1	L	10	10
25	Hammerite värv, roheline		0,5	L	10	5
					Kokku	1988

8. KOOSTAMIS-, HOOLDUS - JA SEADISTAMISJUHEND

Tabel 8.1 Haamerpinna tööriista omadused

Nimetus	Ühik	
Gabariit mõõtmed	mm	Ø 635 x118
Mass	kg	53
Vajalik võimsus	kW	7,4
Pöörlemissagedus	min ⁻¹	245-860
Töötlusrulli mõõtmed	mm	51x40
Töötlemissügavus	mm	0,5-2,5

8.1 Tööriista transportimine

Tööriista transpordiks tuleb kasutada kas käsikahveltõstukit või telfrit. Teisaldamisel tuleb kasutada tõsterihmu moodustades aasa ümber kinnitusplaadi ribide. Raskusi tohib teisaldada ainult selleks vastava koolituse läbinud töötaja.

8.2 Koostamine

Koostamine toimub vastavalt koostamise järjekorrale. Poldid tuleb momentvõtmega kinni keerata õige pingutusmomendiga. Pingutusmomendid lähtudes poldi tugevusklassist on toodud lisas 5.

Tööriista koostamise järjekord:

1. Kinnitusplaat tõstetakse laua peale veesuunajad allpool.
2. Rullitoe kinnitusavad positsioneeritakse kohakuti kinnitusplaadi omadega ja kinnitatakse M10 sisekuuskant poltidega, mille alla paigutatakse lukustusseibid.
3. Laagri kaantes olevatesse soontesse paigaldatakse eelnevalt õlitatud o-rõngad ja kaante nõgusad küljed tehakse kiirpöörde määrdetega kokku.
4. Töötlusrulli ühele poolele sisestatakse laagri kaas nõgusa küljega eespool ja seejärel paigaldatakse laagri kaane ette jäävasse soonde lukustusrõngas.

5. Distantspukside sisestamisel läbi laagri kaane peab jälgima, et o-rõngas ei deformeeruks ja on õigesti pesas.
6. Töötlusrull asetatakse lauale lukustusrõngas allpool ja surutakse rulli sisse järjestikku kaks laagrit.
7. Seejärel paigaldatakse laagrite ette kaas, mille nõgusale küljele on kantud kiirpöörde määret ja lukustatakse lukustusrõngaga.
8. Distantspuksid lükatakse mõlemalt poolt töötlusrulli laagri kaantest läbi vastu laagri sisemist võru.
9. Koostatud töötlusrull paigaldatakse rulli toe vahel olevate avadega kohakuti ja kinnitatakse M12 poldiga. Polt koos seibiga peab jääma rulli toe siseküljele ning mutter koos lukustusseibiga välisküljele.
10. Punktid 2-8 korratakse kõikidel rulli tugeudel.
11. Kummipuksi läbivatele kinnitusavadele pressitakse sisse roostevabast torust tugevdused.
12. Seejärel pressitakse tsentreeriv puks kummipuksi 90 mm avasse tasapinnast 8 mm sügavusele.
13. Koostatud tööriist pööratakse ringi töötlusrullid laua poole ja viiakse tasakaalustamisse.
14. Koostatud kummipuks paigaldatakse kinnitusplaadile vahetult enne tööriista kinnitamist spindli võllile.

8.3 Tööriista vahetus

Tööriista tohivad vahetada ainult selleks väljaõppe saanud isikud. Soovituslik on teostada tööriista vahetus operaatoril ja lukksepal. Kõikidel juhtudel, kus operaator või lukksepp siseneb töötsooni, peab eelnevalt olema rakendatud hädastopp lüliti.

1. Kohale transporditud hammashaamertööriista kinnitused ja laagrite tööseisukord kontrollitakse vahetult enne tööriista vahetamist üle.
2. Mootori nr 2. spindli võlli külge kinnitatud teemantlihvketta kõrgus reguleeritakse transportöörlindist 50 mm kõrgusele, langetatakse turvauks ning seejärel asetatakse lihvketta alla puidust montaaži plaat paksusega 30 mm.
3. Lihvketas viiakse alla poole kuni kokkupuuteni montaaži plaadiga
4. Seejärel keeratakse lahti ja eemaldatakse kinnitusplaati fikseerivad M20 poldid
5. Spindel reguleeritakse transportöörlindist 150 mm kõrgusele.
6. Teemantlihvketta külge kinnitatakse tõstmisrihmad.

7. Tööriist tõstetakse transpordi alusele kasutades telfrit.
8. Tõstmisrihmad kinnitatakse kinnitusplaadi külge ja seejärel tõstetakseööriist transportöörlindil asetsevale montaaži alusele.
9. Kinnitusplaat koos kummipuksiga tsentreeritakse spindli võlliga ja positsioneeritakse kinnitusavadega.
10. Lukustusseibidega varustatud poltidele kantakse grafiitmääret ja poldid keeratakse kinni momentvõtmega nõutud pingutusmomendini.
11. Eemaldatakse töötsoonist montaaži alus.
12. Lõpplülite seadistamine: miinimum asend on 10 mm kõrgusel ning maksimum asend 200 mm kõrgusel transportöörlindist.
13. Veendutakse, et töötsooni pole jäänud seadistamiseks vajaminevaidööriistu.

8.4 Tööriista seadistamine

1. Esmalt seadistatakse mootor nr 1 küljes oleva teemantlihvketta kõrgus vastavalt tellimusele. Näiteks 30 mm paksuse kiviplaadi tellimuse puhul on toorik 32 mm paksune, ning teemantlihvketas seadistatakse eelnevalt 30 mm kõrgusele transportöörlindist. Kõrguse seadistamisel kasutatakse etalonina eelnevalt töödeldud 30 mm paksust kiviplaati.
2. Hammashaamer tööriista töösügavus reguleeritakse nõutud tekstuuri saamiseks eelnevalt töödeldud etaloniga.
3. Enne seadme käivitamist veendutakse, et töötsoon on turvaline.
4. Seejärel paigutatakse kivitoorik transportöörlindile.
5. Reguleeritakse mootor nr 2 pöörlemissagedus kasutades operaatoripaneelil asuvat potentsiomeetrit.
6. Keeratakse lahti tööriista jahutusvee kraan ning reguleeritakse tööriistadele peale voolava vee hulk.
7. Käivitatakse mootorid nr 1 ja 2. Seejärel transportöörlindi ajam ja reguleeritakse ettenihke kiirus.
8. Kui kiviplaat on läbinud kalibreerimisprotsessi ja jõuab hammashaamertööriista töötlustsooni, siis reguleeritakse tööriista kõrgus.
9. Haamerpinna tööriista kõrguse korrigeerimisel lähtutakse töödeldud pinna tekstuurst, töötluste käigus tekkivast vibratsioonist ja mürast.

8.5 Hooldusjuhend

Tööriista hooldusvälbaks on 100 tundi või 1500 m² töödeldud kiviplaati. Samuti teostatakse visuaalne inspeksioon laagri kaane o-rõngas tihenditele ja vajadusel lisatakse sisemistele o-rõngastele määret.

Hoolduse käigus teostatakse järgnevad operatsioonid:

1. Eemaldatakse haamertööriist lihvliinist.
2. Teostatakseööriistale visuaalne inspeksioon.
3. Kontrollitakse töötlusrullide kulumist, laagri kaante pidavust.
4. Seejärel kontrollitakse töötlusrullide laagrite radiaal ja aksiaallõtku.
5. Vajadusel vahetatakse töötlusrullid või rullides olevad laagrid ning laagri kaantes olevad o-rõngastihendid.
6. Laagi kaantes olev nõgus külg täidetakse kiirpöörde määrdega tagamaks dünaamilise o-rõnga õlituse. Määrdeks sobib näiteks „Addinoli“ HIGH SPEED GREASE 2 :NLGI2 või muu tootja poolt samale standardile vastav määre
7. Enne rullide montaaži kontrollitakse momentvõtmega rulli toe M10 kinnituspoltide pingsus.
8. Rulli monteerimisel rulli toe vahele kontrollitakse üle M12 poldid ja koostamisel paigaldatakse mutrite ette uued lukustusseibid.
9. Tööriista kinnitamisel spindli võllile paigaldatakse kinnituspoltidele uued lukustusseibid.

KOKKUVÕTE

Lõputöö on seotud ettevõtte Saare Dolomiit-Väokivi OÜ, uue nimega “Reval Stone”, vajadusega suurendada haamerpinnatöötusega looduskivist fassaadiplaatide ja müürikivide tootmiskahtu. Haamerpinnatöötusega jäetakse kivile aegunud tekstuur. Töödeldavateks kivimiteks on „Reval“ paekivi, „Orgita“ dolomiit ja „Kaarma“ dolomiit.

Tootmisprotsess algab kivi kaevandamisest ja transpordist tootmisüksusesse. Kiviplaadi toorikud lõigatakse kaevandatud kiviplokist ketassaag-freesidega. Toorikud lihvitakse paksusmõõtu ja seejärel töödeldakse käsitööriistaga kivile haamerpinna tekstuur. Töötusprotsess lõppeb pikkus- ja laiusmõõdu töötlemisega, mille järel valmistooted pakendatakse.

Ettevõttes toodetakse haamerpinnatöötusega looduskivi plaate kahes vahetuses maksimaalselt 100 m² kuus, selletõttu on toote hind kõrgem võrreldes automatiseeritud lahendustega.

Haamerpinna käsitööriista töötusorganiteks on töötusrullid millede pinda katavad koonuse kujulised nukid. Töötusrullid on kinnitatud taldrikukujulisele plaadile. Plaati läbivad ristkülikukujulised avad, millesse on paigutatud külgedelt toetatud töötusrullid. Koostatud haamertööriist kinnitatakse käsitööriista mootori võlli külge.

Kiviplaadi töötlemisel surutakse rullide koonused vastu kivi pinda. Taldriku pöörleva liikumise tulemusena hakkavad töötusrullid mööda kivipinda rulluma. Selle tulemusena moodustub haamerpind. Töötus toimub kuival ja tekkinud tolm eemaldatakse töötsoonist imuriga.

Alternatiivina on võimalik saavutada haamerpinnatöötus kivi põletamise või liivapritsiiga töötlemise teel. Kuna eesti looduskivid põletamise järel muutuvad hapramaks ja liivapritsiiga töötlemisliini sisseseade nõuab suuremat tööpinda, on mõistlik kinnitada tööriist olemasolevale seadmele. Analüüsides ettevõtte seadme parki ja tööriista otsustati, et tööriista kinnitusplaat koos töötusrullidega on võimalik kinnitada lihvliinil spindli flantsi külge. Lihvliinis on võimalik töödelda haamerpinnatöötust 550 mm laiusele ja 10-80 mm paksusele kiviplaadile. Ettevõttel on olemas lihvliini kinnitav haamerpinna tööriist millega on töötusprotsess testitud. Olemasolevat tööriista ei kasutata, kuna problemaatilisteks kohtadeks on töötusrulli puhastamine ja kinnitusplaadi pöörlemissageduse reguleerimine, mistõttu olemasoleva tööriista töökindlus ei ole piisav.

Lihvliinile kinnitatava haamerpinna tööriista tööpõhimõtte ja ülesehitus jäetakse käsitööriistaga samaks. Haamerpinna töötlemine lihvliinis teostatakse kahe operatsioonina. Esmalt lihvitakse üle mõõdus kiviplaat paksusesse ja seejärel töödeldakse kivile haamerpinnatöötlus.

Töötamise ajal spindli võllile ülekanduva vibratsiooni vähendamiseks paigaldatakse kinnitusplaadi ja spindli flantsi vahele kummipuks.

Lihvliini töörežiimide väljaselgitamiseks võeti aluseks töötlusrulli laagrite pöörlemissagedus. Mida kaugemal asub töötlusrull kinnitusplaadi tsentrist, seda suuremaks muutub mööda pinda rulluva töötlusrulli pöörlemissagedus. Vastavalt töötlusrulli kaugusele kinnitusplaadi tsentrist dimensioneeriti lihvliini mootori pöörlemissagedus. Asünkroonmootori pöörlemissagedust vähendatakse pöörlemissagedusele 860 min^{-1} . Antud režiimis pöörleb töötlusrulli laager maksimaalselt $10\,450 \text{ min}^{-1}$. Kuna lihvliinile olevate asünkroonmootori pöörlemissagedus ei ole reguleeritav, siis paigaldatakse seadmele sagedusmuundur. Sagedusmuunduri väljundsagedust reguleeritakse operaatori paneelile paigaldatud potentsiomeetriga. Mootori pöörlemissageduse vähenemisega langeb ka mootori võlli küljes oleva ventilaatori pöörlemissagedus, mille tulemusena hakkab asünkroonmootor üle kuumenema. Elektrimootori jahutamiseks paigaldatakse mootori korpusele sundjahutus.

Lihvliinis toimub kivi töötlemine märjalt. Jahutusvesi seguneb haamerpinnatöötamise käigus tekkinud töötlusjääkidega. Vee ja kivi segu kleepub töötlusrulli peale suurendades vibratsiooni ja vähendades tööriista ja laagri eluiga. Töötlusrulli pinna puhastamiseks töödeldakse taldrikukujulisele kinnitusplaadile nelikanttorust valmistatud rulli toele vee läbipääsu avad. Tööriistale voolav vesi liigub tsentrifugaaljõu toimel tsentrist eemale vastu kinnitusplaadile keevitatud veesuunajaid ja sealt omakorda töötlusrulli peale. Kinnitusplaat koos veesuunajatega ja rulli tugevdega valmistatakse S355K2 konstruktsiooni terasest.

Kokku jaotub tööriista perimeetrile kaheksa töötlusrulli. Tsentri poole ei ole võimalik ega mõistlik lisarulle paigaldada, sest kinnituspinda ei ole. Isegi, kui oleks võimalus lisada sisemine rida töötlusrulle, kuluksid need võrreldes välimistega aeglasemini, mille tulemusena moodustub kiviplaadi keskele sügavam tekstuur. Töötlusrull positsioneeritakse rulli toe vahele distantspuksidega ja on seotud omavahel M12 poldiga.

Polt on valmistatud 42CrMo4 parendatud legeerterasest mis pärast induktsioonkarastamist lõõmutatakse ja on ligilähedaste omadustega 10.9 tugevusklassiga poldile.

Kõik poltliited lukustatakse lukustusseibidega, sest vibratsioon soodustab poltliidete iseeneslikku lahti tulemist.

Metallpinnad kaetakse roostekindlate „Hammerite“ värvidega, mis tagab detailide roostekindluse. Ülejäänud terasdetailide valmistamiseks on kasutatud roostevaba terast.

Töötlusrulli laagritele mõjuvate jõudude selgitamiseks teostati kividel survekatse, kus töötlusrull suruti kivisse kuni kivi purunemiseni. Võttes arvesse töötlusrulli pöörlemissagedust, töötamise ajal tekkivaid radiaal - ja tsentrifugaaljõude teostati SKF maatriksi järgi laagrite valik. Koormuse ühtlaseks jaotuseks paigutati ühte töötlusrulli kaks mõlemalt poolt tihendatud SKF 6201 2RS-C3 radiaalkuullaagrit. Laagri elua pikendamiseks projekteeriti laagritele ette tihendavad kaaned, takistamaks vee sissepääsu laagrisse.

Võimsusarvutustest järeldus, et lihvliinil olemasolev 15 kW mootor väändemomendiga 98 N·m on piisav antud tööriistaga töötamiseks. Tööriista käivitamiseks tarbitakse 7,4 kW võimsust ja pöörleva liikumise tekitamiseks vajalik pöördemoment on 80 N·m. Lisaks paigaldatakse lihvliini asünkroonmootorile pöörlemissageduse muutmiseks sagedusmuundur ja mootori jahutamiseks sundjahutus.

Projekteeritud tööriistale tehti tugevuskontroll kasutades „ANSYS“ tarkvara. Esimene simulatsioon teostati tööriistale olukorras, kus tööriist käivitus maksimaalsete pöörlemissageduseni 1460 min⁻¹ ja töötlusrullid ei olnud kivipinnaga kontaktis. Maksimaalsed pinged jäid 30-35 MPa piiresse ja deformatsioonid olid minimaalsed 0,06 mm.

Teine simulatsioon tehti pöörlemissagedusel 860 min⁻¹ ja töötlemissügavus oli seadistatud 2 mm sügavusele. Rulli toe 12 mm diameetriga avale rakendati töötusrulli laagritele mõjuv jõud 1413 N. Maksimaalne pinge tekkis töö olukorras rulli toe väljalõigete piirkonnas ja jäi 20-25 MPa piiresse. Deformatsioonid jäid rulli toel 0,06 mm lähedale.

Simulatsiooni tulemuste põhjal võib väita, et lihvliini spindli flantsile kinnitataval haamerpinna tööriistal piisab tugevusvaru tagamaks tööriista töökindluse ja ohutuse ka raskemates töötingimustes.

Haamerpinna tööriista maksumuseks koos sagedusmuunduriga kujuneb 1988 €. Sada ruutmeetrit haamerpinna töötlemiseks paekivi toodetakse lihvliiniga kolme tööpäevaga, suurendades tootlikkust kümme korda. Tööriista jäikusega on tagatud tööohutus ja laagrite tihendusega töökindlus.

SUMMARY

This master thesis is about lychee surface finishing tool that is used in stone industry. The primary purpose is to find a way to increase the production capacity of lychee surface finishing on Estonian limestone tiles. The topic of master thesis was offered by Estonian natural stone manufacturing company “Saare Dolomiit - Väokivi”, also known by trademark name “Reval Stone”. Lychee surface tool has to be refitted to available automated machinery in order to produce higher quantities of lychee surface finished stone tiles. Main objectives in this thesis are to modify the bush hammering plate so it can be connected to automated machinery. During machining process it is necessary to maintain constant surface quality taken account the work safety.

The surface finishing is machined by hand using a small bush hammering machine. Thus lychee surface machining process is labour intensive and time consuming. Due to this the price of bush hammer finished stone products are high and manufacturing capacity limited to 100 square meters per month.

Lychee surface finishing is also known as bush hammered finishing and is machined with a bush hammering tool. Bush hammering surface finishing can be compared to sandblasted or flamed surface finishing. Since the company does not have free space or necessary working conditions to install sandblasting machinery these alternative means of surface finishing are not taken into account.

The manufacturing process starts with the stone extraction from quarry. Then stone block is transported to manufacturing plant in Tallinn. First the blocks are cut in to raw stocks with bridge saw. Raw stock stone tiles are fed in to stone polishing machine. Stone polishing line calibrates the stone to required thickness. After achieving the required thickness the bush hammered surface is hand machined. Then stone tiles are cut in to final length and width. Finally the product is packaged.

Bush hammering hand machine is assembled out of three parts. Bush hammering plate that is 140 mm in diameter, roller support and bush hammer roller that is covered with spikes, is 51 mm in diameter. The rollers and rotate about its horizontal axes, due to rolling motion the spikes are forced in to the stone surface causing stone surface to chip and brake forming lychee surface.

Spiky rollers are connected via support to a fixed distance from the center of bush hammering plate. Bush hammer plate rotates about its vertical axes causing the rollers to start moving on the stone.

Polishing machines operating principle is the same as hand bush hammering machines- the abrasive pad connector plate rotates about its vertical axis. Therefore it is reasonable to connect the lychee surface tool onto polishing lines spindle. When raw stock stone is fed into polishing machine it is calibrated and the second operation is bush hammering. After surface finishing the stone is cut in to shape and packaged. The bush hammering tool has been previously tested in the stone polishing machine but due to high rotation speed and poor surface washing the tool was unreliable.

Hand bush hammering tool is too small diameter to connect it straight on the spindles flange. Thus the connector plate is made larger in diameter and roller supports are repositioned on to the perimeter of the plate. The further rotating object is from the center, the higher the angular speed. The greater the diameter of bush hammer plate, the longer the circumference of the circle. Because of this the rollers connecting to the perimeter of the plate rotate faster.

The rotating speed of rollers are limited by bearing frequency of rotation-10450 min^{-1} . This value is calculated based on hand machines operating parameters. Correct bearing frequency of rotation is achieved by reducing the speed of polishing line spindles from 1460 min^{-1} to 245 - 860 min^{-1} . This is done by adding variable frequency drive to asynchronous motor that drives the spindle. To reduce the vibrations that take place during machining, a rubber bushing is added between spindle flange and bush hammering plate.

Since the manufacturing is done in polishing line, the production capacity is limited by the calibration process. The machine time needed to manufacture 100 square meters of stone tile is 7,5 hours. From the start of manufacturing process it takes 3 days working it two shifts to complete 100 m^2 order.

There is one big difference between hand machine and polishing line. Hand machine is operated in dry conditions, but polishing line requires working with cooling water in order to clean the diamond grinding tool. When the spiky roller breaks the surface of stone, a large amount of dust and chips mix with water. Formed abrasive slurry sticks onto the roller causing more vibrations thus shortening the roller bearing life.

Water flowing onto the bush hammering plate moves away from center due to centrifugal forces. Special openings are cut in to the plate and roller supports. In order to guide the water on to the roller, obstacles are welded onto bush hammer plate. Roller supports are made out of S355J2H structural steel square metal profiles. The support is cut in to parallelogram shape. This helps to create water flow between the support and roller during bush hammering plate's rotation. Holes are cut in to both sides of metal profiles so the water can wash off the slurry from spiky rollers surface. Bush hammer plate is made of 25 mm thick structural steel S355K2. Total of eight rollers are installed equally on to the perimeter of the bush hammer plate. It is not possible to add more rollers to the plate due to lack of space.

If there would be space to add an inner row of rollers they would wear off slower compared to outer rows rollers and the surface finishing would be uneven. The rollers are positioned between the supports with custom made precision M12 bolts that are made of alloyed heat treatable steel 42CrMo4. The bolt physical properties are close to 10.9 strength class bolt. Since the vibrations cause the loosening of bolts, nuts are locked with locking washers.

Total of two deep groove ball bearings are installed in to the spiky roller. Axial force was found based on centrifugal force. In order to find the radial force, static compression tests were made on 30 mm thickness „Reval“ limestone. The spiky roller was attached to hydraulic cylinders shaft and was forced on to 30 mm stone. Pressure in the cylinder was measured the radial force was calculated based on pressure inside the cylinder. Special sealed covers are installed in front of the bearings to stop the water and slurry entering the bearings. Depending on the stone type it is possible to machine approximately 1500-3000 m² of stone tiles.

Polishing machine is fitted with 15 kW asynchronous motor that produces 98 N·m of torque. To start rotation of bush hammer tool 80 N·m of torque is required and 7,4 kW of power is consumed. Therefore the polishing machines motor is enough to work with the lychee surface finishing tool. Power required to work the stone is less than starting power because the rollers roll over the stone surface.

Finite element method analysis was carried out using ANSYS program to test the strength of bush hammer plate and support in most extreme working conditions. First analysis was made to test the tools performance when asynchronous motor was maximum rotating speed 1440 min⁻¹. The maximum stress was 35 MPa near the rectangular roller supports holes. Deformations were minimal 0,06 mm.

Second test was made in maximum working conditions on the hardest stone- “Reval” limestone. In this test the maximum speed of 860 min^{-1} was used and the maximum radial force of 1413 N was applied to the roller support surface diameter 12 mm. The maximum stress of 20-25 MPa occurred near roller support holes. Deformations were also minimal of 0.08 mm. The material S355J2H yield strength is 355 MPa. Based on the strength analysis the tool is rigid and safe enough to use.

In conclusion the lychee surface tool was attached to stone polishing machines spindle. Manufacturing quantity was increased ten times compared to hand machining. Total cost of lychee surface finishing tool is 1988€.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Saare Dolomiit-Väokivi kodulehekülg [WWW] www.revalstone.com (02.03.2014).
2. Lubjakivi [WWW] <http://www.ut.ee/BGGM/maavara/lubjakivi.html> (02.03.2014).
3. Flowcharti koostamise keskkond [WWW] www.gliffy.com (03.03.2014).
4. M.Heiniö. Rock excavation handbook. Sandvik Tamrock corp.1999.
5. Hiina lihvliini „Sheng Ya DA 157“ kasutusjuhend (03.03.2014).
6. Kiviraiumise ABC [WWW] <http://www.paberimuseum.ee/kivitest/kiviraiumise-abc> (10.03.2014).
7. Lupatomeccanica [WWW] <http://www.lupatomeccanica.com> (10.03.2014).
8. Stonediamandtool [WWW] <http://www.stonediamandtool.en.alibaba.com> (10.03.2014).
9. Tõlkijad: H.Herranen, K.Karjust, J.Kers, J.Krustok, P.Kulu, H.Käerdi, A.Laansoo, H.Lend, T. Otto, P.Põdra, J.Riives, M.Saarna, F.Sergejev, T.Tiidemann, R.Veinthäl. Üldtoimetaja P.Kulu, toimetaja E. Hendre. Mehaanikainseneri käsiraamat. Tallinn: TTÜ kirjastus, 2012.
10. Saarstahl [WWW] www.saarstahl.com (16.03.2014).
11. Baltic Bolt [WWW] www.balticbolt.ee (16.03.2014).
12. SKF laagrid [WWW] <http://www.skf.com/ee> (05.04.2014).
13. Human performance capabilities [WWW] <http://msis.jsc.nasa.gov/sections/section04.htm> (12.04.2014).
14. Eriks o-ring Groove wizard [WWW] <http://oring-groove-wizard.eriks.co.uk/> (13.04.2014).
15. Motor horsepower and torque [WWW] <http://www.pump-zone.com/topics/pumps/motor-horsepower-torque-versus-vfd-frequency> (15.04.2014).
16. V. Beldjajev. Täiturmehhanismid. Tallinn : TTÜ, 2010.
17. Raalprojekteerimissüsteemide loengumaterjalid [WWW] http://innomet.ttu.ee/martin/MER0030/lectures/FEMi_konspekt.pdf (18.05.2014).
18. A. Teaste, J. Riives, J. Hrisoforov. Tehnilise joonestamise põhimõisted. Tallinn: TTÜ, 1991.

LISAD

Lisa 1. SKF laagri valiku matriks

The matrix can only provide a rough guide so that in each individual case it is necessary to make a more qualified selection referring to the information given in the catalogue

Symbols:
 +++ excellent
 ++ good
 + fair
 - poor
 .. unsuitable
 + single direction
 ↔ double direction

Design					Characteristics														
					Suitability of bearings for														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
					6 Purely radial load 7 Purely axial load 8 Combined load 9 Moment load 10 High speed 11 High running accuracy 12 High stiffness 13 Quiet running 14 Low friction 15 Compensation for misalignment in operation 16 Compensation for errors of alignment (initial) 17 Locating bearing arrangements 18 Non-locating bearing arrangements 19 Axial displacement possible in bearing														
Deep groove ball bearings		a				+	+	+	-	+++	+++	+++	+++	-	-	++	+	---	
Angular contact ball bearings		b	a, b	c		+	+	+	-	+++	+++	++	++	-	-	++	+	---	
Self-aligning ball bearings						+	-	-	-	+++	++	++	+++	+++	+++	+	+	---	
Cylindrical roller bearings						++	++	++	++	++	++	++	++	-	-	++	++	+++	
full complement			a	b		+++	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	+	+	
Needle roller bearings		a	c			+++	-	-	+	+	+++	-	-	-	-	+	+	+	
Tapered roller bearings		b, c				++	+	+	-	+	++	+	+	-	-	++	++	---	
Spherical roller bearings						+++	+	+	-	+	++	+	+	+	+++	++	+	---	
CARB bearings						+++	+	+	-	+	++	+	+	+	+++	++	+	---	
full complement						+++	+	+	-	+	++	+	+	+	+++	++	+	---	
Thrust ball bearings						---	+	+	-	+	++	+	+	-	-	++	++	---	
Needle roller thrust bearings						---	+	+	-	+	++	+	+	-	-	++	++	---	
Spherical roller thrust bearings						---	+	+	-	+	++	+	+	-	-	++	++	---	

Lisa 2. 42CrMo4 materjali spetsifikatsioon

Material specification sheet

Saarstahl - 42CrMo4 - 42CrMoS4

Material No:	Former brand name:	International steel grades:
1.7225	Mo 40	BS: 708M40, 709M40, 708A42
1.7227		AFNOR: 42CD4 SAE: 4140H, 4140RH

Material group: Steel for quenching and tempering according to DIN EN 10083

Chemical composition: (Typical analysis in %)	Steel	C	Si	Mn	Cr	Mo	S	other
	42CrMo4	0,42	0,25	0,75	1,10	0,22	<0,035	(Pb)
	42CrMoS4	0,42	0,25	0,75	1,10	0,22	0,020 0,035	(Pb)

Application: Alloyed heat treatable steel with a typical tensile strength of 900 - 1200 N/mm². For automotive and aircraft components with high toughness as axle journals, gears, tyres, push rods.

Hot forming and heat treatment:	Forging or hot rolling:	1100 - 850°C
	Normalising:	850 - 880°C/air
	Soft annealing:	680 - 720°C/furnace
	Hardening:	820 - 860°C/oil, water
	Tempering:	540 - 680°C/air

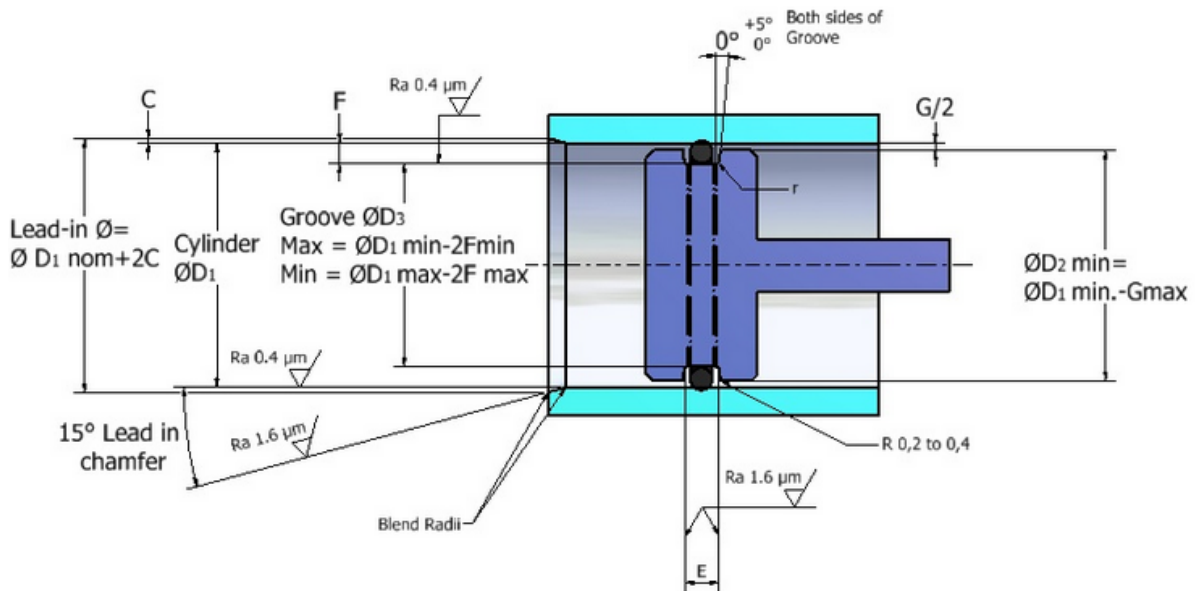
Mechanical Properties: Treated for cold shearability +S: max. 255 HB
Soft annealed +A: max. 241 HB

Quenched and tempered, +QT:

	< 16	>16 – 40	>40 – 100	>100 – 160	>160 – 250
Diameter d [mm]	< 16	>16 – 40	>40 – 100	>100 – 160	>160 – 250
Thickness t [mm]	< 8	8<t<20	20<t<60	60<t<100	100<t<160
0,2% proof stress R _{p0,2} [N/mm ²]	min. 900	min. 750	min. 650	min. 550	min. 500
Tensile strength R _m [N/mm ²]	1100 - 1300	1000 - 1200	900 - 1100	800 - 950	750 - 900
Fracture elongation A ₅ [%]	min. 10	min. 11	min. 12	min. 13	min. 14
Reduction of area Z [%]	min. 40	min. 45	min. 50	min. 50	min. 55
Notch impact energy ISO-V [J]	min. 30	min. 35	min. 35	min. 35	min. 35

Lisa 3. Staatilise o-rõnga mõõtmed

Dimensions for: BS4518-0276-24 under Static conditions



O-Ring Dimensions

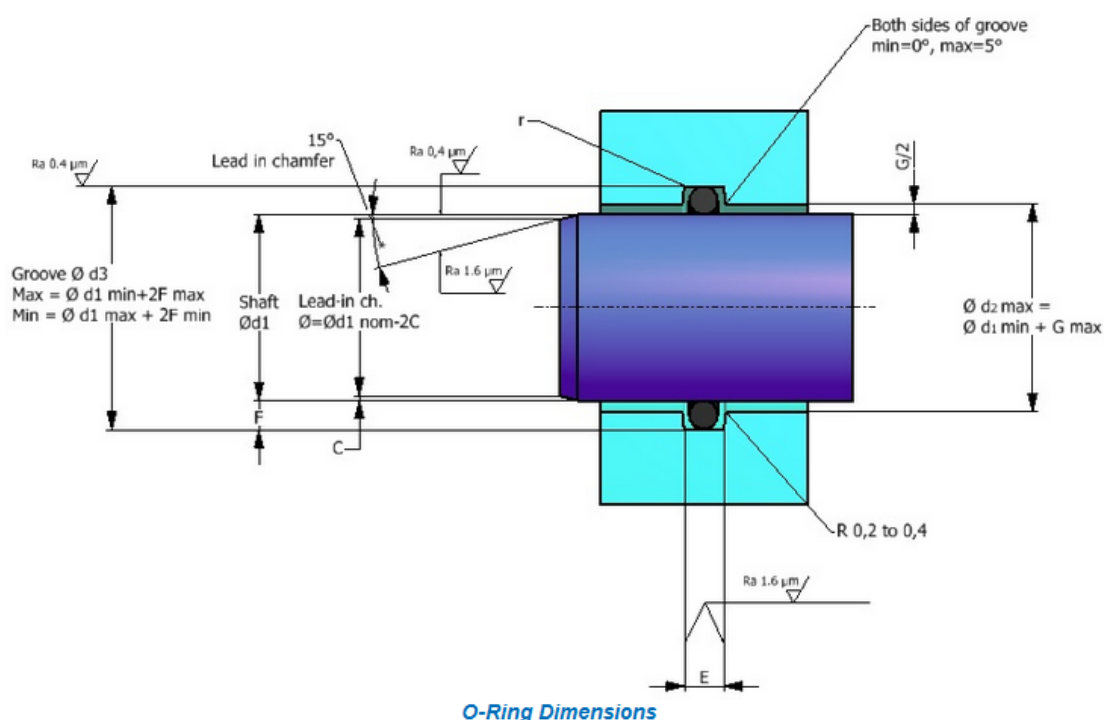
Dimension	Value	Unit
O-Ring Cross Section, A	2.4	mm
O-Ring Cross Section, A Tolerance	0.08	mm
O-Ring Internal Diameter, B	27.6	mm
O-Ring Internal Diameter, B Tolerance	0.25	mm

Hardware Dimensions

Dimension	Value	Unit
Lead-in Chamfer, C	0.7	mm
Nominal Shaft Diameter, d_1	32.0	mm
Groove Width, E	3.1	mm
Groove Width Tolerance (+)	0.2	mm
Maximum Radial Depth, F	1.97	mm
Minimum Radial Depth, F	1.84	mm
Total Diametral Clearance, G	0.14	mm
Maximum Groove Radius, r	0.5	mm

Lisa 4. Dünaamilise o-rõnga mõõtmed

Dimensions for: BS4518-0166-24 under Hydraulic conditions



Dimension	Value	Unit
O-Ring Cross Section, A	2.4	mm
O-Ring Cross Section, A Tolerance	0.08	mm
O-Ring Internal Diameter, B	16.6	mm
O-Ring Internal Diameter, B Tolerance	0.20	mm

Hardware Dimensions

Dimension	Value	Unit
Lead-in Chamfer, C	0.6	mm
Nominal Shaft Diameter, d_1	21.0	mm
Groove Width, E	3.2	mm
Groove Width Tolerance (+)	0.2	mm
Maximum Radial Depth, F	2.09	mm
Minimum Radial Depth, F	1.97	mm
Total Diametral Clearance, G	0.14	mm
Maximum Groove Radius, r	0.5	mm

Lisa 5. Meeterkeermega poltide pingutusmomendid

Meeterkeermega poltide pingutusmomendid, Nm						
Keere M	Võtmemõõt mm	Tugevusklass				
		4.6	5.8	8.8	10.9	12.9
1,6	3,2	0,065	0,10	0,17	0,24	0,29
1,8	3,2	0,096	0,16	0,25	0,36	0,43
2	4	0,13	0,22	0,35	0,49	0,58
2,2	4	0,17	0,29	0,46	0,64	0,77
2,5	5	0,26	0,44	0,70	0,98	1,2
3	5,5	0,46	0,77	1,2	1,7	2,1
2,5	5,5	0,73	1,2	1,9	2,7	3,3
4	7	1,1	1,8	2,9	4,0	4,9
4,5	7	1,6	2,6	4,1	5,8	7,0
5	8	2,2	3,6	5,7	8,1	9,7
6	10	3,7	6,1	9,8	14	17
8	13	8,9	15	24	33	40
10	16	17	29	47	65	79
12	18	30	61	81	114	136
14	21	48	80	128	181	217
16	24	74	123	197	277	333
18	27	103	172	275	386	463
20	30	144	240	385	641	649
22	34	194	324	618	728	874
24	36	249	416	665	935	1120
27	41	360	600	961	1350	1620
30	46	492	819	1310	1840	2210
33	50	663	1100	1770	2480	2980
36	55	855	1420	2280	3210	3850
39	60	1100	1830	2930	4120	4940
42	65	1860	2270	3640	5110	6140
45	70	1690	2820	4510	6340	7610
48	75	2040	3400	5450	7660	9190
52	80	2620	4370	6990	9830	11800
56	85	3270	5440	8710	12200	14700
60	90	4050	6750	10800	15200	18200
64	95	4900	8170	13100	18400	22000
68	100	5910	9860	15800	22200	26600
72	105	7060	11800	18800	26500	31800
76	110	8340	13900	22200	31300	37500
80	115	9770	16800	26100	36600	44000
85	120	11800	19600	31400	44200	53000
90	130	14000	23400	37400	52700	63200
95	135	16600	27600	44200	62200	74600
100	145	19400	32300	51700	72700	87300

Lisa 6. SKF laagri eluea arvutus



Lubrication

Lubrication specification method: SKF grease

Grease: LGLT 2:Low load and temperature, high speed

EP additives: Yes Eta-C < 0,2, the possible benefit of EP additives has to be proven by testing.

Shaft arrangement: Horizontal

Ring rotation: Outer ring rotation

Running conditions

	Time	Speed	Temp	Radial load	Axial load
		<i>r/min</i>	<i>°C</i>	<i>kN</i>	<i>kN</i>
Interval 1:	100	10450	30	0.21	0.46

Contamination factor

Cleanliness classification: Very severe contamination (open bearing/heavy dirt ingress)

Assembly in contaminated environment; inadequate sealing system; too long relubrication intervals.

Detailed Results - SKF Rating Life & ISO 281 Basic Rating Life

Bearing type: Deep groove ball bearings, Single row

Designation: 6201-2RSH

SKF rating life	
L_{10mh} :	910 hours
L_{10m} :	571 $10^6 rev$
ISO basic rating life	
L_{10h} :	9100 hours
L_{10} :	5710 $10^6 rev$
Speed:	10450 <i>r/min</i>
Temperature:	40 <i>°C</i>
Operating viscosity:	18.0 mm^2/s
Viscosity ratio, κ :	2.23
Contamination factor, η_c :	-
SKF life modification factor, a_{SKF} :	0.1

Summary - SKF Rating Life

Bearing type: Deep groove ball bearings, Single row

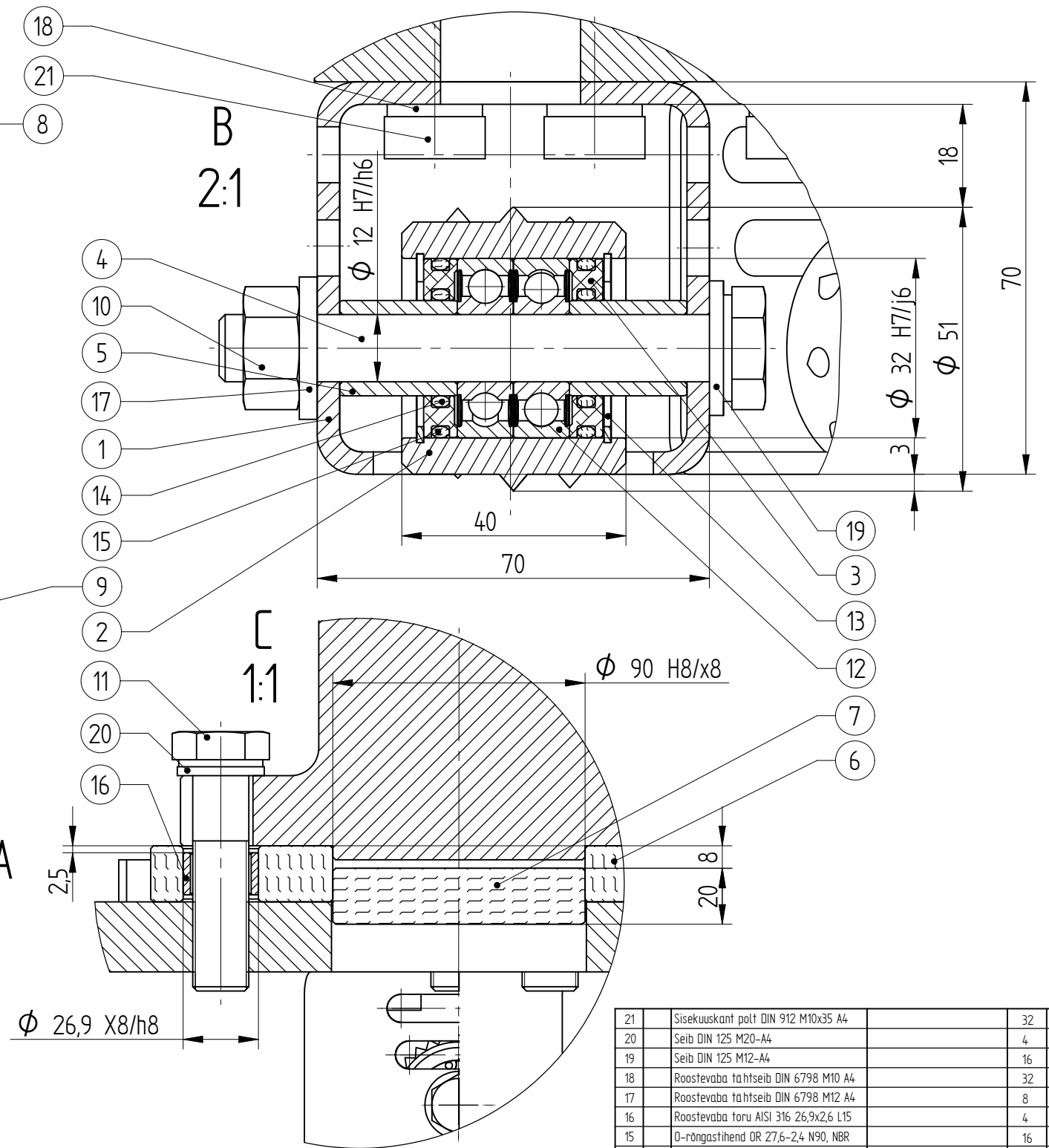
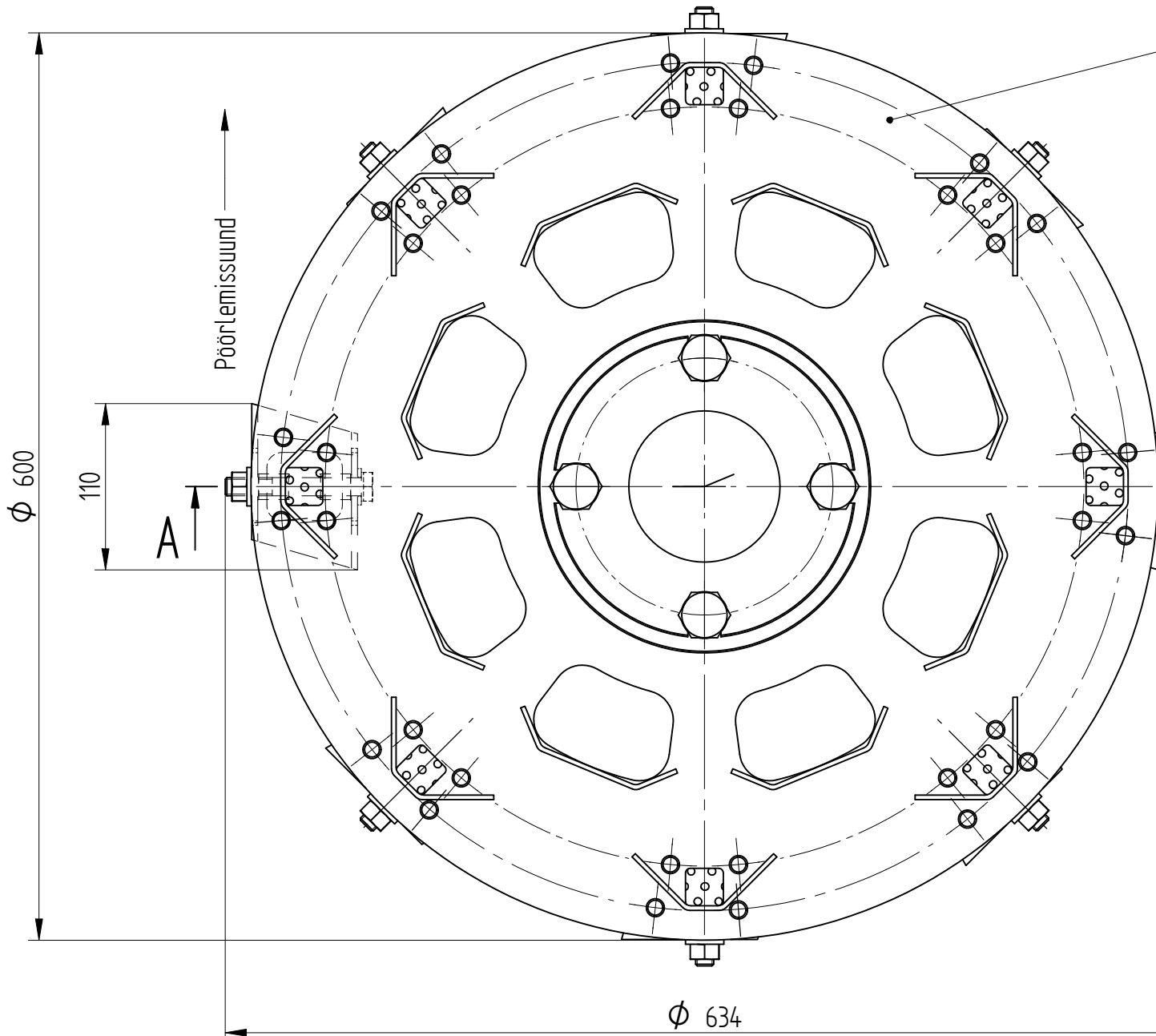
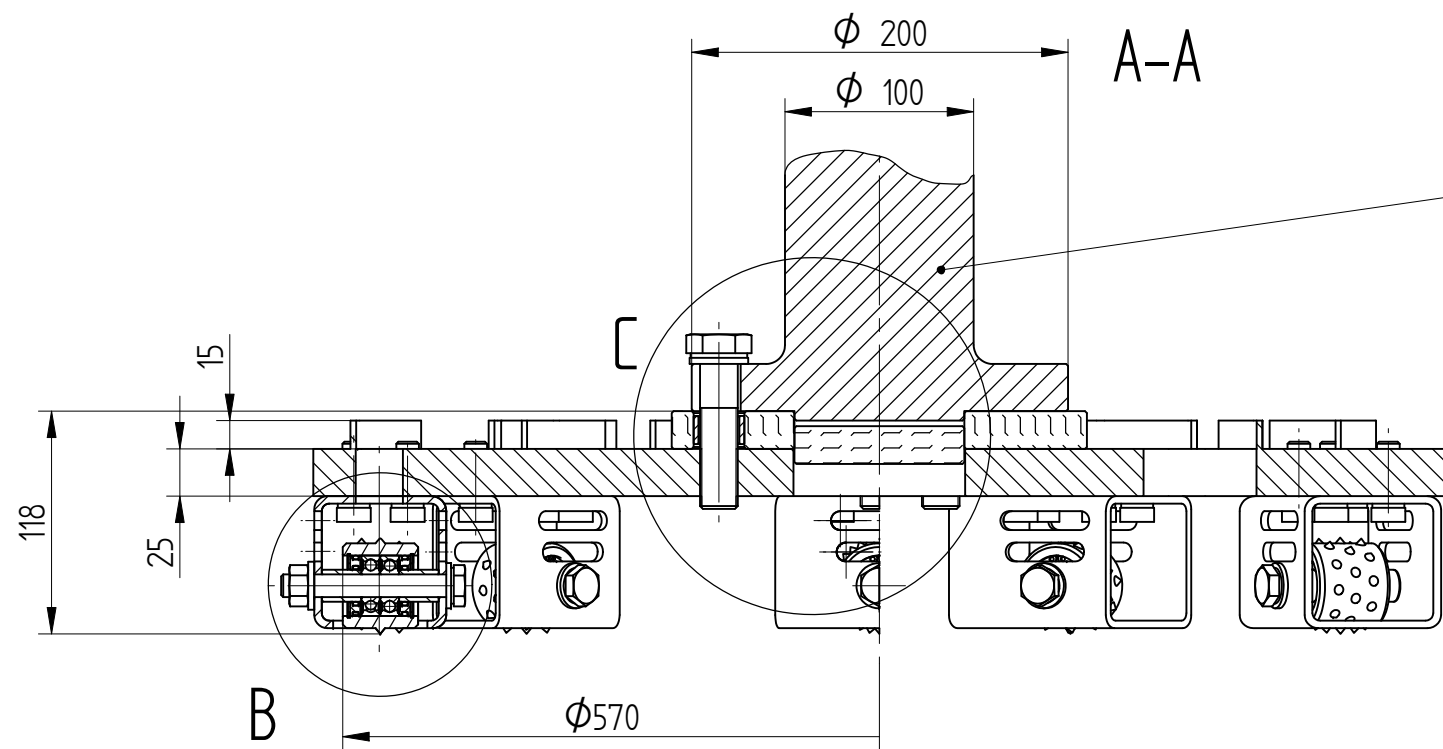
Designation: 6201-2RSH

Clearance: C3

Designation	d	D	B	C	C_0	L_{10m}	L_{10mh}	Notes
	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>kN</i>	<i>kN</i>	$10^6 rev$	<i>hours</i>	
6201-2RSH *	12.0	32.0	10.0	7.28	3.1	571	910	1)

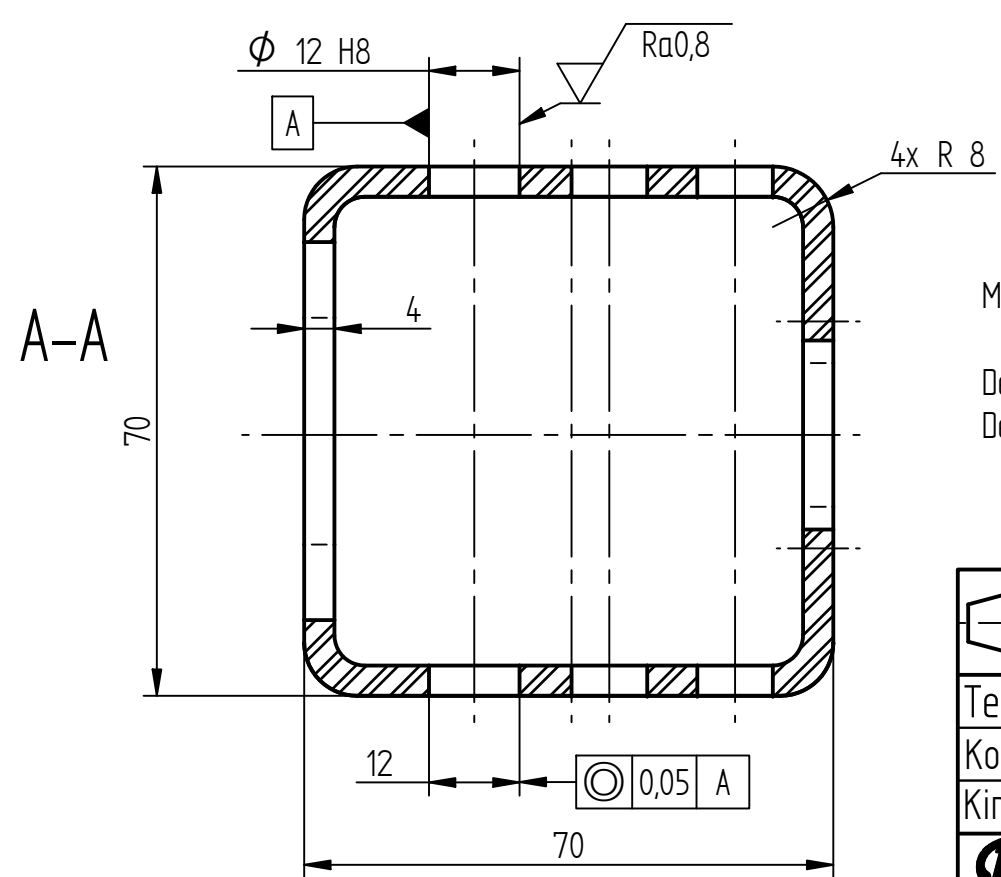
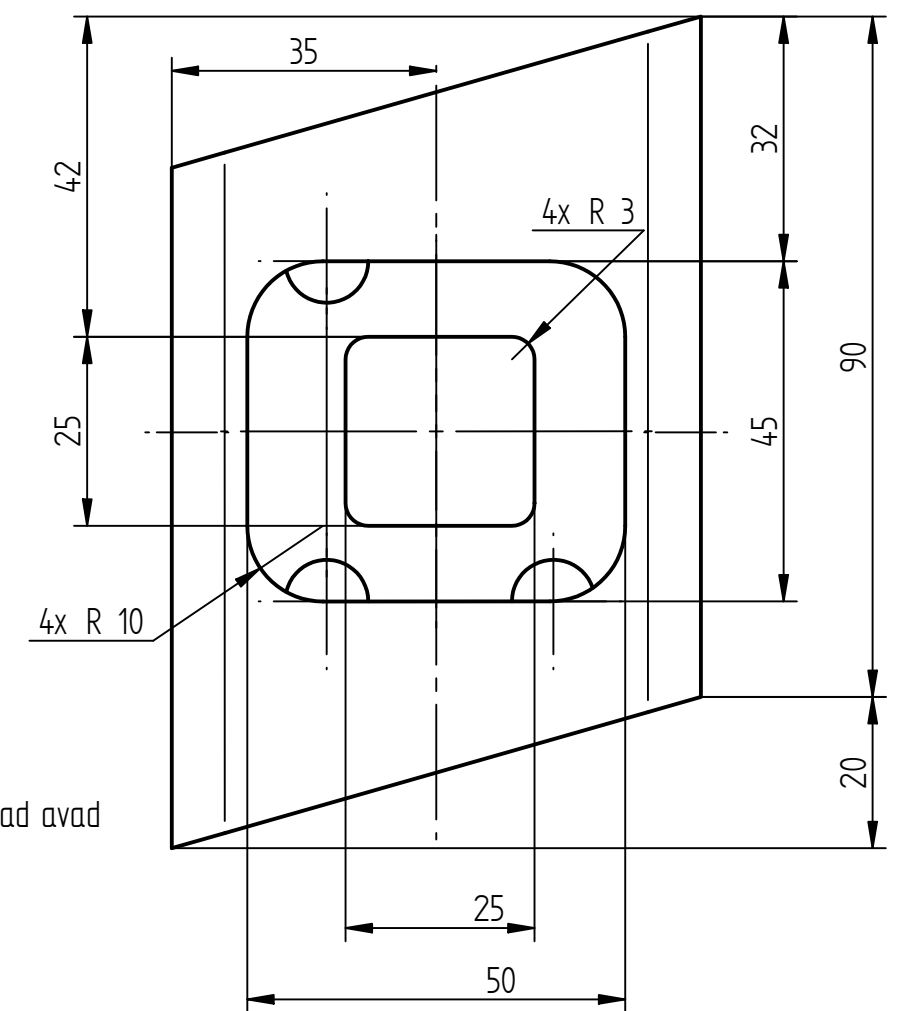
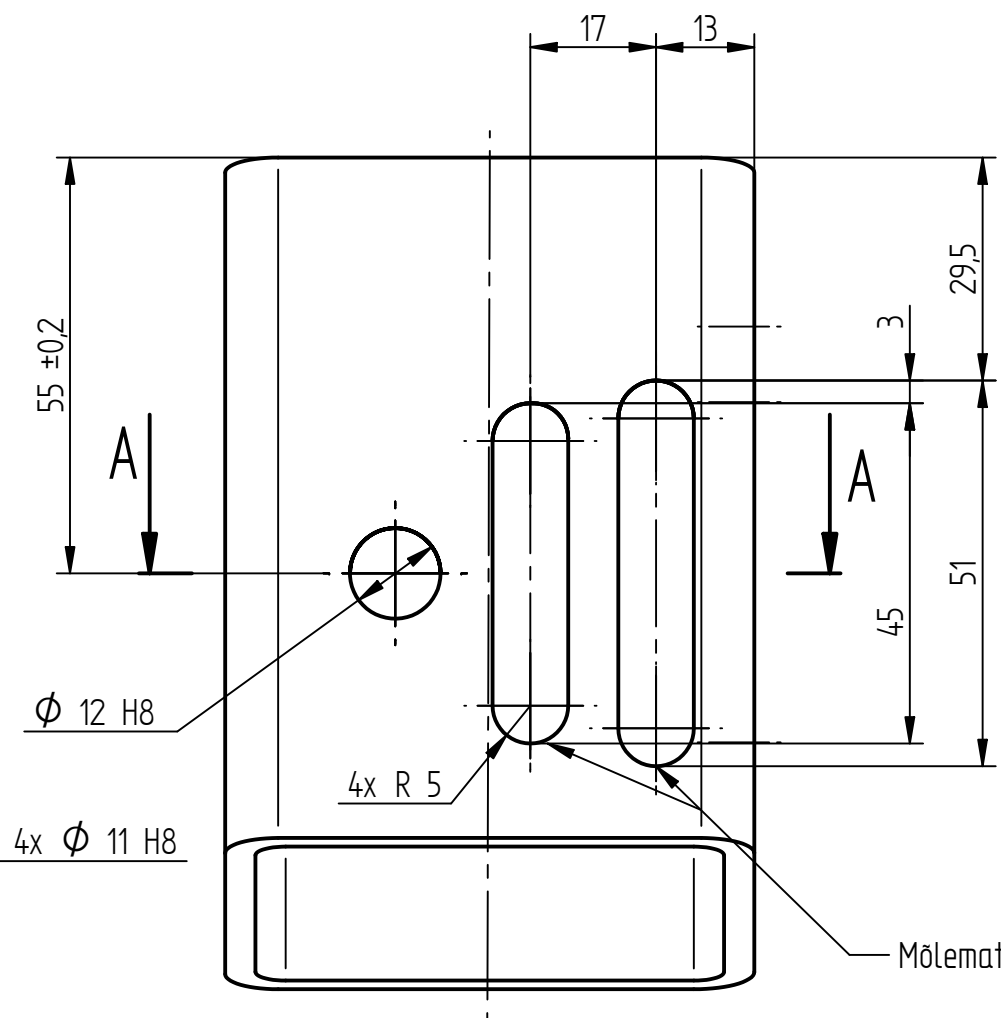
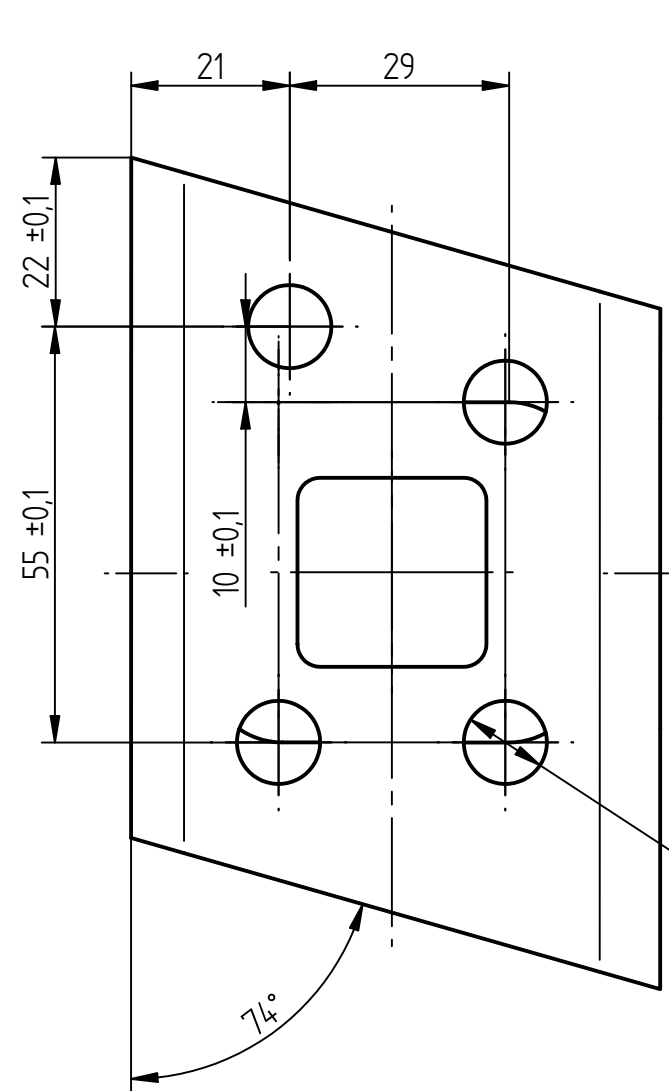
* SKF Explorer bearing

1) This bearing can not be relubricated



Märkused
Pärast koostamist tööriist balansseerida

21	Sisekuuskant pott DIN 912 M10x35 A4		32		
20	Seib DIN 125 M20-A4		4		
19	Seib DIN 125 M12-A4		16		
18	Roostevaba tahkseib DIN 6798 M10 A4		32		
17	Roostevaba tahkseib DIN 6798 M12 A4		8		
16	Roostevaba toru AISI 316 26,9x2,6 L15		4		
15	O-rõngastihend OR 27,6-2,4 N90, NBR		16		
14	O-rõngastihend OR 16,6-2,4 N90, NBR		16		
13	Lukustusrõngas DIN 472-32x1,2		16		
12	Laager SKF 6201 2RSH-C3		2		
11	Kuuskantpeaga polt DIN 931 M20x80 A4		16		
10	Kuuskantmutter DIN 934 M12 A4		16		
9	Kinnitusplaat	HT0100.00	1		
8	Kinnitus	HT0100.08	1		
7	Tsentreeriv puks, Hydrin H75	HT0100.07	1		
6	Kummipuks, Hydrin H75	HT0100.06	1		
5	Distantspuks, X18Cr13 EN 10088	HT0100.05	16		
4	Polt M12 x 1,75, 42CrMo4 EN 10038	HT0100.04	8		
3	Laagrikaas, EN AW 6201 T6	HT0100.03	16		
2	Töötusrull	HT0100.02	8		
1	Rulli tuul, S355J2H EN 10219	HT0100.01	8		
Osa	Väli	Nimetus/materjal	Tahis	Hulk	Märkus
		Materjal:	Märkimata piirhälbed:	Mass:	Moot:
				53 kg	12
Teostas:	ALuus	Nimetus:	Haamerpinnatöötuse tööriist		Faali nimetus:
Kontrollis:	G.Ivalo				HT0100.00
Kinnitas:					
		Leht:	Tahis:	Formaat:	
		1	HT0100.00	A1	



Mõlemat külge läbivad avad

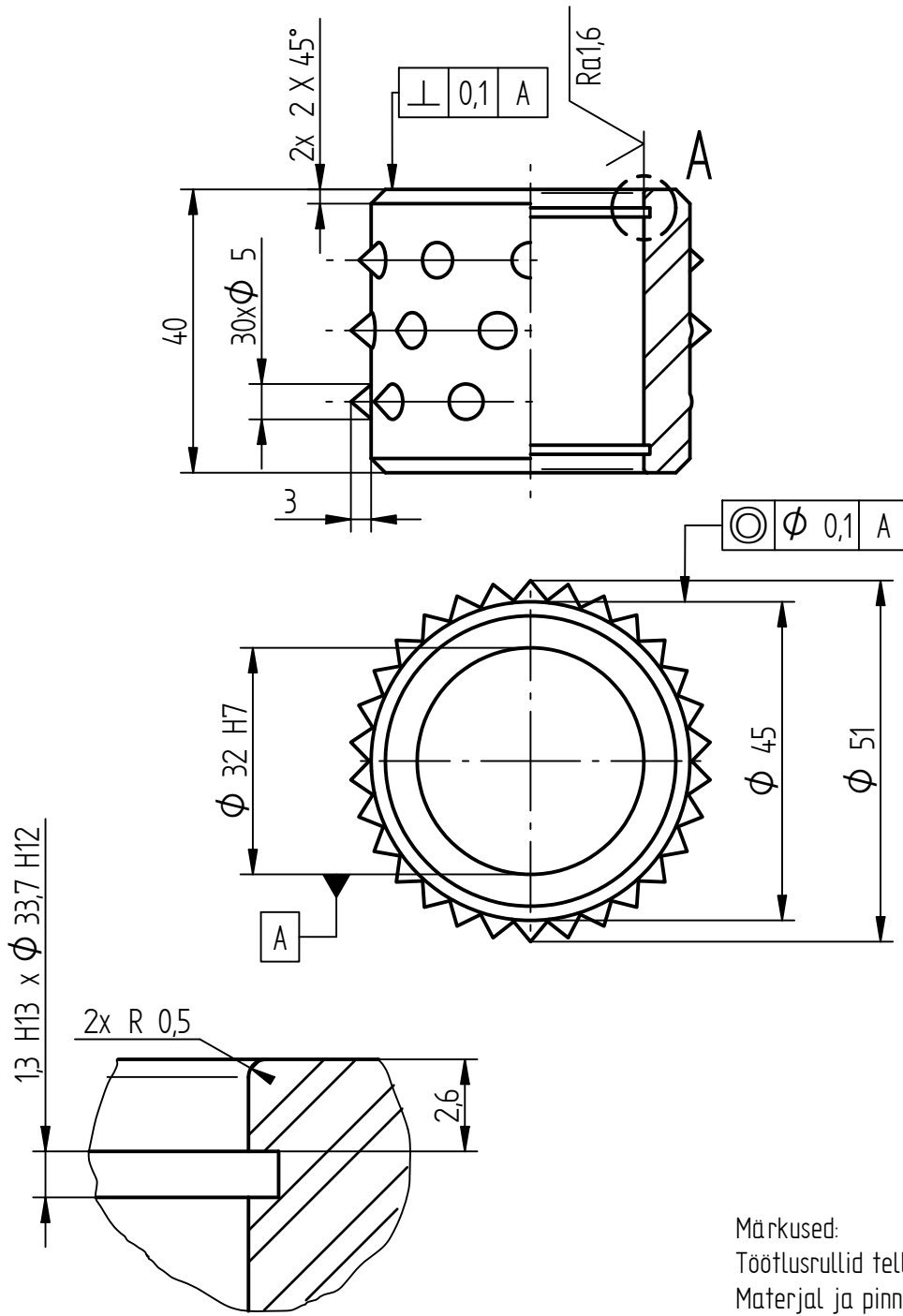
Märkused:

Detaililt eemaldada teravad servad ja kraatid
Detail katta punase hammerite värviga -2 kihti

√ Ra6,3 (✓)

	Materjal: S355J2H EN10219	Märkimata piirhälbed: ISO 2768-m	Mass: 0,5 kg	Mööd: 1:1
	Teostas: A.Luus	Nimetus: <i>Rulli tugi</i>		Faili nimetus: HT01.00.01
Kontrollis: G.Ivalo			Leht: 1	Tähis: HT01.00.01
Kinnitas:			Formaat: A3	

Saare Dolomiit- Väokivi OÜ
Peterburi tee 94a, 11415 Tallinn, Estonia
tel. +372 635 6580 www.revalstone.com
fax +372 635 7598 info@revalstone.com

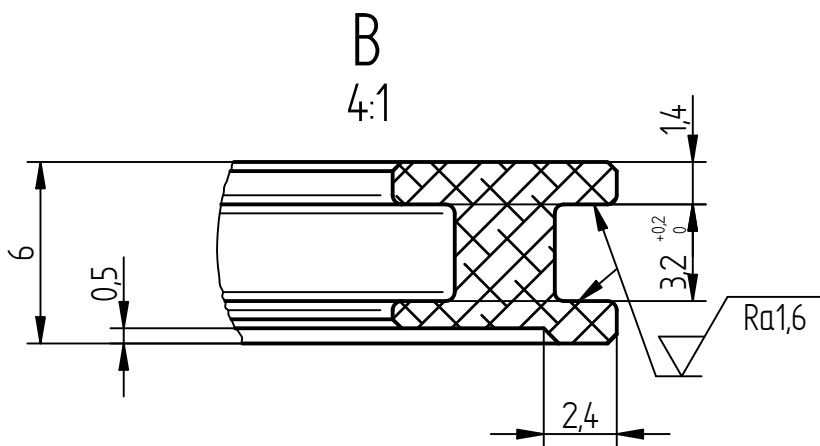
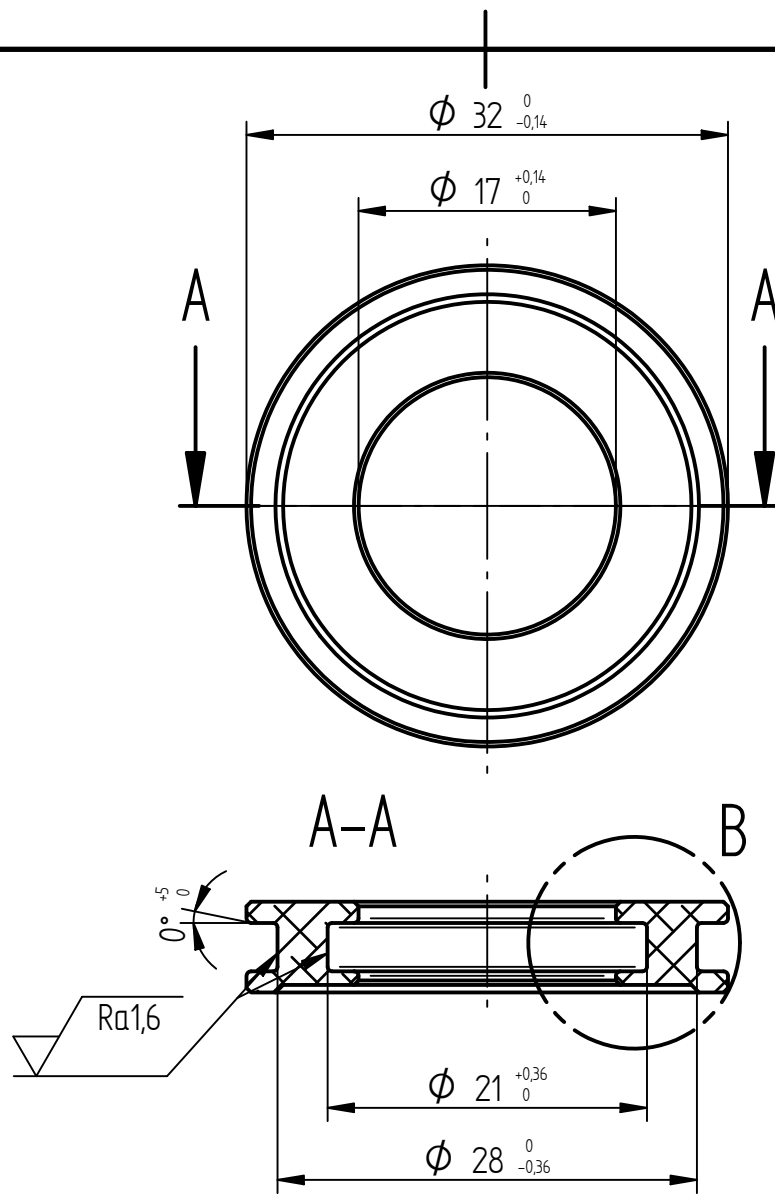


Märkused:
 Töötlusrullid tellitakse Hiinast
 Materjal ja pinne valitakse
 tootja poolt.

$\sqrt{Ra6,3}$ (✓)

A
 5:1

	Materjal:	Märkimata piirhälbed: ISO 2768-m	Mass: 250g	Mööd: 1:1
Teostas:	A.Luus	Nimetus: <i>Töötlusrull</i>	Faili nimetus: HT01.00.02	
Kontrollis:	G.Ivalo			
Kinnitas:				
	Saare Dolomiit- Väokivi OÜ Peterburi tee 94a, 11415 Tallinn, Estonia tel. +372 635 6580 www.revalstone.com fax +372 635 7598 info@revalstone.com	Leht: 1	Tähis: HT01.00.02	Formaat: A4

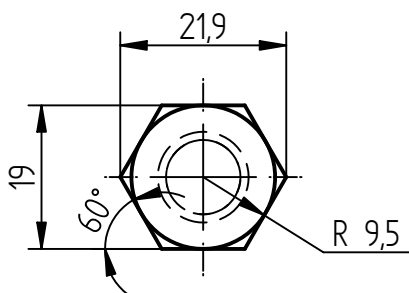
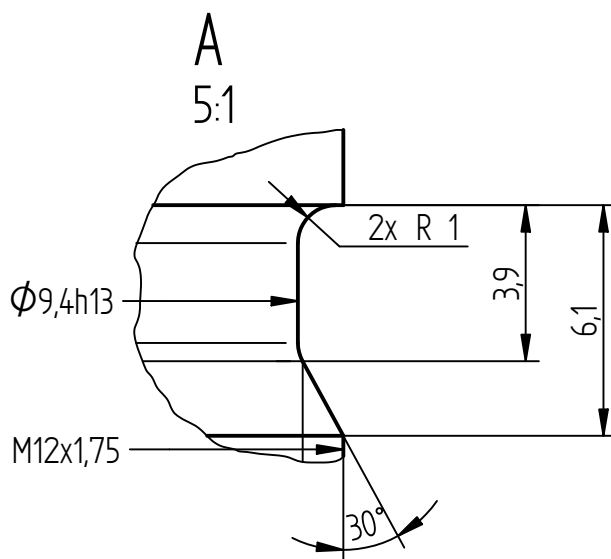
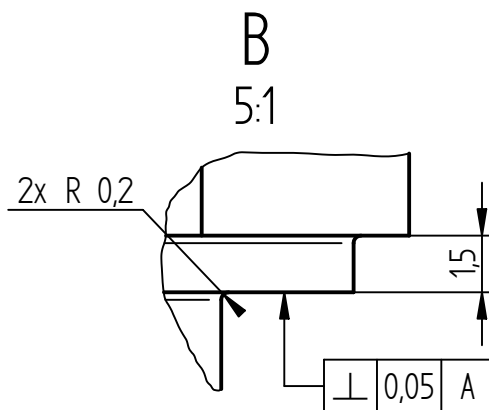
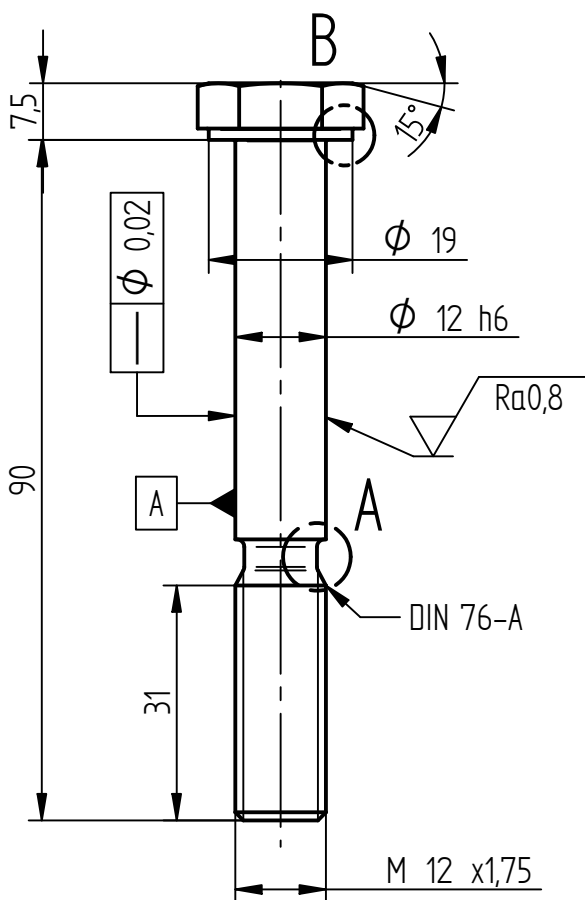


Märkused:

Kõik ümardusraadiused $R=0,3\text{mm}$
 Kõik faasid $0,3 \times 45^\circ$
 Detaililt eemaldada
 teravad servad ja kraatid
 Pärast töötus anodeerida

$\sqrt{\text{Ra}6,3}$ (✓)

	Materjal:	EN AW - 6061 T6	Märkimata piirhälbed:	ISO 2768-m	Mass:	6g	Mõõt:	2:1	
	Teostas:	A.Luus	Nimetus:	<i>Laagrikaas</i>	Faili nimetus:	HT01.00.03			
Kontrollis:	G.Ivalo								
Kinnitas:									
	Saare Dolomiit- Väokivi OÜ Peterburi tee 94a, 11415 Tallinn, Estonia tel. +372 635 6580 www.revalstone.com fax +372 635 7598 info@revalstone.com		Leht:	1	Tähis:	HT01.00.03		Formaat:	A4



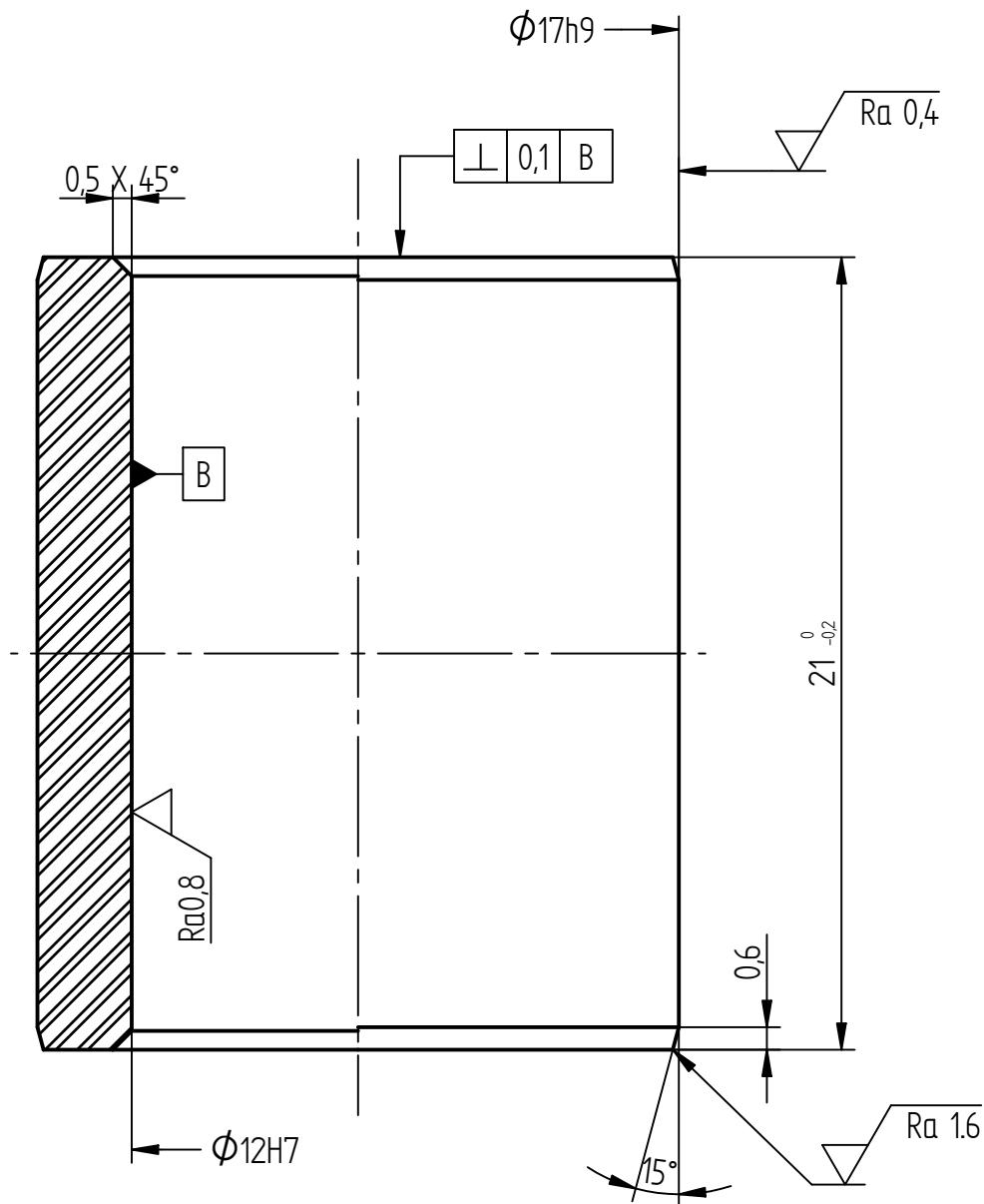
Märkused:

Termotöödelda kõvaduseni 320+6 HV
 Induktsioon karastada õlis või vees
 Karastamistemperatuur 820-880°C
 Noolutustemperatuur 540-680°C

Detaililt eemaldada
 teravad servad ja kraatid

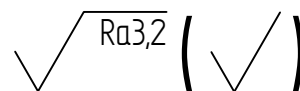
$\sqrt{Ra6,3}$ (✓)

	Materjal: 42CrMo4 EN 10038	Märkimata piirhälbed: ISO 2768-m	Mass: 100g	Mõõt: 1:1
	Teostas: A.Luus	Nimetus: <i>Polt M 12 x 1,75</i>	Faili nimetus: HT01.00.04	
Kontrollis: G.Ivalo				
Kinnitas:				
 Saare Dolomiit- Väokivi OÜ Peterburi tee 94a, 11415 Tallinn, Estonia tel. +372 635 6580 www.revalstone.com fax +372 635 7598 info@revalstone.com	Leht: 1	Tähis: HT01.00.04	Formaat: A4	

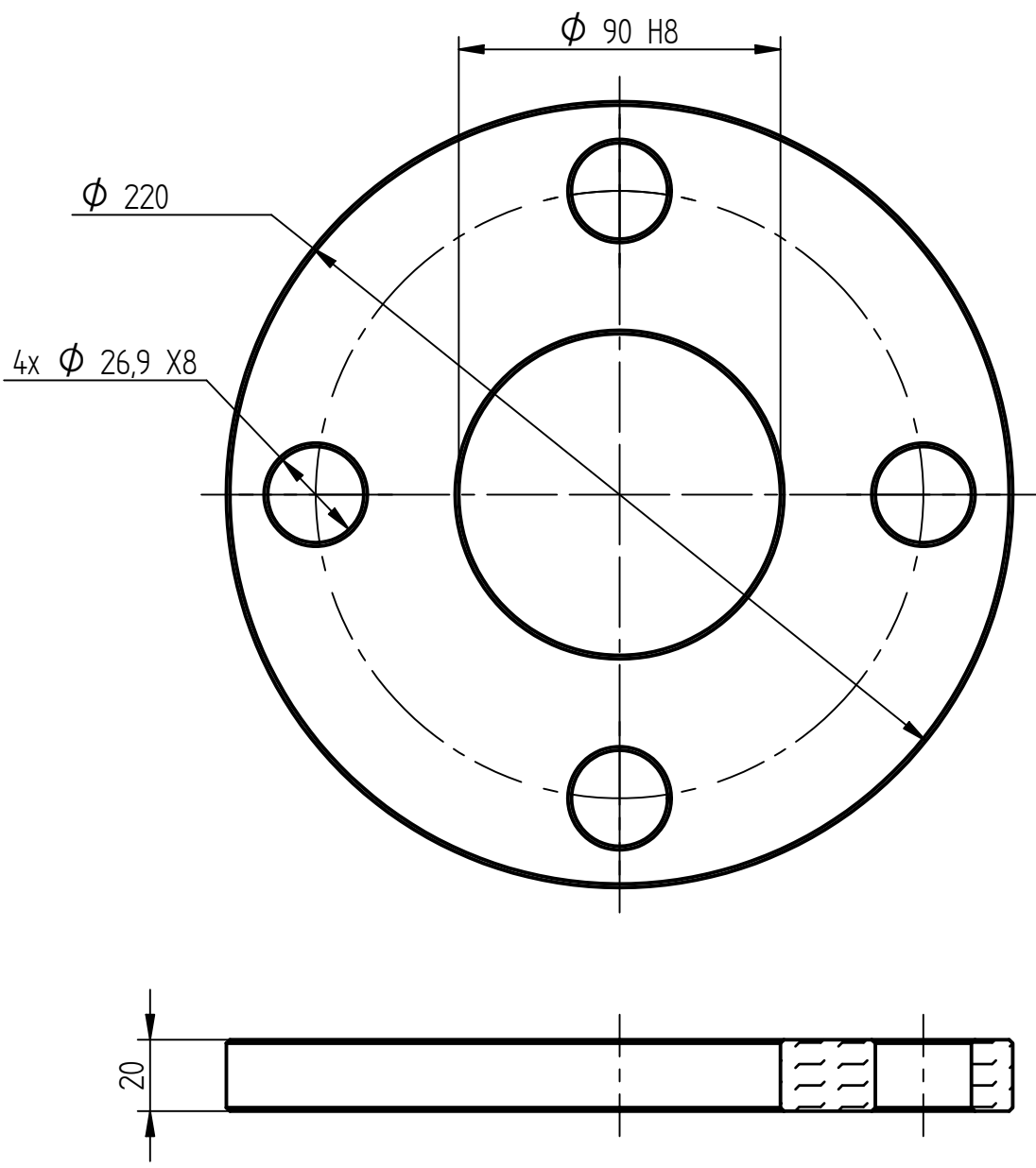


Märkused:

Detaililt eemaldada
teravad servad ja kraatid



	Materjal: X12Cr13 EN 10088	Märkimata piirhälbed: ISO 2768-f	Mass: 19g	Mööd: 5:1
	Teostas: A.Luus	Nimetus: <i>Distantspuks</i>	Faili nimetus: HT01.00.05	
Kontrollis: G.Ivalo				
Kinnitas:				
	Saare Dolomiit- Väokivi OÜ Peterburi tee 94a, 11415 Tallinn, Estonia tel. +372 635 6580 www.revalstone.com fax +372 635 7598 info@revalstone.com	Leht: 1	Tähis: HT01.00.05	Formaat: A4



Märkused:
Kõik faasid 1x45°

$\sqrt{Ra12,5}$ (✓)

	Materjal:	Hydrin H75	Märkimata piirhälbed:	ISO 2768-m	Mass:	0,6kg	Mõõt:	1:2	
	Teostas:	A.Luus	Nimetus:	<i>Kummipuks</i>	Faili nimetus:	HT01.00.06			
Kontrollis:	G.Ivalo							Kinnitas:	
		Saare Dolomiit- Väokivi OÜ Peterburi tee 94a, 11415 Tallinn, Estonia tel. +372 635 6580 www.revalstone.com fax +372 635 7598 info@revalstone.com	Leht:	1	Tähis:	HT01.00.06		Formaat:	A4

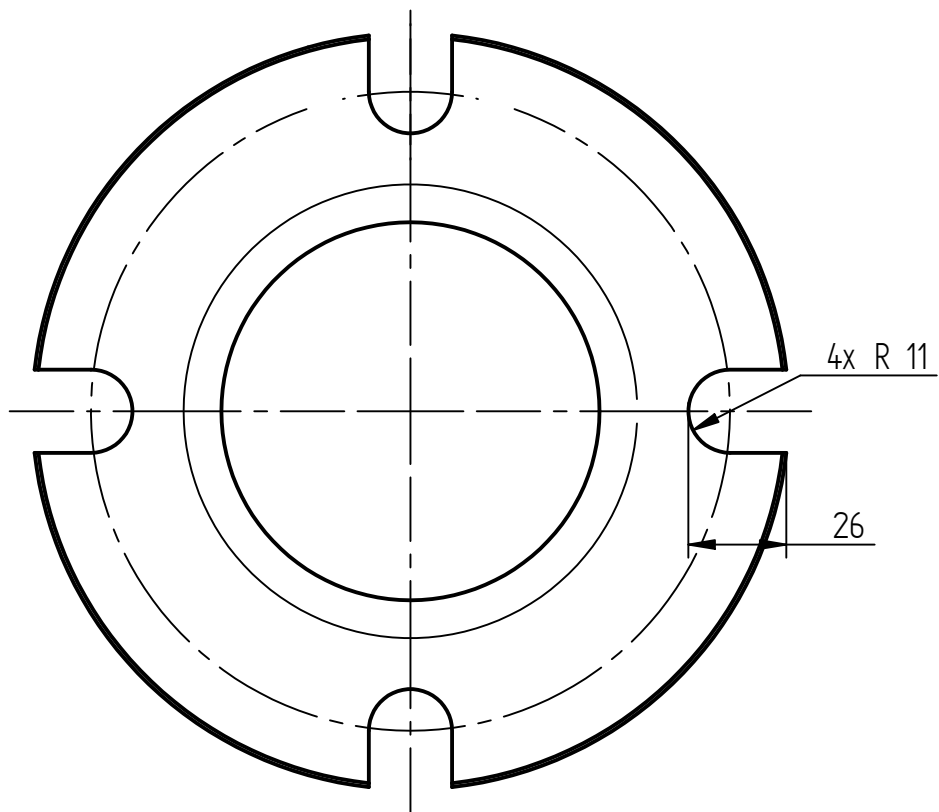
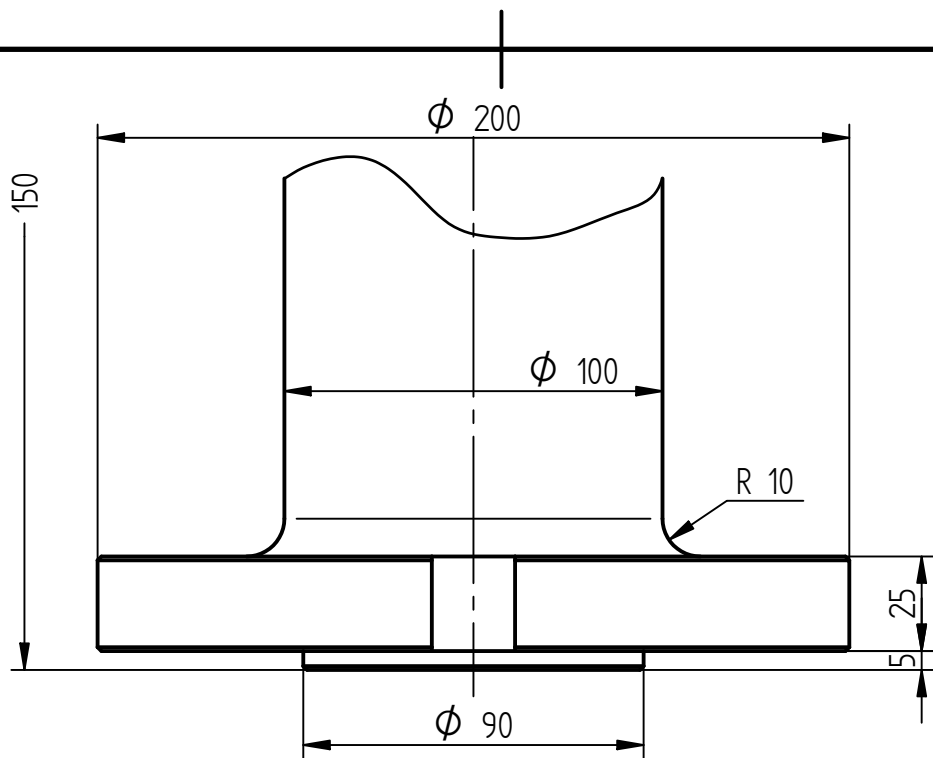
Ø 90 z8

20

Märkused:
Kõik faasid 1x45°

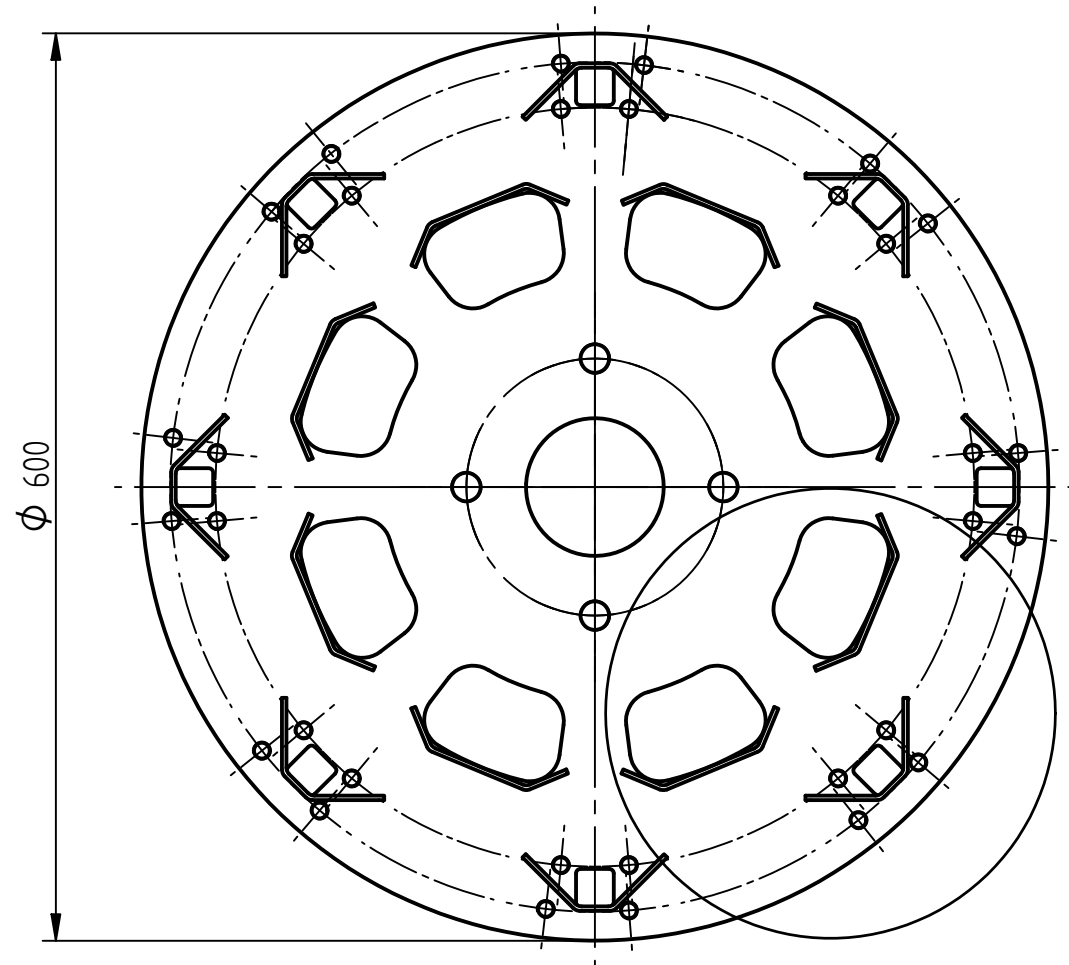
√ Ra12,5 (√)

	Materjal:	Hydrin H75	Märkimata piirhälbed:	ISO 2768-m	Mass:	140g	Mõõt:	1:1
	Teostas:	A.Luus	Nimetus:	<i>Tsentreeriv puks</i>	Faili nimetus:			
Kontrollis:	G.Ivalo	HT01.00.07						
Kinnitas:		Leht:			1	Tähis:	HT01.00.07	Formaat:
		Saare Dolomiit- Väokivi OÜ Peterburi tee 94a, 11415 Tallinn, Estonia tel. +372 635 6580 www.revalstone.com fax +372 635 7598 info@revalstone.com						

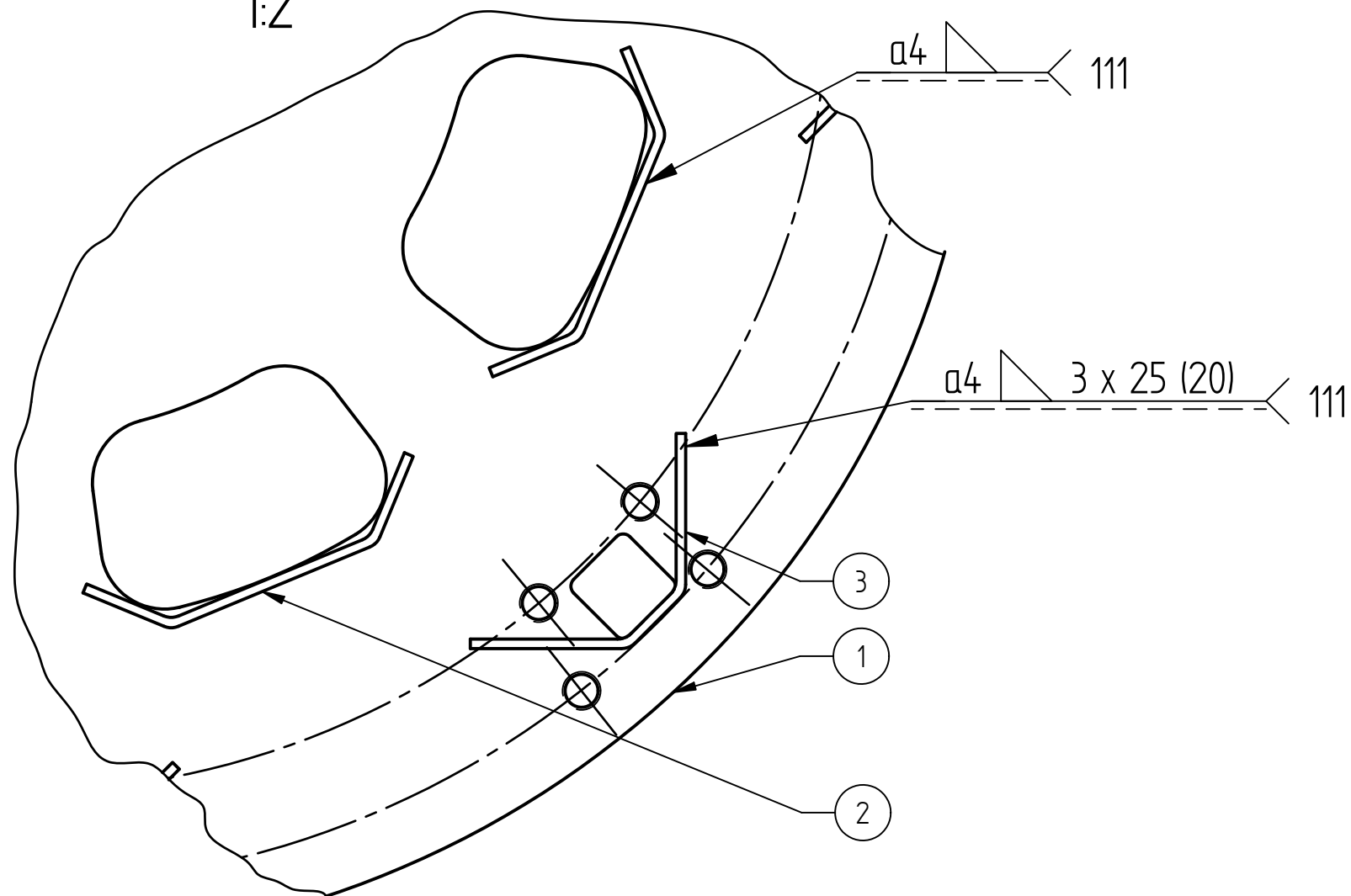


Märkused:
 Selgitav joonis
 Kinnitus on lihviinil olemas

	Materjal: S355K2 EN 10025-2		Märkimata piirhälbed: ISO 2768-m		Mass: 20kg	Mõõt: 1:2
	Teostas: A.Luus	Nimetus: <i>Kinnitus</i>		Faili nimetus: HT01.00.08		
Kontrollis: G.Ivalo						
Kinnitas:			Leht: 1	Tähis: HT01.00.08	Formaat: A4	
Saare Dolomiit- Väokivi OÜ Peterburi tee 94a, 11415 Tallinn, Estonia tel. +372 635 6580 www.revalstone.com fax +372 635 7598 info@revalstone.com						




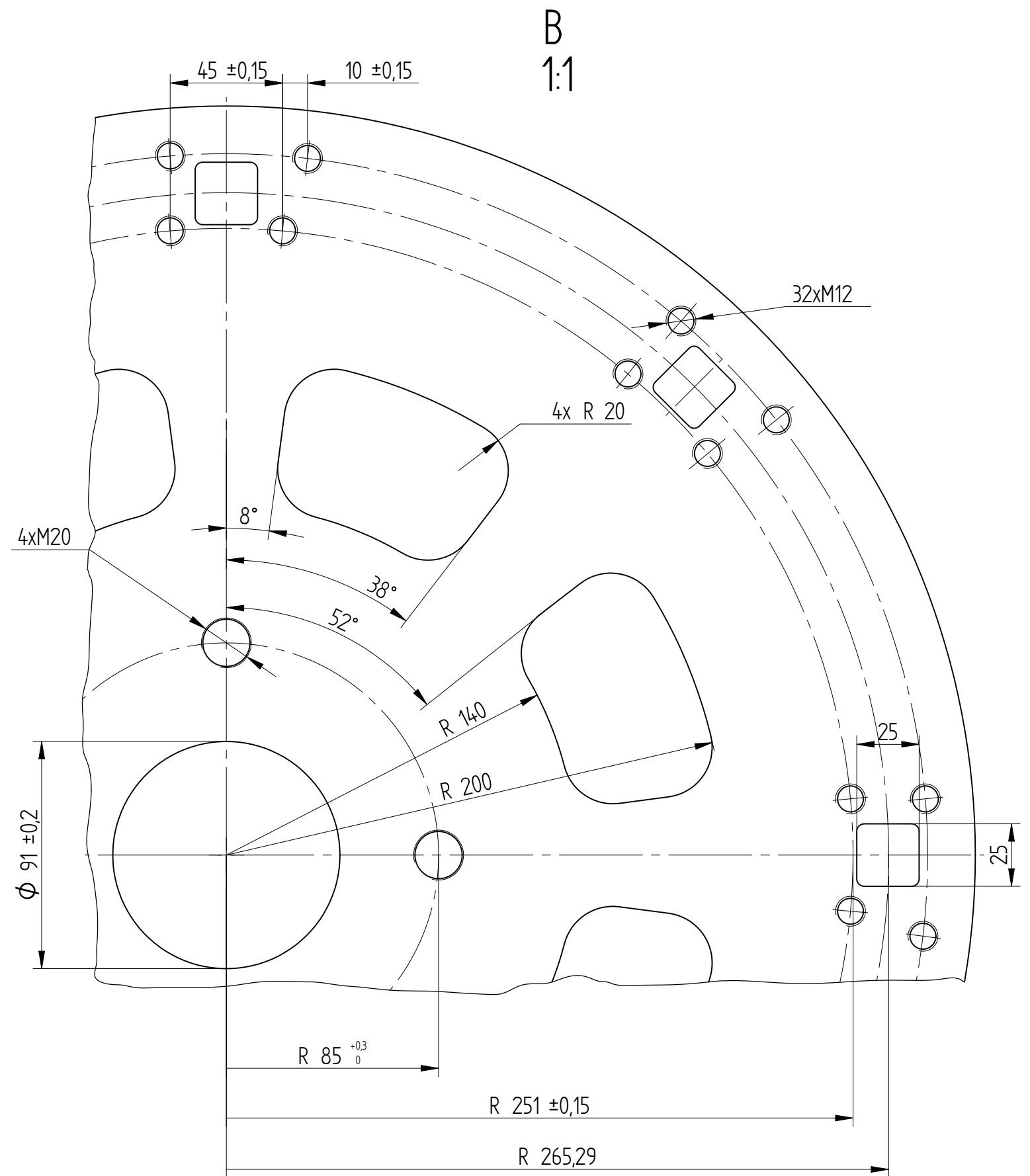
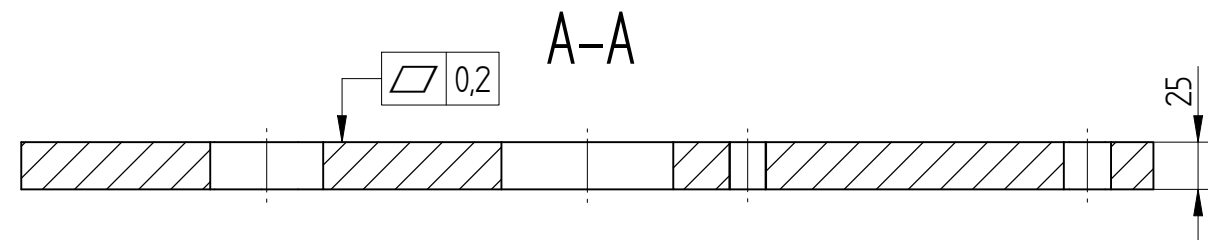
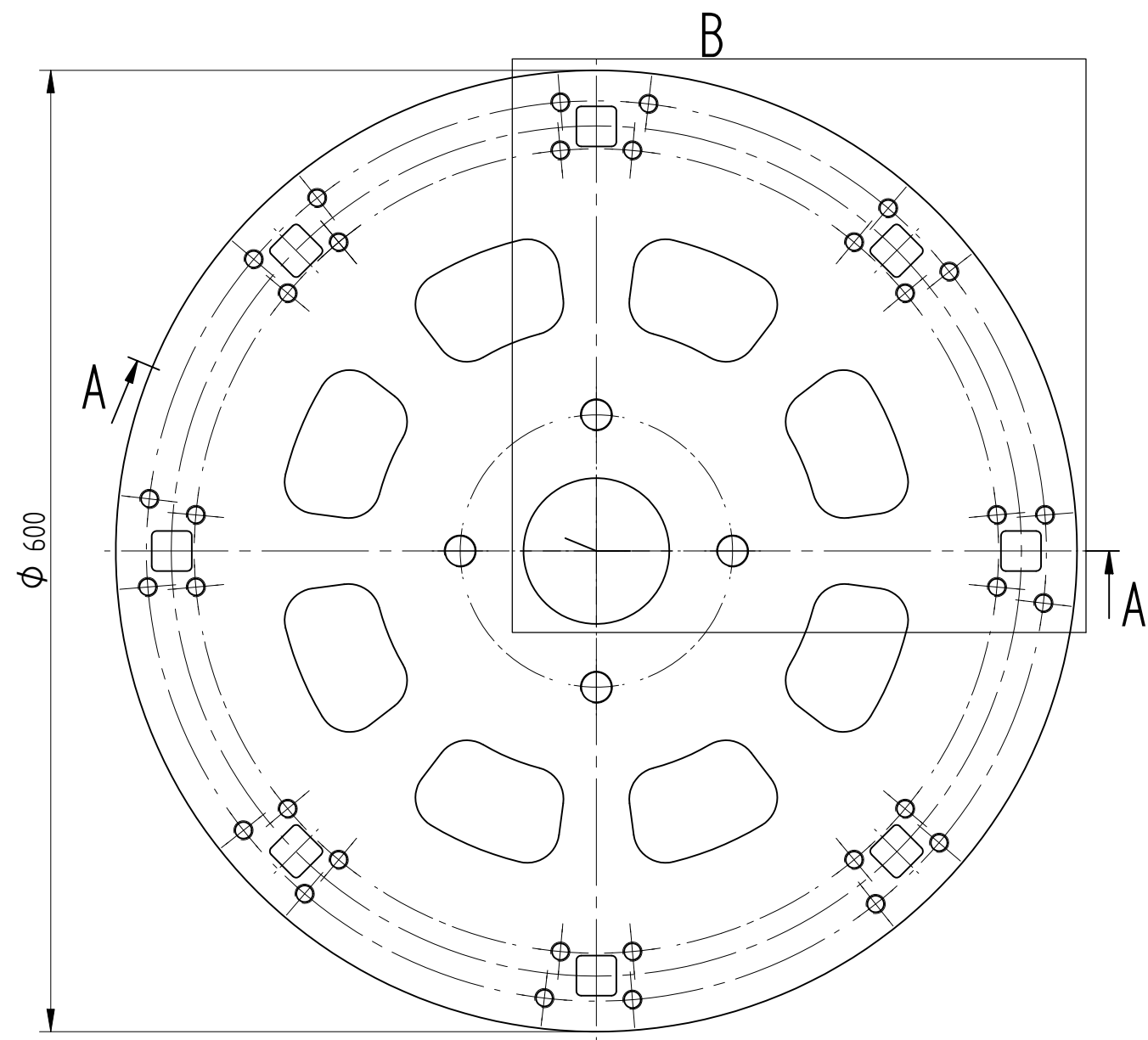
B
1:2



B

Märkused:
Keevitatavad detailid positioneerida plaadi sisse lõigatud avade järgi
Pärast keevitamist katta detail roheline hammerite värviga-2 kihti

3		Veesuunaja L120, S355K2 EN10025-2	HT01.01.03	8	
2		Veesuunaja L130, S355K2 EN10025-2	HT01.01.02	8	
1		Kinnitusplaat, S355K2 EN10025-2	HT01.01.01	1	
Osa	Väli	Nimetus,materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal:	Märkimata piirhälbed: ISO 2768-m	Mass: 45,5 kg	Mööd: 1:5
Teostas:	A.Luus		Nimetus:	Faili nimetus:	
Kontrollis:	G.Ivalo		<i>Kinnitusplaat</i>	HT01.01.00	
Kinnitas:					
 Saare Dolomiit- Väokivi OÜ Peterburi tee 94a, 11415 Tallinn, Estonia tel. +372 635 6580 www.revalstone.com fax +372 635 7598 info@revalstone.com			Leht:	Tähis:	Formaat:
			1	HT01.01.00	A3

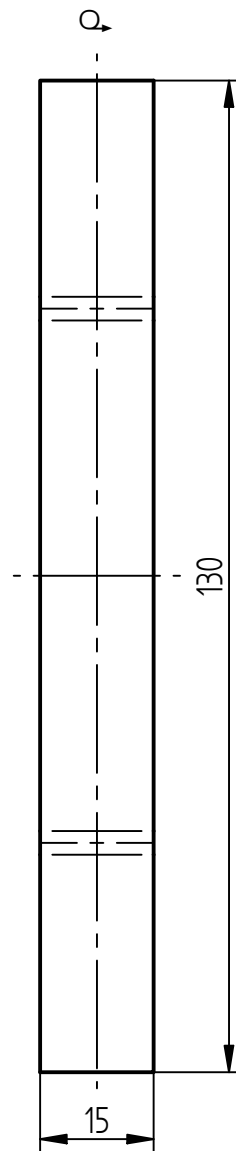
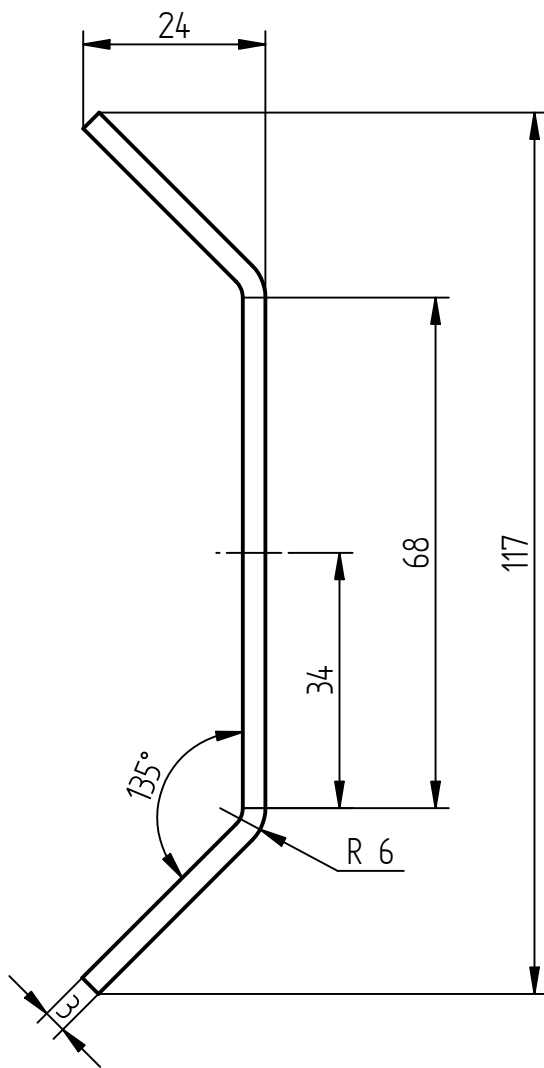


Märkused:

Detaililt eemaldada teravad servad ja kraatid

$\sqrt{Ra6,3}$ (M)

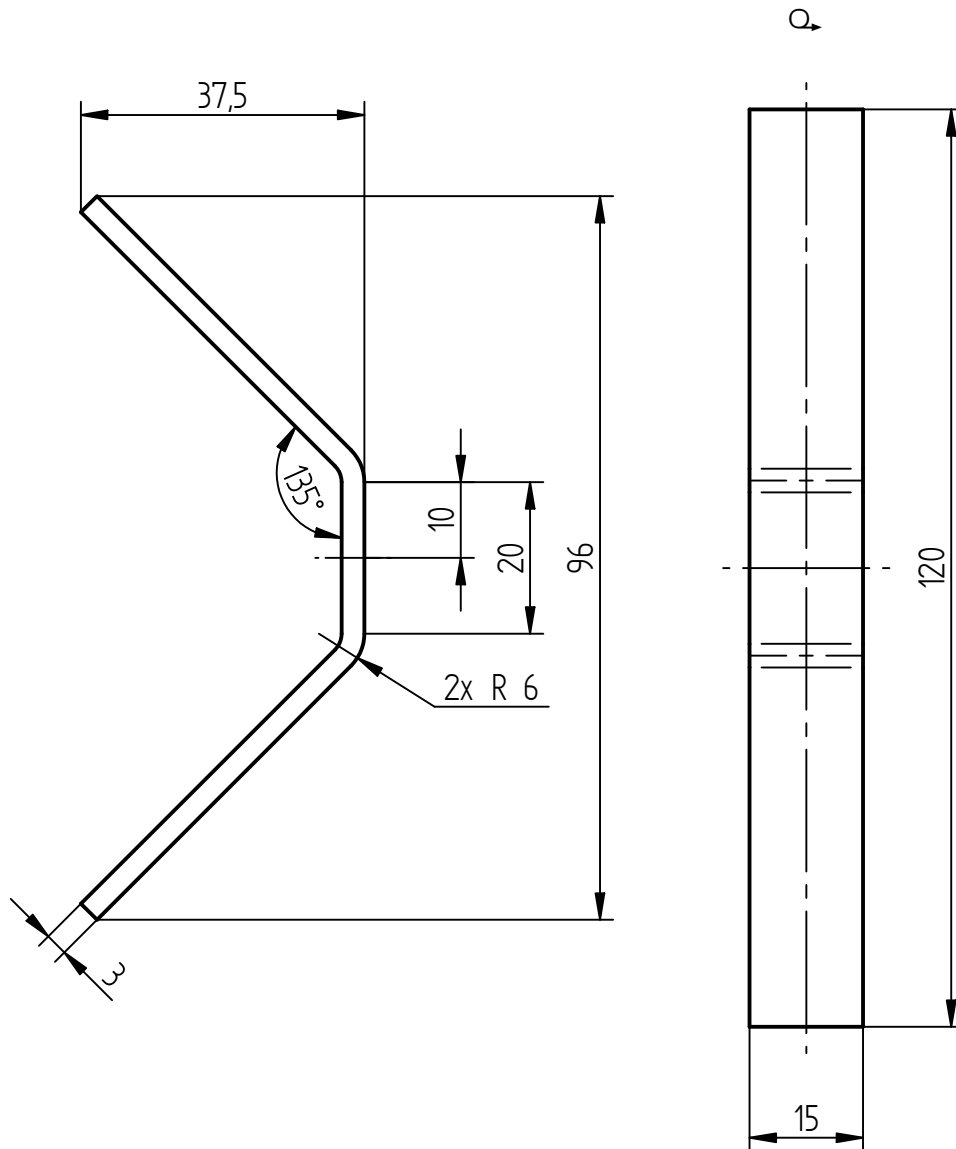
	Materjal: S355K2 EN10025-2	Märkimata piirhälbed: ISO 2768-m	Mass: 45 kg	Moot: 12
Teostas:	Aluus	Nimetus:	Plaat	
Kontrollis:	G.Ivalo	Faili nimetus:	HT010101	
Kinnitas:		Leht:	1	Tahis: HT01.01.01
	<small>Saare Dolomiit - Väskivi OÜ Pärnupl. tee 94a, 11415 Tallinn, Estonia Tel. +372 635 6593 www.revalstone.com Fax +372 635 7988 info@revalstone.com</small>	Formaat:	A1	



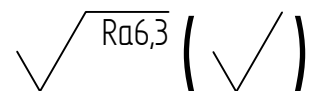
Märkused:
Detaililt eemaldada teravad servad ja kraatid

$\sqrt{Ra6,3}$ (✓)

	Materjal: S355K2 EN 10025-2	Märkimata piirhälbed: ISO 2768-m	Mass: 46g	Mööd: 1:1
	Teostas: A.Luus	Nimetus: <i>Veesuunaja L130</i>	Faili nimetus: HT01.01.02	
Kontrollis: G.Ivalo	Leht: 1		Tähis: HT01.01.02	Formaat: A4
Kinnitas:				
	Saare Dolomiit- Väokivi OÜ Peterburi tee 94a, 11415 Tallinn, Estonia tel. +372 635 6580 www.revalstone.com fax +372 635 7598 info@revalstone.com			



Märkused:
Detaililt eemaldada teravad servad ja kraatid



	Materjal: S355K2 EN 10025-2	Märkimata piirhälbed: ISO 2768-m	Mass: 43g	Mööd: 1:1
	Teostas: A.Luus	Nimetus: <i>Veesuunaja L120</i>	Faili nimetus: HT01.01.03	
Kontrollis: G.Ivalo				
Kinnitas:				
	Saare Dolomiit- Väokivi OÜ Peterburi tee 94a, 11415 Tallinn, Estonia tel. +372 635 6580 www.revalstone.com fax +372 635 7598 info@revalstone.com	Leht: 1	Tähis: HT01.01.03	Formaat: A4