



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Virumaa kolledž

Rataslaaduri ja EKG ekskavaatori tootlikkuse võrdluse analüüs Narva karjääris

**Productivity comparison analysis of wheel loader and electric
rope shovel in Narva open pit mine**

EDJR 16/17 ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Stefan Bostan

Üliõpilaskood: 178597EDJR

Juhendaja: Viktor Andrejev, nõunik

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"24" mai 2021.

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab rakenduskõrgharidusõppe lõputööle/magistritööle esitatud nõuetele

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

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

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

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS

Mina Stefan Bostan (sünnikuupäev:01.05.1981)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Rataslaaduri ja EKG ekskavaatori tootlikkuse võrdluse analüüs Narva karjääris“ mille juhendaja on Viktor Andrejev,

1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

TalTech Inseneriteaduskond Virumaa kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Stefan Bostan, 178597EDJR

Õppekava, peeriala: EDJR16/17, Mäendus

Juhendaja(d): Nõunik, Viktor Andrejev, e-mail: viktor.andrejev@taltech.ee

Konsultant: Igor Demidovich, Mäetranspordi jaoskonna juht, Enefit Power AS,
Igor.demidovich@enefit.ee

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Rataslaaduri ja EKG ekskavaatori tootlikkuse võrdluse analüüs Narva karjääris.

(inglise keeles) Productivity comparison analysis of wheel loader and electric rope shovel in Narva open pit mine

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Laadimise protsesside kestvuse keskmiste aegade määratlused ajaarvestuslike andmete abil;
2. Tootlikkuse efektiivsuse määratlus;
3. Ühe põlevkivi tonni laadimise kulude leidmine.

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Koostada lõputöö ülesannete leht ning sellega panna paika töö eesmärgid	17.02
2.	Panna paika töö tingimused ja parameetrid	21.02
3.	Panna paika masinad ja tranšeed andmete kogumiseks	24.02
4.	Koguda andmeid praktilise töö käigus	15.03
5.	Kirjutada valmis lõputöö mustand (sissejuhatus, põhiosa, arvutused, kokkuvõte)	04.04
6.	Lõputöö vormistamine ja esitamine	10.05

Lõputöö etapid ja ajakava:

Töö keel: eesti	Lõputöö esitamise tähtaeg:	"15"mai 2021a
Üliõpilane: Stefan Bostan	/allkiri/	"....."..... 20.....a
Juhendaja: Viktor Andrejev	/allkiri/	"....."..... 20.....a
Konsultant: Igor Demidovich	/allkiri/	"....."..... 20.....a
Programmijuht: Veronika Shirokova	/allkiri/	"....."..... 20.....a

SISUKORD

SISSEJUHATUS	9
1 PÕLEVKIVI KAEVANDAMINE EESTIS	10
1.1 Ajalugu.	10
1.2 Kukersiit.	11
2 NARVA KARJÄÄRI KIRJELDUS	14
2.1 Narva karjääri piirid.	14
2.2 Narva karjääri geoloogiline ja hüdrogeoloogiline iseloomustus.....	16
2.3 Pealmaa kaevandamise protsessi kirjeldus.....	17
2.3.1 Puistangute moodustamine.....	19
2.4 Masinate spetsifikatsioon.....	20
2.4.1 Rataslaadur CAT988K	20
2.4.2 Pärikipaga ekskavaator EKG-5	22
2.4.3 Kallur Belaz 7555D	24
2.5 Laaduri ja ekskavaatori töötunni maksumus.	24
3 TOOTLIKKUSE ANALÜÜS	26
3.1 Rataslaaduri ja pärikipaga ekskavaatori tehniline tootlikus.....	26
3.2 Analüüsi andmed.....	28
3.3 Tulemused	29
KOKKUVÕTE	30
SUMMARY	31
KASUTATUD ALLIKAD:	32
LISAD	34

Jooniste loetelu

Joonis 1.1 Nikolai Pogrebov [5]	10
Joonis 1.2 Märt Raud [6]	11
Joonis 1.3 Kukersiidi iseloomustus [9].....	12
Joonis 1.4 Põlevkivi tootev kihind	12
Joonis 2.1 Narva karjäär (joonise autor L.Siitam) [15]	15
Joonis 2.2 Pealmaatööd karjääris.....	18
Joonis 2.3 Puistangu moodustamine.....	20
Joonis 2.4 CAT988K rataslaadur [21]	21
Joonis 2.5 Kopa mahtude määramise näide	22
Joonis 2.6 Pärikopaga ekskavaator EKG-5 [22]	23
Joonis 2.7 Belaz 7555D [24]	24

Tabelite loetelu

Tabel 2.1. Narva karjääri kaevandamisload ja mäeeraldised andmetega (põhineb Maaameti Koondbilanss seisuga 2019. aasta andmetel) [20]	15
Tabel 2.2 Täpsustus joonisele "Pealmaatööd karjääris".....	18
Tabel 2.3. CAT 988K mõõdud. [21].....	21
Tabel 2.4 EKG-5 tehnilised parameetrid. [23].....	23
Tabel 3.1 Tehnilise tootlikkuse võrdlustabel	27
Tabel 3.2. EKG laadimise tsükli ajad (laadimisnurk 60° -120°).	27
Tabel 3.3. Rataslaaduri laadimise tsükli ajad.	28

EESSÕNA

Antud töö teemaks on pärikopaga ekskavaatori ja frontaallaaduri tootlikkuse võrdluse analüüsi läbi viimine. Lõputöö suund oli määratud ettevõtte poolt selleks, et pakkuda tänapäeva Narva karjääri tingimustes kõige ökonoomsemat varianti põlevkivi väljamiseks. Töö autor ise varem osales laadimistöo protsessis, mis pakkus talle huvi ja ajendas kirjutama tööd sellel teemal.

Lõputöö jaoks on kogutud andmed Enefit Power AS-ile kuuluvast Narva karjääri mäetööde protsesside käigust.

Töö autor avaldab tänu lõputöö juhendajatele igakülgse abi ja soovitude eest. Sammuti tänusõnad Virumaa kolledži õppejõududele ning Narva karjääris töötavatele kolleegidele kes andsid oma panuse selle töö kirjutamisel.

Võtmesõnad: pealmaa kaevandamine, frontaallaadur, EKG ekskavaator, Narva karjäär, diplomitöö

SISSEJUHATUS

See töö on kirjutatud Tallinna Tehnikaülikooli Virumaa Kolledži „Mäenduse“ kursuse lõputööna. Töös käsitletud teemad on otseselt või kaudselt seotud ülalnimetatud kursuse teemadega- mäetööde ja kaevandamisega.

Eesti ei ole kõrgelt arenenud mäetööstusmaa maailma mastaabis, kuid samas uute tehnoloogiate kasutamine võib aidata selleks saada või siis vähemalt püsida tasemel kus me ei pea kõiki tooraineid sisse importima. [1]

Seoses riikliku „Keskkonnastrateegia arengukava 2030“ eesmärkidega tuleb tagada *„...põlevkivi võimalikult keskkonnasäästlik ja majanduslikult efektiivne kaevandamine ning kasutamine, garanteerides põlevkivitööstuse varustamise põlevkivivaruga ja võttes arvesse kaasnevat keskkonnamõju“*. Seega tootlikkuse ja kasumlikkuse teema on väga aktuaalne tänase põlevkivi kaevandamise reaalides. [2]

Lisaks esialgsele teema valiku kriteeriumile, antud teema lõputöö kirjutamiseks oli valitud lähtudes soovist panustada oma kogemusi ja teadmisi Narva karjääri tulemuslikkuse heaks. Analüüsi eesmärgiks on võrrelda ja analüüsida frontaallaaduri ja pärikoppaga EKG ekskavaatori tööd põlevkivi kaevandamise protsessi käigus.

Vaikimisi arvatakse, et frontaallaadur on efektiivsem põlevkivi laadimisprotsessis. Selle arvamuse põhjuseks on laaduri mobiilsus ja suurem kopa mahutavus. Kuid oma kogemusest töö autor võib ütelda, et on olukordi kui ekskavaator on laadurist kiirem ja osades operatsioonides lausa asendamatu. Loomulikult, ükski mehhanism ei tööta automaatselt, suurt rolli ühe või teise masina efektiivses töös mängivad operaatorite oskused ja kogemused.

Põhilised punktid mida diplomi töös käsitletakse on: *laadimise protsesside kestvuse keskmiste aegade määramine ajaarvestuslike andmete abil, tootlikkuse efektiivsuse määratlus ning ühe põlevkivi tonni laadimise kulude leidmine.*

Selleks, et tingimused oleksid võrdsed, andmete kogumisel ei ole võetud arvesse BA kihi eemaldamist ja AA kihi laadimist (seda laeb alati laadur). Sammuti arvesse ei lähe ekskavaatori sisekute vaheliste ülesõitude ete koristustööd (arvestatakse ainult kulutatud aega). EKG jaoks teeb seda tööd ratasbuldooser K-703. Frontaallaadur teeb koristustöid enda ees kallurite laadimise vahel vahetuse jooksul. Sammuti ei arvestata D/C kihi eemaldamist. Arvestuses on kasutatud F2-D ja CB kihtide laadimise andmeid.

Antud töö kirjutamisel on kasutatud karjääri tehnoloogilisi andmeid ja jooniseid.

Lõputöö kaudseks eesmärgiks on teha samm Eesti põlevkivi tööstuse säilitamiseks optimeerides laadimise protsesse avakaevandamises.

1 PÕLEVKIVI KAEVANDAMINE EESTIS

1.1 Ajalugu.

Esimesed teated Eestis leidvast põlevast kivimist pärinevad juba 18. sajandist, siis leidsid Põhja-Eesti talumehed põlevkivi oma põldudelt. 1788. aastal Peterburi jõudis teade, et Kohala mõisakaevu kaevamisel väljati suur hulk põlevkivi ja sama mõisa karjamaast leitud kivide tükkidega olid talumehed ka varem lõket teinud. [3]

Esimesed ametlikult kirjalikud teated Eesti põlevkivist on pärit 1789. aastast Peterburi Vabamajanduse Seltsi arhiivist ning kaks aastat hiljem ilmub artikkel Kohala põlevkivist Seltsi väljaandes. Sellest aastast on huvi põlevkivi vastu olnud erinev. Katsetused ja analüüsid viisid enamasti järelduseni, et põlevkivi saab kasutada soojuse, tõrva ning õli tootmiseks. Mitmed Tartu ülikooli keemikud on uurinud põlevkivi koostist, ning tulid järeldustele, et põlevkivi kihtide väikeste paksuse ja suure tuhasuse tõttu pole selle tootmine otstarbekas. Sellest ajast põlevkivi unustati jälle mõneks ajaks, kuid I maailmasõja tulekuga ärkas huvi taas. Kütuse puuduse tõttu Petrogradist saadeti Eestisse geoloog Nikolai Pogrebov¹ (vt joonis 1.1) kelle juhatusel avati Kohtla-Järve kandis, kus olid kõige paksemad kihid, proovikaevandamisi. 1916. aastal saadeti 22. vagunit põlevkivi Petrogradi selleks, et selgitada toodangu kasutusvõimalusi. Uuringute tulemused ületasid kõik ootused ja oli otsustatud rajada Pavandus põlevkivikarjäär aastatoodanguga 35 miljonit puuda (u 570000 t). Umbes samal ajal avati Kukrusel ja Järve külas erakapitalil põhinevad karjäärid. 1918 aasta veebruaris seoses saksa vägede poolt okupeerimisega, tööd karjäärides peatusid. [3] [4]



Joonis 1.1 Nikolai Pogrebov [5]

¹ Nikolai Pogrebov (1860-1942)- Venemaa geoloog ja hüdrogeoloog.

Saksa okupatsiooni alt vabanes Eesti novembris ja siis kogunes Eesti Ajutine Valitsus, kus Märt Raud² (vt joonis 1.2) tutvustas põlevkivi kui maavara.

Märt Raua algatusel arenes uues riigis kiiresti õlitööstus. Selle väljaarendamisel kasutati Tartu Ülikooli abi ja hiljem ka Tallinna Tehnikaülikooli teadlaste abi. Õlitööstuse jaoks seadmed projekteeriti, valmistati ja paigaldati Eesti masinatehaste poolt.



Joonis 1.2 Märt Raud [6]

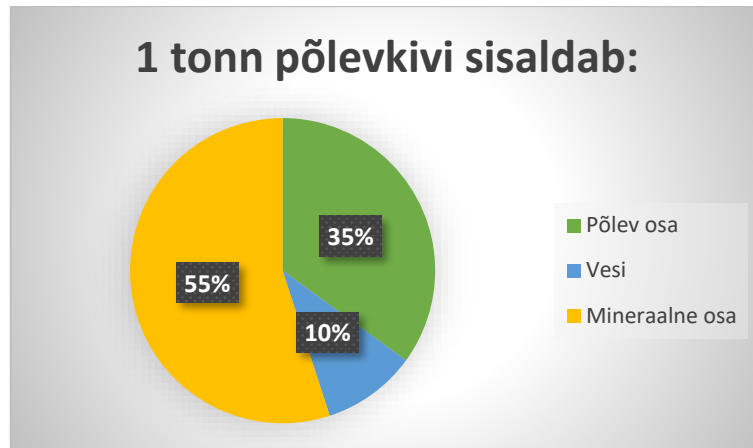
1921. aastal asutati Kohtla-Järvel tööstuse juurde laboratoorium, millest arenes välja maailmas tuntud praktilise suunaga põlevkivikeemia laboratoorium, kus töötasid teaduskraadiga keemikuid. nende tööde tulemuste alusel kaitsti teaduskraade ja avaldati artikleid maailma juhtivates erialaajakirjades saksa, inglise, vene ja prantsuse keeles. See tegi Eesti põlevkivitööstuse tuntuks kogu maailmas ning pälvis laialdast tähelepanu. [7]

1.2 Kukersiit.

See nimetus tuleneb Kukruse mõisa saksakeelsest nimetusest *Kuckers*, mille maadel seda hakati uurima ja kaevandama. Nime andis eelnevalt nimetatud Kukruse lademe põlevkivi kihile vene paleobotaanik Mihhail Zaleski XX sajandi alguses. [4] [8]

Enamus uurijaid on seisukohal, et põlevkivis sisalduva orgaanilise aine lähtematerjaliks on merevetikad, mis Ordoviitsiumi ajastul vohasid kõikides veekogudes. Vetikate tähtsus seisneb selles, et nad varustasid maa atmosfääri hapnikuga, mis lõi sobiliku keskkonna teistele arenevatele organismidele. [4]

² Märt Raud (1878-1952)- insener ja Eesti põlevkivitööstuse rajaja



Joonis 1.3 Kukersiidi iseloomustus [9]

Nagu kõik teised põlevkivid on kukersiit sette kivim ning koosneb orgaanilisest aine-kerogeenist mida võib olla seal kuni 60%. Kõrge kerogeeni sisaldusega põlevkivi kohtab vaid üksikutes kihtides A-, B- ja E- kihtides. Joonisel 4 on hästi näha nende kihtide suurem kütteväärtus võrreldes teistega. [10]

Eesti maardla põlevkivi iseloomustus on kuutatud joonisel 1.3.

Litoloogiline läbilõige	Kivimite kirjeldus
	V.L lubjakivi
	Põlevkivi -F2
	Põlevkivi -F1
	Põlevkivi -E
	Lubjakivi E/D ("roosa paas")
	Põlevkivi -D
	Lubjakivi -D/C ("kahekordne paas")
	Põlevkivi -C
	Lubjakivi C/B ("rusikas")
	Põlevkivi -B
	Lubjakivi B/A1
	Põlevkivi -A1
	Lubjakivi A1/A
	Põlevkivi -A
	Savikas lubjakivi

Joonis 1.4 Põlevkivi tootev kihind

Eestis leiduva põlevkivi tööstusliku kihindi moodustavad Kukruse lademe alumise osa kaheksa kukersiidi (kihid A kuni F2) ja kuus lubjakivi vahekihti (vt joonis 1.4). Maardla tootsa kihindi võimsus on keskmiselt 2,50- 3,00 meetrit, millest „puhta“ põlevkivi osa on 1,8-2,6 meetrit ja lubjakivi kihtide osa 0,6-0,7 meetrit. [4] [11]

Eesti maardla põhjaosas asub põlevkivi kihind pinnale üsna lähedal. Siin saab toota põlevkivi karjäärides. Lõunapoolse laskuvad kihid koos aluspõhjakivimitega sügavamale. Kihid kallakuse suund on lõunapoolne ja teeb umbes 3,5 meetrit kilomeetri kohta. Paarikümne kilomeetri kaugusel Jõhvist lõuna poole, sinna kus asub Estonia kaevandus, põlevkivi kiht asub juba kuni 70 meetri sügavusel. [4]

Maardla looduslikud tingimused on iseloomustatud selle geoloogiaga, pinnase topograafiaga, hüdrogeoloogiaga, seismoloogiaga ja kliimaga. Põlevkivi kaevandamist ja kasutamist raskendavad kihindis sisalduvad lubjakivi vahekihid ja maardla veerikkus. Iga tingimuse koostisosa määrab ette suurt näitajate hulka, millega tuleb arvestada tootmise protsesside arendamises. [12] [13]

2 NARVA KARJÄÄRI KIRJELDUS

2.1 Narva karjäär piirid.

Narva karjäär on Eesti Energia tütarettevõttele Enefit Power AS-ile kuuluv pealmaakaevandus. Endise nimega „Karjäär nr.2“ Narva karjäär andis esimese toodangu 30. septembril 1970 aastal. [13]

Selline Narva karjäär nagu ta on tänapäeval, koosneb kolmest kunagi eraldi töötavatest karjääridest:

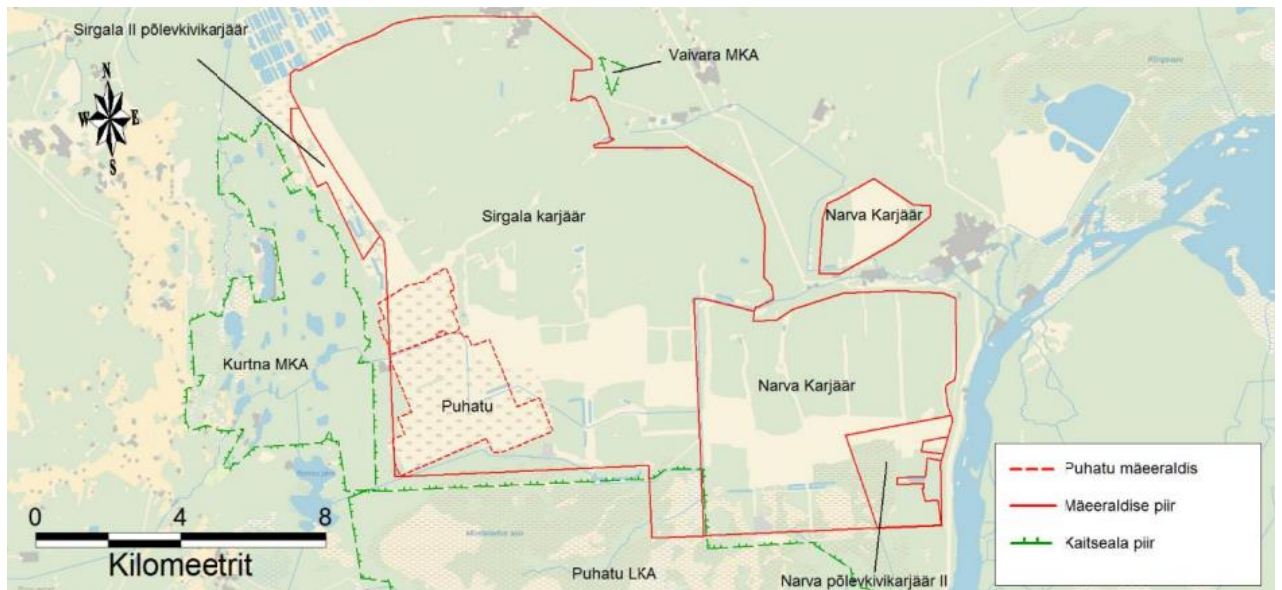
- 1) Viivikonna karjäär, mis töötas juba 1936 aastal ja esialgu oli allmaakaevandus;
- 2) Sirgala karjäär (1962);
- 3) Narva karjäär (1970).

Viivikonnast toodetud põlevkivi veeti Türsamäele Õlikonsortsiumi, kus oli rootslaste poolt ehitatud põlevkivi utmistehas ja mis hiljem hävis Teise maailmasõja ajal. [13] [14]

Sirgala ja Narva karjäärid olid loodud puhtalt energeetilise põlevkivi tarnijateks „Eesti“ ja „Balti“ elektrijaamadele. Sellepärast ei ole nendel ka rikastusvabrikut- kõik läks kateldesse. Kõigepealt ühendati Viivikonna karjäär Sirgala karjääriga. Osad juhtimisahelad muudeti ühtseteks, kuid Viivikonnas jäid karjääri hooned kasutusse ning osad jaoskonnad paiknesid veel seal. Sirgala mäeeraldise ja Narva mäeeraldise vahel voolab Mustajõgi. Karjääride ühendamiseks oli vaja rajada suure kandevõimega betoonist autosild üle jõe. Aastaks 2000 oli sild valmis ja võis hakata kalluritega põlevkivi vedama Narva purustus-laadimiskompleksi. Niimoodi sajandivahetuse piiril karjäärid lõplikult ühinesid ühte, Maailma suurimase põlevkivikarjääri. [11]

Narva karjäär asub Eesti põlevkivimaardla idapoolses osas. Karjääriväli piirleb: (vt joonis 2.1)

- Idast- Narva jõe karjääriterritikuga;
- Läänest- Kurtna maastikukaitsealaga;
- Põhjast- põlevkivi kihtide avamusjoonega aluspõhjakivimite alt;
- Lõunast- Puhatu looduskaitsealaga. Seal kattvate kivimite paksus ulatub kohati kuni 38 meetrit.



Joonis 2.1 Narva karjäär (joonise autor L.Siitam) [15]

Tabel 2.1. Narva karjääri kaevandamisload ja mäeeraldised andmetega (põhineb Maa-ameti Koondbilanss seisuga 2019. aasta andmetel) [20]

Mäeeraldise nimetus	Kaevandamise loa nr.	Loa kehtivuse tähtaeg	Mäeeraldise pindala, ha	Maksimaalselt lubatud kaevandamise aastamäär, tuh. t
Narva karjäär	KMIN-073	10.08.2029	4255,44	Nelja kaevandamiseloa peale kokku 6400
Narva põlevkivikarjäär II	KMIN-046	15.08.2028	544,15	
Sirgala karjäär	KMIN-074	03.05.2029	11295,67	
Sirgala põlevkivikarjäär II	KMIN-087	13.04.2031	233,75	
Kokku			16329,01	6400

Praegusel ajal ei ole enam igal kaevandamisloal eraldi maksimaalselt lubatud aastamäära. Enefit Kaevandused AS esitas Keskkonnaministeeriumile taotluse lubades KMIN-073, KMIN-046, KMIN-074 ja KMIN-087 sätestatud kaevandamise lubatud maksimaalsete aastamäärade liitmiseks. Keskkonnaministeerium rahuldab selle taotluse ja kehtestas ühise kaevandamise lubatud maksimaalse aastamäära nelja

kaevandamisloa peale kokku, mis on 6400 tuh. t. Lisaks sellele on olemas tingimus, et Enefit Power AS-le (end. Enefit Kaevandused AS) antud kõikide (kaasa arvatud Estonia kaevandus) põlevkivi kaevandamise lubade alusel kokku ei tohi aastas kaevandada rohkem kui 15 010 tuh.t

2.2 Narva karjääri geoloogiline ja hüdrogeoloogiline iseloomustus

Kattvate kivide struktuur on püsiv, lasumine on rahulik ja peaaegu horisontaalne, kogu geoloogilise struktuuri üldise kallakuga lõuna suunas. Juhtuvad erandlikud mõne meetri sügavused kohaliku väärtusega nõotaolised tekked, mõnekümne meetrilise laiussega karstilised piirkonnad ja kaljuste kivimite kompleksi üldine pragulisus. Esinevate nõgude nõlvad, tavaliselt ei ületa 5° ... 10° . Kattvad kivimid jagunevad pudedateks setteteks ja kõvadeks kivimiteks. [16]

Pudedad setted koosnevad jääajajärgsest ajastust mittekiivistunud settetest mille vanus ei ületa 12000 aastat. See sisaldab taimestiku kihti, turvast, liiva, liivsavi, savi, moreene rahnudega ja ilma rahnudeta. Puistangute koostises setted on tavaliselt stabiilsed, kuid kohtades suure plastiliste savide sisaldusega tekkib lihkumise tendents.

Kõvad kivimid koosnevad (ülevalt alla): [16]

- a) Tiheda koostisega põhimoreenist (kvaternaari (Q) ajastu kokku pressitud savi graniidi rahnudega, veeriseid, kruusa väikeste liiva lasunditega);
- b) Devoni ajastu (D_2) mergleid;
- c) Kesk-ordoviitsiumi (O_2) põlevkivi vahekihtidega lubjakivi.

Puistangud kattvatest kõvadest kivimitest on püsivad ja keskmine puistangute nõlvanurk on 35° - 40° . [12]

Tehnoloogilisest vaatenurgast vaadates pudedaid setteid kaevandatakse ekskavaatoritega otseselt ja ilma eelneva kobestamiseta, kuid kõvad kivimid vajavad eelnevat purustamist lõhke töödega või mehaanilisel viisil. [16]

Põlevkivi kaevandamine Narva karjääris toimub Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumi alal. Narva karjääri piirkonnas eristatakse hüdrogeoloogilises läbilõikes järgmisi veekihte: [17]

- a) Kvaternaarisetete veekiht;
- b) Narva lademe suhteliselt vettpidavad kivimid;
- c) Keila-Kukruse veekiht;
- d) Uhaku lademe vett nõrgalt läbilaskev savikas lubjakivi;
- e) Lasnamäe-Kunda veekiht.

Narva karjääri voolava põhjavee ja sademevee eemaldamiseks on rajatud veekõrvaldamis süsteem, mis koosneb: [17]

- a) Kraavidest;
- b) Drenaažistrekkidest;
- c) Pumbajaamadest;
- d) Settebasseinidest.

2.3 Pealmaa kaevandamise protsessi kirjeldus.

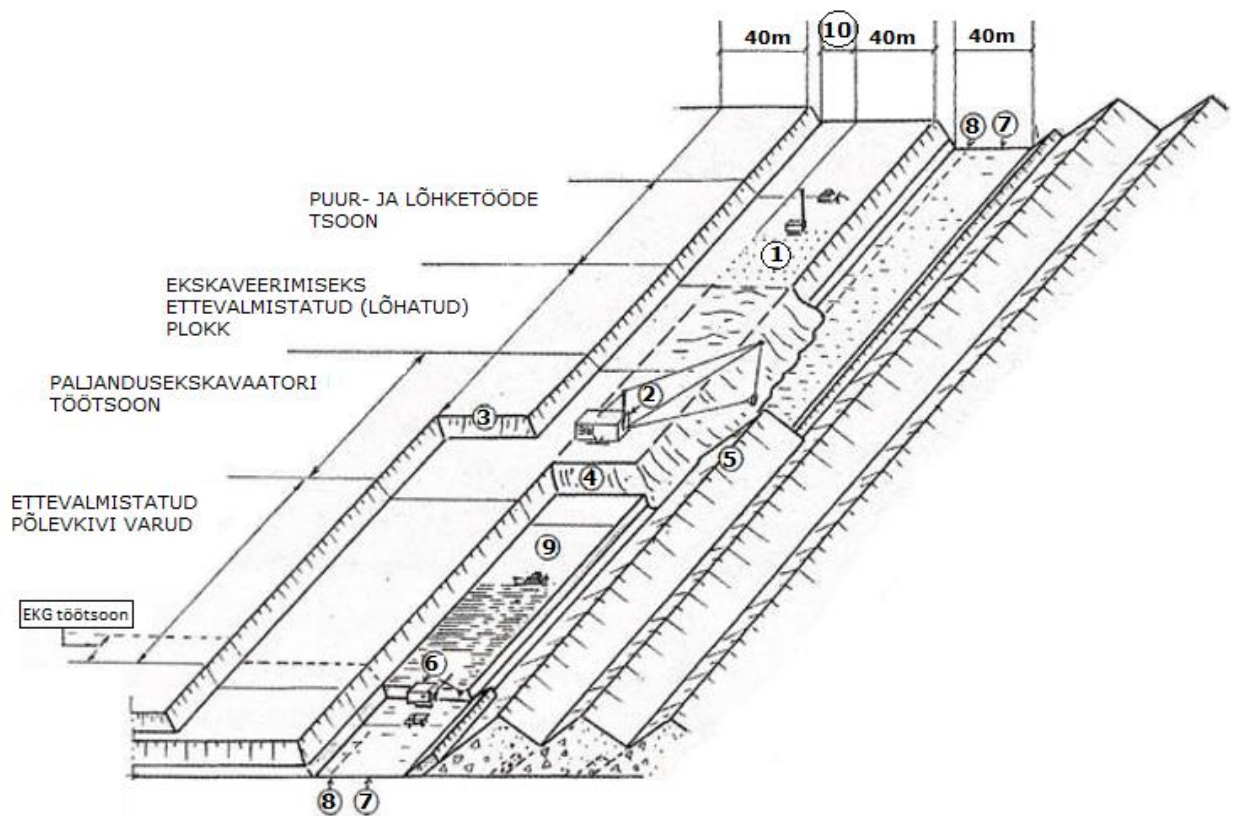
Eesti põlevkivi maardla põhjaosas geoloogilised tingimused on soodsad pealmaa kaevandamiseks.

Maavarade pealmaa kaevandamine seisneb selles, et alguses luua ligipääs maavara juurde, eemaldades kattvad ja ümbritsevad kivimid ja siis väljata see sama maavara laadimismasinatega. [12]

Pealmaa kaevanduse tehnoloogia hõlmab endasse põhilisi tootmise protsesse: kattvate kivimite ettevalmistust väljamiseks, väljamis töid, ehk mäemassi ümberpaigutamist puistangutesse. [12]

Mäetööde ahela juhtivaks elemendiks on paljandus ekskavaator, milleks põlevkivi tootvates karjäärides on enamasti samm-mehhanismiga paljandusekskavaatorid, mis seisavad kobestatud kõvade kivimite (paas, mergel) astmetel ning tegelevad parajasti katendi ekskaveerimisega väljatöötatud alasse moodustades puistanguid.

Paljandus ekskavaatorist 200-500 meetrit eespool toimuvad puur- ja lõhke tööd. Joonisel 2.2 on kujutatud astangut puhastav buldooser ja astmesse laenguauke puuriv puurpink (vt tabel 2.2). Hiljem toimib astet kobestav lõhkamine. Paljastatud tootuskihi astmel töötab buldooser- kobesti. Põlevkivi ees laeb EKG tüüpi pärikopaga ekskavaator



Joonis 2.2 Pealmaatööd karjääris

Tabel 2.2 Täpsustus joonisele "Pealmaatööd karjääris".

Märke joonisel	Kirjeldus
1	Katvate kivimite plokki puurimine
2	Paljandusekskavaator
3	Kvaternaarsete settete esi
4	Lõhatud katvate kivimite esi
5	Puistangud
6	Pärikopaga ekskavaator (EKG) põlevkivikihi ees
7	Kaevandatud ala
8	Veeäravoolukraav
9	Väljamiseks ettevalmistatud tootmiskiht
10	Kaitseberm (transpordiberm)
40m	Kaevesamm (40 m)

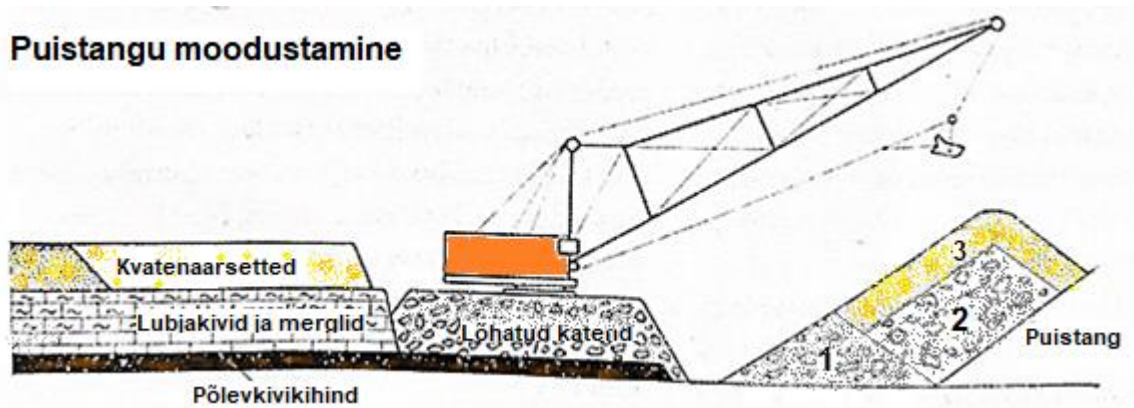
Tootuskihist veel tagapool, seega tehnoloogilise ahela lõpus, on pidevalt puur-lõhke töödega pikendatav vee äravoolu kraav.

Selleks, et selline tehnoloogiline ahel toimiks, peab korraga töös olema kolm kaevekäiku: esimesel asub Kvaternaari (Q) astme esi (punkt nr.3), toimub katendi settete eemaldamine, mis paljastab kõvade kivimite astme pinna ning loob tööfrondi kaljuse katendi purustamiseks lõhke töödega; teisel toimuvad puur- lõhke tööd, asub paljandus ekskavaator, ekskaveeritakse kobestatud kaljused kivimid (punkt nr.4 skeemil), sammuti kõik tootuskihi alumised astmed ning läbindatakse vee äravoolu kraav; kolmandasse paigutatakse ekskaveeritavad kattekivimid (punkt nr.5). [18]

2.3.1 Puistangute moodustamine

Sisepuistangute korrastamise kvaliteet sõltub suures osas puistangute õigest moodustamisest. Seetõttu tuleb puistangute moodustamisel kinni pidada kindlatest kriteeriumitest: [19]

- a) Puistang toetub eelmise käigu puistangu nõlvale
- b) Ühe kaevesammu sisepuistang peab pealtvaates olema lindikujuline, mille laius vastab kaevesammu laiusele.
- c) Puistangu ruumalasse peab olema võimalik mahutada antud kaevesammu katendikivimid.
- d) Kivimite puistangusse paigutamine toimub mööda ringi perimeetrit, mille keskpunktiks on pöörlemistelg ja raadiuseks ekskavaatori maksimaalne tühjendusraadius. Vajadusel on tühjenduskaugust võimalik mõningal määral suurendada või vähendada, kuid see toimub ekskavaatori tootlikkuse vähendamise arvel, sest nõuab rohkem aega.
- e) Puistangu võimalikest tüüpidest tuleb valida selline, mille puhul puistangu moodustamise ja tasandamisega kaasnevad vähemad kulud.
- f) Kivimite puistamise järjekord puistangu ristlõikes peab olema samasugune kui katendikivimitel geoloogilisel lõikel, seetõttu puistangu alumises osas peavad paiknema kõvad kivimid (vt joonis 2.3 nr., 1 , 2), ülemises setted (vt joonis 2.3, nr 3).
- g) Kivimite paigutamine puistangusse peab olema selline, et tehnilise korrastamise käigus saaks puistanguharjasid tasandada nii, et nende nõlva kaldenurgad ei oleks 8 kraadi ja et pinnale oleks võimalik moodustada pinnakihti, mille paksus ei ole vähem kui 0.5m.



Joonis 2.3 Puistangu moodustamine

2.4 Masinate spetsifikatsioon

Põlevkivi laadimiseks karjääris on kasutusel kahte tüüpi laadimis masinad: rataslaadurid ja pärikopaga ekskavaatorid. Toodangu väljaveoks kasutatakse 55. tonnise kandevõimega kallureid.

2.4.1 Rataslaadur CAT988K

Rataslaadur on iseliikuv tsükliilise toimega laadimis ja transportimismasin millel on poomi otsa liigendatud kopp. Materjali mahalaadimine käib eest. Rataslaadureid kasutatakse Narva karjääris paralleelselt pärikopaga ekskavaatoritega.

Laaduris on paigaldatud CAT C18 diisel mootor mahuga 18,1 liitrit ja täisvõimsusega 580 hj või 432kW. Kahjulike ühendite vähendamiseks heitgaasides kasutatakse karbamiidilahust³. [18]

Rataslaadurite eelised võrreldes pärikopaga ekskavaatorite ees on:

- võrreldes pärikopaga ekskavaatoriga suhteliselt väikesed gabariidid;
- hea manööverdusvõime;
- ekskavaatorist kõrgem liikumiskiirus (ületab ekskavaatori kiirust 50-60 korda);
- sõltumatus toitekaablist (teeb laadurist suhteliselt universaalse masina, nt ebavajaliku materjali väljavedu, juurdepääsu teede puhastamine kividest, ülesõit teise laadimiskohta jms);
- sõltumatus tugiseadmetest ja lisa tööjõust.

³ Ad Blue. 32,5% kontsentratsiooniga looduslikust gaasist saadud karbamiidilahus (autori märkus)



Joonis 2.4 CAT988K rataslaadur [21]

Tabel 2.3. CAT 988K mõõdud. [21]

NR.	PARAMEETRI NIMETUS	VÄÄRTUS
1	Kõrgus (maapinnast kabiini katuseni), mm	4202
2	Kõrgus (maapinnast summuti toru otsani)*, mm	4521
3	Kõrgus (maapinnast kapoti ülemise osani), mm	3334
4	Kliirens kaitseraua vahel tagaosas, mm	933
5	Kaugus tagumise telje kesk joonest kaitserauani, mm	3187
6	Kaugus esimese telje kesk joonest kopaotsani** , mm	4661
7	Teljevahe, mm	4550
8	Rataslaaduri pikkus**, mm	12398
9	Kliirens maapinnast alumise raamide ühenduseni, mm	568
10	Maapinnast esimese silla kesk jooneni, mm	978
11	Vahemaa maapinnast alla pööratud kopa hammasteni (tühjenduskõrgus)** , mm	4043
12	Kopa tihvtide kõrgus (tõstetud noolega)** , mm	5887
13	Maksimaalne kõrgus maapinnast kopa hammasteni (ülestõstetud kopa ja noolega)** , mm	7849
14	Vahemaa esimese telje rehvist alla pööratud kopa hammasteni (tõstetud noolega)** , mm	2062

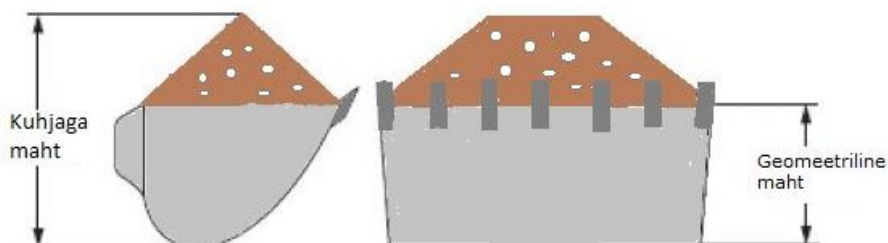
*- Tier4 summuti toruga;

**- kõrgtõstehoovastikuga mudel (High Lift).

Narva karjääris töötavatel laaduritel on paigaldatud V-kujulise lõike äärega kopad mis kergemaks kopa täitmiseks on varustatud hammastega.

Kõikidel koppel, nii laaduritel kui ka ekskavaatoritel, tehnilises dokumendis seisab kaks mahtu: kuhjaga maht ja geomeetriline maht. Samamoodi märgistatakse ka kallurite veokasti mahtu.

Võrdluseks on valitud CAT988K täiskopamahuga 7,6 m³ (geomeetriline maht 6,5 m³).⁴



Joonis 2.5 Kopa mahtude määramise näide

2.4.2 Päriskopaga ekskavaator EKG-5

EKG- on ühe päriskopaga täispöörlevad elektrilised roomikmasinad. Neid kasutatakse tavaliselt avakaevandustes kaevetööde tegemiseks ja kallurite laadimiseks.

Masina töömeeskonda kuulub kaks inimest: ekskavaatorijuht ja tema abi. Töötamise jaoks vajab EKG sammuti täiendavate mehhanismide abi.

EKG ühendatakse jaotuspunkti painduva veekindla toitekaabli abil. Haruliiniga ühendatud jaotuspunkt võib olla ekskavaatorist mitmesaja meetri kaugusel, sellisel juhul ühendatakse kaablid ühenduskarpide vahendusel.

Põlevkivi ee edasiliikumisel liigutatakse kaabliliini abimehhanismide abil vajalikule kaugusele. Vajadusel ühendatakse toitekaabel järgmisesse eraldiseisvasse ühenduspunkti.

Ühe tranšee kasutuses on kuni neli eraldiseisvat ühenduspunkti kuhu on ühendatud nii paljandus ekskavaatorid kui ka EKG tüüpi päriskopaga ekskavaatorid.

Ekskavaatorite plaanilised ja plaanimata remondid teostatavad töötajad. Suure masina massi ja mõõtude tõttu tööd toimuvad kohapeal tranšeedes.

⁴ "988K Wheel Loader Specifications"

https://www.cat.com/en_GB/products/new/equipment/wheel-loaders/large-wheel-loaders/18438276.html# (lk 8)



Joonis 2.6 Pärikopaga ekskavaator EKG-5 [22]

Tabel 2.4 EKG-5 tehnilised parameetrid. [23]

PARAMEETRI NIMETUS	VÄÄRTUS
KOPA MAHUTAVUS, M ³	5,2
SUURIM AMMUTAMISE RAADIUS, M	14,5
AMMUTAMISE RAADIUS SEISMISE TASEMEL, M	9,04
SUURIM AMMUTAMISE KÕRGUS, M	10,3
SUURIM KOPA TÜHJENDUSE RAADIUS, M	12,65
SUURIM KOPA TÜHJENDUSE KÕRGUS, M	6,7
SABAOSA RAADIUS, M	6,7
KLIIRENS PÖÖRDPLATVORMI ALL, M	1,89
ROOMIKKÄIGU PIKKUS, M	5,83
ROOMIKU LINDI LAIUS, MM	900
KESKMINE ERISURVE KRUNDILE LIIKUMISE AJAL KGS/SM ² (KPA)	2,1 (205)
HINNANGULINE TSÜKLI KESTVUS 90° NURGALE, SEK	23
SUURIM TÕUSUNURK ÜLETAMISEL, GRAD	12
LIIKUMISE KIIRUS HORISONTAALSEL PLATSIL, KM/H (M/SEK)	0,55 (0,15)
TOITEPINGE, KV	6
VÕRGUMOOTORI VÕIMSUS, KW	250
TÖÖKAAL, T	196

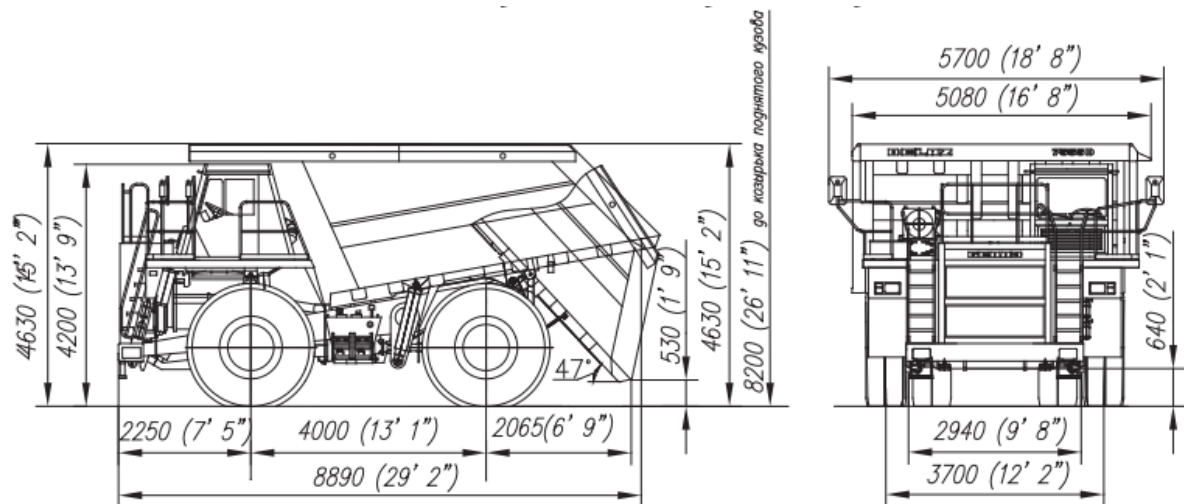
2.4.3 Kallur Belaz 7555D

Karjääris põlevkivi väljavedu etest ühendlattu toimub kallutitega Belaz 7555D. Need masinad on ennast hästi näidanud juba aastate jooksul. Suureks eeliseks nende kallurite juures on suhteliselt odav teenindus- enamus remonditöid teostatakse kallurijuhtide ja karjääris töötavate lukkseppade poolt remondikojas.

7555D versioonil on paigaldatud Cummins KTTA 19C mootor mahuga 18,9 liitrit ja võimsusega 700 hj või 522kW. Jõuallika kahjulikud heited atmosfääri vastavad Tier/Euro3 normidele. [24]

Kalluri tühimass on 41500 kg ja kandevõime 55 tonni. [24]

Kalluri kere kõrguseks on üle 4,6 meetri mis on EKG-5 jaoks sobilik kõrgus kopa tühjendamiseks (vt tabel 2.4), kuid jääb veidi kõrgeks rataslaaduri (tühjenduskõrgus 4,04 meetrit) jaoks (vt joonis 2.7 ja tabel 2.3). Seega viimaste laaduri koppade tühjendamine võtab veidi rohkem aega.



Joonis 2.7 Belaz 7555D [24]

2.5 Laaduri ja ekskavaatori töötunni maksumus.

Ostetud masina või seadme eest, kannab ettevõtte selle soetusmaksumuse osade kaupa kaevisele, mida masin on kaevandanud. Lisaks sellele kulutab masin kütust, energiat, vajab varuosi ja hooldust. Lisaks nendele kuludele lisanduvad ka tööjõukulud. [25]

Lõputöös käsitletud masinatel on järgmised töötunni ligikaudsed kulud:

- Pärikopaga ekskavaator EKG-5 - 46 €/tund
- Rataslaadur CAT 988K - 58 €/tund

Sinna kuuluvad:

- a) Tööjõukulud;

- b) Kulum (amortisatsioon);
- c) Varuosad, hooldus;
- d) Kütus, elekter;
- e) Määrdeained.

Tööjõukulude all mõistetakse tööks vajaliku inimeste arvu, nende töötasu hüvitamise rahalisi ja muid kulusi. Kulutustes töötasuks määratakse: [25]

- a) Tööliste arvu masinal;
- b) Nende otsest või kaudset töötasu;
- c) Töötasule kaasnevaid makse.

Kulumi ja amortisatsiooni eesmärgiks on vähendada masina väärtust aasta-aastalt. Need ei ole üks ja sama asi. Perioodi materiaalse põhivara mahakandmist nimetatakse *kulum*, immateriaalse põhivara mahakandmise protsess on *amortisatsioon*. [26]

Masinate kasutus- ja hoolduskulu sisaldab endas kütuse- ja energiakulutust, määrdeainekulu ning hoolduse ja remondikuluseid. [25]

3 TOOTLIKKUSE ANALÜÜS

3.1 Rataslaaduri ja pärikopaga ekskavaatori tehniline tootlikus

See on tootlikus mis teeb laadimismasin arvutuslikes tingimustes pideva tööga ühe tunni jooksul.

Tootlikust mõõdetakse järgmistes ühikutes:

- a) tonnid tunnis (t/t);
- b) kuupmeetrid tunnis (m³/t).

Mugavuseks kasutame kuupmeetreid tunnis sest, et koppa mahutavus on alati üks ja sama. Vastasel juhul tuleb ette sõltuvus millist materjali laetakse ja millise erikaaluga see materjal on. Teades seadmete tootlikust kuupmeetrid tunnis on alati võimalus arvutada ümber tonnidesse teades materjali erikaalu.

Laadivate masinate tootlust, või teisisõnu jõudlust, määratletakse kopas oleva kaevise kogusega ja laadimise tsükli kestusega. Laadimise tsükli kestvust arvestatakse sekundites.

Tehnilist tootlikust arvutatakse järgmise valemi abil:

$$Q_t = \frac{V_{kopp} * 3600}{T_{tsükkel}} \quad (1)$$

kus:

- Q_t tehniline tootlikus, t/tund;
- V_{kopp} kopa maht, m³;
- 3600 sekundite arv ühes tunnis (tavaliselt tsükli koostavate protsesside kestvust arvestatakse sekundites);
- $T_{tsükkel}$ tsükli aeg, sek.

Tsükli aeg omakorda koosneb mitmest erinevast laadimise operatsioonist:

- 1) kopa täitmine;
- 2) kopa viimine ja tõstmine kalluri juurde tühjendamiseks;
- 3) kopa tühjendamine;
- 4) liikumine tagasi laetava materjali juurde kopa täitmiseks.

Analüüsis käsitletud frontaallaaduril CAT988K on kopp täismahuga 7,6 m³. 100% koppa täitmine on üsna haruldane nähtus kaevise tükilisuse tõttu, vaikimisi kasutame täiskoppa mahuks 95% tehnilistest parameetritest. Seega kui täiskoppa maht on 7,6 m³ siis 95% sellest on 7,2 m³. Pärikoppaga ekskavaatoritel kuhjaga maht - 5,2 m³. Samamoodi arvestame kopa täituvuseks 95%, ümberarvestamisel ja ümardamisel saame 4,9 m³.

Kallurite laadimiste käigus saadud kronomeetrilised andmed on toodud tabelites. Nii laadurilt kui ka ekskavaatorilt on mõõdetud mõlemalt 10 aega ja nendest arvestatud keskmised laadimise tsükli ajad.

EKG-5 ühe laadimisetsükli keskmine aeg on 26,4 sekundit (vt tabel 3.2). Rataslaaduri väljaarvestatud tsükli keskmine aeg on 38,8 sekundit (vt tabel 3.3), seega kasutades laaduri kopamahtu :

$$Q_{\text{laadur}} = \frac{7,2 * 3600}{38,8} = 668,04 \text{ m}^3/\text{tund} \quad (1.1)$$

$$Q_{\text{EKG}} = \frac{4,9 * 3600}{26,4} = 668,18 \text{ m}^3/\text{tund} \quad (1.2)$$

Tabel 3.1 Tehnilise tootlikkuse võrdlustabel

CAT 988K tehniline tootlikus, m ³ /tund	EKG-5, tehniline tootlikus, m ³ /tund	Vahe, m ³ /tund	Vahe, %
668,04	668,18	0,14	0,02

Tehnilise tootlikkuse tulemused on väga sarnased (vt tabel 3.1), seega võib kindlalt ütelda, et erinevused lõpptulemustes võivad olla seotud vaid erinevusega laadimise protsessi käigus.

Tabel 3.2. EKG laadimise tsükli ajad (laadimisnurk 60°-120°).

Kopa number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Keskmine väärus, sek
Kopa täitmise aeg, sek	8	9	10	9	10	8	9	12	11	10	9,6
Ekskavaatori pööre kalluri poole kopa tühjendamiseks, sek	5	5	5	7	7	6	7	8	7	7	6,4
Kopa tühjendamine, sek	2	2	2	3	2	2	2	3	4	4	2,6

Ekskavaatori liikumine tagasi kopa täitmiseks, sek	7	7	7	6	6	6	10	10	10	9	7,8
Tsükli aeg kokku, sek	22	23	24	25	25	22	28	33	32	30	26,4

Tabel 3.3. Rataslaaduri laadimise tsükli ajad.

Kopa number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Keskmine väärtus, sek
Kopa täitmise aeg, sek	6	7	8	7	8	9	7	7	8	7	7,4
Kopa vedu kalluri juurde, sek	10	12	11	12	12	11	11	12	10	10	11,1
Kopa tõstmine ja tühjendamine, sek	8	8	8	9	9	10	12	10	8	11	9,3
Kopa vedu täitmise koha juurde, sek	10	11	12	11	12	11	10	12	10	11	11
Tsükli aeg kokku, sek	34	38	39	39	41	41	40	41	36	39	38,8

3.2 Analüüsi andmed.

Rataslaaduri ja ekskavaatori tootlikkuse võrdlemiseks oli võetud vastu otsus koostada kronomeetrilistel andmetel põhinevad laadimise graafikud. ([Lõputöö arvutused.xlsx](#)) Sellise valiku määrasid järgmised punktid:

- 1) sõltumatus inimlikust faktorist;
- 2) võimalus teha ühed tingimused mõlema masina jaoks;
- 3) kergem arvutada tehnika seisakuid ja tulevikus valida meetmeid seisakute vähendamiseks.

Arvutuste tegemiste aluseks on võetud tranšee nr.11. Kallurite väljavedu toimub mööda väljasõiduteed 11/12 mille pikkus ühes suunas on 6,74 km.

Arvutuste käigus on kasutatud järgmisi andmeid: (vt [Lõputöö arvutused.xlsx](#))

- 1) kallurite reisiaeg tranšeesse lattu ja tagasi (vt [Lisa 3](#));
- 2) kallurite manöövrite ajad (laadimisele ja laadimisest ärasõit) (vt [Lisa 2](#));
- 3) rataslaaduri ja ekskavaatori tsükli ajad (vt tabelid 3.2 ja 3.3);
- 4) ekskavaatori ülesõidud uuele sisekule ja järgnev korratustöö (vt [Lisa 4](#));
- 5) tranšee nr.11 põlevkivi kihtide andmed (vt [Lisa 1](#)).

Arvestuses on järgmised punktid tingimuste võrdsustamiseks:

- Karjääris laadimine käib kahes vahetuses: 7:40-15:40 ja 15:40-23:40. Graafik on koostatud kolmele töö vahetusele: Vahetus 1, Vahetus 2 ja Vahetus 3 (vt [Lõputöö arvutused.xlsx](#))
- Vaheaeg 30 minutit (umbes poolest vahetusest). Seda arvestatakse samamoodi ka kallurijuhtidele;
- Kütuse tankimise vaikimisi võetud andmed (laadurile 15 minutit ja kalluritele 10 minutit). Rataslaadur tangib ainult esimeses vahetuses, kallurid tangivad iga vahetuse lõpus;
- Sisekute vahetused koos sisse arvestatud korrastustööde ajaga 15 minutit;
- Laaduri ja EKG seisakute arvestusse arvestatakse ainult kallurite vahelisi intervalle. Aeg enne esimese kalluri tulekuni ja peale viimase lahkumiseni arvesse ei lähe ja seda kasutatakse paberite võristamiseks, eeltevalmistamiseks ja masina kontrollimiseks ja määrimiseks
- Väljavedu on teostatud nelja kalluriga mis on tüüpiline selle tranšee jaoks. Kallurid saavad laadima ühe minutilise intervalliga vahetuse alguses;
- Viimane aeg millal saabub kallur on: esimeses vahetuses 15:15 ja teises vahetuses 23:15

F2-D ja CB kihtide koefitsiendiks peale buldooseriga kobestamist on võetud 1,35.

Põlevkivi plokki arutamisel ei AA ja BA kihid, neid eemaldab buldooser ning laeb alati laadur. Sammuti ei ole arvesse võetud ka D/C lubjakivi kihti. On võetud ette ja arvatud välja F2-D ja CB kihtide kogused 100 meetri pikkuselt plokilt (vt [Lisa 1](#)).

3.3 Tulemused

Uuringu tulemusteks selgus, et kuigi rataslaaduril on kiirem töö, ei ole selle kasutamine vahest majanduslikult efektiivne. Näiteks F2-D laadimisel laadur oli 6,21% tootlikum kui samas 15,43% kallim kui EKG. CB paki puhul on rataslaaduri toolikuse paremus vaid 1,06% kuid ekskavaatoril ligi 19,84 % odavam töö. (vt [Lisa 5](#))

EKG ekskavaator pole palju aeglasem kui rataslaadur kuid on säästlikum majanduslikes arvutustes. Töös ei ole arvesse võetud hoolduskulusid ja lisaseadmete kulusid milleta EKG töö ei ole mõistetav, kuid see tulemus mis on selle töö käigus saadud vastab autori ootustele ja annab suunda selle teema edasiseks arendamiseks.

KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärgiks oli teha kindlaks, mis on Narva põlevkivi karjääri tingimustes tootlikum masin kallurite laadimiseks- rataslaadur või pärikopaga ekskavaator. Mõlema masina arvatud tehniline tootlikus näitas väga sarnaseid tulemusi.(vt tabel 3.1)

Esialgse plaani järgi oli teha võrdlus analüüs karjäärist võetud andmete põhjal, kuid sellest loobuti. Esiteks selliseid näitajaid võisid mõjutada erinevad faktorid seal hulgas ka inimlikud ja teiseks laadimise tingimused võivad olla erinevad.

Analüüsi üheks põhiliseks ülesandeks oli luua laadimis protsesside arvutuste jaoks võrdsed tingimused. See tähendab ühesugust kallurite saabumise aega, kindlat vaheaegade olemasolu, viimase kalluri aeg ühel kindlal ajal. Andmete ettevalmistamiseks oli valitud üks töötavatest tranšeedest ja arvatud välja põlevkivi kogused 100 meetri pikkuselt plokilt. Sellise pikkusega plokk on piisav selleks, et saaks üldise ülevaate laadimise võimalikest „kitsastest kohtadest“, eriti on see tähtis ekskavaatoriga laadimise puhul kus satuvad tihti kokku kalluri saabumised tranšeesse ja ekskavaatori ülesõit uuele sisekule.

Selle jaoks, et arvestused oleksid reaolukorrale lähedased olid arvatud keskmise laadimise protsessi tsükli ajad. Selle jaoks olid korjatud kronomeetrilised andmed erinevatel aegadel praktika jooksul. Lõputöö põhjal võib kindlalt öelda, et vahetuse jooksul toodetud põlevkivi kogused on üsna lähedased reaalse olukorraga karjääris ja jäävad 700-760 tonni ühe kalluri kohta

Lõputöö tulemused olid prognoositavad rataslaaduri suhtes- siin mängis suurt rolli laaduri mobiilsus ja sõltumatus sisekute mahust. F2-D 100 meetrit olid rataslaaduri poolt laetud 1 tund 19 minutit kiiremini millega näitas 6,21 % kõrgema tootlikkuse, kuid EKG-5 oli siiski 15,43 % odavam. CB kihi puhul laaduri tootlikkus ainult 1,06 % kõrgem kui ekskavaatoril, kuid samas 19,84 % kõrgemad kulutused.

Olevas arvestuses on hästi näha masinate seisakute koguseid, mis on paratamatus kallurite liikumisel kinnise tsükliga. Seisakute maht peab tootmisprotsessis olema minimaalne. Nelja kalluri summaarsed seisakud ekskavaatoril laadides on rataslaadurist kõrgemad 48 ja 68%. Suurendades ekskavaatori siseku mahtu kuhjamisega, saab vähendada ülesõitude kogust vahetuste jooksul. Sammuti rohkem kasutada pärikopaga ekskavaatoreid laadimistöodes. Rataslaadurite kasutamine on efektiivsem suurema väljaveo mahu tingimustes ja loomulikult seal kus ei ole võimalik kasutada pärikopaga ekskavaatoreid.

SUMMARY

"Productivity comparison analysis of wheel loader and electric rope shovel in Narva open pit mine"

Stefan Bostan

The main points covered in this work are determining average times for the duration of loading processes using time-counting data, defining productivity efficiency, and calculating the cost of loading one tonne of oil shale.

To keep the calculations close to the real situation, chronometric data were collected at different times during the practice. Based on the thesis, it can be stated with certainty that the quantities of oil shale produced during the shift are quite close to the real situation in the quarry and range between 700 and 760 tonnes per truck.

The results of the thesis were predictable for a wheel loader- here the mobility of the loader and the independence from the volume of inputs played a major role. The 100 meters of F2-D layers were loaded by the wheel loader 1 hour 19 minutes faster which showed a 6.21% higher productivity, but the EKG-5 was still 15.43% cheaper. For the CB layers, the loader's productivity was only 1.06% higher than the excavator's, but loader also had 19.84% higher costs.

The existing calculations clearly show the amount of machine queuing, which is inevitable when moving loaders in a closed cycle, but the amount of queuing time must be kept to a minimum in the production process. The total queuing time of the four dumpers when loaded by the electric rope shovel is 48% and 68% higher than the wheel loaders. Increasing the volume of the excavator's oil shale pile can reduce the number of crossings during shifts. Increase the use of electric rope shovels in everyday loading operations. The use of wheel loaders is more efficient in conditions of higher out-loading volumes and large number of dumpers.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU:

1. Valgmaa, I., eessõnast kogumikule „Mäemasinad ja mäetehnika“, TTÜ Mäeinstituut, Tallinn, 2003
2. Keskkonnaministeerium, „Põlevkivi kasutamise riiklik arengukava 2016-2030“ Tallinn, 2015. (lk 6.)
3. Bachmann M., Ilp R., Kilk K., Kopti M., Leies E., Loorents K., Metusala T., Nõgene M., Sipelgas K., Sirkel E., Sokmann T., Tammiksaar E., Vennik E., „Kukersiit ja konnatahvel“ Motor, 2014
4. Aaloe A., Bauert H., Soesoo A., „Kukersiit- Eesti põlevkivi“, MTÜ GEOGuide Baltoscandia, Tallinn 2006 (lk4-5; lk 12-24)
5. Nikolai Pogrebov. <http://scirus.benran.ru/higeo/hosted-files/photo-fil-1173.jpg> (14.04.2021);
6. Märt Raud. [http://entsyklopeedia.ee/artikkel/raud_m%C3%A4rt_\(insener\)](http://entsyklopeedia.ee/artikkel/raud_m%C3%A4rt_(insener)) (14.04.2021);
7. Uibopuu L., „Mälestusmärk Märt Rauale“, <http://www.ene.ttu.ee/maeinstituut/ajalugu/Raud.htm> (veebimaterjal), (27.04.2021)
8. Reinsalu, E., „Eesti mäendus“, Maapõueinseneri õpik, 2011. Digitaalseks toimetatud 2016. (lk 185- 201)
9. „Mida sisaldab tonn põlevkivi“ alusel, „Kukersiit ja konnatahvel“, Motor, 2014 (lk 30);
10. Jürs, E., Reinsalu, E., „Eesti põlevkivi töötlemine“ Täiendatud ja parandatud, Kiviõli- Tallinn, 2019. (lk 6-8);
11. Lusik L., „Põlevkivi kaevandamine ja kaevandusjärgne rekultiveerimine“, Eesti Bioloogiaõpetajate Ühing, http://www.ebu.ee/leelo_lusik>POLEVKIVI (presentatsioon, veebimaterjal) (27.04.2021)
12. Анистратов, Ю.И., «Технология открытых горных работ», издательство «Недра», 1984г. (lk 8-15)
13. Sepp, M., Pensa, M., „Põlevkivisaaga Narva karjääri maadel“ http://vana.loodusajakiri.ee/eesti_loodus/artikkel2815_2813.html (17.04.2021)
14. Tambet Ü., ja Varb N., „90 aastat põlevkivi kaevandamist Eestis“, GeoTrail KS, 2008.
15. „Mäeeraldiste paiknemine Narva karjääris [Mäeeraldiste paiknemine Narva karjääris.wor]“ , Lauri-Olavi Siitam, „Põlevkivi kaevandatud ala täitmisega lankkaevandamise tehnoloogiliste võimaluste uuringud Narva karjääri tingimustes“. Magistritöö, (lk 12);
16. Narva karjääri geoloogilist olukorda kirjeldavatest andmetest.

17. Metsur, M., Kaljuste, M., Tamm, I., Toomik, A., Kukk, R. „Eesti Energia Kaevandused AS kaevandamislubade KMIN-073, KMIN-046 KMIN-074 ja KMIN087 muutmisega kaasneva keskkonnamõju hindamise (KMH) aruanne“. AS MAVES, OÜ Inseneribüroo STEIGER. Tallinn. (2015).
18. Aaloe A., Bauert H., Soesoo A., „Kukersiit- Eesti põlevkivi“, MTÜ GEOGuide Baltoscandia, Tallinn 2006 (lk4-5; lk 12-24)
19. „Maavarade kaevandamine ja puistangute rekultiveerimine Eestis“ Eesti Maaülikool ka autorid, 2010. (lk 78-79)
20. Maa-ameti 2019 koondbilans,
https://geoportaal.maaamet.ee/docs/geoloogia/koondbilanss_2019.pdf?t=20200526081544 (veebimaterjal) (25.04.2021);
21. CAT988K pilt ja andmed.
https://www.cat.com/en_GB/products/new/equipment/wheel-loaders/large-wheel-loaders/18438276.html# (veebimaterjal) (12.04.2021)
22. EKG-5. <http://uralpc.com/wp-content/uploads/jekg-5a-1.jpg> (pilt)(22.04.2021)
23. EKG-5 tehnilised andmed, https://ekg-5.com/performance_attributes/ekg-5 (veebimaterjal) (22.04.2021);
24. Belaz 7555D. <https://machine.market/specification-12576> (veebimaterjal) (14.04.2021);
25. Reinsalu E., „Mäemajandus. Parandatud ja kommenteeritud elektrooniline teavik“, TTÜ Mäeinstituut, 2008 (lk 53)
26. „Kulumi ja amortisatsiooni erinevus“, <https://et.sawakinome.com/articles/finance/difference-between-depreciation-and-amortization.html> (veebimaterjal) (2.05.2021)

LISAD

Lisa 1 F2-D ja CB kihtide arvutused

(koostatud „Lõputöö arvutused.xlsx“ alusel)

Kihid	Paksus, m	Tihedus , t/m ³	Kihi erikaal massiivis, t	Kogu kihi paksus, m	Erikaal massiivis, t/m ³	Põlevkivi kobestus koefitsient	Plokk põlevkivi, 100*40, maht, m ³	100*40*1,07 plokki kogukaal, t	m ³	Erikaal arvestades kobestust	Kopp 7,6 m ³ , t	Kopp 5,2 m ³ , t
F2	0,10	2,07	0,193	1,07	1,74	1,35	4280,00	7460,00	5778,00	1,29	9,32	6,33
F1	0,28	1,79	0,468									
E	0,54	1,58	0,797									
E/D	0,09	2,14	0,180									
D	0,06	1,85	0,104									
C	0,40	1,52	0,596	1,02	1,55	1,35	4080,00	6310,00	5508,00	1,15	8,27	5,61
C/B	0,21	2,02	0,416									
B	0,41	1,33	0,535									

Lisa 2 Kallurite manöövrite aeg, sek

(koostatud „Lõputöö arvutused.xlsx“ alusel)

Nr.	Allasõit	Valjasõit	Kokku
1	00:00:23	00:00:25	00:00:48
2	00:00:20	00:00:26	00:00:46
3	00:00:25	00:00:23	00:00:48
4	00:00:25	00:00:25	00:00:50
5	00:00:23	00:00:25	00:00:48
6	00:00:21	00:00:24	00:00:45
7	00:00:21	00:00:24	00:00:45
8	00:00:24	00:00:22	00:00:46
9	00:00:21	00:00:24	00:00:45
10	00:00:25	00:00:23	00:00:48
11	00:00:23	00:00:26	00:00:49
12	00:00:22	00:00:22	00:00:44
13	00:00:25	00:00:24	00:00:49
14	00:00:22	00:00:22	00:00:44
15	00:00:23	00:00:25	00:00:48
16	00:00:25	00:00:27	00:00:52
17	00:00:23	00:00:25	00:00:48
18	00:00:23	00:00:25	00:00:48
19	00:00:22	00:00:24	00:00:46
20	00:00:23	00:00:24	00:00:47
Keskmine			00:00:47
Ümardame			00:00:50

Lisa 3 Kallurite keskmine reisi aeg, min

(koostatud „Lõputöö arvutused.xlsx“ alusel)

Nr.	Tranšeest ärasõit	Tranšeesse tulek	Kokku aeg
1	9:59:58	10:23:18	0:23:20
2	10:21:17	10:46:02	0:24:45
3	13:11:21	13:35:40	0:24:19
4	14:18:36	14:41:31	0:22:55
5	8:57:53	9:21:56	0:24:03
6	8:21:04	8:45:01	0:23:57
7	14:24:33	14:46:35	0:22:02
8	11:19:40	11:44:01	0:24:21
9	9:27:08	9:51:30	0:24:22
10	13:06:12	13:29:21	0:23:09
11	13:40:32	14:06:15	0:25:43
12	8:28:17	8:52:31	0:24:14
13	9:20:32	9:45:24	0:24:52
14	10:50:44	11:15:00	0:24:16
15	12:38:38	13:01:23	0:22:45
16	10:28:58	10:52:35	0:23:37
17	8:49:59	9:15:45	0:25:46
18	9:51:40	10:16:32	0:24:52
19	10:58:16	11:23:16	0:25:00
20	13:34:20	13:57:53	0:23:33
Keskmine aeg			0:24:06

Lisa 4 EKG-5 keskmine ülesõidu ja ee korrastus aeg, min

(koostatud „Lõputöö arvutused.xlsx“ alusel)

Uuele ekskavaatori sisekule ülesõidu aeg				
	EKG liikumine uuele sisekule	Koristustööd ees K-703	EKG ee alguse korrastamine	Keskmine
1	00:04:40	00:07:15	00:02:20	00:14:15
2	00:05:10	00:07:50	00:02:40	00:15:40
3	00:05:13	00:07:36	00:03:25	00:16:14
4	00:05:40	00:04:30	00:04:10	00:14:20
5	00:04:53	00:05:10	00:02:38	00:12:41
6	00:05:33	00:06:55	00:03:20	00:15:48
7	00:04:50	00:07:33	00:02:10	00:14:33
8	00:05:20	00:06:20	00:01:50	00:13:30
9	00:05:14	00:06:45	00:03:30	00:15:29
10	00:06:12	00:07:15	00:02:54	00:16:21
				00:14:53
			Ümardame	00:15

Lisa 5 Arvestuste tulemused

(koostatud Lõputöö arvutused.xlsx alusel)

	Rataslaadur		EKG-5		Rataslaadur		EKG-5	
	F2-D		vahe		CB (100 m)		vahe	
	58	46	20,69%					
Kogus, t	7460				6310			
Laadimiseks kulutatud aeg, tund	20:01:29	21:21:06	01:19:37	6,21%	17:39:40	17:50:58	00:11:18	1,06%
Laadimis mainate kulutused vastavalt ligikaudsetele töötunni hindadele	1 161,43 €	982,18 €	179,25 €	15,43%	1 024,34 €	821,07 €	203,27 €	19,84%
1 tonni põlevkivi laadimise hind antud tingimustes	0,156 €	0,132 €	0,024 €		0,162 €	0,130 €	0,032 €	
Arvestus 100 tuhat tonni	15 568,77 €	13 165,95 €	2 402,82 €		16 233,60 €	13 012,20 €	3 221,39 €	
Tootlikkus antud tingimustes, t/tund	372,54	349,39	23,15	6,21%	357,28	353,51	3,77	1,06%
Tootlikkus antud tingimustes, m ³ /tunnis	288,79	270,84	17,95		276,96	274,04	2,92	
Kallurite kogus 100 m, tk	136	136			115	115		
Nelja kalluri seisakud kokku/ tund	01:47:18	05:44:00	03:56:42	68,81%	01:46:36	03:27:04	01:40:28	48,52%
Laadiva masina seisak, tund	05:08:36	04:17:48	00:50:48	16,46%	03:12:00	02:53:00	00:19:00	9,90%