



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Mehaanika ja töösustehnika instituut

KIVIMI RULLSÕEL

STONE ROLLER SEPARATOR

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Mati Pehlak

Üliõpilaskood: A142007

Juhendaja: Kaimo Sonk

Tallinn, 2017.a.

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

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

“.....” 201.....

Autor:
/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201....

Kaitsmiskomisjoni esimees
/ nimi ja allkiri /

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava, peeriala:
Juhendaja: (amet, nimi)
Konsultandid: (amet, nimi, ettevõtte)

Lõputöö teema:

(eesti keeles)
(inglise keeles)

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Andmete kogumine
2. Saadud andmete analüüs
3. Seadme vajalike tehniliste parameetrite määramine
4. Insenertehniliste arvutuste tegemine
5. Seadme projekteerimine (CAD)
6. Jooniste koostamine

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Ülesande püstistus, andmete kogumine	02. september 2016
2.	Insenertehnilised arvutused	30. september 2016
3.	Töö vormistus	11. november 2016
4.	Vormistatud töö ning jooniste ülevaatus	09. detsember 2016

Täiendav info ja nõuded:

Töö keel: Eesti

Üliõpilane: Mati Pehlak ".....".....2016a
/allkiri/

Juhendaja: Kaimo Sonk ".....".....2016a
/allkiri/ pa

SISUKORD

1.	Sissejuhatus	6
2.	Lühendid ning mõisted	8
3.	Ettevõtte tutvustus	9
4.	Sõelumise protsessi alused	11
4.1.	Sõelumise klasside eraldamine	11
4.2.	Sõelumisseadmete klassifitseerimine	13
5.	Turuülevaade	14
6.	Masina tüübi valik	19
6.1.	Sõelumise efektiivsus ja selleks kuluv aeg	19
6.2.	Niiskemate materjalide sõelumine	20
6.1.	Konstruktsioon ja tööpõhimõte	22
7.	Sõeluri parameetrid	24
7.1.	Sõeluri arvutamiseks vajalikud parameetrid	24
7.2.	Seadme tehnilised lähteandmed	25
7.3.	Sõeluri tootlikuse arvutamine	26
8.	Insenertehnilised arvutused	30
8.1.	Mootorreduktori valik	30
8.2.	Laagrite valik	31
8.3.	Kettülekande konstruktsioon	34
8.4.	Keti pikkus	37
8.5.	Võllide vahelise kauguse täpsustus	38
8.6.	Ketiratta valik	38
8.7.	Ketaste konstruktsioon	39

8.8. Ketaste materjali ja töötamise valik	40
8.9. Võlli konstruktsioon ja kontroll väsimusele	42
8.10. Võllide ja ketaste lõplik konstruktsioon.....	45
8.11. Ketid ja ketiratta kontaktpinged	47
8.12. Ketiratta kontrollarvutused.....	50
9. Seadme valmistamine ning koostamine	56
10. Seadme juhtimine	59
11. Seadme määrimine	60
12. Majanduslik osa	63
12.1. Rullisõelur I fraktsiooniga 0-8 mm.....	63
12.2. Rullisõelur II fraktsiooniga 8-16 mm.....	64
12.3. Rullisõelur III fraktsiooniga 16-32 mm.....	65
12.4. Rullisõelur IV fraktsiooniga 32-64 mm	66
13. Kokkuvõte.....	68
14. Summary	69
15. Kasutatud kirjanduse loetelu	70
16. Lisad.....	72
Lisa 1. P300.000.11 ja P300.000.47 Kettad	72
Lisa 2. P300.000.49 ja P300.000.15 Võllid	73
Lisa 3. A300.100.00 Rullisõel I	74
Lisa 4. A300.100.00 Rullisõel II	75
Lisa 5. A300.100.00 Rullisõel III	76
Lisa 6. A300.100.00 Rullisõel IV	77
Lisa 7. A300.000.00 Sõelumise liini koost	78

Lisa 8. Ketaste paigutus Rullisõel I.....	79
Lisa 9. Ketaste paigutus Rullisõel II.....	80
Lisa 10. Ketaste paigutus Rullisõel III.....	81
Lisa 11. Ketaste paigutus Rullisõel IV.....	82

1. SISSEJUHATUS

Killustik on kildudeks purustatud e. "killustatud" kivim või kivid. Killustikku kasutakse peamiselt teedeehituses, ehituses täite- ja alusmaterjalina ja betooni valmistamiseks.[1]

Tooraineks on enamasti looduslikud kivimaterjalid, ühtlasi muude mäetööstusettevõtete materjalide kaevandamisel saadud jäätmed. Tooraine töötlemisel saadakse killustiku, kruusmaterjali, kruusaliiva segu, liiva ning erinevaid dekoratiivseid kivimaterjale.

Killustiku tootmise tehnoloogiline protsess on jaotatud enamjaolt kaheks etapiks: esimene – tooraine kaevandamine, teine – tootmine: kaevandatud kivimi ümbertöötlemine ning killustiku valmistamine. Valdav enamus karjääre on nn. lahtise kaevandamise meetodiga karjäärid. Karjäärides kaevandatakse 90% vajalikest ehitusmaterjalidest. Avatud mäetööstused pärinevad paleoliitikumi ajastust.

Keeruline ning pikalt kestev killustiku tootmise protsess algab kaevandamise töödest karjääris ning lõpeb spetsiaalsete masinate abil mitmete purustamise, peenestamise ning sorteerimise (klassifitseerimise) operatsioonidega.

Mäetööstuse läbiviimiseks tehnoloogia ning tehnoloogiliste seadmete teadliku valiku tegemiseks, on vajalik teada kaevandava materjali omadusi ja parameetreid.

Petrograafilise tüübi ning töötlemiseks saadud kivimi liigist sõltuvad karakteristikud ja lõpp-produkti (killustik) kasutamise kohad. Kaevandatud kivimit iseloomustatakse tugevuse, homogeensuse, abrasiivsuse, tükide suuruse ning saastavate elementide mahu ja liigiga.

Karjääri kaevandamise töid loetakse ohtlikuks tööstuseks.

Killustiku mehhaniseeritud tootmise ajalugu algab üheksateistkümnendal sajandil Saksamaal, kus toimusid teede ehitamiseks vajaliku killustiku esimesed tootmise katsed. Tööstuslik purustuse ja sorteerimise masinate kasutamine algas teede massilisest ehitusest Euroopas ja Põhja-Ameerikas (1908-1914).

Ulatusliku killustiku tootmist organiseeritakse väljaselgitatud tooraine allika otseses läheduses. Olenevalt tooraine objektide geograafilisest asukohast (lahusolek kohapeal) ning tootmise mastaabist, killustiku tootmist organiseeritakse enamjaolt statsionaarsete purustus-sorteerimis tootmiskompleksitega.

Killustiku tootmiskompleksi projekteerimisel võetakse arvesse mitmed näitajad, sealhulgas mineraaltooraine koostis, kvaliteet, mitmed lõpptoote kvaliteedinäitajad, saadavate fraktsioonide protsendiline suhe, planeeritud tootmisvõimsus jt.

Tehnoloogiline tootmise skeem sisaldab endas mitmeid purustamise staadiume: fraktsioneerimist, vajadusel pesemist, puhastust, vaheainete rikastamist, valmistoodangu ladustamist ning jäätmete utiliseerimine. Killustiku tootmises on kasutusel mitmed spetsiaalsed seadmed nagu toiturid, purustajad, sõelurid, lintkonveierid jt. Tootmises kasutatavad seadmed ühendatakse ühte tehnoloogilisse liini.

Killustiku tootmises peamisteks protsessideks on purustamine ning klassifitseerimine. Tooraine purustamine vajaliku suuruseni toimub purustamise masinates läbi tooraine kokku surumise, lõhkumise, hõõrdumise, löögi või nende koosmõjul. Kõige levinumad on põsk, koonus, völl ja rootor

e. lõõkpurustid. Lõpptoote suuruselt purustamist eristatakse jämedaks (100-350 mm), keskmiseks (40-100 mm) ja peeneks (5-40 mm).

Klassifitseerimine toimub sõelumismasinate abil, mis on peamine tehnoloogiline seade tooraine sorteerimisel. Olenevalt tehnoloogilisest aspektist kasutatakse erinevaid sõelumise masinaid, kuid peamisteks on masinad, kus tooraine satub sõelale ning osad, mille suurus on väiksem, kui sõela avapilud, kukub läbi ning osad, mille suurus on suurem liigub edasi mööda tootmise liini järgmisele sõelumise etapile. Esialgusel sõelumisel (jäme), tooraine osad kuni 1200 mm, kasutatakse sõelu, mille avad/pilud on 300 – 100 mm, keskmisel sõelumisel, tooraine osad kuni 350 mm, kasutatakse sõelu mille, avad/pilud on 60 – 25 mm, peen sõelumisel, tooraine osad kuni 75 mm, kasutatakse sõelu, mille avad/pilud on 25 – 6 mm.

Kogu tooraine liigub esialgu sõelumismasinale, purustajasse lastakse ainult suured osad, mis ei ole sõelast läbi läinud. Tooraine, mis on läbinud sõela (sõelatud produkt) liigub mööda tootmisliini edasi. Avatud purustamise tsükli puhul tooraine läheb purustajast läbi ainult üks kord. Kinnise purustamise tsükli puhul tooraine satub peale purustamist sõelumisele, kus osad, mis ei lähe sõelast läbi suunatakse uuesti purustajasse. Kinnise purustamise tsükli puhul saavutatakse kõrgema kvaliteediga ning ühtlasema suurusega produkti. Enamlevinud on nn. kahe astmeline tootmine, kus tooraine liigub nii purustajast kui sõelumisest kaks korda, kuid kasutatakse ka keerulisemaid tehnoloogilisi protsesse, kus tooraine liigub nii purustajast kui sõelumisest kuni neli korda läbi.

Killustiku tootmisel saadud vaheetappidel ning valmisprodukti transporditakse konveierite abil. Enamlevinud on killustiku tootmisel lintkonveierid, mille abil on võimalik nii tooraine kui ka valmisprodukti liigutada katkematult, vajaliku kiiruse ja mahuga.

Vaheprodukti rikastamiseks tootmise käigus kui ka lõppjärgus üsna sageli kasutatakse kivimi puhastamiseks vett. Puhastamise efektiivsusele avaldavad mõju tooraine koostis, niiskus, savi sisaldus ning selle füüsikalised-keemilised omadused, vee surve, temperatuur ning mõju meetod.

Töödeldud produkti, mis on läbinud kõik purustamise ja sõelumise etapid suunatakse hoiustamiseks lattu, kust transporditakse valmistoodang kliendile raudtee- või maanteetranspordi abil.

Käesoleva töö eesmärgiks on Ahtme Killustik OÜ vajadustele vastava kivimi rullisõela projekteerimine, mille kohaselt rekonstrueeritakse olemasolevat tootmisliini, saavutatakse toodangu kvaliteedi parendust, optimeeritakse tootmiskulusid, mille tulemusena on ettevõtte võimeline pakkuma konkurentsivõimelisemat toodet/produkti.

2. LÜHENDID NING MÕISTED

Fraksioneerimine ehk fraktsioonimine: on protsess, milles ainete segu lahutatakse väiksemateks lähedaste füüsikaliste omadustega portsjoniteks (fraktsioonideks), nii et mingi komponendi suhteline sisaldus igas järgnevas fraktsioonis suureneb või väheneb, s.t. muutub teatud gradiendiga.[1]

Rikastamine: on maavarade väärtuslike koostisosade ja aheraine eraldamine toorainest, nende keemilist koostist muutmata. Rikastamine on vajalik, kui tooraines olevate väärtuslike komponentide sisaldus pole piisav selle edasiseks töötlemiseks või kasutamiseks.[1]

Aheraine: on koos maavaraga kaevandatavad kivimid ja mineraalid, mis pole antud kaevanduse kontekstis maavarad ning on seetõttu majanduslikult kasutatud.[1]

Purusti: on masin või seade millega purustatakse kaevandatud kivimit

CAD: Computed aided design (Raalprojekteerimine)

PLC: Programmable Logic Controller (Programmeeritav loogikakontroller)

FEA: Finite Element Analysis (lõplike elementide analüüs)

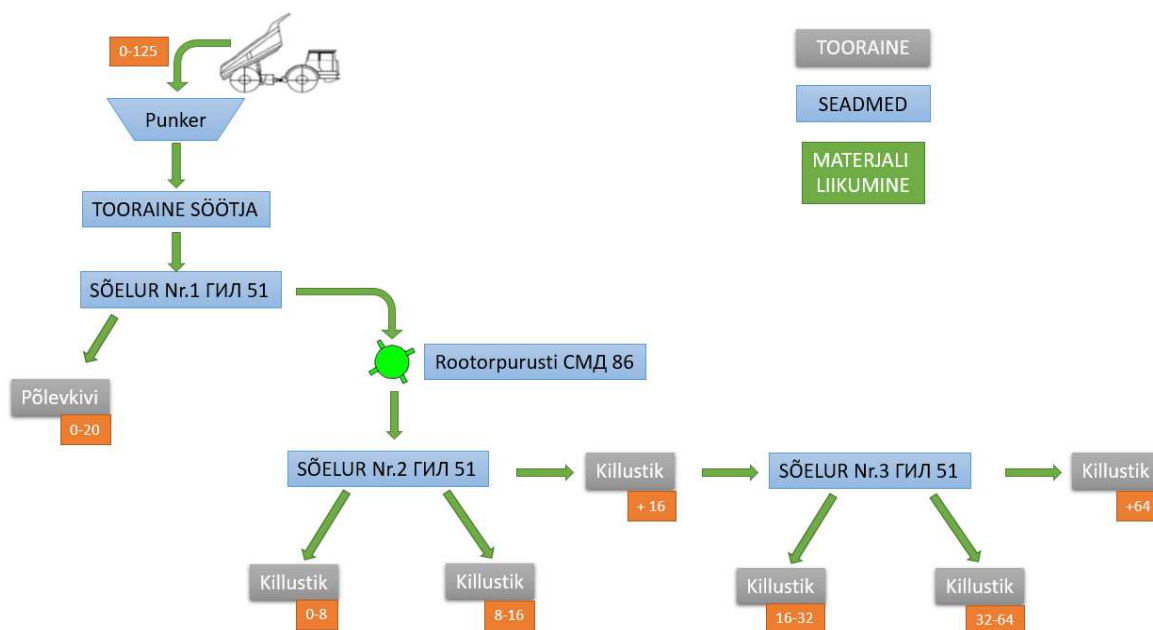
3. ETTEVÕTTE TUTVUSTUS

Ahtme killustik OÜ, kes tegeleb killustiku tootmisega alates 2001 a., on püstitanud eesmärgiks rekonstrueerida olemasolevat killustiku tootmisliini. Tootmisliini rekonstrueerimise peamine põhjus on tootismahu suurendamine kaks korda (kuni 200 t/h), valmistatava toodangu kvaliteedi parendus, tootmiskulude optimeerimine ning seega ettevõtte konkurentsivõime tõstmine. Ahtme killustik OÜ toodetava killustiku fraktsioonid on toodud tabelis 3.1.

Tabel 3.1 Ahtme killustik OÜ toodetava killustiku fraktsioonid

Paekivi killustik	Fraktsioon 0-8 mm
	Fraktsioon 8-16 mm
	Fraktsioon 16-32 mm
	Fraktsioon 32-64 mm

Ahtme kollustik OÜ olemasolev tootmisliin on toodud sele 3.1.

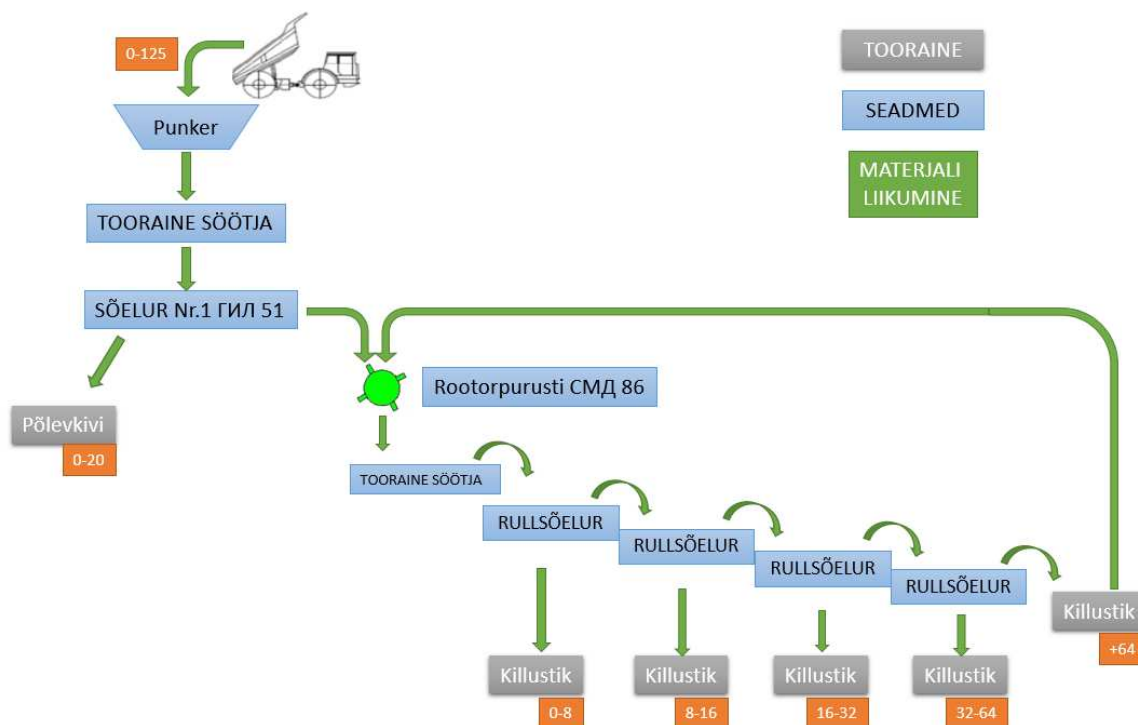


Sele 3.1 Ahtme killustik OÜ olemasolev tootmisliin.

Olemasolev tootmisliin algab punkriga, kuhu "BELAZ-7540" tüüpi karjäärrikallur kallutab kaevandusel saadud toorainet. Mahutatud punkrisse tooraine vajub oma raskusega punkrist tooraine sõotjasse, mis edastab toorainet ühtlaselt sõelurile Nr.1 "ГИЛ51". Sõelur Nr.1 sõelub toorainest

välja sisalduva põlevkivi ning saadud killustiku edastab rootorpurustile "СМД 86", mis purustab toorainet vajaliku suuruseni. Purustatud killustik liigub sõelurile Nr.2 " ГИЛ51", mis sõelub välja killustiku fraktsioonid 0-8 mm ja 8-16 mm. Tooraine, mille suurus on +16 mm suunatakse lintkonveieri abil sõelurile Nr.3 " ГИЛ51". Saadud killustikust sõelur Nr.3 sõelub välja fraktsioonid 16-32 mm ja 32-64 mm. Tooraine, mille suurus on +64 mm lintkonveieri abil suunatakse ladustamisele. Hiljem (vajadusel) karjäärikalluri abil +64 mm killustiku fraktsioon liigutatakse uuesti punkrisse, et purustada selle ettevõtte nomenklatuuris oleva suuruseni. Antud tootmisliini vaates on +64 mm killustiku fraktsiooni uuesti tootmise algseks etapiks liigutamine väga kahjulik, kuna sõelutud killustik seguneb uuesti kaevandusel saadud toorainega.

Olemasoleva tootmisliini peamiseks puudusteks on madal sõelurite efektiivsus, sõelurite kõrge tarbitava energia maht, sõelumiseks lintkonveierite abil igaks järgnevaks töötlemise etapiks vajaliku materjali tõstmine ning üldine seadmete rohkusest tingitud kõrge energiatarbimine. Ahtme killustik OÜ rekonstrueeritud tootmisliin on toodud Sele 3.2.



Sele 3.2 Ahtme killustik OÜ projekteeritav tootmisliin

Rekonstrueerid tootmisliini projekteerimisel peamiseks eesmärgiks oli planeeritud ressursside abil maksimaalse efektiivsuse saavutamine. Võimalike lahendustega arvestades läbiviidud analüüsi põhjal otsustati, olemasolevast tootmisliinist viia välja sõelurid Nr.2 ja Nr.3. Tootmisliinist välja viidud sõelurid asendada sõeluriga, mis võimaldaks saada killustiku vajalikud fraktsioonid ning säilitada sellega ettevõtte nomenklatuuris olevat sortimenti. Rekonstrueerimise tulemusena lisaks tootmisliinist välja viidud sõeluritele vabaneks ka lintkonveier, mille abil tõsteti materjali järgneva töötlemise etapiks sõelurile Nr.3.

4. SÕELUMISE PROTSESSI ALUSED

4.1. Sõelumise klasside eraldamine

Tahke materjalide kaevandamisel ning purustamisel ei õnnestu saada produkti, mis kohe vastaks vajaliku koostisele. Purustatud materjal koosneb alati erineva vormi ning suurusega tükkidest ning sellest massist on vaja sõeluda teatud fraktsiooniga tükid. Sõelumine - on protsess, kus toimub maavara sorteerimine fraktsioonideks läbi ühe või mitme sõela läbimist. Eristatakse kolme peamist klassifitseerimise liiki:

- mehaaniline (sõelumine)
- pneumaatiline (õhkseparatsioon)
- hüdrauliline

Killustiku tootmisel kasutatakse mehaanilist separatsiooni, kus materjali, mis saabub sõelumisele nimetatakse lähtematerjaliks, sõelumise produkte nimetatakse jämeduse klassideks, materjal mis jääb sõelale nimetatakse sõelmaterjaliks ning materjal mis läbib sõela nimetatakse sõelutud materjaliks. Eristatakse järgmisi sõelumise liike:

- abistatav
- ettevalmistatav
- sõltumatu
- valikuline

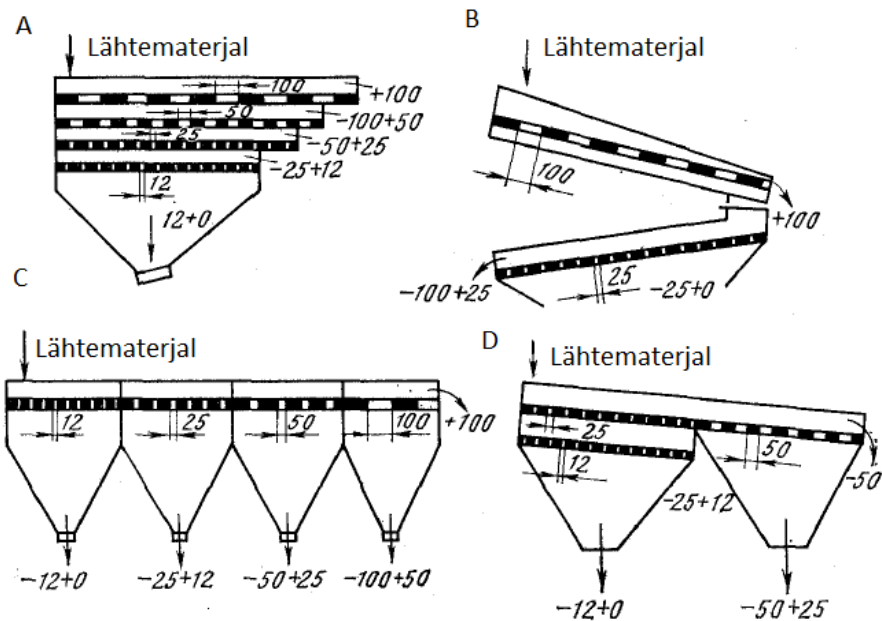
Abistatavat sõelumist kasutatakse valmistoodangu eraldamiseks lähtematerjalist, mis saabub purustamisele või purustatud tükilisuse kontrolliks. Esimene sõelumise liik on esialgne ning teine kontroll sõelumine.

Ettevalmistatavat sõelumist kasutatakse lähtematerjali klassideks eraldamiseks jägnevateks etappideks.

Sõltumatu sõelumist kasutatakse valmistoodangu sorteerimiseks.

Valikulist sõelumist kasutatakse maavara erisuguse klasside erineva maavara kvaliteedi puhul.

Klassifitseerimisel eristatakse jämeda-peenema ja peenema-jämedama produkti poole, sega, või kombineeritud sõelumist mis on toodud sele 4.1.



Sele 4.1 Sõelumise skeemid.[2]

A ja B - Jämeda peenema produkti poole, C - Peenema jämedama produkti poole, D – Kombineeritud.

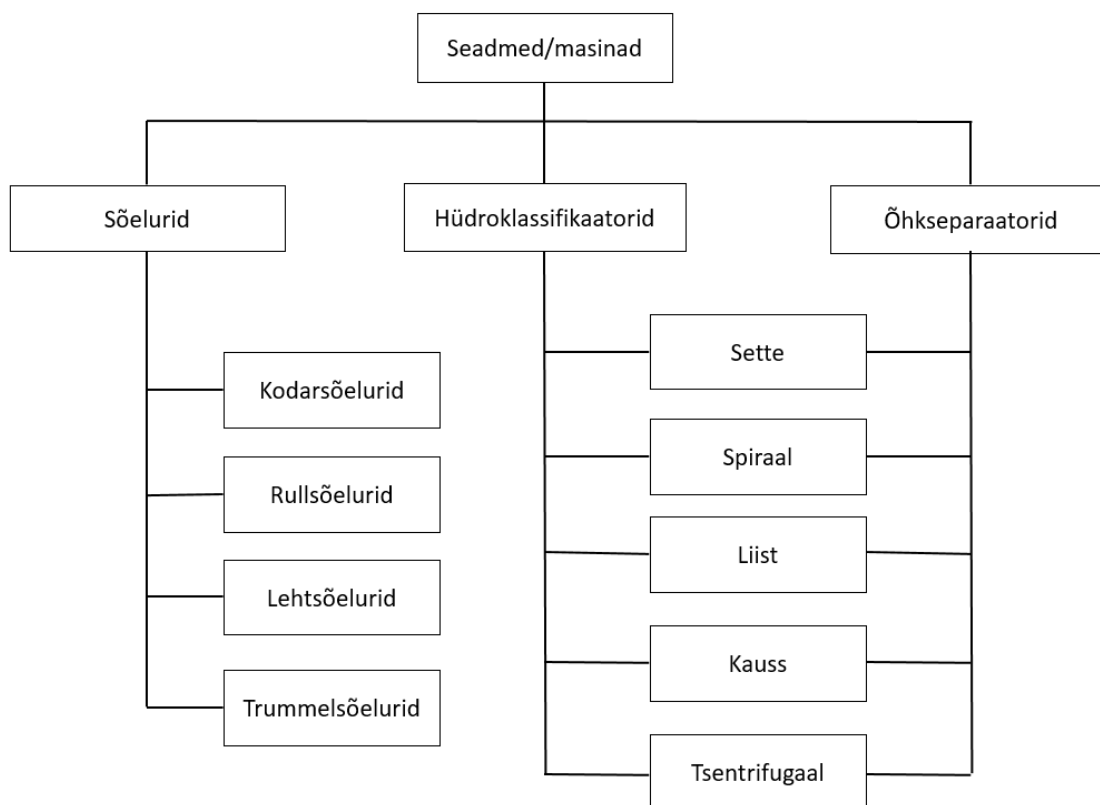
Sõelumisel jämeda peenema produkti poole sõelad on paigutatud üksteise all. Ülemine sõel on suuremate ning alumine väiksemate piludega. Sellise süsteemi eeliseks on kompaktsus ning väiksemate sõelade pikem eluiga, kuna jämedamad klassid on juba eelnevalt eraldatud. Puuduseks on võimatus kontrollida alumiste sõelade tehnilist seisundit, nende remonti ja/või vahetust.

Sõelumise eelisteks peenema-jämedama produkti poole võib nimetada heaks kogu jälgimist ning seadmete hooldust. Puudusteks on peenemate klasside väiksem sõelumise efektiivsus, kuna suurema fraktsiooni osad katavad osaliselt väiksemad pilud kinni, kiirem sõelade kulumine, kuna peenemale sõelale sattub kogu lähtematerjal.

Kombineeritud sõelumise skeem oma eeliste ja puuduste osas paikneb toodud skeemide vahepeal.

4.2. Sõelumisseadmete klassifitseerimine

Sele 4.2 on toodud kuivainete sõelumisseadmete klassifitseerimise tabel. Praktiliselt igas toodud seadmete liigis eksisteerivad eriliigid.



Sele 4.2 Sõelumisseadmete klassifitseerimine

5. TURUÜLEVAADE

Ettevõtteid, mis spetsialiseeruvad mäetööstuses mineraalse tooraine töötlemiseks vajalike seadmete müügiga on väga palju ning asuvad üle kogu maailma. Antud turuülevaates on käsitletud euroopas ja skandinaavias enamtuntud ettevõtted. Enamuse ettevõtete toodete nomenklatuuris leidub väga erinevaid seadmeid kivimi sõelumiseks, kuid nagu ikka, tera peitub peensustes.

Tabelis 5.1 on toodud enamlevinud ettevõtted, mis suudavad pakkuda antud projektis vajadustele vastavate ja/või väga lähedal olevate tehniliste parameetritega seadmeid.

Tabel 5.1 Seadmete ülevaade

	Tootja	Päritolu riik	Tähis/Mudel	Laius, mm	Tootlikus, t/h
1	FAM Förderanlagen Magdeburg	Saksamaa	RR1039	1000	250
2	FAM Förderanlagen Magdeburg	Saksamaa	RR1530	1500	150
3	August Müller GmbH &Co.KG	Saksamaa	NHDD1905	1200	260
4	Kurimoto	Saksamaa	HRG-1025	1200	400
5	Ambica Crushtech Private Limited	Poola	O8	1000	400
6	PY CONSTRUCTEUR	Prantsusmaa	RDN1400	1300	400

Järgnevalt kirjeldame tabelis 5.1 toodud seadmete parameetrid täpsemalt kus tome välja nende eelised ning puudused.

Sele 5.1 ja sele 5.2 on toodud Saksamaa tootja FAM Förderanlagen Magdeburg RR1039 ja RR1530 rullisõelad.



Sele 5.1 FAM Förderanlagen Magdeburg RR1039 rullisõel. [3]



Sele 5.2 FAM Förderanlagen Magdeburg RR1530 rullisõel.[4]

Antud tootja suureks eeliseks on tema paindlikus seadmete valikul ja teatud vahemikus tehniliste parameetrite võimalikul muutmisel. Liisaks on ettevõtja võimaline toota kõiki nelja rullisõela koos vajaliku määramise lahendusega mille abil oleks võimalik katta ettevõtte vajadusi. Pakutav hoolduse võimalus ning reageerimise aeg katab ettevõtte vajadusi. Puuduseks on rullisõela võllide konstruktsioon kus kettad ei ole vahetatavad ning sellega kaasneb varuosalaadu suurenemine. Lisaks puuduseks võib lugeda toodete hinda mille tagasiteenimise aeg ületab 5 aastat.

Sele 5.3 on toodud Saksamaa tootja August Müller GmbH &Co.KG NHDD1905 rullisõel.



Sele 5.3 August Müller GmbH &Co.KG NHDD1905 rullisõel.[5]

Antud tootja suureks eeliseks on paindlikus mille kohaselt on tootja võimeline katta ettevõtte sõelumise vajadusi. Puudusteks on võllide ketaste mittevahetatavus valmistaja poolt pakutav hoolduse võimalus ning reageerimise aeg on puudulikud. Lisaks ei ole valmistaja võimeline paigaldada vajaliku määrimissüsteemi. Ppuuduseks võib lugeda toodete hinda mille tagasiteenimise aeg on 3 aastat.

Sele 5.4 on toodud Sakamaa Kurimoto HRG-1025 rullisõel.



Sele 5.4 Kurimoto HRG-1025 rullisõel.[6]

Antud tootja ei ole võimeline pakkuda terviklahendust kuna toodete nomenklatuuris ei ole seadmeid peenema fraktsiooni sõelumiseks. Lisaks ei ole tootja seadmetel võllide kettad vahetatavad ning hoolduse võimalus ning reageerimise aeg ei vasta ettevõtte nõudmistele. Seadmetele on valmistaja võimeline pakkuda määrimissüsteemi kuid seadme hinda võib lugeda heaks kuna tagasiteenimise aeg on 2 aastat.

Sele 5.5 on toodud Poola Ambica Crushtech Private Limited O8 rullisõel.



Sele 5.5 Ambica Crushtech Private Limited O8 rullisõel.[7]

Antud tootja suureks eeliseks võib lugeda võimalust tarnida seadmeid võllide vahetatavate ketastega. Pakutav hoolduse võimalus ning reageerimise aeg katab ettevõtte vajadusi. Lisaks valmistaja on võimeline paigaldada seadmetele vajaliku määrimissüsteemi. Suureks puuduseks on terviklahenduse puudumine kuna valmistaja toodete nomenklatuuris esineb peamiselt väga suure tootlikusega seadmeid.

Sele 5.6 on toodud Prantsusmaa PY CONSTRUCTEUR RDN1400 rullisõel.



Sele 5.6 PY CONSTRUCTEUR RDN1400 rullisõel. [8]

Antud tootja eeliseks võib lugeda tarnitavate seadmete hinda ning võllide ketaste vahetatavust. Pakutavate seadmete nomenklatuurist ei leidu peenema fraktsiooni sõelumiseks sobilike seadmeid. Pakutava hoolduse, määrimise lahenduse ja paidlikust võib lugeda kui puudulikuks.

Seadmete valmistajate mastaapi arvestades on nende toodete nomenklatuuris enamus suure või väga suure tootlikusega seadmed seega vajalike tehniliste parameetritega seadmeid on keeruline leida. Valikut kitsendab veelgi asjaolu, et valmistoodet ei pruugi täies ulatuses sobida toorainega ja selle spetsifikatsiooniga mis toob endaga kaasa kasuteguri languse. Valmistoodet soetades tuleb lisaks arvestada olemasoleva liini ümberehitusega, mis toob kaasa lisakulutusi. Enamus seadmeid, mida turul leidub on nõ mitte remonditavate (hooldatavate) võllidega, mis teatud kulumise astme

juures tuleb vahetada, kuna seadmete seõlumise kettad on võllidele keevitatud. Valikut veelgi kitsendavaks faktoriks on väga väike seadmete valik just peenema fraktsiooni võimalusega.

Alljärgnevas on toodud seadme otsinguga ja soetusega kaasnevad asjaolud ja puudused.

- Suhteliselt kitsas vajadustele vastavate seadmete nomenklatuur
- Väga kitsas peenema fraktsiooniga seadmete nomenklatuur
- Tootmisliini ümberehituse vajadus ja sellga kaasnevad lisakulutused
- Garantii hooldus teatud viivitustega
- Ülikulukas Eestist väljaspool vajadustele vastava seadme projekteerimine

Eelnevalt kirjeldatud analüüsi kokkuvõte on toodud tabelina 5.2. Kuna tegemist on ettevõttele tundliku informatsiooniga ei kajastata töös pakutavate seadmete tasuvusaja arvestust.

Tabel 5.2 analüüsi kokkuvõte

	Terviklahenduse võimalus	Võllide ketaste vahatatavus	Hooldus ja selle kvaliteet	Määrimis-süsteemi võimalus	Paindlikkus	Seadmete hinnatase	Kulutuste tagasiteenimise aeg (aastat)
1	Väga hea	Ei	Väga hea	Jah	Väga hea	Puudulik	5
2	Väga hea	Ei	Väga hea	Jah	Väga hea	Puudulik	5
3	Väga hea	Ei	Puudulik	Ei	Väga hea	Keskmine	3
4	Puudulik	Ei	Puudulik	Jah	Puudulik	Hea	2
5	Puudulik	Jah	Hea	Jah	Puudulik	Puudulik	3
6	Puudulik	Jah	Puudulik	Ei	Puudulik	Hea	2

Eesti turul tegutsevate ettevõtete tegevus koondub valmis seadmete vahendamisele ning siin kohal vähesed suudavad antud valdkonnas teostada antud mahus projektiga seoses projekteerimistöid.

Lähtudes ettevõtte tootmisliini rekonstrueerimise plaanist on ettevõtte langetanud otsuse tellida vajadustele vastavat rullisõela projekteerimistööd riigi siseselt.

6. MASINA TÜÜBI VALIK

Tänapäeval killustiku ja muude kaevandamisel saadud puiste materjalide sõelumiseks on enamasti kasutusel vibreerivad lehtsõelurid, mis omavad rullisõeluritega võrreldes mitmeid puudusi. Tooraine kõrgendatud niiskus fraktsioneerimisel vibreerimise teel kutsub esile sõelurite sõelumise pindade ummistumise, mille tulemusena on sõeluri efektiivse tööpinna vähenemine ning sellega kaasneb järsk sõeluri fraktsioneerimise efektiivsuse langus. Tooraine pesemine/rikastamine enne sõelurile sattumist teatud määral parandab olukorda, kuid toob kaasa nii lisa ressursikulu kui ka lisaseadmete kasutamist, mis kokkuvõttes ei ole kõige efektiivsem. Toodud olukord nõuab efektiivsemate tehniliste lahendustega sõelurite väljatöötamist.

Teatavasti on rullisõelurite tootlikus kõrgem, nendel puudub vibratsioon ning selle tõttu puudub vajadus keerulisemate konstruktsioonide ehituseks ning nad omavad aktiivset tööpinna isepuhastuvat funktsiooni.

Rullisõelurite kasutamist kivimaterjalide klassifitseerimiseks võib lugeda perspektiivseks. Kivimaterjalide klassifitseerimise protsessi täiustamine võimaldab optimeerida seadmete konstruktsiooni ja nende parameetreid ning aitama kaasa nende rakendamiseks vastavatesse tööstusharudesse.

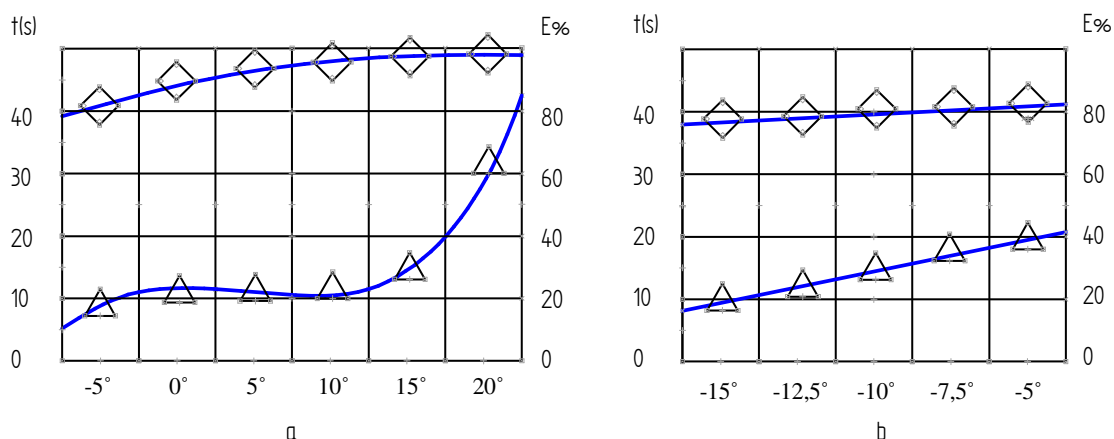
6.1. Sõelumise efektiivsus ja selleks kuluv aeg

On läbi viidud sõelumise efektiivsuse ja selleks kuluva aja testid, mille käigus katsetati samaväärsete tööpindade suurustega rullisõeluri ja vibreeriva lehtsõeluri tööd tööpindade erinevate kallete juures tabel 6.1.[9]

Tabel 6.1 Rullisõeluri ja lehtsõeluri parameetrid.

Rullisõeluri parameetrid	Lehtsõeluri parameetrid
Ketaste kuju – kaheksanurkne	Lehtsõeluri sõela materjal – teras
Ketaste \varnothing - 340 mm	Võnkumise sagedus – 20 Hz
Ketaste paksus – 8 mm	Lehtsõeluri pilu suurus – 20x20 mm
Võllide arv – 5 tk	Sõeluri tööpinna kalle – $-15^{\circ} \dots 0^{\circ}$
Võllide vahe – 240 mm	Tööpina suurus – 140 mm x 1300 mm
Ketaste kogus võllil – 5 tk	
Ketastevaheline kaugus võllil – 20 mm	
Võlli \varnothing - 68 mm	
Sõeluri tööpinna kalle – $-5^{\circ} \dots +20^{\circ}$	
Võllide pöörlemisagedus – 80 p/min	
Tööpina suurus – 140 mm x 1300 mm	

Eksperimentaalsed katsetused viidi läbi kivimaterjalidega mille keskmine suurus oli 5 – 40 mm. Sele 6.1 on toodud efektiivsuse (E) ja sõelumiseks kuluva aja (t) sõltuvus olenevalt sõeluri tööpinna nurga kaldest.[10]



Sele 6.1 Efektiivsuse ning aja sõltuvus:

a – rullisõeluri parameetrid , b – vibreeriva sõeluri parameetrid.

Toodud graafikust selgub, et sõeluri tööpinna kalde suurenemisel efektiivsus ja sõelumise aeg suurenevad. Rullisõeluri efektiivsus on 10% kõrgem ja samas sõelumiseks kuluv aeg peaaegu kolm korda vähem võrreldes vibreeriva lehtsõeluriga.

Näitena võtame situatsiooni, kus efektiivsuse suurenemine 82%-lt kuni 98%-ni rullisõeluril tõi endaga kaasa sõelumiseks kuluva aja suurenemise 9lt 12ne sekundini sele 5.1a. Toodud sõelumiseks kuluva aja suurenemist antud olukorras võib lugeda tühseks kuna katsetuste käigus võrreldi rullisõelurit ja vibreeriva tööpõhimõttega sõelurit omavahel kus rullisõelugiga on sama tööd võimalik teha üle kolme korra kiiremini.

Vibreeriva lehtsõeluri katsete tulemustest selgub, et efektiivsuse suurenemine 78 %-lt kuni 83%-ni tõi endaga kaasa sõelumiseks kuluva aja suurenemise 20lt 40ne sekundini sele 5.1b.

Saadud tulemuste põhjal võib väita, et rullisõeluril on vibreeriva lehtsõeluriga võrreldes selge eelis. Rullisõeluri optimaalseks sõelumise tööpinna kaldeks võib lugeda 5°...15°.

6.2. Niiskemate materjalide sõelumine

Rullisõelurite kasutamise kogemuste teaduslik uurimine on näidanud nende perspektiivsust ka eriti niiskemate ja kleepuvamate materjalide puhul.[11, 12]

On läbi viidud võrdluskatsetamine, mille käigus kasutati erineva koostisega ning niiskusega toorainet klassifitseerimisel võrdväärtsete kasuliku tööpindadega rullisõeluril ning vibreerimise teel töötaval sõeluril. Katsetamise eesmärgina võrdluse teel hinnati erinevate tehniliste lahendustega sõelurite efektiivsust samaväärse tooraine puhul. Katsetamise käigus kasutati toorainet, mille niiskus

varieerus 3,0 kuni 15%-ni. Mõlema tööpõhimõttega sõeluri kalle oli 8 kraadi. Katsetamiste käigus saadud tulemused on toodud tabelis 6.2.

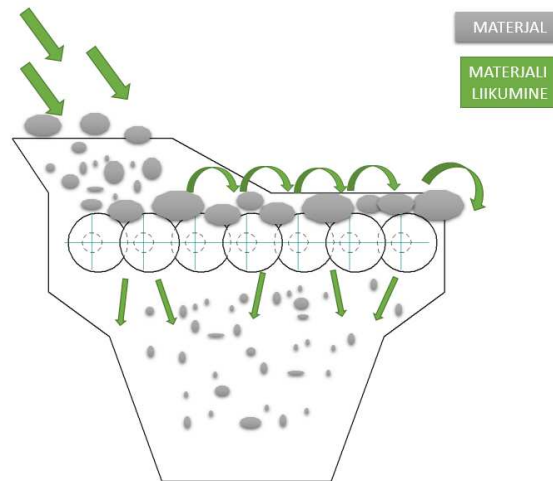
Tabel 6.2 Sõelumise katsetamise tulemused[11]

Kivimi karakteristik	Kivimi niiskuse (%)	Klassifitseerimise efektiivsus (%)		
		Vibreerimine		Rullisõelur
		Kodarsõelur	Lehtisõelur	
Graniitkillustik koos savi sisaldusega 15%	4	75	92-95	95
	8	60	78-80	84
	12	50	60	70
Marmor puru	4	80	94-95	95
	10	60	72	84
Kõrgahju šlakk	3	80	90-92	94
	6	64	80	90
	12	50	60	85
Kivisüsi	5	62	86	88
	10	52	70	78
Dolomiidi puru	5	50	82	88
	10	54	62	72
Lubjakivi puru	4	65	84	87
	8	51	62	70

Tulemuste analüüs on näidanud, et kivimi kuivemate segude puhul rullisõelurite eelis vibreerimise tööpõhimõttega sõelurite ees on väiksem. Niiskuse kasvades on rullisõelurite efektiivsuse näitajad 10-15% kõrgemad. Lisaks eeltoodule, katsetamise käigus on vibreerimise tööpõhimõttega sõeluritel märgatud, et niiskuse kasvades peenemad fraktsioonid kleepuvad suuremate fraktsioonidega, mis toob kaasa klassifitseerimise tehnoloogia rikkumise. Rullisõeluritel antud granuleerimise efekt puudub, kuid on märgatud vajadus seadme tehniliste parameetrite täpsemat valikut arvestades konkreetseid töötingimusi, kus võetakse arvesse kivimi karakteristikud ning klassifitseeritud valmistoodangu nõudeid. Erineva tööpõhimõttega sõelurite katsetamiste tulemused on näidanud rullisõelurite kõrget tootlikkust, mis on seotud seadme pöörlevate võllide ja tooraine omavahelisega intensiivse koosmõjuga ning kõrge sõelumise pinna kandevõimega. Katsetamise tulemusena võib väita, et suurema niiskusega kivimi sõelumisel rullisõelur on näidanud enda perspektiivsust ning kasutamisel kui töökindel ning efektiivsem lahendus.

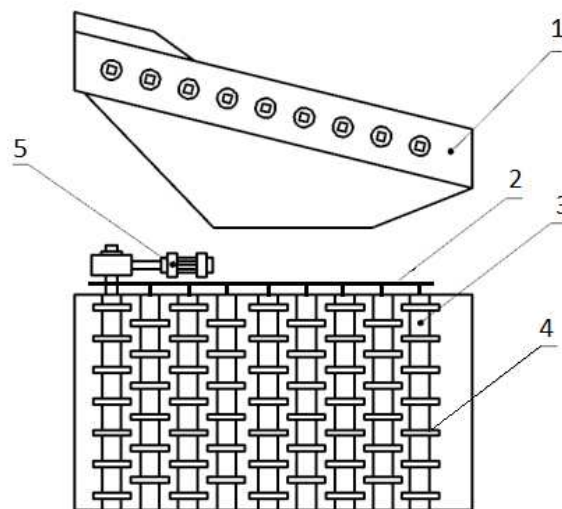
6.1. Konstruksioon ja tööpõhimõte

Rullisõelur kujutab endast korpust/raami mille sisse on ehitatud 7-14 paralleelselt ühes suunas pöörlevad võlli millele on klassifitseerimiseks ning materjali edasilikumiseks ekstsentriliselt paigaldatud kettad Sele 6.2.



Sele 6.2 Rullisõeluri konstruksioon

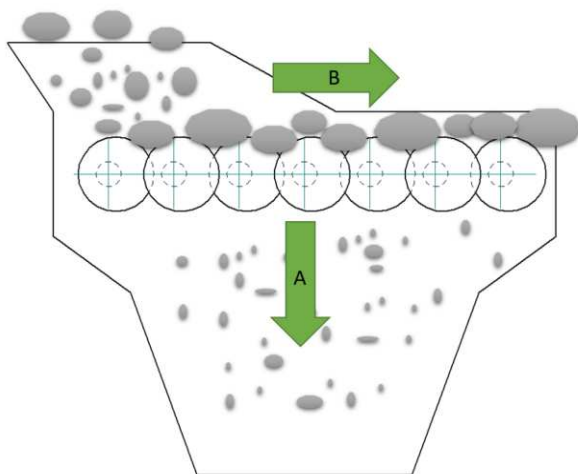
Sele 6.3 on toodud projekteeritava rullisõeluri konstruksioon ja põhilised sõlmed.



Sele 6.3 Rullisõeluri põhilised sõlmed:

1 – Korpust, 2 – kettülekaned, 3 – Võll, 4 – Ketas, 5 – Mootorredaktor.

Ketaste väliskuju ekstsentrilisus võimaldab tooraine paremat kobestamist ja edasi liikumist, mis tõstab rullisõeluri efektiivsust. Rullisõeluri klassifitseerimise pind on enamasti kaldus 5-8°. Võllid on omavahel ühelt poolt ühendatud kettülekannetega, mida juhib mootorreduktor. Tooraine satub toorainesöötjast rullisõelurile, kus tooraine väiksemad fraktsioonid lähevad sõelumise pinnast läbi Sele 6.4 (Suund A) ning tooraine suuremad osad liiguvad mööda sõelumise pinda edasi samal ajal kobestub (Suund B). Seadme ketaste ja võllide omavahelise kaugusega on paika pandud vajaliku fraktsiooni suurus.



Sele 6.4 Tooraine liikumine

7. SÕELURI PARAMEETRID

Lähtuvalt ettevõtte tootmisliini rekonstrueerimise vajadusest Ahtme Killustik OÜ-l on tekkinud vajadus seadmetele, mis vastaksid planeeritud rekonstrueerimise nõuetele. Ümberehitatud tootmisliini ülesandeks on saavutada kõrgema kvaliteediga produkti ning optimeerida olemasolevat tootmisliini.

Lõputöö eesmärgiks on projekteerida rekonstrueerimise vajadustest lähtudes rullisõel, mille abil oleks võimalik püstitatud eesmärk saavutada. Tootmisliini rekonstrueerimise plaanidest lähtudes on antud töös toodud rullisõela projekteerimise meetod, sellega kaasnevad vajalikud insenertehnilised arvutused, materjalide ning muude tarvikute valikute teostamise lähenemise võtted. Projekteeritav rullisõel peab sobima rekonstrueeritavale tootmisliinile, olema lihtsasti eemaldatav, hooldatav ning omama automaatset hooldusvaba määrimissüsteemi.

7.1. Sõeluri arvutamiseks vajalikud parameetrid

Tuginedes kasutamise kogemustele, teaduslikele uurimistöödele ning läbi viidud testidele tabelis 7.1 on välja toodud rullisõeluri optimaalsete vajalike parameetrite vahemikud.

Tabel 7.1 Rullisõeluri optimaalsete parameetrite vahemikud.

Parameeter	Väärtus
Võllide pöörlemissagedus (ω)	40 ... 70 p/min
Tooraine sisaldav niiskus (Θ)	Kuni 15%
Tööpinna kalle (φ)	5 ... 15°
Võllidevaheline kaugus (δ)	100 ... 200 mm
Ttooraine tihedus (γ)	kuni 2,6 g/cm ³
Ketaste väliskuju ekstsentrilisus (Δ)	20 ... 35 mm
Võllide kogus (n)	5 ... 14 tk
Võllide läbimõõt (D)	40 + mm

Võllide pöörlemissagedus

Võllide pöörlemissageduse jätame optimaalses vahemikus 40 ... 70 p/min. Sellega võimaldame tulevikus reguleerida seadme tööd vastvalt vajadustele. Edaspidistel tootlikuse arvutustel kontrollime nii maksimumi kui ka miinumumi väärtustega saadud tulemused.

Tooraine sisaldav niiskus

Ülesande lähteandmetest määrame arvutamiseks vajaliku tooraine sisaldava niiskuseks maksimaalse väärtuse 13 % kuna purustist väljuva tooraine niiskuse sisaldus langeb.

Sõeluri tööpinnakalle

Arvutusteks vajaliku sõeluri tööpinnakalleks määrame keskmise väärtuse 11°.

Võllidevaheline kaugus, võllide läbimõõt ning ketaste vaheline kaugus

Võllidevaheliseks kauguseks valime 130 mm ning võllide läbimõõduks 68 mm.

Esimese astme sõelumise ketaste minimaalse pilu suuruseks määrame esimese astme maksimaalse toote fraktsiooni suurusega 8 mm.

Teise astme sõelumise ketaste minimaalse pilu suuruseks määrame teise astme maksimaalse toote fraktsiooni suurusega 16 mm.

Kolmanda astme sõelumise ketaste minimaalse pilu suuruseks määrame kolmanda astme maksimaalse toote fraktsiooni suurusega 32 mm.

Neljanda astme sõelumise ketaste minimaalse pilu suuruseks määrame neljanda astme maksimaalse toote fraktsiooni suurusega 64 mm.

Tooraine tihedus

Ülesande lähteandmetest määrame arvutamiseks vajaliku tooraine tiheduseks 1,3 t/m³ ehk 1,3 g/cm³.

Võllide kogus

Võllide kogust jätame optimaalses vahemikus ning valime selle arvutuste käigus.

7.2. Seadme tehnilised lähteandmed

Minimaalne tootlikkus – 200 t/h

Toormaterjali niiskus – kuni 13%

Fraktsiooni suurused – 0-8 mm; 8-16 mm; 16-32 mm; 32-64 mm; +64 mm

Killustiku tihedus – 1,3 t/m³

Seadme vastuvõtja osa laius (min) – 650 mm

Tootlikkus fraktsiooni/sõeluri kohta – 50% seadme kogu tootlikkusest

Määrimissüsteem – automaatne

Korraline hooldus – iga 5. aastat

7.3. Sõeluri tootlikuse arvutamine

Rullisõelurite kasutamise kogemus on näidanud, et võrreldes muul tööpõhimõttel töötavate sõeluritega on rullisõeluritel terve rida eeliseid. Peale energia tarbimise ning parema seadme suuruse ja efektiivsuse suhtele, töötlevad rullisõelurid tunduvalt paremini ka niiskemat toorainet.[11]

Eksperimentaalsete katsetustega on tuvastatud seadme efektiivsust selliste näitajate mõjutajatega nagu seadme võllide pöörlemissagedus (ω), tooraine sisaldav niiskus (Θ), seadme töörežiimi kalle (φ), seadme võllidevaheline kaugus (δ), tooraine tihedus (γ), seadme võllidele paigutatud ketaste väliskuju ekstsentrilisus (Δ), seadme pikkus (L), laius (B), võllide kogus (n) ning nende läbimõõt (D).[13]

Rullisõeluri tootlikust (Q) arvutatakse läbi eritootlikuse:

$$Q = Q_e * f_q \left(\frac{n}{4} \right) \quad (7.1)$$

kus Q_e – eritootlikus

$f_q \left(\frac{n}{4} \right)$ – tegur, mis arvestab võllide koguse mõju seadme üld tootlikusele

Eksperimentaalse uurimistöö ja selle mittelineaar-regresseerimise võrrandite abil on saadud analüütiline eelnevalt mainitud kasutus- ja konstruktsiooniparameetritele sõltuvus eritootlikusele (valem 6.2).[12]

$$Q_e = -50,09 + 0,0554\omega - 0,461\Theta + 3,73\delta + 158,13\gamma - 1,184D + 0,03\varphi^2 - 43,12\gamma^2 + 1,24\Delta^2 - 0,394\varphi\delta - 0,0095\omega\gamma - 0,0084\omega\Delta - 0,00049\omega\Theta \quad (7.2)$$

Laboratoorsete uuringute alusel oli tuvastatud võllide koguse mõju seadme üldtootlikusele (valem 6.3):

$$f_q \left(\frac{n}{4} \right) = 0,731 + 0,1051 \frac{n}{4} + 0,1639 \left(\frac{n}{4} \right)^2 \quad (7.3)$$

Eeltoodust lähtudes rullisõeluri tootlikuse arvutamine koondub järgmisele: seatakse seadme konstruktiivsete töörežiimide arvulised väärtused; valemi (6.2) alusel arvutatakse välja eritootlikus, valemi (6.3) alusel arvutatakse parandustegur, mis võtab arvesse võllide koguse ning valemi (6.1) alusel leitakse seadme üldtootlikuse.

Valime teatud parameetrid ning arvutame näitena tootlikust lähtudes järgnevatest parameetritest:

ω - 90 p/min

φ - 4°

θ - 12%

δ - 3 mm

Δ - 4 mm

γ - 1,6 g/cm³

D - 50 mm

n - 10 tk

Laiame eritootlikuse Q_e :

$$\begin{aligned} Q_e &= -50,09 + 0,0554\omega - 0,461\theta + 3,73\delta + 158,13\gamma - 1,184D + 0,03\varphi^2 - 43,12\gamma^2 + 1,24\Delta^2 - \\ &0,394\varphi\delta - 0,0095\omega\gamma - 0,0084\omega\Delta - 0,00049\omega\theta = \\ &= -50,09 + 0,0554 * 90 - 0,461\theta + 3,73 * 3 + 158,13 * 1,6 - 1,184 * 50 + 0,03 * 4^2 - 43,12 * 1,6^2 + \\ &1,24 * 4^2 - 0,394 * 4 * 3 - 0,0095 * 90 * 1,6 - 0,0084 * 90 * 4 - 0,00049 * 90 * 12 = 54,6456 \text{ t/h} \end{aligned}$$

Leiame parandusteguri $f_q \left(\frac{n}{4}\right)$ mis võtab arvesse võllide koguse:

$$f_q \left(\frac{n}{4}\right) = 0,731 + 0,1051 \frac{n}{4} + 0,1639 \left(\frac{n}{4}\right)^2 = 0,731 + 0,1051 \frac{10}{4} + 0,1639 \left(\frac{10}{4}\right)^2 = 2,0181$$

Sadud tulemuste abil leiame seadme üldtootlikuse (Q) :

$$Q = Q_e * f_q \left(\frac{n}{4}\right) = 54,6456 * 2,0181 = 110,28 \text{ t/h (Tabel 7.2 huhtum 1)}$$

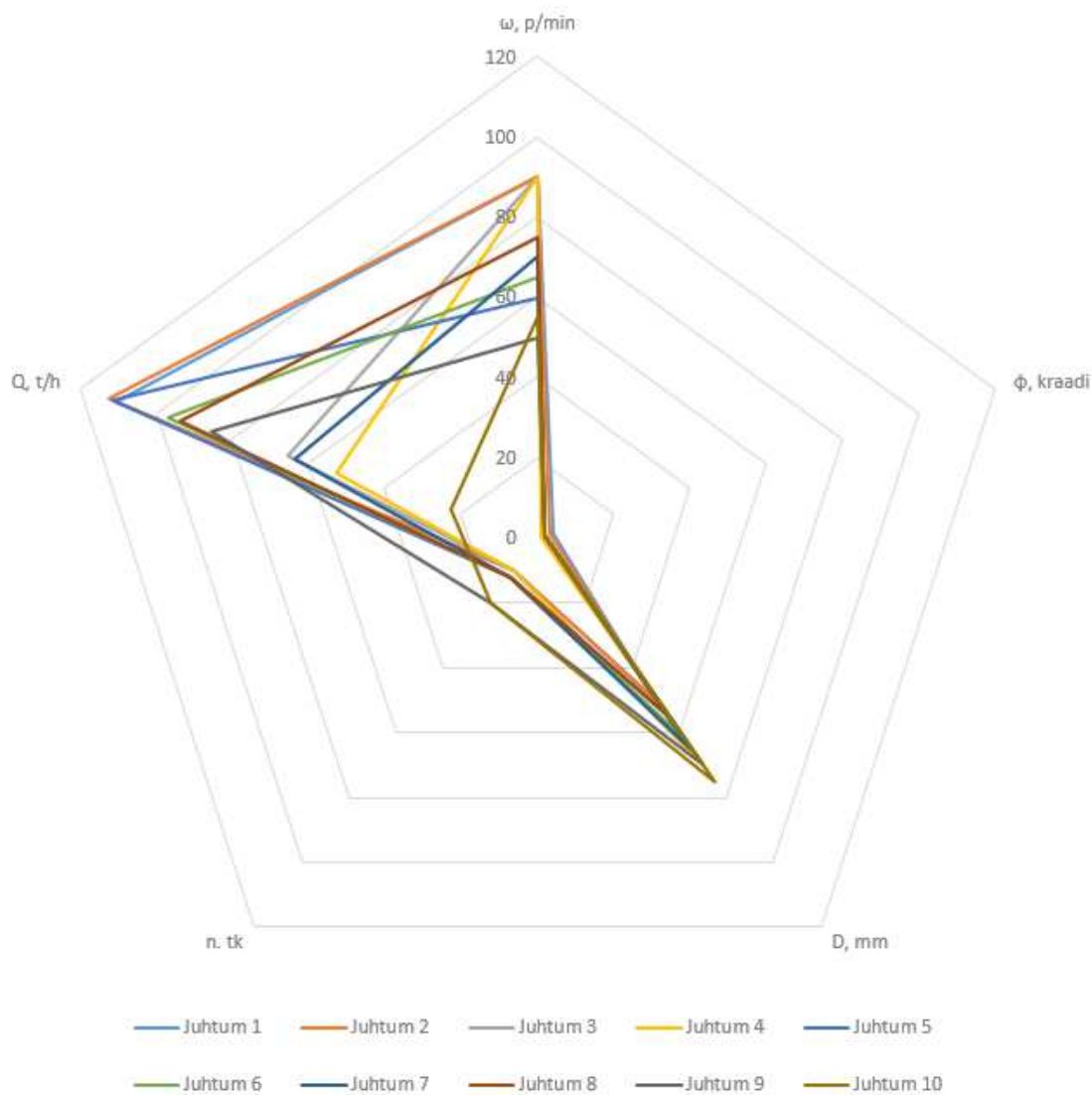
Saadud üldtootlikus on toodud tabelis nr 7.2 juhtumina nr 1. Lisaks on tabelisse toot erinevate parameetritega arvutatud rullisõeluri arvutuslik tootlikus (Q).

Tabel 7.2 Tootlikkus varieeruvate parameetritega

Juhtum	ω , p/min	φ , kraadi	θ , %	δ , mm	Δ , mm	γ , g/cm ³	D , mm	n. tk	Q , t/h
1	90	4	12	3	4	1,6	50	10	110,28
2	90	3	12	3	4	1,6	50	10	112,24
3	90	2	14	4	4	1,5	70	10	65,67
4	90	1	14	4	3	1,5	70	10	52,68
5	60	2	15	6	3	1,4	55	12	111,56
6	65	2	15	6	3	1,4	60	12	96,76
7	70	2	16	7	2	1,3	65	12	63,62
8	75	2	16	7	2	1,3	55	12	93,71
9	50	2	18	8	2	1,2	70	20	85,29
10	55	2	18	8	2	1,1	75	20	22,80

Toodud tulemustest on selgelt näha tootlikuse arvutusliku olulist sõltuvust seadme erinevate konstruktiivsete töörežiimide ja arvulistest väärtustest.

Saadud andmete parema ülevaatlikuseks on sele 7.1 toodud tabeli 7.2 andmed "radar" diagrammina välja.



Sele 7.1 Tabeli 7.2 andmete "radar" diagramm

Toodud diagrammist selgub, et suuremad tegurid, mis avaldavad mõju rullisõeluri tootlikusele, on völliide pöörlemissagedus (ω), völliide kogus (n) ning nende läbimõõt (D).

Välja töötatud arvutuslik meetod võimaldab valida rullisõeluri parameetreid seadme vajalike näitajate saavutamiseks.

Ülesande püstituses toodud lähteandmetest määrame tooraine sisaldava niiskuse (Θ), seadme völliidevahelise kauguss (δ), tooraine tiheduse (γ) ning seadme völliidele paigutatud ketaste väliskuju ekstsentrilisuse (Δ).

Arvutame seadmele vajalike optimaalse völlide koguse (7 ... 9) ning nende pöörlemissageduse (40 ... 70) õmavahelist mõju tootlikusele ning vastavad tulemused kajastame tableis 7.3.

Tabel 7.3 Tootlikkus määratud (φ), (Θ), (δ), (Δ), (γ), (D) parameetritega

Juhtum	ω , p/min	φ , kraadi	Θ , %	δ , mm	Δ , mm	γ , g/cm ³	D , mm	n. tk	Q, t/h
1	40	11	13	130	11	1,3	68	7	97,80
2	55	11	13	130	11	1,3	68	8	108,88
3	70	11	13	130	11	1,3	68	9	121,04
4	40	11	13	130	11	1,3	68	8	110,21
5	55	11	13	130	11	1,3	68	9	122,55
6	70	11	13	130	11	1,3	68	7	95,43
7	40	11	13	130	11	1,3	68	9	124,05
8	55	11	13	130	11	1,3	68	7	96,61
9	70	11	13	130	11	1,3	68	8	107,55

Saadud tulemustes selgub, et seadme vajaliku tootlikust 100 t/h kogu pöörlemissageduse vahemikuga on võimalik saavutada 8 – 9 völliga.

Valime seadme völlide koguseks 8 völli.

Tabelis 7.4 on toodud projekteeritava seadme lõplikud parameetrid.

Tabel 7.4 Rullisõeluri lõplikud parameetrid

Parameeter	Väärtus
Völlide pöörlemissagedus (ω)	40 ... 70 p/min
Tooraine sisaldav niiskus (Θ)	13 %
Tööpinna kalle (φ)	11°
Völlidevaheline kaugus (δ)	130 mm
Tooraine tihedus (γ)	1,3 g/cm ³
Ketaste väliskuju ekstsentrilisus (Δ)	22 mm
Völlide kogus (n)	8 tk
Völlide läbimõõt (D)	68 mm

8. INSENERTEHNILISED ARVUTUSED

8.1. Mootorreduktiori valik

Sõeluri tööks vajaliku mootorreduktiori valiku teostame tuginedes järgmistel tehnilistel lähteandmetel.

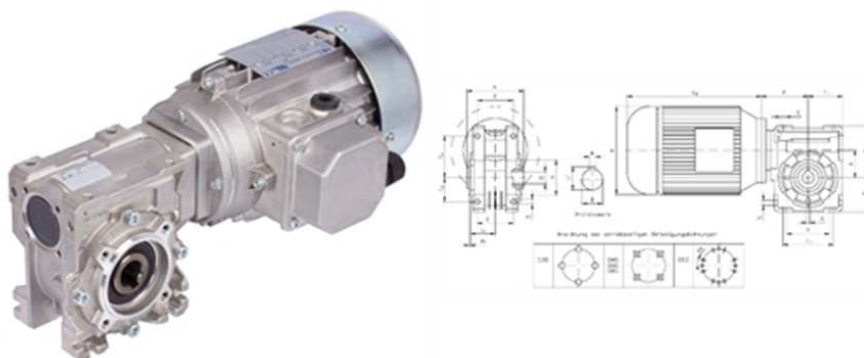
Mootori võimsus – 1,5 kW[12]

Pöörlemissagedus – 40 ... 70 p/min[12]

$$\text{Võlli keskmine pöörlemissagedus} = \frac{n_{max} + n_{min}}{2} = \frac{40 + 70}{2} = 55 \text{ p/min} \quad (7.1)$$

Arvestades ülesande lähteandmetega, kus sõeluri võllide pöörlemissagedus peab olema reguleeritav vahemikus 40 ... 70 p/min valime keskmisele pöörlemisagedusele lähima väärtusega mootorreduktiori, kuid edaspidiste jõu arvutustes teostamisel kasutame minimaalsele pöörlemisagedusele lähima väärtusega mootorreduktiori poolt tekitava jõumomendi.

Sele 8.1 no toodud Alaskuuli AS toodete nomenklatuurist mootorreduktorite võimalikes variantidest sobilikum.



Product	Quantity	P [kW]	n_2 [min ⁻¹]	T_2 [Nm]	f_B	i nominal	Gearbox Size	Motor Size
43915015	CAD	1,5	36,8	276	1,2	38	085	90LA4
43915020	CAD	1,5	50	215	1,5	28	085	90LA4
43915025	CAD	1,5	64	176	1,6	22	085	90LA4
43915030	CAD	1,5	70	162	1,7	20	085	90LA4

Sele 8.1 Valitud mootorreduktiori tehnilised parameetrid[14]

8.2. Laagrite valik

Laagri sobivus määratakse kindlaks kontrollarvutusega laagri arvutusliku tööea L_{10h} , tundides, võrdlemisel nõutava tööeaga L_h tingimusel:[15]

$$L_{10h} \geq L_h \quad (8.2)$$

Arvutame laagrite nõutava tööiga kasutades valemit.[15]

$$L_h = L * 365 * K_a * 24 * K_{\text{öp}} \quad (8.3)$$

kus L – nõutav hooldusevaba tööaastate arv, $L = 5$ aastat,

K_a – aastane kasutatavustegur, $K_a = 0,85$;

$K_{\text{öp}}$ – ööpäevane kasutatavustegur.

Ööpäevane kasutatavustegur on leitav valemiga:[15]

$$K_{\text{öp}} = t_v * \frac{L_v}{24} \quad (8.4)$$

kus t_v – töövahetuse kestus, h,

L_v – vahetuste arv.

Arvutame ööpäevast kasutatavustegurit:

$$K_{\text{öp}} = t_v * \frac{L_v}{24} = 8 * \frac{1}{24} = 0,33$$

Arvutame nõutavat tööiga:

$$L_h = L * 365 * K_a * 24 * K_{\text{öp}} = 5 * 365 * 0,85 * 24 * 0,33 = 12286 \text{ h}$$

Laagrid (YAR208-2RFGR/HV) sele 8.2 on valitud SKF-i koduleheküljelt pakutavast nomenklatuurist.

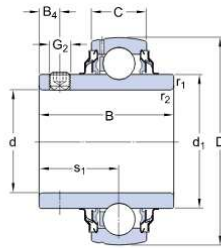
Laagrite ja nende korpuste valikute kriteerioniks olid:

1. Käppkinnitusega laagripukk
2. Sfääriline sisepind
3. Võllidevaheline kaugus peab olema tagatud

Valitud laagrite määrimine saab toimuma eraldi automaatse määrimissüsteemi abil mis võimaldab doseerida määrde vajaliku kogust vastavalt nõutule.

YAR 208-2RFGR/HV

Dimensions



d	40	mm
D	80	mm
B	49.2	mm
C	21	mm
d ₁	≈ 51.8	mm
B ₄	10	mm
r _{1,2}	min. 1	mm
s ₁	30.2	mm

Calculation data

Basic dynamic load rating	C	26	kN
Basic static load rating	C ₀	19	kN
Fatigue load limit	P _u	0.8	kN
Limiting speed with shaft tolerance h6		2800	r/min
Calculation factor	f ₀	14	

Mass

Mass bearing	0.56	kg
--------------	------	----

Mounting information

Thread grub screw	G ₂	M8x1	
Hexagonal key size for grub screw	N	4	mm
Recommended tightening torque for grub screw		6.5	N·m

Sele 8.2 Laager YAR208-2RFGR/HV

Laagri arvutuslik tööiga on leitav valemiga:[15]

$$L_{10h} = a_1 * a_{23} * \frac{10^6}{60n} * \left(\frac{C}{F_{ekv}} \right)^m \quad (8.5)$$

- kus a_1 – tõrgete tõenäosus arvestav tegur, $a_1 = 1$,
 a_{23} – metalli kvaliteedi ja ekspluatatsioonitingimusi arvestav tegur, $a_{23} = 0,7$, [15]
 n – võlli maksimaalne pöörlemissagedus, $n = 70$ p/min,
 C – laagri dünaamiline kandevõime, $C = 26000$ N,
 m – astmenäitaja, $m = 3$, [15]
 F_{ekv} – ekvivalentkoormus, N.

Laagri ekvivalentkoormus on leitav valemiga:[15]

$$F_{ekv} = V * F_r * K_d * K_t \quad (8.6)$$

- kus V – pöörlemistegur, $V = 1$,
 F_r – laagritele mõjuv radiaalkoormus = 750 N,
 K_d – dünaamikategur, $K_d = 2$,
 K_t – temperatuuritegur $K_t = 1$.

Leiame laagri ekvivalentkoormuse

$$F_{ekv} = V * F_r * K_d * K_t = 1 * 750 * 2 * 1 = 1500 \text{ N}$$

Arvutame laagri tööiga:

$$L_{10h} = a_1 * a_{23} * \frac{10^6}{60n} * \left(\frac{C}{F_{ekv}} \right)^m = 1 * 0,7 * \frac{10^6}{60 * 70} * \left(\frac{26000}{1500} \right)^3 = 867951 \text{ h} > L_h$$

Lisaks teostatud arvutustele kontrollime SKF-i kodulehel saadud tulemust selleks ettenahtud kalkulaatori abil. Saadud tulemused on kajastatud sele 8.3.

Input parameters	
F_r Radial load	0.75 kN
F_a Axial load	0 kN
n_i Rotational speed of the inner ring	70 r/min
Operating temperature Bearing outer ring	30 °C
η_c specification method	Cleanliness classification(recommended)
Lubricant type and cleanliness	High cleanliness (sealed bearing)
Grease used in the bearing	VT307
Viscosity at 40 °C	100.0 mm ² /s
Viscosity at 100 °C	14.0 mm ² /s
Result	
L_{10mh} SKF rating life	>1000000 hour
a_{SKF} SKF life modification factor a_{SKF}	50
κ Viscosity ratio	1.06
P Equivalent dynamic bearing load	0.75 kN
η_c Factor for contamination level	0.7
v_1 Required kinematic viscosity for $\kappa=1$	153.8 mm ² /s
L_{10h} Basic rating life	>1000000 hour
C/P Load ratio	34.7

Sele 8.3 SKF-i kalkulaatori tulemused

Arvutuste alusel oleme kindlaks teinud, et valitud laagritüüp vastab nõutule.

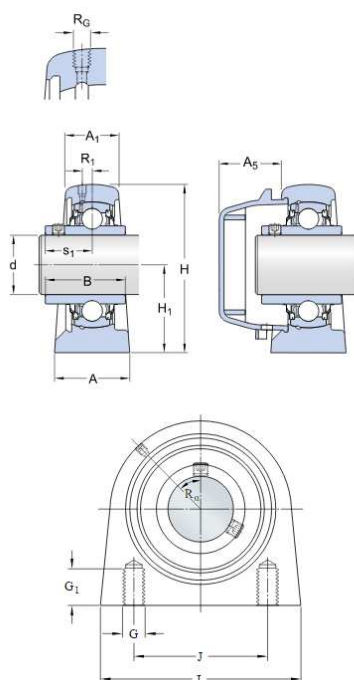
Lagri puks (SYFWR 40 YTHR) on analoogselt valitud SKF-I koduleheküljelt laagrite järgi ning on toodud sele 8.4.

SYFWR 40 YTHR

Housing material

Stainless steel

Dimensions



d	40	mm
A	41	mm
A ₁	33	mm
A ₅	32	mm
B	49.2	mm
H	100	mm
H ₁	49.2	mm
J	88.9	mm
L	114.5	mm
s ₁	30.2	mm

Threaded hole

R _G	1/4-28 UNF	
R ₁	3.5	mm
R _α	45	°

Sele 8.4 Lagri puks SYFWR 40 YTHR

8.3. Kettülekande konstruktsioon

Kettülekanne on ülekanne, kus energia kantakse ühelt võlliit teisele painduva vahelüli ehk keti abil, keti ja ketiratste hambumise kaudu.[16]

Kettülekande põhieelised:

- väiksemad gabariidid
- väiksemad laagrireaktsioonid ja võllide paindemomendid
- suhtelise libisemise puudus
- kompaktsus
- suhteliselt odav
- kasutegus kuni 0,98
- võimalus haarata mitut ketiratst

Kettülekande põhipuudused:

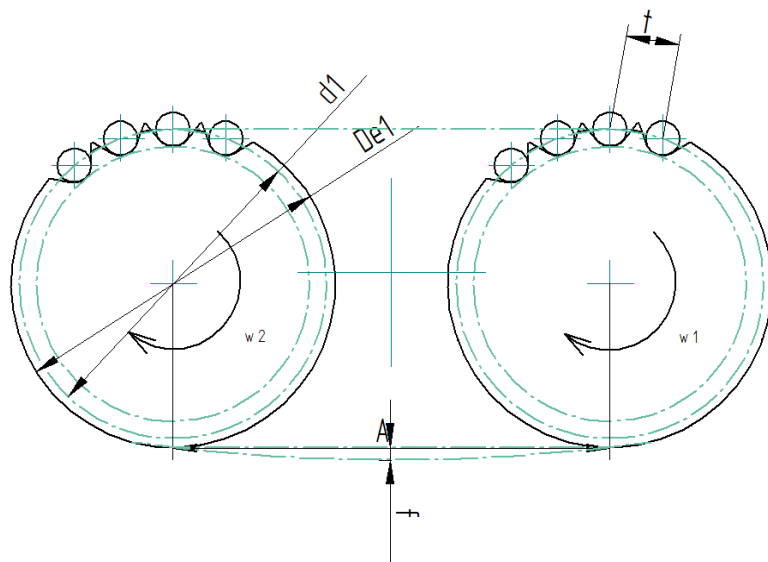
- mõningane käigu ebaühtlus
- keti väljavenimine
- müra töötamisel
- täpse montaaži ja hea hooldamise vajadus

Eeltoodud ülekande puudused antud olukorras kas ei oma tähtsust (näiteks müra töötamisel) või selle olemasolu ei too endaga kaasa muude kallimate lahenduste väljatöötamist. Kettülekannete resurss statsionaarsetes masinates peab olema 1000 ... 15000 tundi.

Ülekandearv ja ketiratta hammaste arv:

Ülekandearv $i = z_2/z_1$, kus z_2 ja z_1 on vastavalt veetavaja vedava ketiratta hammaste arvud. Rullpuks- ja pukskettide ketirattaste minimaalne lubatav hammaste arv $z_{min} = 9$, hammaskettidel $z_{min} = 13$. Projekteeritaval seadmel tulevad kõik kettülekannete suhe 1:1 seega valime rullketi ketiratta hammaste arvuks $z = 18$. [16]

Sele 7.5 on toodud projekteeritav kettülekanne.



Sele 7.5 Projekteeritav kettülekanne

Valitud ülekande parameetrid on järgmised:

d_1 – ketiratta jaotusringjoone läbimõõt – 91,42 mm

De_1 – ketiratta välisdiameeter – 96,5mm

t – ketisamm

f – keti läbirippe

A – Võllidevaheline kaugus

w_1 ja w_2 – Kettülekanne pöörlemise suund

Keti sammu valik

Töötingimuste huvides eelistatakse väikesesammulisi kette pidades silmas kolme kriteeriume:[19]

$$1. \quad t \leq \frac{60000 \cdot v}{zn} \quad (8.7)$$

kus v_{max} – keti joonkiirus, m/s

z – ketiratta hammaste arv

n – sama ratta pöörlemissagedus, p/min

$$2. \quad t \geq A' / 80 \quad (8.8)$$

kus A' – ette antud või esialgselt valitud ketirataste tsentrite vahe, mm

$$3. \quad t \geq 280^3 \sqrt{\frac{k_e N}{zn[p]a}} \quad (8.9)$$

kus N – ülekantav võimsus, Kw,

k_e – eksploatatsioonitegur = 0,7,[16]

$[p]$ – lubatav erisurve keti sarniiris, $\text{kG/mm}^2 = 3,5$,[16]

a – keti ridade arvu tegur (üherealistel $a = 1$; kaherealistel $a = 2$)

z – ühe ketratta hammaste arv 18,

n – ratta pöörlemissagedus, p/min.

Toodud kriteeriumite arvutused:

Ketisammu t – esimese kriteeriumi järgi

Leiame joonkiiruse v kasutades valemit

$$v = \frac{\omega \cdot d_1}{2} \quad (8.10)$$

kus ω – nurkkiirus, rad/sek,

d_1 – ketiratta jaotusringjoone läbimõõt, m.

Keti joonkiiruse v leidmiseks leiame nurkkiiruse ω kasutades valemit

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (8.11)$$

kus n – võlli keskmine pöörlemissagedus = 55 p/min.

$$\omega = \frac{2\pi 55}{60} = 5,76 \text{ rad/sek}$$

Leiame keti joonkiiruse

$$v = \frac{5,76 \cdot 91,42^{-3}}{2} = 0,26 \text{ m/s}$$

Ketisamm t – esimese kriteeriumi järgi

$$t \leq \frac{60000 \cdot v}{zn} = \frac{60000 \cdot 0,24}{18 \cdot 50} = 15,94 \text{ mm}$$

Ketisammu t – teise kriteeriumi järgi

$$t \geq \frac{A'}{80} = \frac{130}{80} = 1,62 \text{ mm}$$

Ketisammu t – kolmanda kriteeriumi järgi

$$t \geq 280 \sqrt[3]{\frac{k_e N}{zn[p]a}} = \sqrt[3]{\frac{0,7 \cdot 1,5}{18 \cdot 50 \cdot 3,5 \cdot 2}} = 15,4 \text{ mm}$$

Kolme kriteeriumi alusel oleks võimalik valida üherealist ketti 10 B-1 samuga $t = 15,875$ mm. kuid arvestades olukorraga, kus kettülekanne on väiksem kui $A < 25t$ valime Varson AS toodete nomenklatuurist välja Sele 8.6 kaherealise ketti 10 B-2 samuga $t = 15,875$ mm, millega tagame ülekanne sujuvama ning pikaajalisema tööintervalli.[17]

DIN/ISO no.	Ref. no. iwis	Pitch p (")	Pitch p (mm)	iwis (N) med.	Standard (N) min.	Breaking area T (cm ²)	Weight per m q (kg/m)	b ₁ (mm) min.	b ₂ (mm) min.	g (mm) max.	a ₁ (mm) max. v	a ₂ (mm) max. v	Roller d' (mm) max.	Pin d'' (mm) max.	Transverse pitch e (mm)	Article No.
Simplex																
06 B-1	G 67 ML*	3/8"	9,525	11.000	9.000	0,28	0,41	5,72	8,53	8,20	12,90	14,10	6,35	3,31	-	50033917
08 B-1	L 85 ML	1/2"	12,70	22.000	18.000	0,50	0,70	7,75	11,30	12,20	16,90	18,50	8,51	4,45	-	50026256
08 A-1 ANSI 40	L 85 AML	1/2"	12,70	17.500	14.100	0,44	0,60	7,94	11,15	12,00	16,60	17,50	7,95	3,96	-	50036841
10 B-1	M 106 ML	5/8"	15,875	25.000	22.400	0,67	0,95	9,65	13,28	14,40	19,50	20,90	10,16	5,08	-	50026257
12 B-1	M 127 ML	3/4"	19,05	30.000	29.000	0,89	1,25	11,75	15,62	16,20	22,70	23,60	12,07	5,72	-	50026258
12 A-1 ANSI 60	M 128 AML	3/4"	19,05	41.000	31.800	1,06	1,47	12,70	17,75	18,00	25,30	26,70	11,91	5,96	-	50038464
16 B-1	M 1611 ML	1"	25,4	75.000	60.000	2,10	2,70	17,02	25,45	21,10	36,10	36,90	15,88	8,28	-	50028923
20 B-1	M 2012 ML	1 1/4"	31,75	120.000	95.000	2,92	3,72	19,56	29,1	26,2	41,6	43,3	19,05	10,17	-	50037775
Duplex																
06 B-2	D 67 ML	3/8"	9,525	19.000	16.900	0,56	0,78	5,72	8,53	8,20	23,40	24,60	6,35	3,31	10,24	50033832
08 B-2	D 85 ML	1/2"	12,70	40.000	32.000	1,00	1,35	7,75	11,30	12,20	30,80	32,40	8,51	4,45	13,92	50027439
10 B-2	D 106 ML	5/8"	15,875	50.000	44.500	1,34	1,85	9,65	13,28	14,40	36,00	37,50	10,16	5,08	16,59	50027509
12 B-2	D 127 ML	3/4"	19,05	60.000	57.800	1,78	2,50	11,75	15,62	16,40	42,10	43,00	12,07	5,72	19,46	50027457
16 B-2	D 1611 ML	1"	25,40	150.000	106.000	4,21	5,40	17,02	29,45	21,10	68,00	68,80	15,85	8,28	31,88	50033161
20 B-2	D 2012 ML	1 1/4"	31,75	210.000	170.000	5,84	7,36	19,56	29,01	25,40	79,70	82,90	19,05	10,19	36,45	50033771

Sele 8.6 Valitud keti parameetrid[17]

8.4. Keti pikkus

Arvutame keti lülide arvu m kasutades valemit:[17]

$$m = \frac{2A}{t} + \frac{z_1+z_2}{2} + \left(\frac{z_2-z_1}{2\pi}\right)^2 * \frac{t}{A} \quad (8.12)$$

kus m – keti lülide arv;

A – telgedevaheline kaugus =130 mm,

t – keti lüli pikkus =15,875 mm,

z_1 – juhtiva ketiratta hammaste arv =18,

z_2 – veetava ketiratta hammaste arv =18.

Saadud lülide arv tuleb ümardada ülespoole täisarvuni

$$m = \frac{2 * 130}{15,875} + \frac{18 + 18}{2} + \left(\frac{18 - 18}{2\pi}\right)^2 * \frac{15,875}{120} = 34,5 \Rightarrow 35 \text{ lüli}$$

8.5. Võllide vahelise kauguse täpsustus

Arvutame täpsustatud võllide vahelist kaugust A valemiga:[17]

$$A = 0,25t \left(m - 0,5(z_1 + z_2) + \sqrt{(m - 0,5(z_1 + z_2))^2 - 2 * \left(\frac{z_2-z_1}{\pi}\right)^2} \right) \quad (8.13)$$

$$A = 0,25 * 15,875 \left(35 - 0,5(18 + 18) + \sqrt{(35 - 0,5(18 + 18))^2 - 2 * \left(\frac{18-18}{\pi}\right)^2} \right) = 134,9 \text{ mm}$$

Saadud A väärtust tuleb keti vajaliku läbirippe tagasmiseks 2 ... 5 mm võrra vähendada Sele 8.7.

Antud juhtumil saadud tulemust vähendame 4,9 mm võrra ning saavutame sellega arvutusliku rullisõeluri tootlikust.

8.6. Ketiratta valik

Tuginedes valitud ketitüübile ning sammu suurusele valime Varson AS toodete nomenklatuurist välja ketiratta mis on toodud sele 8.7.[18]

Pignoni per catene semplici, doppie e triple a rulli secondo: DIN 8187 - ISO/R 606

Sprockets for simplex, duplex and triplex chain to: DIN 8187 - ISO/R 606

Kettenräder mit einseitiger Nabe für Simplex- Duplex- Triplex-Rollenkette nach: DIN 8187 - ISO/R 606

Pignons avec moyeu déporté pour chaînes simples, doubles et triples à rouleaux suivant les normes: DIN 8187 - ISO/R 606

Piñones para cadena simple, doble y triple de rodillos según las normas: DIN 8187 - ISO/R 606



5/8" x 3/8"

10B - 1-2-3 15,875 x 9,65 mm

CATENA	CHAIN	KETTE	CHAÎNE	CADENA	ISO mm
Passo	Pitch	Teilung	Pas	Paso	15,875
Larghezza interna	Internal width	Innere Breite	Largeur interieure	Ancho interno	9,650
Rullo ø	Roller ø	Rollen ø	ø du rouleau	Rodillo ø	10,160

PIGNONE	SPROCKETS	KETTENRÄDER	PIGNONS	PIÑONES	ISO mm
Raggio dente r	Tooth radius r	Radius r	Rayon de denture r	Radio diente r	16,0
Larghezza raggio C	Radius width C	Breite C	Largeur de rayon C	Ancho radio C	1,6
Largh. dente h ₁	Tooth width h ₁	Zahnbreite h ₁	Larg. de denture h ₁	Ancho diente h ₁	9,1
Largh. dente L	Tooth width L	Zahnbreite L	Larg. de denture L	Ancho diente L	9,0
Largh. dente h ₂	Tooth width h ₂	Zahnbreite h ₂	Larg. de denture h ₂	Ancho diente h ₂	25,5
Largh. dente h ₃	Tooth width h ₃	Zahnbreite h ₃	Larg. de denture h ₃	Ancho diente h ₃	42,1
Altezza totale H	Full height H	Gesamt Höhe H	Hauteur totale H	Altura total H	-

Materiale C 45 E
UNI EN 10083-1

*Tipi costruiti con mozzo saldato:
materiale Fe

Material C 45 E
UNI EN 10083-1

*With welded hub:
material Fe

Werkstoff C 45 E
UNI EN 10083-1

*Typen mit eingeschweisster
Nabe:Werkstoff Fe

Matière C 45 E
UNI EN 10083-1

*Tipos avec moyeu soudé:
matière Fe

Material C 45 E
UNI EN 10083-1

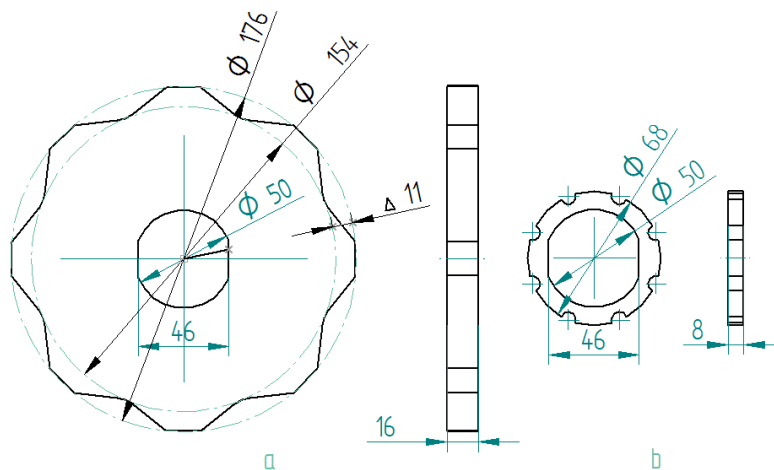
*Tipos con nucleo soldado:
material Fe

Z	D _ø	D _p	PS				PD				PT			
			cod.	d	D	H	cod.	d	D	H	cod.	d	D	H
8	47,0	41,48	PS 10008	25	10	25	PD 10008	25	12	40	PT 10008	25	12	55
9	52,6	46,42	PS 10009	30	10	25	PD 10009	30	12	40	PT 10009	30	12	55
10	57,5	51,37	PS 10010	35	10	25	PD 10010	35	12	40	PT 10010	35	16	55
11	63,0	56,34	PS 10011	37	12	30	PD 10011	39	14	40	PT 10011	39	16	55
12	68,0	61,34	PS 10012	42	12	30	PD 10012	44	14	40	PT 10012	44	16	55
13	73,0	66,32	PS 10013	47	12	30	PD 10013	49	14	40	PT 10013	49	16	55
14	78,0	71,34	PS 10014	52	12	30	PD 10014	54	14	40	PT 10014	54	16	55
15	83,0	76,36	PS 10015	57	12	30	PD 10015	59	14	40	PT 10015	59	16	55
16	88,0	81,37	PS 10016	60	12	30	PD 10016	64	16	45	PT 10016	64	16	60
17	93,0	86,39	PS 10017	60	12	30	PD 10017	69	16	45	PT 10017	69	16	60
18	98,3	91,42	PS 10018	70	14	30	PD 10018	74	16	45	PT 10018	74	16	60
19	103,3	96,45	PS 10019	70	14	30	PD 10019	79	16	45	PT 10019	79	16	60
20	108,4	101,49	PS 10020	75	14	30	PD 10020	84	16	45	PT 10020	84	16	60
21	113,4	106,53	PS 10021	75	16	30	PD 10021	89	16	45	PT 10021	89	16	60

Sele 8.7 Valitud ketiratta parameetrid[18]

8.7. Ketaste konstruktsioon

Fraksioneerimise ja distantsketaste konstruktsion on toodud sele 8.8.



Sele 8.8 Ketaste ja distantsetaste konstruktsioon:

a - fraksioneerimise ketas, b – distantsetas.

Kettad on projekteeritud selliselt, et tagada maksimaalset efektiivset materjali edasiliikumist mida tagab ketaste väliskuju ekstsentrilisuse (Δ). Lisaks materjali paremaks edasiliikumiseks vajaliku ekstsentrilisuse kuju valikul arvestati võimaliku materjali ebasobiliku võllide vahele kinnikiilumisele ning selle vältimisele.

Distantsetetta paksus on valitud fraksioneeritava materjali minimaalsest suuruset lähtudes – 8 mm. Fraksioneerimise ketaste välisläbimõõdu ja paksuse valikul arvestati distantsetaste paksusega ning sellega, et nende omavahelise paksuse suhtega ja välisläbimõõdu suurusetega oleks võimalik tagada toodetavatast fraksioonidest kõik vajalikud suurused. Ketaste sisemise läbimõõdu ja selle kujul valikul arvestati sellega, et kettaste pöörlemine võllil oleks piiratud ning projekteeritava võlli välisläbimõõdu valikuks jätta võimalikult palju ruumi, kuna ketaste piiramiseks võlli ühelt poolt ja ketirataste piiramiseks teiselt poolt võetakse kasutusele lukustusmutter. Lisaks võlli ketirataste pool ühendatakse mootorreduktoriga. Iga järgneva liitekohta konstrueerimisel läheb võlli läbimõõt väiksemaks.

8.8. Ketaste materjali ja töötuse valik

Lõpp-produktile esitatavate üha rangemate reeglitele tekib vajadus tõsta fraksioneerimise tehnoloogia kvaliteeti ning tagada protsessi stabiilsust. Üheks oluliseks faktoriks, mis aja möödudes mõjub negatiivselt protsessi stabiilsusele ja kvaliteedile, on seadme fraksioneerimise ketaste kulumine. Kulumise tagajärjel muutub fraksioneerimise ketta väliskuju sujuvamaks, ketaste äärtele tekib raadius ning kettad muutuvad õhemaks, mis toob kaasa sõelumise pilude suurenemise. Tulenusena on fraksioneerimise protsessi aeglustumine ja selle kvaliteedi oluline langus mille mõju on avaldub suuremas osas väisemate fraksioonide sõelumisele.

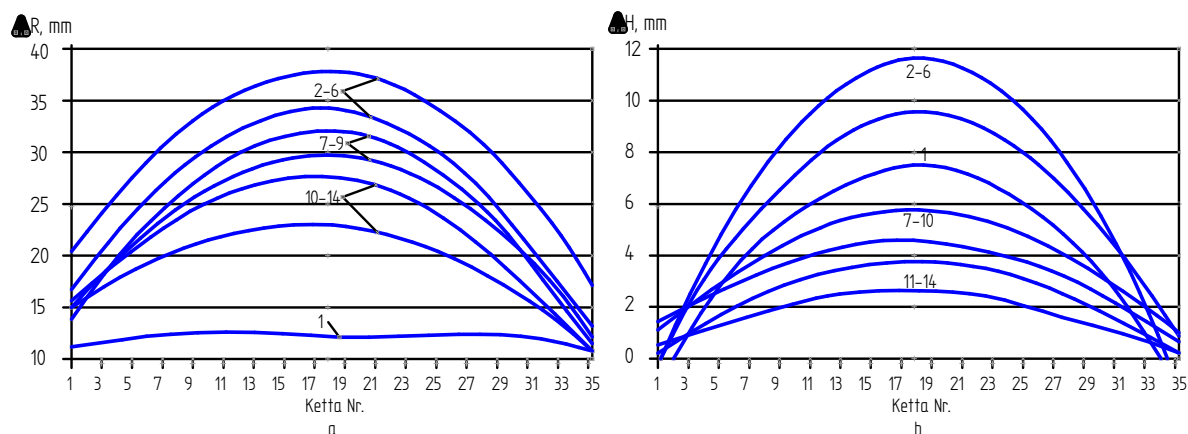
Teatavasti tooraine rullisõelurile sattudes kuluvad esimeste võllide keskel olevad fraktsioneerimise kettad rohkem kui võllide äärtes ja tagumistel võllidel olevad kettad. Lähtudes tehnilistest nõuetest fraktsioneerimise kettad peavad olema vahetatud, kui nende kulumise tagajärjel sõelumise pilu suureneb 10-15%. Tabelis 8.1 on toodud iga fraktsioonile maksimaalne fraktsioneerimise ketaste kulumine.

Tabel 8.1 Rullisõeluri lõplikud parameetrid

Fraktsioon, mm	0 - 8	8 - 16	16 - 32	32 - 64
Pilu suurus, mm	8	16	32	64
Pilu maksimaalne suurenemine, mm	1,2	2,4	4,8	9,6
Ketta paksuse maksimaalne kulumine ühelt poolt, mm	0,6	1,2	2,4	4,8

Fraktsioneerimise ketaste suurima kuluga piirkonna selgitamiseks on saadud ketaste kulumise sõltuvus, mis on seeriaketaste puhul valmistatud vedruterasest 65Г.[19]

Sõltuvus on graafiliselt toodud sele 7.9 milest selgelt märgata, et praktiliselt kõikidel võllide keskel olevatel ketastel on nii paksuse kui ka ketaste äärte raadiuse tekkimise kulu maksimaalne.[19]



Sele 8.9 Ketaste kulumine:[19]

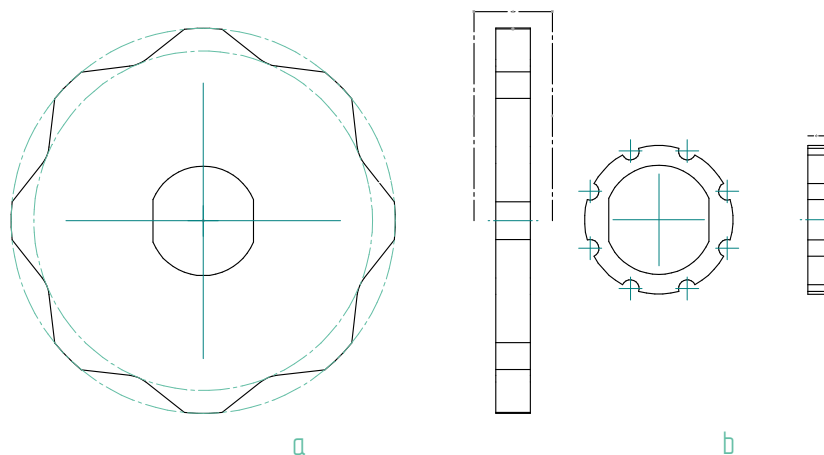
a – raadiuse tekkimine, b – paksuse vähenemine

Probleemi lahendamiseks on mitmed võimalused. Võimalike lahenduste seas on tooraine söötja mehhanismi paigaldus rootorpurusti lintkonveieri ja rullisõela vahele (sele 3.2). Tooraine söötja edastab toorainet sõelurile selliselt, et tooraine satub mitte ainult esimeste võllide keskele, kuid

rullisõeluri kogu pinna laiuses. Antud meetod oluliselt vähendab sõelumise ketaste ebaühtset kulumist ning seda võetakse ettevõtte poolt rakendamisele.

Võimalike lahenduste seas on ka maksimaalse kulumisega positsioonidele või materjali liikumise esimatele võllidele paigaldada 1,125 ... 1,25 korda paksemad kettad kuid see toob kaasa seadme keerulisemaks muutumise ja varuosade laos suurenemise, mis mõjub otseselt seadme omahinnale. Lisaks eeltoodud probleemi võimalike lahenduste seas on ketaste kasutamine, mille pinna kihi kõvadus ületab sõelumiseks kasutatavate standard ketaste pinna kihi kõvadust. Tööstuslike uuringute basil on väljatöötatud meetod, mille abil on võimalik tekitada ketastele kulumiskindlamat pinda, mis võimaldab pikendada nende eluiga vähemalt kaks korda. Tehnoloogia sisaldab ketaste pinna ettevalmistust haavelduse meetodi abil ning selle pihustuspindamine termopindamise meetodi abil (Ni-Cr-B-Si-C) elementidega.[19]

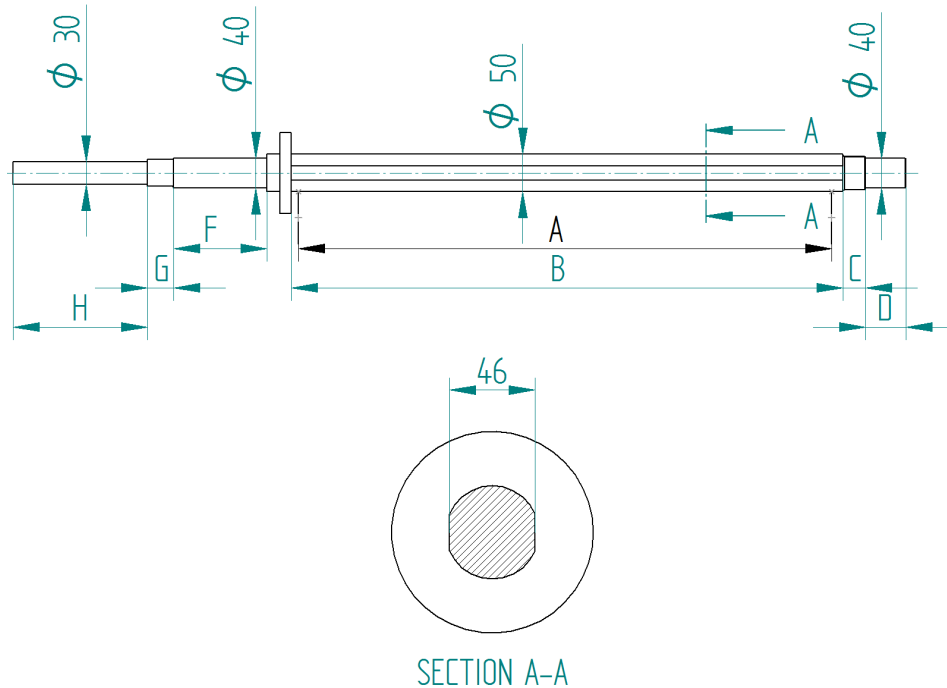
Lähtudes uuringute käigus saadud andmetest ning praktikas väljakujunenud võtetest rullisõela ketaste valmistamiseks valime 60Cr3 terase. Ketaste termotöötamise pinnad on toodud sele 8.10.



Sele 8.10 Ketaste termotöötamise pinnad

8.9. Võlli konstruktsioon ja kontroll väsimusele

Antud peatükis konstrueeritakse võll ja kontrollitakse seda väsimusele. Sele 8.11 on eskiisina toodud projekteeritav võll lähtudes juba eelnevates staadiumites tehtud otsustele, kus said määratud mootrreduktor, võlli laagrid, ketirattad, ketaste avade kuju, läbimõõt ning paksus.



Sele 8.11 Projekteeritav völli

Sele 7.11 toodud völli on jaotatud seksioonideks kus A seksioonile satub sõelumiseks toormaterjal, seksioonile B on paigutatud sõelumise ja distantskettad mis on piiratud keermestatud seksioonile C paigutatud lukustusmutriga. Seksioonile D on paigaldatav laager mida kinnitatakse völli seadekrivi abil. Seksioonile F on paremalt vasakule paigutatud kaks kaherealist ketiratast ning laager analoogselt seksioonile D mis on piiratud keermestatud seksioonile G paigutatud lukustusmutriga. Seksioon H osa völli millele paigutatakse mootorreduktor.

Projekteeritud völli kõike väiksema läbimõõduga seksioonile H teostame kontrollarvutused mille tulemuste baasil saame väita, kas konstrueeritud völli lahendus on kindel või mitte.

Leiame väändepinge τ_t kasutades valemit:[20]

$$\tau_t = \frac{M_t}{W_p} \quad (8.14)$$

kus M_t – Väändemoment, 276 Nm, ehk 276000 Nmm,
 W_p – polaarvastupanumoment.

Polaarvastupanumoment on leitav valemiga:

$$W_p = \frac{\pi * d^3}{16} \quad (8.15)$$

kus d – Völli läbimõõt, mm

Laiame polaarvastupanumomendi W_p :

$$W_p = \frac{\pi * d^3}{16} = \frac{\pi * 30^3}{16} = \frac{84823}{16} = 5301,44 \text{ mm}^3$$

Leiame väändepinge τ_t :

$$\tau_t = \frac{276000}{5301,44} = 52,06 \text{ N/mm}^2$$

Turvalisuse kaalutlustel võib masinaosaid koormata vaid osaliselt nende tugevuspiirist σ_{lim} , mis viib jäävale deformatsioonile, möranemisele või väsimuspurunemisele.[20]

Võlli valmistamiseks valime masinakonstruktsiooniterase E360 mille lubatud väändepinge $\sigma_{lim} = 210 \text{ N/mm}^2$.

Kuna rullisõel töökoormust võib kirjaldada kui dünaamilist ning tegemist on sitke materjalidega siis valime ohutusteguriks $v = 3,5$. [20]

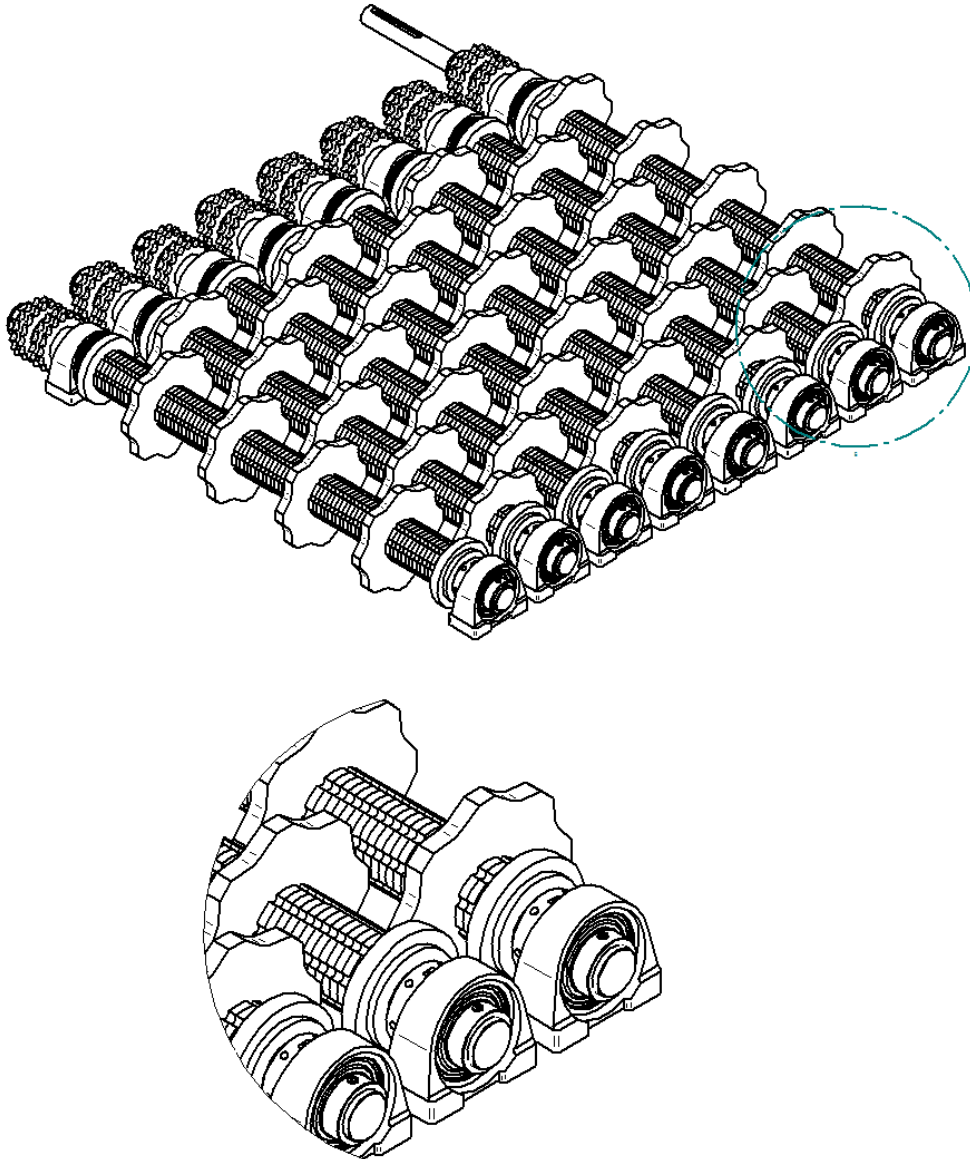
Leiame ohutusteguriga v lubatud pinge σ_{allow} kasutades valemid $\sigma_{allow} = \frac{\sigma_{lim}}{v}$

$$\sigma_{allow} = \frac{\sigma_{lim}}{v} = \frac{210}{3,5} = 60 \text{ N/mm}^2 \quad (8.16)$$

Saadud σ_{allow} on väiksem kui saadud τ_t väärtus seega võlli valmistamiseks valitud materjali E360 võib lugeda õigeks.

8.10. Völlide ja ketaste lõplik konstruktsioon

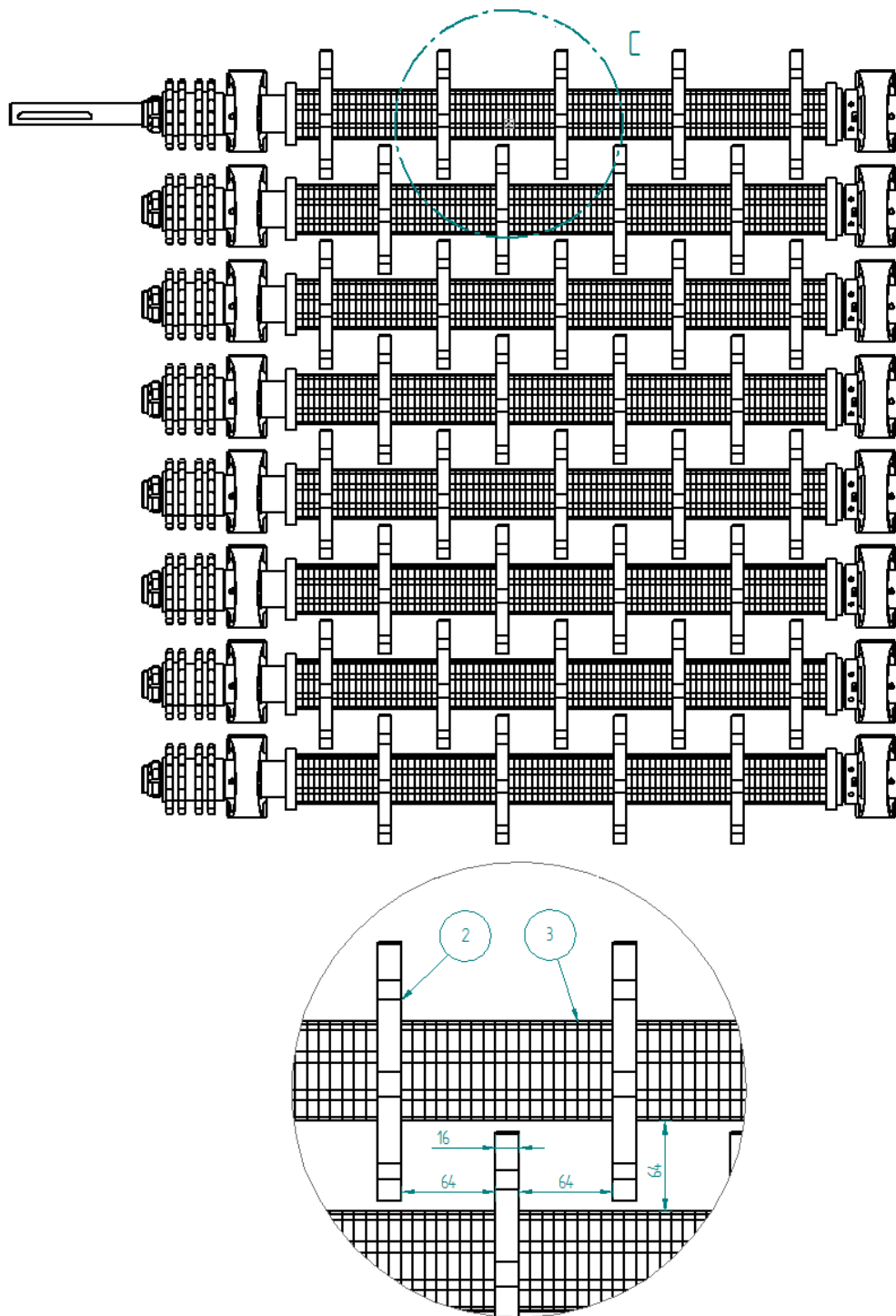
Sõelumiseketaste ning nende vahet reguleerivate distantsketaste paigaldus on toodud Sele 8.12.



Sele 8.12 Sõelumise ketaste ning distantsketaste paigutus

Ketaste sisemised avad on konstrueeritud lähtudes eelnevates staadiumites saadud tulemustest mille kohaselt rullisõeluri võlli läbimõõt peab olema 68 mm.

Rullisõeluri sõelumise pind koosneb kaheksast ühel tasandil paralleelsest võllist (1) mis asuvad teineteisest samal kaugusel millele on paigutatud vajaliku sammuga kettad (2) Sele 8.13.



DETAIL C

Sele 8.13 Sõeluri võllide konstruktsioon 32 – 64 mm fraktsioonile

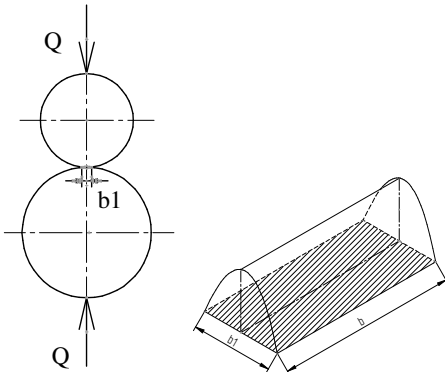
Vajaliku sammu tagavad distantsettad 3 mis on võlli ühelt poolt piiratud võllil oleva astmega 4 ning teisilt poolt lukustusmutriga 5. Rullisõeluri ketaste paigaldamise samm vastab sõelumise vajaliku fraktsioonile. Lisa 8 – 11 on toodud nelja sõeluri ketaste paigutus

8.11. Ketid ja ketiratta kontaktpinged

Paljudel juhtudel (kõrgemates paarides) toimub kaasdetailide kontakt teoreetiliselt kas punktis või joonel, tegelikult aga (elastsete deformatsioonide tõttu) pinnal, mis on kehade mõõtmetega võrreldes väike. Selle pinnakese lähedal valitseb materjalis ruumpingus. Niisugustes tingimustes töötavad näiteks veerelaagrid, hammasrataste hambad, nukkmehhanismid jms. Pinged, mis ei põhjusta veel detailide töökõlbmatuks muutumist, osutuvad suhteliselt suurteks, ulatudes terasdetailidel sageli 20000 ... 50000 kG/cm². Kontaktpinna suuruse ja kontaktpinged saab välja arvutada elastsusteooria alusel. Suurimad kontaktpinged tekivad kontaktpinna keskel. Arvutustes eeldatakse, et materjalid on isotroopsed ja homogeensed, et esinevad ainult elastsed deformatsioonid, et jõud mõjuvad kontaktpinnaga risti ja et kontaktpinna mõõtmed on kaaskehade kokkupuutepindade kõverusraadiustega võrreldes väga väikesed.[16]

Kontaktpingete suurused ja nende arvutuseks vajalikud valemid on toodud tabelis 8.2.

Tabel 8.2 Hertzi-Beljaevi kontaktpinnad ja kontaktsurved[16]

Kaasdetailide kuju ja vastastikune asend	Kaks paralleelsete telgedega silindrit raadiusega R_1 ja R_2 (q – erikoormus kokkupuutejoone pikkusühikule)
Sekiis	
Kontaktpinna kuju ja mõõtmed	<p>Kontaktristiküliku laius</p> $b_1 = 2,256 \sqrt{\eta q \frac{R_1 R_2}{R_2 + R_1}}$
Maksimaalne kontaktsurvepinge	$\sigma_{mqx} = 0,5642 \sqrt{\frac{q}{\eta} * \frac{R_2 + R_1}{R_1 R_2}}$
Maksimaalne tangentsiaalpinge ja maksimaalne ekvivalentpinge	$\tau_{mqx} = 0,30 \sigma_{mqx}$ $\sigma_{ekv}^V = 0,557 \sigma_{mqx}$

Seosed kontaktülesannete lahendamiseks on toodud tabelis 8.3 märkused.

Tabel 8.3 Märkused kontaktülesannete lahendamiseks

Märkused
<p>1. $E = \frac{2E_1E_2}{E_1+E_2}$ - taandatud elastsusmoodul, kus E_1 ja E_2 on kaaskehade elastsusmoodulid; $\eta = \eta_1 + \eta_2$ kus $\eta_1 = \frac{1-\mu_1^2}{E_1}$ ja $\eta_2 = \frac{1-\mu_2^2}{E_2}$; μ_1 ja μ_2 kaaskehade materjalide Poisson'i tegurid = 0,3</p> <p>2. Nõgusa ja kumera pinna kokkupuutel tuleb valemities $R_2 + R_1$ asendada suurustega $R_2 - R_1$.</p> <p>3. q - jõud mis mõjub silindri pikkuse ühikule $q = \frac{Q}{b}$</p>

Leiame teguri η_1 :

$$\eta_1 = \frac{1-\mu_1^2}{E_1} = \frac{1-0,3^2}{2,1 \cdot 10^{11}} = 4,33 \cdot 10^{-12} \quad (8.17)$$

Leiame teguri η_2 :

$$\eta_2 = \frac{1-\mu_2^2}{E_2} = \frac{1-0,3^2}{2,1 \cdot 10^{11}} = 3,33 \cdot 10^{-12} \quad (8.18)$$

Leiame teguri η :

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 = 4,33 \cdot 10^{-12} + 3,33 \cdot 10^{-12} = 7,66 \cdot 10^{-12} \quad (8.19)$$

Leiame erikoormuse q kokkupuutejoone pikkusühikule:

$$q = \frac{Q}{b} \quad (8.20)$$

kus Q – mõjuv jõud, N,

b – ketiratta laius jaotusringjoone kohal – 9 mm.[21]

Leiame mõjuvat jõudu Q võlli pöörlemisageduse maksimaalse (70 p/min) ja minimaalse (40 p/min)

väärtustele kasuitades valemit: $F_A = \frac{m}{R_A}$ [16]

kus m – mootorredukti poolt võllile tikitav moment, Nm

R_A – ketiratta jaotusringjoone raadius, m

$$F_{A(50)} = \frac{m}{R_A} = \frac{276}{0,09142} = 3019,03N \Rightarrow 3020 N \quad (8.21)$$

$$F_{A(70)} = \frac{m}{R_A} = \frac{162}{0,09142} = 1772,04N \Rightarrow 1773 N$$

Erikoormus q kokkupuutejoone pikkusühikule on:

$$q = \frac{Q}{b} = \frac{3020}{9} = 335,55 \text{ N}$$

Leiame kontaktristiküliku laiuse b_1 : kasutades valemit:

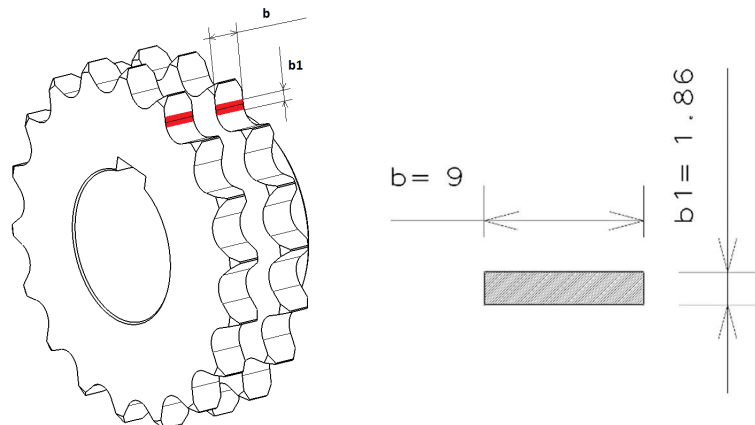
$$b_1 = 2,256 \sqrt{\eta q \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1}} \quad (8.22)$$

kus R_1 – Keti puksi radius – 5,08 mm,[22]

R_2 – Ketiratta jaotusringjoone kontakti raadius – 5,18 mm.[23]

$$b_1 = 2,256 \sqrt{\eta q \frac{R_1 R_2}{R_2 + R_1}} = 2,256 \sqrt{7,66 * 10^{-12} * 335,55 \frac{5,08 * 5,18}{5,18 - 5,08}} = 0,001856 \text{ m}$$





Saadud arvutuste kohaselt tekib keti puksi ja ketiratta kokku surumise tulemusena kontaktpind mille asukoht ja pinna suurus on toodud sele 8.14.

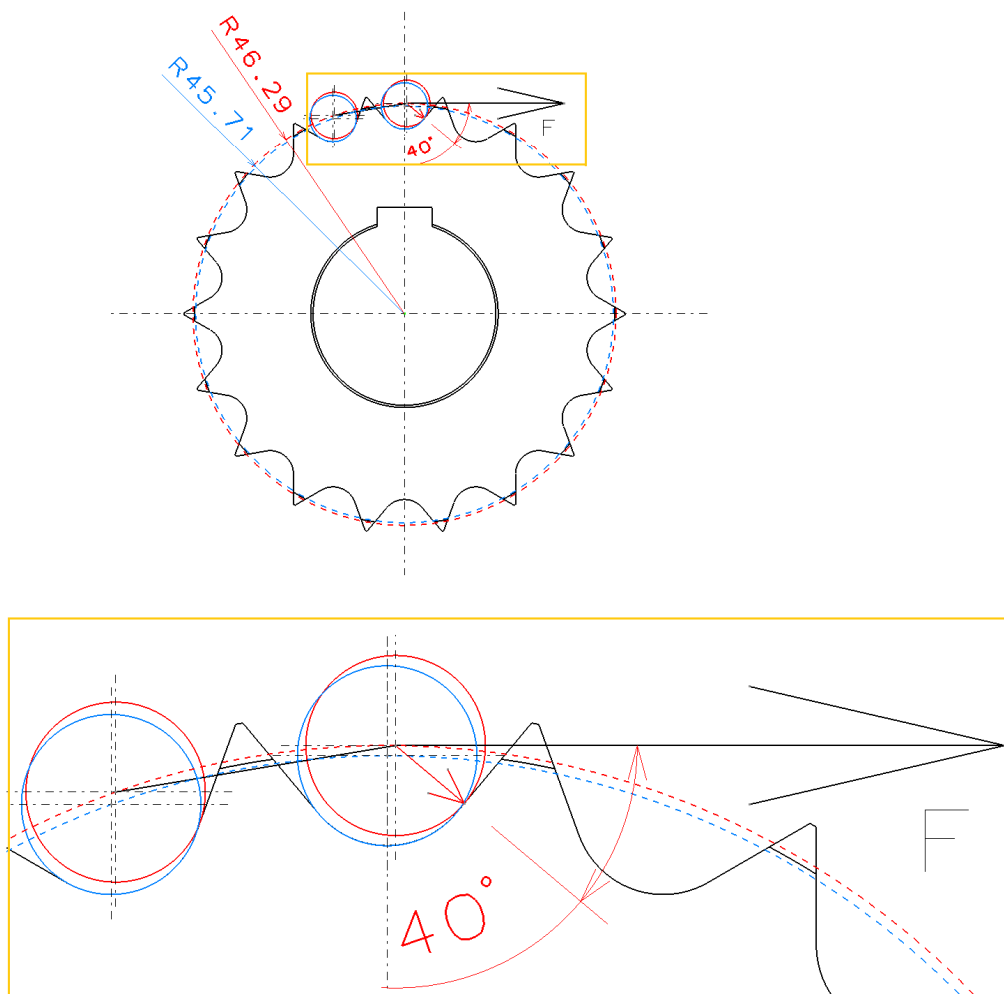


Sele 8.14 Ketipuksi ja ketiratta kokkusurumise asukoht ja pinna suurus

8.12. Ketiratta kontrollarvutused

Saadud arvutuslikest tulemustest ja valitud standardosadest on vajalik teostada kontrollarvutused kohale/kohtadele, kus tekivad kõige suuremad jõud. Kuigi tootmisliinis on rakendatud teatud abinõud selleks, et vältida seadmesse kõrvalisi esemete sattumist ei tohi seda täiesti välistada. Järgnevas teostame FEM analüüsi kujutatavale ekstreemolukorrale kus seadmesse satub kõrvaline ese mille tulemuseks pöörlevad võllid kiiluvad kinni. Kinni kiilumise tagajärjel tekivad esimeses kettülekanDES kõige suuremad ülekoormused kus ketiratta hammastele jaguneb mootorreduktiori poolt tekitav jõud sele 8.15.

-  Ketipuksi välimine pind koormuse all
-  Ketipuksi välimine pind ilma koormusega
-  Keti jaotusringjoone läbimõõt koormuse all
-  Keti jaotusringjoone läbimõõt ilma koormusega



Sele 8.15 Ketirattale mõjuv jõud

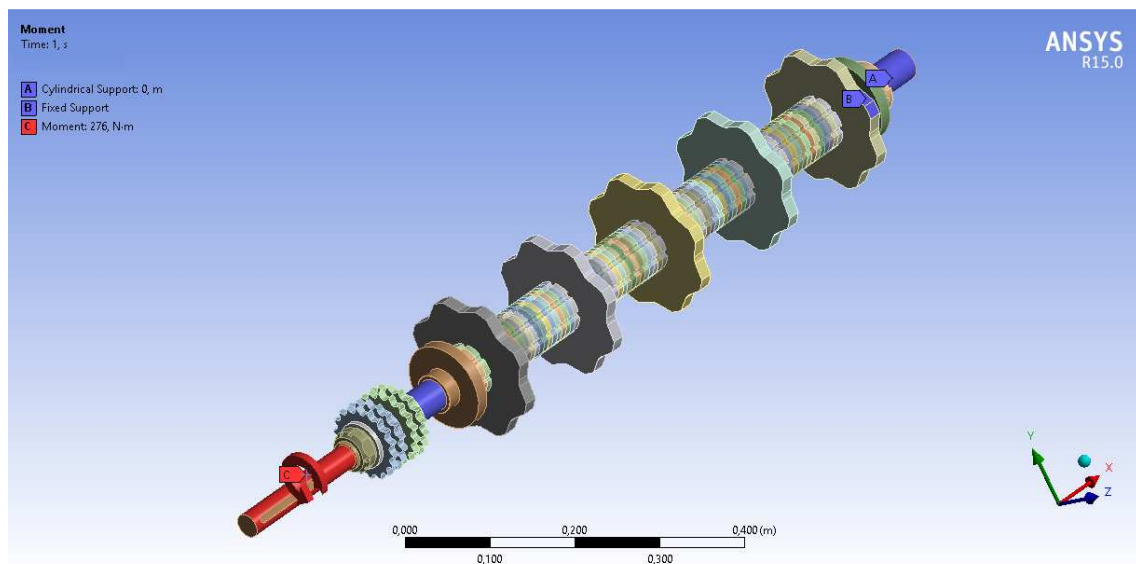
Kuigi keti poolt tekitatav jõud jaguneb ketiratta mitmele hambale FEM analüüsis koondame saadud jõu "a" variandis ühele hambale üherealise keti puhul sele 8.20 ning "b" variandis kahele hambale kaherealise keti puhul sele 8.21.

FEM analüüsiks vajalikud lähteandmed on toodud tabelis 8.16.

Tabel 8.4 FEM materjali lähteandmed

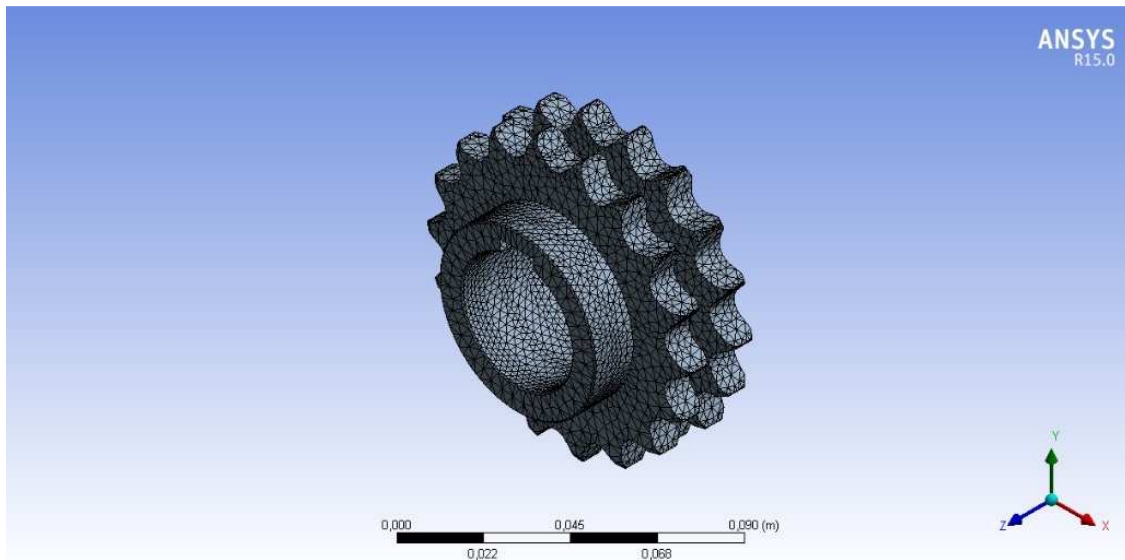
Materjal	Elastsusmoodul [Gpa]	Erikaal [kg/m3]	Poissoni tegur	Voolavuspiir Rp02 [MPa]
Material C 45 E	200	7826	0,3	430

Sele 8.16 on märgitud võlli toed (A), võllile mootorreduktori poolt tekitatav moment (C) ning kinni kiilumise koht (B).



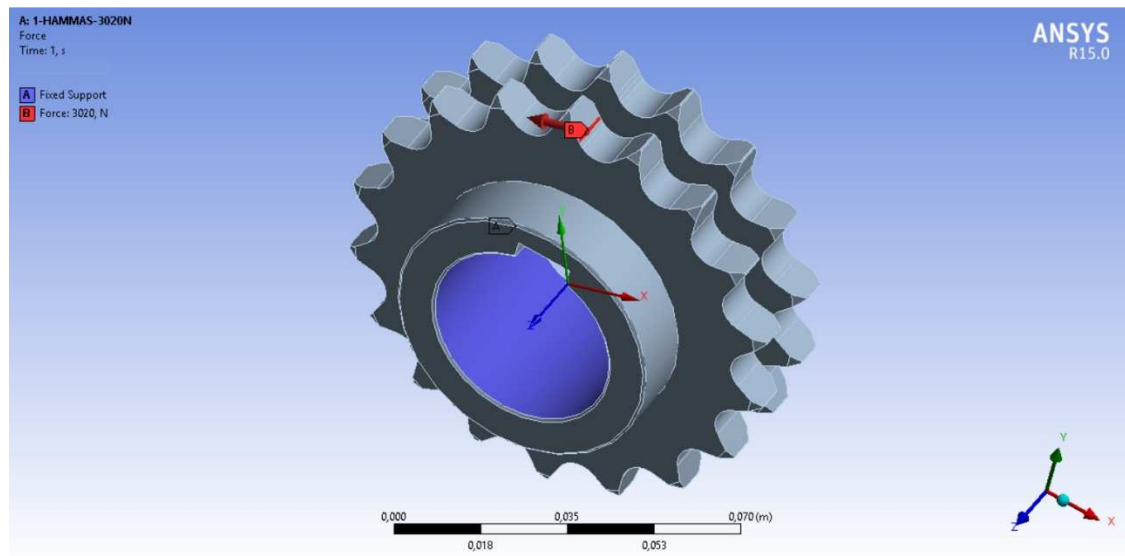
Sele 8.16 Võlli toed ja moment jõud

Mesh elementide jaotus on toodud toodud sele 8.17.

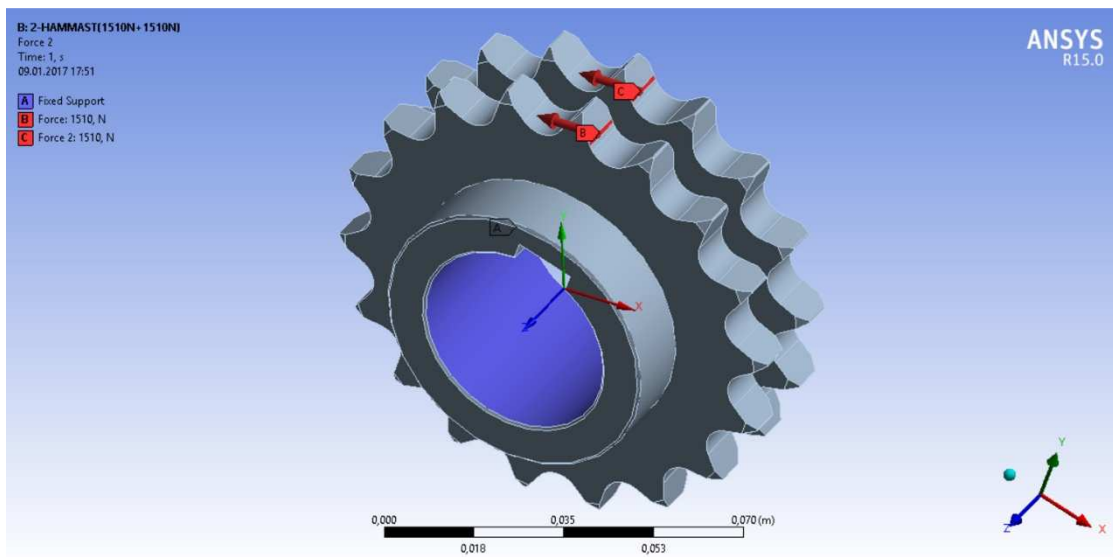


Sele 8.17 Mesh elementide jaotus

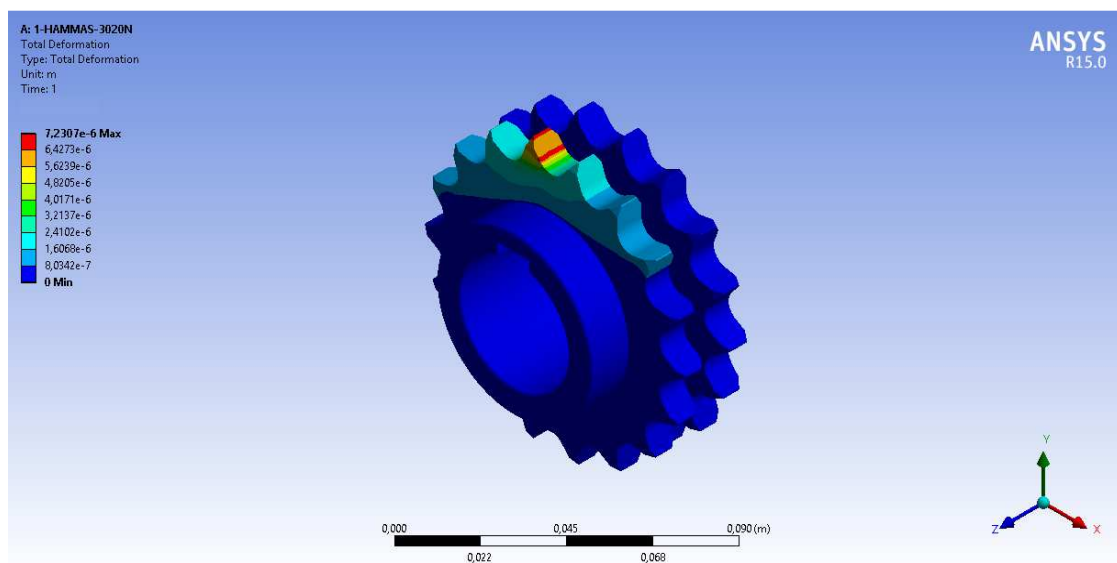
FEM analüüsi algingimused on toodud sele 8.18 üherealise 8.19 kaherealise keti puhul. Liistusoont, mis tegelikult väändemomenti üle annab, ei kasutatud arvutustes "fixed support"-ina.



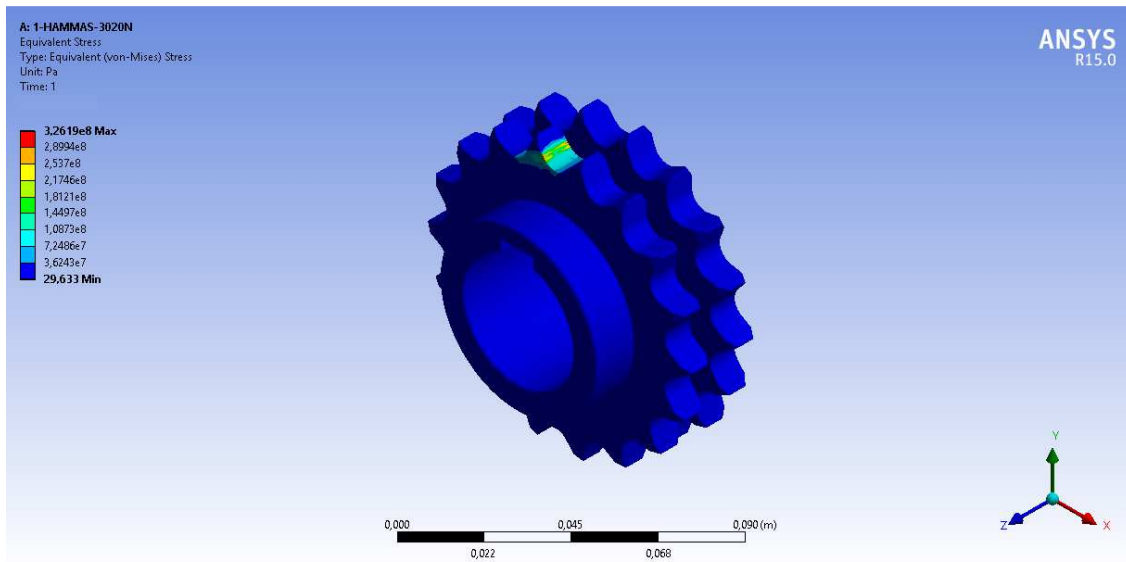
Sele 8.18 FEM algingimused üherealise keti puhul



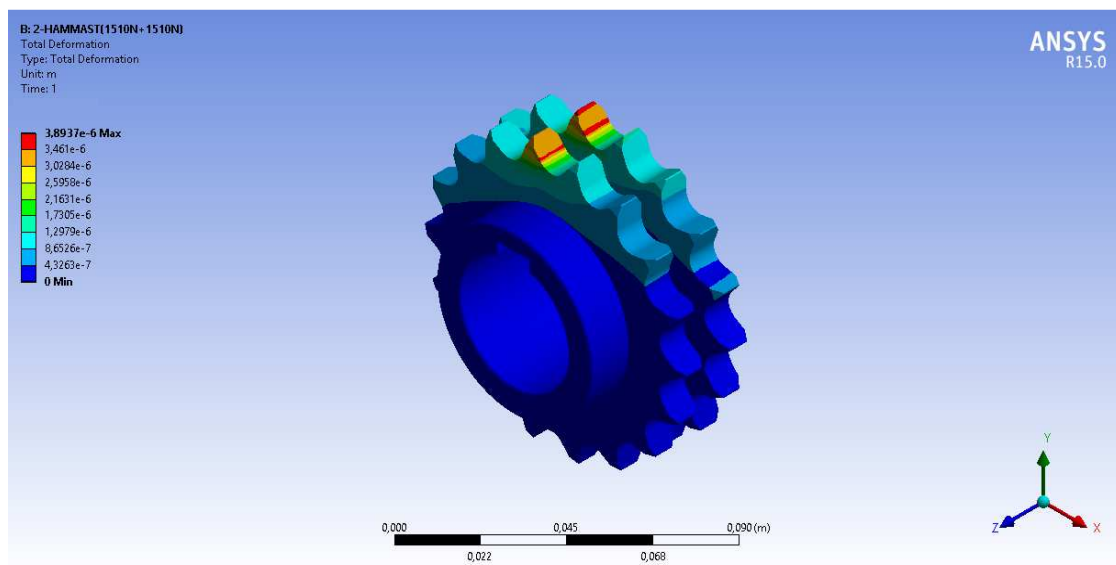
Sele 8.19 FEM altingimused üherealise keti puhul



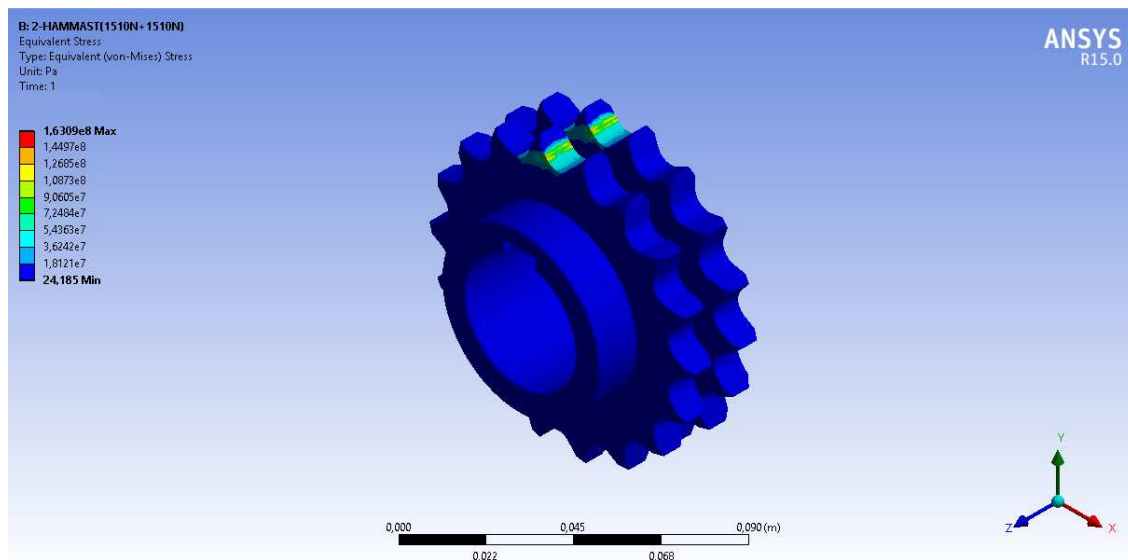
Sele 8.20 Variant "a" FEM analüüs üherealise keti puhul (Deformatsioon)



Sele 8.20 Variant "a" FEM analüüs üherealise keti puhul (Pinge)



Sele 8.21 Variant "b" FEM analüüs kaherealise keti puhul (Deformatsioon)

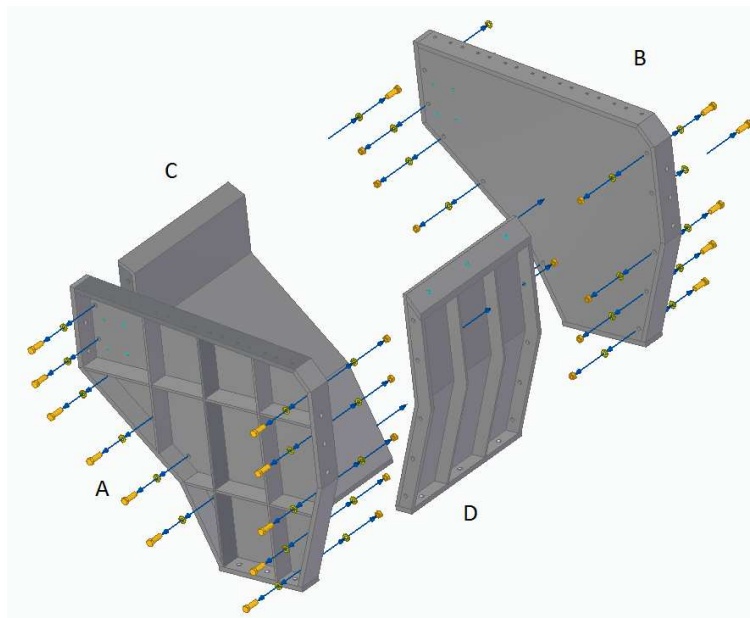


Sele 8.21 Variant "b" FEM analüüs kaherealise keti puhul (Pinge)

Analüüsidest saadud tulemusi selgub, et peatükis 8.3 kettülekanne konstruktsiooni projekteerimise tulemustes valitud ülekanne sujuvama ning pikaajalisema tööintervali tagamiseks kaherealine kett 10 B-2 on õigustatud kuna üherealise keti puhul teostatud FEM analüüsi tulemused lähenevad kriitiliselt materjali voolavuspiirile.

9. SEADME VALMISTAMINE NING KOOSTAMINE

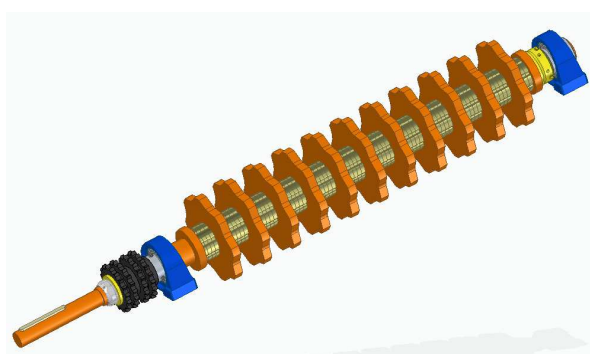
Iga rullisõeluri korpus koosneb neljast alamkoostust (seinad). Alamkoostud on kokku keevitatud eelnevalt valmistatud detailidest. Kokkukeevitatud seinad on omavahel koostatavad poltliite abil sele 9.1.



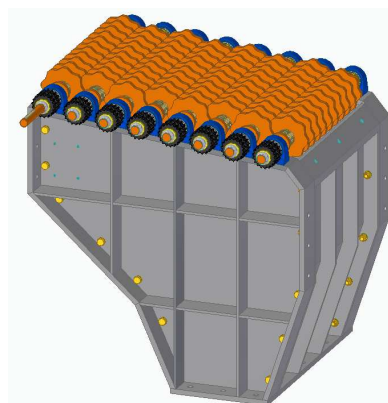
Sele 9.1 Rullisõeluri korpus (exploded view)

A – Vasakpoolne sein, B – Parempoolne sein, C – Eesmine sein, D – Tagumine sein..

Korpusele monteeritakse eelnevalt koostatud võllid koos ketaste ja hammasratastega sele 9.2.



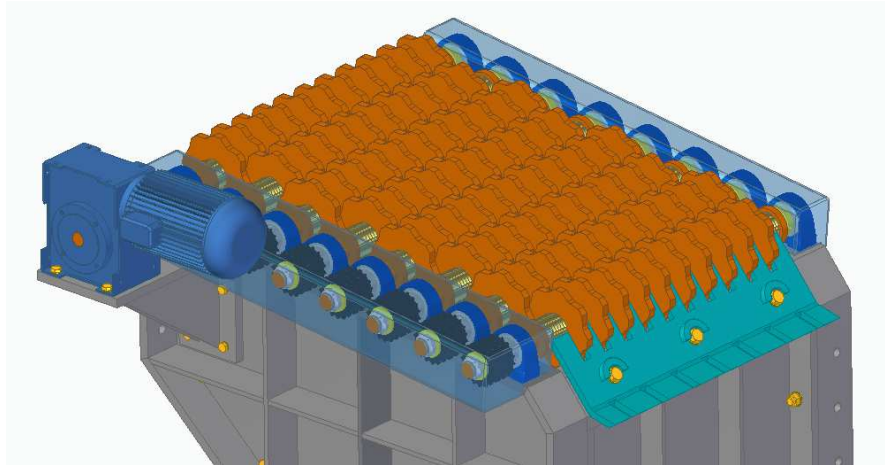
A



B

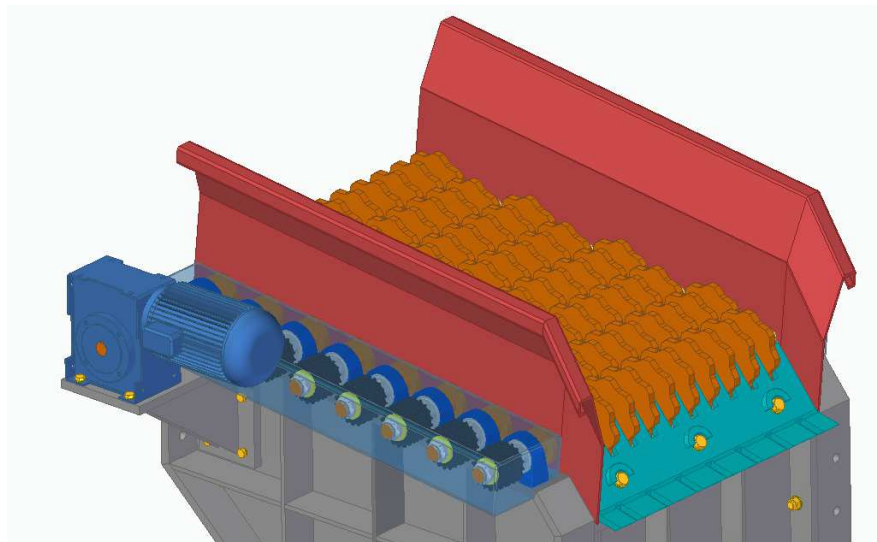
Sele 9.2 A – Koostatud rullisõeluri ketastega võll, B – Võllidega rullisõeluri korpus

Korpusele lisaks monteeritakse mootorreduktor koos alusega ning seadme tundlikud osad kaetakse plekk kaantega. Seadme viimasele võllile paigaldakse killustiku edasisuunav kamm sele 9.3.



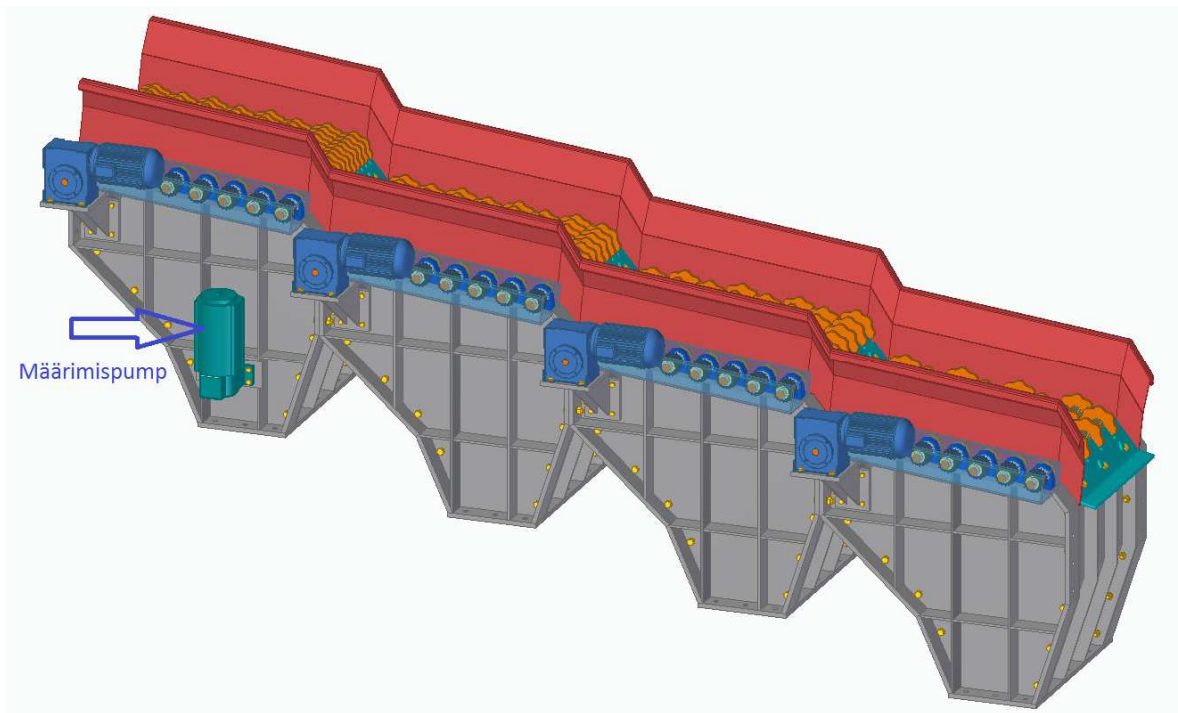
Sele 9.3 Rullisõela koostamine

Materjali piiramiseks paigaldatakse suunajad sele 9.4



Sele 9.4 Ruullisõel koos materjali suunajatega

Analoogselt koostatakse kõik neli rullisõela, ühendatakse omavahel poltliite abil ning paigaldatakse automaatne määrissüsteem koos kõikide muude komponentidega sele 9.5.



Sele 9.5 Koostatud neli rullisõela.

11. SEADME MÄÄRIMINE

Mäetööstus, mineraalide töötlemine, tsemendi tootmine ja muud analoogsed kaevandamisega seotud tegevused, kus tegemist väga abrasiivse ja tolmuise materjaliga seavad seadmetele ette tingimusi, millele need peaksid vastama. Seadmed, mis töötavad suurte koormuste, rõhkude ja muude raskendatavates tingimustes nõuavad erinevate sõlmedele väga täpset määrimist.

Antud projektis kettülekannete ja laagrite määrimiseks on mõeldud paigaldada maailma ühe tuntuima määrimissüsteemide poolt väljatöötatud lahendus, mis võimaldab automatiseerida seadme sõlmede määrimist. Lahendust on võimalik ünedada tootmisliini automaatigaga ning sellega tagada õigeaegset ja täpset määrimist.

Alljärgnevas on toodud nõudmised millele peab vastama keskmäärimissüsteemi pump:

- Sobiv abrasiivsesse kekkonda
- Määrdeaine mahuti 4-6 L
- Toitepinge 24 V
- Töotsükli reguleerimise võimalus
- Mahuti nivooandur

Lincolli toodete nomenklatuurist on valitud sobilikum pump mis vastab ülaltoodud tingimustele sele 10.1.



Sele 10.1 Lincoln õlipump[26]

Alljärgnevas on toodud nõudmised millele peab vastama määrdeaine jagaja:

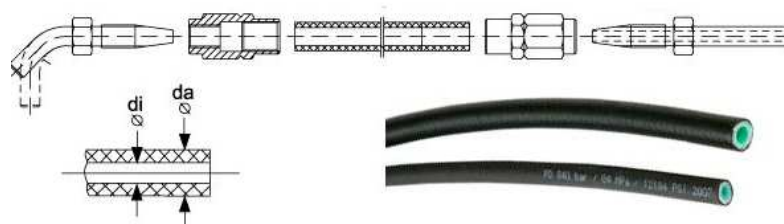
- Sobiv abrasiivsesse kekkonda
- Jagaja valjundite arv 10 (määrimispunkte kokku 30)
- Väljundis saadava määrdeaine kogus reguleeritav
- Töösurve kuni 300 bar

Määrdeaine jagamiseks on sele 10.2 toodud jagaja SSV-D ning plunzerid mille abil on võimalik saavutada vajaliku määrimispunktide arvu ning punktide määrdeaine kogust.



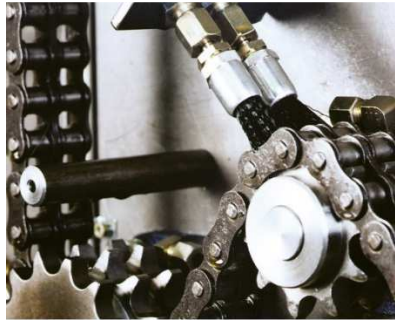
Sele 10.2 Lincoln SSV-D määrdeainejagaja[27]

Määrdeainet viiakse määrimispunktideni kõrgsurve voolikute abil mis on toodud sele 10.3.



Sele 10.3 Lincoln kõrgsurvevoolik[28]

Sele 10.4 on toodud keti määrimiseks vajalikud pintsleid ja laagrite määrimiseks laagripukkidele paigaldatavad liitmikud.



Sele 10.4 Lincoln määrimispintsleid ja liitmikud[29]

12. MAJANDUSLIK OSA

Majanduslikus osas on käsitletud projekteeritud seadme valmistamiseks vajalike kulude aruanne. Kõik koostamiseks vajalikud detailid (välja arvatud standardtooted) valmistatakse allhanke korras etteantud jooniste järgi. Seadme pinnatöötlus ning sellele järgnev värvimine toimub samuti allhake korras.

Rullisõeluri liin koosneb neljast identsest (välja arvatud sõelumise pinna võllid) alamkoostust.

Seadme projekteerimisega seotud vajalikud osapoolte kooskõlastused, tellimuste käsitlemine, seadme koostamise protsessi, paigalstööde ja häälestustööde juhtimine, lõppdokumentatsiooni koostamine ning vormistamine toimub projekteerijate otsesel juhtimisel.

Alljärgnevatel tabelites 11.1 – 11.4 on toodud rullisõelurite valmistamiseks vajalikud kulud.

12.1. Rullisõelur I fraktsiooniga 0-8 mm

Tabelis 11.1 on toodud rullisõelur I valmistamiseks vajalikud kulud.

Tabel 11.1 Rullisõelur I valmistamiseks vajalikud kulud

	Joonise nr/Pos.	Nimetus	Kogus	Hind/tk (Eur)	Hind/kokku (Eur)
Rullisõelur I	P300.000.15	Võll	8	97	780
	P300.000.47	Fraktsioneerimise ketas	108	8	880
	P300.000.11	Distantsketas	504	3	1623
	P300.000.50	Võlli piiraja	8	7	59
		Seib DIN125-M45 8,8	8	1	4
		SKF Lukustusmutter KMTA 9	8	16	125
		Laagripukk SYFWR 40 YTHR	16	53	851
		Ketiratas 10B DIN 8187	16	30	473
		Liist 12X8X32 DIN6885	16	6	92
		Seib DIN7092 M36 8.8	8	3	26
		SKF Lukustusmutter KMT 7	8	14	112
		Kett 10 B-1 DIN 8187-1 34 lüli	7	69	481
	SA.300.000.05	Seadme korpus	1	543	543
		Mootoreduktor	1	688	688
	SA300.000.23	Materjali piiraja V	1	253	253
	SA300.000.19	Materjali piiraja P	1	193	193
	P300.100.01	Puhastus kamm	1	38	38
		Kinnituselemendid	1	270	270
				Kokku	7491

”

12.2. Rullisõelur II fraktsiooniga 8-16 mm

Tabelis 11.2 on toodud rullisõelur II valmistamiseks vajalikud kulud.

Tabel 11.2 Rullisõelur II valmistamiseks vajalikud kulud

	Joonise nr/Pos.	Nimetus	Kogus	Hind/tk (Eur)	Hind/kokku (Eur)
Rullisõelur II	P300.000.15	Võll	8	97	780
	P300.000.47	Fraktsioneerimise ketas	84	8	685
	P300.000.11	Distantsketas	552	3	1777
	P300.000.50	Võlli piiraja	8	7	59
		Seib DIN125-M45 8,8	8	1	4
		SKF Lukustusmutter KMTA 9	8	16	125
		Laagripukk SYFWR 40 YTHR	16	53	851
		Ketiratas 10B DIN 8187	16	30	473
		Liist 12X8X32 DIN6885	16	6	92
		Seib DIN7092 M36 8.8	8	3	26
		SKF Lukustusmutter KMT 7	8	14	112
		Kett 10 B-1 DIN 8187-1 34 lüli	7	69	481
	SA.300.000.05	Seadme korpus	1	543	543
		Mootoreduktor	1	688	688
	SA300.000.23	Materjali piiraja V	1	253	253
	SA300.000.19	Materjali piiraja P	1	193	193
	P300.100.01	Puhastus kamm	1	38	38
		Kinnituselemendid	1	270	270
				Kokku	7450

12.3. Rullisõelur III fraktsiooniga 16-32 mm

Tabelis 11.3 on toodud rullisõelur III valmistamiseks vajalikud kulud.

Tabel 11.3 Rullisõelur III valmistamiseks vajalikud kulud

	Joonise nr/Pos.	Nimetus	Kogus	Hind/tk (Eur)	Hind/kokku (Eur)	
Rullisõelur III	P300.000.15	Võll	8	97	780	
	P300.000.47	Fraktsioneerimise ketas	52	8	424	
	P300.000.11	Distantsketas	616	3	1984	
	P300.000.50	Võlli piiraja	8	7	59	
		Seib DIN125-M45 8,8	8	1	4	
		SKF Lukustusmutter KMTA 9	8	16	125	
		Laagripukk SYFWR 40 YTHR	16	53	851	
		Ketiratas 10B DIN 8187	16	30	473	
		Liist 12X8X32 DIN6885	16	6	92	
		Seib DIN7092 M36 8.8	8	3	26	
		SKF Lukustusmutter KMT 7	8	14	112	
		Kett 10 B-1 DIN 8187-1 34 lüli	7	69	481	
	SA.300.000.05	Seadme korpus	1	543	543	
		Mootoreduktor	1	688	688	
	SA300.000.23	Materjali piiraja V	1	253	253	
	SA300.000.19	Materjali piiraja P	1	193	193	
	P300.100.01	Puhastus kamm	1	38	38	
		Kinnituselemendid	1	270	270	
					Kokku	7395

12.4. Rullisõelur IV fraktsiooniga 32-64 mm

Tabelis 11.4 on toodud rullisõelur IV valmistamiseks vajalikud kulud.

Tabel 11.4 Rullisõelur IV valmistamiseks vajalikud kulud

	Joonise nr/Pos.	Nimetus	Kogus	Hind/tk (Eur)	Hind/kokku (Eur)	
Rullisõelur IV	P300.000.15	Võll	8	97	780	
	P300.000.47	Fraktsioneerimise ketas	36	8	293	
	P300.000.11	Distantsketas	648	3	2087	
	P300.000.50	Võlli piiraja	8	7	59	
		Seib DIN125-M45 8,8	8	1	4	
		SKF Lukustusmutter KMTA 9	8	16	125	
		Laagripukk SYFWR 40 YTHR	16	53	851	
		Ketiratas 10B DIN 8187	16	30	473	
		Liist 12X8X32 DIN6885	16	6	92	
		Seib DIN7092 M36 8.8	8	3	26	
		SKF Lukustusmutter KMT 7	8	14	112	
		Kett 10 B-1 DIN 8187-1 34 lüli	7	69	481	
	SA.300.000.05	Seadme korpus	1	543	543	
		Mootoreduktor	1	688	688	
	SA300.000.23	Materjali piiraja V	1	253	253	
	SA300.000.19	Materjali piiraja P	1	193	193	
	P300.100.01	Puhastus kamm	1	38	38	
		Kinnituselemendid	1	270	270	
					Kokku	7368

Tabelis 11.5 on toodud kogu sõelumise liini rullisõelurite valmistamiseks ning paigaldamiseks vajalikud kulud. Tabelis toodud hinnad sisaldavad 20 % käibemaksu.

Tabel 11.5 Kogu seadme valmistamiseks vajalikud kulud

Pos	Joonise nr	Nimetus	Kogus	Hind/tk (Eur)	Hind/kokku (Eur)
1	A300.100.00	Sõelur I	1	7491	7491
2	A300.200.00	Sõelur II	1	7450	7450
3	A300.300.00	Sõelur III	1	7395	7395
4	A300.400.00	Sõelur IV	1	7368	7368
5		Automaatne määrimissüsteem Lincoln	1	1230	1230
6		Automaatika juhtimine	1	1144	1144
7		Projekteerimistööd	86	34	2924
				Kokku	35002
				Käibemaks 20%	7000
				Varu 7%	2450
				Kõik kokku	44453

Projekteeritud rullisõela tootmise hind mahub ettevõtte poolt määratud eelarvesse. Rullisõela hind sisaldab rullisõelade koostamiseks vajalike osade tootmist, määrimissüsteemi komponente, automaatika komponente ning projekterimise töid.

Seadmete koostamine ja paigaldamine toimub ettevõtte oma jõududega.

13. KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärgiks oli Ahtme Killustik OÜ vajadustele vastava kivimi rullisõela projekteerimine. Rullisõela projekteerimise lähteandmeteks on võetud ettevõtte tänapäevased vajadused ning tulevikuplaanid, mille kohaselt rekonstrueeritakse olemasolevat tootmisliini, saavutatakse toodangu kvaliteedi parendust, optimeeritakse tootmiskulusid mille tulemusena on ettevõtte võimeline pakkma konkurentsivõimelisemat toodet/produkti.

Töö käigus tutvustatakse sõelumise protsessi aluseid, erinevate sõelumisseadmete klassifitseerimist ning seadme efektiivsust tooraine niiskusesisaldusest olenevaid näitajaid.

Kivimi rullisõela projekteerimiseks vajalikud võtted baseeruvad mitmele teadus- ning uurimistööde käigus saadud andmetele, kus seatakse seadme konstruktiivsetele töörežiimidele arvulised väärtused ning nende baasil arvutatakse seadme tootlikust, võttes arvesse erinevaid parandustegureid ning näitajad.

Töös kirjeldatakse projekteeritava masinatüübi valikut, seadme tehniliste parameetrite saavutamiseks vajalikke tehnilisi arvutusi ning tuuakse allhanke abil ülevaade eelarvest, mis kulub seadme valmistamiseks.

Kuigi seadme töö jaoks vajalik automaatika ja seadme sõlmede määrimise lahendus ei ole selle töö osa, on nende juhtimine ning vajalikud komponendid põgusalt tutvustatud. Seadme ja määrimise automatiseeritud juhtimine on seotud tootmisliini automaatikaga mis koostöös võimaldab lihtsustada operaatori tööd ning vastavalt vajadustele kaugjuhtimisel muuta tootmisliini parameetrid.

Seadme projekteerimisel ning vajalike jooniste valmistamisel on kasutatud Solid Edge ST 9 (CAD) programmi ning lõplike elementide simulatsiooniks kasutatud ANSYS Workbench 15 tarkvara.

Projekteeritud rullisõel sobib hästi rekonstrueeritavale tootmisliinile, on lihtsasti paigaldatav, hooldatav ning omab automaatset LINCOLN hooldusvaba keskmäärdesüsteemi, mis tagab viie aastase hooldusvaba tsükli.

Rullisõel on projekteeritud selliselt, et minimaliseerida ettevõtte varuosade ladu.

Kokkuvõttes on töö olnud edukas, ettevõtte poolt püstitatud eesmärk on saavutatud tänu konkreetsetele lähteandmetele ning lahendamise strateegiale.

Käesoleva projekti dokumentatsioon on valmis, kõik vajalikud, joonised, paigaldamis- ning kasutamishendid on tellijale edastatud.

14. SUMMARY

The aim of this Master's thesis was the design of a stone roller separator according to Ahtme Killustik OU requirements. The benchmark data for design were the company's nowadays needs and future plans. The existing production line must be reconstructed and as the result of the reconstruction it is expected that the production costs are optimised, the product is with higher quality and the company can be more competitive.

The thesis has an extensive overview of sifting basics, different sifting machines classification and machine efficiency dependence on raw material humidity.

The machine's technological design, productivity, different solution is based on several scientific and practical studies and different correction factors were considered.

The thesis describes the roller separator selection, necessary engineering calculations for achieving the technical parameters needed for roller separator and the cost of manufacturing.

Though the roller separator automation and automatic lubrication systems are not part of this thesis these systems and the necessary components are described.

The roller separator's automation and automatic lubrication systems are connected to whole production line. Totally automated solutions simplify operator's work and allow to make necessary changes during production.

The Dassault System CATIA V5 (CAD) and ANSYS Workbench 15 were used for designing.

The designed stone roller separator fits to the whole reconstructed production line, is easy to install, easy to maintain and has LINCOLN maintenance free lubrication system which enables the device to work for 5 year without service.

The new design of roller stone separator also allows decrease in warehouse costs.

In conclusion, the project of roller stone separator succeed, the company stated goal was achieved due to concrete specified requirements and resolution strategies.

The project documentation is finished, all the drawings, installation and operation manuals were given to the customer.

15. KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Mäenduseõpik [Online] Tallinna Tehnikaülikool (03.02.2016)
2. Е.Е.Серго. Дробление измельчение и грохочение полезных ископаемых. Москва, Недра, 1985.
3. RR1039 FAM Förderanlagen Magdeburg [WWW] <http://www.fam.de/english/Products/Mineral%20processing/Roller%20screens/index.html#seite/detail,1,2313,detail.0.100000000036739.0,html> (12.09.2016)
4. RR11530 FAM Förderanlagen Magdeburg [WWW] <http://www.august-mueller.com/en/machine-construction/roller-screen/index.html> (12.09.2016)
5. NHDD1905 August Müller GmbH &Co.KG [WWW] <http://www.august-mueller.com/de/maschinenbau/rollenrost/index.html> (12.09.2016)
6. HRG-1025 Kurimoto [WWW] <http://www.kurimoto.co.jp/worldwide/en/product/item/21/310.php> (12.09.2017)
7. O8 Ambica Crushtech Private Limited [WWW] <http://ambiacrushtech.tradeindia.com/products.html> (13.09.2016)
8. RDN1400 PY CONSTRUCTEUR [WWW] <http://en.py-constructeur.fr/catalogue/ROLLER%20STAR%20SCREEN%20--8.htm> (13.09.2016)
9. А.В. Кондратьев, С.М. Кочканян, В.А. Русинкевич. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГРОХОЧЕНИЯ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ВАЛКОВОЙ СОРТИРОВКЕ. - НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА «КИБЕРЛЕНИНКА», 2011, УДК 621.928.26 179-183.
10. А.В. Кондратьев, С.М. Кочканян, В.А. Русинкевич. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГРОХОЧЕНИЯ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ВАЛКОВОЙ СОРТИРОВКЕ. - НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА «КИБЕРЛЕНИНКА», 2011 УДК 621.928.26 180.
11. Е.И. ПЛОХОТНЮК. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ГРОХОЧЕНИЯ ВЛАЖНОЙ И ЛИПКОЙ ГОРНОЙ МАССЫ НА ВАЛКОВОМ КЛАССИФИКАТОРЕ. - Institutional Repository National Mining University of Ukraine, 2005, УДК 621.926.26:622.74, 2.
12. Е.И. ПЛОХОТНЮК. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ГРОХОЧЕНИЯ ВЛАЖНОЙ И ЛИПКОЙ ГОРНОЙ МАССЫ НА ВАЛКОВОМ КЛАССИФИКАТОРЕ. - Institutional Repository National Mining University of Ukraine, 2005, УДК 621.926.26:622.74, 2.
13. Надутый В.П., Ягнюков В.Ф., РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВАЛКОВОГО ГРОХОТА. - Institutional Repository National Mining University of Ukraine, 2005, УДК 622.74:621.928.26.001.5/6, 3-5
14. 43915020 Maedler [WWW] <http://ee.maedler.de> <http://ambiacrushtech.tradeindia.com/products.html> (09.10.2016)
15. Mart Tiidemann.MASINAELEMENTIDE PROJEKTEERIMISE ALUSED. Tallinn, ТТК, 2010.

16. H. Lepikson. Masinaehitaja käsiraamat. Valgus, Tallinn, 1971.
17. Precision chain systems for drive and conveyor purposes IWIS [WWW]<http://varson.ee/wp-content/uploads/2014/03/ketid.pdf> (20.12.2016)
18. Varsontööstustarvikud[WWW]<http://varson.ee/wp-content/uploads/2014/03/Ketirattad.pdf> (20.12.2016)
19. Д.П. Кузюев, А.Г. Радюк. КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ВАЛКОГОГО ГРОХОТА. - НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА «КИБЕРЛЕНИНКА», 2011, УДК 621.9282 264-268.
20. H. N. K. K. J. K. J. K. P. K. H. K. J. K. A. L. H. L. T. O. P. P. J. R. M. S. F. S. T. T. R. V. Enn Hendre, Mehaanikainseneri Käsiraamat, Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2013.
21. WIPPERMANN http://www.wippermann.com/data-live-wippermann/docs/pdf_en/kettenraeder/sprockets-roller-chains-wippermann.pdf (20.12.2016)
22. MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY <http://www.me.metu.edu.tr/courses/me308/standards/roller%20chains/chains1.jpg>
23. MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY http://www.me.metu.edu.tr/courses/me308/standards/Gear_cutting/Gear_229.jpg
24. AOTEWELL <http://www.aotewell.com/wp-content/uploads/2013/11/tp15001.jpg>
25. DEAOELECTRIC <http://www.deaoelectric.com/products.asp?classtype=SIEMENS&smallclass=SIMATIC+S7-1200>
26. Directindustry http://www.directindustry.com/prod/lincoln/product-19860-1723899.html#product-item_1141867
27. Directindustry http://www.directindustry.com/prod/lincoln/product-19860-1723899.html#product-item_534642
28. Directindustry <http://www.directindustry.com/prod/fritsche-gmbh-co-kg/product-70378-639632.html>
29. Lincoln Industrial <http://www.lincolnindustrial.com/applications/quicklubsystems.aspx>

16. LISAD

Lisa 1. P300.000.11 ja P300.000.47 Kettad

Lisa 2. P300.000.49 ja P300.000.15 Völlid

Lisa 3. A300.100.00 Rullisõel I

Lisa 4. A300.100.00 Rullisõel II

Lisa 5. A300.100.00 Rullisõel III

Lisa 6. A300.100.00 Rullisõel IV

Lisa 7. A300.000.00 Sõelumise liini koost

Lisa 8. Ketaste paigutus Rullisõel I

Lisa 9. Ketaste paigutus Rullisõel II

Lisa 10. Ketaste paigutus Rullisõel III

Lisa 11. Ketaste paigutus Rullisõel IV