

Geotehnoloogia õppekava, AAGM02/09

Mark Meema 144173

Magistritöö ID 2708

# Põlevkivi avakaevandamise alternatiivsete transpordi- ja rikastamisvõimaluste analüüs Narva karjääri tingimustes

Energeetikateaduskond

Mäeinstituut

Juhendaja: MSc Tõnu Tomberg

Tallinn 2016

Põlevkivi avakaevandamise alternatiivsete transpordi- ja rikastamisvõimaluste analüüs Narva karjääri tingimustes

Autorideklaratsioon:

Deklareerin, et käesolev magistritöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli Energeetikateaduskonna Mäeinstituudile tehnikateaduste magistrikraadi taotlemiseks geotehnoloogia erialal. Selle töö alusel ei ole varem kutse- ega teaduskraadi taotletud. Töös kasutatakse litsentseeritud tarkvara MS Office, AutoCAD ja MapInfo.

Kuupäev:

Allkiri:

## Sisukord

Sisukord .....	3
Abstract .....	9
Eessõna.....	11
Sissejuhatus .....	12
1 Metoodika .....	14
1.1 Kopplaaduri ja kalluri arvutused.....	14
1.1.1 Mäemasina hind .....	14
1.1.2 Mäemasina kütusekulu .....	14
1.1.3 Mäemasina personalikulu .....	15
1.1.4 Mäemasinate hoolduskulu .....	16
1.2 Konveieri arvutused.....	16
1.2.1 Konveieri hind.....	16
1.2.2 Konveieri elektrikulu.....	17
1.2.3 Konveieri hoolduskulu .....	18
1.2.4 Konveieri hoolduspersonali kulu .....	18
1.3 Tootlikkuse arvutus .....	18
1.3.1 Kalluri tootlikkuse arvutus.....	18
1.3.2 Kopplaaduri tootlikkus ja konveieri tootlikkus.....	18
1.3.3 Purustuskopa tootlikkus .....	19
1.4 Põlevkivi koguste arvutus.....	20
2 Praegune olukord Narva karjääris .....	21
2.1 Kaevälja asukoht.....	21
2.2 Geoloogiline ja mäenduslik iseloomustus.....	22
2.3 Tootsa kihi ja katendikivimite iseloomustus .....	22
2.4 Kihtide iseloomustus .....	23
2.4.1 Tranšee 5 .....	24
2.4.2 Tranšee 6 .....	25
2.4.3 Tranšee 7 .....	26
2.4.4 Tranšee 8 .....	27
2.4.5 Tranšee 9 .....	28
2.4.6 Tranšee 10 .....	29
2.4.7 Tranšee 11 .....	30

Põlevkivi avakaevandamise alternatiivsete transpordi- ja rikastamisvõimaluste analüüs Narva karjääri tingimustes

2.4.8	Tranšee 12 .....	31
2.5	Mäetööd .....	32
2.6	Katendi eemaldamine .....	33
2.7	Veekõrvaldus .....	34
2.8	Maavara raimamine .....	36
2.9	Laadimine .....	38
2.10	Vedu .....	39
3	Alternatiivsete kaevandamisvariantide võrdlev analüüs .....	41
3.1	Alternatiiv I: Konveier ja purustuskopp .....	41
3.1.1	Mäetööd alternatiiv I .....	41
3.1.2	Laadimine .....	42
3.1.3	Vedu .....	43
3.1.4	Konveierid tranšeedes .....	46
3.1.5	Hüdrauliline konveier .....	52
3.1.6	Purustuskopp .....	53
3.1.7	Vajaliku kütteväärtuse tagamine .....	56
3.1.8	Purustuskopa kasutusvõimalused Narva karjääris .....	57
3.2	Alternatiiv II. Purustuskopa ja kalluri koostöö .....	60
3.2.1	Mäetööd alternatiiv II .....	60
3.2.2	Laadimine .....	61
3.2.3	Vedu .....	62
4	Tulemused .....	63
4.1	Põlevkivi kogused .....	63
4.2	Purustuskopa ja kopplaaduri tootlikkus .....	64
4.3	Kalluri tootlikkus .....	64
4.4	Kalluri majandusarvutused .....	66
4.4.1	Kallurite hind .....	66
4.4.2	Kallurite kulud kütusele .....	66
4.4.3	Kallurite hoolduskulu .....	67
4.4.4	Kallurite personalikulu .....	67
4.5	Konveieri majandusarvutused .....	68
4.5.1	Konveieri hind .....	68
4.5.2	Konveierite hoolduskulu .....	69

Põlevkivi avakaevandamise alternatiivsete transpordi- ja rikastamisvõimaluste analüüs Narva karjääri tingimustes

4.5.3	Konveierite elektrikulu .....	70
4.5.4	Personalikulu .....	70
4.6	Kopplaaduri majandusarvutused .....	71
4.6.1	Kopplaadurite hind .....	71
4.6.2	Kopplaadurite kulud kütusele .....	71
4.6.3	Kopplaadurite hoolduskulu .....	72
4.6.4	Kopplaadurite personalikulu .....	72
4.7	Purustuskopa majandusarvutused .....	73
4.7.1	Purustuskopa hind .....	73
4.7.2	Purustuskopa kütusekulu .....	73
4.7.3	Purustuskopa hoolduskulu .....	73
4.7.4	Purustuskopa personali kulu .....	73
4.8	Kasutuseloleva tehnoloogia kulud .....	74
4.9	Alternatiiv I kulud .....	76
4.10	Alternatiiv II kulud .....	78
4.11	Kulude võrdlus .....	80
5	Arutelu .....	85
	Kokkuvõte .....	87
	Kasutaud kirjandus .....	88
	Lisad .....	90

## Joonised

Joonis 1. Narva karjäär (autori joonis)(kaeveväli.wor).....	21
Joonis 2. Narva karjäär [3].....	22
Joonis 3. Põlevkivikarjäär (autori joonis) (tehnoskeem-Model.pdf) .....	32
Joonis 4. Veekõrvaldus (autori joonis) (veekõrvaldus-Model.pdf).....	35
Joonis 5. Selektiivne raimamine (autori joonis)(selektiivne-Model.pdf).....	37
Joonis 6. Raimamine puur-lõhketöödega (autori joonis) (lauskaevandamine-Model.pdf) .....	38
Joonis 7. Alternatiivsed mäetööd (autori joonis) (tehnoskeem alter 1-Model.pdf) .....	41
Joonis 8. Kaeviseladimine ja aheraine koristus (autori joonis) (Kaevisel ja aheraine transport-Model.pdf).....	43
Joonis 9. Narva karjääri mäeeraldise piir [24] .....	44
Joonis 10. Teekond tranšeedest 5 elektrijaama laoni (autori joonis)(avak2015_5_A.wor).....	45
Joonis 11. Teekond tranšeedest 5 laoni B (autori joonis)(avak2015_5_B.wor) .....	45
Joonis 12. Konveier, mis ühineb õlitehase laoga konveieriga (autori joonis) (avak2015_12_B.wor).....	46
Joonis 13. Konveier tranšeedest nr 12 kuni elektrijaama laoni (autori joonis) (avak2015_12_A.wor) ....	46
Joonis 14. Väljaveotranšee nr 12 (parem) (autori joonis)(avak2015_12.wor).....	47
Joonis 15. Väljaveotranšee nr 12 (vasak) (autori joonis) (avak2015_11.wor) .....	47
Joonis 16. Väljaveotranšee nr 11 (vasak) (autori joonis) (avak2015_10.wor) .....	48
Joonis 17. Väljaveotranšee nr 10 (vasak) (autori joonis) (avak2015_9.wor) .....	48
Joonis 18. Väljaveotranšee nr 9 (vasak) (autori joonis) (avak2015_8.wor).....	49
Joonis 19. Väljaveotranšee nr 8 (vasak) (autori joonis) (avak2015_7.wor) .....	49
Joonis 20. Väljaveotranšee nr 7 (parem) (autori joonis) (avak2015_6.wor) .....	50
Joonis 21. Väljaveotranšee nr 7 (vasak) (autori joonis) (avak2015_5.wor) .....	50
Joonis 22. Väljaveotranšee nr 6 (vasak) (autori joonis) (avak2015_4.wor) .....	51
Joonis 23. Väljaveotranšee nr 5 (vasak) (autori joonis) (avak2015_3.wor) .....	51
Joonis 24. Hüdrauliline konveier (autori joonis) (hüdrokonveier-Model.pdf) .....	53
Joonis 25. Kaevisel transport konveierini (autori joonis) (Kaevisel ja aheraine transport-Model.pdf) ..	58
Joonis 26. Konveieri punker (autori joonis) (konveieripunker-Model.pdf).....	59
Joonis 27. Tehnoloogia skeem alternatiiv II (autori joonis) (tehnoskeem alter 2-Model.pdf).....	60
Joonis 28. Kuivrikastamine (autori joonis) (kuivrikastamine-Model.pdf) .....	62

## Tabelid

Tabel 1. Tranšee nr.5 [Lisa 2. Kihtide kütteväärtused tranšeede lõikes (1993_0001.pdf)] .....	24
Tabel 2. Tranšee nr.6 [Lisa 2. Kihtide kütteväärtused tranšeede lõikes (1993_0001.pdf)] .....	25
Tabel 3. Tranšee nr.7[Lisa 2. Kihtide kütteväärtused tranšeede lõikes (1993_0001.pdf)] .....	26
Tabel 4. Tranšee nr.8 [Lisa 2. Kihtide kütteväärtused tranšeede lõikes (1993_0001.pdf)] .....	27
Tabel 5. Tranšee nr.9 [Lisa 2. Kihtide kütteväärtused tranšeede lõikes (1993_0001.pdf)] .....	28
Tabel 6. Tranšee nr.10 [Lisa 2. Kihtide kütteväärtused tranšeede lõikes (1993_0001.pdf)] .....	29
Tabel 7. Tranšee nr.11 [Lisa 2. Kihtide kütteväärtused tranšeede lõikes (1993_0001.pdf)] .....	30
Tabel 8. Tranšee nr.12 [Lisa 2. Kihtide kütteväärtused tranšeede lõikes (1993_0001.pdf)] .....	31
Tabel 9. Tehnoloogia skeemi osad .....	33
Tabel 10. Kopplaaduri WA 600 tehnilised andmed [13] .....	39
Tabel 11. Volvo L350F tehnilised andmed [16] .....	39
Tabel 12. Belaz 7555d tehnilised andmed [14] .....	40

Tabel 13. Alternatiiv I tehnoloogilise skeemi osad.....	42
Tabel 14. Tranšeede praegused ja tulevased pikkused (Eesti Energia Kaevandused) .....	52
Tabel 15. MB purustuskoppade tootlikkus [11] .....	54
Tabel 16. Allu purustuskoppade tootlikkus [12] .....	55
Tabel 17. Narva karjääri kihtide kütteväärtused [Lisa 1. Kütteväärtuste arvutamise tabel (autor Eesti Energia Kaevandused AS)].....	57
Tabel 18. Alternatiiv II tehnoloogia skeemi osad .....	61
Tabel 19. Põlevkivi kogused kihtide kaupa (Põlevkivi kogused.xlsx).....	63
Tabel 20. Ajakulu kuivrikastamiseks tranšeede lõikes (Põlevkivi kogused.xlsx) .....	64
Tabel 21. Keskmised kalluri tootlikkused (Ajakulu kallur.xlsx) .....	65
Tabel 22. Kallurite ajakulu ja 1 h väljaveetav kogus elektrijaama ladu (Ajakulu kallur.xlsx).....	65
Tabel 23. Kallurite ajakulu ja 1 h väljaveetav kogus elektrijaama ladu (Ajakulu kallur.xlsx).....	66
Tabel 24. Kulud kalluritele (Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx) .....	67
Tabel 25. Praegused tranšeede pikkused (Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx) .....	68
Tabel 26. Väljaveotranšeedega risti olevad konveierid (Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx) .....	69
Tabel 27. Tulevased tranšeede pikkused (Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx).....	69
Tabel 28. Konveierite kulutused elektrienergiale (Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx).....	70
Tabel 29. Konveieri kulud (Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx) .....	71
Tabel 30. Kopplaadurite kulud (Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx).....	72
Tabel 31. Kopplaaduri ja purustuskopa kulud (Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx) .....	74
Tabel 32. Praeguse tehnoloogia viieteist aasta kulud (Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx) .....	75
Tabel 33. Alternatiiv I tehnoloogia viieteist aasta kulud (Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx) .....	77
Tabel 34. Alternatiiv II viieteist aasta kulud (Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx).....	79

## Graafikud

Graafik 1. Tranšee nr 5 kütteväärtused (kihtide paksused.xlsx) .....	24
Graafik 2. Tranšee nr 6 kütteväärtused (kihtide paksused.xlsx) .....	25
Graafik 3. Tranšee nr 7 kütteväärtused (kihtide paksused.xlsx) .....	26
Graafik 4. Tranšee nr 8 kütteväärtused (kihtide paksused.xlsx) .....	27
Graafik 5. Tranšee nr 9 kütteväärtused (kihtide paksused.xlsx) .....	28
Graafik 6. Tranšee nr 10 kütteväärtused (kihtide paksused.xlsx) .....	29
Graafik 7. Tranšee nr 11 kütteväärtused (kihtide paksused.xlsx) .....	30
Graafik 8. Tranšee nr 12 kütteväärtused (kihtide paksused.xlsx) .....	31
Graafik 9. Kalluri kulud (Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx).....	68
Graafik 10. Konveieri kulud (Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx).....	71
Graafik 11. Kopplaaduri kulud (Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx) .....	72
Graafik 12. Purustuskopa ja kopplaaduri kulud (Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx).....	74
Graafik 13. Kalluri ja kopplaaduri kulud (Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx).....	76
Graafik 14. Konveieri ja purustuskopa kulud (Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx).....	78
Graafik 15. Kalluri ja purustuskopa kulud (Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx).....	80
Graafik 16. Tehnoloogiate kulud ja investeeringud (Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx).....	81
Graafik 17. Tehnoloogiate viieteist aasta kulud (Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx) .....	81

Põlevkivi avakaevandamise alternatiivsete transpordi- ja rikastamisvõimaluste analüüs Narva karjääri tingimustes

Graafik 18. Tehnoloogiate viieteist aasta kulud ja investeeringud (Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx) .....	82
Graafik 19. Tehnoloogiate kulude vahe (Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx) .....	83
Graafik 20. Tehnoloogiate investeeringute vahe (Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx) .....	83
Graafik 21. Kulude ja investeeringute vahe (Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx) .....	84

Lisad

Lisa 1. Kütteväärtuste arvutamise tabel (autor Eesti Energia Kaevandused AS) .....	90
Lisa 2. Kihtide kütteväärtused tranšeede lõikes (1993_0001.pdf) .....	91
Lisa 3. Tranšeede laiused [1] .....	92



## **Abstract**

The objective of these thesis is to determine the justification of alternative method of ore transport and enrichment. The drawbacks of the current technology are the high fuel consumption of the dumper trucks and the uneven quality of the oil shale that reaches the warehouses. In order to ensure the required calorific value for the power plant and the oil plant, different layers of the oil shale have to be mixed. An alternative method to the current technology would be implementing the use of a crusher bucket for the enrichment of the low calorific oil shale layers and developing a network of conveyors to ensure the even quality of the oil shale. Another alternative would be the continuation of the current transport technology and implementing the use of the crusher bucket to enrich the low calorific oil shale layers to ensure the required quality of the oil shale. To compare and to find out the optimal solution between the current and alternative technologies the author has used the comparative analysis method from the economic aspect.

The result of the analysis on alternative methods of ore transport indicates that the use of the current technology is very expensive. The biggest drawbacks of the current technology are high fuel expenses, high personnel costs and low productivity. The transportation of ore from the most distant trench to the oil factory warehouse is currently 47 tons of ore per hour. At the end of the opencast mine the productivity will decrease to 40 tons per hour. That means that each time the mining front moves forward the company must make more expenses on each ton of ore transported from the trench. The positive sides of current technology are low initial investment and well developed transport system.

The construction of the conveyor is a time-consuming process, but it would be beneficial. Using the conveyor technology would improve the quality of oil shale. The technology requires considerably smaller staff thus it would save personnel costs. The productivity of the conveyor depends on the productivity of the bucket loader and the crusher bucket. The productivity of the bucket loader per one tranche of high calorific layers is 187 tons per hour. Using the crusher bucket technology the productivity is lowered to 164 tonnes per hour. By using the crusher bucket and dump truck technology the productivity would remain the same.

Comparing the costs of the three technologies it is clear that the biggest advantage is on the side of the crusher bucket and conveyor technology. The company's expenses of such technology, would be 350,95 million euros smaller than the expenses of the current

technology. The expenses of all technologies are as follows: current technology 562,88 million euros, alternative I technology 211,94 million euros and alternative II technology 583,70 million euros. The big difference between the expenses is due to big differences of fuel and electricity prices. Using the dumper truck technology would also result in higher personnel costs.

The initial investment of the conveyor technology is six times bigger compared to the other two technologies. The initial investment of the conveyor technology is 62,62 million euros. The initial investment of the other technologies is around 11 million euros.

Given the 15-years of expenses and the initial investment it would be wise to start implementing the conveyor and the crusher bucket technology. It would save the company 294,10 million euros in 15 years. The implement of the alternative II technology would create additional costs for the company as well as extra expenses due to costlier initial investment.

## **Eessõna**

Töö ülesandeks on välja selgitada alternatiivsete rikastus- ning transpordimeetodite kasutuselevõtu põhjendatus. Praeguse tehnoloogia miinuseks on suured kulud kütusele ning ladusesse jõudva põlevkivi ebaühtlane kvaliteet. Selleks et tagada vajalik kütteväärtus elektrijaamale ja õlitehasele, peab erinevaid põlevkivikihte segama. Alternatiivseteks meetoditeks praegusele tehnoloogiale oleks purustuskopa kasutamine madala kütteväärtusega põlevkivikihtide rikastamiseks ja konveieri kasutamine ühtlase toodangu saamiseks. Teiseks alternatiiviks oleks praeguse kaevise transpordiga jätkamine ning madala kütteväärtusega põlevkivikihtide kuivrikastamine purustuskopaga, et tagada vajalik põlevkivi kvaliteet. Praeguste ja alternatiivsete meetodite võrdlevaks analüüsiks on autor kasutanud majanduslikku aspekti. Optimaalse lahenduse leidmiseks kasutatakse tehnoloogiate võrdlevat analüüsi.

Tulemuste saamiseks kasutas autor informatsiooni, mis on talle edastatud Eesti Energia Kaevandused AS-i poolt. Majandusliku analüüsi tegemiseks ning uue tehnoloogia kasutuselevõtu põhjendatuseks arvutati iga tehnoloogia puhul välja järgneva viieteist aasta kulud, kuhu kuuluvad personali-, hooldus-, kütuse- ja elektrikulud. Lisaks arvutati välja ajakulu, mis läheb kaevise purustamiseks purustuskopaga, kaevise laadimiseks konveierile kopplaaduriga ning kaevisetranspordi ajakulu kalluri puhul.

Tänan oma juhendajat Tõnu Tombergi. Tänan kõiki Mäeinstituudi õppejõude, kelle edasi antud teadmiste põhjal sai antud töö tehtud. Lisaks tänan Eesti Energia Kaevandused AS-i Narva karjääri mäemeistrit Mihhail Zolotuhhinit, kelle juhendamisel läbis autor tootmispraktika ning sai palju avakaevandamise kogemusi ja praktilisi teadmisi, millele tuginedes valmis autori lõputöö.

Magistritöö on aktuaalne sest on seotud TTÜ Mäeinstituudi projektiga B36 – Kivimi raimamine ja rikastamine valikmeetoditega.

## Sissejuhatus

Töö eesmärgiks on viia läbi uuringud põlevkivi uute tehnoloogiliste võimaluste rakendamiseks Narva karjääri tingimustes. Narva karjääris kasutatakse praegu raimatud kaevise transportimiseks kallureid Belaz 7555d ja Hitachi, mille kandevõime on peaaegu võrdne, vastavalt 55 tonni ja 58 tonni. Kallurite kasutamisel on mitmeid negatiivseid külgi, millest võiks välja tuua suure kütusekulu ning probleemid personaliga. Alternatiiviks on kasutusele võtta konveier, mille puhul negatiivne inimfaktor transportimisel kaob.

Kaevandatud põlevkivi kasutatakse elektrienergia ning õli tootmiseks. Kuna need kaks erinevat protsessi vajavad erineva kütteväärtuse ning erineva tükisuurusega põlevkivi, siis oleks mõistlik erinevad kaevised transportida erinevatesse ladudesse.

Kuna põlevkivi kvaliteet on ebaühtlane, siis kasutatakse karjääris kahte erinevat kaevise väljamisviisi – selektiivne ja lauskaevandamine. Ülemised põlevkivikihid on madalama kütteväärtusega ning selleks, et tagada piisav kütteväärtus 7,0 MJ/kg elektri jaamale, tuleb erineva kütteväärtusega kihte segada. Selle protsessi käigus kulutatakse ära kõrge kütteväärtusega kihid, millest oleks mõistlikum toota põlevkiviõli. Õliteshas nõuab tükikivi ning kütteväärtust 8,4 MJ/kg. Kõrgema kütteväärtusega põlevkivikihtide mõistlikumaks kasutamiseks tuleks madalama kütteväärtusega kihid rikastada, et nende kütteväärtust tõsta.

Maavara kvaliteet ja omadused, sealhulgas kivimist toodetud kütus ja õli, sõltuvad suuresti just geoloogiast. Piirkonniti on põlevkivikihind erineva paksusega. Kihtide paksused ja lubjakivi sisaldus määrab suuresti just põlevkivi kaevandamise tehnoloogia. Seetõttu on kaevandamise seisukohalt ülioluline selektiivne väljamine ja kaevise rikastamine. [20]. Narva karjääris ei ole põlevkivi varasemalt rikastatud, kuid uute tehnoloogiate arenemisega oleks see nüüd võimalik. Tänu ekskavaatori või kopplaaduri noolele monteeritavale purustuskopale on tänapäeval võimalik teostada kaevise rikastamine eerinnas. Eerinnas rikastamise eelis seisneb kulude kokku hoidmises rikastusvabriku arvelt.

Uute tehnoloogiate kasutuselevõtmisega muutub ka kogu karjääri tehnoloogiline skeem. Kuna Narva karjääris on kasutusel erinevad kaevise raimamise viisid, siis vastavalt sellele on võimalik kasutada ka erinevaid kaevise transportimise viise ning vastavalt vajadusele ka kuivrikastamist. Iga uue tehnoloogia kasutusele võtmise puhul seisneb küsimus selles, kas uudne tehnoloogia on majanduslikult põhjendatud. Vastavalt sellele tuleb teha erinevate tehnoloogiliste võimaluste majanduslik analüüs ning võrrelda neid olemasoleva

Põlevkivi avakaevandamise alternatiivsete transpordi- ja rikastamisvõimaluste analüüs Narva karjääri tingimustes

tehnoloogiaga. Töö eesmärgiks on välja selgitada alternatiivsete tehnoloogiate võimalikkus ning majanduslik põhjendus.

# 1 Metoodika

Kõik töös kasutatavad valemid on tuletatud autori poolt tuginedes magistrantuuri ajal omandatud teadmistele. Kasutatavad valemid võivad olla varasemalt tuletatud teiste poolt ja autor ei pretendeeri nende valemite autoriõigusele.

## 1.1 Kopplaaduri ja kalluri arvutused

### 1.1.1 Mäemasina hind

Mäemasina hinna arvutamise aluseks on võetud mäemasina kaal ning mäemasina ühe kilogrammi hind. Ühe mäemasina ühiku hind arvutatakse valemiga

$$M_{\text{hind}} = m * p \text{ eur,} \quad 1$$

kus

$m$  – ühe mäemasina ühiku mass kg  
 $p$  – ühe mäemasina ühe kilogrammi hind eur/kg,

mis teeb mäemasina ühe kilogrammi hinnaks ligikaudu 10 USD ehk 8,84 eurot. [27]

Kõigi mäemasinate hind arvutatakse valemiga

$$M = M_{\text{hind}} * n \text{ eur,} \quad 2$$

kus

$M_{\text{hind}}$  – ühe mäemasina ühiku hind eur  
 $n$  – mäemasina ühikute arv tk.

### 1.1.2 Mäemasina kütusekulu

Kütusekulu arvutamise aluseks on võetud ühe liitri diislikütuse hind ja ühe mäemasina ühiku poolt tarbitav kütus ühe tunni jooksul.

Ühe mäemasina ühiku kulutused kütusele arvutatakse valemiga

$$K_k = D_{\text{hind}} * K_k / h, \quad 3$$

kus

$D_{\text{hind}}$  – ühe liitri diislikütuse hind eur  
 $K_k / h$  – mäemasina ühiku ühe töötunni kütusekulu l/h.

Kõigi mäemasinate aastane kütusekulu arvutatakse valemiga

$$KK = K_k * n * t \text{ eur,} \quad 4$$

kus

$K_k$  – ühe mäemasina kütusekulu eur  
 $n$  – mäemasinate arv tk  
 $t$  – aeg, milleks on 21 tundi \* 365 päeva.

Mäemasinad ostetakse arvestusega, et karjäär töötab veel 15 aastat. Kuna kütuse hinna muutus on raskesti prognoositav, on autor teinud eelduse, et kütuse hind tõuseb igal aastal 5%. Kütusehinna tõusust tekkiv kulu arvutatakse valemiga

$$D_{\text{muutus}} = D_{\text{hind}} * H_{\text{tõus}}, \quad 5$$

kus

$D_{\text{hind}}$  – ühe liitri diislikütuse hind eur  
 $H_{\text{tõus}}$  – hinnatõus %.

Aastane kütusekulu kõigi mäemasinate jaoks arvutatakse valemiga

$$KK_{\text{aasta}} = KK * n * D_{\text{muutus}} * t, \quad 6$$

kus

$KK$  – ühe mäemasina aasta kütusekulu eur  
 $n$  – koplaadurite arv tk  
 $D_{\text{muutus}}$  – aasta kütusehinna tõusust tulenev kütusekulu eur.

### 1.1.3 Mäemasina personalikulu

Personalikulu on määratud suurus ning sisaldab ka sotsiaalmaksu, mis on 33%. Kõigi töötajate palk arvutatakse valemiga

$$P_k = P * n, \quad 7$$

kus

$P$  – ühe töötaja ühe kuu palk eur  
 $n$  – töötajate arv.

Töös on arvestatud palgatõusuga 5% aastas. Vastavalt sellele arvutatakse personali palgatõusust tulenev kulu valemiga

$$P_{\text{muutus}} = P * P_{\text{tõus}}, \quad 8$$

kus

P – ühe töötaja ühe kuu palk eur  
P<sub>tõus</sub> – palgatõus %.

Aastane personalikulu arvutatakse valemiga

$$KK_{\text{aasta}} = P_k * n * t + P_{\text{muutus}} * t, \quad 9$$

kus

KK – ühe töötaja ühe aasta palk eur  
n – töötajate arv  
D<sub>muutus</sub> – aasta palgatõusust tulenev palgakulu eur  
t – aeg ,milleks on 12 kuud.

#### 1.1.4 Mäemasinate hoolduskulu

Mäemasinate hoolduskulu arvutamise aluseks on mäemasina hind. Tulemuste saamiseks on arvestatud hoolduskuluga, mis on 5% mäemasina hinnast.[27] Mäemasinate hoolduskulud aastas arvutatakse valemiga

$$HK = M * n * H_k, \quad 10$$

kus

M – ühe mäemasina hind eur  
n – mäemasinate arv tk  
H<sub>k</sub> – hoolduskulu protsent %.

## 1.2 Konveieri arvutused

### 1.2.1 Konveieri hind

Konveieri hinna arvutamise aluseks on võetud konveieri pikkus ning ühe konveieri kilomeetri maksumus. Konveieri hind arvutatakse valemiga (Ojamaa kaevanduse konveieri põhjal) [21]

$$K_{\text{hind}} = s * K_h, \quad 11$$

kus

s – konveieri pikkus km



$K_h$  – konveieri ühe kilomeetri hind eur.

### 1.2.2 Konveieri elektrikulu

Konveieri elektrienergia kulu arvutamise aluseks on kW/h hind ja konveieri võimsus.

Konveieri aastane elektrikulu arvutatakse valemiga

$$K_{ek} = W * p * t,$$

12


kus

W – konveieri võimsus kW

p – kW/h hind eur/h

t – aeg, arvestatud on 24 tundi ööpäevas 365 ööpäeva aastas.

Konveieri võimsuse arvutamiseks on kasutatud veebikeskkonda, kus parameetrite sisestamisel antakse konveieri võimsuse väärtused.[8]



Request a stand-alone version with all calculation sheets

<http://www.jh.nl>  
sales@jh.nl

**BEREKENING BANDTRANSPORTEUR**

<b>i</b> Product	Geef naam	Frameberekening
Stortgewicht	750 kg/m3	Aanvullende opties
Taludhoek	10 deg	
<b>i</b> Transportlengte	20 m	
Opvoerhoogte (+/-)	0 m	<b>i</b> Opvoerhoek
<b>i</b> Bandsnelheid	2 m/s	0 deg
Capaciteit	10 ton/hr	Volumecapaciteit
<b>i</b> Trogstel: 3-delig	3-delig <input type="button" value="ol"/>	<b>i</b> Voorspankracht
Troghoek	30 deg	0 N
Bandbreedte	500 mm	Minimale bandbreedte
Bandsoort	Rubber <input type="button" value="ol"/>	0 mm
Uitvoering	EP 200/2 1.5+0 <input type="button" value="ol"/>	Minimale trommeldiameter
Treksterkte	200 N/mm	110 mm
Massa	5 kg/m2	Minimale bandsterkte
<b>i</b> Diameter aandrijfrol	215 mm	<b>i</b> Minimale aandrijftrommel
Diameter keerrol	215 mm	0 mm
Diameter draagrol	63.5 mm	Toerental aandrijfrol
<b>i</b> Afstand draagrollen	0.5 m	0 rpm
Afstand retourrollen	0.5 m	Toerental keerrol
<b>i</b> Gekozen vermogen	1.1 kW	0 rpm
		Advies afstand draagrol
		m
		Advies afstand retourrol
		m
		Berekend vermogen
		0 kW

**INFO**

**INFO**

program by BSE Enschede
stop
print page

Abivahend 1. Konveieri võimsuste arvutamiseks kasutatud interneti keskkond [8]

### 1.2.3 Konveieri hoolduskulu

Konveieri hoolduskulu arvutamise aluseks on konveieri hind. Tulemuste saamiseks on arvestatud hoolduskuluga, mis on 5% konveieri hinnast. Konveieri hoolduskulud aastas arvutatakse valemiga

$$K_{hk} = K_{hind} * H_k, \quad 13$$

kus

$K_{hind}$  – konveieri hind eur  
 $H_k$  – hoolduskulu protsent %.

### 1.2.4 Konveieri hoolduspersonali kulu

Konveieri hoolduspersonali kulu arvutatakse analoogselt mäemasina personali kuluga.

## 1.3 Tootlikkuse arvutus

### 1.3.1 Kalluri tootlikkuse arvutus

Kalluri tootlikkuse arvutamise aluseks on kalluri kandevõime ning eerinna kaugus laost.

Kalluri tootlikkus arvutatakse valemiga

$$Q = T / (s/v) * G, \quad 14$$

kus

$s$  – teepikkus eerinnast laoni km  
 $v$  – kalluri kiirus km/h  
 $G$  – kalluri kandevõime km/h  
 $T$  – üks tund h.

### 1.3.2 Kopplaaduri tootlikkus ja konveieri tootlikkus

Konveieri tootlikkus oleneb sellest, kui palju kaevist jõuab kopplaadur talle peale laadida. Sama kehtib ka purustuskopa puhul. Tootlikkuse saamiseks on vaja teada kopplaaduri kiirust, tranšee ristipikkust, kopplaaduri hüdraulilist tsüklit ning kopa mahtu. Kuna tranšee pikkused on erinevad ning eerind liigub pidevalt edasi, siis on kasutatud keskmisi tranšeede pikkusi.

Keskmine sõidutsükli aeg leitakse valemiga

$$t_{st} = v/s^2, \quad 15$$

kus

s – tranšee keskmine laius km  
v – kopplaaduri kiirus km/h.

Kopplaaduri tootlikkuse arvutamiseks arvutatakse tema laadimiste arv tunnis valemiga

$$N = 1 / (t_{st} + t_{ht} + t_m), \quad 16$$

kus

$t_{st}$  – keskmine sõidutsükli aeg h  
 $t_{ht}$  – hüdrauliline tsükkel h  
 $t_m$  – manööverdamine h.

Edasi arvutatakse keskmine kaevise laadimise kogus ühes tunnis valemiga

$$Q = N * q * \rho, \quad 17$$

kus

N – keskmine laadimiste arv tunnis  
q – kopa maht  $m^3$   
 $\rho$  – põlevkivi mahumass  $t/m^3$  (arvestatud 1,6).

### 1.3.3 Purustuskopa tootlikkus

Purustuskopa tootlikkuse aluseks on kopplaaduri tootlikkus, kuid tuleb arvestada ajaga, mis kulub kaevise purustamiseks. Purustuskopa tootlikkus arvutatakse järgnevate valemiga

Keskmine sõidu tsükli aeg leitakse valemiga

$$t_{st} = v / s^2, \quad 18$$

kus

s – tranšee keskmine laius km  
v – kopplaaduri kiirus km/h.

Kopplaaduri ja purustuskopa tootlikkuse arvutamiseks arvutatakse tema laadimiste ja purustamisete arv tunnis valemiga

$$N = 1 / (t_{st} + t_{ht} + t_m + t_p), \quad 19$$

kus

$t_{st}$  – keskmine sõidu tsükli aeg h  
 $t_{ht}$  – hüdrauliline tsükkel h  
 $t_m$  – manööverdamine h  
 $t_p$  – purustamine h.

Tootlikkus arvutatakse valemiga

$$Q = N \cdot q \cdot \rho, \quad 20$$

kus

N – keskmine laadimiste arv tunnis  
q – kopa maht  $m^3$   
 $\rho$  – põlevkivi mahumass  $t/m^3$  (arvestatud 1,6).

#### 1.4 Põlevkivi koguste arvutus

Põlevkivi koguste arvutuseks kasutatakse Narva karjäärist saadud andmeid. Lisaks praegusi tranšeede pikkusi ning maa-ameti geoportaali maardlate rakenduse kaudu saadud tranšeede laiusi (Lisa 3). Põlevkivi kogused arvutatakse valemiga

$$Q = a \cdot b \cdot c \cdot \rho, \quad 21$$

kus

a – tranšee laius m  
b – tranšee pikkus m  
c – kihi paksus m  
 $\rho$  – põlevkivi mahumass  $t/m^3$ .

## 2 Praegune olukord Narva karjääris

### 2.1 Kaevevälja asukoht

Kaeveväljaks on Narva karjäär, kuid mitte kogu karjäär, vaid kunagine Sirgala karjäär ning Narva karjääri osad. Eesti Energia Kaevanduste AS-le kuuluv Eesti ja maailma suurim põlevkivikarjäär Narva karjäär asub Ida-Viru maakonnas Vaivara, Toila ja Illuka valdade territooriumil, jäädes Eesti põlevkivimaardla kirdeossa. Karjääril on neli mäeeraldist – Narva, Narva II, Sirgala ja Sirgala II, kogupindalaga 16,3 tuh. ha.[20]

Lähiaastatel lõpetatakse Narva karjääri tranšeedes 1 ja 2 varu kaevandamine. Tranšees 4 lähivad mäetööd Tootsi Turvas AS mäeeraldise piirile, mistõttu peatatakse tranšees nr 4 varude kaevandamine.[22]



Joonis 1. Narva karjäär (autori joonis)([kaevevli.wor](http://kaevevli.wor))



Joonis 2. Narva karjäär [3]

## 2.2 Geoloogiline ja mäenduslik iseloomustus

Aluspõhja geoloogiat arvestades asub mäeeraldis Kesk-Devoni ladestiku Vadja ja Leivu kihistus, kus dolokivi- ja domeriidikihid vahelduvad savi- või aleuroliidi vahekihtidega. Pehme katendi paksus on keskmiselt 5-7 meetrit. Karjääriala on suures osas soostunud. Läbilõikes on esindatud kvaternaarisetted ja Kesk-Devoni Narva lademe vett vähe läbilaskvad domeriidid. Narva kaeveväli on osa Põhja-Eesti lavamaast. Kihid lasuvad väikese kallakusega lõuna suunas. Olulisi tektoonilisi rikkeid kaeveväljal ei ole. Tootus põlevkivikihind lasub Kukruse lademes (O2kk), mis kujutab endast põlevkivi vahekihtidega paekivimassiivi kogupaksusega 1,8...3 meetrit.[2]

## 2.3 Tootsa kihi ja katendikivimite iseloomustus

Eesti põlevkivimaardla tootsa kihindi moodustavad Kukruse lademe Kiviõli kihistiku alumise osa seitse kukersiidi (alt ülespoole A, A', B, C, D, E, F<sub>1</sub>) ja viis lubjakivi vahekihti (A/A', A'/B, B/C, C/D, D/E). Lubjakivikihid A/A' ja E/F<sub>1</sub> kohati puuduvad. Kukersiidikihtide paksus on erinev, 0,05 kuni 0,6 meetrit. Kõik tootuskihindi kivimid sisaldavad hulgaliselt fossiile või nende purustatud skeletiosakesi - detriiti. Tootsa kihindi paksus on 2,5-3,0 meetrit, millest põlevkivi on 1,8-2,6 meetrit ja lubjakivi arvele jääb 0,6-0,7 meetrit. [7] Enamik põlevkivikihte sisaldab läätsjaid kerogeense lubjakivi suletisi. Lubjakivikihtide paksus on kuni 0,3 meetrit ning nende kontaktid põlevkivikihtidega on suhteliselt sirged. Orgaanilise aine sisaldus lubjakivikihtides on madal, enamasti alla 5%.

Kukruse lademe valdaval alal lasuvad devoni Narva lademe (D2nr) tihedad tumehallid savi-, mergli- ja dolomiidikihid kogupaksusega 0-22,6 meetrit ja nende peal kvaternaari liiva-, savi-, kruusasetted. Mullakihi paksus on 0-0,2 meetrit.[2]

## **2.4 Kihtide iseloomustus**

F<sub>1</sub> - Hallikaspruun põlevkivi paljude lubjakivimugulatega. Mugulaid on 3-4 tasemel. Paksus enamasti 0,3–0,4 meetrit. Kütteväärtus põhjaosas 10 MJ/kg, lõunaosas 5,5 MJ/kg.

E – Suurim põlevkivi kihi paksus on 0,5-0,6 meetrit, kütteväärtus 11-13 MJ/kg. Ehituse poolest võib jagada kaheks: allosas kõrge orgaanilise aine sisaldusega põlevkivi, ülaosa on paljude lubjakivimugulatega ja madala kvaliteediga.

D/E – Lubjakivi paksusega 6-8 cm, beežikas-halli värvi.

D – Põlevkivi paksusega 10-20 cm. Helepruun kvaliteediga, 10-13 MJ/kg. Orgaanilise aine sisaldus kuni 35%.

C/D – Lubjakivi paksusega 0,2-0,3 meetrit, helehall.

C - Põlevkihi suurim paksus on 0,5 meetrit maardla põhjaosas, see väheneb lõunas kuni 0,2 meetrini. Sisaldab lubjakivimugulaid. Helepruuni värvi. Põhjaosas kütteväärtus 12–14 MJ/kg, lõunaosas 8 MJ/kg. Orgaanilise aine sisaldus 10–40%.

B/C – Kollakashall lubjakivi, paksus umbes 10 cm.

B – Põlevkivi paksusega 0,4–0,6 meetrit. Helepruuni värvi. Lubjakivimugulate sisaldus umbes 15%. Maardla põhjaosas kütteväärtus ~20 MJ/kg, lõunaosas väheneb kuni 12 MJ/kg. Orgaanilise aine sisaldus 30–55%.

A/B – Savikas lubjakivi, paksus 6-10 cm.

A' - Põlevkivikiht paksusega 4–12 cm. Tumehall, savikas, kütteväärtus 4-10 MJ/kg.

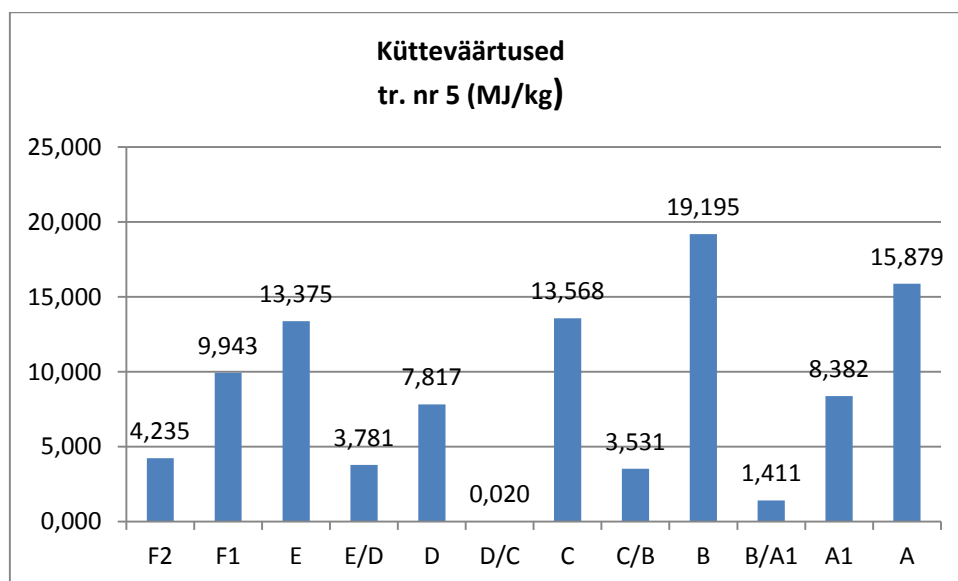
A/A' - Lubjakivimugulad, paksusega kuni 5 cm.

A – Põlevkivikiht paksusega 10–15 cm. Helepruuni värvi. Orgaanilise aine sisaldus 40%. Kütteväärtus 16 MJ/kg. Savikad lubjakivid ja merglid üksikute savikate kukersiidi vahekihtidega.

## 2.4.1 Tranšee 5

Tabel 1. Tranšee nr.5 [Lisa 2. Kihtide kütteväärtused tranšeede lõikes (1993\_0001.pdf)]

Tranšee 5				
Kihi indeks	Kihi paksus	Tihedus	Q	MJ› MWh
	m	g/cm <sup>3</sup>	mJ/kg	MWh
F <sub>2</sub>	0,25	2,31	4,235	0,001176
F <sub>1</sub>	0,32	1,93	9,943	0,002761
E	0,53	1,81	13,375	0,003715
E/D	0,08	2,34	3,781	0,001050
D	0,08	2,06	7,817	0,002171
D/C	0,31	2,84	0,020	0,000005
C	0,47	1,79	13,568	0,003768
C/B	0,19	2,36	3,531	0,000980
B	0,46	1,58	19,195	0,005331
B/A <sub>1</sub>	0,20	2,56	1,411	0,000391
A <sub>1</sub>	0,10	2,04	8,382	0,002328
A	0,12	1,69	15,879	0,004410



Graafik 1. Tranšee nr 5 kütteväärtused ([kihtide paksused.xlsx](#))

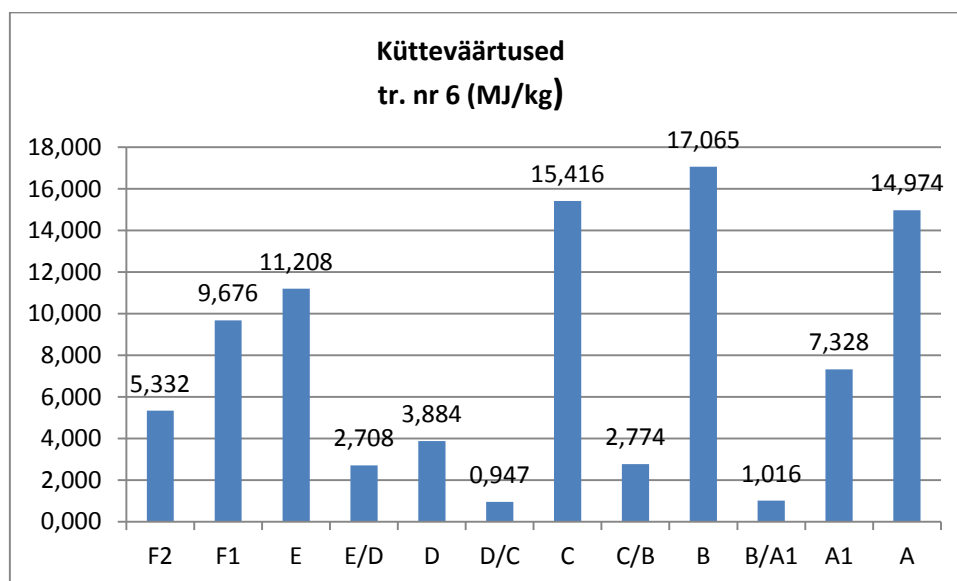
Tranšee nr 5 tootsa kihindi paksus on 3,11 meetrit. Tranšees on väga palju kõrge kütteväärtusega kihte. Võrreldes teiste tranšeedega on tranšees nr 5 kõrge kütteväärtusega kihid F<sub>1</sub>, E ja D. Kui arvestada kõiki tranšee kihte, siis on tranšee nr 5 kõige kõrgema kütteväärtusega tranšee. Kiht D/C on kõige madalama kütteväärtusega.



## 2.4.2 Tranšee 6

Tabel 2. Tranšee nr.6 [Lisa 2. Kihtide kütteväärtused tranšeede lõikes (1993\_0001.pdf)]

Tranšee 6				
Kihi indeks	Kihi paksus	Tihedus	Q	MJ› MWh
	m	g/cm <sup>3</sup>	mJ/kg	MWh
F <sub>2</sub>	0,23	2,25	5,332	0,001481
F <sub>1</sub>	0,28	1,99	9,676	0,002687
E	0,59	1,89	11,208	0,003113
E/D	0,08	2,44	2,708	0,000752
D	0,05	1,05	3,884	0,001078
D/C	0,19	2,59	0,947	0,000263
C	0,45	1,70	15,416	0,004282
C/B	0,10	2,42	2,774	0,000770
B	0,59	1,64	17,065	0,004740
B/A <sub>1</sub>	0,19	2,61	1,016	0,000282
A <sub>1</sub>	0,10	2,09	7,328	0,002035
A	0,13	1,71	14,974	0,004159



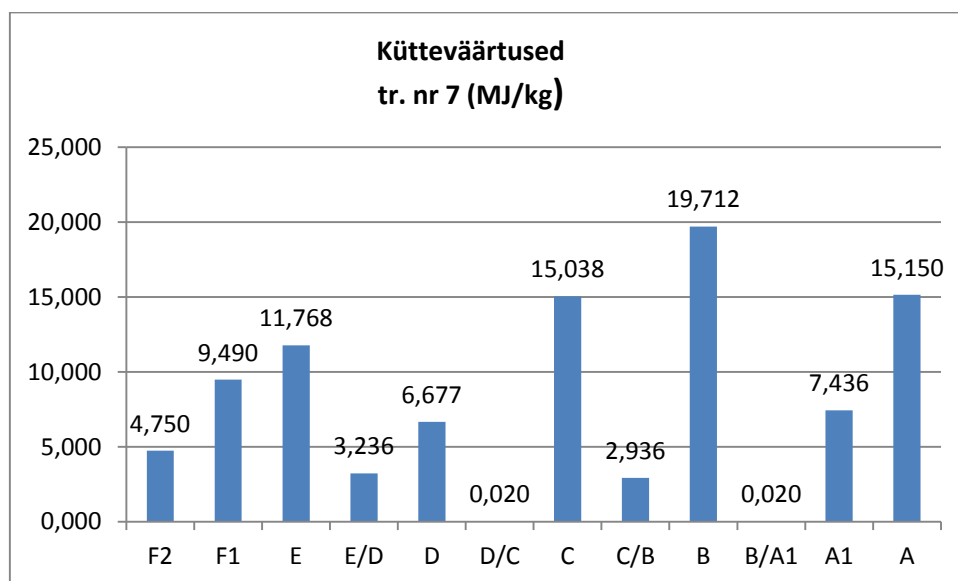
Graafik 2. Tranšee nr 6 kütteväärtused ([kihtide paksused.xlsx](#))

Tranšee nr 6. Tootsa kihindi paksus on 2,98 meetrit. Tranšees on kõige vaesema kütteväärtusega B kiht. Tranšee kõige kõrgema kütteväärtusega põlevkivikiht on C kiht. Tranšee erineb teistest D kihi poolest, mis on väga madala kütteväärtusega võrreldes teiste tranšeedega. Samuti on võrreldes teiste tranšeedega vahekihid E/D ja C/B kõige madalama kütteväärtusega.

### 2.4.3 Tranšee 7

Tabel 3. Tranšee nr.7[Lisa 2. Kihtide kütteväärtused tranšeede lõikes (1993\_0001.pdf)]

Tranšee 7				
Kihi indeks	Kihi paksus	Tihedus	Q	MJ› MWh
	m	g/cm <sup>3</sup>	mJ/kg	MWh
F <sub>2</sub>	0,26	2,27	4,750	0,001319
F <sub>1</sub>	0,30	1,97	9,490	0,002636
E	0,59	1,85	11,768	0,003268
E/D	0,06	2,38	3,236	0,000898
D	0,07	2,13	6,677	0,001854
D/C	0,28	1,69	0,020	0,000005
C	0,37	1,72	15,038	0,004177
C/B	0,19	2,42	2,936	0,000815
B	0,44	1,54	19,712	0,005475
B/A <sub>1</sub>	0,18	2,62	0,020	0,000005
A <sub>1</sub>	0,10	2,10	7,436	0,002065
A	0,11	1,71	15,150	0,004208



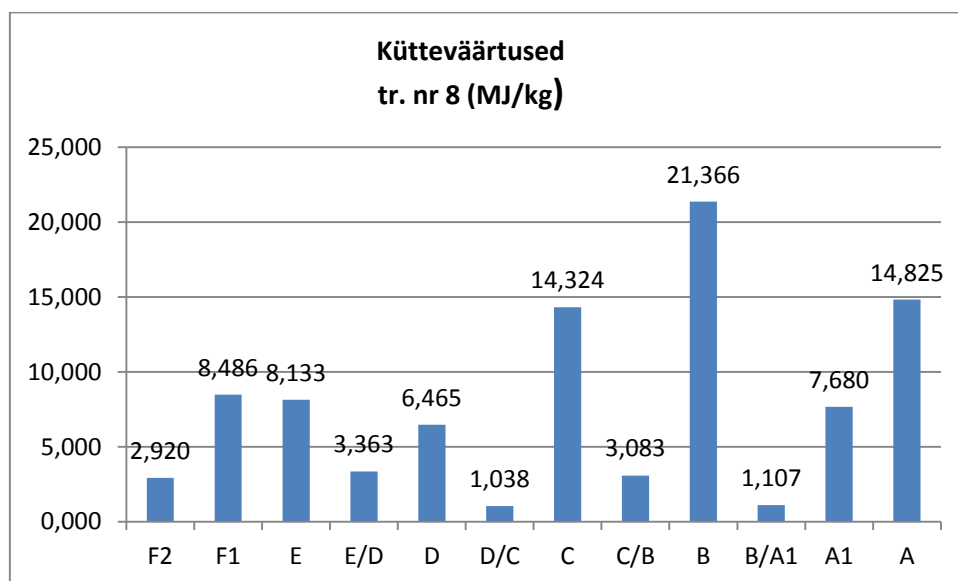
Graafik 3. Tranšee nr 7 kütteväärtused ([kihtide paksused.xlsx](#))

Tranšee nr 7 tootsa kihindi paksus on kokku 2,95 meetrit. Selle tranšee võib kihtide kütteväärtuse kohapealt nimetada keskmiseks. Väga kõrge kütteväärtusega kihid puuduvad. Võrreldes teiste tranšeedega võib välja tuua kihi C. Kiht B/A<sub>1</sub> on kõige madalama kütteväärtusega.

#### 2.4.4 Tranšee 8

Tabel 4. Tranšee nr.8 [Lisa 2. Kihtide kütteväärtused tranšeede lõikes (1993\_0001.pdf)]

Tranšee 8				
Kihi indeks	Kihi paksus	Tihedus	Q	MJ› MWh
	m	g/cm <sup>3</sup>	mJ/kg	MWh
F <sub>2</sub>	0,28	2,42	2,920	0,000811
F <sub>1</sub>	0,34	2,03	8,486	0,002357
E	0,53	2,06	8,133	0,002259
E/D	0,07	2,39	3,363	0,000934
D	0,03	2,16	6,465	0,001795
D/C	0,18	2,59	1,038	0,000288
C	0,47	1,76	14,324	0,003978
C/B	0,11	2,41	3,083	0,000856
B	0,51	1,49	21,366	0,005935
B/A <sub>1</sub>	0,18	2,58	1,107	0,000307
A <sub>1</sub>	0,09	2,08	7,680	0,002133
A	0,11	1,74	14,825	0,004118



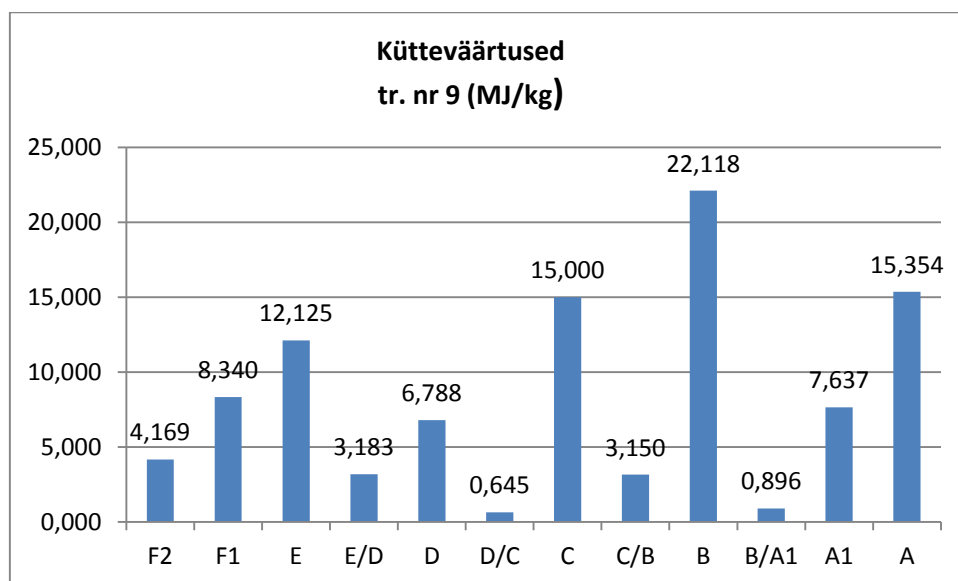
Graafik 4. Tranšee nr 8 kütteväärtused ([kihtide paksused.xlsx](#))

Tranšee nr 8 tootsa kihindi paksus on 2,90 meetrit. Tranšee kõige kõrgema kütteväärtusega kiht on B kiht. Lisaks võib välja tuua ka D/C kihi, mis võrreldes teiste tranšeedega on kõrge kütteväärtusega. Võrreldes teiste tranšeedega on tranšee kõige madalama kütteväärtusega kihid F<sub>2</sub> ja E.

## 2.4.5 Tranšee 9

Tabel 5 Tranšee nr.9 [Lisa 2. Kihtide kütteväärtused tranšeede lõikes (1993\_0001.pdf)]

Tranšee 9				
Kihi indeks	Kihi paksus	Tihedus	Q	MJ> MWh
	m	g/cm <sup>3</sup>	mJ/kg	MWh
F2	0,21	2,32	4,169	0,001158
F1	0,30	2,04	8,340	0,002316
E	0,51	1,85	12,125	0,003368
E/D	0,05	2,40	3,183	0,000884
D	0,06	2,14	6,788	0,001885
D/C	0,25	2,62	0,645	0,000179
C	0,39	1,73	15,000	0,004166
C/B	0,21	2,41	3,150	0,000875
B	0,41	1,52	22,118	0,006143
B/A1	0,19	2,61	0,896	0,000248
A1	0,10	2,08	7,637	0,002121
A	0,14	1,71	15,354	0,004265



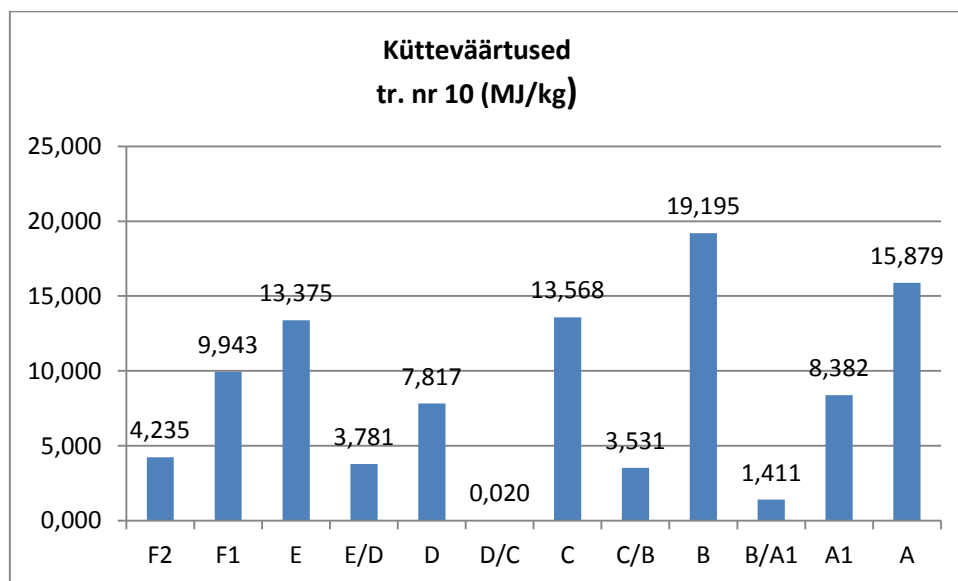
Graafik 5. Tranšee nr 9 kütteväärtused ([kihtide paksused.xlsx](#))

Tranšee nr 9 tootsa kihindi paksus on 2,82 meetrit. Välja võib tuua kihi B, mis on võrreldes teiste tranšeedega kõige kõrgema kütteväärtusega. Lisaks kihile B on ka kiht C väga kõrge kütteväärtusega. Ülejäänud kihid on võrreldes teiste tranšeede samade kihtidega keskpärased. Kokkuvõttes on tranšee põlevkivi küllaltki kõrge kütteväärtusega.

## 2.4.6 Tranšee 10

Tabel 6. Tranšee nr.10 [Lisa 2. Kihtide kütteväärtused tranšeede lõikes (1993\_0001.pdf)]

Tranšee 10				
Kihi indeks	Kihi paksus	Tihedus	Q	MJ› MWh
	m	g/cm <sup>3</sup>	mJ/kg	MWh
F <sub>2</sub>	0,29	2,40	3,141	0,000872
F <sub>1</sub>	0,34	2,08	7,539	0,002094
E	0,57	1,80	12,952	0,003597
E/D	0,08	2,38	3,462	0,000961
D	0,07	2,11	7,088	0,001968
D/C	0,19	2,55	1,432	0,000397
C	0,44	1,79	13,465	0,003740
C/B	0,18	2,37	3,362	0,000933
B	0,45	1,55	20,029	0,005563
B/A <sub>1</sub>	0,19	2,57	1,203	0,000334
A <sub>1</sub>	0,10	2,02	8,683	0,002411
A	0,12	1,71	15,184	0,004217



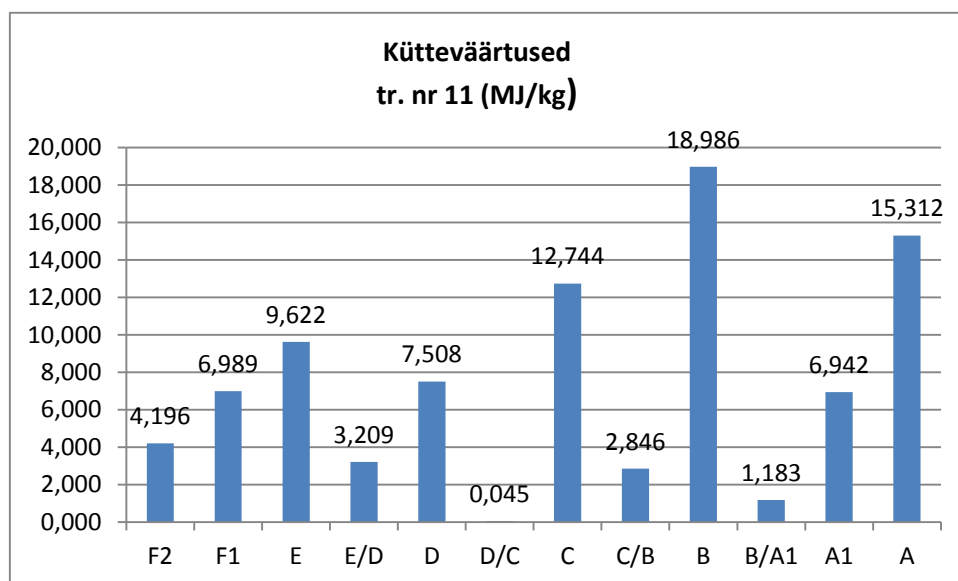
Graafik 6. Tranšee nr 10 kütteväärtused ([kihtide paksused.xlsx](#))

Tranšee nr 10 tootsa kihindi paksus on 3,02 meetrit. Tranšee kõige kõrgema kütteväärtusega kiht on B kiht, mille kütteväärtus on üle 20 MJ/kg. Lisaks on võrreldes teiste tranšeedega kõrge kütteväärtusega A<sub>1</sub> kiht ning topeltpaas. Ülejäänud kihid on keskpärased.

## 2.4.7 Tranšee 11

Tabel 7 Tranšee nr.11 [Lisa 2. Kihtide kütteväärtused tranšeede lõikes (1993\_0001.pdf)]

Tranšee 11				
Kihi indeks	Kihi paksus	Tihedus	Q	MJ> MWh
	m	g/cm <sup>3</sup>	mJ/kg	MWh
F <sub>2</sub>	0,25	2,32	4,196	0,001165
F <sub>1</sub>	0,30	2,12	6,989	0,001941
E	0,60	1,97	9,622	0,002672
E/D	0,06	2,40	3,209	0,000891
D	0,10	2,10	7,508	0,002085
D/C	0,28	2,63	0,045	0,000012
C	0,31	1,82	12,744	0,003539
C/B	0,15	2,43	2,846	0,000790
B	0,44	1,57	18,986	0,005273
B/A <sub>1</sub>	0,16	2,59	1,183	0,000328
A <sub>1</sub>	0,09	2,12	6,942	0,001928
A	0,13	1,71	15,312	0,004253



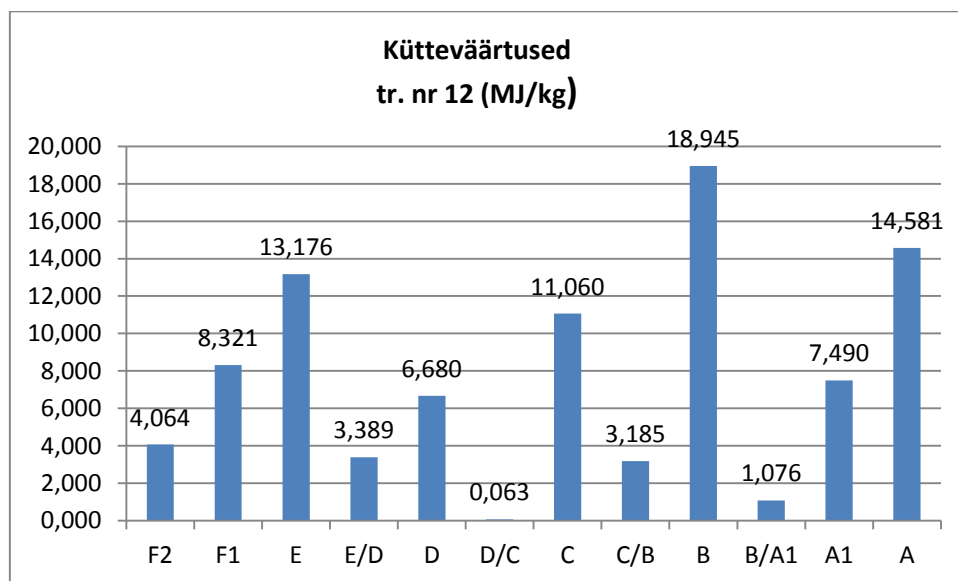
Graafik 7. Tranšee nr 11 kütteväärtused ([kihtide paksused.xlsx](#))

Tranšee nr 11 tootsa kihindi paksus on 2,87 meetrit. Võrreldes teiste tranšeedega on kihid enamuses keskpärased. Kõige kõrgema kütteväärtusega põlevkivikiht on kiht B. Tranšees on ka kõige madalama kütteväärtusega F<sub>1</sub> ja A<sub>1</sub> kihid. Tranšee võib liigitada keskmise kütteväärtusega tranšeede hulka.

## 2.4.8 Tranšee 12

Tabel 8. Tranšee nr.12 [Lisa 2. Kihtide kütteväärtused tranšeede lõikes (1993\_0001.pdf)]

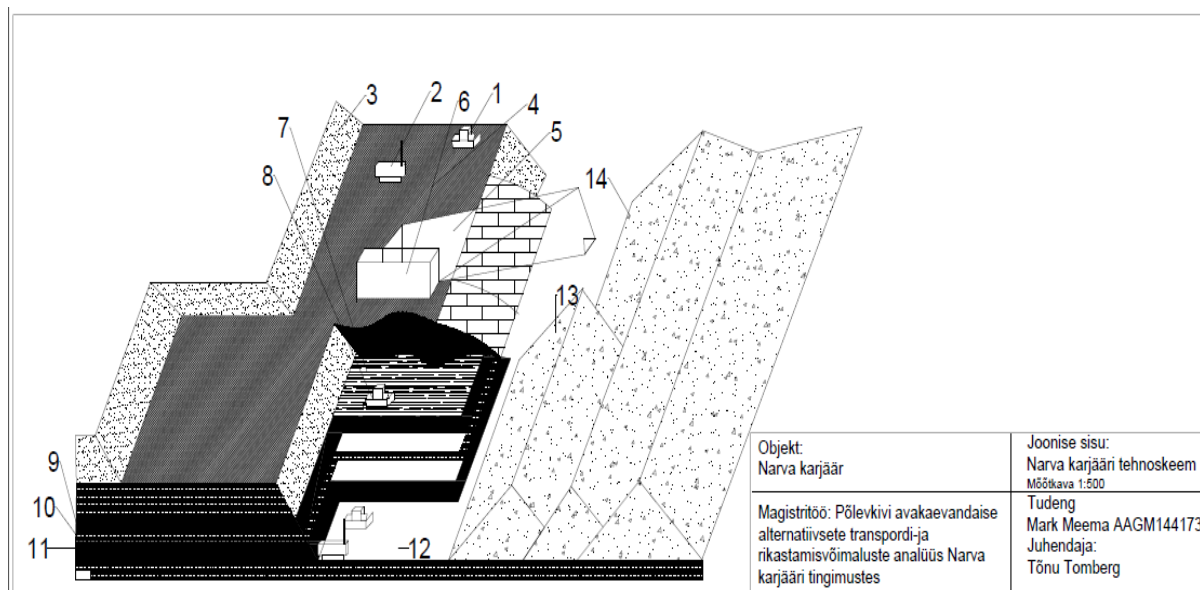
Tranšee 12				
Kihi indeks	Kihi paksus	Tihedus	Q	MJ› MWh
	m	g/cm <sup>3</sup>	mJ/kg	MWh
F <sub>2</sub>	0,28	2,33	4,064	0,001128
F <sub>1</sub>	0,31	2,03	8,321	0,002311
E	0,50	1,79	13,176	0,003660
E/D	0,07	2,37	3,389	0,000941
D	0,06	2,13	6,680	0,001855
D/C	0,25	2,65	0,063	0,000017
C	0,33	1,89	11,060	0,003072
C/B	0,12	2,39	3,185	0,000884
B	0,45	1,56	18,945	0,005262
B/A <sub>1</sub>	0,21	2,59	1,076	0,000298
A <sub>1</sub>	0,12	2,10	7,490	0,002080
A	0,10	1,74	14,581	0,004050



Graafik 8. Tranšee nr 12 kütteväärtused ([kihtide paksused.xlsx](#))

Tranšee nr 12 tootsa kihindi paksus on 2,80 meetrit. Üldiselt võib tranšee nr 12 liigitada keskpäraste hulka. Kõrge kütteväärtusega kihid puuduvad. Välja võib tuua karjääri kaks kõige madalama kütteväärtusega kihti – kihid A ja C.

## 2.5 Mäetööd



Joonis 3. Põlevkivikarjäär (autori joonis) ([tehnoskeem-Model.pdf](#))

Põlevkivi kaevandamisel kasutatakse traditsioonilist lavamaardlate avakaevandamise tehnoloogiat. Tehnoloogia kasutuspiirid on määratud avakaevandamisel katendi paksusega ja katendikivimite tugevuse ning püsivusega.[18]

Narva karjääris kasutatakse vaalkaevandamiseviisi, mis on välja toodud joonisel 3 (Joonis 3)

Kaeeväljas toimuvad järgnevad mäetööd.

Joonise 3 (Joonis 3) keskmes asub tehnoloogilise ahela põhimasin – paljandusekskavaator (6), milleks põlevkivikarjäärides on enamasti samm-mehhanismiga draglain EŠ, mis seisab kobestatud kõvade kivimite (5) astmel ning tegeleb katendi (3) ekskaveerimisega väljatöötatud alasse (13). Paljandusekskavaatorist 200 kuni 500 meetrit eespool toimuvad puur- ja lõhketööd. Skeemil on kujutatud astet puhastav buldooser (1) ja astmesse lõhkeauke puuriv puurpink (2). Ploki laenguaukude laadimise lõppemisel toimub astet kobestav lõhkamine. Paljandusekskavaatorist tagapool on juba kattedkivimitest vabastatud, st paljandatud tootuskihi aste, millel töötab buldooser-kobesti (8), mille ees asub töövalmis kopplaadur (12) ning viimase läheduses kallur. Kallurite abil transporditakse raimatud kaevis ladudesse. Kaevandatud ala (14) tasandatakse buldooseri abil [5].



**Tabel 9. Tehnoloogia skeemi osad**

1	Buldooser
2	Puurpink
3	Kvaternaari aste
4	Lubjakivi aste
5	Kobestatud lubjakivi aste
6	Ekskavaator EŠ
7	Kobestatud põlevkivi
8	Buldooser-kobesti
9	E-F aste
10	C/D aste
11	B-C-A aste
12	Tootuskihindi lamam
13	Formeeritav puistang
14	Puistangud väljatöötatud alas

## 2.6 Katendi eemaldamine

Narva karjääris kasutatakse paljandustöödel vaalkaevandamist. Selle kaevandamisviisi korral paigutatakse katendikivimid paljandusekskavaatoritega väljatöötatud alale sisepuistangusse muid transpordivahendeid kasutamata. Geoloogilise ehituse ja tehnoloogilise otstarbekuse tõttu teisaldatakse katend kahe alaastanguga: setted ja kaljused kivimid, mis on enne teisaldamist puur- ja lõhketöödega kobestatud. Kohtades, kus on paksud moreenilademed, toimub pehme katendi teisaldamine mõnikord täiendava alaastanguga. Vaalkaevandamise korral on katenditöödel kasutatavateks masinateks draglaini tüüpi ekskavaatorid. Draglaini kasutamise tehnoloogilise skeemi aluseks on setete ja kõvade kivimite selektiivne teisaldamine karjääri sisepuistangusse. Ekskavaator paikneb kobestatud kaljuste kivimite astangu otsas ja teisaldab mõlema alaastangu katendit ühest seisupaigast. Kõigepealt ekskaveeritakse alumise ammutamisega lõhatud kaljused kivimid, seejärel ülemise ammutamisega pehme katend. Selline järjestus võimaldab kaljused kivimid paigutada puistangu alumisse ossa, ülaossa jäetakse aga kvaternaarisetted, mis tagab puistangute püsivuse ja loob soodsad tingimused hilisemaks korrastamiseks.[2] Kaljuse katendi tõstab väljatöötatud alasse draglain EŠ 15/90. Pärast pehme katendi eemaldamist toimub ploki tasandamine, selleks et puurpink saaks puurida vajalikud lõhkeaugud. Pärast puurimist

laaditakse lõhkeaugud ning toimub lõhkamine. Lõhkeaugu sügavus erineb igas tranšees, kuna katendi paksus varieerub. Lõhkeaukudesse pumbatakse 300-500 kilogrammi lõhkeainet ning igasse lõhkeauku laaditakse kaks padrunit (välja arvatud ploki lahtine äär, kuhu laaditakse neli padrunit, et ploki äär paremine lahti tuleks). Pärast lõhkamist tõstab draglain lõhatud kaljused kivimid väljatöötatud alasse. Narva karjääris on kokku 12 EŠ tüüpi draglaini, igal tranšeel on oma draglain. Draglainide kopa maht on 10 – 15 m<sup>3</sup>.



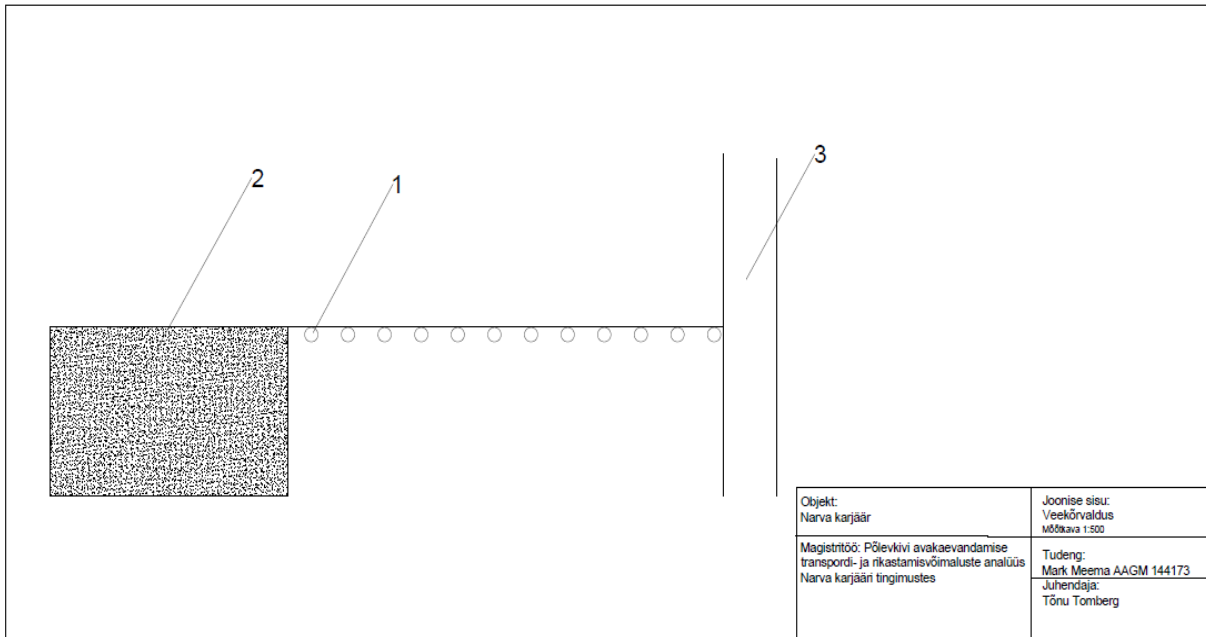
Foto 1. Eemaldatud pehme katend (autori foto) ([DSC\\_0045.jpg](#))

## 2.7 Veekõrvaldus

Põhjaveekompleksid toituvad põhiliselt sademeveest. Reeglina on toitumine kõige suurem kevadisel lumesulaperioodil (märts–aprill) ja sügisvihmade ajal (oktoober–november). Veetaseme muutuste aastane amplituud sõltub nii aasta ilmastikutingimustest kui ka reljeefist. Osa vett lisandub survealusest põhjaveest. [6] Selleks, et kaevandada põlevkivi, on vaja esmalt välja pumbata ja kaevandatavast alast välja juhtida põhjavesi. Tulenevalt kaevandamise tehnoloogiast alandatakse karjääris põhjavee tase allapoole põlevkivikihi tasapinda. Veekõrvalduseks on rajatud drenaazikäigud ja pumplad. Viimase kümne aasta jooksul on aastane vee pumpamise maht jäänud vahemikku 42,6 kuni 70,4 milj. m<sup>3</sup>. Väljapumbatud vesi puhastatakse heljumist settebasseinides ja suunatakse äravoolukraavide ning väiksemate jõgede kaudu Narva jõkke.[19] Narva karjääris läbindatakse kaevandamisest eespool veekõrvaldusstrekki (3), mille kaudu vesi välja pumbatakse ning settebasseinidesse juhitakse. Veekõrvalduseks lõhatakse veekõrvalduskraav, mille tõttu jõuab vesi tekkinud lõhesid ja

Põlevkivi avakaevandamise alternatiivsete transpordi- ja rikastamisvõimaluste analüüs Narva karjääri tingimustes

pragusid mööda veekõrvaldusstreki. Lõhkeaugud (1) puuritakse iga 1,5 meetri tagant ning igasse lõhkeauku laaditakse 33 kilogrammi lõhkeainet.



Joonis 4. Veekõrvaldus (autori joonis) ([veekõrvaldus-Model.pdf](#))



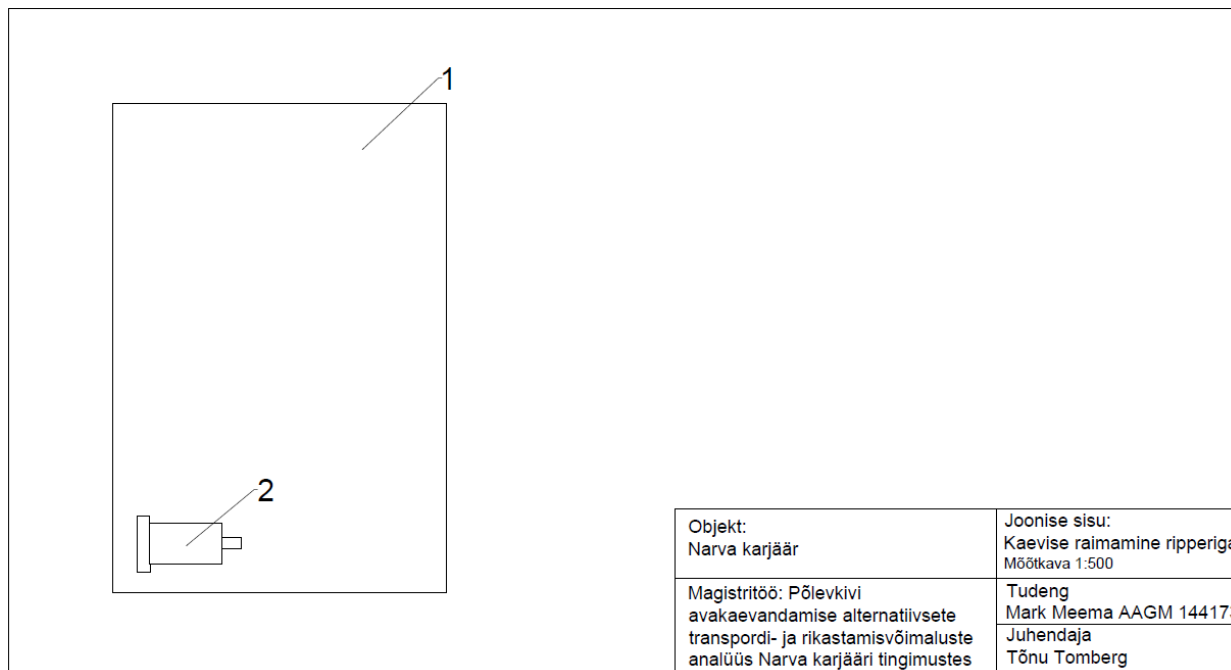
Foto 2. Veekõrvalduskraavi laadimine (autori foto) ([DSC\\_0120.jpg](#))



Foto 3. Veekõrvalduskraav pärast lõhkamist paremal (autori foto) ([DSC\\_0122.jpg](#))

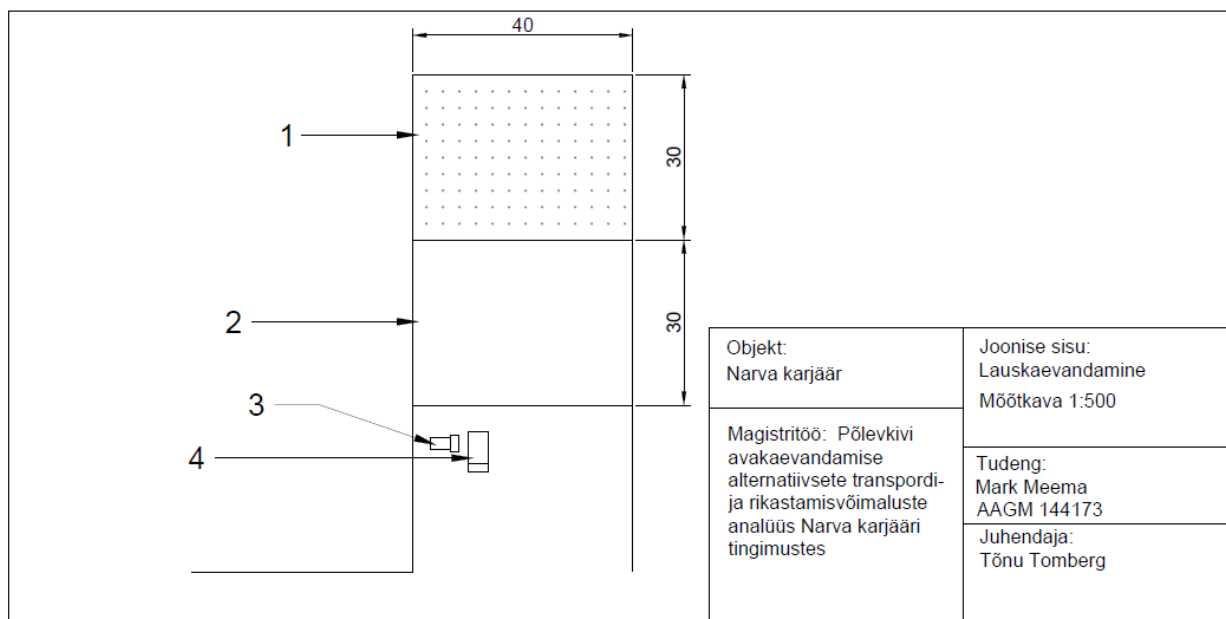
## 2.8 Maavara raimamine

Maavara raimamiseks kasutatakse karjääris kahte erinevat tehnoloogiat. Selektiivseks väljamiseks kasutatakse buldooser-kobestit Komatsu 375, millele on kinnitatud ripper. Seda tehnoloogiat kasutatakse selleks, et saada kätte kõrge kütteväärtusega B ja C kihid. Joonisel 5 (Joonis 5) on välja toodud selektiivne põlevkivi kaevandamise skeem, kus kobestamisele kuulub plokk (1) laiusel 40 meetrit. Ripperiga buldooser (2) surub oma ripperi vastava kihi sügavusele ning liigub astangust kaevandatud ala suunas edasi-tagasi. Kui kihid F<sub>2</sub>-D on kobestatud, toimub materjali väljavedu kalluritega. Järgnevalt kobestatakse kiht D/C, mis lükatakse kaevandatud alasse, kus selle jaoks on jäetud eraldi ruumi, või veetakse kopplaaduritega kaevandatud alasse. Lõpuks kobestatakse kihid C ja B, mis laaditakse kalluritele. Lõpuks kobestatakse kiht A.



**Joonis 5. Selektiivne raimamine (autori joonis)([selektiivne-Model.pdf](#))**

Joonisel 6 (Joonis 6) on kujutatud teist kaevis raimamise viisi. Antud juhul puuritakse puurpinkidega läbi kõik kihid, kusjuures väljamata alale kõige lähemal asuvad lõhkeaugud puuritakse sügavamale, et lõhata ka veekõrvalduskraav. Lõhkeaugud (1) puuritakse võrguga 3,5 - 4,5 meetrit. Lõhkeaukude vahe on 3,5 meetrit, juhul kui kasutatakse puuri läbimõõduga 112 millimeetrit. Sellise võrgu puhul laetakse igasse lõhkeauku 12 kilogrammi lõhkeainet. Võrgu 4,5 meetrit puhul kasutatakse puuri diameetriga 160 millimeetrit. Selle puhul laetakse igasse lõhkeauku 20 kilogrammi lõhkeainet. Veekõrvalduskraavi lõhkeaukudesse laetakse lisaks 33 kilogrammi lõhkeainet. Pärast lõhkamist toimub kobestatud plokilt (2) kaevis laadimine kopplaadurite (3) abil. Kopplaadurid laadivad kaevis kalluritele (4), mis transpordib kaevis vastavasse lattu.



Joonis 6. Raimamine puur-lõhketöödega (autori joonis) ([lauskaevandamine-Model.pdf](#))

## 2.9 Laadimine

Laadimiseks kasutatakse Narva karjääris kopplaadureid ning ekskavaatoreid EKG. Kopplaadureid on kokku seitse ja EKG ekskavaatoreid kaksteist. EKG ekskavaatoreid on kasutatud karjääris alates selle avamisest. Nende positiivseks küljeks on väiksed hoolduskulud. Kuna EKG ekskavaatorid töötavad elektriajamil, siis on nende ülalpidamine väga odav. EKG ekskavaatoritel on 5 m<sup>3</sup> kopp, tänu millele on kaevise laadimine kallurile väga kiire. EKG ekskavaatorid liiguvad karjääris omal jõul ning kasutavad selleks elektriajamit. Kuna tegu on suure mäemasinaga, siis rikke korral toimub selle remont tööfrondi läheduses, kuna elektriakaablid ei võimalda nende transporti remonditsehhi.

Kopplaadurid on karjääris kasutusele võetud hiljuti. Kopplaadurite positiivseks küljeks on nende suur mobiilsus. Kui EKG ekskavaatorid ei ole võimelised omal jõul tranšeede vahel liikuma, siis kopplaadurid saavad seda teha. Tänu sellele on toodangujuhil võimalus saata kopplaadurid tranšeedesse, kus on vaja raimatud kaevise kiiresti välja transportida. Negatiivseks küljeks on nende puhul nende madal töökindlus.

Narvas kasutatakse kaht tüüpi kopplaadureid. Nendeks on Komatsu poolt toodetav WA 600 ning Volvo L350. Mõlema kopplaaduri tehnilised andmed on välja toodud tabelites 10 (Tabel 10) ja 11 (Tabel 11).

**Tabel 10. Kopplaaduri WA 600 tehnilised andmed [13]**

Mootor	Komatsu SAA6D170E-5
Võimsus (kW)	393
Maksimaalne kiirus (km/h)	37,3
Kopa hüdraulika tsükli aeg (sek)	15,7
Mass (T)	52,5
Kopa maht kuhjaga (m <sup>3</sup> )	7
Kopa maht kuhjata (m <sup>3</sup> )	5,8
Keskmine kütuse kulu (l/h)	35

**Tabel 11. Volvo L350F tehnilised andmed [16]**

Mootor	Volvo D16E LAE3
Võimsus (kW)	397
Maksimaalne kiirus (km/h)	38,2
Kopa hüdraulika tsükli aeg (sek)	14,6
Mass (T)	50,8
Kopa maht kuhjaga (m <sup>3</sup> )	6,9
Kopa maht kuhjata (m <sup>3</sup> )	5,8
Keskmine kütuse kulu (l/h)	34,1

## 2.10 Vedu

Raimatud materjali vedu toimub Narva karjääris kalluritega Belaz 7555d ja Hitachi. Kallureid on karjääris kokku 20 ning kogu töö on organiseeritud kolmes vahetuses. Iga vahetuse ajal toimub järgneva kolme vahetuse planeerimine. Vastavalt tranšeele planeeritakse raimatud materjali väljavedu nii, et oleks tagatud vajalik kütteväärtus elektri jaamale ja õlitehasele. Kaevis tuleb eeerinnast võimalikult kiiresti välja vedada selleks, et eeerind saaks edasi liikuda.

**Tabel 12. Belaz 7555d tehnilised andmed [14]**

Mootor	KTTA 19-C
Võimsus (kW)	522
Pöördemoment (N*m/rpm)	2731/1400
Kütusekulu (l/h)	130,5
Tühi mass (kg)	40500
Täis mass (kg)	95500
Maksimaalne kiirus, (km/h)	55
Pöörde raadius (m)	9



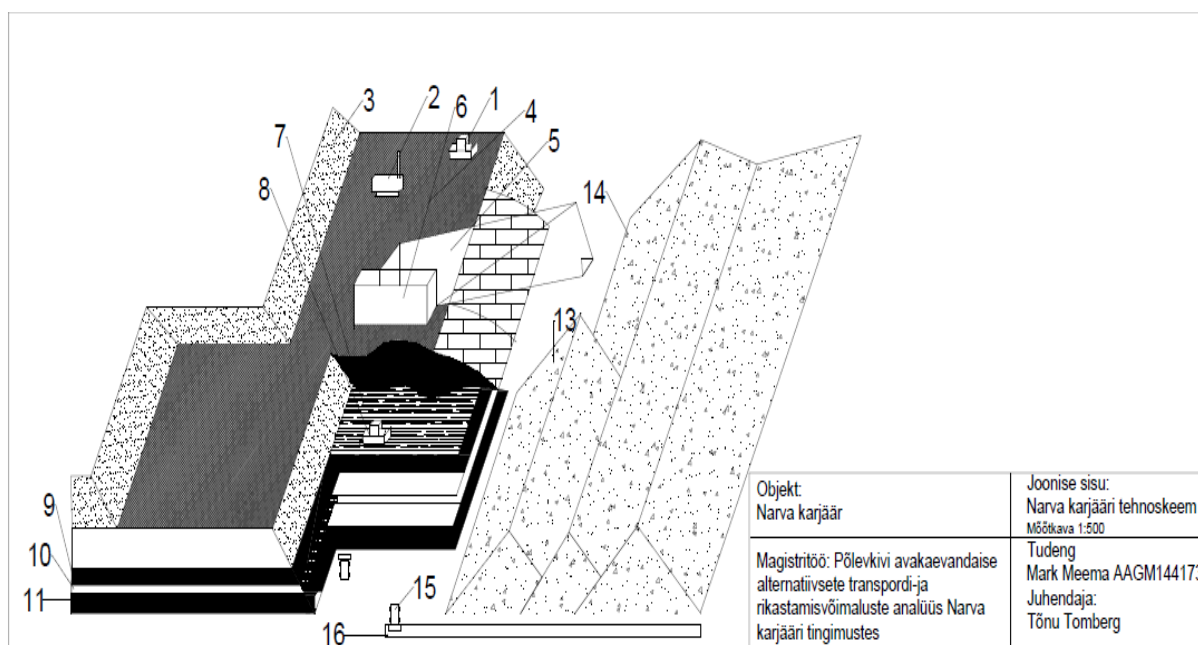
### 3 Alternatiivsete kaevandamisvariantide võrdlev analüüs

#### 3.1 Alternatiiv I: Konveier ja purustuskopp

Võrreldavateks tehnoloogiateks on praegune tehnoloogia ning alternatiivne, purustuskopa ja konveieri tehnoloogia

Esimeseks alternatiiviks on konveieri ja purustuskopa koostöö. Selle variandi puhul jäävad kõik protsessid, mida kaevandamise käigus tehakse samaks, muutub vaid kaevise transport ning raimatud kaevise laadimine.

##### 3.1.1 Mäetööd alternatiiv I



Joonis 7. Alternatiivsed mäetööd (autori joonis) ([tehnoskeem alter 1-Model.pdf](#))

Selle tehnoloogilise skeemi puhul ei ole olulisi muutuseid võrreldes käesoleval ajal kasutusel oleva tehnoloogiaga. Pehme katendi ning metsa eemaldamine toimub draglain EŠ abil kaevandatud alasse vaalude vahele, mis hiljem tasandatakse rekultiveerimise käigus buldooseri abil. Kaljuste kivimite lõhkamisele eelneb ploki puhastamine buldooseri (1) poolt. Ploki tasandamine teostatakse selleks, et puurpink saaks plokil probleemideta liikuda ning lõhkeauke puurida. Tasandamine on vajalik, kuna pehme katendi eemaldamine ei ole alati ühtlane. Kaljuste kivimite eemaldamine toimub puur- ja lõhketöödega, kus puurpink (2) puurib vajalikud lõhkeaugud, mis hiljem laetakse lõhkeainega ning lõhatakse. Seejärel toimub lõhatud kaljuste kivimite ekskaveerimine draglain EŠ (6) abil kaevandatud alasse.

Buldooserkobesti (8) abil toimub erinevate kihtide kobestamine. Lisaks toimub ka C/D (10) kihi kobestamine, mis seejärel buldooseri abil kaevandatud alasse lükatakse. Tehnoloogia suurim uudsus on kaevise transport, milleks kasutatakse konveierit (16) ning madala kütteväärtusega kihtide rikastamine, mis teostatakse kopplaaduriga (15), mille noolele on kinnitatud purustuskopp. Kõrge kütteväärtusega kihtide puhul kasutatakse tavalist koppa, kuna kõrge kütteväärtusega kihte ei ole vaja rikastada ega purustada. Sellise tehnoloogia puhul transporditakse kõrge kütteväärtusega kihid õlitehase lattu ning rikastatud kihid elektrijaama lattu.

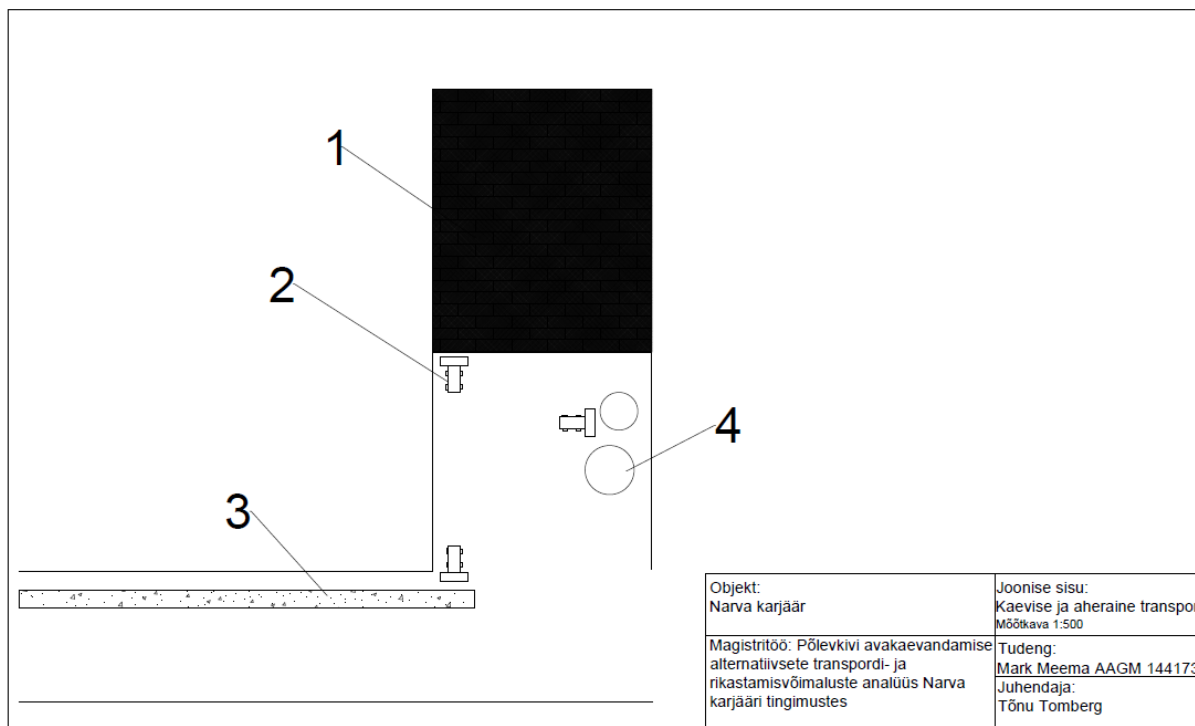
**Tabel 13. Alternatiiv I tehnoloogilise skeemi osad**

1	Buldooser
2	Puurpink
3	Kvaternaari aste
4	Lubjakivi aste
5	Kobestatud lubjakivi aste
6	Ekskavaator EŠ
7	Kobestatud põlevkivi
8	Buldooser-kobesti
9	E-F aste
10	C/D aste
11	B-C-A aste
12	Tootuskihi lamam
13	Formeeritav puistang
14	Puistangud väljatöötatud alas
15	Kopplaadur purustuskopaga
16	Konveier

### 3.1.2 Laadimine

Kaevise laadimiseks kasutatakse uue tehnoloogilise skeemi kohaselt samu kopplaadureid, mis praegu kasutusel on. Võrreldes praeguse tehnoloogiaga, kus kopplaadur ootab kalluri saabumist ning sellel ajal tööd ei tee, on kopplaadur pidevalt töös. Uue tehnoloogilise skeemi põhiselt lähevad madala kütteväärtusega kihid F<sub>2</sub>-D kuivrikastamisele. Järelikult peab kopplaadur, mille noolele on kinnitatud purustuskopp, sõitma täidetud kopaga konveierini, purustama kaevise, puistama aheraine kaevandatud alasse või puistangusse ning seejärel uue

kopataie järele sõitma. Kuivrikastamise tagajärjel tekkinud aheraine puistang tuleb ümber tõsta kaevandatud alasse.



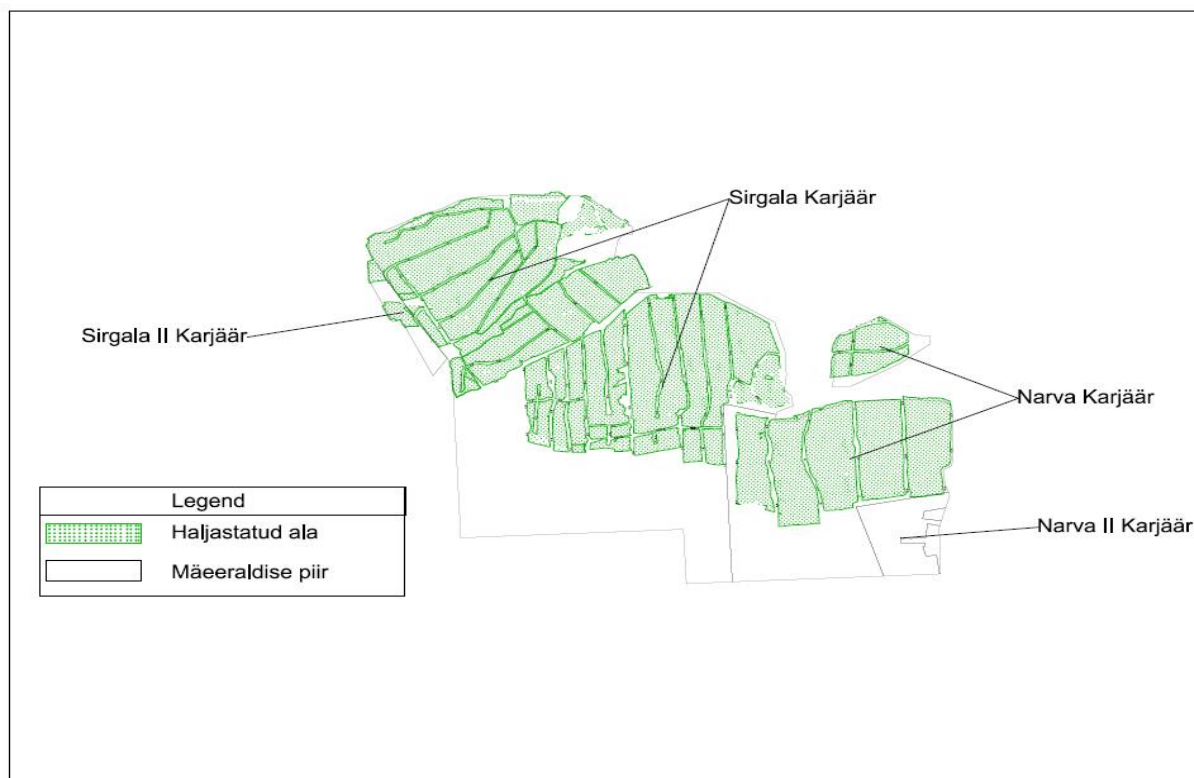
Joonis 8. Kaevisse laadimine ja aheraine koristus (autori joonis) ([Kaevisse ja aheraine transport-Model.pdf](#))

Joonisel 8 (Joonis 8) on kujutatud skeem, kuidas toimub kaevisse laadimine ja aheraine ümbertõstmise puistangusse. Eelnevalt kobestatud ploki (1) madala kütteväärtusega kaevisse transporditakse kopplaaduri (2) abil konveierini (3), kus toimub kuivrikastamine. Seejärel sõidab kopplaadur koos aherainega aheraine puistangu (4) ning kallab aheraine kopast aheraine puistangusse. Järgneb sama töötsükli kordus.

### 3.1.3 Vedu

Kuna materjali vedu toimub konveieri abil, siis tuleb see Narva karjääri esmalt projekteerida ning paigaldada. Narva karjääris on kokku kolm ladu, kaks ladu asuvad karjääri peahoone läheduses ning kolmas asub Sirgala II karjääri territooriumil. Joonise 9 (Joonis 9) põhjal võib väita, et Sirgala II karjääri varud hakkavad ammenduma ning seetõttu ei ole konveieri sinna paigaldamine otstarbekas. Sirgala II-s võib jätkata kallurite kasutamist varude ammendumiseni. Teistesse tranšeedesse võib konveierite võrgustiku projekteerida, kuna varusid jagub mitmeteks aastateks.

Ojamaa kaevanduses on aastast 2012 kasutusel konveier. 12,5 kilomeetri pikkuse lintkonveieri kiirus on 4 m/s ehk 14,4 km/h.[21] Kuna Ojamaa kaevanduses kaevandatakse põlevkivi, siis võib analoogse konveieri projekteerida ka Narva karjääri ning töö arvutustes kasutada samal kiirusel töötavat konveierit.



Joonis 9. Narva karjääri mäeeraldise piir [24]

Uudse tehnoloogia põhiselt paigutatakse igasse väljaveotranšeesse konveier, mille abil transporditakse kaevis kas elektriijaama või õlithase lattu. Elektriijaama laost läheb kaevis Eesti Elektriijaama ning õlithase laost õlithasesse. Elektriijaama laos on kaevis, mille kütteväärtus peab olema vähemalt 7 MJ/kg ning õlithase laos peab kaevise kütteväärtus olema vähemalt 8,4 MJ/kg.

Joonisel 10 (Joonis 10) on näidatud elektriijaama lao asukoht. Tranšees nr 5 on elektriijaama laoni 9,97 kilomeetrit. Joonisel 11 (Joonis 11) on näidatud õlithase lao asukoht ning tranšees nr 5 on õlithase laoni 12,05 kilomeetrit. Lisaks nendele kahele konveierile tuleb projekteerida veel kaks konveierit, et transportida kaevised tranšeedest nr 12 ja nr 11. Nendele tranšeedele tuleb projekteerida eraldi konveierid, kuna väljaveotranšee nr 12 asub elektriijaama ja õlithase ladudest paremal pool. Väljaveotranšee nr 11 asub täpselt elektriijaama ja õlithase ladude vahel. Projekteeritavatest konveieritest ühineb tranšee nr 12

Põlevkivi avakaevandamise alternatiivsete transpordi- ja rikastamisvõimaluste analüüs Narva karjääri tingimustes

konveier selle konveieriga, mis transpordib kaevist õlitechase lattu. Antud konveieri pikkuseks on 0,65 kilomeetrit. Teine konveier transpordib kaevist elektriijaama lattu ning konveieri pikkuseks on 2,24 kilomeetrit.



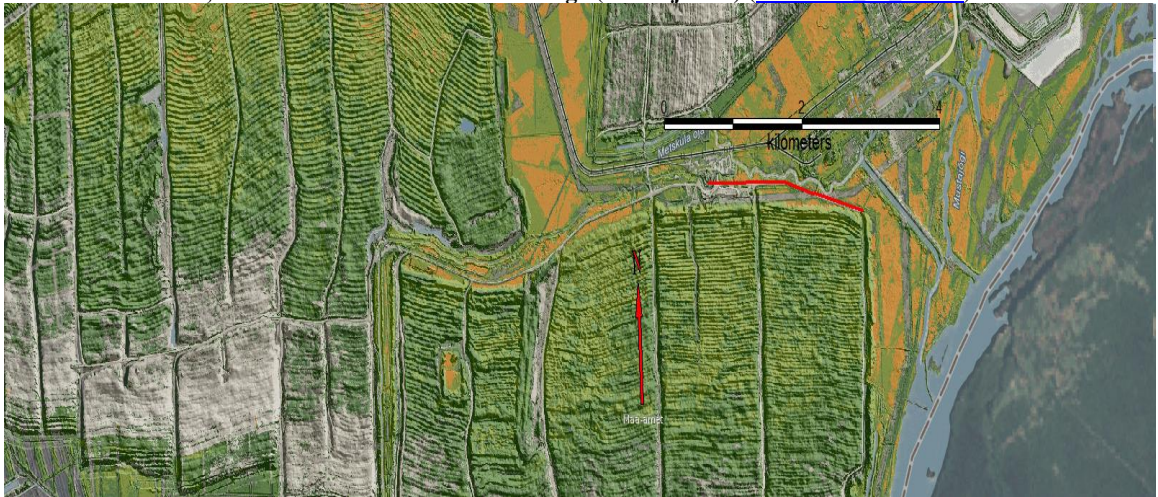
Joonis 10. Teekond tranšeest 5 elektriijaama laoni (autori joonis)([avak2015 5 A.wor](#))



Joonis 11. Teekond tranšeest 5 laoni B (autori joonis)([avak2015 5 B.wor](#))



Joonis 12. Konveier, mis ühineb õlithase lao konveieriga (autori joonis) ([avak2015 12 B.wor](#))



Joonis 13. Konveier tranšeest nr 12 kuni elektrijaama laoni (autori joonis) ([avak2015 12 A.wor](#))

#### 3.1.4 Konveierid tranšeedes

Konveieri kasutamiseks tuleb projekteerida väljaveotranšeesse kaks konveierit. Esimene transpordib kaevise elektrijaama lattu ning teine õlithase lattu. Lisaks sellele peab igal tranšeel olema oma konveier, kuhu kopplaadur kõrge kütteväärtusega raimatud kaevist laeb või kus toimub kuivrikastamine konveieri kohal. Igasse tranšeesse paigaldatud konveier tagab minimaalse sõiduteekonna kopplaaduritele olenemata sellest, kus raimatud kaervis asub. Nii võib vajadusel tranšeest nr 9 vedada kaevist üheksanda tranšee või kaheksanda tranšee konveierile.

#### 3.1.4.1 Väljaveotranšee nr 12 (parem)

Tranšeesse nr 12 projekteeritav konveier on kujutatud joonisel 14 (Joonis 14) ning selle pikkuseks on 4,41 kilomeetrit.



Joonis 14. Väljaveotranšee nr 12 (parem) (autori joonis) ([avak2015\\_12.wor](#))

#### 3.1.4.2 Väljaveotranšee nr 12 (vasak)

Tranšeede nr 12 ja 11 vahele projekteeritav konveier on kujutatud joonisel 15 (Joonis 15) ning selle pikkuseks on 4,53 kilomeetrit.



Joonis 15. Väljaveotranšee nr 12 (vasak) (autori joonis) ([avak2015\\_11.wor](#))

### 3.1.4.3 Väljaveotranšee nr 11 (vasak)

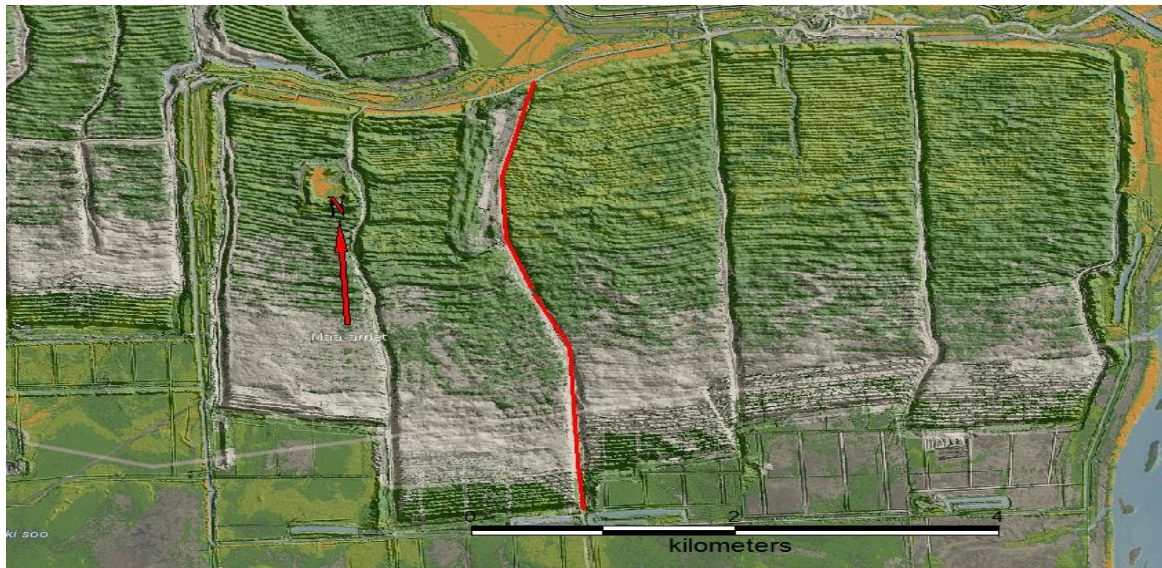
Tranšeede nr 11 ja 10 vahele projekteeritav konveier on kujutatud joonisel 16 (Joonis 16) ning selle pikkuseks on 4,36 kilomeetrit.



Joonis 16. Väljaveotranšee nr 11 (vasak) (autori joonis) ([avak2015\\_10.wor](#))

### 3.1.4.4 Väljaveotranšee nr 10 (vasak)

Tranšeede nr 10 ja 9 vahele projekteeritav konveier on kujutatud joonisel 17 (Joonis 17) ning selle pikkuseks on 4,33 kilomeetrit.



Joonis 17. Väljaveotranšee nr 10 (vasak) (autori joonis) ([avak2015\\_9.wor](#))



### 3.1.4.5 Väljaveotranšee nr 8 (vasak)

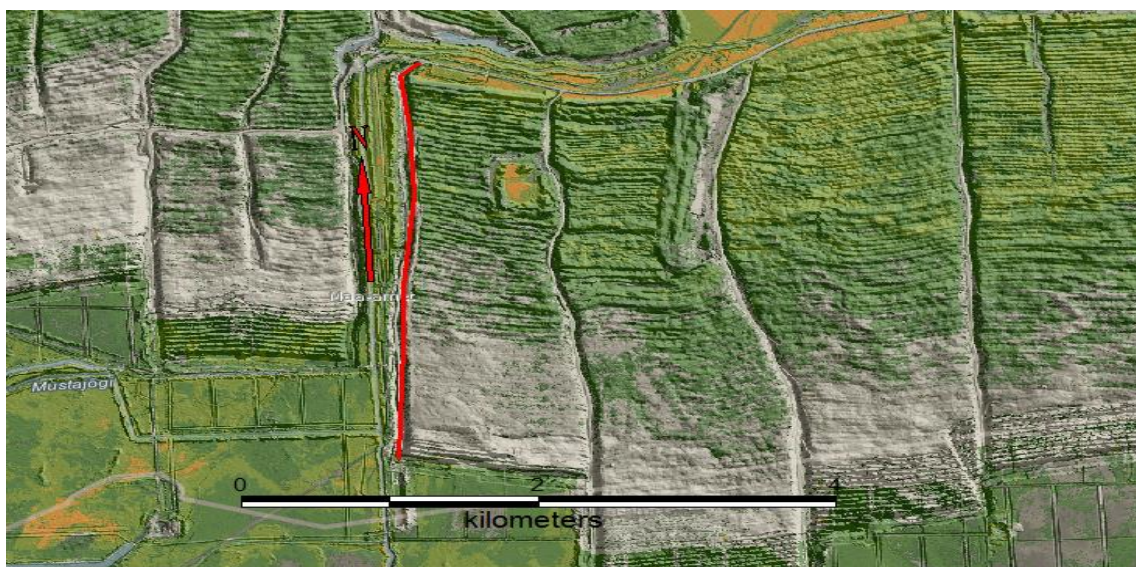
Tranšeede nr 9 ja 8 vahele projekteeritav konveier on kujutatud joonisel 18 (Joonis 18) ning selle pikkuseks on 4,84 kilomeetrit.



Joonis 18. Väljaveotranšee nr 9 (vasak) (autori joonis) ([avak2015\\_8.wor](#))

### 3.1.4.6 Väljaveotranšee nr 8 (vasak)

Tranšeesse nr 8 projekteeritav konveier on kujutatud joonisel 19 (Joonis 19) ning selle pikkuseks on 3,74 kilomeetrit.



Joonis 19. Väljaveotranšee nr 8 (vasak) (autori joonis) ([avak2015\\_7.wor](#))

#### 3.1.4.7 Väljaveotranšee nr 7 (parem)

Tranšeesse nr 7 projekteeritav konveier on kujutatud joonisel 20 (Joonis 20) ning selle pikkuseks on 2,06 kilomeetrit.



Joonis 20. Väljaveotranšee nr 7 (parem) (autori joonis) ([avak2015 6.wor](#))

#### 3.1.4.8 Väljaveotranšee nr 7 (vasak)

Tranšeede nr 7 ja 6 vahele projekteeritav konveier on kujutatud joonisel 21 (Joonis 21) ning selle pikkuseks on 2,06 kilomeetrit.



Joonis 21. Väljaveotranšee nr 7 (vasak) (autori joonis) ([avak2015 5.wor](#))

### 3.1.4.9 Väljaveotranšee nr 6 (vasak)

Tranšeede nr 6 ja 5 vahele projekteeritav konveier on kujutatud joonisel 22 (Joonis 22) ning selle pikkuseks on 1,67 kilomeetrit.



Joonis 22. Väljaveotranšee nr 6 (vasak) (autori joonis) ([avak2015 4.wor](#))

### 3.1.4.10 Väljaveotranšee nr 5 (vasak)

Tranšeesse nr 5 projekteeritav konveier on kujutatud joonisel 23 (Joonis 23) ning selle pikkuseks on 1,30 kilomeetrit.



Joonis 23. Väljaveotranšee nr 5 (vasak) (autori joonis) ([avak2015 3.wor](#))

Kuna kõigis tranšeedes toimub kaevandamine ning eerind liigub edasi siis on vaja kõiki konveiereid perioodiliselt pikendada vastavalt eerinna liikumisele. Narva karjääris liigub eerind aastas kolm korda 40 meetri kaupa. Järelikult tuleb igakord kui eerind liigub konveierit

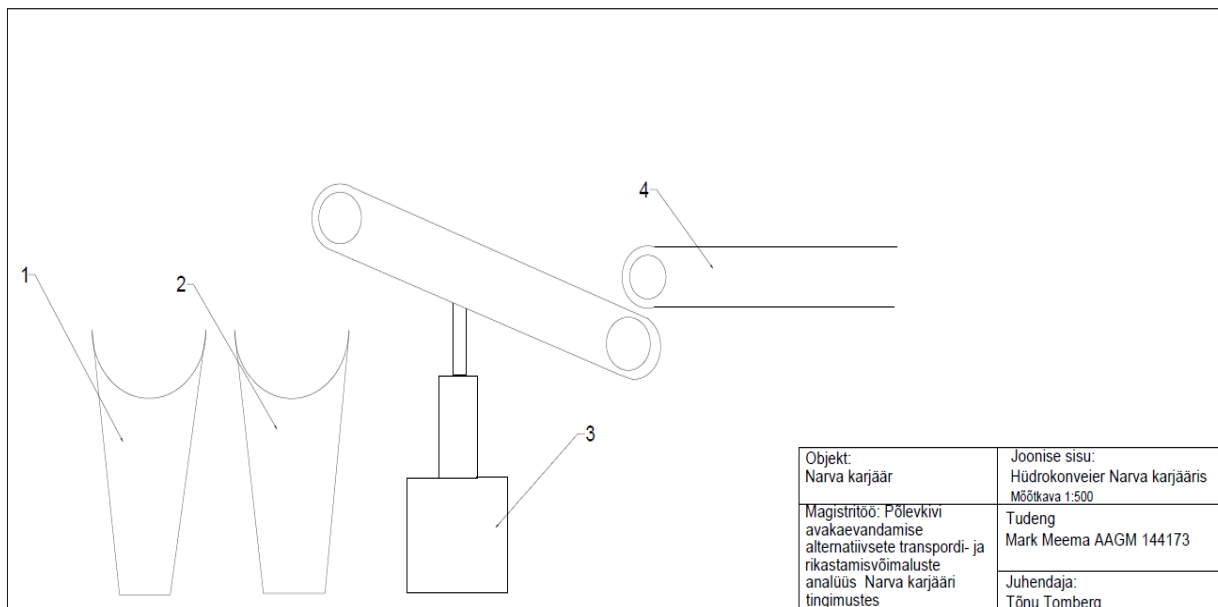
40 meetri võrra pikendada. Vastavalt Narva karjääri mäeeraldisele on võimalik välja arvutada tulevased tranšeede pikkused. Need on välja toodud tabelis 14 (Tabel 14).

**Tabel 14. Tranšeede praegused ja tulevased pikkused (Eesti Energia Kaevandused)**

Tranšee nr	Veotranšee pikkus (m)
12 Vasak (hetkel)	4410
12 Vasak (tulevikus)	6533
12 Parem (hetkel)	4530
12 Parem (tulevikus)	6580
11 Vasak (hetkel)	4360
11 Vasak (tulevikus)	6505
10 Vasak (hetkel)	4330
10 Vasak (tulevikus)	6363
9 Vasak (hetkel)	4840
9 Vasak (tulevikus)	6110
8 Vasak (hetkel)	3740
8 Vasak (tulevikus)	4724
7 Parem (hetkel)	2060
7 Parem (tulevikus)	4009
7 Vasak (hetkel)	2060
7 Vasak (tulevikus)	4009
6 vasakul (hetkel)	1607
6 vasakul (tulevikus)	2998
5 vasakul (hetkel)	1300
5 vasakul (tulevikus)	3413

### 3.1.5 Hüdrauliline konveier

Igale väljaveotranšee lõpus asuvale konveierile tuleb projekteerida hüdrauliline tungraud, et erineva kütteväärtusega kaevis õigesse lattu transportida. Olenevalt kaevise kütteväärtusest tõstetakse või langetatakse konveierit, mis tagab kaevise transpordi õigesse lattu. Elektriijaama lattu transporditakse kihtide F<sub>2</sub>-D põlevkivi ning õlithase lattu kihtide C, B ja A põlevkivi. Süsteem on kujutatud joonisel 24 (Joonis 24). Tranšee konveierilt (4) transporditakse kaevis hüdraulilisele konveierile (3), kust see suunatakse edasi kaevis elektriijaama lao konveierile (1) või õlithase lao konveierile (2).



Joonis 24. Hüdrauliline konveier (autori joonis) ([hüdrokonveier-Model.pdf](#))

### 3.1.6 Purustuskopp

Tänapäeva mäetööstuse suureks eesmärgiks on keskkonnasäästlik ning võimalikult väikeste kadudega kaevandamine. Põlevkivi vaalkaevandamisel ei tohi kaod olla suuremad kui 9% (Narva karjääri toodanguinseneri Mihhail Zalotuhhini arvamuse kohaselt). Kadude vähendamiseks tuleb põlevkivi rikastada. Eestis kasutatakse põlevkivi rikastamist raskes keskkonnas (magnetiidi-vee suspensioon).

Narva karjääris pole seni põlevkivi rikastatud. Raskes vedelikus rikastamise tehnoloogia alternatiiviks on kuivrikastamine. Kuivrikastamise üheks variandiks on purustuskopa kasutamine, mis võimaldab rikastamist tööfrondis koheselt pärast materjali raimamist. Purustuskopa kasutamise katseid on Narva karjääris tehtud aastal 2013, kus rikastati G kihti. Käesoleval ajal on välja töötatud mitu erinevat purustuskopa liiki, millest enimkasutatavad on lõugpurustuskopp ja valtspurustuskopp.

#### 3.1.6.1 Lõugpurustuskopp

Lõugpurustuskopp on purustuskopp, kus kivim purustatakse purustuskopas oleva lõugpurustiga. Sellise purustuskopaga on võimalik purustada kõiki kivimeid. Lõugpurustuskopa ei ole Narva karjääris otstarbekas kasutada, sest selle kasutamisel toimub vaid materjali purustamine ilma rikastamiseta. Kogu materjal, mis purustisse läheb, tuleb ka välja.

Üks suuremaid lõugpurustuskoppade tootjaid on Itaalia ettevõtte MB.

Tabel 15. MB purustuskoppade tootlikkus [11]

Ekskavaatorid ja kopplaadurid				
Mudel	Soovitav ekskavaatori või kopplaaduri mass	Kopa mass	Kopa maht	Maksimaalne tootlikkus
MB-C50	4 t	0,75 t	0,25 m <sup>3</sup>	10 m <sup>3</sup> /h
BF 60.1	8 t	1,5 t	0,60 m <sup>3</sup>	19,8 m <sup>3</sup> /h
BF 70.2	14 t	2,25 t	0,66 m <sup>3</sup>	30 m <sup>3</sup> /h
BF 90.3	20 t	3,5 t	0,90 m <sup>3</sup>	40 m <sup>3</sup> /h
BF 120.4	28 t	4,9 t	1,30 m <sup>3</sup>	50 m <sup>3</sup> /h
BF 150.10	70 t	10,5 t	2,30 m <sup>3</sup>	120 m <sup>3</sup> /h
MB-L 120	2,8 t	0,95 t	0,30 m <sup>3</sup>	14 m <sup>3</sup> /h
MB-L 140	3 t	0,98 t	0,40 m <sup>3</sup>	16 m <sup>3</sup> /h
MB-L 160	4,5 t	1,35 t	0,50 m <sup>3</sup>	18 m <sup>3</sup> /h



Foto 4. Lõugpurustuskopp [11]

### 3.1.6.2 Valtspurustuskopp

Valtspurustuskopas on koppa paigutatud valtspurusti. Valtspurusti on purusti, kus pöörlevate võllide küljes olevad hambad lõikavad (rebivad) pehmet materjali. Valtspurusti purustab algul suure tootlikkusega põlevkivi ning seejärel koorib aheraine küljes oleva põlevkivi.[23] Selle tehnoloogia puhul jääb aheraine, milleks on lubjakivi, kopa valtsidele ning puistatakse pärast kuivrikastamist kaevandatud alasse. Valtspurustuskopp on küllalt suure efektiivsusega. Tekivad küll kaod, kuid purustatud põlevkivi on sobiva kütteväärtusega. See tähendab, kui enne vähendas lubjakivi põlevkivi kütteväärtust ning kateldesse pidi lisama kõrgema

kvaliteediga põlevkivi, siis purustuskoppade kasutuselevõtt võimaldab põlevkivi segamisest vabaneda.[20]

Soome firma ALLU poolt toodetud valtspurusruskopa prototüüpi katsetati Narva karjääris. ALLU purustuskopaga saab töödelda ja purustada mitmeid erinevaid materjale nagu pehmet katendit, savi, turvast, kivisütt, põlevkivi, lubjakivi jmt. Purustuskoppasid toodetakse nii kopplaaduritele kui ka ekskavaatoritele. Tabelis 16 (Tabel 16) on näitena välja toodud ALLU poolt pakutavate tööorganite parameetrid. Suurima tootlikkusega on ekskavaatori noolele monteeritavad purustuskopad. Kopplaadurile kinnitatava purustuskopa mudel oleneb kopplaaduri massist. Tabelis 16 (Tabel 16) ALLU poolt pakutavatest mudelitest sobib Narva karjääri M 3-27 ja M 3-32. Kopplaaduritele monteeritavad purustuskopad jäävad tootlikkuses neljandiku võrra alla ekskavaatoritele monteeritavatele purustuskopadele, kuid on tunduvalt suurema tootlikkusega võrreldes MB poolt pakutavate lõugpurustuskoppadega.

**Tabel 16. Allu purustuskoppade tootlikkus [12]**

Ekskavaatorid 50-160 t				
Mudel	Ekskavaatori mass	Kopa maht	Kopa mass	Tootlikkus
M 3-20	50 - 70 t	3,8 m <sup>3</sup>	7 000 kg	350 t/h
M 3-25	70 – 120 t	4,7 m <sup>3</sup>	9 000 kg	500 t/h
M 4-25	120 – 160 t	6,2 m <sup>3</sup>	12 000 kg	600 t/h
Kopplaadurid 30-90 t				
Mudel	Kopplaaduri mass	Kopa maht	Kopa mass	Tootlikkus
M 3-27	30 - 50 t	4,5 m <sup>3</sup>	7 500 kg	250 t/h
M 3-32	50 – 70 t	6,5 m <sup>3</sup>	10 500 kg	350 t/h
M 4-32	60 – 90 t	8,5 m <sup>3</sup>	13 500 kg	450 t/h



**Foto 5. Valtspurustuskopp [12]**

### **3.1.7 Vajaliku kütteväärtuse tagamine**

Narva karjääris transporditakse kaevist kahte lattu, kus kohapeal toimub erinevate kihtide segamine, et tagada vajalik kütteväärtus. Põlevkivi kvaliteeti jälgib Narva karjääris toodangujuht, kes suunab kaevise kihtide kütteväärtustele vastavasse lattu. Tabelis 17 (Tabel 17) on välja toodud Narva karjääri erinevate kihtide kütteväärtused. Sellist tabelit kasutatakse Narva karjääris vajaliku kütteväärtuse tagamise arvutamiseks. Tabeli 17 (Tabel 17) põhjal võib öelda, et lausväljamise puhul, mis on tabelis 17 (Tabel 17) välja toodud VAL reas, ei ole võimalik tagada piisavat kütteväärtust õlitehasele. Sama saab öelda ka kihtide F-D kohta. Teatud transeede puhul ei ole tagatud ka piisav kütteväärtus elektrijaamale, mistõttu osutub vajalikuks nende kihtide põlevkivi rikastamine.



**Tabel 17. Narva karjääri kihtide kütteväärtused [Lisa 1. Kütteväärtuste arvutamise tabel (autor Eesti Energia Kaevandused AS)]**

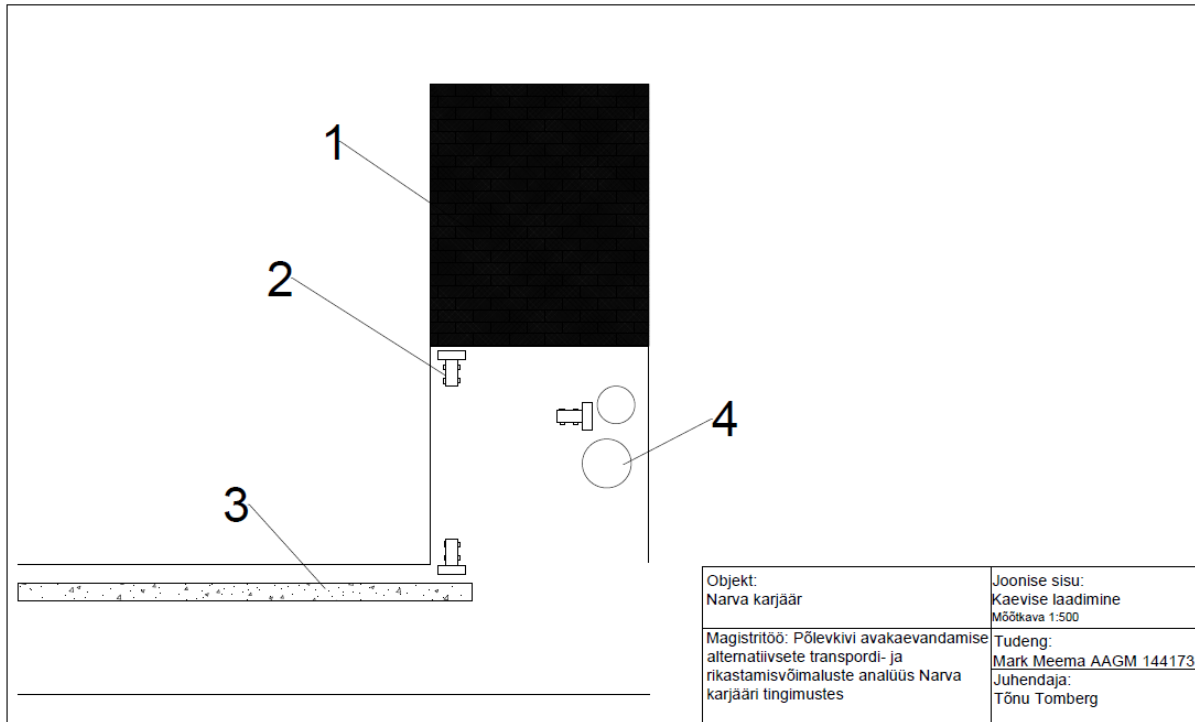
Kiht Tranšee	Viivikond		Narva										Tonnid t	Kvaliteet MJ/kg	
	1	4	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
VAL Tonnid	7,33	6,96	6,96	7,13	7,63	7,34	7,34	7,17	7,38	6,15	6,62	5,85		2640	7,63
FD Tonnid	7,66	7,59	7,59	8,11	7,23	7,3	5,67	7,32	7,31	6,12	7,55	6,82		400	8,11
FD+D/C Tonnid	5,92	5,67	5,67	5,96	6,22	6,23	4,99	5,76	6,29	4,68	5,7	5,24		0	
CB Tonnid	10,85	10,19	10,19	10,63	11,79	10,82	12,69	11,23	10,81	10,48	10,53	8,62		1760	10,48
CB+D/C Tonnid	7,98	7,19	7,19	7,26	9,34	8,53	9,91	8,07	8,53	6,72	6,93	6,25		0	
CBA Tonnid	8,84	8,43	8,43	8,54	9,19	8,59	9,93	8,8	8,65	8,34	7,78	7,22		0	
AA Tonnid	9,5	10,01	10,01	10,35	9,08	9,53	9,51	9,29	9,65	9,48	8,3	10,72		0	
AA+B/A Tonnid	4,48	4,55	4,55	4,33	3,96	4,09	4,45	4,39	4,52	4,53	3,99	4,48		0	
FD+D/C+CB Tonnid	7,84	7,37	7,37	7,64	8,34	7,95	7,88	7,73	7,92	6,42	7,23	6,25		0	
FD+D/C+CB+B/A Tonnid	7,28	6,88	6,88	7,06	7,63	7,3	7,31	7,13	7,32	6,07	6,57	5,62		0	
														4800	8,74

### 3.1.8 Purustuskopa kasutusvõimalused Narva karjääris

Purustuskopa kasutuselevõtmine Narva karjääris muudaks kaevandamise tehnoloogiat. Esmalt on vajalik üleminek selektiivsele kaevandamisele, et maksimaalselt ära kasutada kõrge kütteväärtusega põlevkivikihte. See tähendab, et lausväljamise tehnoloogiat enam ei kasutata ja igat kihti kaevandatakse eraldi.

Teiseks tuleb karjääri hankida täiendavaid kopplaadureid ning vastavalt rikastatavale kaevisse kogusele ka purustuskoppasid. Vastavalt väljatavale kihile saab kopplaadur kasutada kas purustuskoppa või tavalist koppa. Antud juhul saab tavalise kopplaaduri abil transportida konveierini kihid A, B ja C. Need kihid on Narva karjääris kõrge kütteväärtusega. Ülejäänud kihid transporditakse kopplaadur purustuskopa abil konveieri kohale, kus toimub kuivrikastamine. Aheraine, mis tekib pärast kuivrikastamist, puistatakse puistangusse, mis hiljem kopplaaduri või buldooseri abil kaevandatud alasse lükatakse. Eelpool väljatoodud tabeli 16 (Tabel 16) põhjal pakutavatest purustuskoppadest sobib Narva karjääri ideaalselt ALLU M 3-32. Sellise

purustuskopa saab monteerida kopplaadurile massiga vähemalt 50 tonni. Narva karjääris kasutatava kopplaaduri Komatsu WA 600 mass 52,5 tonni, mis tähendab, et kopplaadur võib sellist purustuskoppa kasutada

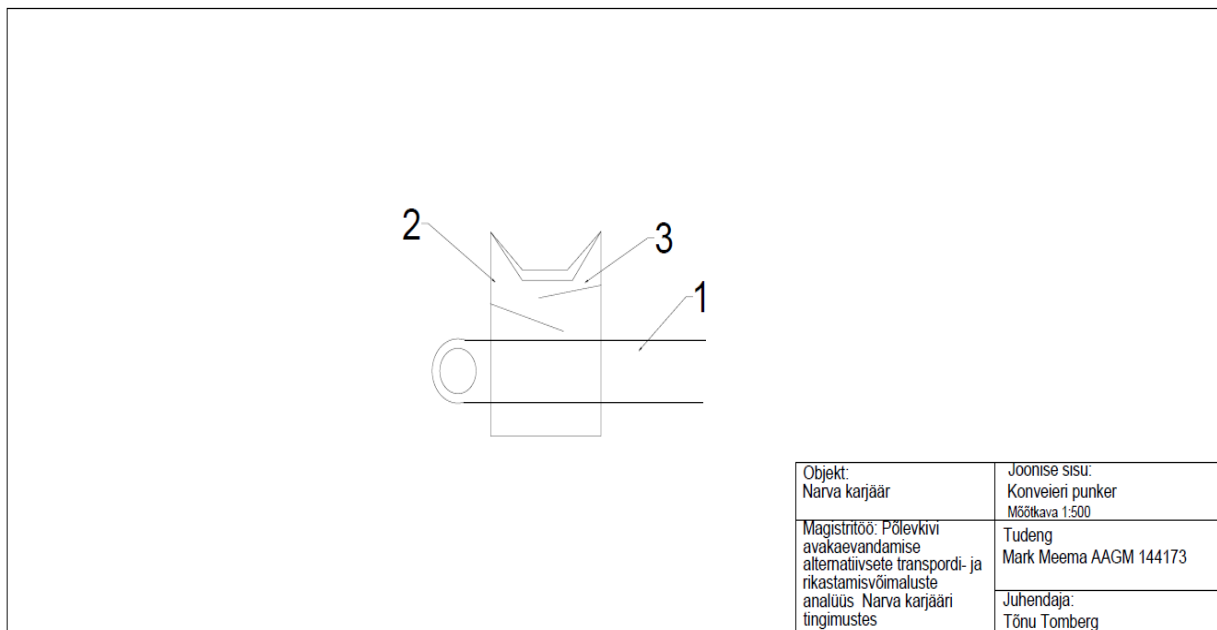


**Joonis 25. Kaevisse transport konveierini (autori joonis) ([Kaevisse ja aheraine transport-Model.pdf](#))**

Joonisel 25 (Joonis 25) on kujutatud kobestatud kaevisse (1) transport konveierile (3) kopplaadurite (2) abil. Aherainest moodustatakse puistang (4). Kopplaadurite arv igas tranšees sõltub sellest, kui suur hulk kaevist tuleb konveierile laadida. Kuna kopplaadur laeb konveierile erinevaid kihte, siis peab tootmisjuht alati ette planeerima, millise tööorgani kopplaadur enne töö algust noolele kinnitab.

Kihte A, B ja C ei ole vaja purustada, sest need lähevad õlitehasesse, kuhu tuleb vedada tükipõlevkivi. Raimatud kaevisse suurus varieerub ning kohati võivad kaevisse tükid olla suured, mis võib konveierit vigastada. Selleks, et konveierilinti kaitsta, tuleb projekteerida konveieri kohale punker. Joonisel 26 (Joonis 26) on kujutatud konveier (1) ning punker (2), mille sees on rulltugedel olevad lindid (3). Punkrisse laaditud kaevisse raskusjõu mõjul hakkavad lindid liikuma ning kaevisse jõuab järgemööda konveierilindile. Punker aitab vähendada konveierilindi vigastusi.

Põlevkivi avakaevandamise alternatiivsete transpordi- ja rikastamisvõimaluste analüüs Narva karjääri tingimustes



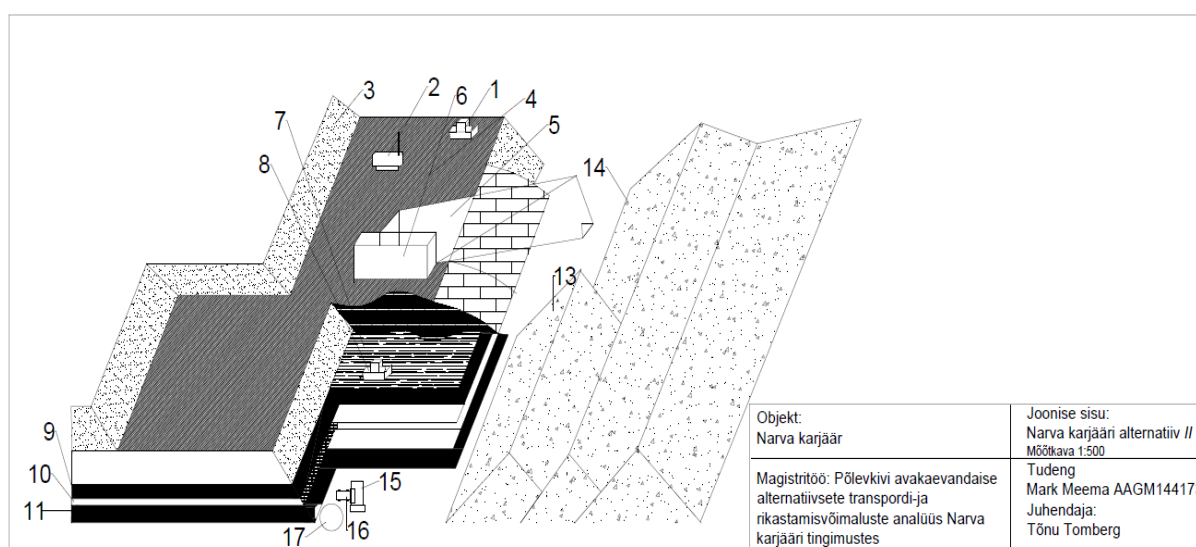
Joonis 26. Konveieri punker (autori joonis) ([konveieripunker-Model.pdf](#))

## 3.2 Alternatiiv II. Purustuskopa ja kalluri koostöö

Võrreldavateks tehnoloogiateks on praegune tehnoloogia ning alternatiivne, purustuskopa ja kalluri tehnoloogia

Teine kaevise transpordi ja rikastamise variant Narva karjääris oleks purustuskopa ja kalluri koostöö. Selle tehnoloogia puhul saab kasutada Narva karjääris olemasolevaid kallureid ja kopplaadureid. Selle tehnoloogilise skeemi puhul võib maavara raimamine jääda muutmatuks. Lausväljamisel lahjenevad kõrge kütteväärtusega kihid, segunedes madalama kütteväärtusega kihtide ja paega, mis tekitab lisatööd purustuskopale.

### 3.2.1 Mäetööd alternatiiv II



Joonis 27. Tehnoloogia skeem alternatiiv II (autori joonis) ([tehnoskeem alter 2-Model.pdf](#))

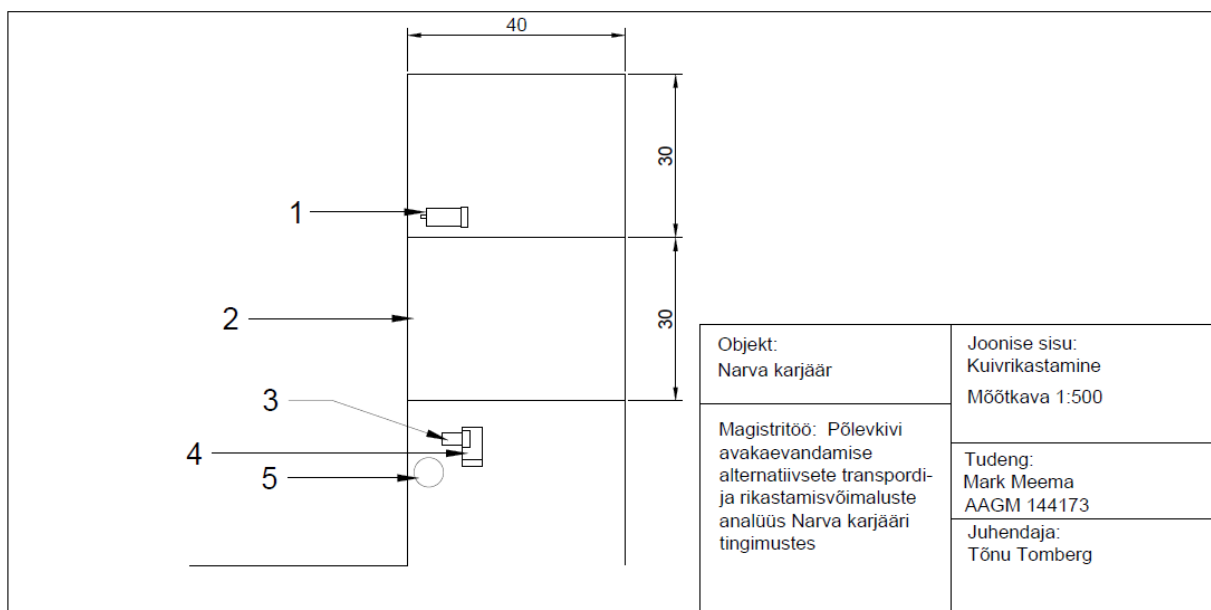
Selektiivsel raimamisel saab madala kütteväärtusega kihtide väljamisel kaevise kütteväärtuse tõstmiseks kasutada valtspurustuskoppa. Sellisel juhul toimub maavara rikastamine kas kalluri kohal või laadimisele eelnevalt. Joonisel 27 (Joonis 27) on näidatud, purustuskopa ja kalluri koostöö. Maavara raimamine toimub selektiivselt, seda teostab buldooser (1), mille taha on kinnitatud ripper. Eelnevalt on kobestatud plokk (2), mille laadimist ja rikastamist teostab kopplaadur (16). Olenevalt kihist, mida väljatakse, on kopplaadurile (3) kinnitatud kas purustuskopp või tavaline kopp. Kaevise laaditakse kallurile (4). Kõrge kütteväärtusega põlevkivi laadimisel kuivrikastamise vajadus puudub. Madala kütteväärtusega põlevkivi väljamise puhul toimub kalluri ootamise ajal põlevkivi kuivrikastamine puistangusse (5). Aheraine puistatakse kaevandatud alasse.

**Tabel 18. Alternatiiv II tehnoloogia skeemi osad**

1	Buldooser
2	Puurpink
3	Kvaternaari aste
4	Lubjakivi aste
5	Kobestatud lubjakivi aste
6	Ekskavaator EŠ
7	Kobestatud põlevkivi
8	Buldooser-kobesti
9	E-F aste
10	C/D aste
11	B-C-A aste
12	Tootuskihindi lamam
13	Formeeritav puistang
14	Puistangud väljatöötatud alas
15	Kallur
16	Kopplaadur purustuskopaga
17	Rikastatud kaevis

### 3.2.2 Laadimine

Joonisel 28 (Joonis 28) on välja toodud tehnoloogilise variandi II laadimise skeem. Kõrge kütteväärtusega kihid kuivrikastatakse enne laadimist purustuskopaga puistangusse (5). Laadimine toimub kopplaadurite (3) abil kallurile (4). Joonisel on lisaks välja toodud kobestatud põlevkivi plokk (2) ja buldooseri (1) poolt kobestatav põlevkivi plokk. Tänu purustuskopale saab kopplaadur pidevalt tööd teha rikastades kalluri puudumisel kaevist ette, et laadimine kallurile oleks kiirem. Sellise laadimise tehnoloogia suureks probleemiks on rikastatud kaevis laadimine kallurile. Kuna rikastatud kaevis on väikese tükisuurusega, siis kukub ta purustuskopa valtside vahelt läbi ning ajakulu laadimisele suureneb. Seetõttu peab tranšees korraga töötama kaks kopplaadurit, millest üks teostab kaevis kuivrikastamist ning teine laadimist.



**Joonis 28. Kuivrikastamine (autori joonis) ([kuivrikastamine-Model.pdf](#))**

Kõrge kütteväärtusega põlevkivikihtide väljamisel saavad kopplaadurid ja EKG ekskavaatorid kasutada tavalist koppa, kuna kõrge kütteväärtusega kihid lähevad õlitööstusesse.

### 3.2.3 Vedu

Vedu toimub selle tehnoloogilise variandi puhul olemasolevate kalluritega, mis hetkel Narva karjääris kasutusel on. Autori arvamuse kohaselt on vajalik täiendavate kallurite hange sest, suurte vahemaade tõttu on kaugematest tranšeedest kaevise vedu raskendatud. Alternatiiviks oleks suurema kandevõimega kallurite kasutamine, kuid sel juhul muutub piiravaks tranšeede laius, milleks on umbes kümme meetrit. See tähendab, et kasutades laiemaid kallureid ei mahuks need tranšees üksteisest mööda sõitma.[26] Tabeli 23 (Tabel 23) põhjal võib väita, et tranšees nr 5 õlithase laoni ja tagasi võtab kaevise transport aega 1,38 tundi, mis tähendab, et tunnis on kalluriga võimalik välja vedada 47 tonni kaevist. Kui arvestada madala kütteväärtusega kihtide rikastamist, siis transpordile kuluv aeg pikeneb.

## 4 Tulemused

### 4.1 Põlevkivi kogused

Üheks töö uudsuseks on purustuskopa kasutamine Narva karjääris. Selleks, et teada mitut purustuskoppa realselt vaja läheb, on vajalik leida kuivrikastamisele kuuluvad põlevkivikogused. Kasutades maa-ameti geoportaali maardlate rakendust [1] määras autor ligikaudsed tranšeede laiused. Arvestades kihipaksusi arvutati aastas kuivrikastamisele kuuluvad põlevkivi kogused eeldusel, et eerind liigub aastas edasi 120 meetrit. Tabelis 19 (Tabel 19) on välja toodud põlevkivi kogused kihtide kaupa.

**Tabel 19. Põlevkivi kogused kihtide kaupa (Põlevkivi kogused.xlsx)**

	Tranšee 12 aastane kogus(T)	Tranšee 11 aastane kogus(T)	Tranšee 10 aastane kogus(T)	Tranšee 9 aastane kogus(T)	Tranšee 8 aastane kogus(T)	Tranšee 7 aastane kogus(T)	Tranšee 6 aastane kogus(T)	Tranšee 5 aastane kogus(T)
F <sub>2</sub>	65103	73824	71549	54795	71447	84764	64562	57451
F <sub>1</sub>	72079	88589	83885	78278	86757	97805	78597	73538
E	116256	177178	140630	133073	135239	192349	165615	121797
E/D	16276	17718	19738	13046	17862	19561	22456	18384
D	13951	29530	17270	15656	7655	22821	14035	18384
D/C	58128	82683	46877	65232	45930	91284	53334	71239
C	76729	91542	108557	101762	119929	120626	126317	108008
C/B	27901	44294	44410	54795	28068	61943	28070	43663
B	104630	129930	111024	106980	130136	143447	165615	105710
B/A <sub>1</sub>	48828	47247	46877	49576	45930	58683	53334	45961
A <sub>1</sub>	27901	26577	24672	26093	22965	32602	28070	22980
A	23251	38388	29606	36530	28068	35862	36492	27577
Kihid F <sub>2</sub> -D	283665	386838	333072	294849	318960	417300	345266	289554
Kihid C,B,A <sub>1</sub> ,A	232512	286437	273859	271365	301098	332536	356494	264276

## 4.2 Purustuskopa ja kopplaaduri tootlikkus

Kopplaaduri tootlikkus on arvutuslikult keskmiselt 187 t/h. Arvutused on tehtud arvestades kopamahtu ning erinevateks tööoperatsioonideks kuluvat aega. Laadimisaeg on saadud videovaatluse põhjal([kalluri laadimine.mp4](#)). Tehtud arvutuste põhjal on purustuskopa tootlikkus 163 tonni tunnis. Arvutustes on arvestatud kopplaaduri sõitu, manööverdamist ja purustamist purustuskopaga. Viimased kaks on saadud videovaatluse põhjal.[25] Kuivrikastamisele lähevad kihid F<sub>2</sub>-D. Tabelis 20 (Tabel 20) on välja toodud ajakulu, mis on vajalik, tranšee madala kütteväärtusega põlevkivikihtide kuivrikastamiseks. Arvestades, et eerind liigub 120 meetrit aastas, läheb kogu põlevkivi kuivrikastamiseks aega 776 tööpäeva, mis tähendab, et realselt oleks vaja hankida kolm purustuskoppa. Kõige kauem võtab aega tranšee nr 7 kihtide kuivrikastamine, millele tabeli 20 (Tabel 20) põhjal kulub 121 tööpäeva.

**Tabel 20. Ajakulu kuivrikastamiseks tranšeede lõikes ([Põlevkivi kogused.xlsx](#))**

	Kihid F <sub>2</sub> -D ajakulu (ööp)
Tranšee 12	82
Tranšee 11	112
Tranšee 10	97
Tranšee 9	86
Tranšee 8	93
Tranšee 7	121
Tranšee 6	100
Tranšee 5	84
Päevade arv kokku	776
Vajalik purustuskoppade arv	2,1

## 4.3 Kalluri tootlikkus

Tabelites 22 (Tabel 22) ja 23 (Tabel 23) on välja toodud kallurite erinevatesse tranšeedesse sõitmiseks kuuluvad ajad. Tänu aegadele on võimalik arvutada raimatud kaevise väljaveetav kogus. Tabeli 23 (Tabel 23) põhjal võib öelda, et kõige kauem võtab kaevise vedu aega tranšees nr 5, mis asub mõlemast laost kõige kaugemal. Õlithase lattu on tunni jooksul võimalik välja vedada 47 tonni kaevist. Mäeeraldise lõpuks väheneb väljaveetav kogus 40 tonnini tunnis. Keskmised kallurite tootlikkused on välja toodud tabelis 21 (Tabel 21). Tabeli 21 (Tabel 21) põhjal on praegune keskmine kalluri tootlikkus veol elektrijaama lattu 147 tonni tunnis ja õlithase lattu 102 tonni tunnis. Eerinna liikumisega vähenevad kogused igal aastal.



**Tabel 21. Keskmised kalluri tootlikkused (Ajakulu kallur.xlsx)**

Keskmine (hetkel) T elektriijaama ladu	147
Keskmine (tulevikus) T elektriijaama ladu	114
Keskmine (hetkel) T õlithase ladu	102
Keskmine (tulevikus) T õlithase ladu	80

**Tabel 22. Kallurite ajakulu ja 1 h väljaveetav kogus elektriijaama ladu (Ajakulu kallur.xlsx)**

Tranšee nr	Veotranšee pikkus (km)	Kalluri kiirus (km/h)	Kuluv aeg (h)	Väljaveotranšee ja veotranšee Ladu A (h)	Laost tranšeesse ja tagasi A(h)	Välja veetav kogus 1 h elektriijaama ladu (T)
12 Vasak (hetkel)	4,41	40	0,08	0,12	0,33	165
12 Vasak (tulevikus)	6,533	40	0,12	0,16	0,44	125
12 Parem (hetkel)	4,53	40	0,08	0,11	0,29	190
12 Parem (tulevikus)	6,58	40	0,12	0,14	0,39	140
11 Vasak (hetkel)	4,36	40	0,08	0,09	0,26	211
11 Vasak (tulevikus)	6,505	40	0,12	0,13	0,37	150
10 Vasak (hetkel)	4,33	40	0,08	0,12	0,33	166
10 Vasak (tulevikus)	6,363	40	0,12	0,16	0,43	127
9 Vasak (hetkel)	4,84	40	0,09	0,15	0,42	130
9 Vasak (tulevikus)	6,11	40	0,11	0,18	0,49	113
8 Vasak (hetkel)	3,74	40	0,07	0,15	0,42	133
8 Vasak (tulevikus)	4,724	40	0,09	0,17	0,46	118
7 Parem (hetkel)	2,06	40	0,04	0,14	0,38	143
7 Parem (tulevikus)	4,009	40	0,07	0,18	0,48	114
7 Vasak (hetkel)	2,06	40	0,04	0,17	0,45	121
7 Vasak (tulevikus)	4,009	40	0,07	0,20	0,55	100
6 vasakul (hetkel)	1,607	40	0,03	0,18	0,51	109
6 vasakul (tulevikus)	2,998	40	0,05	0,25	0,68	81
5 keskel (hetkel)	1,3	40	0,02	0,20	0,56	98
5 keskel (tulevikus)	3,413	40	0,06	0,28	0,77	71

Tabel 23. Kallurite ajakulu ja 1 h väljaveetav kogus elektrijaama ladu ([Ajakulu kallur.xlsx](#))

Tranšee nr	Veotranšee pikkus (km)	Kalluri kiirus (km/h)	Kuluv aeg (h)	Väljaveotranšee ja veotranšee Ladu B (h)	Laost tranšeesse ja tagasi B(h)	Välja veetav kogus 1 h õlitehase ladu (T)
12 Vasak (hetkel)	4,41	40	0,11	0,13	0,25	217
12 Vasak (tulevikus)	6,533	40	0,16	0,18	0,36	153
12 Parem (hetkel)	4,53	40	0,11	0,15	0,30	183
12 Parem (tulevikus)	6,58	40	0,16	0,23	0,47	118
11 Vasak (hetkel)	4,36	40	0,11	0,20	0,41	135
11 Vasak (tulevikus)	6,505	40	0,16	0,26	0,51	107
10 Vasak (hetkel)	4,33	40	0,11	0,28	0,56	98
10 Vasak (tulevikus)	6,363	40	0,16	0,33	0,66	83
9 Vasak (hetkel)	4,84	40	0,12	0,36	0,72	77
9 Vasak (tulevikus)	6,11	40	0,15	0,39	0,78	70
8 Vasak (hetkel)	3,74	40	0,09	0,38	0,75	73
8 Vasak (tulevikus)	4,724	40	0,12	0,40	0,80	69
7 Parem (hetkel)	2,06	40	0,05	0,39	0,77	71
7 Parem (tulevikus)	4,009	40	0,10	0,43	0,87	63
7 Vasak (hetkel)	2,06	40	0,05	0,46	0,91	60
7 Vasak (tulevikus)	4,009	40	0,10	0,50	1,01	55
6 vasakul (hetkel)	1,607	40	0,04	0,52	1,04	53
6 vasakul (tulevikus)	2,998	40	0,07	0,61	1,21	45
5 keskel (hetkel)	1,3	40	0,03	0,58	1,17	47
5 keskel (tulevikus)	3,413	40	0,09	0,69	1,38	40

## 4.4 Kalluri majandusarvutused

### 4.4.1 Kallurite hind

Kallurid, mida praegu Narva karjääris kasutatakse, on Belaz 7555d ja Hitachi. Arvestatud on, et üks kilogramm kallurit maksab 8,85 eurot. Belaz 7555d kaalub 40 500 kilogrammi. Seega on ühe Belazi hind 35 8407 eurot. Hitachi hind jääb samasse suurusjärku. Karjääris on käesoleval ajal kakskümmend kallurit. Seega on kallurite koguhind 7 168 141 eurot. ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

### 4.4.2 Kallurite kulud kütusele

Narva karjäär töötab puhkepäevadeta 24 tundi ööpäevas kolmes vahetuses. Igal vahetusel on üks tund lõunat, mis tuleb tööajast maha arvata. Järelikult töötavad kõik kallurid ööpäevas 21 tundi.

Kallur kasutab tunnis 130,5 liitrit diiselkütust. Järelikult kulub ühele kallurile ööpäevas 2 740,5 liitrit diiselkütust. Kui arvestada, et karjääris on kaksikümmend kallurit, siis on ööpäevane kulu kütusele arvestades praegust kütuse hinda (1,009 eurot liiter) 55 303 eurot ööpäevas. Aastas kuulub kütusele 20 185 700 eurot. ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

#### 4.4.3 Kallurite hoolduskulu

Kallurite puhul tuleb arvestada ka nende hoolduskuludega. Hoolduskuludeks on arvestatud arvestan 5% kalluri hinnast aastas, ehk igal aastal kulub 20 kalluri tehnohoolduseks 358 407 eurot. ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

#### 4.4.4 Kallurite personalikulu

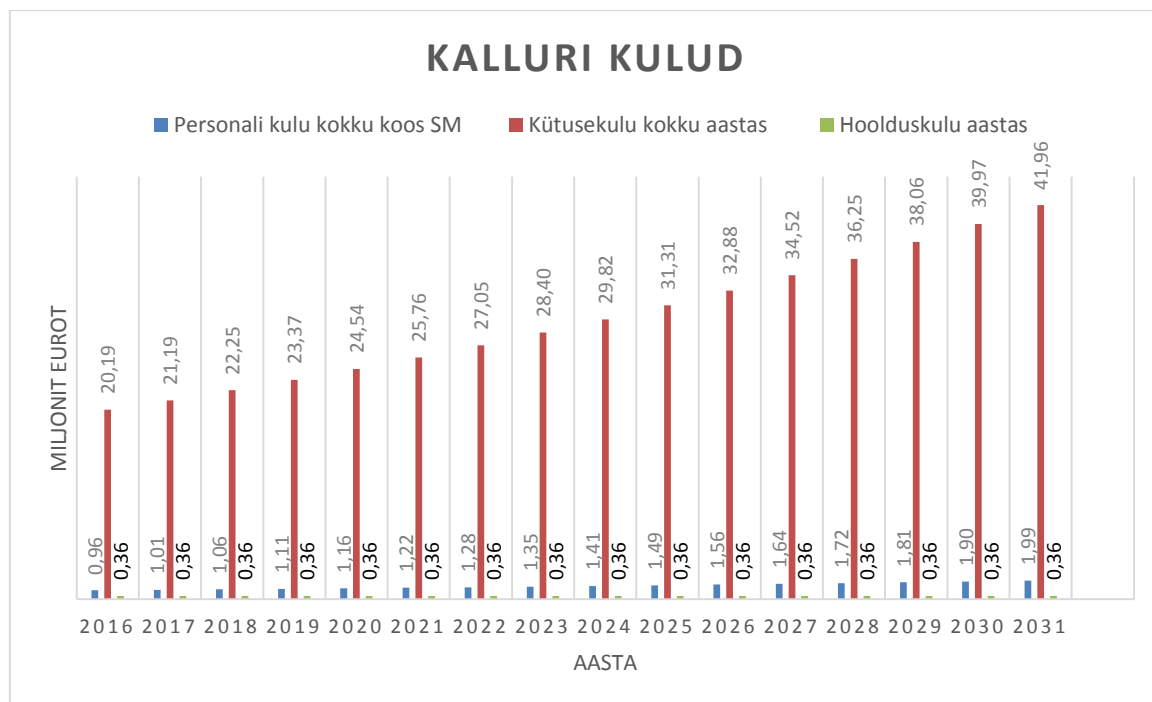
Kalluri juhile makstav palk on kululiik, millega tuleb arvestada. Kuna igal Belazil on kolm erinevat juhti, tuleb palgata kokku kuuskümmend inimest. Kalluri juhi palk on 1000 eurot kuus, millele lisandub firma poolt makstav sotsiaalmaks. (33 % palgast) Personalile kulub aastas 957 600 eurot. ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

**Tabel 24. Kulud kalluritele ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))**

Kallurite arv (tk)	20
Soetuskulud (milj. EUR)	7,17
Hoolduskulu aastas (milj. EUR)	0,36
Kütusekulu kokku aastas (milj. EUR)	20,19
Personalikulu (milj. EUR)	0,96
Kulud kokku (milj EUR)	28,67

Tabelis 24 (Tabel 24) on välja toodud kallurite esimese aasta kulud. Suurimad on kulud kütusele ning masinate soetamisele. Vastavalt 20,19 milj.eurot ja 7,17 milj. eurot. Personali- ja hoolduskulud on vastavalt 0,96 ja 0,36 milj. eurot.

Graafikus 9 (Graafik 9) on välja toodud kalluri kulud järgneva 15 aasta jooksul. Suurimaks ja enim kasvavaks kululiigiks kuluks on kütusekulud, mis moodustab lõviosa kuludest ning suureneb 15 aastaga 20,19 milj. eurolt peagu 42 milj. euron. Personalikulu suureneb igal aastal 5% ning on aastaks 2031 suurenenud 0,96 milj. eurolt 1,99 milj. euron. Kallurite aastased hoolduskulud on igal aastal 0,36 milj. eurot.



Graafik 9. Kalluri kulud ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

## 4.5 Konveieri majandusarvutused

### 4.5.1 Konveieri hind

Konveieri kõige suuremaks kuluks on konveieri hind. Konveierite pikkused vastavalt tranšeedele on esitatud tabelis 25 (Tabel 25). Kokku tuleb tranšeedesse projekteerida kümme konveierit.

Tabel 25. Praegused tranšeede pikkused ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

Tranšee nr	Veotranšee pikkus (km)
12 Vasak (hetkel)	4,41
12 Parem (hetkel)	4,53
11 Vasak (hetkel)	4,36
10 Vasak (hetkel)	4,33
9 Vasak (hetkel)	4,84
8 Vasak (hetkel)	3,74
7 Parem (hetkel)	2,06
7 Vasak (hetkel)	2,06
6 vasakul (hetkel)	1,61
5 keskel (hetkel)	1,30
Kokku	33,24

Lisaks kümnele konveierile tuleb projekteerida tranšeedega neli paralleelset konveierit, mis transpordivad kaevist elektrijaama ja õlithase ladudesse. Nende konveierite pikkused on esitatud tabelis 26. (Tabel 26)

**Tabel 26. Väljaveotranšeedega risti olevad konveierid ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))**

Konveier	Pikkus (km)
5-A	9,97
5-B	12,05
12-A	2,24
12-B	0,65
Kokku	24,91

Kokku tuleb projekteerida 58,15 kilomeetri pikkune konveierite võrk. Konveieri ühe kilomeetri hinnaks on analoogia põhjal võetud Ojamaa kaevanduse konveieri ühe kilomeetri hinna. Konveieri kogupikkus on 12,5 km ning hind 14 milj. eurot.[21] Seega on ühe kilomeetri hind 1 076 923 eurot. ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

Kui me arvestame, et konveieri ühe kilomeetri ehitamise hind on 1,07 milj. eurot, siis on konveieri projekti hind 62,62 milj. eurot. ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

Kuna mäetööde front liigub pidevalt edasi, siis tuleb arvestada ka edasiste investeeringutega. Tranšeede tulevased pikkused on välja toodud tabelis 27 (Tabel 27).

**Tabel 27. Tulevased tranšeede pikkused ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))**

Tranšee nr	Veotranšee pikkus (km)
12 Vasak (tulevikus)	6,53
12 Parem (tulevikus)	6,58
11 Vasak (tulevikus)	6,51
10 Vasak (tulevikus)	6,36
9 Vasak (tulevikus)	6,11
8 Vasak (tulevikus)	4,72
7 Parem (tulevikus)	4,01
7 Vasak (tulevikus)	4,01
6 vasakul (tulevikus)	3,00
5 keskel (tulevikus)	3,19
Kokku	51,03

Konveieri pikenemisest tingitud investeeringute kulu on 19,16 milj. eurot. ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

#### 4.5.2 Konveierite hoolduskulu

Hoolduskuludeks on arvestatud aastas 5% kogu konveieri hinnast. Sellisel juhul on aastased hoolduskulud 2,91 milj. eurot. Kuna konveierit tuleb vastavalt eerinna liikumisega pikendada, siis suurenevad ka hoolduskulud. Kui arvestada, et eerind liigub aastas edasi 120 meetrit ning

karjääris on kümme konveierit, siis suurenevad hoolduskulud iga aastaga 0,06 milj. euro võrra. ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

#### 4.5.3 Konveierite elektrikulu

Kuna kõik konveierid on erineva pikkusega, siis on neil kõigil erinevad võimsused ning vastavalt sellele ka erinevad kulud. Tabelis 28 (Tabel 28) on välja toodud kõikide konveierite aastased kulud. Kõikide konveierite aastased kulud on 532 829,1 eurot. Konveierite piknemise tõttu kasvab konveierite elektrikulu 11 069,14 eurot aastas. ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

**Tabel 28. Konveierite kulutused elektrienergiale ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))**

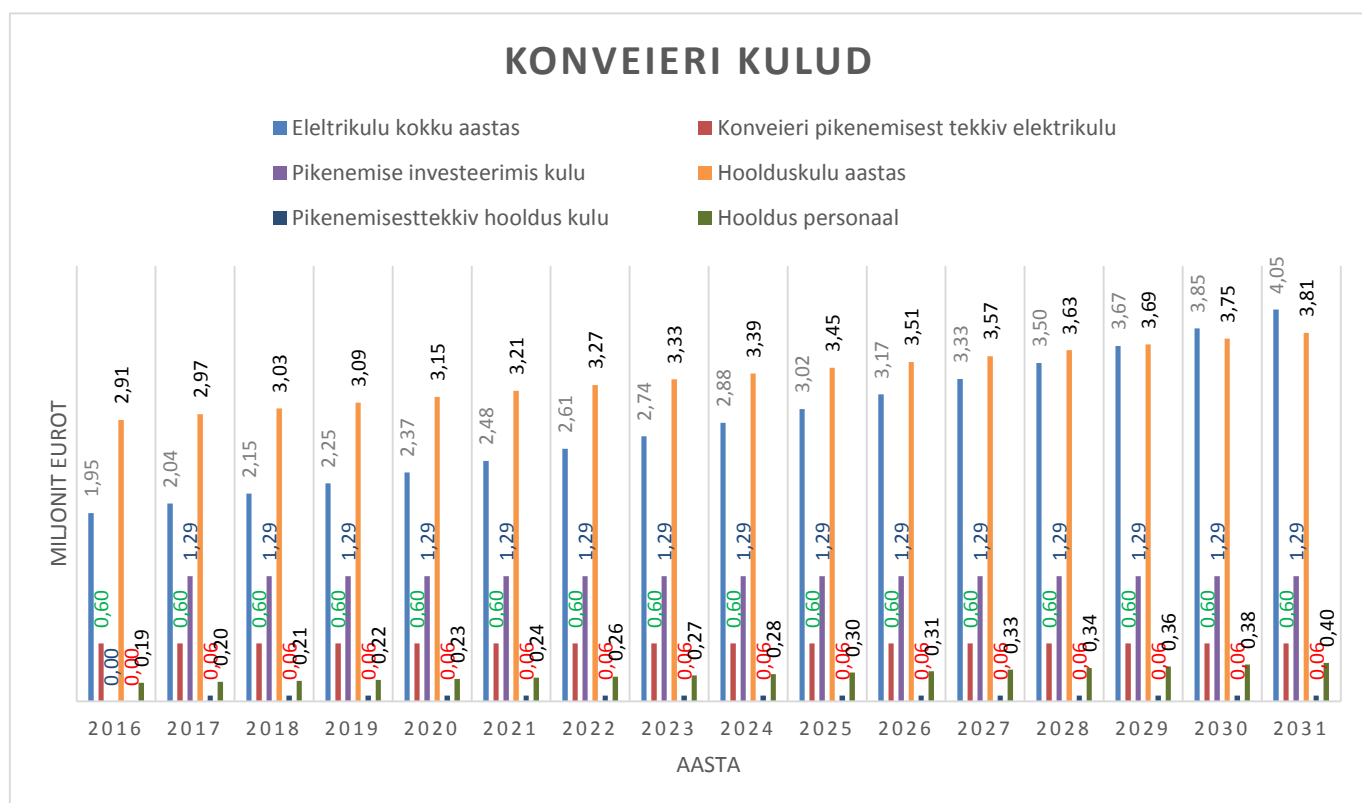
Tranšee	võimsus (KW)	pikkus (km)	KW/h Eur	Tunni hind (Eur)	Aasta hind (tuh/Eur)
12 Vasak (hetkel)	468,14	4,41	0,04	16,85	147632,63
12 Parem (hetkel)	480,82	4,53	0,04	17,31	151631,40
11 Vasak (hetkel)	462,85	4,36	0,04	16,66	145964,38
10 Vasak (hetkel)	459,63	4,33	0,04	16,55	144948,92
9 Vasak (hetkel)	513,58	4,84	0,04	18,49	161962,59
8 Vasak (hetkel)	396,28	3,74	0,04	14,27	124970,86
7 Parem (hetkel)	219,79	2,06	0,04	7,91	69312,97
7 Vasak (hetkel)	219,79	2,06	0,04	7,91	69312,97
6 vasakul (hetkel)	172,24	1,61	0,04	6,20	54317,61
5 keskel (hetkel)	139,48	1,30	0,04	5,02	43986,41
5-elektriyaam	1055,71	9,97	0,04	38,01	332928,71
5-õlitehas	1275,52	12,05	0,04	45,92	402247,99
12-elektriyaam	238,82	2,24	0,04	8,60	75314,28
12-õlitehas	70,79	0,65	0,04	2,55	22324,33
Kokku (milj. EUR)					1,95

#### 4.5.4 Personalikulu

Personalikulu on konveieri puhul minimaalne. Konveierid ei tööta pidevalt, vaid ainult siis, kui toimub kaevis transport eerinnast. Tänu sellel saab hooldustöid teostada siis, kui konveier seisab. Hooldustöödeks palgatakse eraldi mehaanikud, kes tegelevad ainult konveieri hooldusega. Kokku palgatakse 15 inimest, kes töötavad kolmes vahetuses. Mehaanikute kuupalgaks on 800 eurot. Personalile kulub aastas koos sotsiaalmaksuga (33 % palgast) kokku 0,19 milj. eurot. ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

Tabel 29. Konveieri kulud ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

Konveierite arv	12
Soetuskulud (milj. EUR)	62,62
Hoolduskulu aastas (milj. EUR)	2,91
Elektrikulu aastas (milj. EUR)	1,95
Personalikulu (milj. EUR)	0,19
Kulud kokku (milj. EUR)	67,67



Graafik 10. Konveieri kulud ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

## 4.6 Kopplaaduri majandusarvutused

### 4.6.1 Kopplaadurite hind

Kopplaadurid, mida praegu Narva karjääris kasutatakse, on Komatsu WA 600 ja Volvo L350L. Kopplaaduri hinna arvutamiseks võtame ühe kilogrammi hinnaks 8,84 eurot. Kopplaaduri Komatsu WA 600 kaal on 52,5 tonni. Sellest tulenevalt on ühe kopplaaduri hind 464 601 eurot. Narvas on hetkel kasutuses seitse kopplaadurit, mis teeb nende koguhinnaks 3,25 milj. eurot. ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

### 4.6.2 Kopplaadurite kulud kütusele

Kopplaadurid teevad karjääris tööd 21 tundi. Kopplaadur kasutab tunnis 35 liitrit diiselkütust. Järelikult kulub ööpäevas ühele kopplaadurile 741 liitrit diiselkütust. Kui arvestada, et karjääris on seitse kopplaadurit, siis on ööpäevane kulu kütusele arvestades praegust

kütusehinda (1,009 eurot liiter) 5 191 eurot ööpäevas. Aastas kuulub kütuse peale 1 894 826 eurot. ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

#### 4.6.3 Kopplaadurite hoolduskulu

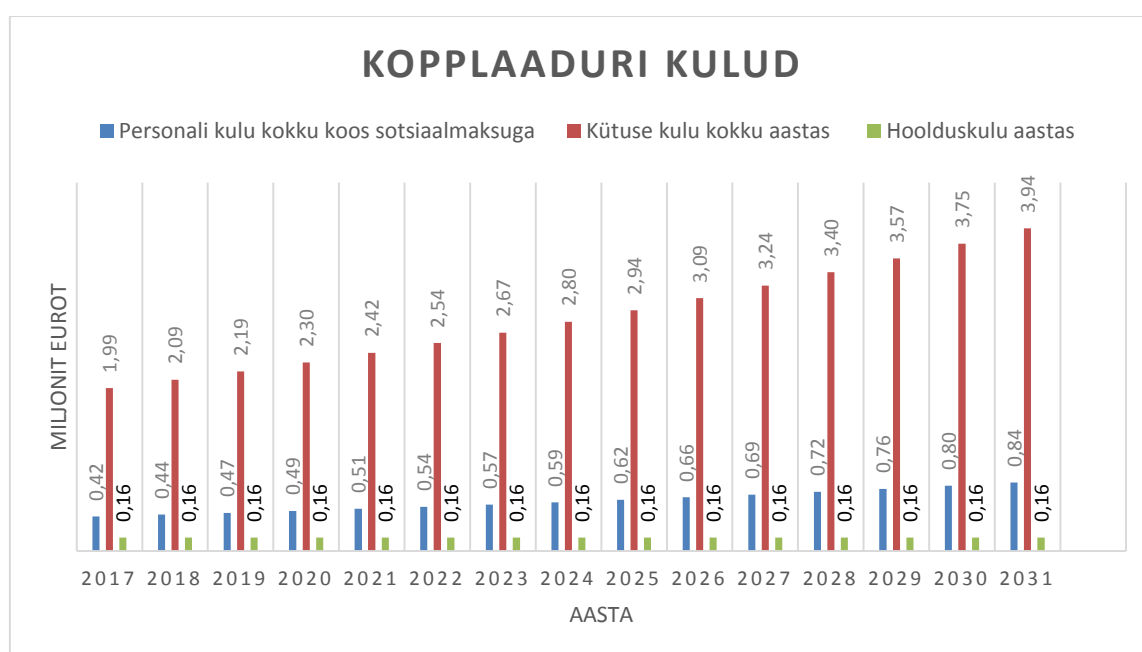
Aastasteks hoolduskuludeks on arvestatud 5% kopplaaduri maksumusest. Ühe kopplaaduri hind on 464 601 eurot, seega on ühe kopplaaduri aastane hoolduskulu 23 230 eurot. Kokku on karjääris seitse kopplaadurit, mis teeb aastaseks hoolduskuluks 162 610 eurot. ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

#### 4.6.4 Kopplaadurite personalikulu

Kopplaadureid on karjääris kokku seitse ning töö toimub kolmes vahetuses. Seega on vaja palka maksta 21 juhile. Juhi palgaks on arvestatud 1200 eurot ning sellele lisandub sotsiaalmaksu (33 % palgast). Kopplaaduri juhi kulu ettevõttele on 1596 eurot kuus. Personalile kuulub seega 402 912 eurot aastas. ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

Tabel 30. Kopplaadurite kulud ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

Kopplaadurite arv (tk)	7
Soetuskulud (milj. EUR)	3,25
Hoolduskulu aastas (milj. EUR)	0,16
Kütusekulu kokku aastas (milj. EUR)	1,89
Personalikulu (milj. EUR)	0,40
Kulud kokku (milj. EUR)	5,71



Graafik 11. Kopplaaduri kulud ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))



## **4.7 Purustuskopa majandusarvutused**

### **4.7.1 Purustuskopa hind**

Purustuskopa kasutamiseks on vaja kopplaadurit. Kuna uudse tehnoloogia järgi toimub osades tranšeedes kaevisse kuivrikastamine ning osades kõrge kütteväärtusega kaevisse laadimine, peab kopplaadureid olema rohkem kui praegu, kuna purustuskopa tootlikkus on väiksem kui tavalisel kopplaaduril. Kokku on uudse tehnoloogia kohaselt kümme kopplaadurit, millest kolm kasutavad purustuskoppa ning seitse tavalist koppa. Vastavalt eelnevatele arvutustele on mäemasina ühe kilogrammi hind 8,84 eurot. Purustuskopp, mida uudse tehnoloogia järgi kasutama hakatakse, on antud töös näitena võetud purustuskopp, massiga 10 500 kg. Ettevõtte poolt väljastatud informatsiooni kohaselt on sellise purustuskopa hind 247 500 eurot. Seega on kolme purustuskopa hind 742 500 eurot. Ühe kopplaaduri kaal on 52,5 tonni. Vastavalt sellele on ühe kopplaaduri hind 464 601 eurot ning kõigi kopplaadurite hind kokku 4 646 010 eurot. ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

### **4.7.2 Purustuskopa kütusekulu**

Purustuskopad teevad karjääris tööd kakskümmend üks tundi nagu ka kopplaadurid. Purustuskopp ei kasuta kütust, kuid kopplaadur kasutab tunnis 35 liitrit diiselkütust. Järelikult kulub ööpäevas ühele kopplaadurile 741 liitrit diiselkütust. Kui arvestada, et karjääris on kümme kopplaadurit, siis on ööpäevane kulu kütusele arvestades praegust kütusehinda (1,009 eurot liiter) 7416 eurot ööpäevas. Aastas kuulub kütuse peale 2 706 894 eurot. ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

### **4.7.3 Purustuskopa hoolduskulu**

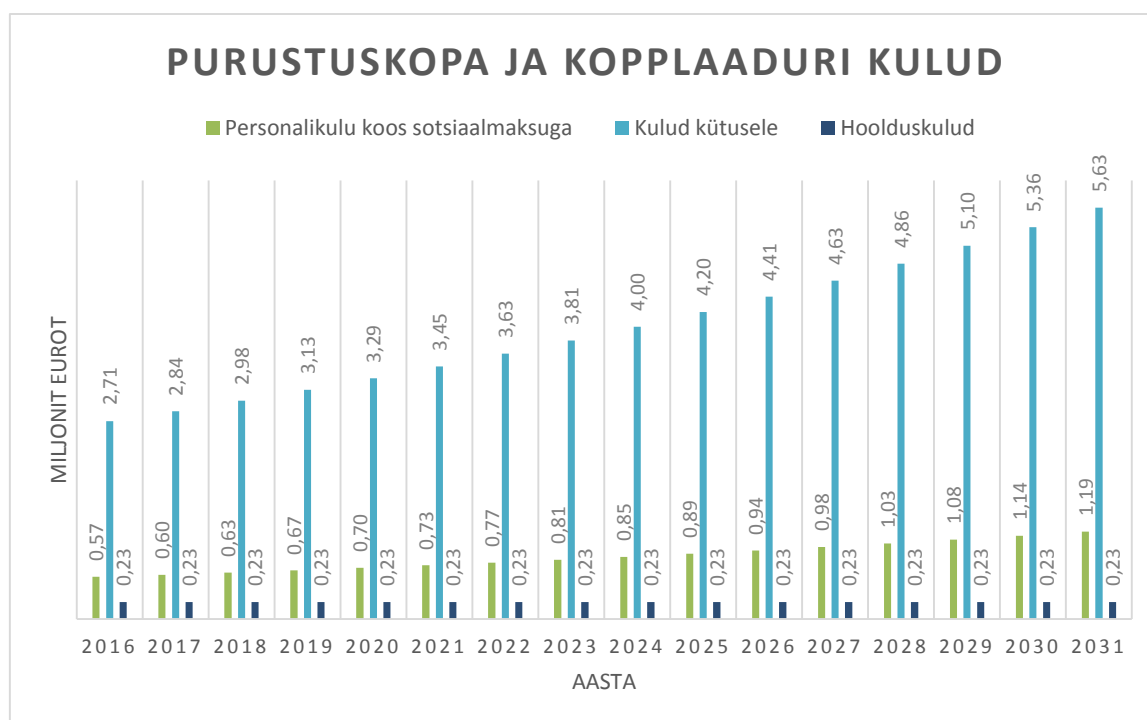
Hoolduskuluna arvestatakse aastas 5% purustuskopaga kopplaaduri maksumusest. Ühe kopplaaduri hind on 464 601 eurot, seega on ühe kopplaaduri aastane hoolduskulu 25 230 eurot. Purustuskopa hoolduskulu on 12 575 eurot. Kokku on karjääris kümme kopplaadurit, millest kolm kasutavad purustuskoppa, mis teeb kopplaadurite aastaseks hoolduskuluks 232 300 eurot ning purustuskoppade hoolduskuluks 37 125 eurot. ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

### **4.7.4 Purustuskopa personali kulu**

Kopplaadureid on karjääris kokku kümme ning töö toimub kolmes vahetuses. Seega on vaja palgata kolmkümmend juhti. Juhi palgaks on arvestatud 1200 eurot kuus ning sellele lisandub sotsiaalmaks (33% palgast). Kopplaaduri juhi ühe kuu kulu ettevõttele on 1596 eurot. Personali kulu on kokku 432 000 eurot aastas. ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

Tabel 31. Kopplaaduri ja purustuskopa kulud ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

Kopplaadurite arv	11
Purustuskoppade arv	3
Soetuskulud (milj. EUR)	5,39
Hoolduskulu aastas (milj. EUR)	0,23
Purustuskoppade hoolduskulud (milj. EUR)	0,04
Kütusekulu aastas (milj. EUR)	2,71
Personalikulu (milj. EUR)	0,57
Kulud kokku (milj. EUR)	8,94



Graafik 12. Purustuskopa ja kopplaaduri kulud ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

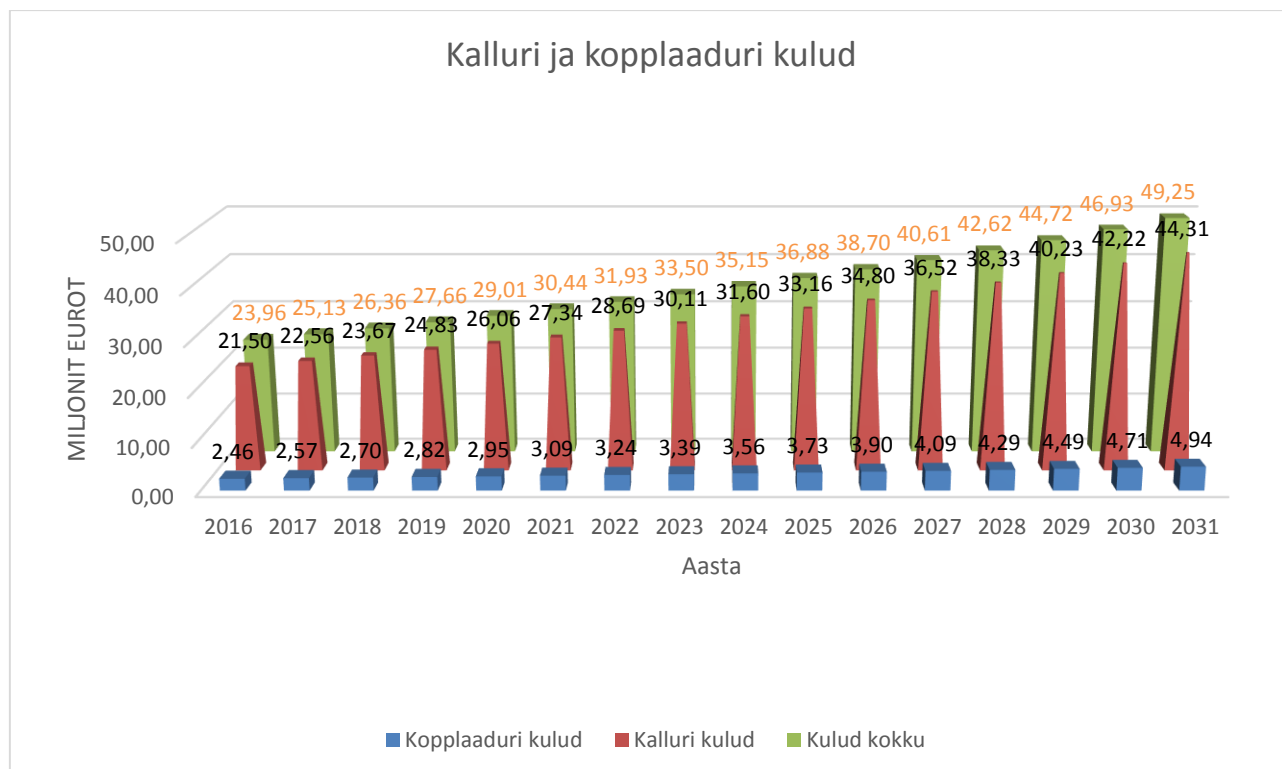
## 4.8 Kasutuseloleva tehnoloogia kulud

Kasutuseloleva tehnoloogia 15 aasta kulud on välja toodud tabelis 32 (Tabel 32). Selle tehnoloogia suurimateks kuludeks on kalluri kulud, mis on keskmiselt kümme korda suuremad kui kulud kopplaaduritele. Esimesel aastal on tehnoloogilisteks kuludeks 23,96 milj. eurot. Suure osa sellest moodustavad kalluri kulud, millest suur osa kulub kütusele.

**Tabel 32. Praeguse tehnoloogia viieteist aasta kulud ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))**

Aasta	Kopplaaduri kulud (milj. EUR)	Kalluri kulud (milj. EUR)	Kulud kokku (milj. EUR)
2016	2,46	21,50	23,96
2017	2,57	22,56	25,13
2018	2,70	23,67	26,36
2019	2,82	24,83	27,66
2020	2,95	26,06	29,01
2021	3,09	27,34	30,44
2022	3,24	28,69	31,93
2023	3,39	30,11	33,50
2024	3,56	31,60	35,15
2025	3,73	33,16	36,88
2026	3,90	34,80	38,70
2027	4,09	36,52	40,61
2028	4,29	38,33	42,62
2029	4,49	40,23	44,72
2030	4,71	42,22	46,93
2031	4,94	44,31	49,25

Graafikus 13 (Graafik 13) on välja toodud aastate lõikes kulud praegust tehnoloogiat kasutades. Kulud suurenevad igal aastal, kuna kalluri ja kopplaaduri puhul on arvestatud mäemasinate hooldus-, ja personalikulu suurenemisega igal aastal 5%. Ka kulud kütusele suurenevad aastas 5%.



Graafik 13. Kalluri ja kopplaaduri kulud ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

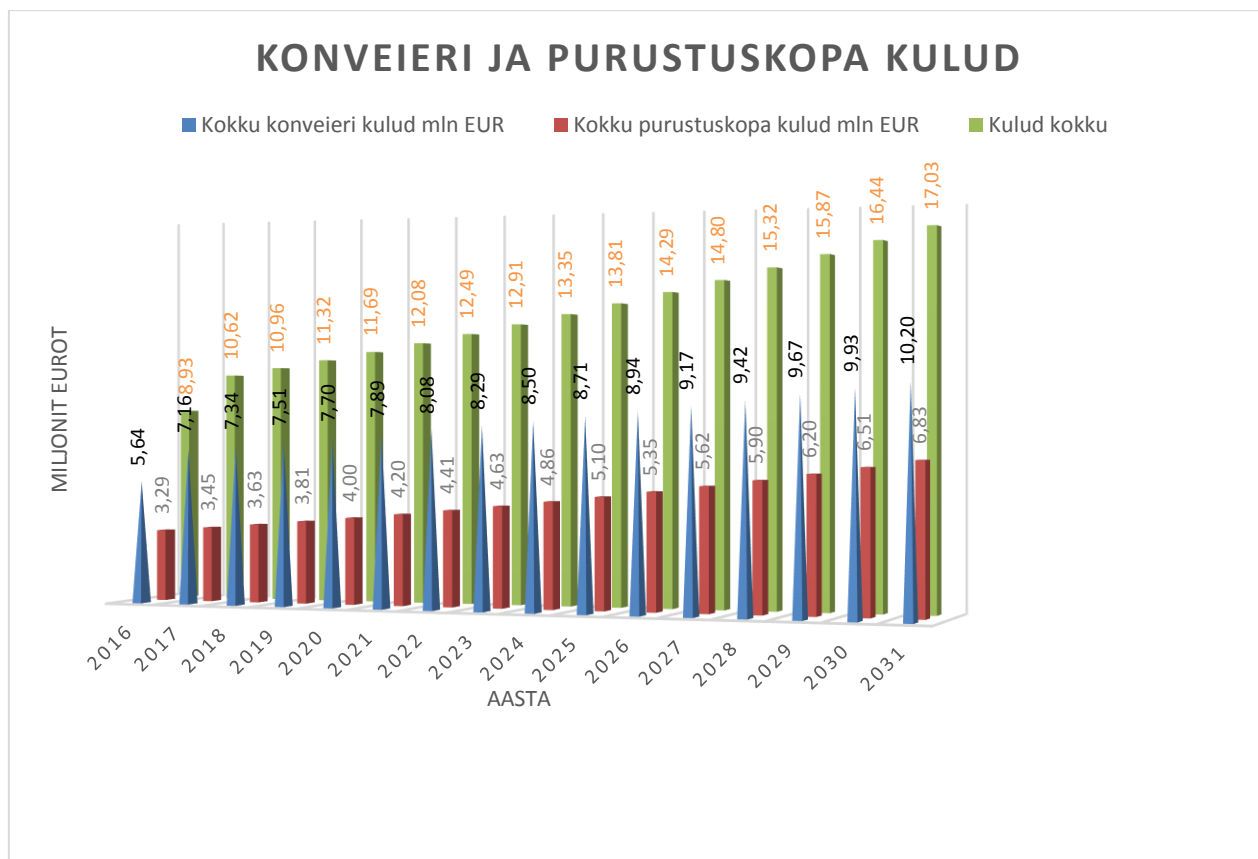
## 4.9 Alternatiiv I kulud

Esimese alternatiivi puhul on tegemist lahendusega, kus on kasutusel purustuskopp ja konveier. Tabelis 33 (Tabel 33) on välja toodud esimese alternatiivi viieteist aasta kulud. Võrreldes praegust kopplaadurite ja alternatiivset purustuskoppade tehnoloogiaid on purustuskoppade kasutamisel kulud suurusjärgus üks miljon eurot aastas suuremad. Põhjuseks on kopplaadurite arv, mis uudse tehnoloogia puhul suureneb seitsmelt kopplaadurilt kümnele. Kaevise transportimisel konveieriga on kulud neli korda väiksemad võrreldes kalluri kuludega. Põhjuseks on suur vahe kütuse- ja elektrihindade vahel.

Tabel 33. Alternatiiv I tehnoloogia viieteist aasta kulud ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

Aasta	Konveieri kulud (milj. EUR)	Purustuskopa kulud (milj. EUR)	Kulud kokku (milj. EUR)
2016	5,64	3,29	8,93
2017	7,16	3,45	10,62
2018	7,34	3,63	10,96
2019	7,51	3,81	11,32
2020	7,70	4,00	11,69
2021	7,89	4,20	12,08
2022	8,08	4,41	12,49
2023	8,29	4,63	12,91
2024	8,50	4,86	13,35
2025	8,71	5,10	13,81
2026	8,94	5,35	14,29
2027	9,17	5,62	14,80
2028	9,42	5,90	15,32
2029	9,67	6,20	15,87
2030	9,93	6,51	16,44
2031	10,20	6,83	17,03

Graafikus 14 (Graafik 14) on välja toodud konveieri ja purustuskopa tehnoloogia kulud aastate lõikes. Konveieri kulud on esimesel aastal väiksemad kui järgnevatel. Selle põhjuseks on konveieri pikendamine igal aastal, mis toob endaga kaasa täiendavad investeerimis- ja hoolduskulud. Kuna konveierit hooldab kokku 15 inimest, siis tulenevalt palgatõusust suurenevad ka kulud töötasule.



Graafik 14. Konveieri ja purustuskopa kulud ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

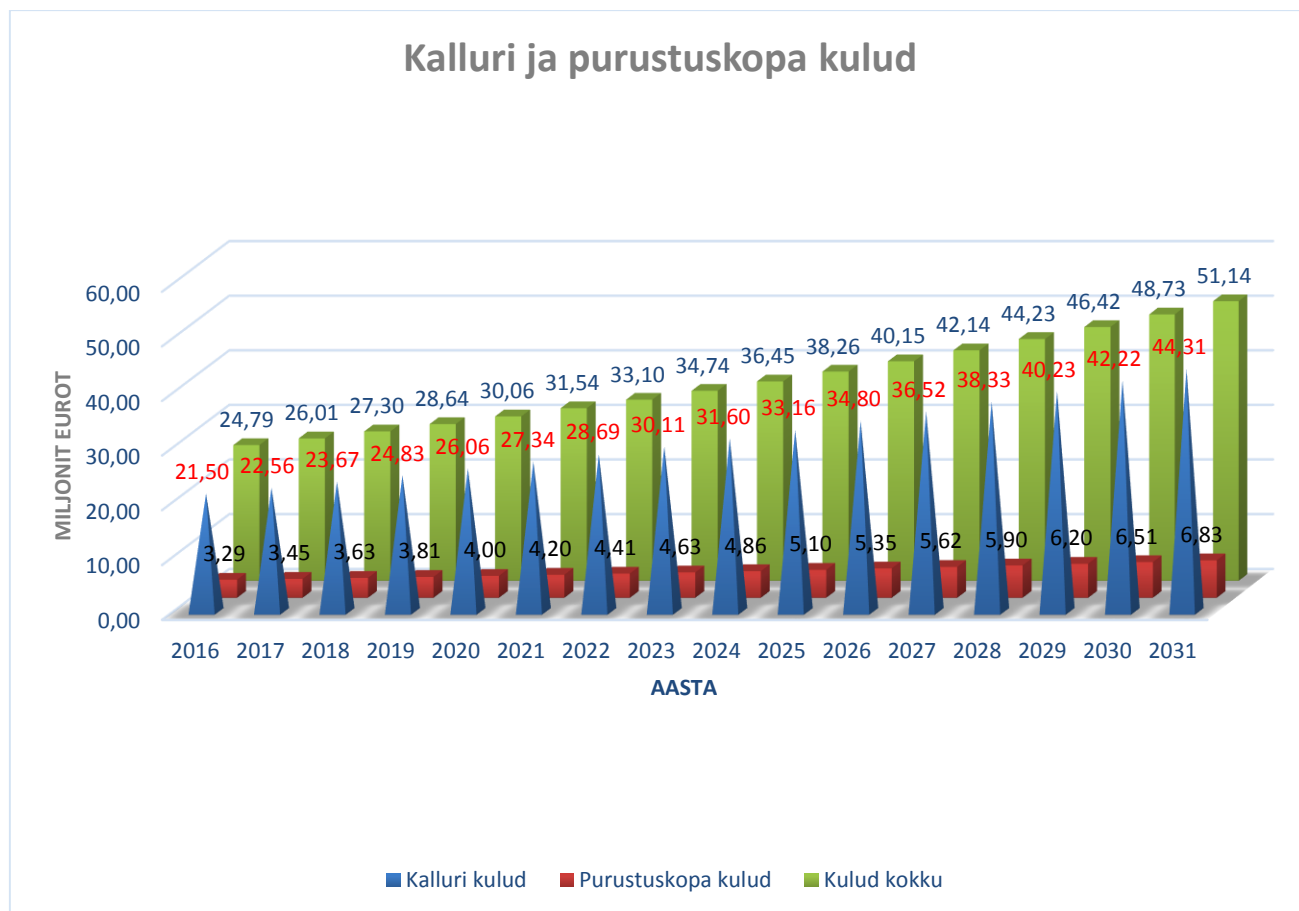
## 4.10 Alternatiiv II kulud

Teiseks alternatiiviks on kalluri, kopplaadurite ning purustuskoppade koostöö. Tabelis 34 (Tabel 34) on välja toodud teise variandi viieteist aasta kulud. Võrreldes praeguse tehnoloogiaga on kalluri kulud samad, sest nende arv ei muutu. Suurenevad kulud kopplaaduritele ja purustuskoppadele. Alternatiivse tehnoloogia puhul kasutatakse rohkem kopplaadureid, millest tulenevalt on kulud kütusele, personalile ja hooldusele suuremad.

**Tabel 34. Alternatiiv II viieteist aasta kulud (Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx)**

Aasta	Kalluri kulud (milj. EUR)	Purustuskopa kulud (milj. EUR)	Kulud kokku (milj. EUR)
2016	21,50	3,29	24,79
2017	22,56	3,45	26,01
2018	23,67	3,63	27,30
2019	24,83	3,81	28,64
2020	26,06	4,00	30,06
2021	27,34	4,20	31,54
2022	28,69	4,41	33,10
2023	30,11	4,63	34,74
2024	31,60	4,86	36,45
2025	33,16	5,10	38,26
2026	34,80	5,35	40,15
2027	36,52	5,62	42,14
2028	38,33	5,90	44,23
2029	40,23	6,20	46,42
2030	42,22	6,51	48,73
2031	44,31	6,83	51,14

Graafikus (Graafik 15) on välja toodud kalluri ja purustuskopa tehnoloogia kulud aastate lõikes.

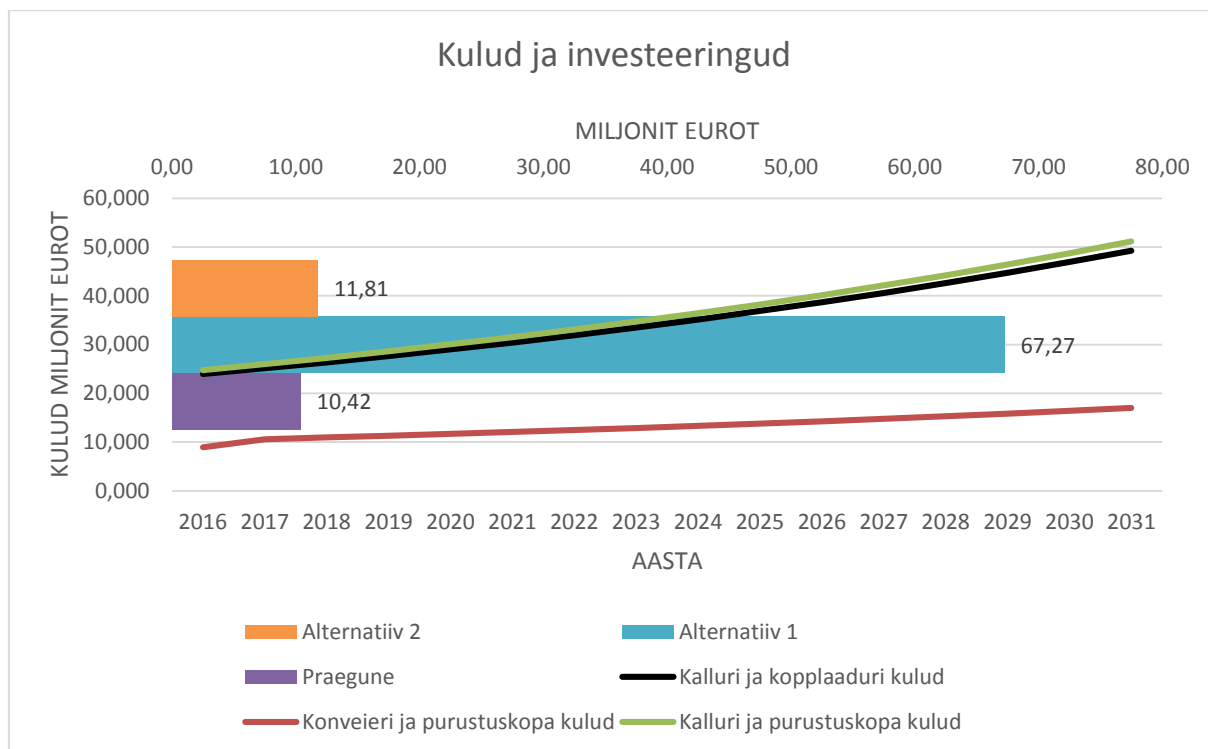


Graafik 15. Kalluri ja purustuskopa kulud ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

#### 4.11 Kulude võrdlus

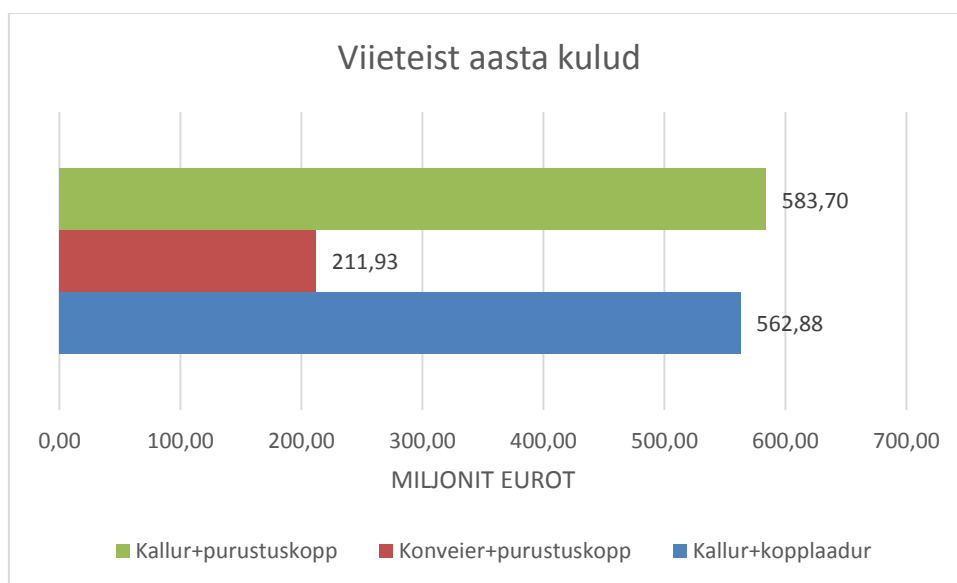
Graafikus 16 (Graafik 16) on välja toodud kolme tehnoloogia soetuskulud ja kulud aastani 2031. Graafiku 16 (Graafik 16) põhjal võib öelda, et kõige suuremad investeerimiskulud on tehnoloogial, kus kasutatakse konveierit ja purustuskoppa. Investeeringu suuruseks on 67,27 mil. eurot. Teiste tehnoloogiate investeerimiskulud on tunduvalt väiksemad. Praeguse tehnoloogia investeering on 10,42 mil. eurot ning tehnoloogial, kus kasutatakse lisaks kopplaaduritele ka purustuskoppa, 11,81 mil. eurot. Kulud suurenevad praeguse ja teise alternatiivi puhul lineaarselt. Esimese alternatiivi puhul on kulud tunduvalt väiksemad. Graafikus 16 (Graafik 16) on välja toodud kulude ja investeeringute suurused aastate lõikes.





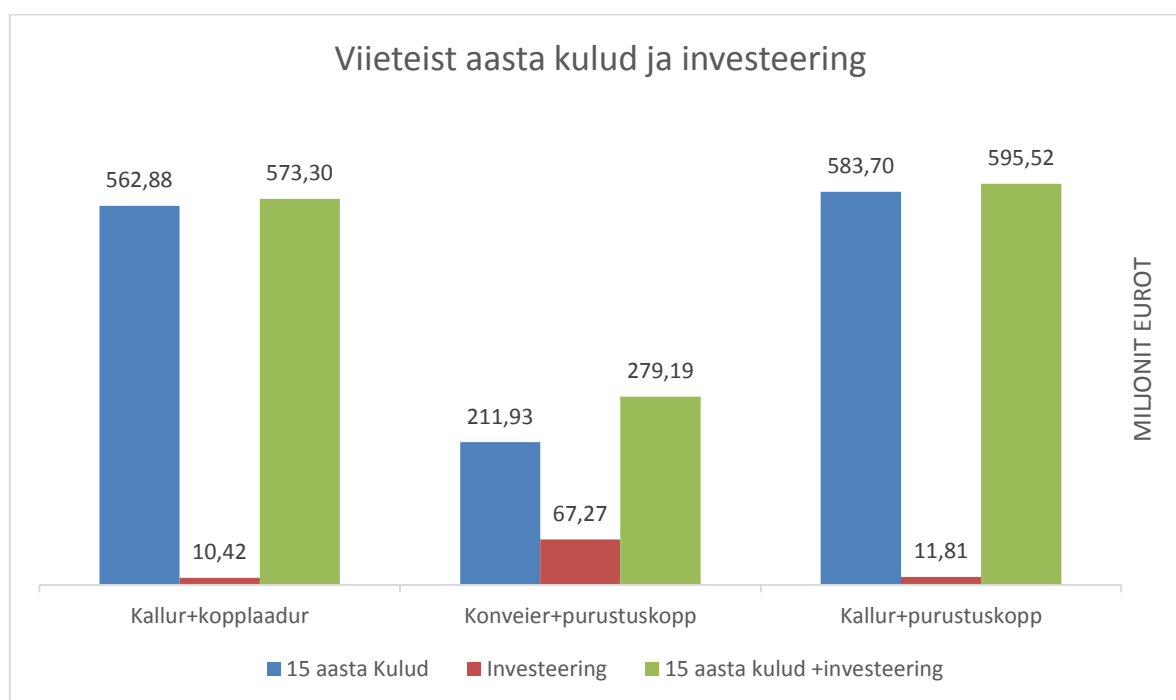
**Graafik 16. Tehnoloogiate kulud ja investeeringud** ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

Graafikus 17 (Graafik 17) on välja toodud erinevate tehnoloogiliste variantide viieteist aasta kulud. Graafiku 17 (Graafik 17) põhjal on kõige suuremad kulud kalluri ja purustuskopa tehnoloogial. Selle tehnoloogilise variandi korral on kulud 583,70 milj. eurot. Praeguse tehnoloogia kulud on 562,88 milj. eurot ning on väiksemad kui kalluri ja purustuskopa tehnoloogial (583,70 milj. eurot). Kõige väiksemad (211,93 milj. eurot) viieteist aasta kulud on konveieri ja purustuskopa tehnoloogial.



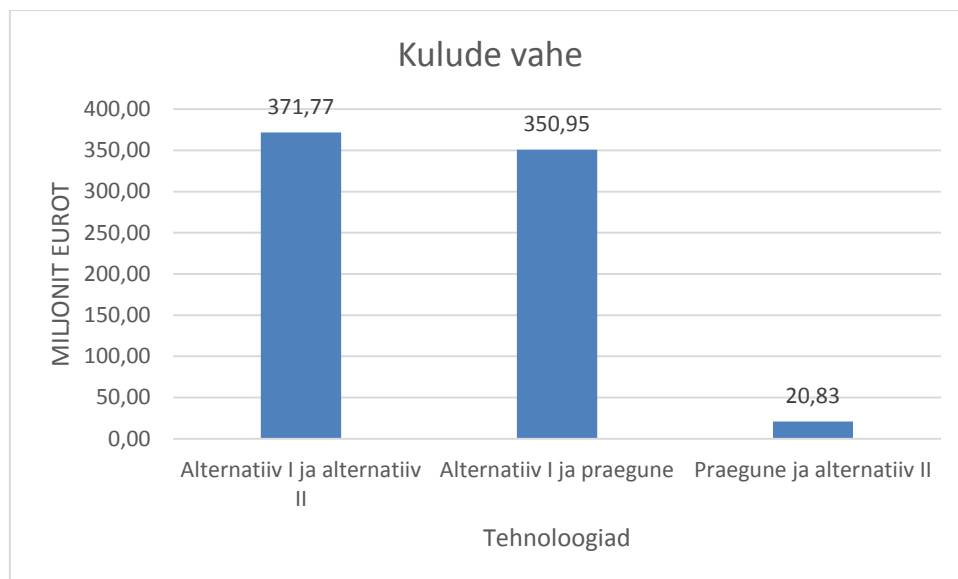
**Graafik 17. Tehnoloogiate viieteist aasta kulud** ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

Graafikus 18 (Graafik 18) on välja toodud vajalikud investeeringud erinevate tehnoloogiliste variantide evitamisel, viieteist aasta kulud ning kahe viimase summa. Graafiku 18 (Graafik 18) põhjal võib väita, et kõige odavam transpordi ja rikastamise alternatiiv on kasutada konveierit ja purustuskoppa. Investeeringund ning viieteist aasta kulud on kokku 279,19 milj. eurot. Kõige kallim transpordi ja rikastamise viis on kalluri ja purustuskopa kasutus, kus kulud on kokku 595,52 milj. eurot. Praeguse tehnoloogia kasutus on samuti kallis, kuid on natuke odavam võrreldes alternatiiviga II.



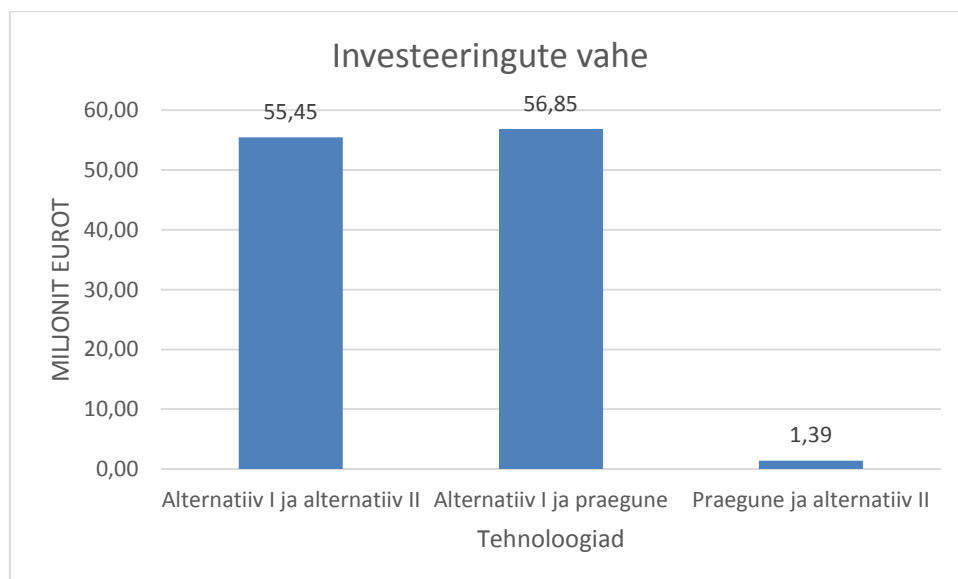
**Graafik 18. Tehnoloogiate viieteist aasta kulud ja investeeringud ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))**

Graafikus 19 (Graafik 19) on välja toodud kolme tehnoloogilise variandi kulude vahe. Graafiku 19 (Graafik 19) põhjal võib väita, et kõige suurem kulude vahe on I ja II alternatiivi vahel. Kulude vahe on 371,77 milj. eurot. Ka kasutatava tehnoloogia ja alternatiiv I kulude vahe on märkimisväärne ning on suurusjärgus 350 milj. eurot. Praeguse ja alternatiiv II kulude vahe on 20,83 milj. eurot.



**Graafik 19. Tehnoloogiate kulude vahe** ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

Graafikus 20 (Graafik 20) on välja toodud erinevate tehnoloogiliste variantide investeeringute vahed. Kõige väiksem investeeringute vahe on praeguse ja alternatiiv II vahel, mis on alternatiiv II puhul 1,39 milj. eurot suurem. Graafiku 20 (Graafik 20) põhjal võib öelda, et alternatiiv I investeeringud on suurusjärgus 55 milj. suuremad kui praegusel ja alternatiiv II tehnoloogial.

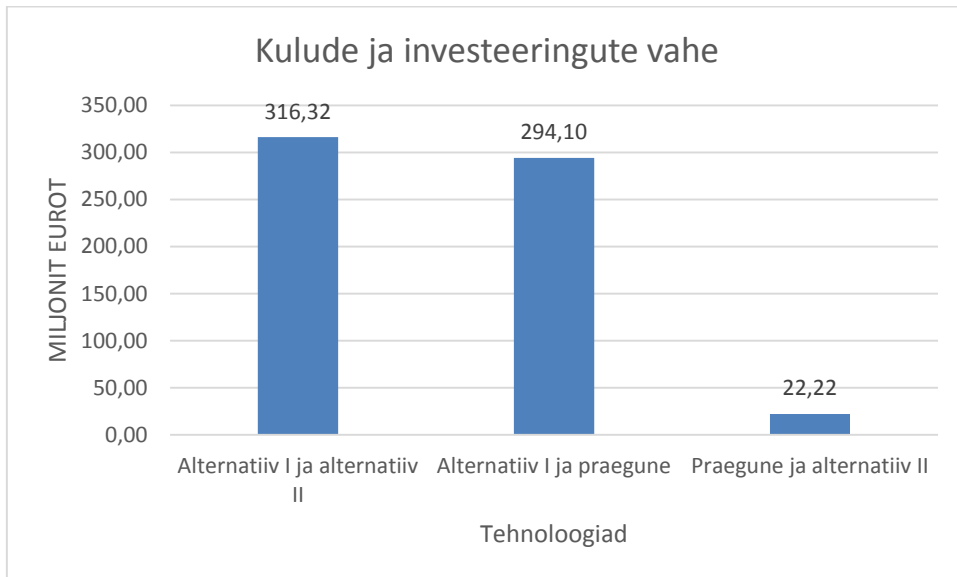


**Graafik 20. Tehnoloogiate investeeringute vahe** ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

Graafikus 21 (Graafik 21) on välja toodud tehnoloogiate investeeringute ja kulude vahe. Graafiku 21 (Graafik 21) põhjal võib öelda, et kokkuvõttes võidaks ettevõtte kõige rohkem kui kasutusele võtta alternatiivtehnoloogia I. Ettevõtte võidaks sellise tehnoloogia puhul 294,10 milj. eurot. Alternatiiv II kasutuselevõtmine ei oleks praeguse tehnoloogiaga majanduslikult

Põlevkivi avakaevandamise alternatiivsete transpordi- ja rikastamisvõimaluste analüüs Narva karjääri tingimustes

otstarbekas, kuna tekitab lisakulusid ja vajab suuremaid investeeringuid võrreldes praeguse tehnoloogiaga.



Graafik 21. Kulude ja investeeringute vahe ([Konveier ja Kalluri arvutused.xlsx](#))

## 5 Arutelu

Tulemuste põhjal võib väita, et konveieri ja purustuskopa kasutuselevõtt Narva karjääri tingimustes oleks majanduslikult põhjendatud. Kuigi tehnoloogia vajab suurt esmast investeeringut, oleks rahaline võit viieteist aasta peale 294 milj. eurot. Konveieri montaaž on pikaajaline protsess, mistõttu on pikaajaline ka sellele tehnoloogilisele skeemile üleminek. Kulude vähendamiseks oleks siiski otstarbekas hakata tranšeedesse konveiereid projekteerima ning paigaldama. Seda oleks võimalik teha tranšeede kaupa. Otstarbekas oleks konveier paigutada kõige kaugemal asuvasse tranšeesse – tranšeesse nr 5, et vähendada kalluri kulusid kütusele.

Kütuse hinnad on praegu raskesti prognoositavad, kuid eeldusel, et toornafta barreli hind maailmaturul hind tõuseb, siis tõuseb ka kütuse hind, mis omakorda suurendab kütusekulusid. Naftahinna tõusuga üle 50 USD barreli kohta on põlevkiviõli tootmine kasumlik ([indrek-aarna-2013-11-14.pdf](#)). Kuid nagu eelnevalt välja toodud, suurendab nafta hinnatõus kütuse hinda ning sellega seoses ka põlevkiviõli tootmise perspektiivi. Sellest tulenevalt on mõistlik alternatiivsesse kaevise transportimise tehnoloogiasse investeerima hakata.

Tootmisjuhtidel ei ole reservvahendeid kahe paljandusekskavaatoriga tranšeedest kaevise piisava mahuga väljaveoks, mistõttu on vajalik ekskavaatorijuhtide sundpuhkusele saatmine. Tranšee nr 5 sulgemisel oleks võimalik kahe paljandusekskavaatoriga tranšeedesse saata rohkem kallureid, mille tagajärjeks oleks kaevise kiirem väljavedu ning sundpuhkuste ärajätmine. Otstarbekas oleks alustada ka väljaveotranšee konveierite ehitamisega. Tranšee nr 5 ja väljaveotranšee konveierite valmimisel oleks võimalik alustada uue tehnoloogilise skeemi aevitamist ning jätkata konveierite montaaž teistesse tranšeedesse.

Uue tehnoloogilise variandi evitamisel kaotaksid paljud inimesed töö, kuid ettevõtte eesmärk on võimalikult suure kasumiga opereerimine. Selleks, et tagada võimalikult suur kasum, tuleb kulusid vähendada ning töös tehtud majanduslikud arvutused näitavad, et konveieri ja purustuskopa kasutamisel on kulud tunduvalt väiksemad kui praeguse tehnoloogia kasutamisel. Neljandikku kalluri juhtidest oleks võimalik koolitada konveieri hoolduspersonaliks, mis samas leevendaks tekkivat tööpuudust.

Purustuskopa kasutuselevõtmisel tuleb arvestada rikastatava põlevkivikogusega. Kuna kõik tranšeed ei lähe päevapealt üle konveieritele, siis ei pea kõiki purustuskoppasid kohe hankima. Täiendavaid kopplaadureid saab hankida pikema ajaperioodi jooksul. Purustuskopa

Põlevkivi avakaevandamise alternatiivsete transpordi- ja rikastamisvõimaluste analüüs Narva karjääri tingimustes

kasutamisel paraneb põlevkivi kvaliteet, mille tulemusel ei ole vajalik nõutud kütteväärtuse tagamiseks kaevisele põlevkivi kihte juurde segada. Purustuskopa kasutuselevõtul jõuaks elektriijaama lattu ühtlasema kvaliteediga põlevkivi ning seda peab vähem põletama, et elektrijaam töötaks vajalikul võimsusel.

Konveieri ja purustuskopa kasutamise tehnoloogia vajab edasisi uuringuid, selleks et uutel karjääridel oleks tulevikus võimalik uuringute põhjal valida sobivad transpordi ning rikastamise tehnoloogiad.

## **Kokkuvõte**

Töös käsitletud alternatiivsete transpordi tehnoloogilise skeemi analüüsi tulemused näitavad, et praeguse tehnoloogia kasutamine on väga kulukas. Praeguse tehnoloogia suurimad miinused on kõrged kulud kütusele ja personalile ning kallurite madal tootlikkus. Kõige kaugemast tranšeesest õlitehase lattu on praegu võimalik tunnis välja vedada vaid 47 tonni kaevist ning kui eerind jõuab mäeeraldise lõppu, väheneb see 40 tonnini tunnis. See tähendab, et ete edasinihkumisega kaasnevad ressursi erikulud kaevise veole. Positiivsena võib välja tuua madala esmase investeeringu ning sissetöötatud transpordisüsteemi.

Karjääritranspordi konveieriseerimine on aeganõudev, kuid majanduslikult põhjendatud protsess. Konveieri kasutamine ühtlustaks toodangut. Konveieriseerimisega väheneb vajadus tööjõu järele ja säästaks personalikulusid. Konveieri tootlikkus oleneb kopplaaduri ja purustuskopa tootlikkustest. Praegust tehnoloogiat kasutades oleks ühe tranšee kõrge kütteväärtusega kihtide puhul konveieri tootlikkus 187 t/h. Purustuskopa kasutamisega tehnoloogilise variandi korral oleks see 164 t/h. Purustuskopa ja kalluri kasutamisega tehnoloogilise variandi korral jääks kalluri tootlikkus samaks.

Võrreldes kolme tehnoloogilise variandi kulusid on selge eelis purustuskopa ja konveieri variandil. Ettevõtte kulud on sellise tehnoloogia puhul 350,95 milj. euro võrra väiksemad kui praeguse tehnoloogia kulud. Kolme variandi viieteist aasta kulud oleksid järgmised: praegust tehnoloogiat kasutades 562,88 milj. eurot, variant I tehnoloogial 211,94 milj. eurot ja variant II tehnoloogial 583,70 milj. eurot. Kulude suur vahe tekib kütusehinna ja elektrihinna vahest. Variant II kasutades on ka suuremad personalikulud.

Investeeringuid arvestades on konveieri tehnoloogia kuus korda kallim. Konveierit kasutades on investeering 62,62 milj. eurot. Teiste tehnoloogiate puhul on investeeringud 11-12 milj.eurot.

Arvestades 15 aasta kulusid ja investeeringuid oleks otstarbekas kasutusele võtta konveieri ja purustuskopa tehnoloogia. Ettevõtte säästaks sellega 294,10 milj. eurot. Alternatiiv II kasutusele võtmine tekitaks võrreldes praeguse tehnoloogiaga ettevõttele lisakulutusi nii mäemasinate kulude kui ka investeeringute osas.

## Kasutaud kirjandus

1. Maa-amet [WWW] <http://xgis.maaamet.ee/xGIS/XGis>
2. Narva karjäär [WWW]  
[http://www.ene.ttu.ee/maeinstituut/artiklid/2011/ems2011/Viil\\_Polevkivikarjaaride\\_kaevandatud\\_alade\\_rekultiveerimine.pdf](http://www.ene.ttu.ee/maeinstituut/artiklid/2011/ems2011/Viil_Polevkivikarjaaride_kaevandatud_alade_rekultiveerimine.pdf) , (09.04.16)
3. Narva karjäär [WWW]  
[http://www.illuka.ee/bw\\_client\\_files/illuka/public/img/File/Narva\\_uhendamise\\_programm\\_14\\_10.pdf](http://www.illuka.ee/bw_client_files/illuka/public/img/File/Narva_uhendamise_programm_14_10.pdf) , (08.04.16)
4. Narva karjäär [WWW]  
[http://www.vaivaravald.ee/dp/Kauramae/Kauramae\\_pdf/seletuskiri\\_Kauramae.pdf](http://www.vaivaravald.ee/dp/Kauramae/Kauramae_pdf/seletuskiri_Kauramae.pdf) , (09.04.16)
5. Põlevkivi info [WWW] <http://kaevandus.tumblr.com/> , (8.04.16)
6. Põlevkivi info [WWW] <http://polevkivi.blogspot.com/2008/11/veekrvaldus-est-plevkivis.html> , (8.04.16)
7. Põlevkivi info [WWW] <http://www.geoeducation.info/geoturism/polevkivi.php> , (8.04.16)
8. Konveieri võimsuse arvutus  
<http://www.solidsprocessing.nl/applic/jh/bandtransporteur/berekening.php> , (6.04.16)
9. Regio, [WWW] <http://pump.regio.ee/kaart/?q=&x=5&y=9> , (6.06.16)
10. Allu purustuskopa katsed [WWW]  
[https://www.researchgate.net/publication/260644798\\_ALLU\\_PURUSTUSKOPA\\_KA\\_TSED\\_NARVA\\_KARJAARIS](https://www.researchgate.net/publication/260644798_ALLU_PURUSTUSKOPA_KA_TSED_NARVA_KARJAARIS) , (17.04.16)
11. MB purustuskopad [WWW] <http://www.mbcruiser.com/en/ee/products/crusher-buckets> , (17.04.16)
12. Allu purustuskopad [WWW] <http://allumining.net/product-line/m-series-for-excavators> , (17.04.16)
13. Kopplaadur Komatsu WA 600 [WWW]  
[http://www.komatsu.com.au/AboutKomatsu/NewsAndPublications/Brochures/New%20Equipment%20Brochures/Wheel\\_Loader/WA600-6/WA600-6\\_CEN00056-04\\_201303.pdf](http://www.komatsu.com.au/AboutKomatsu/NewsAndPublications/Brochures/New%20Equipment%20Brochures/Wheel_Loader/WA600-6/WA600-6_CEN00056-04_201303.pdf) , (17.04.16)
14. Kallur Belaz [WWW]  
<http://www.belaz.by/en/catalog/products/dumptrucks/7555/7555d/> , (17.04.16)



15. Kopplaadur Komatsu WA 600 kütuse kulu [WWW]  
<http://www.komatsu.com.au/AboutKomatsu/NewsAndPublications/D2E/Issue%2053/DownToEarth-53.pdf> , (17.04.16)
16. Kopplaadur Volvo L350 [WWW]  
[http://www.volvoce.com/SiteCollectionDocuments/VCE/Documents%20Global/wheel%20loaders/ProductBrochure\\_L350F\\_EN\\_22\\_20032693-A\\_2012.07.pdf](http://www.volvoce.com/SiteCollectionDocuments/VCE/Documents%20Global/wheel%20loaders/ProductBrochure_L350F_EN_22_20032693-A_2012.07.pdf) , (17.04.16)
17. Kopplaadur Volvo L350 kütuse kulu [WWW]  
<http://www.volvoce.com/constructionequipment/na/en-us/products/wheelloaders/wheelloaders/fuel-guarantee/Pages/Fuel-Efficiency-Guarantee-FAQs.aspx> , (17.04.16)
18. Valgma, I.; Väizene, V.; Orru, M.; Karu, V. (2016). Põlevkivi kaevandamistehnoloogiate keskkonnamõju analüüs. K. Suuroja, A. Põldvere ja K.Kaljulate (Toim.). XXIV APRILLIKONVERENTS. Maapõuekasutus ja keskkonnahoid (52–53). Tallinn: Eesti Geoloogiakeskus.
19. Kalmer Sokman, Eduard Pukkonen , Eesti Energia. (2016) Quo vadis Narva karjäär? K. Suuroja, A. Põldvere ja K.Kaljulate (Toim.). XXIV APRILLIKONVERENTS. Maapõuekasutus ja keskkonnahoid (9-12). Tallinn: Eesti Geoloogiakeskus.
20. Martin Nurme. (2014). ALLU PURUSTUSKOPA KATSED NARVA KARJÄÄRIS. TTÜ Mäeinstituut (2014)
21. Konveieri kiirus [WWW] <http://www.vkgev.ee/est/uudised/58/kaivitamisel-on-baltikum-esisimene-maapealne-usskonveier> , (20.04.16)
22. Narva karjääri info [http://www.envir.ee/sites/default/files/taotluse\\_kaaskiri.pdf](http://www.envir.ee/sites/default/files/taotluse_kaaskiri.pdf) , (28.04.16)
23. Valtspurustuskopp  
[http://www.ene.ttu.ee/maeinstituut/kogumik/2012/artiklid/KAEVANDAMINE%20JA%20KESKKOND\\_1.pdf](http://www.ene.ttu.ee/maeinstituut/kogumik/2012/artiklid/KAEVANDAMINE%20JA%20KESKKOND_1.pdf) , (28.04.16)
24. Narva Karjääri plaan [Narva-Karjäär-tranšeede-layout\\_19.11.14.pdf](#)
25. Purustuskopa purustamine <https://www.youtube.com/watch?v=9FkHV91HSBY> , (6.05.16)
26. Belaz kallurite laiuste info <http://www.belaz.by/en/catalog/products/dumptrucks> , (07.05.16)
27. Reinsalu, E. Eesti mäendus. Tallinn : TTÜ kirjastus, 2008. lk 50, 55.

## Lisad

Lisa 1. Kütteväärtuste arvutamise tabel (autor Eesti Energia Kaevandused AS)

Расчет суточной добычи на погрузочном пункте NARVA и Viivikond

Пачка	Viivikond		Тонны t	Качество MJ/kg	Narva													Тонны t	Качество MJ/kg
	1	4			4	5	6	7	8	9	10	11	12	13					
					Тонны t	Качество MJ/kg	Тонны t	Качество MJ/kg	Тонны t	Качество MJ/kg	Тонны t	Качество MJ/kg	Тонны t	Качество MJ/kg	Тонны t	Качество MJ/kg	Тонны t		
VAL	7,33	6,96	0	0,00	6,96	7,13	7,63	7,34	7,34	7,17	7,38	6,15	6,62	5,85	2640	7,63			
тонны																			
FD	7,66	7,59	0	0,00	7,59	8,11	7,23	7,3	5,67	7,32	7,31	6,12	7,55	6,82	0	0,00			
тонны																			
FD+D/C	5,92	5,67	0	0,00	5,67	5,96	6,22	6,23	4,99	5,76	6,29	4,68	5,7	5,24	0	0,00			
тонны																			
CB	10,85	10,19	0	0,00	10,19	10,63	11,79	10,82	12,696	11,23	10,81	10,48	10,53	8,62	1760	10,48			
тонны																			
CB+D/C	7,98	7,19	0	0,00	7,19	7,26	9,34	8,53	9,91	8,07	8,53	6,72	6,93	6,25	0	0,00			
тонны																			
CB+A	8,84	8,43	0	0,00	8,43	8,54	9,19	8,59	9,93	8,8	8,65	8,34	7,78	7,22	0	0,00			
тонны																			
AA	9,5	10,01	0	0,00	10,01	10,35	9,08	9,53	9,51	9,29	9,65	9,48	8,3	10,72	0	0,00			
тонны																			
AA+B/A	4,48	4,55	0	0,00	4,55	4,33	3,96	4,09	4,45	4,39	4,52	4,53	3,99	4,48	0	0,00			
тонны																			
FD+D/C+CB	7,84	7,37	0	0,00	7,37	7,64	8,34	7,95	7,88	7,73	7,92	6,42	7,23	6,25	0	0,00			
тонны																			
FD+D/C+CB+B/A	7,28	6,88	0	0,00	6,88	7,06	7,63	7,3	7,31	7,13	7,32	6,07	6,57	5,62	0	0,00			
тонны																			

4400 8,77

4400 8,77

0 0,00

Добыча

Добыча



Põlevkivi avakaevandamise alternatiivsete transpordi- ja rikastamisvõimaluste analüüs Narva karjääri tingimustes

**Lisa 3. Tranšeede laiused [1]**

