



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

GEOLOGIA INSTITUUT
MÄEOSAKOND

**Aru-lõuna lubjakivikarjääri
killustiku tootmise optimeerimine**

Geotehnoloogia
Bakalaureuse lõputöö

Juhendaja: Veiko Karu
Konsultant: Riho Iskül
Üliõpilane: Mattias Einstein
135229 AAGB
Bakalaureuse töö: LG40LT

Tallinn 2017

Sisukord

Sisukord	2
Tabelid	4
Joonised	5
Graafilised lisad	5
Abstract	6
1 Sissejuhatus	7
1.1 Lähteülesanne.....	7
2 Toormebaas	7
2.1 Aru-lõuna karjäär ja mäeeraldise üldandmed	7
2.2 Maavara lademed	8
2.3 Varu jaotumine.....	8
2.4 Toorme kvaliteet	9
3 Kivimi raimamine ja transport	11
3.1 Katendi eemaldamine.....	11
3.2 Lõhkamine	11
3.2.1 Ülevaade.....	11
3.2.2 Lõhkamise parameetrite kirjeldus	12
3.2.3 Lõhkevõrgu ja viidete tutvustus	12
3.3 Transport	13
3.3.1 Masina pargi kirjeldus	13
3.3.2 Maksimaalne veokaugus	14
4 Lõpptooted ja vastavus standartidele	16
4.1 Killustikud tee ehituseks	16
4.2 Killustikud betoonitootjatele.....	17
5 Turukeskkond	17
5.1 Mahud	17
5.2 Tarbijad ja turumuutlikkus.....	18
6 Purustus – sorteerimissõlm	19
6.1 Sõlme ülessehitus.....	19
6.2 Sõlme komponendid ja alternatiivid	20
6.2.1 Toitur	20
6.2.2 Esimese astme purustid	21
6.2.3 Lõugpurusti	22
6.2.4 Rootorpurusti.....	23
6.2.5 Teise ja kolmanda astme purustid	24
6.2.6 Koonuspurusti	24
6.2.7 Löökpurusti	25
6.2.8 Sõelumine.....	27
7 Tootmisprotsessi kirjeldus	28

7.1	Simulatsioon Brunoga.....	28
7.2	Segusõlme kasutamine.....	29
7.2.1	Segusõlme simulatsioon Apeco tabelitega.....	30
8	Purustussõlme optimeerimine.....	31
8.1	Optimeerimise alused.....	31
8.2	Optimaalsete tootmisrežiimide leidmine.....	32
8.2.1	Režiimide optimeerimise alused.....	32
8.2.2	Purustussõlm number 1.....	33
8.2.3	Purustussõlm number 2.....	35
8.2.4	Purustussõlm number 3.....	37
8.3	Tootmisrežiimide kasutus kuu lõikes.....	38
9	Järeldused.....	42
10	Kokkuvõte.....	44
11	Kasutatud kirjandus.....	45

Tabelid

Tabel 1. Maardla tüüpläbilõige [1]	8
Tabel 2. Maavara varu jaotus (seisuga 03.09.2007) [1].....	9
Tabel 3. Tsemendilubjakivi nõuded.....	9
Tabel 4. Lõhkamise parameetrite kirjeldus [3].....	12
Tabel 5. Pöördekskavaatori tehnilised parameetrid [1]	13
Tabel 6. Ekskavaatori tootlikkus [1].....	14
Tabel 7. Kallurite tehnilised parameetrid [1].....	14
Tabel 8. Maksimaalse veokauguse leidmine	15
Tabel 9. Killustiku klasside kirjeldus [5].....	16
Tabel 10. Tootmine aastatel 2013-2015 (2013 , 2014 , 2015).....	17
Tabel 11. Plaatkonveieri ja vibrotoituri võrdlus [8].....	20
Tabel 12. Lõug-ja rootorpurusti võrdlus [8].....	24
Tabel 13. Koonus-ja löökpurusti võrdlus [8].....	26
Tabel 14. Oletatav toodang ja müük	30
Tabel 15. Pikkade fraktsioonide tootmine segusõlmega.....	30
Tabel 16. 1. Purustussõlme režiimid 1, 2.....	34
Tabel 17. 1. Purustussõlme režiimid 3, 4.....	34
Tabel 18. 2. Purustussõlme režiimid 1, 2.....	36
Tabel 19. 2. Purustussõlme režiimid 3, 4.....	36
Tabel 20. 3. Purustussõlme režiimid 1, 2.....	37
Tabel 21. 3. Purustussõlme režiimid 3, 4.....	38
Tabel 22. Müük 2013-2015 kuude kaupa	39
Tabel 23. 2. Purustussõlme režiimide kombinatsioonid	40
Tabel 24. 3. Purustussõlme režiimide kombinatsioonid	40
Tabel 25. 1. Purustussõlme režiimide kombinatsioonid	40
Tabel 26. Purussõlmed ning optimaalsed režiimide kombinatsioonid	41

Joonised

Joonis 1. Purustussõlme number 1 skeem [12].....	20
Joonis 2. Lõugpurusti tööpõhimõte [6].....	22
Joonis 3. Rootorpurusti tööpõhimõte [7].....	23
Joonis 4. Rootorpurusti mantli erinevus [9].....	25
Joonis 5. Koonuspurusti tööpõhimõte [10].....	25
Joonis 6. Löökpurusti tööpõhimõte [11].....	26
Joonis 7. Tootmisprotsessi simulatsioon	28
Joonis 8. Apeco segusõlme skeem.....	29
Joonis 9. 1. Purustussõlme simulatsioonid Brunoga.....	33
Joonis 10. 2. Purustussõlme simulatsioonid brunoga	35
Joonis 11. 3. Purustussõlme simulatsioonid Brunoga.....	37

Graafilised lisad

1. Mäeeraldise plaan
2. Lasnamäe ja Uhaku lademe levik
3. Mäeeraldise geoloogilised läbilõiked
4. Mäeeraldise MgO sisalduse plaan

Abstract

Optimisation of aggregate production in south-Aru limestone quarry.

The aim of this paper is to optimise the aggregate production in Kunda Nordic cement factory's Aru limestone quarry to match the market demand.

Metso crushing and screening plant in Aru quarry uses three stages of crushing to form the final product. Stage I is primary jaw crusher and stage II and III consist of cone crushers. In addition, there are two sets of screens and 10 conveyor belts to transport the material. The basis of the optimisation process is the average sales in 2013-2015 and different production settings for the crushing and screening plant. Formed calculations regarding different settings and modes for rock crushing and screening are flexible which means that the user may use these calculations with different sales to find optimal modes for crushing and screening thus making the process more flexible.

It was found that to achieve the sales of 2013-2015 the optimal crushing and screening plant is the one that is already being used. The overstock material can be managed with the Apeco mixing plant by producing long fracture aggregates. The best result is acquired when using specific crushing and screening modes and combining them per month. If the said sales prognosis were to be tilted more towards the standard and more profitable aggregates 4/8, 8/16 and 4/16 then the calculations show that alternative crushing and screening plants using impact crushers are more effective.

When transporting material to the crushing and screening plant it was found that the optimal length of haul with two dumper trucks is 700 m.

1 Sissejuhatus

1.1 Lähteülesanne

Bakalaureusetöö on koostatud vastavalt tudengitöö ülesandele. Töö aluseks on AS Kunda Nordic Tsemendi Aru-Lõuna karjääri lubjakivikillustiku fraktsioonide tootmine ja müük tonnides aastatel 2013 kuni 2015 kuude lõikes. Aluseks võetud perioodi põhiselt tehakse järeldusi lubjakivikillustiku tootmise ja müügi kohta ning pakutakse välja lahendusi, kuidas toota killustikku fraktsioone täpsemalt nii eeltoodud perioodi kui ka järgmiste aastate planeeritud müügi põhiselt. Lubjakivikillustiku tootmise optimeerimise aluseks on võetud aastate keskmised müügid kuude lõikes, olemasolev karjääri tehnika, killustiku purustussõlm ning selle võimalik seadistamine, põhifraktsioonide 0/4, 4/8, 4/16, 8/16, 16/32, ning nende hulgest olulisema 4/8 ja 4/16 tootmine. Lisaks arvestatakse killustiku tootmise juures ka segusõlme kasutamist laojääkide optimeerimiseks ning odavamate fraktsioonide kasutamist pikkade fraktsioonide ehk ridakillustiku tootmiseks.

2 Toormebaas

2.1 Aru-lõuna karjäär ja mäeeraldise üldandmed

[Aru-Lõuna lubjakivikarjääri](#) kaevandamisloa omanik on AS Kunda Nordic Tsement ning mäeeraldis asub Lääne-Virumaal Sõmeru vallas Andja külas üleriigilise tähtsusega Kunda lubjakivimaardla (reg kaart nr 0

018) idaosas katastriüksusel Aru-Lõuna paekarjäär (770022:001:0037). Mäeeraldis asub Põdruse-Kunda-Pada tugimaantee (T-20) ning Kunda mõis-Sämi kõrvalmaantee vahelisel alal. Mäeeraldisest umbes 500m läänes kulgeb Toolse ning 300m idas Kunda jõgi. Mäeeraldise teenindusmaa läänepiiril kulgeb Kunda-Rakvere raudtee. Mäeeraldis ning selle teenindusmaa ei jää looduskaitse ega Natura 2000 võrgustiku alale, puuduvad loodus- ning muinsuskaitsetelised objektid ning kultuurimälestiste kaitsetelised piirangud. Ala on väheliigestatud reljeefiga – abs kõrgused on vahemikus 48...54m. Mäeeraldise pindala on 317,34 ha ning mäeeraldise teenindusmaa pindala on 411,58 ha.

Karjääris toimub paralleelselt nii tsemendilubjakivi kui ka ehituslubjakivi kaevandamine. Ehituslubjakivi kaevandatakse enamjaolt karjääri piirkondades, kus lubjakivi oma keemiliselt koostiselt ei sobi tsemendi tootmiseks ning karjääri põhjas olevast kõrgemargilise ehituslubjakivi lademetest, milleks on osaliselt Lasnamäe alumine lade ning aseri lade. [1]

2.2 Maavara lademed

Kunda lubjakivimaardla leiukoha geoloogilise ehituse kujundavad alam- ja keskordoviitsiumi setted. Esindatud on järgmised horisondid: toila; Kunda (alumine ja ülemine); Aseri; Lasnamäe (alumine ja ülemine) ning Uhaku. Kihid langevad lõuna suunas 5...6 meetrit kilomeetri kohta. Kattekihi paksus on 0,3...4,2 m. Tsemendilubjakivi (tehnoloogiline lubjakivi) varusse kuuluvad Lasnamäe mõlemad kihid ja osaliselt ka uhaku kiht. Kõrgemargilise ehituslubjakivi varusse kuuluvad piiratud aladel Lasnamäe mõlemad kihid, mis ei sobi keemilise koostise poolest tsemenditoormeks ja aseri kiht kogu mäeeraldise ulatuses. Allapoole põhjavee taset jääva kaevandatava tsemendilubjakivi kihi paksus on 0,6...9,1 m, keskmiselt 5 meetrit. [Joonisel](#) on näha Lasnamäe lademe ülemise kihi O₂ls₂ ja Uhaku lademe O₂uh levikut.

Kunda maardla Lõuna-Aru osa esimene tsemendilubjakivi uuring tehti 1955-1960 a., viimane 2013 a. Uuritud alal on uhaku lademe keskmine paksus 2,91 m, Lasnamäe lademe ülemisel kihil 6,16 m ja alumisel 2,32 m. Kaevandatava kihi paksus on keskmiselt 11,5 m. Uhaku laeme paksus suureneb ja koos sellega ka kaevandatava kihi üldpaksus, samas lähiajal jõuab uhaku lademe paksus karjääri teatud osades selleni, et teda peab hakkama õhemaks koorima. Arvestades, et Uhaku lademe CaO sisaldus on madal, siis ei anna selline koostis tsemenditoorme nõudeid välja. Praegu ulatub kaevandatava [kihi](#) paksus 15 meetrini. [1]

2.3 Varu jaotumine

Tsemendilubjakivi ehk tehnoloogilise lubjakivi varusse kuuluvad Lasnamäe ülemine ja alumine kiht keskmise paksusega vastavalt 6,16 m ning 2,32 m ja osaliselt ka uhaku kiht keskmise paksusega 2,91 m. Ehituslubjakivi (kõrgemargiline lubjakivi) varusse kuuluvad piiratud aladel Lasnamäe mõlemad kihid, mis ei sobi keemilise koostise poolest tsemenditoormeks ja aseri kiht kogu mäeeraldise ulatuses.

Tabel 1. Maardla tüüplabilõige [1]

Kihi paksus, m			Strat. indeks	Kivimi nimetus	Kasulik kiht	Kasutusala kood
min	maks	keskm				
0,0	0,7	0,4		kasvukiht		
0,1	1,0	1,1	g III	Saviliiv-liivisavi		
0,0	9,7	4,7	O ₂ uh	lubjakivi	+	0801
0,0	6,5	6,2	O ₂ ls ²	lubjakivi	+	0801
0,6	2,95	2,5	O ₂ lsl	lubjakivi	+	0801
1,6	3,2	2,3	O ₂ as	lubjakivi	+	0803
3,2	4,2	3,7	O ₁ kn ³	lubjakivi	+	0803

Tabel 2. Maavara varu jaotus (seisuga 03.09.2007) [1]

Maavara	Aktiivne, tuh m ³	Passiivne, tuh m ³	Kaevandatav, tuh m ³
Tsemendilubjakivi	14616	1475	14616
Ehituslubjakivi	11295	2538	11295

2.4 Toorme kvaliteet

Aastal 1972 esitas “Giprotsement” tsemenditehasele uued lubjakivi kaevandamise tingimused ja kehtestati tsemendilubjakivile järgmised nõuded: [1]

Tabel 3. Tsemendilubjakivi nõuded

Keemiline ühend	Lubatud sisaldus/moodul
CaO	Mitte alla 44 %
MgO	< 3,2 %
P ₂ O ₅	< 0,5 %
Silikaatne moodul	2,2 – 2,6
Alum.moodul	1,2 – 1,6

Lisaks peab olema kaevandatava kihi paksus vähemalt 5m; katte- ja kasuliku kihi suhe kuni 1:1.

Kehtestatud tingimused ja nõuded töötati välja Aru-Lõuna maardla uuringuandmete põhjal, tsemenditoormesegu teiseks komponendiks pidi saama Kunda savimaardla savi. Lasnamäe lademetes kahe ülemise ja alumise kihi koostised on järgmised.

Lasnamäe lade O₂ls 1. kiht on tumehall dolomiidistunud detriitne lubjakivi, paksus 1,8 – 3,6 m. Keemiline koostis: CaO 45,40 – 48,71 %; MgO 2,07 – 5,24 %; P₂O₅ 0,27 – 0,76 %; SiO₂ 3,24 – 4,82 %; Al₂O₃ 1,08 – 2,47 %; Fe₂O₃ 0,89 – 1,67 %; kuumkadu 39,95 – 41,69 %; silikaatne moodul 0,94 – 2,01; alum. mood. 0,75 – 1,91.

Lasnamäe lade O₂ls 2. kiht on hall – helehall peenkristalliline paksukihiline lubjakivi, paksus 1,6 – 2,4 m kuni 10,7 m, keskmiselt 6,16 m. Keemiline koostis: CaO 45,20 – 49,32 %; MgO 2,2 – 3,3 %; P₂O₅ 0,20 – 0,55 %.

Uhaku lade O₂uh kiht on rohekashall lubjakivi, esinevad õhukesed kukersiidi vahekihid. Lademe kivim levib Aru-Lõuna kesk- ja lõuna osas, põhjaosas ta puudub. Kindlaks tehtud paksus 1,3 m kuni 12,7 m. Keemiline koostis: CaO 37 – 46,98 %; MgO 1,55 – 3,35 %; P₂O₅ 0,04 – 0,38 %; SiO₂ 6,60 – 17,56 %; Al₂O₃ 2,16 – 4,40 %; Fe₂O₃ 0,95 – 2,23 %; kuumkadu 33,46 – 39,71 %; silikaatne moodul 1,97 – 3,50; alum. mood. 1,43 – 3,34.

Aru-Lõuna karjääri tsemenditoorme kvaliteedis on mõningased kõrvalekalded nagu keemilistest koostistest võib järeldada, eriti mis puudutab MgO sisaldust. Kõrgendatud MgO sisaldusega lubjakivi tsemenditoormeks ei sobi. Selgitamaks välja tsemenditoormeks mittesobivaid piirkondi, on AS Kunda Nordic Tsement

teinud Aru-Lõuna mäeeraldise piires täiendavaid uuringuid. Geoloogilised ja geofüüsikalised uuringud on tõestanud, et kõrgendatud MgO põhjuseks on kivimi lõhelisus ja sellega seotud sekundaarne dolomiidistumine. Aru-Lõuna mäeeraldise kaevandamata lõunaosas eraldati [8 kõrgendatud MgO sisaldusega piirkonda](#), pindalaga 11,3 ha, kus tsemendilubjakivi tingimustele mittevastava kivimi mahuks hinnati 1,6 mln m³.

2004. a. väljastas Keskkonnaministeerium AS Kunda Nordic Tsemendile Aru-Lõuna mäeeraldise kaevandamise loa tsemendilubjakivi ja ehituslubjakivi kaevandamiseks. Kivim, mis oma MgO sisalduse poolest ei sobi tsemendilubjakiviks segatakse puhtamate kihtidega või kaevandatakse ehituslubjakivina. [2]

3 Kivimi raimamine ja transport

3.1 Katendi eemaldamine

Kasvupinnase kihi paksus mäeeraldise piires on 0 – 0,7 m, keskmiselt 0,4 [m](#). Kasvupinnase koorimiseks ning puistangusse veoks kasutatakse buldooserhõlmaga traktorit Liebherr PR 724. Kalluritega transporditakse kasvupinnas mäeeraldise piirest välja selle kasutuskohata. Kuna maavara kaevandamise loa järgi on kaevandamisega rikitud korrastatava maa kasutamise sihtotstarve tehiseveekogu, siis on kaevandajal, keskkonnaameti loal, õigus võõrandada kaevandamistööde käigus eemaldatud kasvupinnas, et seda kasutada väljaspool mäeeraldist haljastusprojektidel või aianduses.

Kattepinnase saviliiva kiht paksusega 0,1 – 1,0 [m](#) on kaevealal valdavalt eemaldatud ning mäeeraldise teenindusmaale puistangusse ladustatud. Veel alles oleva metsa ja võsa raadamine, kändude juurimine ning kattepinnase eemaldamine toimub tööde käigus vastavalt edasiliikumisele. Juuritud kände mäeeraldise piiresse ei maeta vaid kasutatakse hakkepuidu valmistamiseks.

Aladel, kus kattepinnase kiht on õhukesem kasutatakse kihi koorimiseks ning veoks puistangusse buldooserit Liebherr PR 724. Paksema kihi puhul ning kokku lükatud puistangust kattepinnase kalluritele laadimiseks kasutatakse ekskavaatorit Volvo EC460C kopamahuga 2,6 m³. Kattepinnase transpordivad kallurid lamepuistangusse mäeeraldise teenindusmaal. Puistangu profileerimisel kasutatakse buldooserit. Küljed kujundatakse kaldega 30°.

Uhaku kihi mittekonditsioonilist lubjakivi ehk kaljust kattepinna raimab kaevandaja koos tarbevaruna arvel oleva tsemendilubjakiviga, mis kokkusegamisel annab tsemenditoorme nõuetele vastava materjali. Edaspidi võib siiski osutada vajalikuks kaljuse kattepinnase eraldamine tsemenditoormest, mis lisab täiendava protsessi ettevalmistustöödele. [1]

3.2 Lõhkamine

3.2.1 Ülevaade

Kõige sobivamaks kobestamisviisiks on kujunenud Aru-Lõuna karjääris puur-lõhketööd. Puur-ja lõhketöid teostatakse alltöövõtu korras ning neid teostab firma Lemmikäinen Eesti AS.

Toodanguastangute lubjakivi kobestatakse eelnevalt puur-lõhketöödega. Lõhkeaugude puurimiseks kasutatakse puurpinke TAMROCK DX1100. Lõhkeaugud puuritakse läbimõõduga kas 104 mm või 95 mm. Ülegabariitseteks loetakse lubjakivi tükke maksimaalsete mõõtmetega 0,8 m tsemendilubjakivi tootmisel ja 0,6 m ehituslubjakivi tootmisel. Kobestatud lubjakivi laaditakse kas otse raudteevagunitesse või kallurautodele frontaallaaduritega, mistõttu lõhatud lasumi kõrgus ei või soovitatavalt olla üle 4 [m](#).

Arvestades lõhatava lubjakivi geoloogilist struktuuri, kivimi kõvadust, kategooriat tükilisuse ja geoloogiliste lõhede järgi, samuti purustatud tükkide nõutavat gabariiti, on lõhkeaine erikulu praktiliste kogemuste põhjal tsemendi tooraine lõhkamisel 0,45-0,5 kg/m³ ja ehituslubjakivi lõhkamisel 0,55-0,65 kg/m³. Tsemendi toorme lõhkamisel kasutatakse lõhkeauke nii 104 mm ja 95 mm läbimõõduga, ehituslubjakivi toorme lõhkamisel lõhkeauke läbimõõduga 95 mm.

3.2.2 Lõhkamise parameetrite kirjeldus

Tabel 4. Lõhkamise parameetrite kirjeldus [3]

Astangu kõrgus	Lõhkeaugu pikkus, m	W, m	q, kg/m ³	a, m	b, m	p, kg/m	Laengu pikkus	Topise pikkus	Laengu mass
Tsemendi lubjakivi astangul 104 mm lõhkeaugu korral									
13,0	13,2	3,3	0,5	4,0	3,3	7,8	11,6	1,6	90
13,5	13,7						12,1	1,6	94
14,0	14,2						12,6	1,6	98
14,5	14,7						13,1	1,6	102
15,0	15,2						13,6	1,6	106
Tsemendilubjakivi astangul 95 mm lõhkeaugu korral									
13,0	13,2	3,0	0,5	3,7	3,0	6,4	11,6	1,6	74
13,5	13,7						12,1	1,6	77
14,0	14,2						12,6	1,6	81
14,5	14,7						13,1	1,6	84
15,0	15,2						13,6	1,6	87
Ehituslubjakivi astangu 95 mm lõhkeaugu korral									
13,0	13,2	2,7	0,65	3,3	2,7	6,4	11,6	1,6	74
13,5	13,7						12,1	1,6	77
14,0	14,2						12,6	1,6	81
14,5	14,7						13,1	1,6	84
15,0	15,2						13,6	1,6	87

Parameetri koostamisel on lähtutud, et tsemendi tooraine tootmisel kasutatakse 75 % ulatuses 104 mm läbimõõduga lõhkeauke ja 25 % ulatuses 95 mm läbimõõduga lõhkeauke. Ehituslubjakivi tootmisel kasutatakse ainult 95 mm läbimõõduga lõhkeauke. [3]

3.2.3 Lõhkevõrgu ja viidete tutvustus

Lõhketööl kasutatakse järgmisi lõhkeaineid: veekindlad padrundatud lõhkeained Peruniit ja Nobelit EP ning granuleeritud mitteveekindel lihtlõhkeaine ANFO. Laengud initsieeritakse lõhkeaugu põhjast mitteelektriliste lühivittegevusega detonaatoritega DYNASHOC. Viited üksikute laengute vahel tagatakse initsieerimisviivititega DYNASHOC SD. Peamiselt kasutatakse viiteid 25 ja 42

millisekundit. Viidete pikkus oleneb vähima vastupanujoone pikkusest ning viitetegurist, mis määratakse kivimi tugevusest tulenevalt. Keskmise tugevusega kivimi viitetegur on 5. Ühendatud lõhkevõrk initsieeritakse elektridetonatsiooniga. Lõhkamisel kasutatakse kombineeritud laenguid, kus löökpadrunid ja üldse lõhkeaugu alumine veetunud osa on laetud padrundatud veekindla lõhkeainega ja ülemine kuiv lõhkeaugu osa ANFOga. Kui lõhkeaukude laadimise käigus tekib kahtlus, et ANFOga laetud lõhkeaugu osa on märgunud, tuleb täiendav löökpadrund paigutada laengu ülemisse ossa detonatsioonisuunaga ülevalt alla. [3]

3.3 Transport

3.3.1 Masina pargi kirjeldus

Masinate valikul on arvestatud planeeritavat toodangut 350 t/h, mäeeraldise mäenduslikke ja geoloogilisi tingimusi ning kaevandajal või koostööpartneritel olemasolevat tehnikat.

Kasvu- ja kattepinnase koorimiseks kasutatakse buldooserhõlmaga traktorit Liebherr PR 724L.

Lõhatud lubjakivi kaevandamiseks ja laadimiseks kasutatakse 48-tonnist pöördekoppekskavaatorit Volvo EC460C ning 50-tonnist kopplaadurit Volvo L350F. Lõhatud materjali laadimiseks kasutatakse dumpkaarvaguneid. Killustiku laadimisel kasutatakse kopplaadurit Caterpillar 972H. Lubjakivi, killustiku ja kattepinnase transpordiks kasutatakse 10...28-tonnise kandevõimega kallureid. Veekõrvaldusel kasutatakse kahte sukelpumpa Grundfos S2-654 BM ning sukelpumpasid S2-264A, S2-264AL. [1]

Tabel 5. Pöördekskavaatori tehnilised parameetrid [1]

Mudel	Volvo EC460C
Võimsus kW/hj	245/333
Kopa maht, m ³	2,6
Kopa täitetegur	0,95
Ammutussügavus, m	6,5
Ammutusraadius, m	10,9
Lõikekõrgus, m	10,6
Laadimiskõrgus, m	7,0
Ekskavaatori tagaosaga pöörderaadius, m	3,8
Ekskavaatori mass, t	47,9
Töötava ekskavaatori ohtliku ala raadius (tegevusraadius + 5m), m	15,0
Ühe tsükliga teisaldatav maht, m ³	2,47
Kopa tsükliäeg, min	0,50
Kopataie mass, t	4,77

Tabel 6. Ekskavaatori tootlikkus [1]

Masina mudel	Kopa maht, m ³	m ³ /h	Töötunde vahetuses	Tööpäevi aastas	Tuh m ³ /aastas
Volvo EC460C	2,6	234	8	250	374

Tabel 7. Kallurite tehnilised parameetrid [1]

Kandevõime, t	25
Veokasti kõrgus, m	2,0-3,2
Veoki laius, m	2,5-2,7
Veoki pikkus, m	8-14
Kalluri laadimiseks kuluv aeg, min	2,62
Kalluri tühjendamise aeg, min	0,50
Aeg manööverdamiseks, min	1,00
Keskmine liikumiskiirus,	30

Ekskavaatoritega kallurite laadimisel tuleb arvestada, et üldjuhul soovitatakse karjäärides kasutada laadurmehhanisme kopa mahuga 15-20% kalluri veokasti mahust (auto laadimine 5-7 kopatäiega). Kasutatav ekskavaator kopamahuga 2,6 m³ sobib valitud kallurite optimaalseks laadimiseks. [1]

3.3.2 Maksimaalne veokaugus

Arvestades planeeritavat toodangut 350 t/h kasutatakse materjali laadimiskohast purustisse transportimiseks kahte kallurit kandevõimega 10-28 t. Kallurite tootlikkus sõltub veokaugusest. Mida pikem veokaugus seda rohkem aega kulub sama koorma transportimiseks ning seda madalam on tootlikkus. Kui veokauguse tõttu langeb kahe kalluri summaarne tootlikkus madalamaks kui 350 t/h, siis peab võtma kasutusele kolmanda kalluri, et tagada planeeritav toodang 350 t/h. Leiame maksimaalse kauguse kahe kalluriga materjali transportimiseks.

Kalluri tootlikkus sõltub sellest, millega toimub masina laadimine. Antud juhul kasutatakse pärikoppekskavaatorit Volvo EC460C (Tabel 5). Kalluri parameetrid on toodud (Tabel 7).

Transpordi tsüklaeg (t_{trans}) arvutub järgmisest valemist:

$$T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4, \text{ kus}$$

T_1 – kalluri laadimise aeg

T_2 – sõitmise aeg (edasi-tagasi)

T_3 – manööverdamine peale-ja mahalaadimisel (1min)

Kalluri laadimiseks kuluv aeg (T_1) arvutub valemist:

$$T_1 = M * t_k * t_{ts} / m_k, \text{ kus}$$

M – kalluri kandejõud, t

T_k – Kalluri koormustegur, 1,0

M_k – kopataie mass, t (ekskavaatori kopamaht $2,6 \text{ m}^3$, kopa täitetegur 0,95, kobestunud lubjakivi mahukaal $1,93 \text{ t/m}^3$)

T_{ts} – Kopa tsüklaeg, min (täitmine, tõstmine, tühjendamine ja algseisu viimine)

Tabelid.

Tabel 8. Maksimaalse veokauguse leidmine

Veokaugus, m	Sõitmine edasi/tagasi, min	Transporditsükli kestus ekskavaatoriga, min	kalluri tootlikkus, t/h
100	0,4	4,5	332
200	0,8	4,9	305
300	1,2	5,3	282
400	1,6	5,7	262
500	2,0	6,1	245
600	2,4	6,5	230
700	2,8	6,9	217
800	3,2	7,3	205
900	3,6	7,7	194
1 000	4,0	8,1	185
1 100	4,4	8,5	176
1 200	4,8	8,9	168

Vajaliku tootmise 350 t/h tagamiseks kahe kalluriga, peab ühe kalluri tootlikkus olema vähemalt 175 t/h. Arvutused näitavad, et sellisel juhul maksimaalne veokaugus tohib olla antud tehniliste parameetritega kuni 1000 m.

Lisaks oleks optimaalne kui ühe kalluri laadimiseaeg oleks võrdne teise kalluri edasi-tagasi sõitmise ajaga. Selliselt oleks seisakute teke minimaalne ning purustit ja päriskoppekskavaatorit oleks võimalik hoida pidevalt töös. Kalluri laadimiseks kuluv aeg on 2,62 min, seega mõlemat tegurit arvestav optimaalne veokaugus oleks 700m. (Tabel 8)

4 Lõpptooted ja vastavus standartidele

Täitematerjalid on standardiseeritud üle euroopa ning kasutusel ka Eestis. AS Kunda Nordic Tsement toodab lubjakivikillustikku, mis on kooskõlas standarditega EVS-EN 12620:2005+A1: 2008; EVS-EN 13043:2004; EVS-EN 13242:2006 + A1:2008.

EVS-EN 12620:2005+A1:2008 standard käsitleb betooni täitematerjali, EVS-EN 13043:2004 käsitleb asfaltsegude ning teede, lennuväljade ja muude liiklusalade pindamiskihtide täitematerjale ning EVS-EN 13242:2006+A1:2008 käsitleb ehitustöödel ja tee ehituses kasutatavaid sidumata ja hüdrauliliselt seotud täitematerjale.

Toodetest prioriteetsemad standardfraktsioonid on 4/8, 4/16, 8/16, 16/32 ja 32/63 kuna nende mük on suurim ja turuhind kõrgeim. Seega on eeltoodud fraktsioonid kõige kasumlikumad. [4]

4.1 Killustikud tee ehituseks

Killustiku klassid teede ehituseks on 0/4, 4/8, 4/16, 8/16, 16/32 ja 0/32. Neid kasutatakse vastavalt EVS-EN 13043:2004 standardile asfaltsegude, teede ja muude liiklusalade pindamiskihtide täitematerjalina. [4]

Tabel 9. Killustiku klasside kirjeldus [5]

Killustiku klass	Kasutus
0/4	Täitematerjalina liiva asemel suurt filtratsiooni mittedüüdvides konstruktsioonides.
4/8, 4/16, 8/16	Sobib kasutamiseks täitematerjalina betoon- ja asfaltsegudes. (4/12, 8/16 – ka asfaltsegudes ning tee-ehituses kiilumiskihina jämedama killustiku peal)
16/32	Kasutamiseks täitematerjalina betoon- ja asfaltsegudes tee-ehituses kiilumiskihina jämedama killustiku fraktsiooni peal. Samuti kandva ja dreniva killustikuna hoonete ning rajatiste all.
32/63	Kasutamiseks tee-aluste ehitusel ja kohtades, kus on karta vajumist ning on nõutud suur kandevõime.
0/32	Sobib hästi kasutamiseks väiksema koormusega teedel nii aluskihi kui ka pealiskattena, teepennardes täitematerjalina ning ajutiste teede ehitamisel. Soovituslik kihi paksus ühe kihina 10-15 cm.

Standard toob välja kohustuslikud eeskirjad peen ja jäme täitematerjalile sealhulgas täitematerjali terasuurus, terastikuline koostis, peenosiste sisaldus ja kvaliteet, tera kuju, purunemiskindlus, löögikindlus, kulumiskindlus, veeimavus, tihedus, keemiline koostis ja muud näitajad.

AS Kunda Nordic Tsement omab kehtivat tootmisohje sertifikaati ning kõikide fraktsioonide toimivusdeklaratsioone.

4.2 Killustikud betoonitootjatele

Vastavalt EVS-EN 12620:2005+A1:2008 standardile kasutatakse betoonitaitematerjalina fraktsioone 2/4, 4/8, 4/16, 8/12, 8/16 ja 16/32. Sarnaselt tee ehituseks mõeldud killustiku fraktsioonidega on ka betooni puhul toodud standardis kõik killustikku iseloomustavad näitajad ning seatud paika eeskirjad. Samuti on olemas kehtivad toimivusdeklaratsioonid.

5 Turukeskkond

5.1 Mahud

Lubjakivi killustiku tootmismahud aastate 2012 kuni 2015 lõikes on jäänud vahemikku 509 – 681 tuh.t. Tabelis toodud arvudele lisaks tuleb arvestada ka eelnevalt tekkinud laoseisuga, mida saab müüa hiljem. Seetõttu ei ole 2012 – 2015 aastate müük alati väiksem kui tootmine.

Välja on toodud kõik toodetud fraktsioonid, kuid põhifraktsioone 0/4, 4/8, 4/16, 8/16, 16/32 ja 32/63 toodetakse igal aastal.

Tabel 10. Tootmine aastatel 2013-2015 ([2013](#), [2014](#), [2015](#))

Frakt.	2012		2013		2014		2015	
	Tootm.	Müük	Tootmine	Müük	Tootmine	Müük	Tootmine	Müük
Tuh.t								
0/4	193,5	225,6	221,9	221,0	158,3	158,2	170,7	125,2
0/22	6,4	4,4	0	0,3	0	0,9	0	0
0/32	0	14,0	0	22,7	122,8	62,0	0	22,8
0/63	0	0	14,1	4,1	0	1,7	0	1,4
0/800	0	0	0	0	0	0	62,5	62,5
4/8	21,2	21,1	21,6	21,6	24,1	19,1	20,9	25,9
4/16	127,8	128,3	159,1	124,8	81,2	102,5	74,1	63,2
4/32	0	0	0	0	16,9	0,1	0	6,7
8/12	0	0	0	0	0	0	28,2	10,5
8/16	64,1	63,6	77,5	49,2	58,7	47,1	26,2	38,5
8/20	0	0,08	0	0	0	0	0	0
12/20	0	0	0	0	0	0	2,5	0,6
16/63	58,6	38,5	0	27,1	2,8	6,9	0	3,4
16/32	78,7	158,6	113,4	87,1	85,9	47,1	40,5	42,8
32/63	16,6	25,1	32,7	26,1	77,8	68,5	69,6	44,2

Aasta	2012	2013	2014	2015
Tootmine, t	567199	640549	626402	509902

Nende 4 aasta lõikes on standardfraktsioonidest (välja arvatud 0/4) kõige rohkem toodetud 4/16 – 442,2 tuh.t, 16/32 – 318,5 tuh.t ja 8/16 – 226,5 tuh.t. Fraktsiooni 0/4 ehk sõelmeid on toodetud 744,4 tuh.t. Arvestades, et AS Kunda Nordic Tsement kasutab sõelmeid tsemenditootmisest, siis suuri sõelmete laojääke ei teki.

Müük aastatel 2012 kuni 2015 oli suurim fraktsioonide 0/4 – 730 tuh.t, 4/16 – 418,8 tuh.t, 16/32 – 335,6 ning 8/16 – 198,4 tuh.t osas. Laojääk samal perioodil oli suurim fraktsioonide 32/63 – 32,8 tuh.t, 8/16 – 28,1 tuh.t ning 4/16 – 23,4 tuh.t osas.

5.2 Tarbijad ja turumuutlikkus

Müük jaguneb kaheks laias laastus võrdseks osaks. Lubjakivi killustik teedehitusse ja ehitusse. Mahud on sarnased ja fraktsioonide iseloom sõltub kliendi tellimusest ning objektidest. Müügi planeerimine on keeruline, sest turg varieerub aastate ja kuude lõikes palju. Pikalt ette teatamata mittestandard fraktsioonide tellimusi toimub sageli ning võimalikke tee ehitusi ja projekte on väga mitmeid.

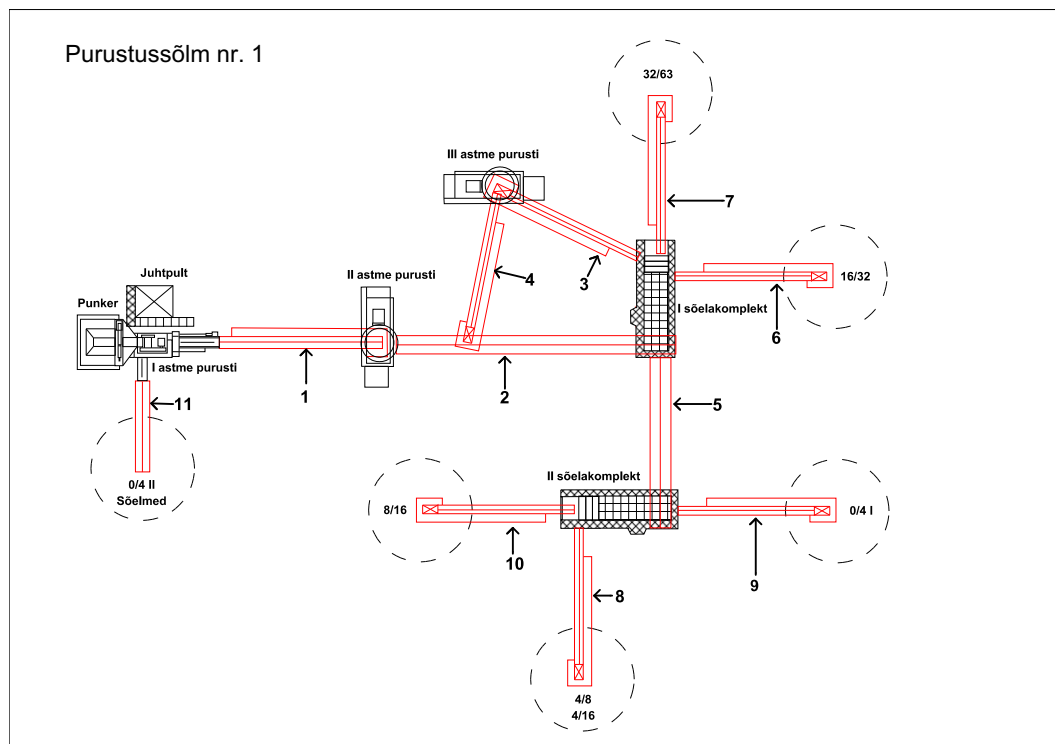
6 Purustus – sorteerimissõlm

6.1 Sõlme ülessehitus

AS Kunda Nordic Tsement kasutab Aru-lõuna karjäärist Soome firma Metso pakutud purustus – sorteerimissõlme lahendust kõikide ehituses vajaminevate fraktsioonide tootmiseks. Metso poolt pakutud lahendus koosneb Nordberg NW116 tüüpi varbtoiturist ja I astme lõugpurustist C116, II ja III astme koonuspurustist Nordberg NW200SGP ja Nordberg NW300Gp, kahest sõelast CVB2060 3 tekiga ning 2 tekiga ning 10 NC tüüpi konveierist.

Purusti vastuvõtumahuti on valitud selliselt kuhu mahub vähemalt 2 autokoormat raimatud lubjakivi. Järgnevalt juhitakse materjal vibreeriva liugteega esimese astme lõugpurustisse. Liugtee lõppu on paigaldatud varbsõelad, mis eemaldavad väiksema tükisuurusega materjali ning juhivad selle lõugpurustist mööda otse I astme koonuspurustisse. Lisaks on varbsõelte alla paigaldatud sõeltekki avaga 25 mm. Sõelast läbi kukkunud materjal võetakse kohe lintkonveieriga välja. Selle materjali jaoks purustamiseenergiat ei kasutata ning seda saab väga edukalt kasutada tsemendi tootmiseks. Samuti ei koormata sellise tegevusega purustussõlme ja kasvatatakse tootlikkust.

Lõugpurusti ava on seadistatud selliselt, et II astme koonuspurusti oleks ühtlaselt materjali täis. Ka koonuspurusti avad ning mantli löök on reguleeritavad. Kui koonus on ühtlaselt täis, siis purustamisprotsessis hakkavad tööd tegema kivid ise, kus nad üksteise vastu hõõrudes purustavad üksteist. Sellise tegevusega jääb kivile parem terakuju, koonuse seinad kuluvad vähem ja tolmu teke on väiksem kui ainult koonused purustaksid kivi. Peale esimese astme koonuspurustit on paigaldatud esimene sõelakomplekt suuremate fraktsioonide väljasõelumiseks. Kuna suuremate fraktsioonide nõudlus on väiksem, siis osa välja sõelatud fraktsiooni saadetakse siibrite abil uuesti teise astme koonuspurustisse, et koonust ühtlaselt täis hoida. Vastavalt sõelakomplektide ja koonuste vahe reguleerimisega saab efektiivselt toota kõiki ehitussektoris vajaminevaid killustiku fraktsioone.



Joonis 1. Purustussõlme number 1 skeem [12]

6.2 Sõlme komponendid ja alternatiivid

6.2.1 Toitur

Killustiku purustamise ja sõelumise esimeseks etapiks on lõhatud kivimi laadimine toiturile, mis juhib materjali esimese astme purustisse. Laialdasemalt on levinud kahte tüüpi toitureid: vibrotoiturid (vibreeriv liugtee) ning plaatkonveierid. Peamiseks erinevuseks saab tuua välja tootlikkuse. Plaatkonveierid suudavad toita oluliselt rohkem tonne tunnis kui vibrotoiturid.

Tabel 11. Plaatkonveieri ja vibrotoituri võrdlus [8]

Tüüp	Plaatkonveier	Vibrotoitur
Tootmismah	Kuni 10000 t/h	Kuni 2000 t/h
Maksimaalne tüki suurus	Kuni 50% plaadi laius	Kuni 80% vibreerivast pinnast
Peamine otstarve	-Suure jõudlusega tootmine -Primaarne tootmine -Suurte koguste	-Suure jõudlusega tootmine -Esimese astme purusti tootmine -Töökindlus ja

Tüüp	Plaatkonveier	Vibrotoitur
	läbilaskevõime	läbilaskevõime suurema tükisuuruse korral
Eelised	<ul style="list-style-type: none"> -Kõrge põrutuskindlus -Suurem pinnaühik laadimiseks -Kättesaadavus -Toite kontrollimine -Võime materjali tõsta -Pikkus vastavalt vajadusele -Tootmisüksuse kõrguse vähendamine -Võime lasta läbi savist materjali kõrge niiskuse sisaldusega 	<ul style="list-style-type: none"> -Turvalisus -Võime sõeluda välja peenosised -Lihtne minimaalne hooldus -Hea materjali toitmise kontroll -Seadme maksumus
Miinused	<ul style="list-style-type: none"> -Seadme maksumus -Kehv tihendus (peenosised kipuvad ladestuma, nõuab eraldi kett või rihmkonveierit, et hoida puhtana) -Ei ole võimalust eraldada peenosised 	<ul style="list-style-type: none"> -Puudub võime tõsta materjali -Piiratud pikkus -Suur monteeritud jõudlus? -Vähene tootlikkus savise ja kõrge niiskuse sisaldusega materjali puhul

Tasub eraldi välja tuua vibrotoituri võimalust kasutada restsõela ja sõelatekki. Esiteks võimaldab see suunata väiksemad tükid kohe esimese astme purustist mööda teise astme purustisse vähendades seega koormust esimese astme purustil. Teiseks saab sõeltekki kasutades samaaegselt ka välja sõeluda peenosised ja lõhkamisel tekkinud sodi, mis vähendab kogu purustussõlme koormust ja suurendab tootlikkust.

6.2.2 Esimese astme purustid

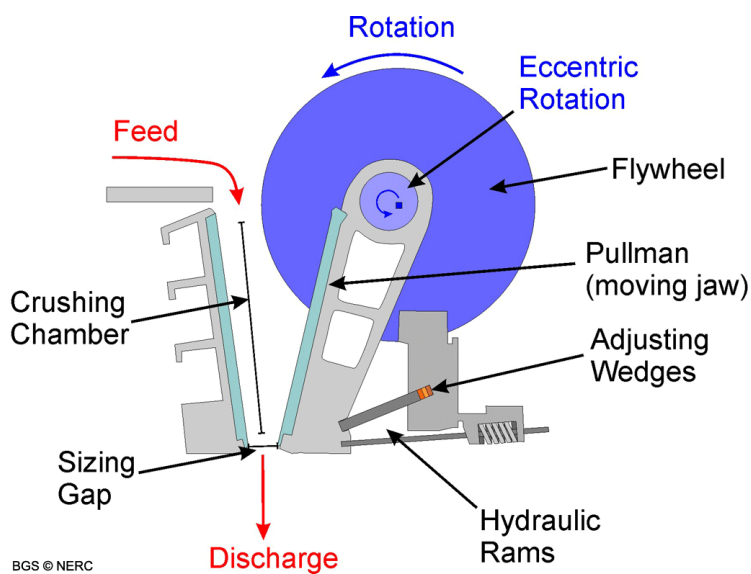
Toiturilt liigub lõhatud kivim esimese astme purustisse, mille eesmärk on lõhkuda kivi ühtlaselt väiksemateks tükideks, et see transportida konveieril järgmise astme purustisse. Kuna teise astme purusti töötab juba märksa täpsemate parameetritega, siis on oluline, et kivim mis esimese astme purustist tuleb, oleks ühtlane. See tagab teise astme purusti optimaalse tootlikkuse ja korrektse purustatud kivi kuju.

Kuna esmasesse purustamisse võib jõuda väga erineva tükisuurusega materjal, siis on tähtis, et purusti suudaks riketeta erineva tükisuurusega materjaliga toimida.

Tavaliselt kasutatakse esmase kivimi purustamisena kas lõugpurustit või güratorpurustit. Peamine erinevus nende vahel on jällegi tootlikkus. Güratorpurusti on oluliselt suurema tootlikkusega.

6.2.3 Lõugpurusti

Tegu on ühe laialt levinud purustiga, mille tööpõhimõte seisneb kivimi kokku surumises lõugade vahel. Üks lõug on statsionaarses asendis ning teine on ühendatud rattaga, mis tekitab lõuas eksentriilise liikumise. Arvestades sisend ava suurust on üldjuhul lõugpurusti investeeringu tootlikkus üks suuremaid kuna see tähendab kliendile kokkuvõttes väiksemaid kulusid lõhkamisel, sest lõugpurusti suudab toimida ka suuremate tükkide korral. Lisaks on purusti robustne ja töökindel ning hind on madalam võrreldes alternatiividega. Sellist tüüpi purusti miinus on piiratud tootmismahud. Kuna kivimi väljumine purustist toimub läbi võrdlemisi väikse ava, siis see piirab ka kogu tootmismahtu. Võrdluseks võib tuua güratorpurusti, kus väljundava on oluliselt suurem ja materjali liikumine on purustis tänu ringikujuliselt liiguvale võllile efektiivsem. Lõugpurustit kasutatakse tootmismahude puhul kuni 1600 t/h. [8]



Joonis 2. Lõugpurusti tööpõhimõte [6]

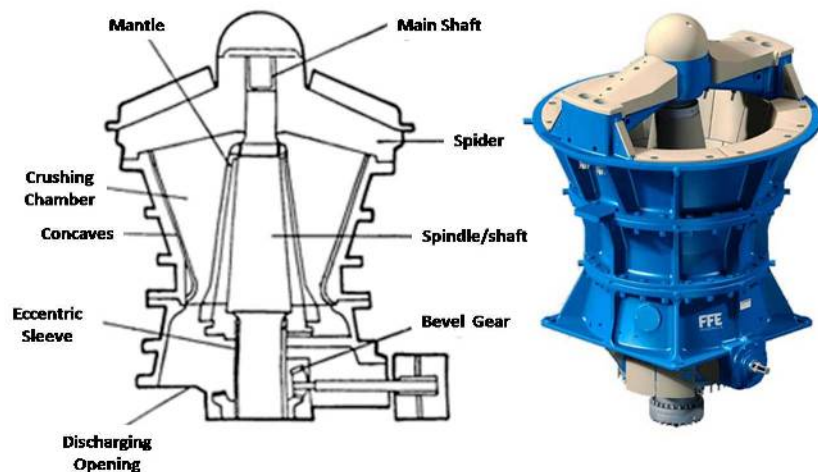
6.2.4 Roorpurusti

Güraatorpurustid on kasutuses suurte tootmiskahtudega paikades. Purusti tööpõhimõte seisneb koonuse kujulise võlli aeglases ringikujulises liikumises, mis muljub materjali vastu välisseina väiksemaks. Maksimaalse tootlikkuse juures hoitakse purusti koguaeg materjali täis, et ära kasutada ka materjali omavahelist hõõret ja purunemist, mis kokkuvõttes tähendab purusti enda detailide väiksemat kulu. Güraatorpurusti korral on materjali väljundava ringikujuline ning oluliselt suurem kui lõugpurustil. Samuti on ringikujuline pidev liikumine võrreldes lõugpurusti edasi-tagasi liikumisega efektiivsem. Güraatorpurustile ei ole alternatiivi suure tootmisega karjäärides, kus mahud algavad 1200 t/h.

Lõugpurustiga võrdse avasuurusega güraatorpurusti peab olema oluliselt suurem - nii kõrgem, laiem kui ka raskem. Samuti peab güraatorpurustil olema väga massiivne alusvundament.

Sellest tuleneb ka tema märgatavalt kallim hind.

Joonis 2 Güraatorpurusti



Joonis 3. Roorpurusti tööpõhimõte [7]

Esimese astme purustina kasutatakse vahel ka löökpurustit, mis oma loomu poolest sobib vähese abrasiivsusega materjali purustamiseks eeldusel, et peenosiste teke ei ole probleem.

Tabel 12. Lõug-ja rootorpurusti võrldus [8]

Tüüp	Lõugpurusti	Rootorpurusti
Tootmiskaht	< 1600 t/h	> 1200 t/h
Maks. ava suurus	< 1400 mm	< 1500 mm
Peenosiste teke	Madal	Madal
Eelised	- Sisend ava suurst arvestades on investering kasulik - Robustne ja töökindel - Kättesaadavus	- Suur tootlikkus - Materjali purunemine teineteise vastas, vähendab detailide kulu - Võlli ringikujulise liikumise efektiivsus
Miinused	- Piiratud tootlikkus, väike väljundava - Lõua edasi-tagasi liikumise väiksem efektiivsus	- Seadme maksumus - Sarnase sisend avaga oluliselt massiivsem ja raskem kui lõugpurusti - Nõuab kindlat vundamenti

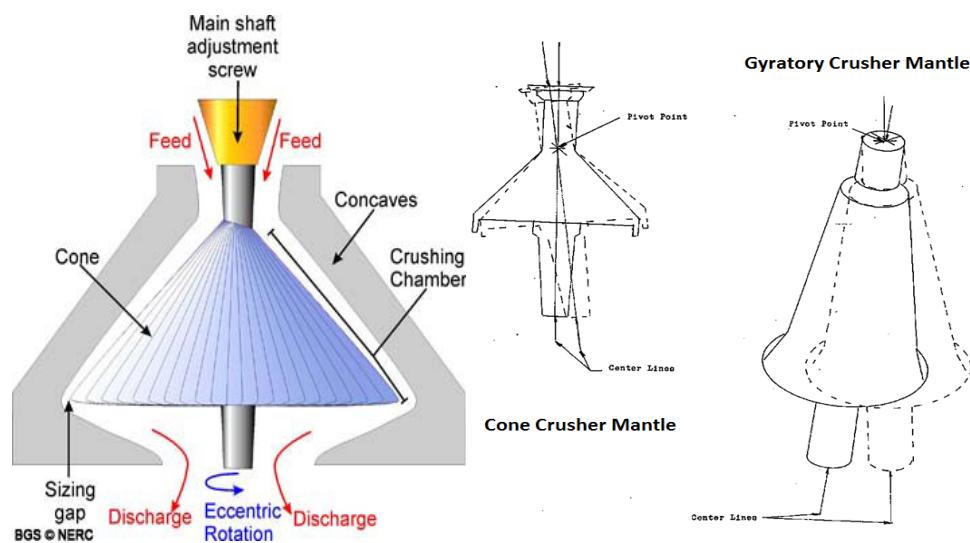
6.2.5 Teise ja kolmanda astme purustid

Teise astme purusti eesmärk on vastavalt vajadusel valmistada lõpptoodangut ühtlase tüki kujuga või purustada materjal väiksemaks kolmanda astme purusti jaoks. Kuna lõpptoodetelt eeldatakse kõrget kvaliteeti ja täpset nõuete täitmist, siis teise ja lõppastme purustamine on määrava tähtsusega.

Teise ja lõppastme purustamisel kasutatakse üldjuhul kahte tüüp masinaid. Kas koonuspurusteid või löökpurusteid. Peamine erinevus nende vahel on see, et löökpurusti sobib kasutamiseks vähem abrasiivse materjaliga.

6.2.6 Koonuspurusti

Sarnaselt rootorpurustile on koonuspurustis koonusekujuline võll, mis pöörleb ringikujuliselt ning purustab materjali vastu purusti välisseina. Erinevalt rootorpurustist, kus võll pöörleb 100-200 rpm, pöörleb koonuspurusti võll kiirusega 500-600 rpm. See tähendab seda, et materjali enam ei pigistata puruks nagu see toimub madala kiirusega purustis vaid toimub löögi efekt. Teine erinevus on koonusekujulise võlli pöörlemise telg. Koonuspurustis on seoses võlli kinnitusega pöörlemise nurk ja võlli liikumine suurem. Rootorpurusti lõpptoodet mõõdetakse laiema väljund avaga. Kuna võll liigub aeglaselt, siis kuni 80% materjalist pääseb sellest avast läbi. Koonuspurusti puhul, arvestades võlli kiiremat liikumist ning suuremat nurka, on tõenäosus oluliselt väiksem, et materjal pääseks purustamata läbi suurema ava. [9]



Joonis 4. Rootorpurusti mantel [9]

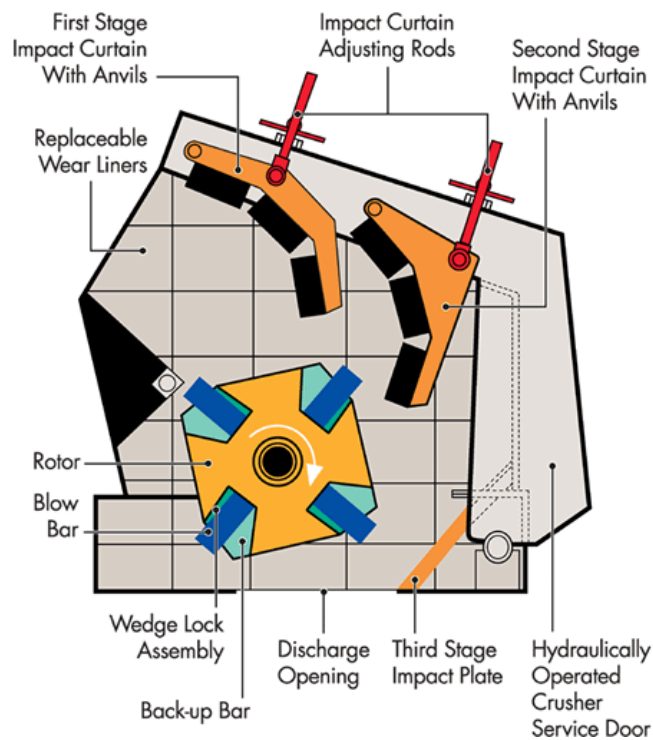
Joonis 5. Koonuspurusti tööpõhimõte [10]

6.2.7 Löökpurusti

Löökpurustid jagunevad võlli asendi järgi kahte gruppi – vertikaal ja horisontaal löökpurustid. Purustit iseloomustab suur materjali vähendamise suhe, mis tähendab et üks löökpurusti võib teatud puhul suuta asendada muidu mitme astmelist purustamist. Lisaks on sellist tüüpi purustil ka kõige ühtlasem tükikuju. Miinuspoole pealt saab välja tuua, et lööktüüpi purusti on efektiivne vaid madala abrasiivsusega materjali puhul ning purustamisel tekib suures koguses peenosiseid. Saab ka kasutada maavara rikastamiseks, aheraine eraldamiseks tahetud kõvemast kivimist.

Horisontaal võlliga purusti puhul purustatakse materjal kiiresti pöörleva rootoriga, mille küljes on fikseeritud lööklabad. Tükkideks purustatud materjal puruneb veelgi kokkupõrkel teineteisega ning purusti detailidega ning tulemuseks on ühtlase kujuga tükid.

Vertikaal võlliga purusti toimib tsentrifugaaljõudu kasutades. Materjal kukub keskel olevasse rootorisse ning tükid seejärel kiirendatakse ning paisatakse läbi rootori avade vastu purusti välisseinu. Sellise tüübi puhul toimub ka tükkide omavaheline purunemine, mis kokkuvõttes tähendab väiksemat kulu purusti detailidele. [8]



Joonis 6. Löökpurusti tööõhime [11]

Tabel 13. Koonus- ja löökpurusti võrdlus [8]

Tüüp	Koonuspurusti	Löökpurusti
Tootmiskaht	< 1200 t/h	200 - 1800 t/h
Maks. ava suurus	< 450 mm	< 1300 mm
Peenosiste teke	Madal	Kõrge
Materjali abrasiivsus	Kõrge	Madal
Eelised	<ul style="list-style-type: none"> - Suudab purustada abrasiivset materjali - Madalad ülalpidamiskulud - Õigeid võtteid kasutades ühtlane tüki kuju 	<ul style="list-style-type: none"> - Suurem tootlikkus - Seadme maksumus - Suur sisendava - Lihtne ja robustne ehitus - Kõrge tükisuuruse vähendamise suhe (reduction ratio) - Ühtlane tüki kuju
Miinused	<ul style="list-style-type: none"> - Seadme maksumus - Parima tootlikkuse ja tüki kuju jaoks peab hoidma purustit materjali täis, mis võib olla keeruline 	<ul style="list-style-type: none"> - Peenosiste teke (ebaefektiivne tootmine)

6.2.8 Sõelumine

Üldjuhul kasutatakse sõelumist teise ja kolmanda astme purustite vahel ning purustamisahela lõpus. Sõelumise eesmärk on eraldada fraktsioonid vastavalt vajadusele, kas saata suuremad fraktsioonid tagasi purustamisele või eraldada fraktsioon lõpptootena.

Sõelumisel kasutatakse vibreerivaid ühe või mitme tekiga võrede süsteeme, kus toimub sõelumise kaks kõige tähtsamat protsessi.

Kihistumine – protsess, kus materjali vibreerimisel tõuseb suurema tükisuurusega materjal üles ning peenem materjal vajub läbi osakeste vahel olevate tühimike alla poole.

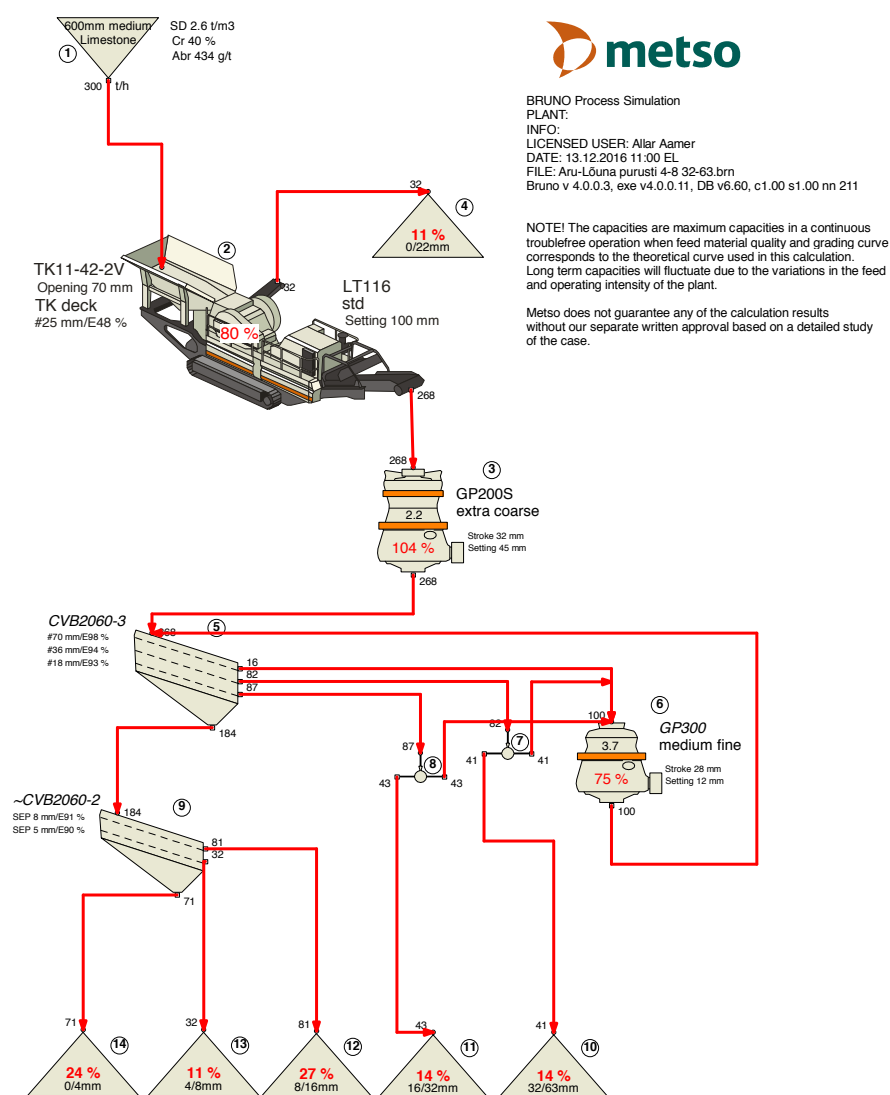
Eraldamine – protsess, kus osakesed jõuavad vibreeriva võreni ning vastavalt kas vajuvad läbi võre avade või mitte.

On oluline, et sõelad töotaksid võimalikult efektiivselt. Vastasel korral võib suletud purustussõelme üle koormata. Kui sõelakomplekt ei suuda piisavas koguses ette nähtud materjali välja sõeluda, siis see kogus materjali koormab põhjuseta purusteid ja konveiereid ning vähendab tootmise efektiivsust. Kui sõelakomplektist läheb läbi materjal, mis tegelikult ei tohiks, siis see tähendab lõppfraktsioonide ebapuhtust ja nõuetele mittevastavust. 100% efektiivsust ei ole võimalik sõelumisel saavutada. Metso inseneride katsed on näidanud, et kui lasta testsõelale 100 t/s materjali, millest 90%-st on tükid sõela avadest väiksemad ja 10% avadest suuremad, siis realselt jõuab läbi 81% 90%-st ja sõelale jääb 19%. Sõelumise efektiivsus sõltub väga paljudest parameetritest, mis tuleb optimaalselt paika seada vastavalt materjalile ja mahtudele. Näiteks sõela toitmine, vibreerimise amplituud, kiirus ja liikumine, võrede materjal ja ava suurus. [8]

7 Tootmisprotsessi kirjeldus

7.1 Simulatsioon Brunoga

Purustussõlme tootmise kirjeldamiseks, simuleerimiseks ja peenhäälestamiseks kasutati Metso poolt välja töötatud programmi Bruno. Programmis saab kirjeldada kõiki muutujaid alustades sisendmaterjali omadustest kuni soovitud lõpptoote osakaaludeni. Koostatud sõlm iseloomustab Aru-lõuna karjääris kasutusel olevat sõlme.

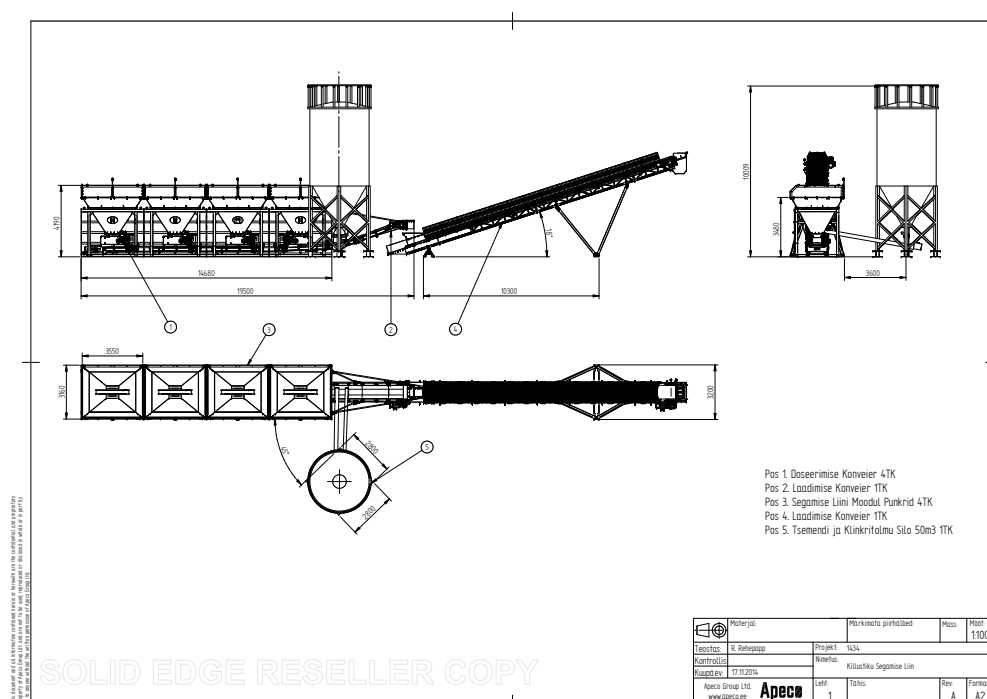


Joonis 7. Tootmisprotsessi simulatsioon

Joonis 7 on näha kõik komponendid ning materjali voog. Toodud on ka purustite seaded ning täituvused, sõeltekke avade suurused, siibrid ning ka tootlikkus iga komponendi juures. Joonisel on tootmisrežiim, millega saab toota kõiki põhifraktsioone korraga olulisi muudatusi tegemata. Fraktsiooni 4/16 saab toota suunates 4/8 ja 8/16 fraktsioonid peale sõelumist kokku. Kui fraktsiooni 32/63 enam pole nii palju vaja, siis võib selle ahelast välja jätta ja toota väiksemaid fraktsioone selle arvelt rohkem. Reaalsuses toimub pidev purustussõlme sätimine, et leida kõige efektiivsem viis kuidas klientide nõudlust täita.

7.2 Segusõlme kasutamine

AS Kunda Nordic Tsement kasutab Aru-lõuna karjääris segusõlme Apeco MP400. Segusõlm võimaldab toota mistahes fraktsioone olemasolevatest põhifraktsioonidest milleks on 0/4, 4/8, 4/16, 8/16, 16/32 ja 32/63. Aru-lõuna karjääris kasutatakse segusõlme, et toota erinevaid pikki fraktsioone ehk ridakillustikku. Sõlm kasutab sobiva sõelkõvera saamiseks 4 doseerimispunkrit igauks mahuga 16 m³, eraldi reguleeritavaid konveierlinte doseerimispunkrite all ning peakonveierlinti. Sobiva sõelkõvera saamiseks tuleb sisestada programmi kõigi nelja sisendmaterjali sõelkõverad, anda ette projekteeritud segu minimaalsed ja maksimaalsed sõelkõvera väärtused, seada sisendmaterjali doseerimise protsendid, et projekteeritud segu sõelkõvera numbrid jääks min. ja maks. piiresse ja valmistada proovitoodang. Seejärel tuleb sõelkõvera tulemused kinnitada laboris ning vajadusel muuta vastavalt sisendandmeid.



Joonis 8. Apeco segusõlme skeem

7.2.1 Segusõlme simulatsioon Apeco tabelitega

Oletame, et purustusõlme aastane toodang on 626402 t. Tabelis on näitlikult toodud aastane kogutoodang, põhifraktsioonide toodang, müük ning laojääk.

Tabel 14. Oletatav toodang ja müük

Frakts.	Toodang kokku, t	Põhifrakts. Toodang, t	Müük, t	Lao jääk, t
0/4		188936	157821	31115
4/8		32389	31910	479
4/16		97167	96912	255
8/16		70176	47090	23087
16/32		75575	59036	16539
32/63		75575	46829	28746
kokku	626402	539818	439598	100220

Põhifraktsioonide tootmisel tekkis laojääk kokku 100220 t. Enim jäi üle fraktsioone 0/4, 8/16, 16/32 ja 32/63. Oletame on vaja täita tellimus fraktsioonidele 0/32 – 20000 t ja 0/16 15000 t. Segusõlme doseerimispunktreid on kokku 4, aga hetkel saame kasutada vaid 3 fraktsiooni laojääkidest, sest 32/63 ei saa segada 0/32 ega 0/16 tootmiseks, kuna sisaldab suuremaid tükke kui 32 mm ja 16 mm. Fraktsioonid 0/4, 8/16 ja 16/32 ladustatakse doseerimispunkritesse. Seejärel tuleb [Apeco segusõlme tabelisse](#) sisestada kasutatavate materjalide sõelkõverad ning projekteeritava segu sõelkõvera piirväärtused. Tabeli paremal asuvasse projekteeritava segu koostise lahtritesse tuleb leida selline sisendmaterjalide protsentuaalne lahendus, mille projekteeritav sõelkõver mahub eelpool toodud piirväärtustesse. Mõlema pika fraktsiooni jaoks on koostatud Apeco tabelid. Sõelkõverate sobivuse korral antakse vastav info segusõlme juhtblokki ning alustatakse segu tootmist.

Tabelis on toodud vajalikud materjalide segud ja kogused pikkade fraktsioonide 0/16 ja 0/32 tootmiseks segusõlmega.

Tabel 15. Pikkade fraktsioonide tootmine segusõlmega

Kasutatud materjal	Fraktsioon 0/16		Fraktsioon 0/32	
	Osakaal tootmiseks, %	Vajaminev kogus tootmiseks	Osakaal tootmiseks, %	Vajaminev kogus tootmiseks
0/4	55	8250	75	15000
8/16	15	2250	25	5000
16/32	30	4500	0	0
kokku	100	15000	100	20000

8 Purustussõlme optimeerimine

8.1 Optimeerimise alused

Killustiku tootmise optimeerimiseks on vaja teha selgeks mis suunas tootmine efektiivsemaks peab minema ja mis vahendeid selleks saab kasutada. Antud juhul on kõige aluseks AS Kunda Nordic Tsement Aru-lõuna karjääri killustiku müük aastate 2012 kuni 2015 lõikes (Tabel 10). Antud periood kirjeldab killustiku müüki parimal viisil ning 3 aastat oma erinevate fraktsioonidega ja müükidega annavad kokku hoomatava keskmise.

Tabelis on võetud kokku eelmainitud kolme aasta kõikide fraktsioonide müük kuude lõikes. Välja on toodud kõik fraktsioonid kahes jaotuses ning kõikide fraktsioonide osakaal kogu müügist. Esimeses jaotuses on kõrgema prioriteediga fraktsioonid. Kõrgem prioriteet tähendab seda, et nende müük on suurim, turuhind kalleim ja tulemusena on nende tootmine on kõige kasumlikum. Fraktsioon 0/4 on esimeses jaotuses kuna antud juhul ei käsitleta seda jäätmena vaid tsemenditehas ostab ja kasutab fraktsiooni tsemendi tootmiseks. Teises jaotuses on vähemprioriteetsed fraktsioonid, mille müügi osakaal on väiksem.

Tootmise optimeerimisel on aluseks võetud vaid prioriteetsed fraktsioonid kuna nende osakaal tootmises on kõige suurem, nende tootmine on kõige kasumlikum ja nende tootmisest tekkinud jääki saab kasutada, et segusõlmega segada kõiki teisi fraktsioone.

Teiseks aluseks on võetud tootmises kasutatavad režiimid. Tootmise režiim kujutab endas purustite seadeid ja järjestust, sõelakomplektide seaded ja järjestust, siibrite kasutamist ning konkreetseid lõppfraktsioone protsendina kogu sisendmaterjalist. Töö raames on leitud 4 sobivat režiimi. Võrdluseks on koostatud ka kaks alternatiiv purustussõlme, et näha kuidas mõjutavad tootmist teist tüüpi purustid. Esimese alternatiivina on I aste lõugpurusti, II aste haamerpurusti ja III aste on koonuspurusti. Teise alternatiivina on I aste lõugpurusti, II aste koonuspurusti ning III aste haamerpurusti. Purustussõlmede režiimide optimeerimise kirjeldus on peatükil 7.2.

Kolmandaks on seatud piir iga kuiste režiimide vahetuse arvu kohta. See on kokku lepitud Aru – lõuna karjääri töötajatega ning piiriks seati maksimaalselt 2. On selge, et mida rohkem režiimi vahetusi seda täpsemalt saab toota fraktsioone, aga režiimi vahetus on ajakulu ja lisaks sellele on suurema hulga režiimide vahetustega kombinatsioonide hulk väga suur ja nende manageerimine läheb keeruliseks. Režiimide osakaal kuus ajalises mõistes on jaotatud kolmeks. Ühte kahest režiimist toodetakse kuus kas suhtega 1/3, 1/2 või 2/3, kus tervik on ühe kuu kõik tööpäevad.

8.2 Optimaalsete tootmisrežiimide leidmine

8.2.1 Režiimide optimeerimise alused

Killustiku põhifraktsioonide tootmiseks on ühe purustussõlme puhul palju variante kombineerides kõikide komponentide järjestust, seadeid ja täituvust. Antud töö raames koostatakse minimaalne hulk režiime optimaalsete lõpptoodangute osakaaludega. Režiimid leitakse kasutades Bruno purustussõlme simulatsiooni.

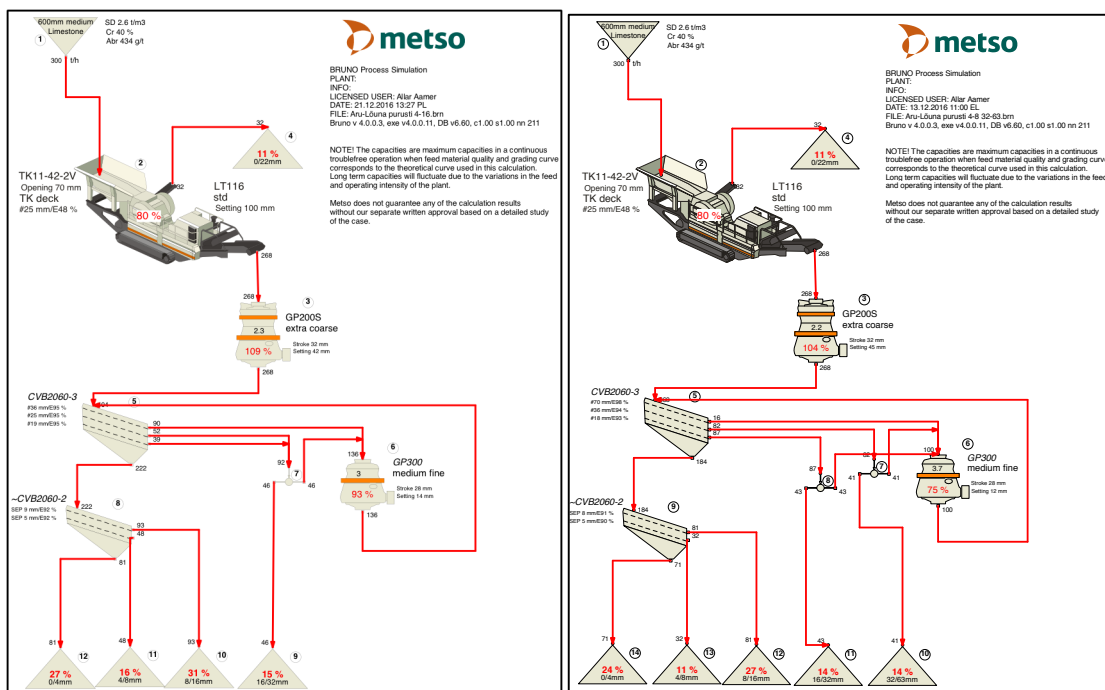
Režiimide üheks aluseks on toota põhifraktsioone 0/4, 4/8, 4/16, 8/16, 16/32 ja 32/63 ning toota neid kasumlikkuse järjekorras. Kõige kasumlikumad fraktsioonid on 4/8 ja 4/16. Need on enimlevinud täitematerjalid nii teedeehituses kui ka betoonis kasutamiseks ja see tähendab ka ühtlasi nende kõrgemat turuhinda võrreldes teiste fraktsioonidega. Seda kinnitavad ka Aru-lõuna töötajad, et tippaegadel on fraktsioonid 4/8 ja 4/16 olnud otsas. Seega eesmärk on toota kõiki põhifraktsioone, kuid iga režiimi puhul on võimaluse puhul tootmine optimeeritud 4/8 ja 4/16 fraktsioonide kasuks.

Režiimide teiseks aluseks on ühtlane terakuju lõppfraktsioonides. Antud purustussõlm on projekteeritud selliselt, et lõpptoodete minimaalne plaatsustegur ehk ühtlane terakuju on saavutatav koonuspurustite täituvuse hoidmisega 100% lähedal. Koonuspurustites toimib ka rock-on-rock purunemine, mis tähendab lisaks purusti töö tõttu purunemisele ka materjali purunemist üksteise vastu hõõrudes. See tähendab ühtlasi ka väiksemat koonuspurusti detailide kulumist ning efektiivsemat tootmist. Lisaks tähendab see ka paremat tüki kuju, kuna purustisse jõudnud materjali töödeldakse rock-on-rock meetodil kui ka purusti enda tööpõhimõtetel. Brunoga simuleerides näitab programm ära purusti täituvuse ning need seatakse võimalikult 100% lähedale.

Režiime optimeeritakse vastavalt praegusele purustussõlmele aga koostatakse ka kaks alternatiiv purustussõlme, kus kasutatakse kombineeritult koonus – ja haamerpurusteid. See annab hea võrdlusmomendi ning on näha kas hetkel kasutuses olev purustussõlm on endiselt kõige efektiivsem

8.2.2 Purustussõlm number 1

Kõikide komponentide järjestuse skeem on identne ja on kirjeldatud joonisel (Joonis 1). Esimese ehk hetkel kasutuses oleva purustussõlme puhul on purustamises kasutuses I astme lõugpurusti Metso C116, II astme koonuspurustist NW22SGP ning III astme koonuspurustist NW300GP. Lisaks kasutatakse kahte kahe ja kolme tekiga sõelakomplekti CVB2060 ning siibrite süsteemi. Brunoga režiime simuleerides selgus, et minimaalne hulk optimaalseid režiime, mille saab toota põhifraktsioone on 4. Need jagunevad kaheks ja nende ülevaatlik kirjeldus on Joonis 9.



Joonis 9. 1. Purustussõlme simulatsioonid Brunoga

Minimaalne hulk režiime on 4 sellepärast, et esiteks saab jagada põhifraktsioonide tootmise kaheks. Esimesel juhul jäetakse välja fraktsioon 32/63 ja teisel juhul ei jäeta. Seda põhjusel, et fraktsiooni 32/63 ei ole periooditi nii palju vaja toota ja seetõttu on hea kasutada režiimi, mis jätkaks selle välja ning toodaks selle arvelt rohkem teisi põhifraktsioone. Fraktsiooni 32/63 tootmisel kasutatakse režiimi paremal joonisel (Joonis 9) ja selle välja jätmisel režiimi vasakul pool. Need kaks tootmisrežiimi jagunevad omakorda kaheks põhjusel, et antud sõelakomplektid võimaldavad toota korraka fraktsiooni 4/8 ja 8/16 või ainult 4/16 suunates eelmised fraktsioonid kokku. Selline lahendus on optimaalne kuna fraktsioonide kokku suunamine käib minimaalse ajakuluga, teise sõelakomplekti kaks ülemist tekki suunatakse ühele konveierile, ning nende kolme fraktsiooni eraldi tootmine eeldaks

keerulisemat sõelumist. Kõik režiimid on koostatud Brunoga ning on katsetatud erinevaid seadeid ning välja on toodud optimaalsed valikud.

Tabelites (Tabel 16 Tabel 17) on toodud 4 erineva režiimi lõpptoodete osakaalud ning purustite ning komponentide seaded.

Tabel 16. 1. Purustussõlme režiimid 1, 2

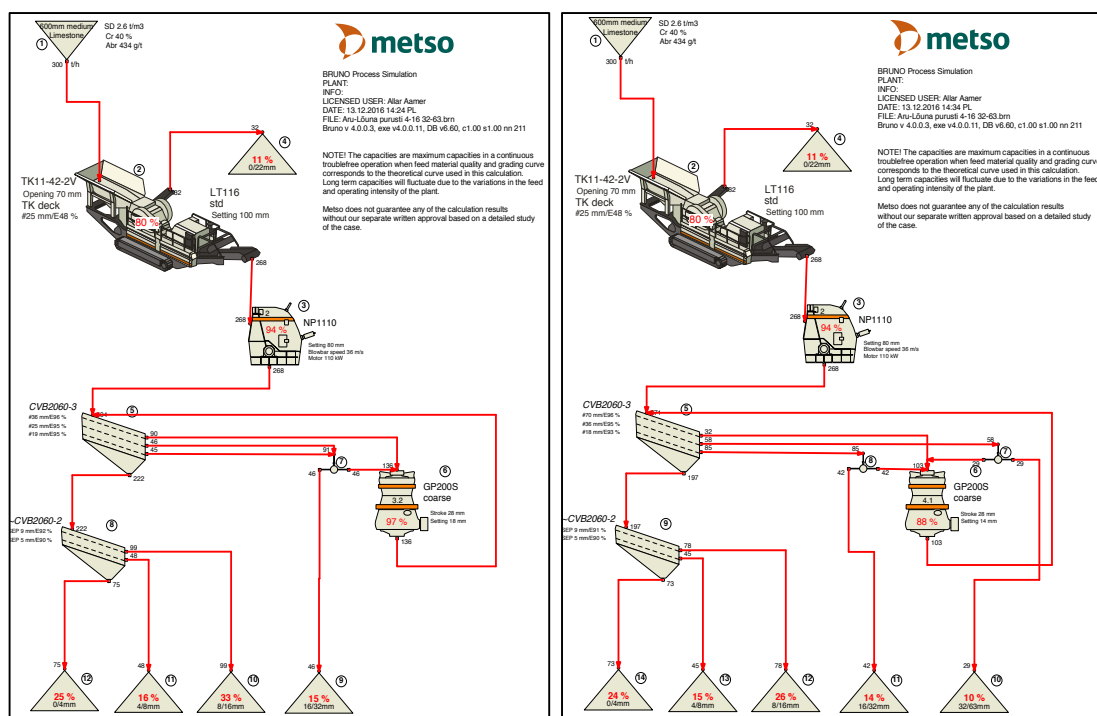
Fraktsioon	Režiim 1 osakaalud, %	Režiim 2 osakaalud, %	
0/4	38	38	
4/8	16	0	
4/16	0	47	
8/16	31	0	
16/32	15	15	
32/63	0	0	
Purusti	Ava, mm	Löök, mm	Täituvus, %
I astme lõug	100	-	80
II astme koonus	42	32	109
III astme koonus	14	28	93
Sõeltekomplekt	1 Tekk, mm	2 Tekk, mm	3 Tekk, mm
	36	25	19
	9	5	-

Tabel 17. 1. Purustussõlme režiimid 3, 4

Fraktsioon	Režiim 3 osakaalud, %	Režiim 4 osakaalud, %	
0/4	35	38	
4/8	11	0	
4/16	0	38	
8/16	27	0	
16/32	14	14	
32/63	14	14	
Purusti	Ava, mm	Löök, mm	Täituvus, %
I astme lõug	100	-	80
II astme koonus	45	32	104
III astme koonus	12	28	75
Sõeltekomplekt	1 Tekk, mm	2 Tekk, mm	3 Tekk, mm
	36	25	19
	9	5	-

8.2.3 Purustussõlm number 2

Purustussõlme number 2 puhul on tegemist võrdluseks koostatud esimese alternatiivversiooniga. Purustussõlme ülevaatlik skeem on identne sõlme number 1, kuid antud juhul kasutatakse II astme koonuspurusti asemel löökpurustit NP1110. Selline purusti valik on tehtud põhjusel on antud löökpurusti on võimeline tootma head tükikuju ja see ei sõltu nii palju purusti täituvusest kui koonuspurusti puhul. Lisaks on valitud löökpurustiga võimalik tootmist pisut optimeerida fraktsioonide 4/8 ja 4/16 kasuks. Eesmärk on võrrelda lõppfraktsioonide osakaalud kasutuses oleva purustussõlme number 1, aga tootmise osakaalud ning purustite seadistus on teistsugune. Optimaalsed režiimid on leitud programmiga Bruno katsetades erinevaid seadeid. Tabelis 18 ja 19 on toodud 4 erineva režiimi lõpptoodete osakaalud ning purustite ning komponentide seaded.



Joonis 10. 2. Purustussõlme simulatsioonid brunoga

Tabel 18. 2. Purustussõlme režiimid 1, 2

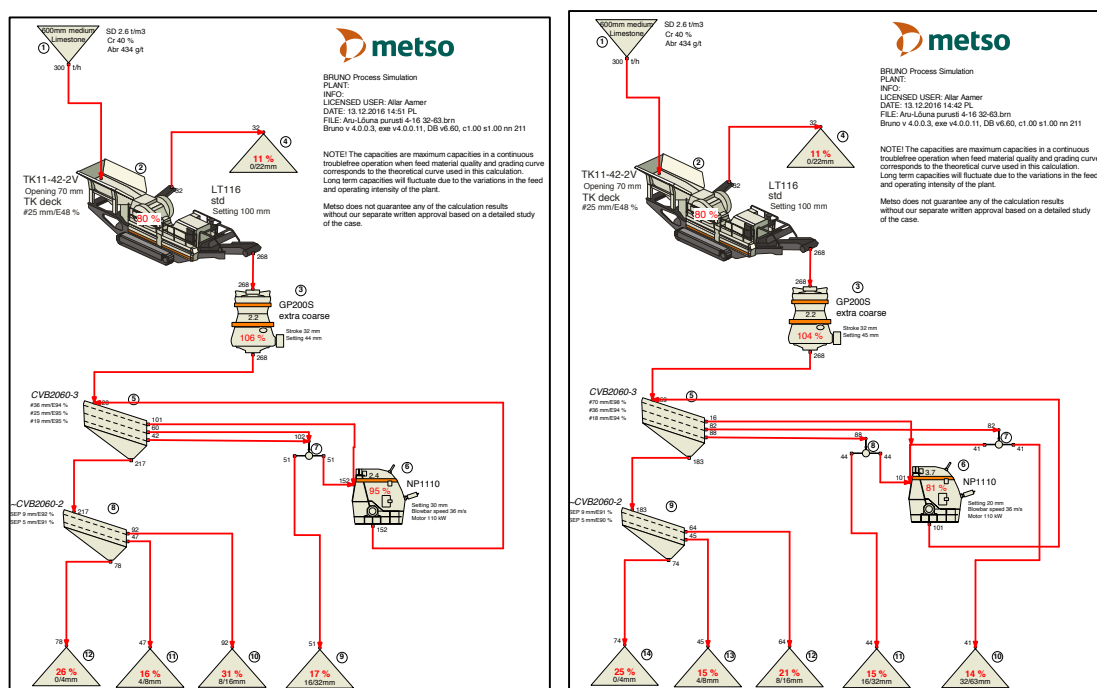
Fraktsioon	Režiim 1 osakaalud, %	Režiim 2 osakaalud, %	
0/4	36	36	
4/8	16	0	
4/16	0	49	
8/16	33	0	
16/32	15	15	
32/63	0	0	
Purusti	Ava, mm	Kiirus/Löök	Täituvus, %
I astme lõug	100	-	80
II astme haamer	80	36 m/s	94
III astme koonus	14	28 mm	97
Sõeltekomplekt	1 Tekk, mm	2 Tekk, mm	3 Tekk, mm
	36	25	19
	9	5	-

Tabel 19. 2. Purustussõlme režiimid 3, 4

Fraktsioon	Režiim 3 osakaalud, %	Režiim 4 osakaalud, %	
0/4	35	35	
4/8	15	0	
4/16	0	41	
8/16	26	0	
16/32	14	14	
32/63	10	10	
Purusti	Ava, mm	Kiirus/Löök	Täituvus, %
I astme lõug	100	-	80
II astme haamer	80	36 m/s	94
III astme koonus	14	28 mm	88
Sõeltekomplekt	1 Tekk, mm	2 Tekk, mm	3 Tekk, mm
	70	36	18
	9	5	-

8.2.4 Purustussõlm number 3

Purustussõlme number 3 puhul on tegemist võrdluseks koostatud teise alternatiivversiooniga. Purustussõlme ülevaatlik skeem on identne sõlme number 1, kuid antud juhul kasutatakse III astme koonuspurusti asemel löökpurustit NP1110. Võrreldes purustussõlme number 2 on antud juhul asetatud löökpurusti tootmise lõppu. Sellisel juhul on võimalik toota ühtlasema tükikujuga lõppfraktsioone ning kallutada tootmist paari protsendi võrra fraktsioonida 4/8 ja 4/16 poole. Eesmärk on võrrelda lõppfraktsioonide osakaalusid kasutuses oleva purustussõlme number 1, aga tootmise osakaalud ning purustite seadistus on teistsugune. Optimaalsed režiimid on leitud programmiga Bruno katsetades erinevaid seadeid. Tabelites (Tabel 20 Tabel 21) on toodud 4 erineva režiimi lõpptoodete osakaalud ning purustite ning komponentide seaded.



Joonis 11. 3. Purustussõlme simulatsioonid Brunoga

Tabel 20. 3. Purustussõlme režiimid 1, 2

Fraktsioon	Režiim 1 osakaalud, %	Režiim 2 osakaalud, %
0/4	37	37
4/8	16	0
4/16	0	47
8/16	31	0
16/32	17	17
32/63	0	0

Purusti	Ava, mm	Kiirus/Löök	Täituvus, %
I astme lõug	100	-	80
II astme koonus	44	32 mm	106
III astme haamer	30	36 m/s	95
Sõeltekomplekt	1 Tekk, mm	2 Tekk, mm	3 Tekk, mm
	36	25	19
	9	5	-

Tabel 21. 3. Purustussõlme režiimid 3, 4

Fraktsioon	Režiim 3 osakaalud, %	Režiim 4 osakaalud, %	
0/4	36	36	
4/8	15	0	
4/16	0	36	
8/16	21	0	
16/32	15	15	
32/63	14	14	
Purusti	Ava, mm	Kiirus/Löök	Täituvus, %
I astme lõug	100	-	80
II astme koonus	45	32 mm	104
III astme haamer	20	36 m/s	81
Sõeltekomplekt	1 Tekk, mm	2 Tekk, mm	3 Tekk, mm
	70	36	18
	9	5	-

8.3 Tootmisrežiimide kasutus kuu lõikes

Eelnevalt on koostatud iga purustussõlme kohta 4 optimaalset režiimi tootmaks kombineeritult kõiki põhifraktsioone kallutatult fraktsioonide 4/8 ja 4/16 poole, kuna nende näol on tegemist kõige kasumlikema fraktsioonidega. On selge, et kuu lõikes ei saa kasutada vaid ühte režiimi, sest sellisel juhul ei ole võimalik toota kõiki fraktsioone. Antud optimeerimisel arvestatakse ühe kuu lõikes kahe režiimi vahetusega. Olgu üks neist kuu alguses ja teine vastavalt 1/3, 1/2 või 2/3 kuu möödudes. Sellisel juhul on igas kuus kaks režiimi vahetust. Põhjus kaheks režiimi vahetuseks on esiteks vahetuse ajakulu st tootmise samaaegse seisakut ja teiseks rohkemate vahetuste puhul muutub režiimide kombinatsioonide arv liiga suureks ja seda on keeruline hallata. Kuu ajaline jaotus vastavalt 1/3, 1/2 ja 2/3 on põhjusel, et selliste jaotustega on võimalik leida piisavalt optimaalne variant tootmaiks kõiki fraktsioone ning keerulisem ajaline jaotus tähendaks kombinatsioonide liiga suurt hulka, mida on keeruline hallata.

Koostatud on [Exceli tabelite süsteem](#), mille eesmärk on arvutada välja planeeritud põhifraktsioonide müügi põhjal optimaalsed tootmise režiimid iga kuu kohta eraldi. Esmalt sisestatakse planeeritud müüginumbrid kuude lõikes tabelisse.

Tabel 22. Müük 2013-2015 kuude kaupa

Frakts.	jaanuar	vebruar	märts	aprill	mai	juuni
0-4mm	4118	3577	5954	13179	20767	14895
4-16 mm	3654	5066	2790	5656	9225	10484
16-32 mm	1300	1300	1523	5252	7522	6667
8-16 mm	3908	1711	2711	3175	3969	4409
32-63 mm	10309	4617	1172	1065	1655	3912
4-8 mm	559	715	452	981	3462	2574
kokku	23848	16986	14603	29309	46600	42942

jul	aug	sep	okt	nov	dets	Kokku, t	osakaal, %
23432	22970	19030	21040	13233	5908	168102	38,4
12736	10850	11622	11462	8566	4776	96886	22,1
10644	7071	7050	5744	3816	1190	59078	13,5
5591	3391	3167	3480	3918	5533	44964	10,3
7467	1580	6334	3139	1910	3137	46297	10,6
3666	2335	2701	2178	1663	943	22231	5,1
63536	48196	49904	47043	33105	21487	437558	88,4

Sejärel koostab Excel automaatselt tabeli fraktsioonide müügi osakaalud protsentidena. Süsteemis on olemas kõikide purustussõlmede ja nende režiimide kirjeldus. Tootmisrežiime käsitletakse eraldi iga purustussõlme puhul kuna režiimide vahetustel ei ole otstarbekas mitu korda koos purusteid välja vahetada. Lisaks on koostatud kõigi 4 režiimi omavahelised kombinatsioonid mida on kokku 10. Järgnevalt on välja toodud kõikide purustussõlmede režiimide kombinatsioonide tabelid ning nende keskmised lõppfraktsioonide tootmise osakaalude protsendid purustussõlme sisendmaterjalist.

Tabel 23. 2. Purustussõlme režiimide kombinatsioonid

Frakts	1/1	1/2	1/3	1/4	2/2	2/3	2/4	3/3	3/4	4/4
0/4	36%	36%	36%	36%	36%	36%	36%	35%	35%	35%
4/8	16%	8%	16%	8%	0%	8%	0%	15%	8%	0%
8/16	33%	17%	30%	17%	0%	13%	0%	26%	13%	0%
4/16	0%	25%	0%	21%	49%	25%	45%	0%	21%	41%
16/32	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	14%	14%	14%
32/63	0%	0%	5%	5%	0%	5%	5%	10%	10%	10%
kokku	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

Tabel 24. 3. Purustussõlme režiimide kombinatsioonid

Frakts	1/1	1/2	1/3	1/4	2/2	2/3	2/4	3/3	3/4	4/4
0/4	36%	36%	36%	36%	36%	36%	36%	35%	35%	35%
4/8	16%	8%	16%	8%	0%	8%	0%	15%	8%	0%
8/16	31%	16%	26%	16%	0%	11%	0%	21%	11%	0%
4/16	0%	24%	0%	21%	47%	24%	44%	0%	21%	41%
16/32	17%	17%	16%	16%	17%	16%	16%	15%	15%	14%
32/63	0%	0%	7%	5%	0%	7%	5%	14%	12%	10%
kokku	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

Tabel 25. 1. Purustussõlme režiimide kombinatsioonid

Frakts	1/1	1/2	1/3	1/4	2/2	2/3	2/4	3/3	3/4	4/4
0/4	38%	38%	37%	37%	38%	37%	37%	35%	35%	35%
4/8	16%	8%	14%	8%	0%	6%	0%	11%	6%	0%
8/16	31%	16%	29%	16%	0%	13%	0%	26%	13%	0%
4/16	0%	24%	0%	19%	47%	24%	42%	0%	19%	37%
16/32	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	14%	14%	14%
32/63	0%	0%	7%	7%	0%	7%	7%	14%	14%	14%
kokku	100 %	100 %	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100 %

Nende tabelite ja planeeritava fraktsioonide müügi põhjal simuleerib Excel kuude lõikes kõik tootmise variandid läbi ning võrdleb neid planeeritava müügi protsentidega. Tootmisrežiim, mis on kõige väiksema protsendilise erinevusega planeeritavast müügist lisatakse optimaalse režiimi tulemuste tabelisse. Tabelis on on kõik purustussõlme variandid ning nende leitud optimaalsed tootmisrežiimid kuude

lõikes. Vasakul on purustussõlme numbrid ning kasutatud režiimid on märgitud sidekriipsuga ning ajaline vahetus märgitud kaldkriipsuga. Arvestatud on, et esimene režiimi vahetus on kuu alguses ja teine kaldkriipsuga märgitud aja möödudes kuust.

Tabel 26. Purussõlmed ning optimaalsed režiimide kombinatsioonid

	jan	veb	mär	apr	mai	jun	juuli
2	Režiim 3-4, 2/3	Režiim 3-4, 1/3	Režiim 1-4, 1/2	Režiim 1-4, 1/2	Režiim 1-4, 1/2	Režiim 2-3, 1/2	Režiim 3-4, 1/2
3	Režiim 3-4, 2/3	Režiim 3-4, 1/3	Režiim 1-4, 1/2	Režiim 1-4, 1/2	Režiim 1-4, 1/2	Režiim 2-3, 1/2	Režiim 3-4, 1/2
1	Režiim 3-4, 1/2	Režiim 3-4, 1/3	Režiim 1-4, 1/2	Režiim 2-3, 1/2	Režiim 1-4, 1/2	Režiim 1-4, 1/3	Režiim 3-4, 1/2

	aug	sept	okt	nov	detsember
2	Režiim 2-3, 1/2	Režiim 3-4, 1/3	Režiim 1-4, 1/3	Režiim 1-4, 1/3	Režiim 3-4, 1/2
3	Režiim 2-3, 1/2	Režiim 3-4, 1/3	Režiim 1-4, 1/3	Režiim 1-4, 1/3	Režiim 3-4, 1/2
1	Režiim 2-3, 1/2	Režiim 1-4, 1/3	Režiim 1-4, 1/3	Režiim 2-3, 1/2	Režiim 3-4, 1/2

9 Järeldused

Antud optimeerimise käigus selgus, et võttes arvesse keskmist müüki aastatel 2013-2015 on selle saavutamiseks kõige parem purustussõlm number üks, mis koosneb I astme lõugpurustist, II ja III astme koonuspurustitest. See oli ka mõneti aimatav kuna karjäär müüs nendel aastatel oma toodangut, mis oligi purustatud purustussõlmega number 1. Teisalt see kinnitab, et Exceli tabelite süsteem toimib ja tabeli poolt leitud režiimid annavad kõige ligilähedasema tulemuse ette antud müüginumbritele.

Kui aga müügitabelisse sisestada tulevikku planeeritav müük, siis tabelite süsteemi saab väga edukalt kasutada, et leida esiteks sobiv purustussõlm kolme valiku hulgast ja seejärel sobivad režiimid kuude lõikes. Loomulikult on lähteandmeid, mida antud tabelite süsteem ei arvesta, kuid tulemust saab võtta aluseks sõlme komplekteerimisel ja simulatsioonide tegemisel. Pannes näiteks juuni kuusse müüginumbrid selliselt, et kõige suurema osakaaluga on fraktsioonid 4/8 ja 4/16, siis Excel näitab, et lähim tulemus saavutatakse purustussõlmega number 2, kus on II astme haamerpurusti ja III astme koonuspurusti ning režiimidega 2 ja 3 suhtega 2/3. Manuaalselt üle kontrollides selgub, et valitud režiimide puhul ongi fraktsioonide 4/8 ja 4/16 tootmine kõige suurema osakaaluga. Selliselt saab tabelite süsteemi kasutada ja selle usaldusväärtus kontrollida.

Töö tulemusi saab täpsustada, kui jagada kuu täpsemateks perioodideks ja tõsta režiimide vahetuste maksimaalset arvu. See omakorda jätab rohkem ruumi muuta purustussõlme purustite seadmeid ja lõpptoodangute osakaalusid, kuna täpsemate kuu perioodidega võib osutada efektiivseks toota mingi periood näiteks ainult kahte fraktsiooni korraga. See omakorda võib tähendada väiksemat sõelmete teket kuna olenevalt fraktsioonidest toimub reaalselt purustamist vähem. Selline täpsem jaotus võib olla aluseks leida ideaalile lähemaid lahendusi killustiku tootmiseks vastavalt planeeritud müügile. Antud töös otsustati piirata lähteandmete kogust arvestades bakalaureuse töö ette nähtud mahtu.

Alternatiivpurustite tootmisrežiime Brunoga simuleerides selgus, et sõelmete teke võrreldes koonuspurustitega, ei ole olulisel määral suurem. Vaadates tootmise osakaalu (Tabel 23, Tabel 24), siis haamerpurustite kasutamisel on sõelmete teke võrdne ja kohati madalam kui koonuspurustitel. Kasutades Bruno simulaatoris madalaimat haamerpurusti rootori pöörlemiskiirust, milleks on 36 m/s, siis saab sõelmete tekke seada minimaalsele tasemele. Arvestades seda, et purustussõlme esialgsel koostamisel oli üks lähtepunktidest sõelmete minimaalne teke, siis oleks pidanud simulatsioonide põhjal kasutama vähemalt ühe purustina haamerpurustit. Lisaks sellele on haamerpurusti töökindlam, odavam soetada ja toodab ühtlasemat tükikuju. Tasub lisada, et antud katsed tehti simulatsiooni programmis, seega reaalsed tulemused võivad erineda. Brunot kasutatakse karjääri killustiku tootmist planeerides ning kogemus näitab, et simulatsioonid on üsna täpsed lõpptoodangu protsentide prognoosi osas.

Kõikide lattu kogunenud fraktsioonidega on võimalik toota erinevaid ridakillustikke ehk pikkasid segusid. Seetõttu, ei pea purustussõlme oluliselt ümber seadistama pikkade fraktsioonide tootmiseks vaid neid saab kokku segada vastavatest laoülejääkidest ning protsess ise on võrdlemisi lihtne ning automatiseeritud. Selle kaudu saab ladu optimeerida.

Kahe kalluriga materjali transportimisel purustussõlme peab veokaugus olema alla 700 m, et tagada planeeritud tootlikkus 350 t/h. Tasub lisada, et purusti planeeritavat tootlikkust arvestades on maksimaalne efektiivne veokaugus kahe kalluriga 1000 m aga kui arvestada laadimisaegasid ning seisakute võimalikku teket, siis kujuneb välja maksimaalne soovituslik veokaugus 700 m.

10 Kokkuvõte

Käesoleva töö eesmärk oli optimeerida AS Kunda Nordic Tsemendi Aru-lõuna karjääri lubjakivikillustiku tootmist, ning vajadusel pakkuda alternatiivseid ja efektiivsemaid tootmisviise ning tehnikat. Töö aluseks võeti lubjakivikillustiku müük aastatel 2013 kuni 2015 ning täpsem eesmärk oli optimeerida ja seadistada olemasolevat purustussõlme selliselt, et tootmine oleks võimalikult lähedal nendel aastatel olnud keskmise müügiga.

Lisaks sellele loodi ka tabelite süsteem, mis võimaldab leida optimaalse tootmise ka planeeritava müügi tarbeks. See on tähtis olukorras, kus planeeritud müük ja turunõudlus muutub ning tootmist on vaja lühikese ajaga ümber seada. Purustussõlmede võrdlemiseks näidati ka programmiga Bruno simuleeritud alternatiivpurustussõlmi, kus kasutatakse teistlaadi purusteid.

Aastatel 2013 kuni 2015 tehtud müügi jaoks sobib kõige paremini olemasolev purustussõlm, kus on kasutusel I astme lõugpurusti ning II ja III astme koonuspurustid. Antud töös ja sõlme optimeerimisel jaotati purustussõlme seadistused ehk režiimid 4 erinevaks variandiks ja nende variantide kasutamist ühes kuus kolmeks osaks. Kõige suurema tootlikkusega kuude, mai juuni, juuli, august, september, oktoober, puhul olid parimad režiimide kombinatsioonid 1/4 ning 2/3.

Arvestades, et ideaalselt oleks vaja kõige rohkem toota kalleid fraktsioone 4/8 ja 4/16 selgub, et kasutades alternatiivset purustussõlme number 3, kus III astme purustiks on haamerpurusti, on simulatsioonide tulemus Brunos kõige parem. See tähendab, et fraktsioone 4/8 ja 4/16 tekib kõige rohkem. Tasub pidada ka meeles, et tegu on simulatsioonidega ning tegelikud katsetuste tulemused võivad erineda.

Lisaks selle tehti läbi segusõlme simulatsioon põhifraktsioonide tootmise ülejääkidega, et toota pikki fraktsioone ehk ridakillustikku ning seeläbi optimeerida laojääke.

Tudengi poolt vaadatuna andis käesolev töö väga põhjaliku sissevaate lubjakivi killustiku tootmisesse ning aitas olulisel määral mõista mitte ainult selle valdkonna mäetöid vaid ka ettevõtlikku poolt. On kiiduväärt, et 3 aastasel kursusel õpitu sai antud töö raames väga praktilise ja kursuse aineid kokku liitva tervikliku lõpu.

11 Kasutatud kirjandus

1. Aru-lõuna lubjakivikarjääri kaevandamise projekt. OÜ Mäemees, Tõnis Kattel, Tallinn 2011 a.
2. Ülevaade tsemenditoorme levikust Kunda ümbruses. OÜ Eesti Geoloogiakeskus, R. Sinisalu, Tallinn 2004 a.
3. Lõuna-Aru lubjakivikarjääri puur-lõhketööde tehniline projekt. Lõhketööd OÜ, Lembit Eigo, Tallin 2008 a.
4. AS Kunda Nordic Tsemendi lubjakivi toodete kirjeldus <http://www.knc.ee/et>
5. Killustiku klasside kirjeldused <http://www.eestikillustik.ee/tootekirjeldused>
6. Lõugpurusti joonis https://lh3.googleusercontent.com/-pdbuVGEACF8/VLDjwbBdYCI/AAAAAAAAAKA/bjDgi4rQb5o/w1024-h775/jaw-crusher-%252841%2529_30.gif
7. Rootorpurusti joonis <http://ardra.biz/wp-content/uploads/2011/11/Gyratory-Crusher.jpg>
8. Crushing and screening handbook (purustamise ja sõelumise käsiraamat). Metso, K. Viilo, Tampere 2011 a.
9. Koonus-ja rootorpurustid <https://www.911metallurgist.com/blog/>
10. Koonuspurusti joonis <http://www.engineeringintro.com/wp-content/uploads/2012/08/cone-crusher.jpg>
11. Haamerpurusti joonis <http://www.engineeringintro.com/wp-content/uploads/2012/08/impact-crusher-description.gif>
12. AS Kunda Nordic Tsement – Aru-lõuna lubjakivikarjääri purustussõlme skeem, A. Aamer.