



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND
Virumaa kolledž

Purustus- ja sorteerimiskompleksi toodete protsesside optimeerimine

Optimization of crushing and screening complex operation

MASINAEHITUS- JA ENERGIATEHNOLOOGIA PROTSESSIDE JUHTIMISE
ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Tatiyana Rul

Üliõpilaskood: 178494EDJR

Juhendaja: Tatjana Baraškova,
vanemlektor

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.

"...." 20.....

Autor:
/ digiallkiri /

Töö vastab rakenduskõrgharidusõppe lõputööle/magistritööle esitatud nõuetele
"...." 20.....

Juhendaja:
/ digiallkiri /

Kaitsmisele lubatud
"...." 20.....

Kaitsmiskomisjoni esimees
/ nimi ja digiallkiri /

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS

Mina Tatiyana Rul (sünnikuupäev: 02.01.1998)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Purustus- ja sorteerimiskompleksi toodete protsesside optimeerimine, mille juhendaja on Tatjana Baraškova,
 - 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

TalTech Inseneriteaduskond Virumaa kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Tatiyana Rul, 178494EDJR

Õppekava, peeriala: EDJR16/17, Masinaehitustehnoloogia

Juhendaja: vanemlektor, Tatjana Baraškova, tatjana.baraskova@taltech.ee

Kaasjuhendaja: Jevgeni Demjanenko, allmaajaoskonna mehaanik II,

Enefit Solutions AS, +372 53482725, Jevgeni.Demjanenko@energia.ee

Lõputöö teema:

Purustus- ja sorteerimiskompleksi toodete protsesside optimeerimine

Optimization of crushing and screening complex operation

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Traditsiooniliste ja kaasaegsete optimeerimise meetodite rakendamine ning matlabi rakendustarkvara kasutamine
2. Praktilise optimeerimise probleemi lahendamine
3. Rekonstrueerimise võimalike variantide analüüs

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Töö teema valik	15.07.2020
2.	Andmete koostamine	05.08.2020
3.	Tehnoloogia protsessi diagrammi ülesehitamine	05.09.2020
4.	Probleemi lahendamine	01.01.2021
5.	Tulemuste hinnang ja kompleksi rekonstrueerimise varianti esitamine	01.04.2021
6.	Lõputöö vormistamine ja esitamine	10.05.2021

Töö keel: eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: "03"juuni 2021a

Üliõpilane: Tatiyana Rul /

"25"mai 2021a

/digiallkiri/

Juhendaja: Tatjana Baraškova /

"25"mai 2021a

/digiallkiri/

Kaasjuhendaja: Jevgeni Demjanenko /
/digiallkiri/

“.....” 20.....a

Programmijuht: Veroonika Shirokova /
/digiallkiri/

“.....” 20.....a

SISUKORD

EESSÕNA	7
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	8
SISSEJUHATUS	9
1. KILLUSTIKU OLEMASOLEVA TEHNOLOOGILISE PROTSESSI KIRJELDUS.....	10
1.1 Peamised tehnoloogilised seadmed	10
1.2 Tehnoloogiline protsess	10
1.3 Killustikukompleksi töö järjestus kaevanduse Estonia töötlemisettevõttes.....	11
1.4 Olemasoleva killustikukompleksi puudused	11
2 KASUTATUD SEADMETE TEHNILISED ANDMED.....	12
2.1 Purustusseadmed	12
2.2 Sõelurid ja sõelad.....	13
2.3 Transportimise seadmed	14
3 TOORAINE KILLUSTIKU JA SELLE FRAKTSIOONI TOOTMISEKS	14
3.1 Lubjakivi üldised omadused	15
3.2 Peamised killustiku fraktsioonid.....	15
4 KASUTATUD PROGRAMMID	15
4.1 Excel	15
4.2 Matlab	16
5 PURUSTUS- JA SORTEERIMISKOMPLEKSI TÖÖ ANALÜÜS.....	16
5.1 Andmete valimine ja võrrandite kirjutamine.....	16
5.2 Pareto optimeerimise teoreetiline osa	20
5.3 Optimeerimine	20
6 TOODANGUPROTSESSI OPTIMEERIMINE	22
KOKKUVÕTE	25
SUMMARY.....	26
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	28
LISAD	29

EESSÕNA

Lõputöö teema on seotud purustus- ja sorteerimiskompleksi tööga. Töö koostati Jevgeni Demjanenko juhendamisel Estonia kaevanduses. Põhilised algandmed koguti vabrikus, mis asub Estonia kaevanduses.

Ettevõtte on saanud mitmeid variante erinevatelt ettevõtetelt, kuidas võib tootlikkust tõsta, kui vahetada välja kõik seadmed, mis paiknevad killustikukompleksis olevas rikastusvabrikus. Juhtkond otsustas, et see on väga kallis ja ei tasu ära kogu varustuse maksumust. Seetõttu teeb lõputöö autor ettepaneku teha kompleksi optimeerimine ja mõista, milles probleem seisneb ning leida optimaalne lahendus.

Töö autor soovib tänada vabriku juhtkonda, kes aitasid leida kogu vajaliku teabe ja lõputöö juhendajat Tatjana Baraškovat toetuse eest.

Võtmesõnad: optimeerimine, lubjakivi, kilustik, sõelur, diplomitöö.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

LSS – Lean Six Sigma

SISSEJUHATUS

Iga aastaga on aina rohkem näha, kuidas Eestis laieneb teede ehitus ja remont. Seetõttu kasutavad ettevõtted rohkem erinevaid materjale teetööde tegemisel. Paljud Eesti ehitusettevõtted, kes on seotud teede ehituse ja remondiga, kasutavad oma töös killustikku. Eestis on levinud lubjakillustik. Ettevõtetel on tänapäeval turul väga keeruline nõudlust säilitada. Turul püsimiseks, püüavad ettevõtted oma ressursse maksimaalselt efektiivselt ära kasutada. Konkurentsivõime püsimeseks peab ettevõtte pidevalt arenema.

Eesti Energia on rahvusvaheline energiaettevõtte. Ettevõtte kuulub Eesti riigile. Ettevõttel on mitmeid energialahendusi, alates elektri, soojuse ja kütuse tootmisest kuni uudsete müügi, klienditeeninduse ja energiaga seotud lisateenusteni. Selline teenuste mitmekesisus muudab toodete tõhususe eriti tähtsaks. Estonia kaevandus on üks peamisi põlevkivi tootjad. Põlevkivi rikastamine toimub samuti Estonia kaevanduse territooriumil asuvas tehases. [1]

Tootmise efektiivsuse tõus sõltub olemasolevate tehnoloogiate arengust või tingimustele kõige paremini sobivate uute tehnoloogiate rakendamisest. Iga tootmisprotsessi tulemusnäitajad näitavad tõusutendetsi, mis näitab ka keskkonnamõju näitajate langust. Tootmise võimalikult tõhusaks toimimiseks on vaja arendada ka tootmisprotsessi tervikuna. Sellele aitab kaasa kulusäästliku tootmise integreeritud kontseptsioon LSS, mis on moodustatud kadude vähendamiseks ja protsesside ülesehitamiseks.

Lõputöö eesmärk on aidata kaasa killustikukompleksi tehnoloogilise skeemi täiustamisele, optimeerides killustikukompleksi protsessi Estonia kaevanduses. Uuritud oli kogu killustikukompleksi varustus. Välja toodud võimalikud muudatused seadmetes, samuti on tehtud ka ettepanekud seadmete väljavahetamiseks.

Töö esimeses osas kirjeldatakse killustiku tootmise tehnoloogilist protsessi Estonia kaevanduses, millistest seadmetest killustikukompleks koosneb. Töö teises osas kirjeldatakse killustikukompleksi tootmises kasutatavate seadmete tehnilisi omadusi. Töö kolmandas osas kirjeldatakse seda, millisest materjalist on killustik valmistatud ja selle tehnilisi omadusi. Töö neljandas osas on kirjeldatud, millised programmid olid kasutatud arvutamiseks ja optimeerimiseks. Töö viiendas ja kuuendas osas tehakse andmete analüüs ja protsessi optimeerimine.

1. KILLUSTIKU OLEMASOLEVA TEHNOLOOGILISE PROTSESSI KIRJELDUS

Materjalina killustiku tootmiseks kasutatakse rikastusjäätmel. Rikastusjäätmel on kivim, mis koosneb lubjakivist ning lubjakivi ja põlevkivi pleissidest. Tavaliselt killustiku tootmiseks kasutatakse kivimite klass 125-300 mm. Põhitootmine ei sõltu killustiku tootmisest. Vabriku töötamise ajal killustikukompleksi laadimine kivimiga on tagatud.

Killustikukompleks koosneb järmistest põhikomponentidest:

- Sööturid;
- Lintkonveierid;
- Rootorpurusid;
- Vibrosõelurid (horisontaalsed ja kaldu).

1.1 Peamised tehnoloogilised seadmed

Tabelis 1.1 on toodud peamised seadmed.

Seadme nimetus	Tüüp
Söötur	PK- 1,2-12
Lintkonveier	B= 650-1000 mm L=14-800 m
Rootorpurusti	NP 1315
Vibrosõelur	FS 402
Vibrosõelur	FS 403
Vibrosõelur	CVB 2060

Tabel 1.1 Seadmed

1.2 Tehnoloogiline protsess

Killustiku tootmise tehnoloogiline protsess koostatakse lihtsustatud tehnoloogilises skeemis ja esitatakse Lisa 1.

Killustik saadakse kivimite purustamisel ja seejärel on purustustoodete sõelumine. Purustamine teostatakse puruste abil. Purustitooded sõelutakse vibrosõeluril, kalibreeritute aukudega sõeladel, seetõttu eraldatud väike toode sisaldab teatud

suurusega teri, mis vastab sõelumispinna aukude suurusele. Seda tehnoloogiat kasutatakse killustiku eraldamiseks erinevad suurusega toodeteks, mis nimetatakse killustiku klassideks.

1.3 Killustikukompleksi töö järjestus kaevanduse Estonia töötlemisettevõttes

Põlevkivikompleksis olevatelt sõeladelt pestud kivim PK-1,2-12 sööturite juurde ja pannakse konveierile. Kivim transporditakse purustisse NP1315 purustamise esimesse etappi. Klassist 0-100 mm purustatud materjal transporditakse konveieriga FS403 sõelurile, mille klassi 0-100 mm sõelumine viiakse läbi sõelal, mille võrgusilma suurus on 12x12 mm. Sõelurilt klass 10-100 mm suunatakse purustesse NP1315 purustamise teise etappi. Purustatud materjalide klass 0-50 mm transporditakse sõelurile FS403, kus tehakse sõelumine klassist 0-4 mm. Kui 4-16 mm klassi killustiku järele pole nõudlust, siis selles sõelumise etapis tehakse 0-16 mm klassi sõelumisi. Mõlemad väljandamisklassid 0-10 mm ja 0-4 (16) mm transporditakse konveierilintidega peamisesse kivikonveierisse või saab ühendada energiakilda kaubandusliku põlevkivikonveieriga. Klass 4-63 mm sõelurilt transporditakse sõelurile FS402, kus toimub 4-16 mm klassi sõelumine. Konveieriga 4-16 mm klassi transporditakse killustiku lattu. Kivim, mille klass on üle 70 mm suunatakse tagasi uuesti purustamiseks NP1315 purustile. Klass 16-63 mm transporditakse konveierite abil CVB2060 sõelurile, kahe klassi jagamiseks: 16-63 mm ja 32-63 mm. Klass 16-32 mm transporditakse konveieriga killustiku lattu. Klass 32-63 mm võib transportida killustiku lattu või suure nõudluse puudumisel teise etappi. Tavaliselt transporditakse 0-4 mm klass konveieritega kohe purustatud kivilattu sõeludena.

1.4 Olemasoleva killustikukompleksi puudused

Estonia kaevanduse töötlemisettevõtte killustikukompleks ehitati 2009. aastal. Kompleksi toimimisest on möödunud üsna mitu aastat ja selle aja jooksul turul on ilmunud uuemad seadmete mudelid, millel on kõrge jõudlus ja madal energiatarve. Ettevõttel on olemas paar ettepanekut firmadest, kuidas kogu killustikukompleksi paremaks muuta, kui vahetada kõik seadmed täielikult ja korruga, kuid see on kallis ja pole tasuvust.

Olemasoleva killustikukompleksi peamine puudus on selles, et killustiku tootmisel saadakse palju sõelumisi, nn lubjakivitolmu.

2 KASUTATUD SEADMETE TEHNILISED ANDMED

2.1 Purustusseadmed

Killustiku tootmise protsess algab purustamisest. Selleks, et killustik vastaks kvaliteedisertifikaadile, on vaja valima, mitu purustamise etappi see läbib. See on oluline, sest sellest sõltub kaubanduslik väärtus. Kvaliteedinäitajate põhjal on vaja 2 või 3 purustusetappi. Estonia töötlemistehases killustikukompleksis kasutatakse 2 purustusetappi, sest antud materjali jaoks piisab 2 purustusetappe ning see on ökonoomne otsus.

Estonia töötlemistehases killustikukompleksis on paigaldatud rootorpurustid Nordberg NP1315 firmast Metso.

Mudel	Laadimisava	Maksimaalne tükki mõõdud	Maksimaalne kiirus	Võimsus
NP1315	1540 x 930 mm	600 mm	700 rpm	250 kWh

Tabel 2.1 Tehnilised omadused

Maksimaalne tükki mõõdud 400 mm		Maksimaalne tükki mõõdud 200 mm	
Lõppsaadus 60 mm	Lõppsaadus 40 mm	Lõppsaadus 40 mm	Lõppsaadus 20 mm
350 t/h	250 t/h	350 t/h	250 t/h

Tabel 2.2 Purusti tootlus

Esitatud toimivuse väärtused kuuluvad materjalile tihedusega 1600 kg kuupmeetri kohta. Purusti on masinate keti varustus, seetõttu selle jõudlus osaliselt sõltub sööturitest, konveieritest, sõeluridest, elektrimootoritest, ajamiosade ja punkrite õigest valikust ja toimimisest. Üldmõõtmed ja kaugused (Lisa 2).

Purusti kokkupanek	Rootori kokkupanek	Rootori diameeter	Rootori laius
16130 kg	6370 kg	1300 mm	1500 mm

Tabel 2.3 Kaal ja mõõtmed

2.2 Sõelurid ja sõelad

Pärast purustamist parima suuruse jaotuse saavutamiseks läheb materjal sõelurile. Estonia töötlemistehases killustikukompleksis on paigaldatud vibreerivad sõelurid Nordberg seeria FS ja CVB firmast Metso. FS seeria sõelur on horisontaalne sõelur, mis on mõeldud rasketele töötingimustele. Selle seeria sõelurid töötavad suure vibratsioonikiirenduse tõttu, mis kergendab sõelumispindade puhastamist ja suurendab sõelumise efektiivsust. CVB seeria sõelur on kaldusõelur ühe võlliga. Killustikukompleksil on paigaldatud 2 horisontaalset sõelurit ja 1 kaldus sõelur.

Mudel	Mõõde (mm)	Sõelite arv, tk	Pind (m ²)	Vibratsioonimehhanism MV	Mass (kg)	Võimsus (kW)
FS 402	2400 x 6100	2	14.6	6 x MV2	9229	37
FS 403		3		6 x MV3	12218	45

Tabel 2.4 Tehnilised omadused FS



Joonis 2.1 Sõelur FS

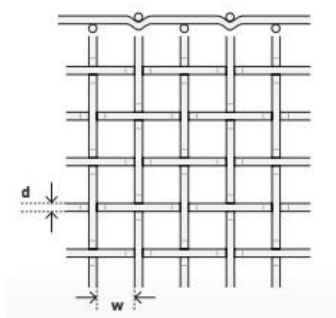
Mudel	Mõõde (mm)	Võimsus (kW)	Vibratsioonimehhanism MV	Kiirus (rpm)
CVB 2060	2000 x 6000	22	MV3	800-1000

Tabel 2.5 Tehnilised omadused CVB



Joonis 2.2 Sõelur CVB

Oluline on paigaldada sobivad sõelad. Sõela võrgusilma suurusest sõltub toote kvaliteet. Antud sõelurides kasutatakse ruudukujulised solmadega traatsõelad. Sõelumisala on metallisõelade kasutamisel suurem kui kummisõelte kasutamisel. Tootmises on oluline efektiivsus. Sõeluri enda efektiivsus on 70%, aga kui panna traatsõelad, siis efektiivsus on 95%. Pilt 3 näitab sõela skeemi ja mõõtmeid (d-võrgusilma diameeter 1,5-12,5 mm; w-võrgusilma suurus 5-120 mm).



Joonis 2.3

Viimane sõelur CVB2060 on kahe sõelaga, sest kui panna teise sõela ühe sõelaga, siis on suur tõenäosus, et soovitud fraktsioon jäetakse sõelale halvasti. Aga kui panna kahe sõelaga, siis suureneb efektiivsus ja lõpptoote kvaliteet.

2.3 Transportimise seadmed

Materjali transportimiseks ühest töötlemisetapist teisele kasutatakse erineva laiuse ja pikkusega lintkonveierid. Estonia töötlemistehases killustikukompleksis paigaldatud 13 lintkonveierit. Lindi laius on 650-1000 mm ja pikkus 14-800 m.

Selleks, et kivim saaks punkrist, lehitrest või muudest anumatest ühtlaselt välja tehnoloogilistes masinates või transpordivahendites kasutatakse söötüreid. Estonia töötlemistehases killustikukompleksis kasutatakse kiigesööturit PK-1,2-12.

3 TOORAINNE KILLUSTIKU JA SELLE FRAKTSIOONI TOOTMISEKS

Killustiku tootmiseks kasutatakse rikastamisjätmed, mis koosnevad peamiselt lubjakivist. Lubjakivi on sattekivim. Peamiselt see koosneb kaltsiididest. Materjali struktuur sisaldab ka muid mineraale, mis vähendavad poorsust ja suurendavad kõvandust.

3.1 Lubjakivi üldised omadused

Kivide omadused sõltuvad allikate päritolust ja materjali struktuurist.

Paksus, m	Keskmine tihedus, t/m^3	Tõmbetugevus, MPa	Survetugevus, MPa	Protodjakonovi tugevusarv
0,13	2,40	2,1	63	6

Tabel 3.1 Füüsilised omadused

Lubjakivi põhineb kaltsiumkarbonaadil $CaCO_3$. Ülejäänud on kvarts, päevakivi ja muud mineraalid. [2]

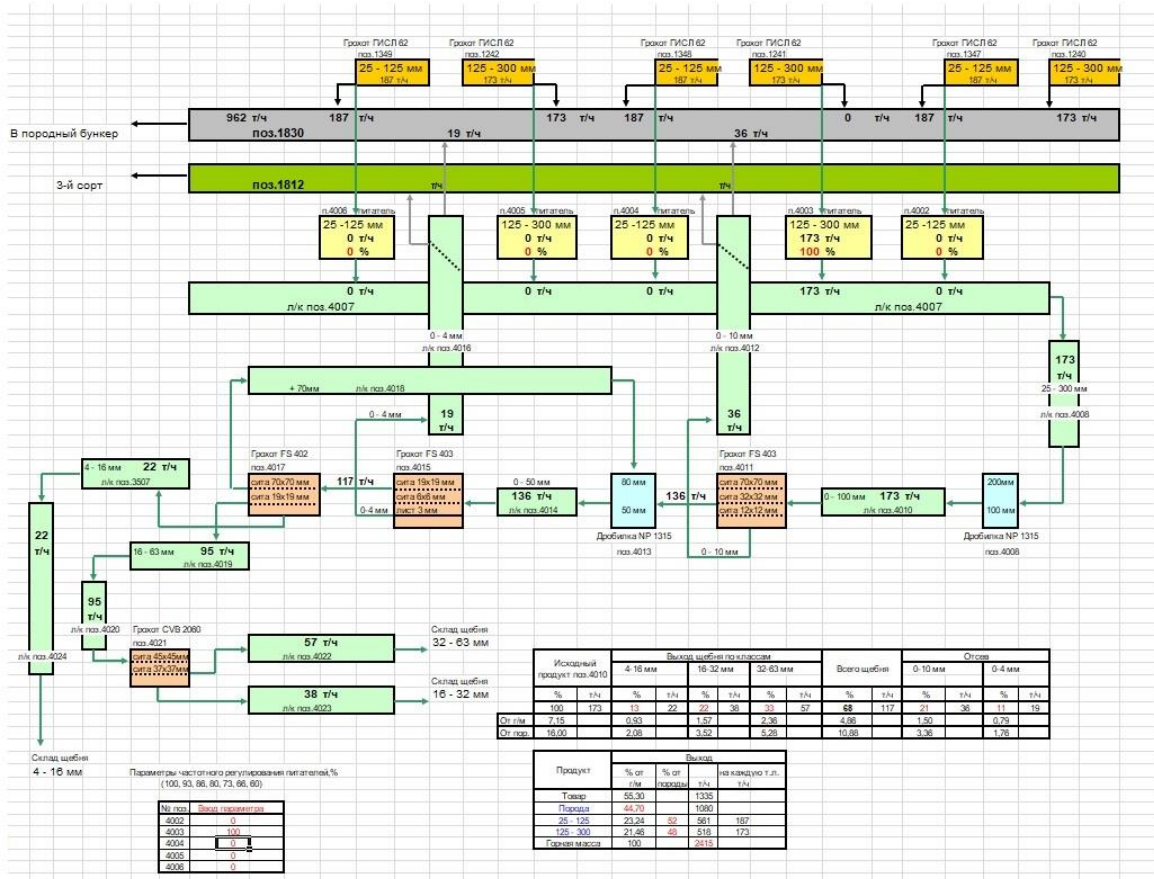
3.2 Peamised killustiku fraktsioonid

On olemas kolm peamist killustiku fraktsioone, mis müüakse tarbijale. Peenkillustik suurusega 4-16 mm sobib täitmaterjalina betooni ja asfaldi tootmiseks. Seda saab kasutada ka teekatte aluste, platside ja väljakute ehitamiseks. Keskmist killustikku suurusega 16-32 mm kasutatakse peamiselt teeehituses. Samuti ka hoonete ja ehitiste all drenaažiks ja vundamentideks. Jämedat killustikku suurusega 32-63 mm kasutatakse teealuste ehitamisel ning kohtades, kus on vaja suurt kandemisvõimet või on olemas niiskusevajumise oht.

4 KASUTATUD PROGRAMMID

4.1 Excel

Jõudluse analüüsimiseks kasutatakse Exceli. Programmis on loonud killustiku tootmise tehnoloogilise skeemi, kus on kirjutatud valemid kivi tootlikkuse arvutamiseks klasside kaupa. Tehnoloogiline skeem töötab. Sõltuvalt toote soovitud saagikusest saate määrata teatud andmed, mis vastavad soovitud tulemusele. Programmi tehnoloogiline skeem on koostatud täpselt sama mis on tootmises. Programm on varustatud samade seadmetega, mis on tootmises. Programmis on võimalik sisestada sööturite privaattjutimise parameetrid ja toote saagikuse parameetrid. Seega võib Exceli tehnoloogilise skeemi abil vaadata, milline on jõudlus, kui lülitada ühe sööturi välja või sisse, või vastupidi, milline on jõudlus, kui sisestada väljundis vajalikud parameetrid.



Joonis 4.1 Excel program

4.2 Matlab

Matriitside lahendamiseks ja protsesside optimeerimiseks kasutatakse tarkvara Matlab R2020b. See programm võimaldab vähendada probleemide lahendamise aega ja lihtsustab uute algoritmide väljatöötamist. Matlab on kogu MathWorksi toote selgroog. Autor kasutas seda programmi täpsemate optimeerimistulemuste saavutamiseks. [3]

5 PURUSTUS- JA SORTERIMISKOMPLEKSI TÖÖ ANALÜÜS

5.1 Andmete valimine ja võrrandite kirjutamine

Kõige olulisem tootmiskriteerium on efektiivsus. Selle eesmärgi saavutamiseks peate optimeerima kogu kompleksi. Andmete valimiseks autor kasutas Exceli programmi koos purustus- ja sorteerimiskompleksi aktiivse tehnoloogilise skeemiga. Pärast andmete valimist koostas autor esimese ja teise funktsiooni võrrandid. Funktsioon 1 on põlevkivi suur tootlikkus, funktsioon 2 on killustiku väike tootlikkus. Programmi abil autor muutis katsete koostamiseks sisendandmeid. Esimese funktsiooni jaoks autor tegi 5 katset iga seadme jaoks erineva sisendiga. Katsetes kirjutati lähteandmed,

andmete ülemine ja alumine piir. Andmed muutusid sõltuvalt katsest. Pärast katsetamist tehnoloogilise skeemi kohta autor koostas 5 võrrandit 4 tundmatuga. Võrrandite lahendamiseks autor kasutas MatLabi programmi. Autor tegi täpselt sama funktsiooni teise funktsiooni jaoks, tegi iga seadme jaoks ainult 4 katset, kus olid erinevad sisendid. Katsete läbiviimiseks autor kasutas lähteandmeid ja andmete ülemist piiri.

Funktsioon 1 – põlevkivi suur tootlikkus:

$$y_1 = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4$$

kus,

x_1 - mida vajatakse väljundis;

x_2 - keemiline koostisosa;

x_3 - kivimi suurus 25-125 mm;

x_4 - kivimi suurus 125-300 mm.

Faktor	Tundlikkus	x_1 (t/h)	x_2 (% kivimassist)	x_3 (% tõust)	x_4 (% tõust)
Baasnivoo	0	2410	44,7	52	48
Vananemissamm	Δx_i	10	1,7	1	1
Üleminepiir	1	2420	45,7	53	49
Aluminepiir	-1	2400	43,7	51	47

Tabel 5.1 Siseandmed

	const.	t/h	%	%	%	
Nº	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	int.
1	+	+	-	-	-	b1
2	+	-	+	-	-	b2
3	+	-	-	+	-	b3
4	+	-	-	-	+	b4
5	+	+	-	-	+	b1.b4

Tabel 5.2 Murdfaktoriaalne katseplaan

Nº	y_{i1}	y_{i2}	y_{i3}	\bar{y}_i
1	964	963	962	963
2	982	977	979	979,333
3	971	969	972	970,667
4	968	969	967	968
5	972	968	974	971,333

Tabel 5.3 Eksperimendi tulemused

$$1) 963 = b_0 + b_1 \cdot 2420 + b_2 \cdot 44,7 + b_3 \cdot 52 + b_4 \cdot 48$$

$$2) 979,333 = b_0 + b_1 \cdot 2410 + b_2 \cdot 45,7 + b_3 \cdot 52 + b_4 \cdot 48$$

$$3) 970,667 = b_0 + b_1 \cdot 2410 + b_2 \cdot 44,7 + b_3 \cdot 53 + b_4 \cdot 48$$

$$4) 968 = b_0 + b_1 \cdot 2410 + b_2 \cdot 44,7 + b_3 \cdot 52 + b_4 \cdot 49$$

$$5) 971,333 = b_0 + b_1 \cdot 2420 + b_2 \cdot 44,7 + b_3 \cdot 52 + b_4 \cdot 49$$

Pärast selle maatriksi lahendamist MatLabi programmis saadakse võrrand:

$$y_1 = -1.6946 \cdot 10^3 + 0.3333x_1 + 39.3320x_2 + 22x_3 + 16.6660x_4$$

Võrrandis võib näha, et suurim koefitsient on granuleeritud koosseisu lähedal, inimene ei saa seda tegurit kuidagi mõjutada, seega peate vaatama järgmist suurt koefitsienti, mis on lähedal kivitüki suurusele. Lähtudes asjaolust, et tükid sisenevad killustikukompleksi pärast põlevkivikompleksi, on vaja üksikasjalikumalt kaaluda põlevkivikompleksi viimast etappi. Exceli programmi tehnoloogiline skeem näitab, et viimane seade põlevkivikompleksis on sõelur ГИСЛ62.

Funktsioon 2 – killustiku väike tootlikkus:

$$y_2 = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3$$

где,

x_1 - kivimi suurus 4-16 mm;

x_2 - kivimi suurus 16-32 mm;

x_3 - kivimi suurus 32-63 mm.

Faktor	Tundlikkus	x_1 (%)	x_2 (%)	x_3 (%)
Baasnivoo	0	13	22	33
Vananemissamm	Δx_i	1	1	1
Üleminepiir	1	14	23	34
Aluminepiir	-1	12	21	32

Tabel 5.4 Siseandmed

	const.	t/h	%	%	
N ^o	x_0	x_1	x_2	x_3	int.
1	+	+	-	-	b1
2	+	-	+	-	b2
3	+	-	-	+	b3
4	+	+	-	+	b1.b3

Tabel 5.5 Murdfaktoriaalne katseplaan

N ^o	y_{i1}	y_{i2}	y_{i3}	\bar{y}_i
1	119	118	120	119
2	119	120	121	120
3	119	120	118	119
4	121	123	119	121

Tabel 5.6 Eksperimendi tulemused

$$1) 119 = b_0 + b_1 \cdot 14 + b_2 \cdot 22 + b_3 \cdot 33$$

$$2) 120 = b_0 + b_1 \cdot 13 + b_2 \cdot 23 + b_3 \cdot 33$$

$$3) 119 = b_0 + b_1 \cdot 13 + b_2 \cdot 22 + b_3 \cdot 34$$

$$4) 121 = b_0 + b_1 \cdot 14 + b_2 \cdot 22 + b_3 \cdot 34$$

Pärast selle maatriksi lahendamist MatLabi programmis saadakse võrrand:

$$y_2 = -41 + 2x_1 + 3x_2 + 2x_3$$

Võrrandist võib näha, et suurim koefitsient on suuruse 16-32 mm lähedal. Selle suurusega killustik saadakse pika sõelumise ja purustamise teel. See suurus saadakse ühel sõeluril erinevates astmetes.

Kuna lõputöö eesmärk on killustikukompleksi tootmisprotsessi optimeerimine, tuleb meeles pidada, et killustikukompleksi tööd mõjutab teine osa tootmisettevõttest, kuna prioriteediks on põlevkivikompleks. Lõputöös ei kajasta komplekse igapäevase töö vead, näiteks lubjakivitolmu. Komplekside töö sõltub peamiselt seadmetest, sellepärast autor seadis iga seadme jaoks katseid erinevate koormustega.

5.2 Pareto optimeerimise teoreetiline osa

Pareto efektiivsus või optimaalsus on süsteemi olek, kus ühtegi näitajat ei saa parandada ilma ühtegi teist näitajat halvendamata. See süsteemi olek on nimetatud itaalia inseneri ja ökonomisti Vilfredo Pareto järgi. Pareto kasutas seda meetodit kulutõhususe uuringutes ja tulude jaotamisel. Pareto piir on kõigi Pareto kasutegurite summa, mida nimetatakse Pareto Front või Pareto Set. Lisaks majandusteadusele Pareto efektiivsuse mõistet kasutatakse inseneerias ja bioloogias. Väidet, et ühte muutujat on võimatu täiustada ilma teisi muutujaid kahjustamata, kasutatakse multiobjektiivse optimeerimise raames, mida nimetatakse ka Pareto optimeerimiseks. Pareto piirid on parameetrite kogum, mis on Pareto jaoks tõhusad. Pareto piiride määramine on inseneritöös kasulik. Pareto piiri $P(Y)$ saab esitada funktsioonina $f: X \rightarrow R^m$, kus X on meetrises ruumis R^n teostatavate lahendite kogum, Y on lubatud kriteeriumivektorite kogum R^m , seetõttu $Y = \{y \in R^m : y = f(x), x \in X\}$. Eeldatakse, et kriteeriumiväärtuste eelistatud suunad on teada. Punkti $y'' \in R^m$ eelistatakse teise punkti $y' \in R^m$ asemel ja see kirjutatakse $y'' > y'$. Seega on Pareto piir kirjutatud järgmiselt: $P(Y) = \{y' \in Y : \{y'' \in Y : y'' > y', y' \neq y''\} = \emptyset\}$. [4]

5.3 Optimeerimine

Killustikukompleksi tootmisprotsessi optimeerimine viidi läbi programmis MatLab. Selle probleemi lahendamiseks kasutab autor Pareto Fronti for two objectives. See on mitmeotstarbeline optimeerimine, millel on kaks eesmärki. Optimeerimine saavutatakse kui eemaldatakse mõlemast võrrandist kaks komponenti, mis näitajat eriti ei mõjuta. Funktsioonid on kirjutatud järgmiselt:

$$y_1 = 39.320x_1 + 22x_2$$

$$y_2 = 3x_1 + 2x_2$$

Pildil on toodud optimeerimise etapid. Tuleb välja üks punkt, millel on oma koordinaadid, näidates sõeluride võimsust. Matlabi programmis oli tehti palju optimeerimiskatseid, misjärel valiti lõplik lahendus.

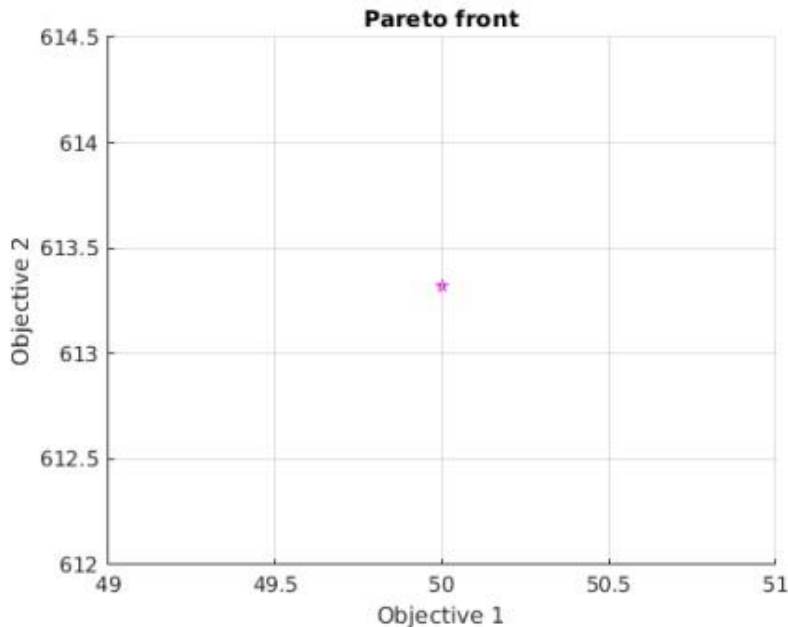
```

% Set nondefault solver options
options3 = optimoptions('gamultiobj','ParetoFraction',0.8,'PopulationSize',60,...
    'PlotFcn','gaplotpareto');

% Solve
[solution,objectiveValue] = gamultiobj(@mymulti,nvar,[],[],[],[],lb,ub,[],...
    options3);

```

Optimization terminated: average change in the spread of Pareto solutions less than options.FunctionTolerance



```

% Clear variables
clearvars options3

```

```

nvar = 2;
lb = [10 15];
ub = [20 10];

```

```

function F = mymulti(x)
F(2) = 39.3320*x(1) + 22*x(2);
F(1) = 3*x(1) + 2*x(2);
end

```

Joonis 5.1

Kõigi arvutuste põhjal on näha, et parim lahendus tootmisprotsessi parandamiseks oleks sõeluri asendamine, mis asub tehnoloogilise protsessi lõpus põlevkivikompleksis, mis toidab kivi sööturirele. Kuna sõelur on seal olnud pikka aega ja see on pärit Venemaa tootjalt, siis on raske leida sõeluri, mis koos teiste kildavarustudega hästi töökas. Töö autor saab pakkuda vaid killustikukompleksi seadmetega hästi töötavat lahendust, kuna lõputöös kaaluti just seda tehase tootmisprotsessi osa.

Eeltoodust lähtudes saab sõeluri asendada mõne muu Metso sõeluriga, sest kogu killustiku purustamise ja sõelumise kompleksi seadmed on Metso firma kasutuses.

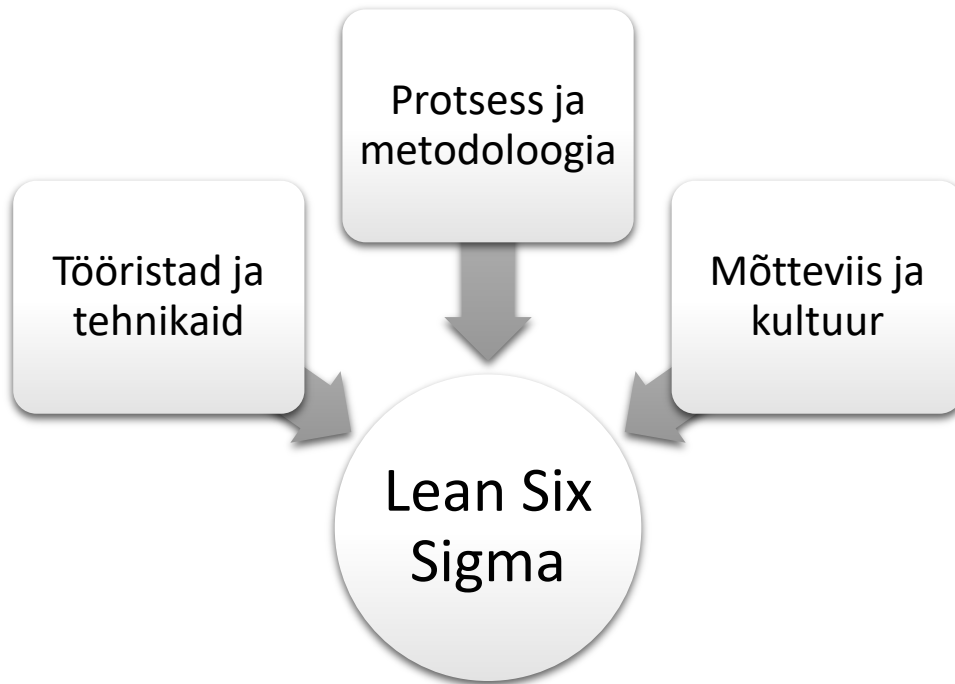
Autori arvamusel peaks killustikukompleksi tootmisprotsessi parandamiseks sobima sõelur ES seeria Metso firmast. See on horisontaalne sõelur, mis on väga tõhus ja täpne. Hästi sobib järelpidevuseks. Sõelur on reguleeritav võimsuse ja tootlikkuse suurendamiseks. Sõelur ES kasutatakse tavaliselt lõpptoote valmistamiseks. Sõelur eraldab materjalid järelpidevalt ja täpselt ka niisketes ja kleepuvates oludes. Suure energiaga elliptiline liikumine annab 25% suurema läbilaskevõime kui tavaline sama suur sõelur. Sõeluri nurka saab reguleerida vahemikus 0° kuni 10° võimsuse suurendamiseks. [5]

Oluline tegur on ohutus ja teenindus. See sõelur on projekteeritud nii, et remondiks oleks vaba juurdepääs. Sõelte vahel on piisavalt ruumi, et sõelu ohutult ja kiiresti vahetada. Sõelur ES on projekteeritud nii, et seiskamine ja hooldus võtsid vähem aega, kuna puudub hammasratas, rihm ja õlilekked.

Kõigest eelnevast autor järeltab, et sellest seeriast mudel ES302 sobib hästi.

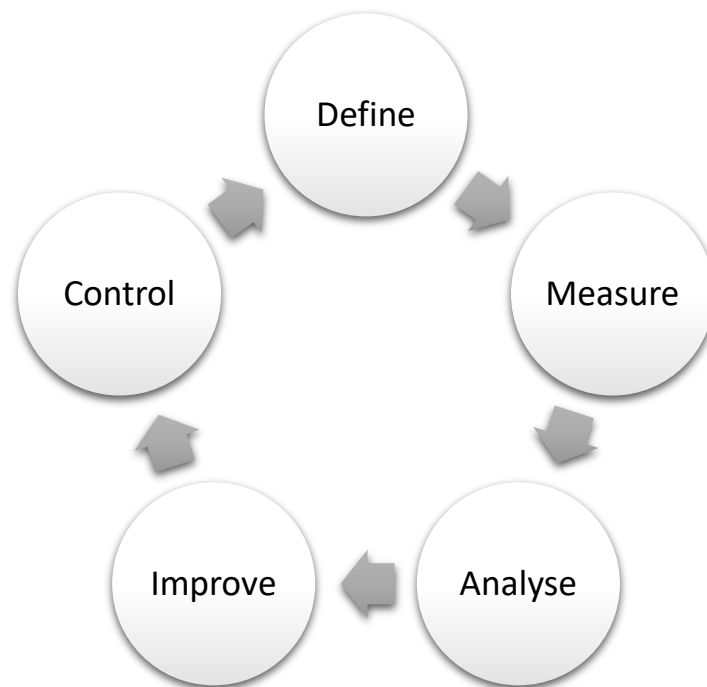
6 TOODANGUPROTSESSI OPTIMEERIMINE

Tänapäeval on sageli näha, et paljud ettevõtted kasutavad tõhusalt lahja tootmise integreeritud kontseptsiooni – lean six sigma. LSS põhineb Ameerika ja Jaapani meetodikal. Lahja tootmise kontseptsioon (Lean manufacturing) moodustatakse jätmete kõrvaldamiseks ja six sigma mõiste on suunatud toote kvaliteedi parandamisele. LSS-i saab kasutada erinevates tegevusvaldkondades. Six Sigma on matemaatikal põhinev protsesside optimeerimise meetodika. Integreeritud lahendus aitab saavutada majanduslikku kasu, vähendades raiskamist ning luues stabiilseid ja kontrollitud protsesse. [6]



Joonis 6.1 Lean six sigma

LSS on tsükiline protsess DMAIC. Seda tsükli esitatakse joonisel 6.2. Define-määrang, measure-mõõde, analyse-analüüs, improve-parendamine, control-kontroll.



Joonis 6.2 DMAIC

LSS-i meetodikate kombinatsioon nõuab spetsialiseeritud tööriistade ja tehnikate süstemaatilist rakendamist. Seega nõuab tõhus rakendamine projektides kasutatavate tööriistade põhjalikku mõistmist. Seetõttu tuleb täpselt hinnata erinevate tööriistade kasutamise plusse ja miinuseid vastavalt ettevõtte tiptaseme nõuetele. Sageli kasutatakse LSS-i tööriistad on Pareto histogramm, ajurünnak, protsessivoogude kaardid, Pugh maatriks, kunstlikud närvivõrgud, struktuurvõrrandite modelleerimine, Taguchi kaotuse funktsiooni analüüs. Kui kasutatakse LSS-i tööriistu õigesti, siis võib ettevõtte tootlikkus ja kasumlikkus märkimisväärselt suurened. Kõigi tööriistade ammendav kasutamine võib anda tagasilöögi. Järelkult filtreerimisvahendid võivad parandada protsessi lihtsustades nende jõupingutuste tõhusust. Seetõttu on vaja tähelepanu pöörata sageli kasutatavatele tööriistadele ja see aitab suurendada tootlikkust. [6]

KOKKUVÕTE

Eesti Energia on rahvusvaheline energiaettevõtte. Ettevõtte kuulub Eesti riigile. Ettevõttel on palju energialahendusi, näiteks soojuse, kütuse ja elektri tootmine. Samuti tegeleb ettevõtte müügi, klienditeeninduse ja energeetikaga. Estonia kaevandus on põlevkivi kaevandamise üks peamisi meetodeid ning põlevkivi rikastamine toimub Eesti kaevanduse territooriumil asuvas tehases. Killustikukompleks paigaldati tehasesse 2009. aastal. Killustikku müüakse ehitusmaterjalina.

Antud diplomis on autor kirjeldanud tegevusi, mis on tehtud lahja tootmise LSS-i põhimõttel Estonia kaevanduse rikastustehases killustikukompleksi tootmise efektiivsuse parandamiseks. Töö autor analüüsis 12 aastat tagasi ehitatud killustikukompleksi tööd ja andis oma versiooni tootmise optimeerimisest. Töö annab ülevaate igast paigaldatud seadmest ja ülevaate tootmisprotsessi optimeerimisest. Lõputöö kõige olulisem eesmärk on aidata ettevõttel killustikukompleksi tootmisprotsessi efektiivsemaks muuta. Töö autor kinnitab, et eesmärk on saavutatud. Tuleb märkida, et töö ei seisa paigal, vaid seda saab paremaks muuta. Ideaalse tulemuseni on veel pikk tee vaja minna. Optimeerimist peetakse keeruliseks tööks ja seda saab iga kord paremaks muuta, et leida ökonoomsemaid ja tulusamaid lahendusi.

Töö on suunatud killustikukompleksi paigaldatud seadmete efektiivsuse analüüsimisele.

Töö käigus selgus, et efektiivsus sõltub enamasti killustikukompleksi paigaldatud ekraanide ja purustite tootlikkusest. Parim lahendus tootmisprotsessi parandamiseks oleks sõela asendamine, mis seisab põlevkivi kompleksis tehnoloogilise protsessi lõpus ning see toidab kivi killustikukompleksis olevatele sööturitele. Kuna sõelur on seal olnud pikka aega ja see on pärit Venemaa tootjalt, seetõttu on raske leida põlevkivikompleksi muude seadmetega hästi sobivat sõeluri. Töö autor võib anda lahenduse, mis sobib hästi killustikukompleksi seadmetega, kuna lõputöös käsitleti seda tehase tootmisprotsessi osa.

Lõputöö autor soovib ettevõttel jätkata Lean tootmise rakendamist ja täiustada seda vastavalt põhimõtetele. Lisaks kinnitavad killustikutehase optimeerimise tulemused, et uuemate seadmete paigaldamine aitab tehasel suurendada oma tootlikkust ja efektiivsust. See muudab ettevõtte turul stabiilsemaks.

SUMMARY

Eesti Energia is an international energy company. The company is owned by the Estonian state. The company has many energy solutions, such as heat, fuel, and electricity. The company also deals with sales, customer service and energy. The Estonia mine is one of the main methods of oil shale extraction, and oil shale is enriched at a factory located on the territory of the Estonia mine. The crushed stone complex was installed at the factory in 2009. Crushed stone is sold as a building material.

In this diploma, the author described the actions that have been taken to improve the efficiency of the production of a crushed stone complex at the beneficiation plant of the Estonia mine using the principle of lean production LSS. The author of the work analyzed the work of the crushed stone complex, which was built 12 years ago and gave his own version of production optimization. The work gives an overview of each installed equipment and an overview of the optimization of the production process. The most important goal of the thesis is to help the company make the production process of the crushed stone complex more efficient. The author of the work confirms that the goal has been achieved. It should be noted that the work does not stand still, it can be improved. The ideal result is still far away. Optimization is considered difficult work and can be improved every time to find more economical and profitable solutions.

The work is focused on analyzing the efficiency of the equipment installed in the crushed stone complex.

In the course of the work, it turned out that the efficiency mostly depends on the productivity of screens and crushers installed in the crushed stone complex. The best solution to improve the production process would be to replace the screen, which stands at the end of the technological process in the shale complex, it feeds the rock to the feeders in the crushed stone complex. Since the screen has been there for a long time and it is from a Russian manufacturer, it is difficult to find a screen that will work well with other equipment from the oil shale complex. The author of the work can give a solution that will work well with equipment in a crushed stone complex, since this part of the production process at the factory was considered in the thesis.

The author of the work advises the company to continue to implement Lean Manufacturing LSS and improve it in accordance with the principles. The results of the optimization of the crushed stone plant also confirm that the installation of newer

equipment will help the plant to increase its productivity and efficiency. The company will be more stable in the market.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

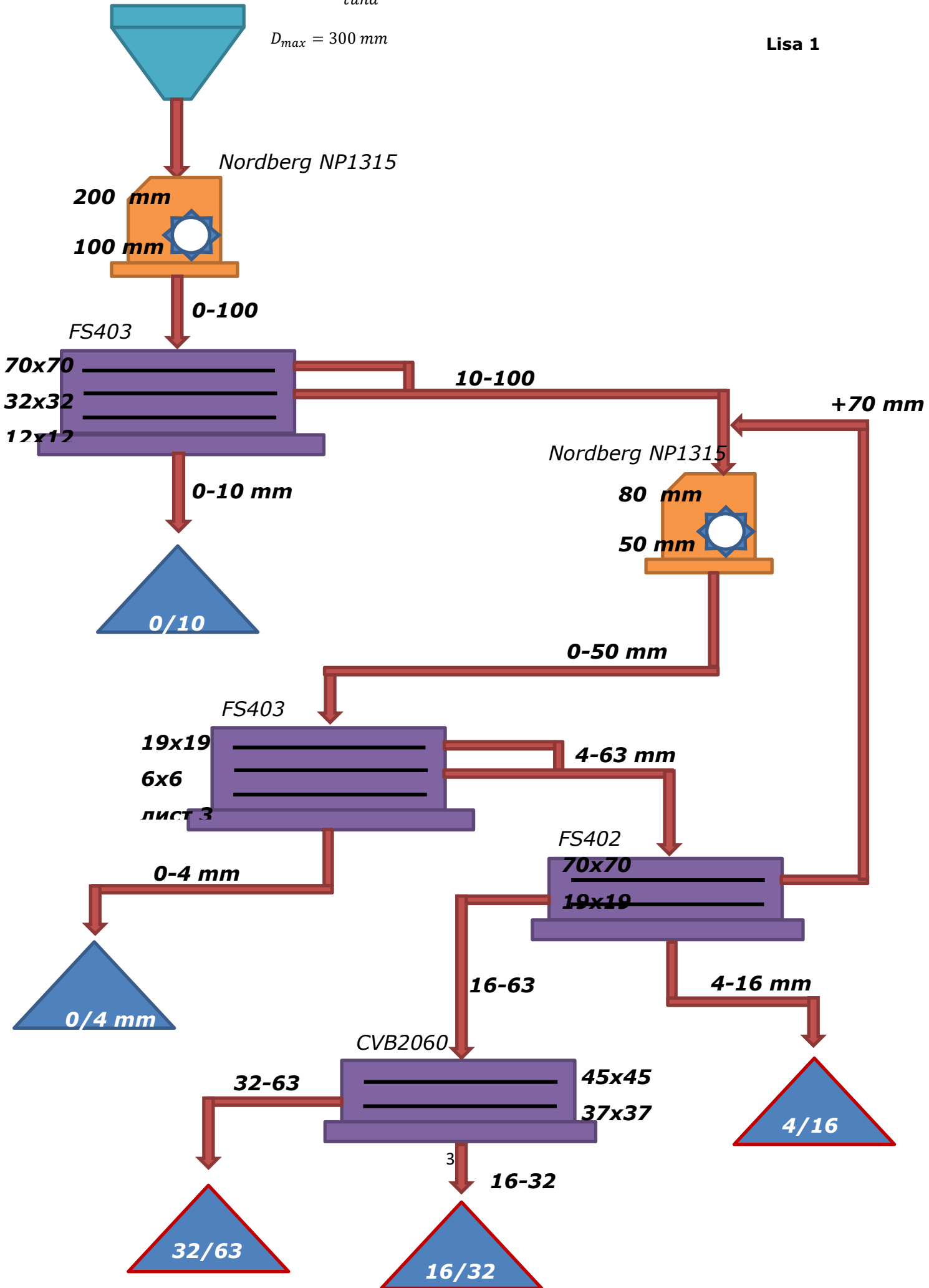
1. Eesti Energia [Online] <https://www.energia.ee> (20.05.2021)
2. Lubjakivi [Online] https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/limestone.html (22.05.2021)
3. Matlab [Online] <https://se.mathworks.com/products/matlab.html> (22.05.2021)
4. Haughey, D. Pareto analysis step-by-step [Online] <https://www.projectsmart.co.uk/pareto-analysis-step-by-step.php> (22.05.2021)
5. Sõelur Metso ES [Online] <https://www.mogroup.com/portfolio/es-series> (22.05.2021)
6. Lean Six Sigma process improvement [Online] <https://goleansixsigma.com/what-is-lean-six-sigma> (22.05.2021)
7. Metso [Online] <https://www.mogroup.com> (22.05.2021)
8. Purustus- ja sorteerimis seadmed [Online] https://www.metso.com/contentassets/c4ff79dc28494f248f4f939f78a4f11b/2979-02-14-metso_crushing_and_screening_solutions_ru_lr.pdf (22.05.2021)
9. Sõelurid Metso Nordberg [Online] <http://www.tehnotex74.narod.ru/p30aa1.html> (22.05.2021)
10. Sõelur ГИСЛ62 [Online] <https://www.grohot24.ru/products/oborudovanie-gorno-obogatitelnoe/grokhota-inertsionnye-tipa-gisl-gist/view/68-Grokhota-inertsionnyi-samobalansnyi> (22.05.2021)
11. Sõelad Trellex [Online] <http://www.tehnotex74.narod.ru/p36aa1.html> (22.05.2021)
12. Purustid Nordberg NP [Online] https://promhimtech.ru/docs/drob_ru.pdf (22.05.2021)
13. Eesti Energia uudised [Online] <https://delfi.ee/statja/79906030/eesti-energia-razvitie-tehnologiy-okazyvaet-dvoynoe-vliyanie-povyshaetsya-effektivnost-i-snizhaetsya-vliyanie-na-okruzhayushchuyu-sredu> (20.05.2021)

LISAD

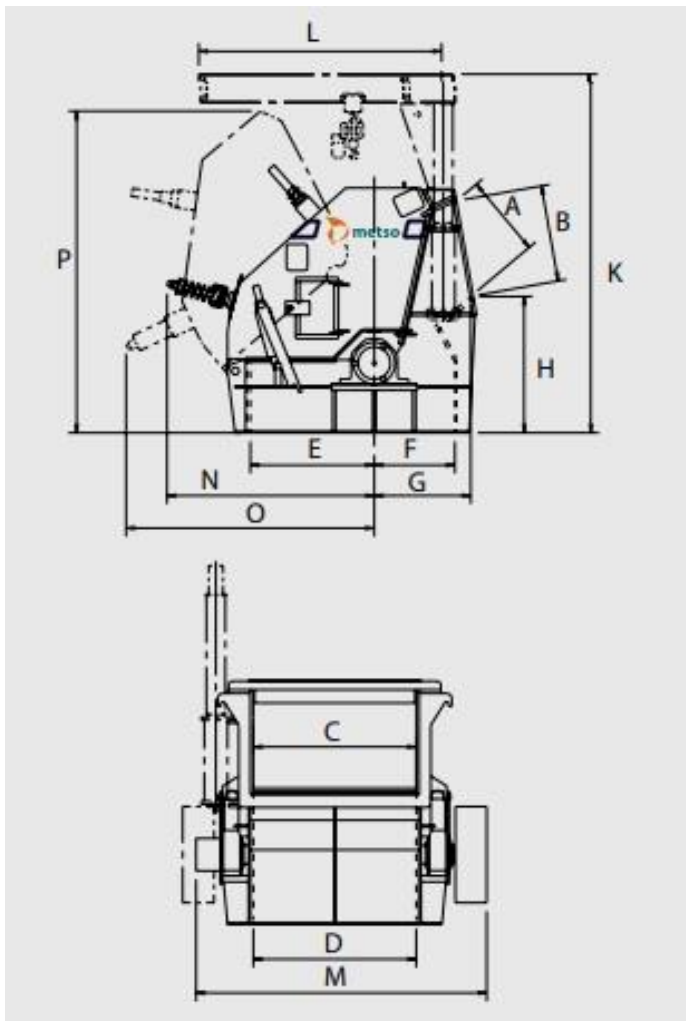
$$Q = 500 \frac{t}{\text{tund}}$$

$$D_{max} = 300 \text{ mm}$$

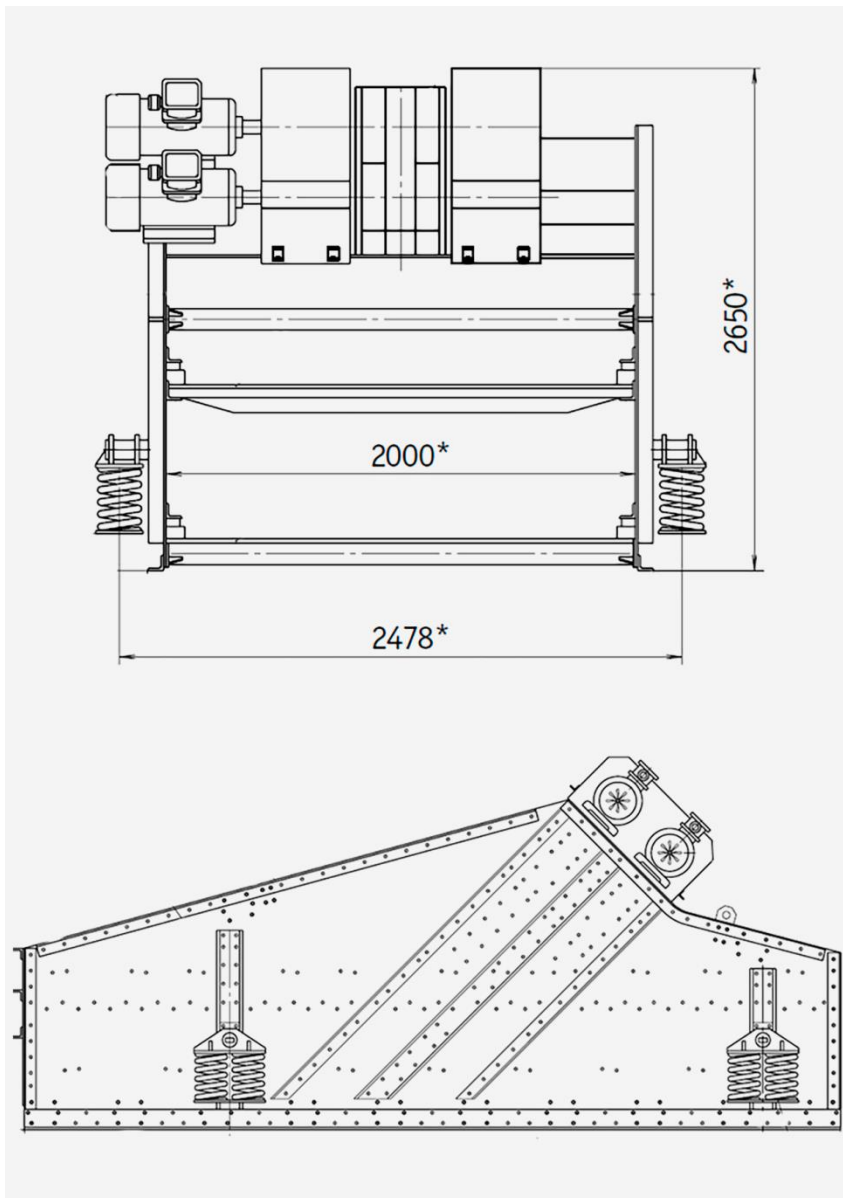
Lisa 1



Lisa 2 Purusti üldmõõtmed ja kaugused

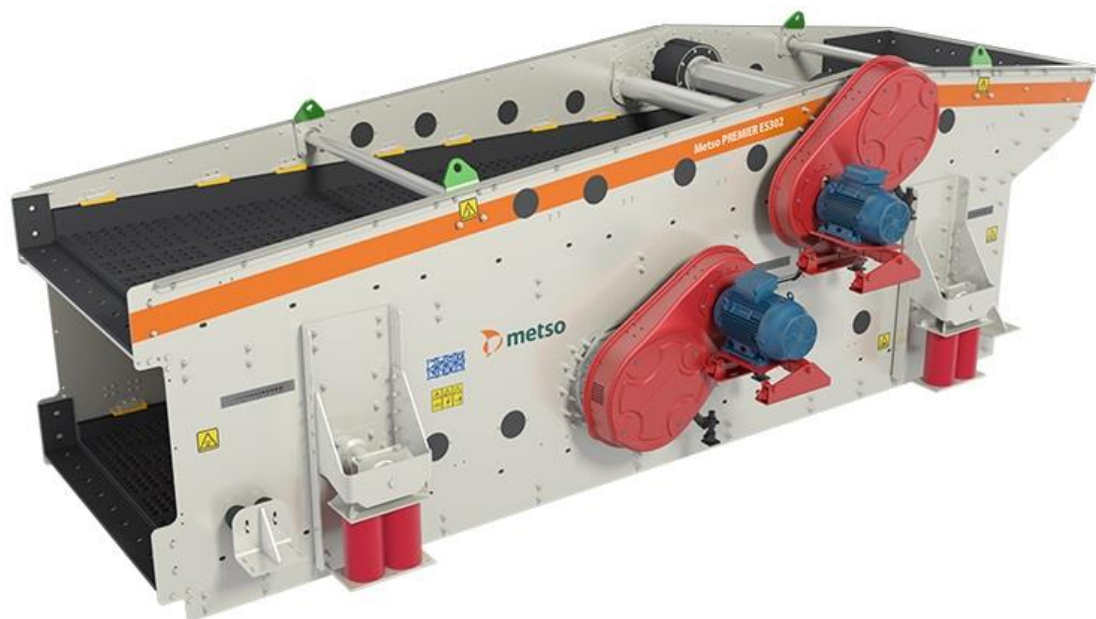


A	B	C-D	E	F	G	H	K	L	M	N	O	P
800	930	1540	1172	765	915	1291	3395	2295	2750	1960	2350	3055



Sõelumispinna mõõtmed			Sõelumisala		Võimsus, kW
Laius, mm	Ülemise astme pikkus, mm	Alumise astme pikkus, mm	Ülemise aste, mm ²	Alumise aste, mm ²	2x15
2000	5700	5400	11	10,8	

Lisa 4 Metso ES302



Laius, m	Pikkus, m	Sõelumisala, m ²	Astmed	MV mootor	Võimsus, kW
1,87	6,1	11,4	2	2	34