

Tallinna Tehnikaülikool
Loodusteaduskond Geoloogia
Instituut

**Mehhaniseeritud laavakompleksist
väljatud põlevkivi tootmis- ja
töötlemisjääkide ringmajandusliku ja
ressursitõhusa kasutuse terviklikud
lahendused**

Bakalaureusetöö: LG40LT

Üliõpilane: Jorma Lepik, 120895 AAGB

Juhendaja: Erik Väli PhD

Geotehnoloogia õppekava

Tallinn 2018

Autori deklaratsioon

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Kuupäev:

Allkiri:

SISUKORD

AUTORI DEKLARATSIOON	2
SISUKORD.....	3
LÄHTEÜLESANNE	4
Töös esinevad mõisted.....	5
SUMMARY	6
SISSEJUHATUS.....	7
1. Täitmisega kaevandamine maailmas.....	9
1.1. Täitmisuuringute analüüs	10
2. Täitmise tehnoloogiad	11
2.1. Mehaaniline täitmine.....	11
2.2. Pneumaatiline täitmine	12
2.3. Hüdrauliline tagasitäitmine.....	13
2.4. Pastaga täitmine	14
3. Narva Karjäär.....	16
3.1. Narva Karjääri mäeeraldise kirjeldus.....	16
3.2. Planeeritud allmaakaevanduse kirjeldus.....	19
4. Täiteseгу koostisosade uuring	24
4.1. Katsete meetodika.....	24
4.2. Katse tulemused	25
4.2.1. Killustiku ja tuha omadused.....	25
4.2.2. Tuhkbetoonide omadused	26
5. Täitmistehnoloogia valik ja projekteerimine	31
5.1. Tehnoloogia valiku meetodika	31
5.2. Täitematerjal valik.....	32
5.3. Täitmise projekteerimine.....	33
6. Mõju ettevõtte majandusele	37
KOKKUVÕTE.....	39
KASUTATUD ALLIKAD	40
LISAD.....	44
Lisa 1.....	44
Lisa 2.....	46

Lähteülesanne

Lõputöö pealkiri eesti keeles: „Mehhaniseeritud laavakompleksist väljatud põlevkivi tootmis- ja töötlemisjääkide ringmajandusliku ja ressursitõhusa kasutuse terviklikud lahendused“

Lõputöö pealkiri inglise keeles: „Complete solutions of circular economy and resource effective usage of oilshale production- and processing residue in longwall mining.“

Analüüsida maailmas varem teostatud täitmise kogemusi, teostatuid uuringuid jms, leida näiteid, kuidas on täitmist teostatud. Esitada teoreetilised lahendused Narva karjääri laavakompleksi täitmisega kaevandamiseks kasutades veest, tuhast ja täitematerjalist segu, võttes arvesse ressursitõhusa materjali kasutuse. Teostada teoreetilised terviklikud lahendused jooniste, graafikute, skeemide ja tabelitega. Analüüsida majanduslikku mõju ettevõtte majandusnäitajatele.

Töös esinevad mõisted

Mõisted:

- Täitmine - koristuskaeveõõnte täitmine hästi tiheneva, ühtlase terasusega materjaliga nagu liiv, killustik, mineraalkütuste tuhk või isegi betoon. [1]
- Tagasitäitmine – rikastamisjääkide (-jäätmete) paigutamine maapõue. [1]
- Aheraine - on kasuliku aine madala sisaldusega või üldse kasutu kaeviselisand. [1]
- Rikastusjääk – rikastamisel eralduv kaevisest madalama kvaliteediga osa. [2]
- Leostumine – on kemikaalide väljauhtumine materjalist. [3]
- deSOx tuhk – vääveldioksiidi (SO₂) püüdmise seadmest tulenev tuhk. [3]
- Fraktsioon – osa kaevisest, erineb ülejäänud osadest mingi kindla omaduse tõttu. Näiteks kui tegevuste käigus eraldatakse kaevisest mingi osa nii sõelumise kui rikastamise abil, siis sõelumise teel saadakse tükisuurus ning rikastamisel fraktsioon. [4]
- Kolbpump – kolbi liikumisel töökambri mahu suurenemise suunas, avaneb imiklapp, surveklapp sulgub ja kamber täitub vedelikuga. Kolvi vastassuunas liikudes töökambri maht väheneb, imiklapp sulgub, surveklapp avaneb ja vedelik voolab selle kaudu survetorustikku. [5]
- Laavakaevandamine – on kaevandamisviis, kus pikas ees töötab kas hõövel või kombain. [6]
- Portlandtsement – on sideaine mis saadakse 95% portlandtsemendi klinkri ja ≤5% loodusliku kipsi koosjahvatamisest [3]
- Tranšee – trapetsikujulise ristlõikega kaeveõõs karjääri teenindamiseks ja kaeviselise transpordiks. [7]

Summary

The mining capacities are increasing year by year in Estonian mines and also due to that there is growth in the losses, waste amounts and environmental taxes. One of the solution to reduce those downsides is to start backfilling.

The following graduation thesis is aimed to take backfilling as one possible solution to reduce taxes and save environment. It is done by giving complete solutions for backfilling in longwall mining and selecting the most resource effective way to dump tailings under ground.

At the moment there is no working technology for backfilling but studies have been conducted in recent years with positive results. However, there are countries in the world who have been using backfilling method for over one century. There are many examples with various different hazardous waste used to backfill coal, salt and ore mines.

This thesis was done to give complete solutions for backfilling project on Narva quarry longwall mining facility. For demonstration there were made different technological schemes and plots. The project will cost to the company around 10 mln € to start and around 1 mln € per year to run.

The results suggest that backfilling in Narva quarry is reasonable and resource effective. Also the economic calculations prove that if the company would sell the splinters made from waste there would be gainfulness in 2-3 years. The thesis suggests that if it is not possible to sell the splinters the payback time would increase 3 times and it would not be profitable to start backfilling. On the basis of the results of this research, it can be concluded that all the mining residues can be used for backfilling and there will be no environmental taxes on tailings.

Sissejuhatus

Eesti tähtsaim maavara on põlevkivi, mille panus on olnud väga suur Eesti majandusele, kuid ta on tekitanud ka erinevaid probleeme. Eesti Energia tootis kogu Eesti elektrist 2017. aastal 88%, millest 80% oli toodetud põlevkivist. Seetõttu põlevkivi vajadus energia tootmiseks on endiselt väga kõrge, hoolimata teistest energia tootmis tehnoloogiatest. [8]

Eesti Energia põlevkivi kaevandamine toimub hetkel Estonia kaevanduses ja Narva karjääris, kus põlevkivikihindid lasuvad lõunapoole minnes järjest sügavamale ning suureneb katendi paksus. Kuna katendi eemaldamine Narva karjääris läheb ressursimahukaks, kuid vajalik on säilitada toodangu maht, siis on tekkinud vajadus hakata põlevkivi kaevandama katendi alt.

Tagasitäitmise kasutamine allmaa kaevandustes on maailmas tõusev trend ning seetõttu on tekkinud nõudlus süsteemsete tagasitäitmise lahendustele. Tagasitäitmine on kaevandamisest tulenevate tühimike täitmine materjali(de)ga tehnilistel-, keskkonna -ja tööohutuse põhjustel. Tagasitäitmine on võetud kasutusse eesmärgiga vähendada võimalike põlengute teket, parandada ventilatsiooni, maapinna püsivust ja vähendada lae langatusmõjusid maapinnal kui ka majanduslikke ja keskkonna mõjusid. Täitmiseks on kasutatakse üldjuhul kaevandamisest ja rikastamisest tulenevaid jääke, vähesel määral kaevandamisega mitte seonduvaid materjale nagu ehitusjätmed- ja materjalid. Kaevandades tagasitäimisega, täidab kaevandav ettevõtte mitmeid eelpool mainitud eesmärke. Ettevaatlikult koostatud ja efektiivselt töötav tagasitäitmise tehnoloogia võib kaevandamisoperatsioone tunduvalt hõlpsamaks muuta. Vastupidiselt, halvasti koostatud ja töötav tagasitäitmistehnoloogia võib olla tõsine takistus kaevandamisele ja äärmisel juhul tekitada ohtu.

Käesoleva töö eesmärgiks on luua Narva karjääri projekteeritavale laavakompleksile täitmistehnoloogia teoreetilised lahendused. Selgitada välja parimad materjalid täitmiseks ja millist mõju ettevõtte majandusele avaldab täitmise kasutuselevõtt. Sobiva tehnoloogia väljavalimiseks uurib töö autor maailmapraktikas olevaid täitmise tehnoloogiaid ning teoreetilisi lahendusi, et selgitada välja parim võimalik tehnoloogia ja selle maksumus. Lõpptulemuseks on soovitusel, mida on ettevõttel võimalik praktiliselt kasutada projekteerimisel.

Metoodika

Käesolev töö on teoreetiline projekt, kus rakendatakse omavahel laavakompleksis kaevandamine ja tekkivate tühimike täitmine. Töö käigus on saadud lisandmaterjale ja nõustamist Geoloogia Instituudi poolt teostatava samateemalise uurimustööga.

Antud projekti tehes on võetud arvesse Euroopas kasutusel olevaid ja varem katsetatud täitmisega seotud projekte ja Eestis tehtud katseid. Tuginedes süstemaatilisele valikule valitakse projekteerimiseks parim täitmismeetod ning tehakse selle kohta vajalikud majandus ning tehnoloogilised arvutused.

Täitematerjalide katsed on varem tehtud töö autori poolt KIK projektis „Täitmisega kaevandamistehnoloogia kasutuselevõtu võimaluste analüüs, majanduse ja keskkonna nõuetest tehnoloogia rakendamisel.

Töös on kasutatud arvutuste tegemisel Microsoft Excel tarkvara ning jooniste tegemisel Autodeski Autocad 2018 programmi.

1. Täitmisega kaevandamine maailmas

Täitmisega kaevandamise praktika maailmas näitab, et kasutusel on väga palju erinevaid tootmisjääke ja- jäätmeid, mis sobivad täitmiseks. Materjalidena on kasutusel kaevandamis- ja rikastamisjääd ning sideainena tsement või elektriijaamade tuhk.

Täitmine on kasutusel nii kamber- kui lankkaevandamise tehnoloogias. Peamised maavarad, mille kaevandamisel kasutatakse kaevanduste kaeveõõnte täitmist on ebapüsivad või ebapüsivates kõrvalkivimites paiknevad väärtuslikud maavarad. Täitmise põhjus võib olla ka keskkonnapoliitiline või vajadus materjali matta. Mäendustingimuste ja kaevandamismahu seisukohalt on olulisemad ja kõige rohkem täidetavad kivisöekaevandused. Kuna kivisüsi lasub kihiliselt ja kihiditena või kihidite kompleksidena, siis on täitmine säästliku kaevandamise ja maapõue stabiilsuse seisukohalt oluline.

Teine oluline maavarade grupp, kus kaeveõõsi täidetakse, on soolad. Soolamaardlad paiknevad tavaliselt kurrutatud kihtidena, kus kasutatakse kas kamberkaevandamist või suurte kambritega (löövidega) väljamist. Kuna soolad on roomavad, veeslahustuvad ja samas inertsed ning sobilikud ohtlike jäätmete matmiseks, siis on soolakaevanduste täitmine väga levinud. Kasutatakse soolabetooni, mis valmistatakse soolakaevandamise aherainest (kaaskivimitest ja -mineraalidest), bentoniidist ja tarduvainest. Kasutatakse hüdrotäitmist, kusjuures täitesegu on pasta, mitte vedeliku kujul. [9]

Tavaliselt kasutatakse täitmiseks aherainet ja kaaskivimeid ning tsementeerivaid aineid vaja ei lähe. Tavaline on mehaaniline täitmine. Nii täidetakse kaevandatud ala mehaaniliselt puistematerjalidega (liiv, killustik jmt), mis täidavad väljatud ala ning moodustavad täitemassiivi. Täitemassiiv hakkab tervikutele avaldama külgrõhku, mis tugevdab täiendavalt tervikuid ning suurendab peal lasuva kivimimassiivi stabiilsust. [1]

Lihtmoel hinnatuna maksab tuhkbetooni toimetamine maa alla ammendatud ruumi ja sinna paigutamine sama palju kui läks maksma ruumi tühjendamine: kaevisse väljamine, vedu ja maa peale tõstmine. Teadaolevalt moodustab viimatimainitud operatsioonide maksumus peaaegu poole ettevõtte kaevandamiskulust. Seega, ruumi täitmine maapealsete materjaliga, teisisõnu, loodusliku kivimi asendamine töödeldud kivimiga, tõstab kaevandamiskulu umbkaudu pooleteisekordseks ja õigustab end eelkõige väärtuslike maavarade puhul või siis, kui kõrgendatud tähelepanu all on maapõue ning maapealse keskkonna hoidmine. Täitmist stimuleerib ka rikastamisjäätmete maapealse ladustamise maksustamine.

1.1. Täitmisuuringute analüüs

70ndate lõpus oli industriaalmaades peamine rõhk mehhaniseerimisel ja kõrgel tootmis mahul, mis viis tootlikumate kaevandamis tehnoloogiateni. See tähendas, et täitmise võimalused suurenesid ja surve toota struktuurselt stabiilseid madalate kuludega täitmissegusid oli kasvamas. Uuringute käigus nii Canadas kui ka Austraalias leiti, et tsemendi lisamisega segudele saavutatakse võrdlemisi tugev struktuur juba madala tsemendi sisalduse juures. [9]

Põhja-Ameerika mäetööstuses 1980 ja 90ndatel tekkisid uued katsumused, kus hakati kaevandama sügavaid kihte ja tuli täiustada lae toetust suure mäerõhu tõttu. Mehhaniseerimise ja kõrge tootlikkuse trend oli endiselt kiirelt kasvamas. Samal ajal kui kaevanduskäigukude mõõtmed vähenesid, et tulla toime suureneva mäerõhuga, tõstis nõudlus kõrgele tootlikkusele täitmise vajaduse veelgi rohkem esile. Kiire kivinemisaeg oli tähtis omadus betoonimjooks, et saavutada lae püsivus ja kaevandamismahtude kasv. [10]

Kanadas, kus 1980ndate algusest kuni 94. aastani tollane Inco Limited (nüüd Vale Limited) töötas välja pasta täitmisegu, mis hiljem ka paljudes kaevandustes kasutusele võeti (nt Chimo, Lupin, Louvicourt). [10]

Saksamaal leidub aktiivseid ja hüljatud kaevandusi, kus ladestatakse erinevaid ohtlikke jäätmehid. Enam kui 20 kaevanduses toimub hetkel keemiliselt ohtlike ja teiste jäätmehid ladestamine. Üks tuntumatest on Herfa-Noude kaevandus, mis on osaliselt töötav soolakaevandus Kesk-Saksamaal. Antud kaevandusse ladestatakse ainult keemiliselt ohtlikke jäätmehid. Koostöö täitmise ja soola kaevandamise vahel annab eelise jagada taristuid ning seeläbi vähendab kaevandamis operatsioonide kulusid. [11]

Ühe näitena kasutatakse tootmisjääke elektrijaamadest, mis koosnevad lendtuhkadest ja deSOx tuhkadest. Need ladustatakse maa alla. Pikaajalise ladestamise tõttu eralduvad mürgised saasteained pinnasesse ja läheb vaja kalleid tehnilisi lahendusi, et vähendada saastet ning monitooringut ladestamisalale. Teisalt, maa all olevad geoloogilised piirded ja hoiukoht tagavad osa nendest lahendustest. Ruhri piirkonnas leiduvad sobivad kivimikihidid, et ladestada jääke maa alla. Samuti kasutatakse jääke ehituseks ja tühimike täitmiseks laava etes. Antud protsess parandab ventilatsiooni ja aitab maapinna püsivusele kaasa. Selline protsess on ainult siis vastuvõetav, kui materjalid, mida kasutatakse on keskkonna seisukohalt ohutud ega ohusta põhjavett. [12]

2. Täitmise tehnoloogiad

Tagasitäitmise tehnoloogiaid võib liigitada gravitatsiooni abil täitmine, käsitsi täitmine, mehaaniline täitmine, pneumaatiline täitmine, hüdrauliline täitmine ja seguga täitmine. Käsitsi täitmine vajab inim tööjõudu ning on väga ajakulukas ning on peaaegu võimatu tänase kaevandamistehnoloogia juures. Gravitatsiooni abil täites langetame materjali kõrgelt kas torust või äärelt täidetavasse tühimikku.

2.1. Mehaaniline täitmine

Mehaaniline täitmistehnika võeti kasutusele koos konveiersüsteemide juurutamisega ja mida asutatakse ka aheraine transportimiseks tühimikesse. Mehhaniseeritud süsteemid vajavad vähem tööjõudu ja annavad kiirema täitmistulemuse kui käsitsi täitmine. Mitmed mehaanilise täitmise meetodid eksisteerivad ka tänapäeval liikuvates laavakombaini etes. Mehaanilisel tagasitäitmisel pillutakse materjal tühimikesse. Täpsem materjali paigutus saavutatakse mitmel viisil. Maailma näitel on kasutatud mehaanilisel täitmisel aheraine pildujat, mis näeb välja töörežiimilt nagu lumepuhur. Masinat saab toita aherainega otse lindilt, mis pannakse masina põhja alla, aga ka puistangust (Joonis 1). Pilduja tagab hea puistetihedusega ja stabiilse laekandvuse, kui puistematerjali fraktsioonid on vastavad.



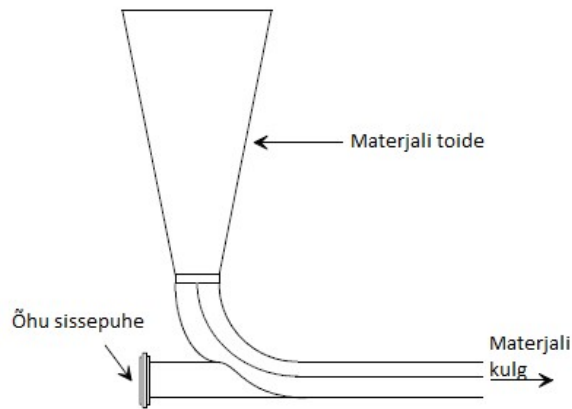
Joonis 1. Mehaaniline täitmine puistates barrikaadi taha täitematerjali. [9]

Gravitatsiooni abil materjali transportimine paneb töösse raskusjõu, et liigutada materjal vertikaalselt alla poole läbi kald šahti, puuraukude või torude. Praegu on vastav meetod kasutusel Doubrava kaevanduses Tšehhis, kus transportitakse materjali 600 m sügavusele.

Kõige efektiivsem toru läbimõõt vastavate tööde jaoks on 300 mm kui tükisuurused ei ületa diameetrit 80 mm ja võivad sisaldada vähesel määral ka savi. Materjali puistamisel vertikaalselt on mõningad eelised, kuna neid saab paigutada ventilatsiooni šahtidesse, mis teeb lihtsamaks projekteerimise. Kõikide vertikaalselt puistamise meetodite juures on vajalik materjali transportimine maa all, mis saavutatakse erinevate materjali toitur seadmetega (kraapkonveier nt). See aitab ära hoida ummistumise materjali puiste kohas. Vertikaalselt täitmise juures on olulised materjali vaba langemise omadused, mis on määratud niiskuse sisalduse ja tükisuurusega. Sellisel viisil täites peaks materjalil olema madal niiskuse sisaldus, et ta ei oleks kleepuv ja torusid ummistav. Toru suurus ei tohiks ületada 300mm kuna materjali massi langedes võib löögi mõjul saada viga toetus struktuurid. [10] [13]

2.2. Pneumaatiline täitmine

Pneumaatiline täitmine on moodus transportimaks materjali läbi toru, kasutades vaakumit või survestatud õhku ning selle tulemusel kantakse materjal tühimikesse. Materjali liigutatakse süsteemiga, mis on kujutatud joonisel (Joonis 2). Materjal, mida transporditakse peaks olema kuiv ja vabalt edasi kantav. Antud süsteemi miinused seinevad tema hoolduses ning töörežiimides. Kuna õhkpump ei tohi ilma materjalita töötada siis peaks olema masinal kogu töö vältel materjali toide. Kui pumba toitmine ei ole pidev siis on vaja masinat vastavalt seadistada. [10]



Joonis 2. Pneumaatilise pumba toitesüsteemi tehnoloogia (Crandall)

2.3. Hüdrauliline tagasitõtmine

Hüdraulilisel tagasitõtmisel tühimikesse kasutatakse mingi suvalise, odava ja kättesaadava vedelikku abi, mille abil transportitakse keskmise suurusega sõelmed täitmise kohta. Selle tehnoloogia põhiüksuseks on tavaliselt segusõlm, kus tehakse püdelat massi, pump või pumbad ja torusüsteem transportimiseks materjal soovitud kohta. Segusõlmes valmistatakse ühtlaselt segatud materjal, mis koosneb veest ja valitud täitematerjalist.



Joonis 3. Hüdrauliline täitmine

Materjal, mida transporditakse vajab juurde suurtes kogustes tsementi (~ 10%). Kuna transportimisel toimub ulatuslik materjali leostumine siis tuleb keskkonda mõjutavaid faktoreid eriti hoolikalt mõõta. Materjal tuleb kanda kiiresti puiste kohta, kuna aeglase voolavuse korral settib materjal torus ja ummistub. Ummistumise vähendamiseks kasutatakse meetodit, kus tsement segatakse transpordi torustikku lõpus, enne kui see tühimikku pumbatakse. Esimesed edukad hüdraulilised täitmised tiheda materjaliga sooritati 1980ndate alguses Bad Grund kaevanduses Saksamaal. Tiheda konsistentsiga pasta moodi täitematerjal on edukalt pumbatud ka 2 km kauguselt kiirusega 40 m/min. [14] [13] [15]

Põhiline eelis hüdraulilisel täitmisel pneumaatilise ees on vee kasutamine transpordiks. Vesi ei pruugi mõnedes kaevandustes olla kättesaadav, selle pärast ei saa seda tehnoloogiat kasutada igas kaevanduses. Vaatamata sellistele kitsaskohtadele, pakub hüdrauliline täitmine väga hea tugevusega täitematerjali, erinevalt pneumaatilisele. See on eelis seal, kus lae püsivus on halb või tugisambad nõrgad. Kuna täitmistehnoloogia valikul tuleb olla väga täpne ning võtta arvesse just selle kaevanduse iseärasusi, kus tehnoloogiat juurutatakse, on tehnoloogia valik raske ning puudub kindel valem selle kasutamiseks. [13]

Hüdraulilist transportimist jaotatakse kaheks, kus esimene on avatud süsteem ning teine ringlev süsteem. Avatud süsteemil kasutatakse ühte lõiku torude trassinat. Vesi, millega transporditakse võetakse kuivendusbasseinidest kaevanduses ning transporditakse sellega täitematerjal ee-ni. Ringlevas süsteemis toimub transport kinnises ringis, kus vesi millega transporditi materjali töödeldakse ja transporditakse pinnale uuesti kasutamiseks. Olenevalt kaevanduse olukorrast, saab neid mõlemaid kasutada materjali transpordiks. Põhilisemad pumbad, mida kasutatakse pumpamiseks on hüdro-, rootor-, tsentrifugaal-, ühe- ja kahe kolviga. [13] [15]

Pumbad, mis suudaksid vastavaid segusid edasi pumbata on laialt levinud. Kaevandust täitval ettevõttel tuleb aga arvestada torustiku projekteerimisel selle maksumusega kuna torustik peab olema roostevaba ja tavaliselt kaetud materjaliga, millel on väike hõõrdetegur. Kasutatakse ka PVC torustikku, kuid pigem on see mõeldud pneumaatiliselt transportimiseks.

2.4. Pastaga täitmine

Pastaga täitmist tutvustati esimesena Bad Grund kaevanduses 1980ndate alguses. Segu, millega täidetakse on ühtlane, vähese filtratsiooniga ning koosneb tavaliselt kõrgest sõelmete kogusest, kus võib olla umbes 15% 45 µm peenmaterjali. [9]



Joonis 4. Pastaga täitmine [9]

Püdelala massiga täitmisel tuleb kasutada suurtes kogustes vett, et transportida materjal tühimikesse. Selline massiivne vee kasutus tuleb käikudest tagasi juhtida, sealjuures peened osakesed ei ole soovitatavad, kuna nad vähendavad materjali edasikandumisomadusi. Vastupidiselt, pastaga täites on oluline peenosiste kogus, kuna need käituvad kui määre toru seinte ja materjali vahel, ning aitavad seetõttu suuremaid tükke enda sees edasi kanda. Tänu sellele ei ole materjali transportimiseks vaja suurtes kogustes vett ning vesi, mida kasutatakse jääb materjali sisse ega eraldu, kuna kasutatakse sidemete tekkimiseks kivistumisel. Kuna vett ei eraldu ei ole ka tarvis ehitada kraave vee ärastuseks. [14] [13]

Mõningad pastaga täitmise eelised:

- väiksem ajakulu kivistumisel kuna segu on varem valmis tehtud ja seetõttu hakkab kiiremini lagede toetama.
- Väike sideaine vajadus
- Peenosiste eraldumine on olematu

Materjali omaduste iseloomustamine on tähtis selgitamiseks sobivust olemasolevatele materjalidele, et toota soovitud täitematerjal. Segu voolavuse raske ennustamise tõttu on vaja teha pumpamise katsed, et mõõta transpordiks optimaalsed surved. [13]

3. Narva Karjäär

3.1. Narva Karjääri mäeeraldise kirjeldus

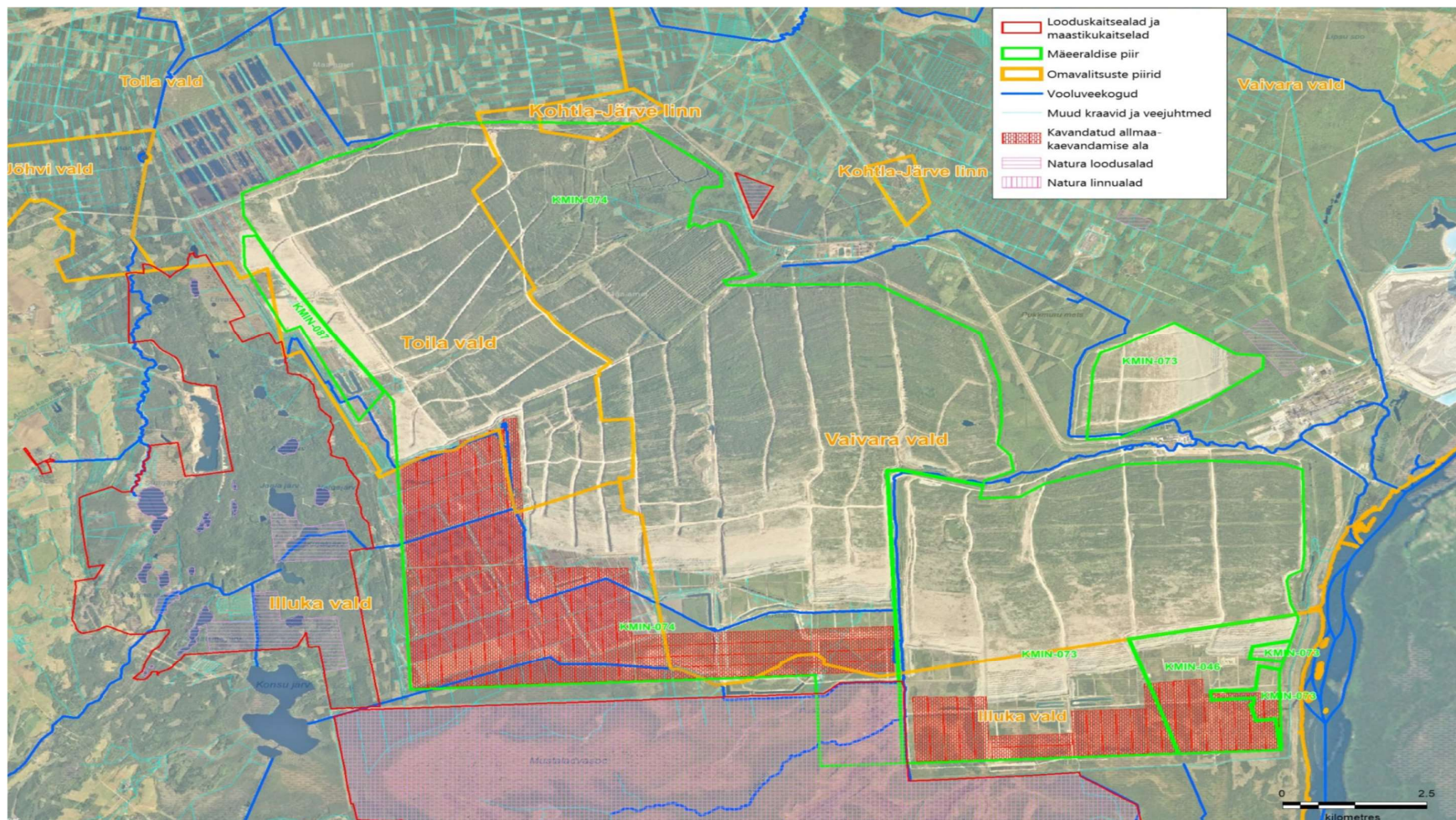
Narva Karjäär hõlmab nelja mäeeraldist kogupindalaga 16 330,23 ha. Karjäär asub Ida-Viru maakonnas Eesti põlevkivimaardla idapoolseimas osas, vahetult Eesti Vabariigi piirist läänes. Karjääri piirkonnas inimasutus praktiliselt puudub. Lähim asutus Sirgala asum 1,4 km kaugusel põhjaservast. Lisaks põlevkivile asub mäeeraldisel edelanurgas Puhatu turbatootmisala pindalaga 1226,12 ha, kus kaevandab hetkel AS Tootsi Turvas. [7]

Narva karjääri nelja mäeeraldise piiresse jääb kokku 90 106 tuh t aktiivset tarbevaru, 57 652 tuh t passiivset tarbevaru ja 8148 tuh t passiivset reservvaru. Nimetatud varudest on kehtivate kaevandamislubade kohaselt kaevandatavad vaid aktiivsed tarbevarud. Passiivsed varud ei ole praegu kaevandatavad keskkonnakaitselistel, katendis olevate turbavarude, asustuse või tehnoloogiliste piirangute tõttu. [6] [16]

Narva karjääris on toimiv infrastruktuur. Raimatud põlevkivi transport toimub kalluritega otse kaevandamisest mööda tranšeid laadimis-purustamis kompleksi või tarbijate ladusesse. Narva elektrijaamadeni toimub põlevkivi transport raudteed mööda.

Vaadeldavat ala katavad Kvaternaarisetted, mille kogupaksus va-rieerub laiades piirides 2 - 3 m kuni 20 - 22 m. Kvaternaarisetete all lasub Kesk-Devoni ladestiku Narva lademe setendite kompleks, mille paksus on ebahütlane ja üldiselt suureneb läänest ida ja põhjast lõuna suunas 5 - 7 m kuni 15 - 20 m ning on esindatud põhiliselt vahelduvate savi ja dolokivi-kihtidena. Põlevkivi kihind, keskmise paksusega Narva kaeveväljal 2,68 m ja Sirgala kaeveväljal 2,82 m, koosneb seitsmest põlevkivikihist (kihtide indeksid A, A', B, C, D, E, F₁) ja viiest lubjakivi vahekihist.[6]

Joonis 5. Narva karjääri asendiplaan



Labeloige	Sigavus m	Paksus, m	Põhi abis korgis m	Kuivte kirjeldus	Geol. lihts
	0,90	0,90	29,00	Tuvas - торф	QIV
	1,90	0,80	28,40	Liv enteraalne-песок жёлто-серый, разнозернистый, обводнённый	
		2,30		Savi veeristega -глина серая, плотная, с обломками интрузивных пород	QIII
	3,80		26,10		
		13,50		Mergei savi, doolmit -переслаивание глины, мергеля и афанитовых доломитов, с глубины 16,3м доломит мелкозернистый, пористый	QII
	17,30		12,60		
		5,00		Doolmit -доломит от серого до жёлто-серого, мелкозернистый, толстослоистый, неравномернозернистодеформированный, мелкопористый, с включениями пирита, с частыми прослоями горючего сланца мощностью 1-4см	
	22,30		7,60	H=0,31 m - Põlvkivi - горючий сланец жёлто-коричневый, с включениями из-ка до 50%	
	22,61	0,31	7,29	HG- Lubjakivi -карбонатодержащий известняк	
	22,80	0,19	7,10	G=0,20 m - Põlvkivi - горючий сланец ярко-коричн., с включениями из-ка до 5%	QI
	23,00	0,20	6,90	G/F2 -Lubjakivi-известняк серый, с тремя прослоями гор.слан. мощностью 7,11 и 8см	
	24,10	1,10	5,80	F2=0,24 m -Põlvkivi -горючий сланец сильноглинистый, с включениями из-ка до 50%	
	24,34	0,24	5,56	F1=0,36m	
	24,70	0,36	5,20	E=0,52m	
	25,22	0,52	4,68	E/D=0,06m	
	25,28	0,06	4,62	D=0,07 m	
	25,39	0,07	4,55	D/C=0,20m	
	25,59	0,20	4,35	C+B=1,03 m	
	25,59	1,03	3,32	B/A1=0,28 m	
	25,89	0,28	3,04	A1+A=0,24 m	
	27,10	0,24	2,80	Savikas lubjakivi - известняк синевато-серый, сильноглинистый, мелкозернистый, среднеслоистый,	QIII
		3,90		с многочисленными сближенными прослоями мергеля мощностью 1-6 см, до глубины 29,0м с редкими прослоями сильноглинистого горючего сланца мощностью 3-8 см	
	31,00		-1,10		

Joonis 6 Narva Karjääri puuraugu nr.004 läbilõige (Allikas: Narva Karjäär)

Pinnaveekogudest paikneb Narva karjääri mäeeraldisel Mustjõgi, Metsküla oja, Männiku kraav, Konsu peakraav, mustaladvaoja ja Riiasoo kraav. Mäeeraldise piires on varem olnud veekogud

asendatud uute tehisveekogudega. Narva karjääri mäeeraldistel väljapumbatava kaevandusvee eesvooludeks on lisaks eelpool loetletud veekogudele ka Narva jõe looduslik pinnaveekogu. Narva jõgi kuulub ka lõheliste ja karpkalaliste elupaikadena kaitstavate jõgede hulka. Pinnaveekogumite seisundi 2014. a vahehinnangu järgi on Narva jõe loodusliku pinnaveekogumi seisund halb (põhjuseks on keemiline seisund, eeskätt fenoolide sisaldus vees). [6]

3.2. Planeeritud allmaakaevanduse kirjeldus

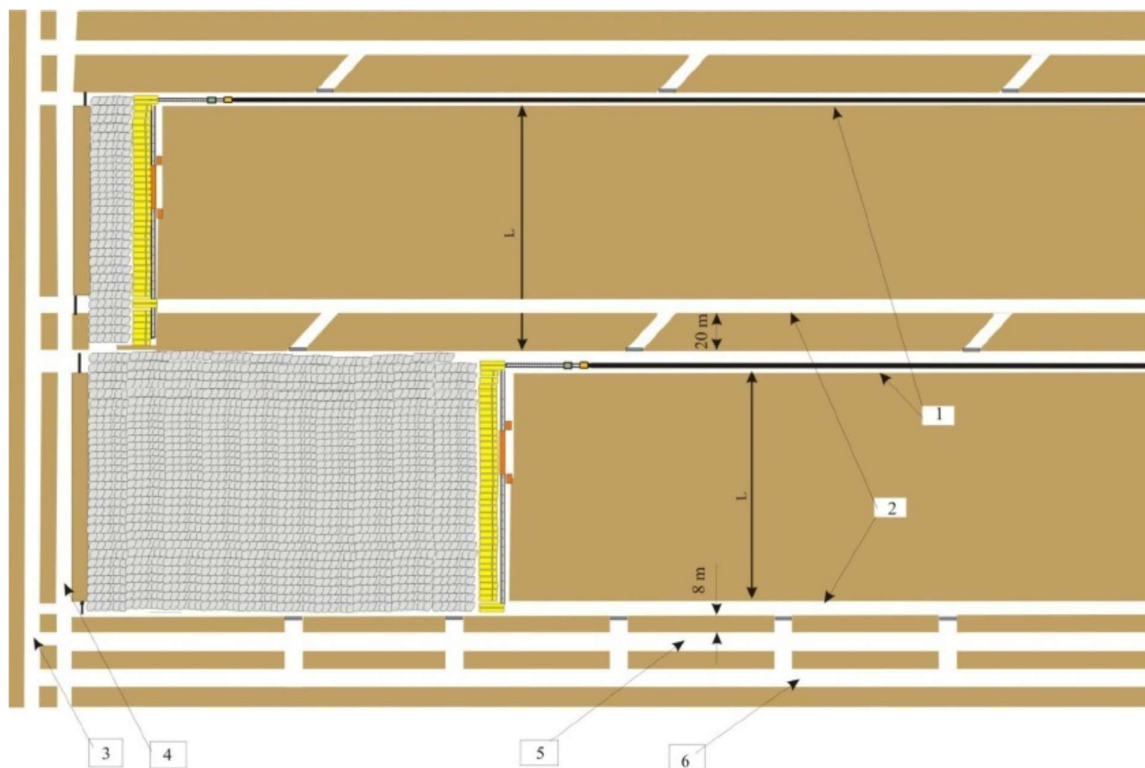
Praegune mäeeraldiste kuju ja lõigustatus soodustab kaevanduse avamist stollidega ning juurutada olemasoleva mäeeraldiste piires laavakombainiga kaevandamise tehnoloogiat maapinna lauslangatusega.

Narva karjääri allmaakaevandamise kasutuselevõtmisel on ette nähtud kaevevälja kaevandamata osa paneel ettevalmistamine. Paneelid paigutatakse selliselt, et nende piirid ühtiksid karjääri tootmistranšeedega. Paneelide kuju ja mõõtmed sõltuvad nende asukohast karjääriväljal ja allmaakaevandamise ettevalmistustööde algusest igas tranšees.

Iga paneel on jaotatud kaevelankideks (laavadeks). Iga kaevelank (laava) valmistatakse ette kahe kaeveõõnega – stolliga, mis läbindatakse langi piirile. Üks on külgstoll (või tuulutusstoll), teine konveieristoll.

Laavat piiritlevate kaeveõõnte vahele jäetakse 20 m laiune tervik. Niisuguse ettevalmistustööde skeemi korral on võimalik: esiteks vähendada kadusid laavadevahelistes tervikutes, teiseks saavutatakse märksa sujuvamad maapinna langatused pärast ala altkaevandamist.

Iga laava kaevandatava ala geomeetrilised mõõtmed on mõnevõrra erinevad – pikkus on piiratud 40 m tervikuga, mis jääb tranšee ja montaažikambri vahele. Esimese laava kaevandamise laius on võrdne geomeetriliste mõõtmetega – 300 m, järgmiste laavade laius koos kustutatava laavadevahelise tervikuga on samuti 300 m. [6]



Joonis 7 Esimese jaoskonna ettevalmistus (1 – konveieristoll, 2 – külgstoll, 3 – tuulustusstreck, 4 – veostreck, 5 – veostoll, 6 – tuulustusstoll, L=300m)

Läbindustööd kaevelangi ettevalmistamiseks seisnevad allmaa ettevalmistuskaeveõnte rajamises. Ettevalmistuskaeveõnteks on veo- ja tuulustusstollid, kül- ja konveieristollid, montaažikambrid. Ettevalmistuskaeveõnte projekteeritav kõrgus on 3,2 m ja laius 5,0 - 5,5 m, montaažikambritel 6,0 - 7,0 m. Allmaaläbindustööd võivad alata pärast paljandus- ja koristustööde peatamist karjääri tranšees. Läbindustöödeks moodustatakse kaks läbinduslülili, mis alustavad korraga tööd.

Põhiliseks kaeveõnte läbindamisviisiks on puur- ja lõhketööd. Kaevise veol läbindusest võib kasutada kahte tehnoloogilist skeemi – kopplaaduritega vedu ning kopplaadureid ja allmaakallureid läbinduse eemaldumisel peakaeveõnte suudmest enam kui 300 m kaugusele. Koristustööde läbiviimise ajal võib erijuhtudel kasutada läbindusest kaevise veol töötava naaberlaava lintkonveierit.

Joonisel (Joonis 8) on märgitud läbindustööde ja kaevandamise ajagraafik. Algusaastad varieeruvad kaevandamise ja läbindustööde reaalsete algusaegadest tulenevalt, kuid perioodid jäävad samaks.

Põlevkivi raimamiseks kasutatakse pikk- ee kombaini, mis liigub koos kraapkonveieriga piki ett. Kombaini tööorganiks on löikeorganid, mis on varustatud kõvasulamist lõiketeradega, mis purustavad põlevkivikihtid. Purustatud kivim kukub kraapkonveierile.

Kogu toestiku süsteem on ühendatud ee konveieriga horisontaalsete silindrite abil (Joonis 9), mis aitavad liigutada konveierit ja tugesid ee suunas. Kõigepealt liigutatakse konveier edasi, samal ajal kui toestik on surutud vastu lage. Lastes toestiku alla vabandeb ta pinge alt ja tõmbab ennast konveieri poole ja seejärel surub end uuesti vastu lage. Konveieri edasi nihutamine ees toimub liikurtoestiku sektsioonide teisaldamisel tungraudadega, edasinihutamine võib olla laineline, osadena, frontaalselt, sõltudes kasutatavatest seadmetest ja kaevandamise tehnoloogiast. Ee konveieril liigub purustatud kaevis streki ümberlaadurisse, millele on paigaldatud purusti suuremõduliste tükkide purustamiseks.

Lae langatamisel toimub lae juhtimine selle täieliku varistamisega. Mehhaniseeritud toestiku pideval teisaldamisel (koristuse edasiliikumisel) hoitakse kaevandatavate kivimitele mõjuv rõhk ee-eelses alas lubatud piirides ja tagatakse tööala ohutus.

Narva karjääri geotehniline modelleerimine näitab (P.Talviste, 2014), et põhilae esimene varingu samm võib jääda vahemikku 28 - 37 m ja järgnevad varingusammud 6 - 9 m. Niisuguse ava korral kaasneb põhilae esimese varinguga enamasti järsk koormuse tõus toestikule ja õhu lööklaine teke, mis võib ohustada inimesi, purustada tuulutustõkked ja viia rivist välja tehnika.

Võimaliku põhilae varingu korral on otstarbekas rakendada meetmeid esimese varinguava vähendamiseks. Meetmete olemus seisneb põhilae alumiste kihtide kõvade kivimite nõrgestamises lõhkelaengute lõhkamisega kaevandatud ala laes. Lõhkamise tulemusel tekivad lõhed põhilae esimeses kihis, ning viivad põhilae varisemiseni väiksema avaga, kui oleks loomulik esimene varinguava.



Joonis 9. Laavakombain näidis Saksamaal kaevandus muuseumis

Kaevise vedu koristuskaeveõntest maa peale toimub konveieriga. Maa peal kasutatakse kaevise veoks olemasolevaid karjäärrikallureid.

4. Täitesegu koostisosade uuring

4.1. Katsemetoodika

2017. aastal töö autori ja Geoloogia instituudi poolt tehtud täitematerjalide katsete eesmärgiks oli selgitada välja parim tuhk täitmiseks ning optimaalseim vahekord tuha ja täitematerjali vahel. Võttes kasutusele täitmise kaevandamistehnoloogia on tähtis, et katsed täitematerjalile oleksid võimalikult ligilähedased reaalsete tingimustega, milleks on kõrge niiskus ja madal temperatuur. [3]

Selle tõttu on tehtud katsete praktiline osa kaevandustingimustes. Katsetes kasutatavad tuhad selgitati välja koostöös AS Eesti Energia Kaevandustega, kus püstitati eesmärgiks katsetada ainult tuhkasi, millel on tuleviku perspektiiv. Valikusse jäid kolm erinevat tuhka ning nendest valmistati neli erinevat segu.

Segudes kasutati 11. ploki keevkihi, Enefit 280 ja DeSOx tuhka. Täitematerjalina kasutati Estonia kaevanduses toodetud 4-16 mm killustikku. Katses kasutati kaevanduse killustikku kuna selle kasutamine täitesegus on tulevikus kõige tõenäolisem. Lisaks tuhka ja killustikule kasutati 4. segus ka portland tsementi.

Katsekehad valmistati järgnevate tuhkbetooni retseptide järgi:

1. 50% 11. plokk ja 50% killustik
2. 50% Enefit 280 ja 50% killustik
3. 50% DeSOx ja 50% killustik
4. 50% 11. plokk ja 50% killustik (Lisati kogumassist 5% portland tsementi)

Katsekehi hoiti Kohtla-Nõmme kaevandusmuuseumis (Joonis 10) rakistes vastavalt 16, 29 ja 57 päeva. Rakised olid pandud vahekäiku, kus õhuliikumine oli väiksem kui pea käikudes ja niiskus ~95%. Katsekehade mõõdud olid arvestatud 20x18x17, et saada testimiseks sobiv katsekeha siis teostati hiljem vajalikud pindade lõikamised ja lihvimised.



Joonis 10. Kohta-Nõmme kaevandusmuuseumis tehtud maaaluste katsetuste ala.

4.2. Katse tulemused

4.2.1. Killustiku ja tuha omadused

Katsetes kasutati nelja tuhka:

1. Enefit 280, (edaspidi Enefit 280 (25.04))
2. 11 blokk, (CFB katel: kütus:95 % põlevkivi+ 5 % õlgi)
3. DeSO_x,
4. Enefit 280, (edaspidi Enefit 280 (20.06))

Tabel 1 Katsetatud tuhka terastikulised koostised

Sõela ava, mm	Enefit 280 (25.04)		11 blokk		DeSOx		Enefit 280 (20.06)	
	Osajääk, %	Täisjääk, %	Osajääk, %	Täisjääk, %	Osajääk, %	Täisjääk, %	Osajääk, %	Täisjääk, %
8	0	100	-	-	-	-	0	100
4	4	96	-	-	-	-	7,3	92,7
2	14,8	81,2	-	-	-	-	14,9	77,8
1	14,2	67	-	-	-	-	20,8	57
0,5	8,4	58,6	-	-	-	-	19,1	37,9
0,25	7	51,6	-	-	-	-	16,5	21,4
0,125	6	45,6	0	100	0	100	13,4	8
0,09	1,3	44,3	3,3	96,7	0,8	99,2	3,4	4,6
0,063	2,5	41,8	7,4	89,3	1,2	98	1,5	3,1
0,032	6,3	35,5	17,3	72	6,4	91,6	0,9	2,2
<0,032	35,5		72		91,6		2,2	

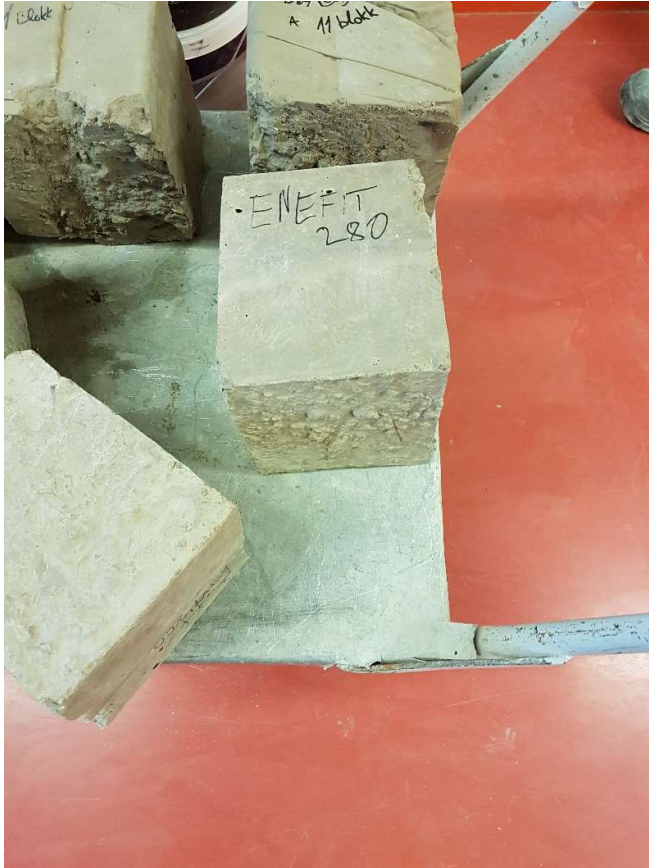
Tabelist võime lugeda, et Enefit 280 tuha terastikulised omadused on ajas muutuvad. Seda võis põhjustada proovi võtmise koht, aeg ja meetod kuidas võeti. Esimese katse puhul võeti proov Eesti Energia poolt, kuid teisel korral juba tudengi poolt.

Tabel 2 Killustiku terastikuline koostis

Sõela ava □, mm	Jääk sõelale, %		Sõela läbind. %
	osaline	täielik	
25	0	0	100
22,4	1,7	1,7	98,3
16	11,2	12,9	87,1
12,5	22,6	35,5	64,5
8	28,6	64,1	35,9
6,3	8,8	72,9	27,1
4	7,7	80,6	19,4
2	2,9	83,5	16,5
1	1,3	84,8	15,2
0,063	4	88,8	11,2
< 0,063	11,2		

4.2.2. Tuhkbetoonide omadused

Tuhkbetoonisegu kivines kaevandus tingimustes kuni katsetamiseni, mil need transporditi laborisse. Katsetamiseks survepinnad lõigati ja lihviti, et saada kuubikujulised katsekehad. Kõik survetugevuse katsed tehti Ehitusmaterjalide teadus- ja katselaboratooriumis.

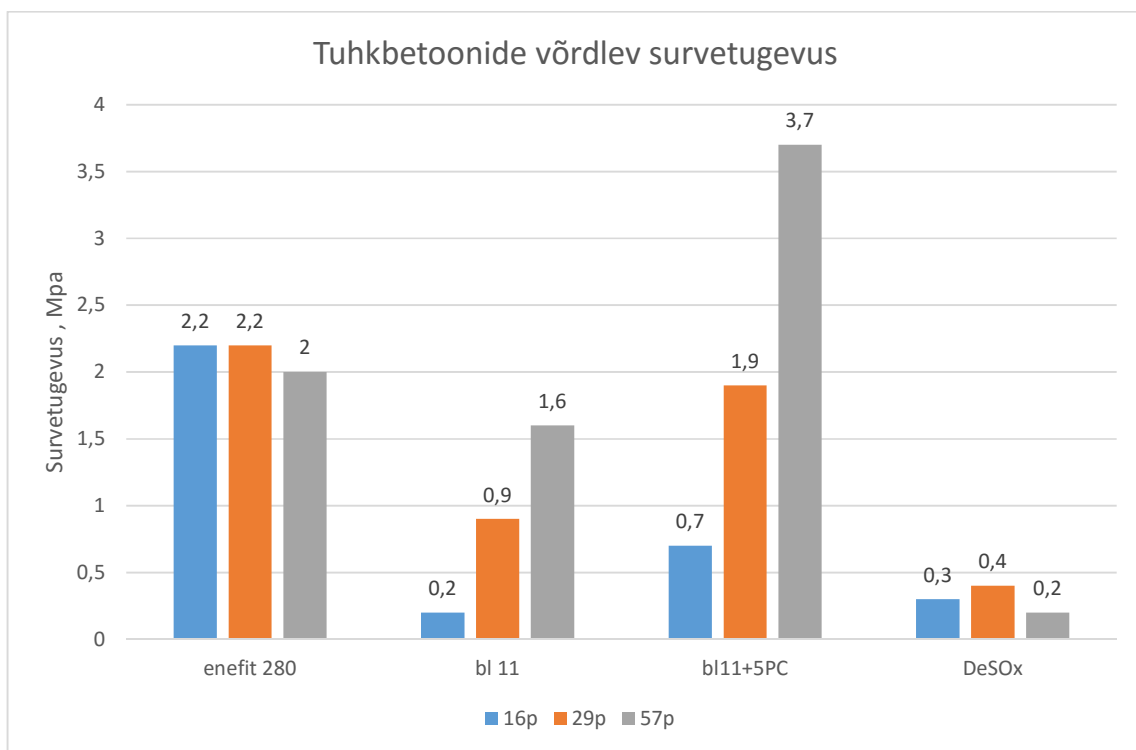


Joonis 11 Katsekehad enne lihvimist.

Tabel 3 Kaevandustingimustes valmistatud ja kivistatud tuhkbetooni survetugevus

Betooni koostis, %		Tuha koostis	Survetugevus, N/mm ²		
Tuhk	Täitemat.		14 p.	28 p.	56 p.
50	50	Enefit 280 (25.04)	2,2	2,2	2
50	50	11 plokk CFB	0,2	0,9	1,2
50	50	11 plokk CFB +5%pt	0,7	1,9	3,7

50	50	DeSOx	0,3	0,4	0,2
50	50	Enefit 280 (20.06) kaev.	1,36	1,33	
50	50	Enefit 280 (20.06) lab	1,14	1,26	



Joonis 12 Tuhkbetoonide võrdlev survetugevus

Katsetulemustest tulenevalt võib järeldada, et kaevandustingimustes temperatuuril +6 °C kivistatud tuhkbetoonisegudest omandas Enefit 280 tuhaga valmistatud betoon juba pärast 16 päeva kivistumist survetugevuse 2,2 MPa, mis hilisemate katsekehade katsetamisel enam oluliselt ei tõusnud. Teiste tuhkbetoonide survetugevused jäid võrreldes Enefit 280 betooniga väga madalaks. Saavutades samal kivinemisperioodil survetugevused vahemikus 0,2-0,7 MPa.

11. ploki tuhkbetoon, mis tänu 5% portland tsemendi sisaldusele kahekordistas oma survetugevuse näitajaid võrreldes tavalise 11. ploki tuhkbetooniga. Saavutati survetugevus 3,7 MPa peale 57 päeva kivistumist, mis oli kõrgeim saavutatud tulemus katsekehast. DeSOx tuhaga valmistatud betoon oli survetugevuselt kõige madalama tulemusega ja näitab isegi langust survetugevuses peale 28 päeva kivistumist. Tulemus võib näidata seda, et DeSOx tuha betoon hakkab lagunema pikemal perioodil kivistudes kuid ka võib ilmind olla juhuslik.

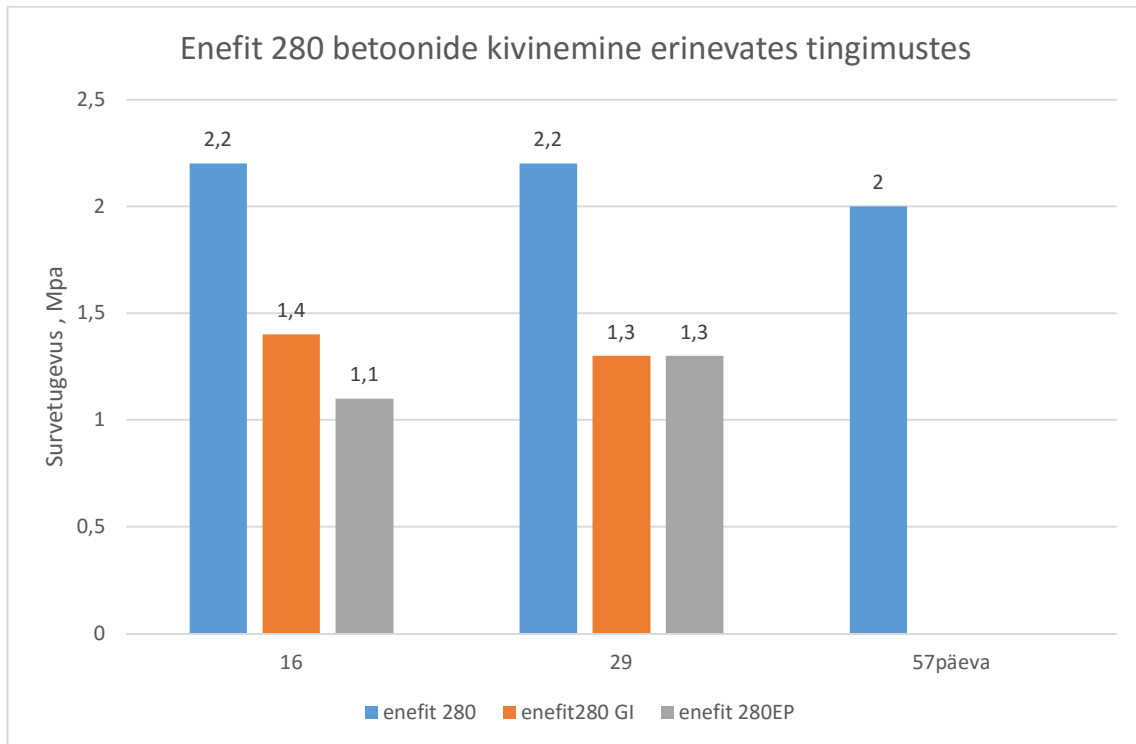
Põhikatsetes üllatavalt esinenud Enefit 280 tuhkbetooniga otsustati teha kordukatsed ja uurida, kas saavutatud survetugevused olid juhuslikud või mitte. Selleks toodi õlitesest uus tuhk ning valmistatud katsekehad nii kaevandustingimustes kui laboritingimustes. Katsekehade kivistumisperioodid jagati 14 ja 28 päevasteks. Enne katsetamist katsepinnad töödeldi. [3]

Tabel 4 Enefit 280 (20.06) tuhaga TTÜ Geoloogia Instituudis valmistatud tuhkbetooni survetugevus.

Tuhk	Vanus päeva	Mõõtmed, mm			A, cm ²	Mass, kg	Näiv-tihedus, kg/m ³	F, kN	Survetugevus, MPa	
		a	b	h					üksik	keskm
Enefit 280 (20.06)	14	100,0	101,0	100,0	101,0	2,107	2080	13,73	1,36	1,36
		100,0	100,5	100,0	100,5	2,068	2060	13,53	1,35	
	28	101,0	100,5	100,0	101,5	2,098	2070	13,53	1,33	1,33
		100,5	101,0	100,0	101,5	2,099	2070	13,34	1,31	

Tabel 5 Enefit 280 (20.06) tuhaga TTÜ Ehitusmaterjalide teadus- ja katselaboratooriumis valmistatud tuhkbetooni survetugevus.

Tuhk	Vanus päeva	Mõõtmed, mm			A, cm ²	Mass, kg	Näiv-tihedus, kg/m ³	F, kN	Survetugevus, MPa	
		a	b	h					üksik	keskm
Enefit 280 (20.06)	14	98,0	100,0	100,5	98,0	2,028	2060	11,06	1,13	1,14
		97,5	100,0	100,5	97,5	2,018	2060	11,13	1,14	
		97,0	100,0	100,5	97,0	1,997	2050	11,25	1,16	
	28	99,0	100,0	100,0	99,0	2,020	2040	12,55	1,27	1,26
		99,5	100,0	100,0	99,5	2,043	2050	12,24	1,23	
		99,0	100,0	100,5	99,0	2,038	2050	12,62	1,27	



Joonis 13 Enefit 280 tuhade baasil valmistatud tuhkbetoonide kivistamine erinevates tingimustes

Enefit 280 tuha baasil tehtud betoon, mis on tehtud pumbatava konsistentsiga võimaldab pärast 14 päeva kivistumist saavutada survetugevusi ~ 2 MPa. Samas laboratoorsete katsete puhul (+20°C) samaväärseid tulemusi ei saavutatud. Vastavad tulemused jäid umbes 1,3 MPa juurde.

Enefit 280 tuhaga kui sideaine ja aheraine killustikust täitematerjaliga (1:1) valmistatud betoonisegu kivistamise käik madalatel temperatuuridel võimaldab saavutada survetugevuse 2 MPa kui valmistamiseks kasutatava vee hulk on võimalikult madal st võrdne pumbatava segu jaoks kuluva minimaalse veehulgaga. [3]

Siinjuures tuleb kindlasti märkida, et antud Enefit 280 tuhaga saadud katsetulemused ei ole üldistatavad mingil teisel ajaperioodil, protsessi tingimuste muutmisel või teistes seadmetes kogutud Enefit 280 tuhade kohta.

5. Täitmistehnoloogia valik ja projekteerimine

5.1. Tehnoloogia valiku meetodika

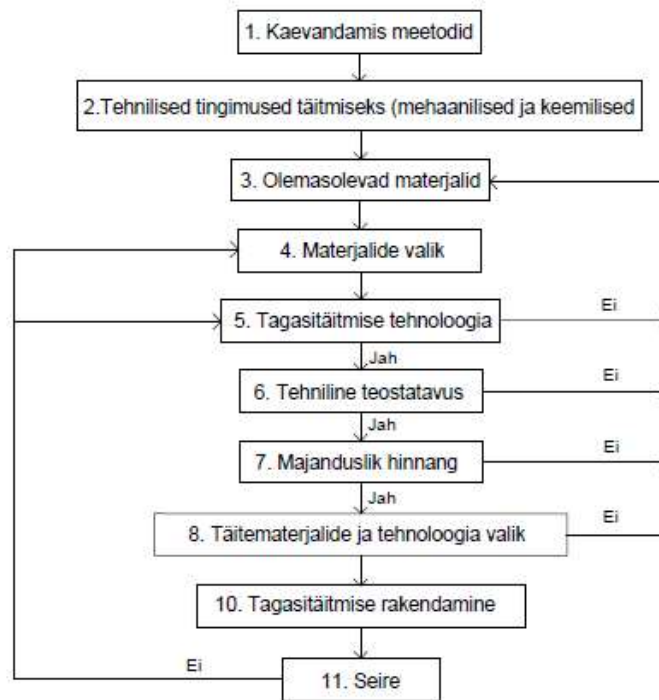
Täitmistehnoloogia valikul on tähtis, et täitmise tööprotsess ei sega kaevandamise tööprotsesse. Kriteeriumid, mida täitmistehnoloogia peaks täitma on esiteks ohutuse ja kaevandamis režiimide pidevus. Täitesegu kasutatav materjal peab olema piisava füüsilis-mehaaniliste omadustega, et stabiliseerida lage.

Teiseks peaksid olema täitmismahud optimeeritud nii tehnilise kui ka majandusliku analüüsiga. Reeglina ei tohiks täitmis operatsioonide aeg ületada 20%-25% kogu kaevandamis operatsioonide ajast.

Antud süstemaatiline tehnoloogia valiku protseduur koosneb:

- Materjali valikust, mis on lokaalne antud mäeeraldisele, kus hakatakse täitma. Materjalile kehtivad nõuded, mis on vajalikud lae toetamiseks ning ohutuks kaevandamiseks.
- Lisades rohkem sideaineid tõstab täitesegu tugevust, kuid tõstab sealhulgas täitmise maksumust. Teatud tugevuste saavutamiseks tuleks katsetada erinevaid sideaineid olemasolevatele täitematerjalidele.
- Tehnoloogia valik sõltub suuresti maksumusest ja käepärasusest ning ei ole üldistatav teistele mäeeraldistele. Antud süsteem põhineb maksumuse ja kasulikkuse analüüsil. Paljude täitematerjalide valikul saavad takistuseks keskkonda mõjutavad faktorid, peamiselt leostumine.
- Täitmisega puhul on tähtis teha eelnevad testid tema voolavuse ja survetugevustestid, seda eriti kui tegu on pasta või hüdraulilise täitmisega.
- Täitmistehnoloogia valikul tuleb arvestada, et oleks optimaalne süsteem, mis annab suurima väärtuse tervele kaevandamis tehnoloogiale. Sealhulgas ei ole kõige olulisem odavaim võimalus või täitematerjali säästlikkus. Täitmist ei tohiks võtta eraldiseisvana, vaid kui osa tervikust terves kaevandamistehnoloogias.
- Tagasitäitmiseks on võimalikud järgnevad tehnoloogiad: gravitatsiooniga-, hüdrauliline-, pneumaatiline-, pildudes täitmine, riita ladumine ja pastaga täitmine.
- Juhul kui jäägid, millega hakatakse täitma, sisaldavad orgaanikat või raskeid metalle tuleb jälgida leostumisel kehtivaid piirväärtusi. Kui tööstulikust sideainest nt. Enefit 280

tuhk leostub liiga palju ohtlikke aineid, siis tuleb tuha osakaalu vähendada, ja kasutada ehituslikke sideaineid nagu portlandtsement vms.



Joonis 14 Süstemaatiline täitmise valik ja rakendamine

5.2. Täitematerjal valik

Täitematerjali valikul on seatud eesmärgiks kasutada ära kaevandamise tootmis- ja rikastusjääke. Narva karjääri vahetus läheduses asuv Eesti Elektri jaam, mille territooriumil asub ka Enefit 280 õlithas tekitavad jääkidena tuhka, mis sobib täitmissegusse sideainena. Eelmise aasta prognoositud tuha tekke kogus oli 730000 t. Antud tuhk on ka tuleviku mõistes kõige perspektiivikam tuhk kuna Enefit õlitööstus on jätkuvalt oma tootmismahтусid tõstnud. Eelmise aasta lõpuks tõusis toodetud õli kogus Enefit 280 45,7% ja Enefit 140 õlithase toodang 9,8% võrreldes üleeelmise aastaga. Lisaks plaanib Eesti Energia tulevikus rajada uue õlithase Enefit 282 ning vastavad otsused on plaanitud langetada 2019. aastal. [16]

Kuna õlitööstusele ja elektrijaamale on vajalik kõrgema (kütteväärtus 8,4 MJ/kg) kvaliteediga põlevkivi, kuid pikk-ee kombainist tuleneva kaevise kütteväärtus on ainult 6,8 MJ/kg, siis on vaja kaevis rikastada. Kaevise rikastamisel tekkiv jääk on lubjakivi.

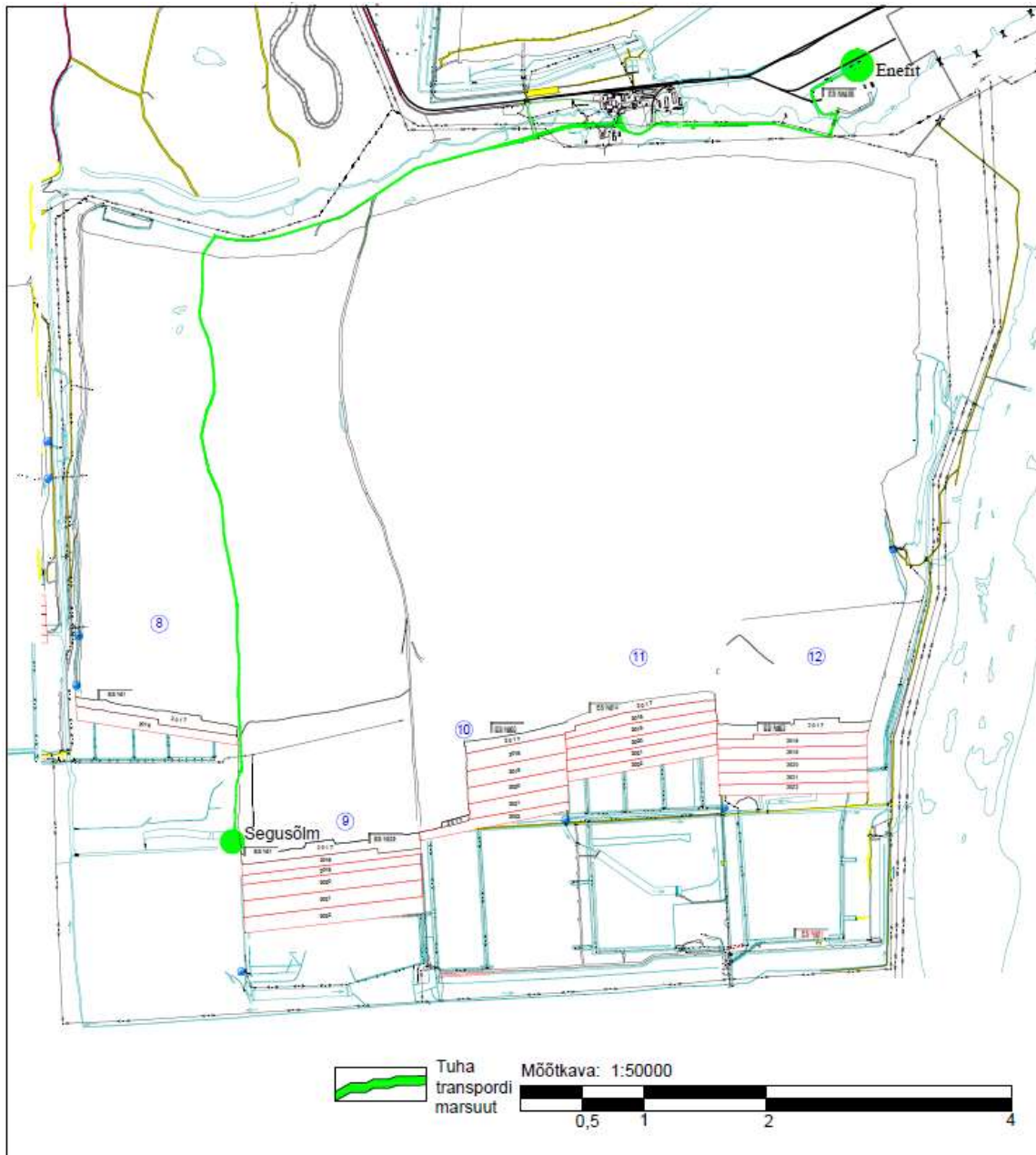
Rikastamisel on tekkiv jäägi hulk u 30% kogu kaevisest. Kuna kombainkaevandamise kaevandamismahud on arvestatud u. 3 mln t/a siis jäägi koguse teke aastas on ligikaudu 1 mln t. Majanduslikult on tulus toota jäägist killustikku. Killustiku tootmisel rikastusjäagist saab müüa suuremad fraktsioonid, alates 4 mm ehitusse ja teetöödele ja suurus 0-4 mm (nn. sõelmed) kasutada täitmiseks mõeldud täitesegu valmistamisel.

Killustiku tootmiseks valin Powerscreen Chieftain 2100X, mille tootlikkus kuni 600t/h. Kuna segu on plaanitud 50/50 vahekorraga tuha ja täitematerjali osas, siis on oluline, et need kaks seadet töötaksid samasuguse tootlikkusega, tagades optimaalse ressursi kasutuse. Tootja infole tuginedes on sõelmete osakaal kuni 30% killustiku tootmisel. Võttes kasutusele tootja andmed on tekkivaid sõelmeid aastas ~250 tuh t. [18]

Enefit 280 ja sõelmete baasil tehtava segu kogus on arvutuslikult 500 tuh t/a. Nagu peatükis 4.2.2 märgitud on segu tiheduseks 2000kg/m³ - seega sellise koguse juures tekib mahuliselt 250000 m³ täitesegu, mis täidaks ~20% kaevandatud mahust.

5.3. Täitmise projekteerimine

Täitmise protsess väljapakutava skeemi järgi peaks koosnema neljast etapist: transport; segusõlm; pumpamine; torustiku opereerimine. Esiteks on vajalik korraldada tuha transport õlitööstusest segusõlme. Kuna tuhk on vaja transportida kuivalt segusõlmeni, siis ei sobi hüdrauliline transport ja pneumaatiline muutuks liialt kulukaks taristu soetusmaksumuse osas. Selleks tuleks võtta kasutusele 25 t presentkattega kallurid, mida hetkel Narva karjääris ei ole ja seetõttu tuleks need soetada. Ostma peaks 4 kallurit, mis töötavad kas siis kahes või kolmes vahetuses. Päevas transporditav tuha kogus on 1000 t ja joonisel näidatud marsuudi pikkus 12km.



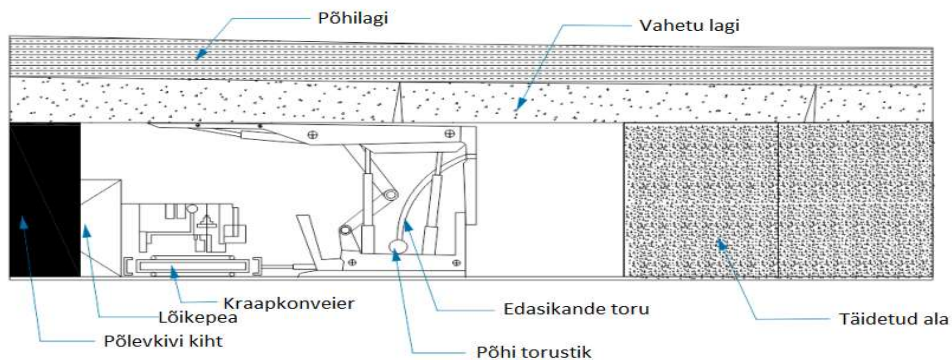
Joonis 15. Tuha transpordi marsuut õlitesest kuni segusõlmeni märgitud rohelisega.

Teise etapina on planeeritud segusõlmes segu valmistamine. Selleks on valitud segusõlm, mille tootlikkus on $150\text{m}^3/\text{h}$. Segusõlm on planeeritud koos 4 tuhasiloga, kus igaüks suudab hoida 125 t tuhka. Segusõlme töörežiimid on identsed pikk-ee kombaini omadele, kuna tööd tehakse samaaegselt. Täitesegu transportimiseks torustikus tuleks kasutusele võtta pump, mis võimaldab pumbata vähemalt 800 m raadiuses. Putzmeisteri KOS S-Tube kolbpump on tootlikkuse ja võimekuselt piisav, et transportida pasta kaevanduses töötava ee-ni. Kui praktiliste katsete käigus selgub, et segu voolavus torus ei ole piisav, tuleb kasutada täiendavaid pumпасid. [19]



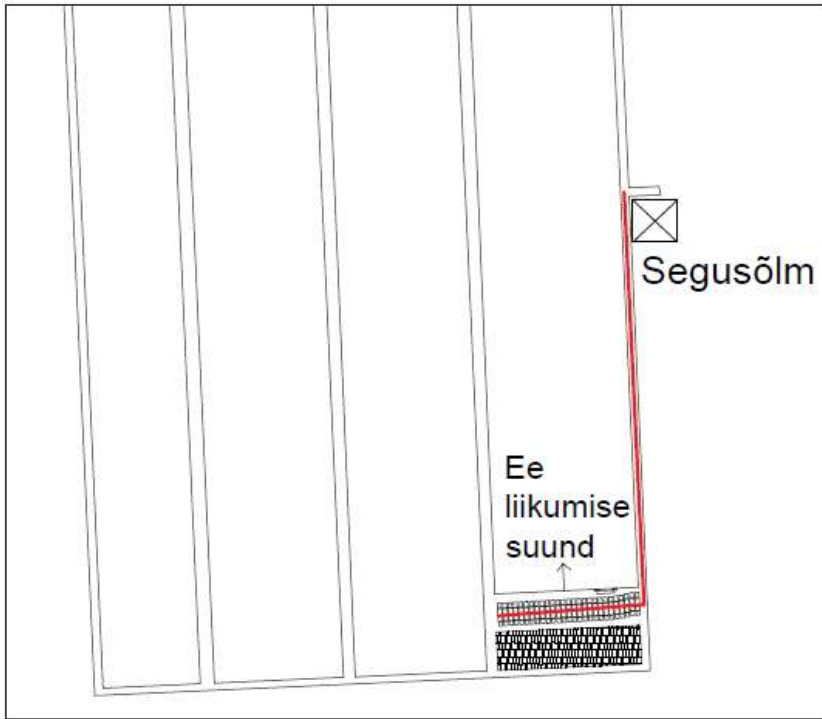
Joonis 16. Liebherr 3.5 segusõlm

Segusõlm peaks planeerima nii, et segu transportitee oleks võimalikult lühike. Joonis 15. on märgitud segusõlme asukoht, mis on paigutatud laavakompleksi ala keskele vähendades seega segu transportimise vahemaid ja torustike pikkust. Samuti tuleb valida optimaalne toru läbimõõt, mille puhul pump jõuab kõige kaugemale pumbata. Mitmete varem tehtud katsete puhul peaks kasutama keskmise voolavusega pasta transportimisel kuni 1 km ja 6,5 MPa rõhu juures, 150-160mm toru. Kasutades neid parameetreid, võime eeldada samasuguseid tulemusi. [13]



Joonis 17. Külgvaade kaevandus eest täitmisega.

Torustik peab olema kinnitatud toestiku hüdrotsilindrite liini vahele ning ee edasi liikudes muudetakse ainult torustiku pikkust selle lülide lisamisel või eemaldamisel. Torustiku paigaldusskeem on kujutatud joonisel (Joonis 17) ja (Joonis 18).



Joonis 18. Täitmise skeem pealt. Punane joon tähistab torustiku paiknemist.

6. Mõju ettevõtte majandustulemustele

Täitmise kasumlikkus ettevõtte majandustulemustele on tuha ja aheraine ladestamise tasude ärajäämine (Tabel 6). Aheraine ladestamise tasud on viimase nelja aasta jooksul näidanud aeglasemat tõusu, kui eeldati. Võime arvata, et ka tulevaste aastate tasumäärade kasv on pigem aeglane. Sellegi poolest hoiab juba ka praeguse tasumäära juures ettevõtte raha kokku. [20]

Tabel 6. Ladestamis tasud läbi aastate

	2013	2014	2015	2016	2017
Põlevkivi tuhka tekitati [mln t]	8,1	7,9	6,3	7	7,2
Taaskasutatud tuhk [mln t]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Kokku ladestati [mln t]	8	7,8	6,2	6,9	7,1
Ladestamise tasu [€/t]	2,07	2,48	2,98	2,98	2,98
Kokku maksti tuha ladestamiselt [mln €]	16,6	19,3	18,5	20,6	21,2
Aherainet tekitati [mln t]	6,3	6,4	6,6	5	4,2
Taaskasutatud aheraine [mln t]	4,4	1,8	2	1,5	1,4
Kokku ladestati [mln t]	1,9	4,6	4,6	3,5	2,8
Ladestamise tasu [€/t]	0,91	1,09	1,31	1,31	1,31
Kokku maksti aheraine ladestamiselt [mln €]	1,7	5,1	6,0	4,6	3,7
Kokku maksti tuhalt ja aherainelt [mln €]	18,3	24,4	24,5	25,1	24,8

Alustades täitmisega kaevandamist ei ole esimestele aastatel kokkuhoid eriti suur, pigem isegi mitte märgatav, sest ehitada tuleb erinevad taristud nagu segukompleks, tuha laadimissõlm ning soetada erinevad seadmed ja masinad, millede hinnad võtsime turu keskmiste hindade järgi. Seega ei ole antud hinnad üldistatavad, mis iganes muu projekti kirjutamisel või eelarve arvestamisel.

Lähtuvalt autori lahendustest Narva karjääri laavakompleksis, on tabelis (Tabel 7) toodud tuha transpordi ja segukompleksi võimalike kulude arvestus.

Tabel 7. Projekti võimalik maksumus ühe tranšee kohta.

Kulu liik	Ühik	Ühiku hind	Kogus	kokku
Täitesegu pumpamiseks mõeldud pumbad	Mln €	1,3	2	2,6
Tuha kuivalt kätte saamiseks Enefit 280	Mln €	3	1	3
Segusõlm mobiilne	Mln €	1,6	1	1,6

Kallurid 25t	Mln €	0,35	4	1,4
Killustiku purustus-sorteerimissõlm	Mln €	0,35	1	0,35
Torustik segu transpordiks 2km	Mln €	0,165	1	0,165
Summa kokku	Mln €	-	-	9,115

Arvesse tuleb võtta, et antud arvutus on tehtud ainult Enefit 280 tuha kohta ning ainult 8. tranšees asuva planeeritava laavakompleksi rajamise kohta. Samuti ei ole need numbrid üldistatavad mis iganes muu tranšee kohta. Kuludele lisanduvad suures mahus ka opereerimis kulud ja seadmete amortisatsioon. Suurendades valmistatavaid täitmisesegu koguseid, suurenevad ka investeeringud kõikidesse kuluartiklitesse.

Kasutades ära rikastusjäägi ja purustades sellest killustikku on võimalik vähendada täitmisega kaasnevaid kulusid. Paigutades tuha ja sõelmed maa alla hoiame kokku aastas 2,06 mln €. Killustiku nõudlus on jäädavalt suur. Selliselt on ettevõttel võimalik oma tootmisprotsessi kõik jäägid suuremas osas ära kasutada ning teenida lisatulu. Võttes arvesse praeguseid turuhindasid on võimalik aastane müügitulu killustiku pealt ~ 7 mln €.

Tabel 8. 8. tranšees tekkiva aheraine ja kasutatava tuha keskkonna tasud aastas juhul kui neid ladestatakse täitmise asemel

Aheraine kogus, mln t	Aheraine KK tasud €/t	KKT aheraine summa, mln €	Tuha kogus, mln t	Tuha KK tasud, €/t	KKT tuha summa, mln €	KKT kokku, mln €
1	1,31	1,31	0,25	2,98	0,75	2,06

Lähtudes tabelites (Tabel 7, Tabel 8) toodud autori arvutustest on tehnoloogilise skeemi tasuvusaeg umbes 2-3 aastat. Tingimusel, et killustikku on võimalik müüa ning keskkonna tasud pidevalt tõusevad.

Kokkuvõtvalt võib märkida, et sellises mahus nagu töö autor on plaaninud, on tagasitäitmise protsess algusaastatel ettevõtte majandustulemustele negatiivne, seda eriti suurte alginvesteeringute tõttu. Kombainlaavade tühimike täitmise tasuvus oleneb suuresti kaevanduse elueast, aastastest kaevemahust ning keskkonna tasude muutustest järgnevatel aastatel.

KOKKUVÕTE

Käesolevas töös kajastub selgelt, et täitmise kogemused maailmas ulatuvad Eestist palju kaugemale. Siin on küll uuritud täitmisega kaevandamis tehnoloogiaid, kuid ühtegi neist ei ole võetud kasutusele. Vastupidiselt maailmale, on olemas palju kaevandusi, kus on kasutusel täitmine. Eestis varem tehtud TA uuringute põhjal võib aga järeldada, et meil on loodud teoreetilised lahendused ja materjalid, kuid kahjuks puudub seni veel ettevõtjate majanduslik laiaulatuslik huvi nii katsetööde, kui täitmise tehnoloogiate juurutamiseks. Seetõttu on vaja veel kordades läbi katsetööde tõestada ettevõtetele täitmise võimalikkuses põlevkivi kaevanduses ja selle majandusliku otstarbekuse. Katsetööde tegemisel peaks silmas pidama tuleviku perspektiive ja uusi kaevandamistehnoloogiaid. Täitmistehnoloogia juurutamisel Eestis tuleks eelkõige vaadata, mida teised maailmas on teinud ja kohandada see enda oludesse.

Õlitööstus on arenemas kiiresti ja tootmismahud pidevalt kasvavad, seetõttu on mõttekas leida perspektiiv õlitööstuse jääkide kasutuseks. Üks nendest võimalustest, nagu ka töös mainitud, võib olla tuhkbetooni valmistamine täitmiseks. Enefit 280 tuhal on piisavad survetugevus näitajad tehistervikute ehitamiseks, lae ülalhoiuks ning pakub võimalusi selle kasutamiseks. Lisaks ei vaja ta lisandeid portlandtsemendi või muu kivistumist suurendava materjali näol. Käesoleva töö praktiline pool teostati kaevandustingimustes, mis annab kõrgema usaldatavuse tulemustele. Selliseid kaevanduses praktilistes olukordades katseid tuleks teha rohkem, et tulemusi oleks võimalik üle kanda reaalsesse olukordadesse.

Töö tulemusena, saab väita ka järgmist, et kasutades täitmisel ainult rikastamisel tekkivaid jääke ja jäätmeid saame täita maa-aluseid tühimikke vaid 20% väljatud põlevkivi mahust. Kui eesmärgiks oleks maapinna stabiilsuse tagamine siis saab suurendada täitematerjali kogust kasutades rohkem aheraine killustikku.

Planeeritava laavakompleksi täitmistehnoloogia maksumus on küllaltki väike kuna kaevandus täidetakse järk-järgult ja täitmismahud on püsivad. Täitmistehnoloogia tasuvus on planeeritud 2-3 aastat tingimusel, et kogu rikastamisel tekkiv jääk - aheraine läheb killustiku tootmiseks ja sõelmed tagasitäiteks, ning nende pealt ettevõtte riigimakse ei maksa. Kui killustik on müügikõlbmatu läheb tasuvusaeg pea 3 korda pikemaks.

Täitmisega kaevandamistehnoloogia kasutuselevõtt avaldab positiivset mõju ka loodushoiule ja looduskeskkonnale. Täites maa-alused tühimikud, suurendame maapinna püsivust ning ladestame vähem jäätmeid maapinnale. [4]

KASUTATUD ALLIKAD

- [1] R. E. K. V ja T. T, VKG Kaevandused OÜ allmaakambrite täitmine aherainekillustikuga, Tallinn: Geoloogia instituut, 2016.
- [2] M. R. L-M. Raado, Põlevkivi kaevandamise- ja töötlemisjääkide kasutamine tagasitäiteks kaevandatud aladel, 2008.
- [3] L. J, A. M ja V. E, Täitmisega kaevandamistehnoloogia kasutuselevõtu võimaluste analüüs, majanduse ja keskkonna nõuetest tehnoloogia rakendamisel, Tallinn: Geoloogia instituut, 2017.
- [4] „Eesti Killustik,“ Eesti Killustik OÜ, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.eestikillustik.ee>. [Kasutatud 17 5 2018].
- [5] „Ene.ttu.ee,“ Ene teatmeteos, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.ene.ttu.ee/elektrijamid/oppeinfo/AAR5420/pump31.html>. [Kasutatud 28 5 2018].
- [6] M. Metsur, M. Kaljuste, I. Tamm, A. Toomik ja R. Kukk, „Narva kaevandamislubade ühendav KMH,“ AS Maves, OÜ Inseneribüroo STEIGER, Tallinn, 2015.
- [7] I. M.Metsur, Põlevkivi kasutamise riikliku arengukava 2016-2030 KSH aruanne eelnõu, Tallinn, 2014.
- [8] J. R. Pastarus ja S. Sabanov, „Backfilling in Estonian oil shale mines,“ %1 *Assessing the Footprint of Resource Utilization and Hazardous Waste Management*, Ateena, 2009.

- [9] M. Masniyom, „Systematic Selection and Application of Backfill in,“ Technischen Universität Bergakademie Freiberg, Freiberg, 2009.
- [1 I. S. o. M. Backfill, Innovations in Mining Backfilling Technology, T. Y. F.P. Hassani & 0] M.J. Scobie, Toim., Rotterdam, 1989.
- [1 W. Brewitz ja T. Rothfuchs, „Concepts and Technologies for Radioactive Waste Disposal 1] in Rock Salt,“ 2007.
- [1 H. T ja W. E, „Transport of heavy metals in a fractured porous block: experiments and a 2] 3-D model,“ %1 *Tracers and Modelling in Hydrogeology* , Liege, 2000.
- [1 C. Clark, J. Vickery ja R. Backer, Transport of Total Tailings Paste Backfill: Results of 3] Full-Scale Pipe Test Loop Pumping Tests, 1995.
- [1 S. Morteza, A review of underground mine backfilling methods with emphasis on 4] cemented paste backfill, Ottawa: Department of Civil Engineering, 2015.
- [1 Z. X, L. J, L. J, L. F ja P. Z, „Investigation of Hydraulic-Mechanical Properties of Paste 5] Backfill Containing Coal Gangue-Fly Ash and Its Application in an Underground Coal Mine,“ *Energies*, 2017.
- [1 Maa-amet, „Eesti vabariigi 2016. aasta maavaravarude koondbilansid,“ 2017. 6] [Võrgumaterjal]. Available: http://geoportaal.maaamet.ee/docs/geoloogia/maavaravarude_koondbilanss_2016_seletuskiri.pdf?t=20170612153232.
- [1 ENMAK 2030 Energiamaajanduse arengukava aastani 2030, eelnõu, Tallinn, 2016. 7]

- [1 „Powerscreen,“ Powerscreen, [Võrgumaterjal]. Available:
8] <https://www.powerscreen.com/wp-content/uploads/2016/04/Powerscreen-Chieftain-2100X-Brochure.pdf>. [Kasutatud 10 5 2018].
- [1 „Specification for the Liebherr Central Mix Batch Plant, Mobilmix 2.25 R-DW,“ Liebherr,
9] [Võrgumaterjal]. Available:
https://www.mascus.com/images/atts/a3dd0d_Mobilmix%202.25%20specs.pdf.
[Kasutatud 9 5 2018].
- [2 „Eesti Energia Aastaruanne 2017,“ Eesti Energia AS, [Võrgumaterjal]. Available:
0] https://www.energia.ee/-/doc/8457332/ettevottest/investorile/pdf/annual_report_2017_est.pdf. [Kasutatud 14 5 2018].
- [2 „Tailings.info,“ Tailpro resource, [Võrgumaterjal]. Available:
1] <http://www.tailings.info/storage/backfill.htm>. [Kasutatud 22 4 2018].
- [2 Keskkonnaministeerium, Riigi jäätmekava 2014-2020, 2014.
2]
- [2 A. Stimmer, Täitesegud ja kaevndamise tehnoloogia Estonia kaevanduse tingimustes,
3] 2013.
- [2 Eesti põlevkivi energeetilise kasutamise parima võimaliku tehnika uuring, Tallinn, 2016.
4]
- [2 Mäeinstituut, Kaevandamine ja keskkond, Tallinn, 2012.
5]

[2 A. T. I. V. E. Reinsalu, Kaevandatud maa, Tallinn: TTÜ Mäeinstituut, 2015.

6]

[2 „Riigiteataja,“ [Võrgumaterjal]. Available:

7] <https://www.riigiteataja.ee/akt/125052018004>. [Kasutatud 25 5 2018].

[2 Putzmeister, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.pmsolid.com/cps/rde/xchg/SID->

8] 00B1E1CF-8982832A/psp/hs.xsl/6873_ENU_HTML.htm. [Kasutatud 29 03 2017].

[2 Y. Y., C. Z. ja W. R., „Development and Challenges on Mining Backfill Technology,“

9] *Journal of Materials Science Research*, kd. 1, nr 4, 2012.

[3 C. Q., C. J. Z. H. ja B. J., „Implementation of Paste Backfill Mining Technology in Chinese

0] coal mines,“ *The Scientific World Journal*, kd. 2014, p. 8, 2014.

[3 G. J. Donovan, The effects of backfilling on ground control and recovery in thin-seam

1] coal mining, Virginia, 1999.

LISAD

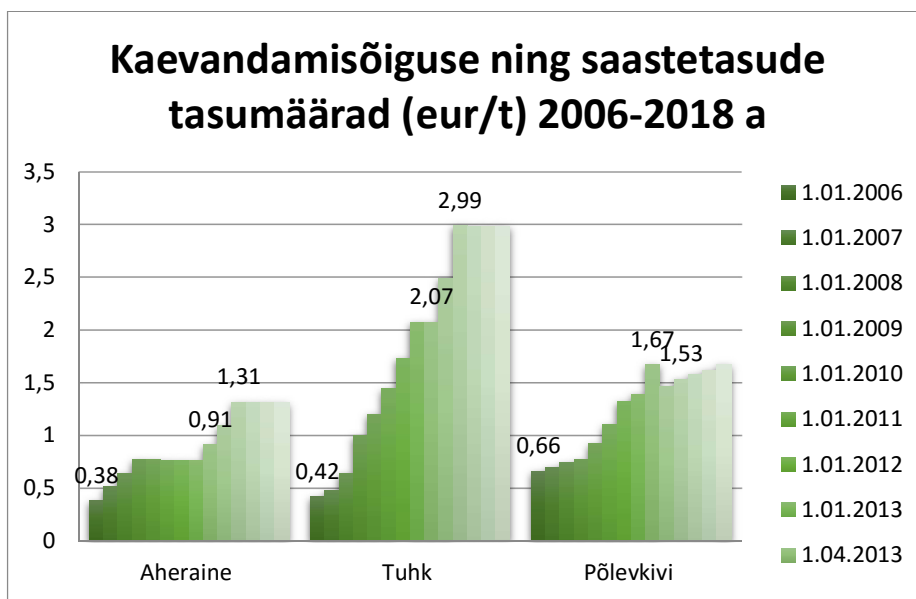
Lisa 1: Survetugevuskatsete koondtabel

Tabel 9 Survetugevus katse andmed

Tuhk	Vanus päeva	Mõõtmed, mm			A, cm ²	Mass, kg	Näiv- tihedus, kg/m ³	F, kN	Survetugevus, MPa		
		a	b	h					üksik	keskm	
Enefiit 280 (25.04)	16	188	172	191	323,4	11,643	1890	68,16	2,11	2,2	
		157	172	193	270	10,297	1980	65,21	2,42		
		174	164	200	285,4	11,188	1960	61,29	2,15		
		160	179	204	286,4	11,274	1930	64,72	2,26		
	29	184,5	214	184	394,8	14,379	1980	84,34	2,14	2,2	
		184	216,5	182	398,4	13,843	1910	86,79	2,18		
		183	218,5	158	399,9	12,264	1940	89,73	2,24		
	57	210	160	190	336	12,642	1980	76,49	2,28	2	
		210	160	185	336	12,289	1980	55,9	1,66		
	11 blokk CFB	16	178	162	190	288,4	8,896	1620	6,37	0,22	0,2
162			171	180	277	8,257	1660	5,39	0,19		
163			176	179	286,9	8,758	1710	6,86	0,24		
164			177	188	290,3	9,153	1680	8,34	0,29		
29		175,5	203	129	356,3	7,693	1670	30,89	0,87	0,9	
		180	202	140	363,6	8,465	1660	33,83	0,93		
		177,5	207	183	367,4	11,314	1680	34,81	0,95		
57		205	160	173	328	9,277	1640	49,52	1,51	1,6	
		205	170	165	348,5	9,566	1660	56,39	1,62		
		170	175	200	297,5	10,087	1690	42,66	1,43		
		205	160	173	328	9,277	1640	49,52	1,51		
11 blokk CFB tuhk		16	160	172	194	275,2	9,19	1720	17,65	0,64	0,7

+ 5% portla nd- tseme nt		159	180	200	286,2	9,835	1720	21,57	0,75			
		152	175	195	266	9,196	1770	18,63	0,7			
		158	182	189	287,6	10,006	1840	22,06	0,77			
	29		186	219,5	155	408,3	10,657	1680	78,45	1,92	1,9	
			175,5	209	155	366,8	9,797	1720	67,18	1,83		
			187	210	157	392,7	10,767	1750	81,89	2,09		
			176,5	211	146	372,4	9,957	1830	70,12	1,88		
	57		175	190	180	332,5	10,998	1840	134,9	4,06	3,7	
			160	204	185	326,4	10,839	1790	97,4	2,98		
			175	200	187	350	11,248	1720	149,7	4,28		
			206	160	185	329,6	10,814	1770	110,1	3,34		
	DeS Ox	16		165	186	194	306,9	11,162	1880	7,35	0,24	0,3
				185	163	190	301,6	11,086	1940	8,34	0,28	
			165	181	186	298,7	11,109	2000	8,34	0,28		
			176	166	200	292,2	11,174	1910	8,83	0,3		
29			195	216,5	157,5	422,2	12,49	1880	16,18	0,38	0,4	
			191	214	135	408,7	10,265	1860	17,16	0,42		
			194,5	215	158	418,2	12,326	1870	14,71	0,35		
57			220	152	200	334,4	12,325	1840	7,85	0,23	0,2	
			190	205	195	389,5	13,557	1790	8,83	0,23		
			195	180	185	351	12,078	1860	8,83	0,25		

Lisa 2: Saastetasumäärade võrdlev tabel



Joonis 19. Graafik kaevandamisõiguse ning saastetasude tasumääradest

