

Tallinna Tehnikaülikool
Energeetikateaduskond
Mäeinstituut

Geotehnoloogia õppesuund, AAGM51

Martin Nurme, 121837

Magistritöö, AKM70LT

Lõputöö ID, 2480

MÄRGSEPARERIMINE MAAVARADE KAEVISTE
RIKASTAMISEL

Juhendaja
Veiko Karu, PhD

Tallinn
Jaauuar 2015

MÄRGSEPARIIRIMINE MAAVARADE KAEVISTE RIKASTAMISEL

Sisukord

Abstract.....	6
1. Sissejuhatus.....	7
2. Töös kasutatud mõisted	8
3. Maavarade rikastamine	9
3.1. Käsitsi rikastamine.....	9
3.2. Märgsetitamine ja hüdrotsüklon.....	9
3.3. Rikastamine raskes vedelikus.....	10
3.4. Kuivrikastamine purustuskopaga.....	10
3.5. Elektriline rikastamine	10
3.6. Flotatsioon.....	12
3.7. Pesemine	12
3.8. Maakide rikastamine	13
4. Märgsepariiriseade Alljig.....	14
4.1. Metoodika.....	14
5. Põlevkivi märgsepariirise katsetööd	17
5.1. Katsetava materjali päritolu	17
5.2. Töö käik.....	17
5.3. Katsetulemused.....	21
6. Fosforiit märgsepariirise katsetööd	27
6.1. Töö käik.....	27
6.2. Katsetulemused.....	28
7. Kruusa märgsepariirise katsetööd	32
7.1. Töö käik.....	32
7.2. Katsetulemused.....	35
8. Kivisöe märgsepariirise katsetööd	38
8.1. Töö käik.....	38
8.2. Katsetulemused.....	39
9. Diskussioon.....	42
9.1. Materjali tükisuurus ja kaod.....	42
9.2. Materjali valik ja seadme parameetrid	43
9.3. Märgsepariirise rikastamistehnoloogias	45
10. Kokkuvõte	47
11. Kasutatud allikad	48

MÄRGSEPARERIMINE MAAVARADE KAEVISTE RIKASTAMISEL

Tabelid

Tabel 1 Põlevkivi katsetööde tulemused	23
Tabel 2 Põlevkivi katsetööde tulemused 2	23
Tabel 3 Fosforiidi katsetööde tulemused.....	29
Tabel 4 Kruusa katsetööde tulemused	36
Tabel 5 Kruusa katsetööde tulemused	36
Tabel 6 Kivisöe katsetööde tulemused	39
Tabel 7 Maavara teekond massivist tooteni, kasutades märgsepareerimist	45
Tabel 8 Rikastusmeetodi valik	46

Joonised

Joonis 1 Estonia kaevanduse märgrikastusvabrik	11
Joonis 2 Kuivrikastamine Allu purustuskopaga	11
Joonis 3 Kaevisel liikumine Alljig katseseadmes. 1- kaevis oma loomulikus olekus 2, 3- seadme sisselülitamisega hakkab vesi materjali üles-alla raputama ja sorteerib selle kihtidesse. 4- Seadme töö lõppedes on materjal jagunenud kihtideks	15
Joonis 4 Märgsepareerimis-seade Alljig (foto: Mäeinstituut).....	16
Joonis 5 Erinevate kihtide kogumine märgsepareerimis-seadmest (foto: Mäeinstituut)	16
Joonis 6 Katsetava materjali terastikuline koostis	18
Joonis 7 Põlevkivi märgsepareerimise katsetöö skeem	19
Joonis 8 Põlevkivi, sõelaavaga 16-31,5 mm, märgsepareerimise seadmes enne katse teostamist	20
Joonis 9 Põlevkivi, sõelaavaga 16-31,5 mm, märgsepareerimise seadmes pärast katse teostamist	20
Joonis 10 Põlevkivi, sõelaavaga 16-31,5, märgsepareerimise seadme alumises kihis	21
Joonis 11 Katsetatava materjali protsentuaalne jaotumine kihtide viisi	24
Joonis 12 Põlevkivi ja lubjakivi massiprotsendid erinevates kihtides	24
Joonis 13 Põlevkivi ja lubjakivi massiprotsendid erinevates klassides	25
Joonis 14 Eri põlevkiviklasside kaod, mis tekkisid märgsepareerimise käigus	25
Joonis 15 Käsitsi rikastatud 31,5-63 mm põlevkivi kiht 1	26
Joonis 16 Käsitsi rikastatud klassi 31,5-63 mm lubjakivi kiht 4	26
Joonis 17 Katsetatud materjali terastikuline koostis.....	28
Joonis 18 Fosforiidi kaevis katse alguses	30
Joonis 19 Fosforiidist pestakse liiv välja	30
Joonis 20 Katsetatava materjali protsentuaalne jaotumine kihtide viisi	31
Joonis 21 Fosforiidi katsetööde massiprotsendid. Esimesel juhul kasutati 1 mm ja teisel 4 mm sõela	31
Joonis 22 Kruusa-liiva segu märgsepareerimise seadmes enne katse teostamist	33
Joonis 23 Kruus märgsepareerimise seadmes pärast katse teostamist, kus on näha, et liiv on krusafraktsioonist välja pestud	33
Joonis 24 Katsetatud materjal koosnes lubjakivist, tardkivimist ja liivakivist	34
Joonis 25 Katsetatud materjali terastikuline koostis.....	34
Joonis 26 Katsetatava materjali protsentuaalne jaotumine kihtide viisi	36
Joonis 27 Lubjakivi, tardkivimi ja liivakivi massiprotsendid erinevates kihtides	37
Joonis 28 Kivisöe märgsepareeritud klass. Lääkivad mustad tükid on kivisüsi, halli varjundiga materjal on aheraine. Foto: Mäeinstituut.....	40
Joonis 29 Katsetatud materjali terastikuline koostis.....	40
Joonis 30 Kivisöe ja aheraine massiprotsendid erinevates klassides.....	41

MÄRGSEPARIIRIMINE MAAVARADE KAEVISTE RIKASTAMISEL

Joonis 31 Põlevkivi tükisuuruse sõltuvus märgsepariirimise seadme tõstesagedusest ja rõhust	44
Joonis 32 Sõelumata materjalide tükisuuruse sõltuvus märgsepariirimis seadme tõstesagedusest ja rõhust.....	44

MÄRGSEPARIIRIMINE MAAVARADE KAEVISTE RIKASTAMISEL

Mäeinstituudi tudengitöö ülesanne

ID 2480 Ülesanne kehtib kuni 23.01.2015

Lõputöö Magistritöö, 30 EAP, AKM70LT

Nimetus **Märgsepareerimine maavarade kaeviste rikastamisel**

Name Mineral processing with wet separation

Ülesande püstitus

Teostada märgsepareerimise katsetööd. Analüüsida erinevate maavarade kaeviste märgsepareerimise tulemusi: põlevkivi, fosforiit, kiviüsi, kruus jne. Analüüsi tulemusena leida märgsepareerimise kasutamise võimalused rikastamise tehnoloogias. Analüüsida rikastamise tehnoloogia sobivust, tasuvust ning efektiivsust.

Üliõpilane Martin Nurme

Juhendaja Veiko Karu

Seotud töö juht Ingo Valgma

Seotud teema Kivimi raimamine ja rikastamise valikmeetoditega

Eelkaitsmise aeg 9.01.2015

Kaitsmise aeg

23.01.2015

Kaitsmise lõpphinne

Komisjoni esimees

Allkiri

20. november 2014. a.

Abstract

Department of Mining at Tallinn University of Technology acquired the water-operated wet separation unit Alljig S400/600x400 during the Min-Novation project. The unit separates crushed material at a constant pressure and number of rotations. The working principle of the wet separation method is based on dissimilar densities of various materials. Following gravity, the densest and heaviest mineral material falls into lower layers. Respectively, the material with smaller density remains at top levels. Each layer can be removed separately from the others, to see separation process. Water and the fine material are separated by a sieve. The portion of mineral material, which goes through the sieve is considered waste. It can be let sedimented for potential re-use as a by-product.

There are several separation methods what we can choose for separation to increase the mineral quality. The aim of the present study is to find out how useful is wet separation. The tested materials were oil shale, coal, phosphorite rock and gravel. The main questions were established before testing: How do sieved and unsieved material behave? What is the most suitable limestone aggregate class? Is the wet separation method useful? How large is the percentage of losses? After all testing, answers were found.

This study indicates that these materials, the best results can be achieved with oil shale and coal. Different mineral materials could be divided into various layers. The dirt ended up at the bottom of the wet separation unit and the useful component was on the top. The most suitable material classes were 4-8 mm and 8-16 mm. When phosphorite rock was being tested, sand was washed out from the seashells, because the sand grain size is smaller than the selected sieve size. If the sieve with smallest size is used, stratification does not take place. The same happened with the gravel, but some regularities were taking place.

The testing results can be considered as satisfactory. The characteristic of the wet separation unit and material class were identified. In any case, testing should be continued, because separation is the most important and expensive procedure in mines. Every new solution may reduce losses and contribute in effective use of mineral resources.

1. Sissejuhatus

Maavarasid kaevandatakse elektrienergia, ehitusmaterjalide, väetiste ja palju muu igapäeva eluks vajalike ressursside saamiseks. Tooraine kättesaamiseks maapõuest on vaja valida õige tehnoloogia ja moodus. Tihtipeale ei suuda tehnoloogia väljata vaid kasulikku maavara, vaid segu kaasneva maavaraga. Kvaliteedi tõstmiseks tuleb kaevist rikastada, et seda muuta tootjatele kasutamiskõlblikuks.

Maavarade rikastamiseks on palju erinevaid lahendusi, kasutades ära materjali omadusi, näiteks tihedus, magnetilisus või elektrilisus. Üheks selliseks on märgsepariirimine, kus eri tihedusega materjalid eraldatakse veega rappumise tulemusena kihtideks. Kuna iga maavara omadused on erinevad, ei saa kõikide puhul kasutada ühesugust rikastamise meetodit. Seepärast analüüsib järgnev magistritöö erinevate maavarade käitumist märgsepariirimise pilootseadmega töötlemisel.

Magistritöö ülesande püstituseks on teostada märgsepariirimise katsetööd. Analüüsida erinevate maavarade kaeviste märgsepariirimise tulemusi: põlevkivi, fosforiit, kivisüsi ja kruus. Analüüsi tulemusena leida märgsepariirimise kasutamisevõimalused rikastamise tehnoloogias. Analüüsida rikastamise tehnoloogia sobivust, tasuvust ning efektiivsust. Probleem seisneb märgsepariirimisemeetodi kasutamiseala leidmises. Töö annab vastuse küsimusele, mis maavarade puhul saab märgsepariirimist kasutada ja milliste parameetrite puhul?

Järgnev töö on seotud TTÜ Mäeinstituudi uuringuga B36 Kivimi raimamine ja rikastamine valikmeetodiga. Töö teostamisel ja katsete tegemisel olid abiks TTÜ Mäeinstituudi assistent Veiko Karu ja spetsialist Tiit Rahe.

2. Töös kasutatud mõisted

Maavara – looduslik kivim, setend, gaas, vedelik, mis oma omadustega või lasumistingimustega vastavad Maapõue seaduses või tellija poolt kehtestatud nõuetele ning on keskkonnaregistris arvel.

Kaevis – looduslikust olekust eemaldatud kivimi või setendi tahke osa.[1]

Aheraine – kaevandatava maavara kaevises esinevad kivimid, mida kaevandamise ajal pole majanduslikult või tehnoloogiliselt mõtet kasutada, kuid mis võib leida hiljem kasutust. [2]

Klass – vastavalt standardile EVS 670 Kaubapõlevkivi kasutatakse põlevkivi tükisuuruse hindamiseks sõna klass.[3] Sama kehtib ka kõigi teiste maavarade kohta. Ehituse valdkonnas kasutatakse materjali tükisuuruse hindamiseks sõna fraktsioon.

Fraktsioon – mäenduses tähendab see klassi eri omadustega komponente: põlevkivi, lubjakuivi jne. [4]

3. Maavarade rikastamine

Rikastamiseks nimetatakse kasuliku kivimi eraldamist aherainest. Siia kuuluvad nii põlevkivi eraldamine lubjakivist, materjali pesemine peenosakekestest, kui ka metalli tootmine maagist. Läbi rikastamise suurenevad kaeviste positiivsed omaduste, nagu kütteväärtus ning õli saagikus. [5] Rikastamistehnoloogia puudumisel saab kasutada ka selektiivset väljamist [6], mida saab teostada näiteks kombainiga või ripperiga. [7] Rikastamise meetodeid on mitmeid ja selle valik sõltub maavarade omadustest.

2008. aastaks oli Eestis üle 150 miljoni tonni põlevkivi rikastusjääke ladestatud aherainemägedesse. [8] Sõltuvalt sellest, mis omadustega aheraine on, saab seda kasutada teedeehituses, täitematerjalina või kaevanduste täitmisel. Viimane neist aitab vähendada põlevkivi kaevandamisel tekkivaid kadusid ning suurendab kaevandatud alade püsivust. [9]

3.1. Käsitsi rikastamine

Käsitsi rikastamine on üks vanimaid meetodeid. [10] Kui Eestis hakati põlevkivi kaevandama, eraldati aheraine põlevkivist tootmisees. Selle tarbeks olid eraldi põlevkivi- ja paekivivagonetid, mida ühe raudteepaari tõttu vahetati pidevalt. [11] Lubjakivi kasutati kaevandatud alade täitmisel. Põlevkivi kaevandamise arenedes eraldasid kaevurid vaid suuremaid lubjakivi tükke. Kaegis viidi spetsiaalsesse kompleksi, kus aheraine eraldati käsitsi, kasutades selleks paenoppijaid. Käsitsi rikastamisest loobuti kaevandamismahtude suurenemisel, sest meetod on aeglane ja liialt kulukas.

3.2. Märgsetitamine ja hüdrotsüklon

1960.aastal alustas Ahtme põlevkivikaevanduse juures tegevust esimene katserikastusvabrik. Kaegis purustati ning setitus toimus suruõhu abil veejoaga pulseerimisel. Tulemusena jagunes erinevatesse kihtidesse eri tihedusega lubja- ja põlevkivi. Põlevkivi tiheduseks võeti 1,3-1,8 g/m³ ning aherainel 2,0-2,5g/m³. Märgsetitamisega küll suurenes kütteväärtus 8,8-9,2 MJ/kg-lt 14,5-14,7 MJ/kg-ni, kuid kaevise eelpurustamise vajaduse tõttu loobuti Eestis sellest. [12]

Põlevkivi peenrikastamiseks saaks kasutada hüdrotsüklonit. See on seade, kuhu siseneb tahke ja vedela aine segu ehk pulp, millest pöörlemisega eraldatakse tahke komponent ja puhastatud vedelik enne settebasseini minekut. Sõltuvalt seadmest, saab pulbist eraldada näiteks 0-5 ja 0-8 mm osakesi. Kasutades ära aheraine ja põlevkivi tihedusomadused oleks ka see meetod üks võimalikest rikastusmeetoditest. [13]

3.3. Rikastamine raskes vedelikus

Tänapäeval rikastatakse põlevkivi raskes vedelikus, milleks on jahvatatud magnetiidist suspensioon. [14] Kaevis suunatakse rikastusvabriku (Joonis 1) suspensioonivannidesse, kus vedeliku tihedus on $2,1 \text{ g/m}^3$. [15] Põlevkivi kui väiksema tihedusega maavara jääb vedeliku pinnale ning kooritakse ära. Raskem materjal, ehk lubjakivi vajub põhja. Rikastusvabrikutes saadakse mäemassi töötlemisel kolm põhiprodukti: enne rikastamist väljasõelutud peenpõlevkivi (0-25 mm), kontsentraat (25-125 mm) ja lubjakivijäägid (20-300 mm). [5]

3.4. Kuivrikastamine purustuskopaga

Purustuskopp on kopp, millel on avatav ja suletav põhi ning vastassuunas pöörlevad hammastega võllid, mille vahel purustatav materjal puruneb. Energiat saab tööorgan masinalt, mille külge on see kinnitatud ning millele on hüdraulilise jõu väljund. Purustuskopa eelis rikastusvabrikutest on mobiilsus, maavara võib rikastada otse kallurile või puistangusse. [16]

Narva karjääris tegi 2013. aasta augustis katseteid Soome firma Allu poolt valmistatud $6,9 \text{ m}^3$ mahuga võllpurustiga purustuskopp M 3-32 Prototype 001 (Joonis 2). Purustuskopp võtab kaevist, purustab põlevkivi ja koorib lubjakivi küljest kasuliku komponendi. Materjal, mis jääb purustuskoppa on aheraine ja tühjendatakse aherainepuistangusse. Purustuskopa investeeringud on väiksemad võrreldes suure statsionaarse töötlemisjaamadega. Allu on välja töötanud terve rea väiksemaidki kuivrikastamise seadmeid, näiteks 4 m^3 purustuskopa M3-20. [17]

3.5. Elektriline rikastamine

Elektrilisel rikastamise meetodeid on välja töötatud mitmeid, kasutades ära elektri- ja magnetvälja. Üks lahendus on materjal purustada, suunata konveierile ja lasta läbi elektrivälja, kus materjaliosakestele antakse sõltuvalt nende omadustest eri laengud. Materjal suunatakse konveierilt läbi kolu joana kogumisanumasse. Need osad, mis on laetud (või magnetiliste omadustega), tõmmatakse liikuvale lindile juhtides need materjalijoast eemale. See joa osa, mida ei tõmmatud ära, lasti voolata kogumisanumatesse. [18]

Viivikonna karjääris katsetati 1950ndatel tolmpõlevkivi elektrilist rikastamist. Selleks kasutati mitmeastmelist langeva vooluga separaatorit, millel oli tasapinnalise elektriväljaekraaniga elektro-separaator. Materjal purustati tükisuuruseni, mis jäi alla 1,68 mm. Seejärel saadeti materjal eelseparaatorisse, kus tuulamise teel toimus materjalide klassidesse jaotamine.

MÄRGSEPARIIRIMINE MAAVARADE KAEVISTE RIKASTAMISEL



Joonis 1 Estonia kaevanduse märgrikastusvabrik



Joonis 2 Kuivrikastamine Allu purustuskopaga

Tuulamisega puhutakse materjali joast kergemad osakesed välja. Tuulamise tootlikkus oli 1 tonn/m² tunnis. See toimus režiimil, kus elektroodid olid pingestamata olekus. [19]

3.6. Flotatsioon

Fosforiidi moodustavad fosfaati sisaldavad kofad koos aheraine liivaga. Eestis toimus rikastamine kodade väljasõelumisega liivast ning selle jahvatamisega fosforiidijahuks. Rikastamise kasutegur oli 85%. Eestis oli kasutusel ka Saksa tehnoloogia, mis seisnes flotatsioonil. Selle tehnoloogia kasutegur oli 80%. [20]

Fosforiidi kaevis purustatakse ja jahvatatakse kuulveskites 4-5 mm osadeks. Kofad purunevad kergesti, kuid kaevises on ka tugevamaid osakesi, näiteks diktüoneemakilta, mis ei purune. Jahvatatud materjal juhatakse pöörlevasse silindersõela, kus eraldatakse suurem kogus liiva ja miinimum kogus P₂O₅. Seejärel alustab materjal flotatsiooni ehk liiva väljapesemist, mis põhineb materjalide erineval märguvusel vedelikuvannis. Vedeliku pH väärtus on 7-7,5 juures ning see sisaldab katioonide reagente. Katsetatud on ka aniooni ning anioon-katiooni flotatsiooni. Vedeliku ja tahke aine osa oli kolm ühele. [21]

Kasuliku komponendi külge kleepuvad õhumullid, mistõttu see ei märgu, jäädes vedeliku pinnale vahuna. Liiv märgub ja langeb basseini põhja. Samal meetodil kasutatakse ka vase tootmist. [22] Flotatsiooni rikastamise jäägina tekib flotoliiv, mis pumati rikastusbasseinist flotoliivapuistangusse, mida on näha tänasel päevalgi Maardus. Flotoliiva saab kasutada täitematerjalina. [10]

3.7. Pesemine

Kruusa kaevisest liiva ja tolmu väljapesemist ja lubjakivist saviosakeste väljapesemist võib samuti nimetada rikastamiseks. Materjal juhatakse paaki, mille põhjas on vastava läbimõõduga sõel. Seejärel voolab materjali peale kas surveiline vesi või vesi liigub sõela alt üles-alla, loksutades kaevist. Kõige paremini on väljapesemist laboratoorselt teostada märgsõelumise teel.

Väljapesemist märgsepariirimise seadmega Alljig teostati 2013. aastal Vão maardlast pärit lubjakiviga, millest pesti saviosakesed välja. Parameetrid olid: sõel avaga 4 mm, 60 üleslüket minutis, rõhk oli nullilähedane. Katse kestis 30 minutit, ehk märgsepariirimise olukorrast kauem, et saavutada maksimaalne efektiivsus. Katsetöödest järeldus, et seade saavutas parimad peenosiste eraldamise tulemused võrreldes teiste katsetatavate meetoditega. [23]

3.8. Maakide rikastamine

Metallimaagid koosnevad samuti kasulikust komponendist (mineraalist või metallist) ja aherainest. Erinevates rauamaakides võib raua sisaldus olla 30-60%. Mitmetel juhtudel rikastatakse maagist hetkeseisult kasulikud komponendid välja ning ülejäänud materjal jäetakse aherainepuistangutesse, mis hiljem rikastatakse uuesti, teiste elementide või mineraalide saamiseks. Levinud metallitoorme ettevalmistamise meetod on magnetrikastamine. Kaevis peenestatakse, juhitakse konveieril läbi magnetvälja. Vähemmagnetilistel materjalidel kasutatakse lisaks magnetiseerivat särdamist. Seejärel juhitakse magnetiline ja mittemagnetiline materjal erinevatesse kogumispunktidesse. Maakide rikastamiseks kasutatakse ka gravitatsiooni, elektrolüüsi ning veejoaga pesemist. [22]

Eestis on rikastatud ka tänapäeval maavarana mittearvel olevat diktüoneemakilta, millest toodeti uraani. Uraani sisaldus meetrises kihis küündib 304 g/t. Seda keemilist elementi leidub Eestis ka fosforiidis ja kristallilises aluskorras. [24] Sillamäel paiknes 1980.aastani uraani rikastamisvabrik. [25] Kaevis rikastamine seisnes selle peenestamises, põletamises. Järgnes töötlemine väävelhappega, leostamine ja filtreerimine. [26]

4. Märgsepariirimiseseade Alljig

2013. aastal soetas TTÜ Mäeinstituut projekti Min-Novation raames pulseeriva märgrikastusseadme Alljig S400/600x400 (Joonis 4). Tootjaks on Saksa firma Allmineral. Seadmega saab eraldada kaevisest kasulikku materjali ja aherainet. Töö põhimõte seisneb materjali rappumises ja raskemate osade allavajumises. Töö lõppedes on materjal jagunenud erinevateks kihtideks, mida on kerge üksteisest eraldada.

Antud töö juures katsetati Alljigi katseseadmega põlevkivi, fosforiidi ja kruusa kaevist. Eelnevate katsetööde raames on katsetatud põlevkivi, savikat lubjakivikaevist ning kivisütt. [27] Seadme kasutamisel tekkiv mastaabiefekt on minimaalne, sest pilootseadme tootja Allmineral müüb ettevõtetele täismõõtmetega märgsepariirimise seadmeid. Seetõttu on tootja huvitatud pilootseadmega tutvustama oma tööstustoodangut võimalikult autentselt.

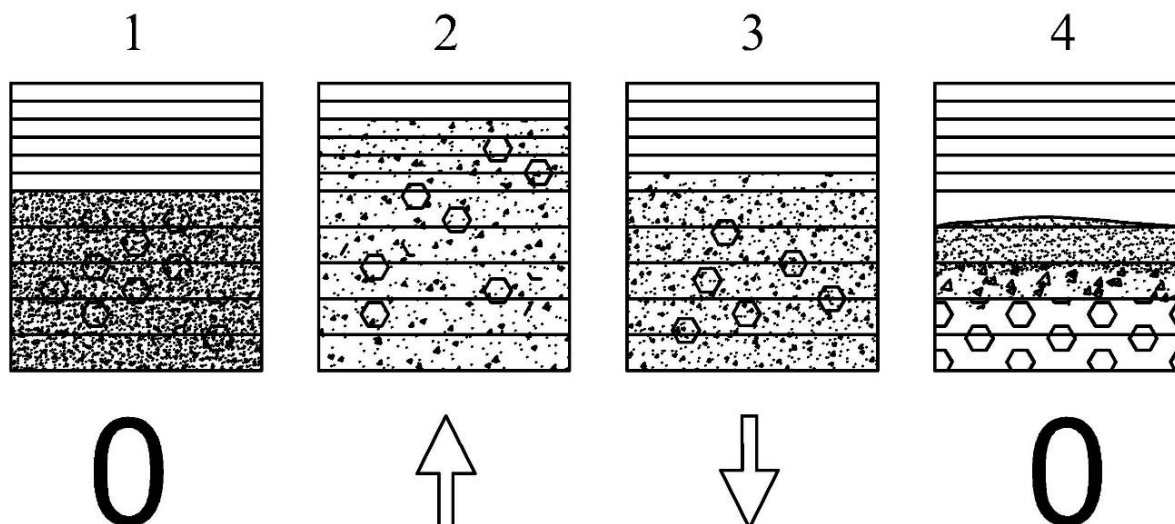
4.1. Metoodika

Alljigi seadme üks koostisosa on veepaak, mis tuleb katse alguses täita ääreni veega. Enne vett sisse lastes tuleb veenduda, et seadme all olevad väljalaskekraanid on kinni, sest muidu jookseb vedelik paagist välja. Kraanid jäetakse lõhki külmumise ohu tõttu lahti, peale seadme pesemist katse järel. Seejärel asetatakse paagi ülemisele ehk lahtisele osale sõel. Sõelasiid on 4 erinevat vastavalt ümmargustele sõelaavadele, mille läbimõõdud on 1, 2, 3 ja 4 mm.

Sõela peale kinnitatakse raam, kuhu lähevad järjest üksteise peale 5 suurt ja 6 väikest pleksiklaasist proovikasti. See kas enne tuleb panna suured või väikesed kastid, sõltuvad materjali tükisuurusest. Kastide ääred on varustatud kummidega, et haakuda teise proovikastiga ja isoleerida need vettpidavaks. Kastid on ruudukujulised ning välimiste mõõtmetega 350x350 mm ja sisemiste mõõtmetega 331x331 mm. Väikese kasti kõrgus on 25 mm ja maht 2,7 liitrit ning suure kõrgus 50 mm ja maht 5,5 liitrit. Raamis olevate proovikastide kogumaht on 44 liitrit.

Vastavalt materjali terasuursele, visuaalselt, pannakse alumisteks kihtideks peene tükisuuruse juures väikesed proovikastid, suuremate materjaliklasside puhul suured proovivõtukastid. Materjal valatakse ettevaatlikult ja rahuliku joana proovikastidesse nii, et täituksid väikesed või suured proovikastid, mitte kõik 11 raamis olevat kasti. Materjali liikumiseks tuleb jätta ruumi. Hea tulemuse saab, kui proovianum on täidetud viie alumise kihi kõrguselt. Lihtsuse mõistes tuleks materjali kastidesse valada nii, et ei jääks pooleldi täis olevat kasti.

MÄRGSEPARIIRIMINE MAAVARADE KAEVISTE RIKASTAMISEL



Joonis 3 Kaevisse liikumine Alljig katseseadmes. 1- kaevis oma loomulikus olekus 2, 3- seadme sisselülitamisega hakkab vesi materjali üles-alla raputama ja sorteerib selle kihtidesse. 4- Seadme töö lõppedes on materjal jagunenud kihtideks

Alljigi seadme vasakul küljel asub seadme sisselülitamise paneel. Esmalt tuleb vajutada rohelist nuppu, kirjaga „Rotary Valves“ ning seejärel „Blower“, millega mootor ja ventilaator lähevad tööle. Töö sulgedes peab vajutama teises järjekorras nende all olevaid punaseid nuppe. Juhtpaneelil on veel nupp „Stroke adjustment“, millega saab reguleerida vee tõstete sagedust. Numbrilise väärtuse ühikuks on tõstete arv minutis.

Vesi tõuseb veepaagist läbi sõela üles ning tõstab ja sorteerib materjali ning peseb välja osakesed, mis on väiksemad kasutatavast sõelaavast. Katse lõpus jaguneb raskem materjal alumistesse kihtidesse ning kergem ülemistesse. Seadme tööpõhimõte on toodud joonisel Joonis 3. Tootja poolt väljapakutud tööaeg konstantsete parameetrite juures (tõstete arv ja rõhk) on 15 minutit. Rõhu väärtust näitab õhumahuti all olev näidik vahemikus 0-0,1 bari. Rõhk ja tõstete arv sõltub materjali omadusest ja sõela ava valikust. Millised parameetrid valida, tuleb otsustada peale masina tööle panekut. Vajadusel võib käe panna läbi materjali sõelani ja katsuda kui hästi vesi liigub läbi sõela ja kui palju vaba ruumi tekib materjali vahele veetaseme tõusul.

Kui katse on läbi tuleb lülitada seade välja, lasta vesi voolata materjali vahelt veepaaki ning seejärel avada veepaagi all olevad kraanid ning juhtida pulp välja. Lisaks veele väljuvad peenosakesed, mis läksid läbi sõela. Pulbist saab setitada maavara välja, kuid antud töös seda ei vaadelda. Järgmisena tuleb tühjad proovivõtukastid ära võtta, ja raami külge kinnitada spetsiaalne kogumiskast (Joonis 5), kuhu iga täis proovikast tuleb ükshaaval tühjendada.

MÄRGSEPARIIRIMINE MAAVARADE KAEVISTE RIKASTAMISEL



Joonis 4 Märgsepariirimsseade Alljig (foto: Mäeinstituut)



Joonis 5 Erinevate kihtide kogumine märgsepariirimsseadmest (foto: Mäeinstituut)

5. Põlevkivi märgsepareerimise katsetööd

Põlevkivi on savika ja karbonaatse koostisega peeneteraline settekivim, mis sisaldab orgaanilist ainet ehk kerogeeni. Orgaaniline aine määrab ära õlisaagise ja kütteväärtuse. [28] Põlevkivi on Eesti tähtsaim energeetiline maavara, mida on kaevandatud juba üle 95 aasta. Maavara on kaevandamisväärne, kui kihindi energiatootlus on vähemalt 35 GJ/m². [29] Lähtudes põlevkivikihi geoloogilisest ehitusest, vahelduvad põlev- ja lubjakivikihid vaheldumisi. Põlevkivi väljamisel saadav kaevis koosneb kasulikust komponendist ehk põlevkivist ja aherainest ehk lubjakivist.

Põlevkivi märgsepareerimise katsetööde ülesandeks oli hinnata kaevisse käitumist rikastusmeetodi valikul ja välja selgitada tingimused, mille puhul saavutatakse parimad tulemused. Lisaks hinnati kaevisse eelrikastamise meetodi efektiivsust, milleks oli kuivrikastamine purustuskopaga.

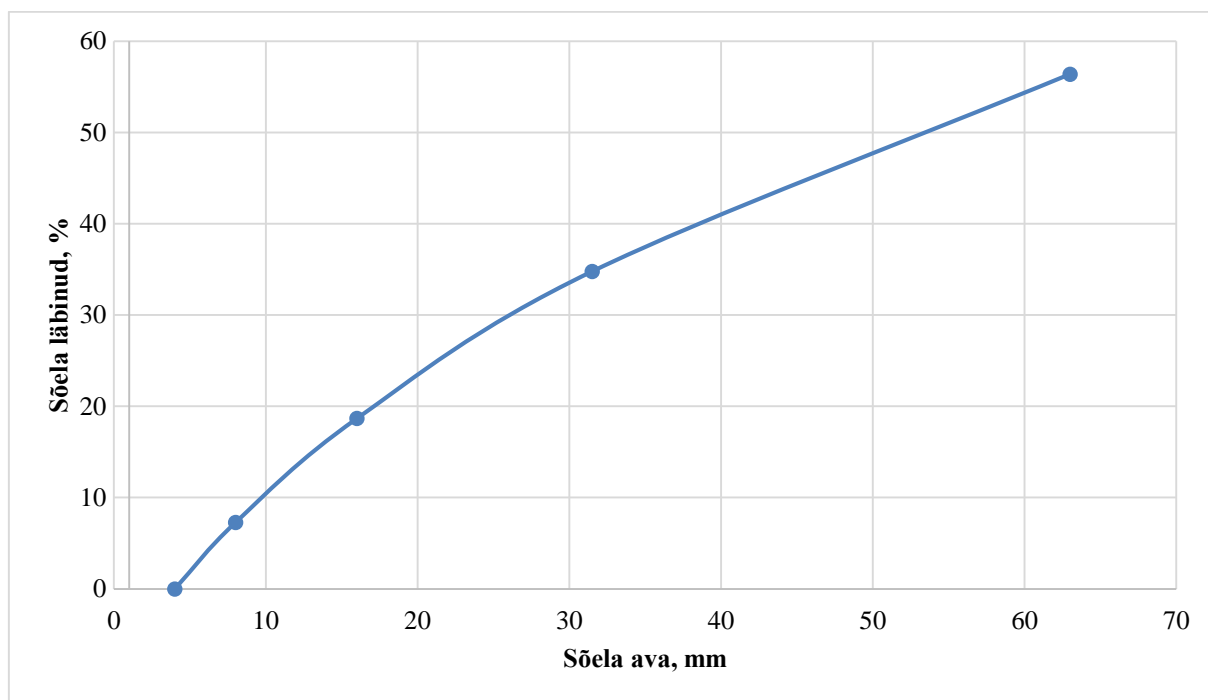
5.1. Katsetava materjali päritolu

Katsetavaks materjaliks oli Narva karjääri põlevkivikaevis, mida oli eelnevalt kuivrikastatud. Rikastamine toimus Allu 6,9 m³ purustuskopaga M-3-32 Prototype 001. Töödeldud kaevis jagati kahe puistangu, aheraine ja põlevkivi, vahel. Proovimaterjali mõlemast puistangust võtsid Martin Nurme ja Tiit Rahe 21.08.2013 vastavalt proovivõtustandardile EVS-EN 932-1. Täitematerjalide üldiste omaduste katsetamine. Osa 1. Proovivõtumeetodid. Märgsepareerimise katsetöödel hinnati vaid kopaalust materjali, ehk purustatud põlevkivi. Katsematerjali iseloomustamiseks on joonisel Joonis 6 ära toodud sõelkõver.

5.2. Töö käik

Katsetav materjal, milleks oli põlevkivi, oli jaotatud osadeks, mis on ka ära toodud tööskemil Joonis 7. Üks osa materjalist läks ilma eelneva ettevalmistuseta märgsepareerimise seadmesse Alljig. Teine osa materjalist kuivatati ja sõeluti klassidesse 4-8 mm, 8-16 mm, 16-32 (16-31,5) mm, 32-63 (31,5-63) mm ja 63 -125 mm. Klassidesse jaotamisega sooviti paremat separeerimise efektiivsust, sest ühtlane materjal käitub erinevalt ebaühtlasest kaevisest.

Igale klassile teostati vaid üks märgsepareerimise katse, sest kuivrikastatud materjali oli selline kogus, mis võimaldas läbi teha igat katset vaid 1 kord. Katsematerjali võtmise ajal arvestati teistsuguste katsetöödega ja sellisel kujul polnud separeerimistööde kava välja töötatud.



Joonis 6 Katsetava materjali terastikuline koostis

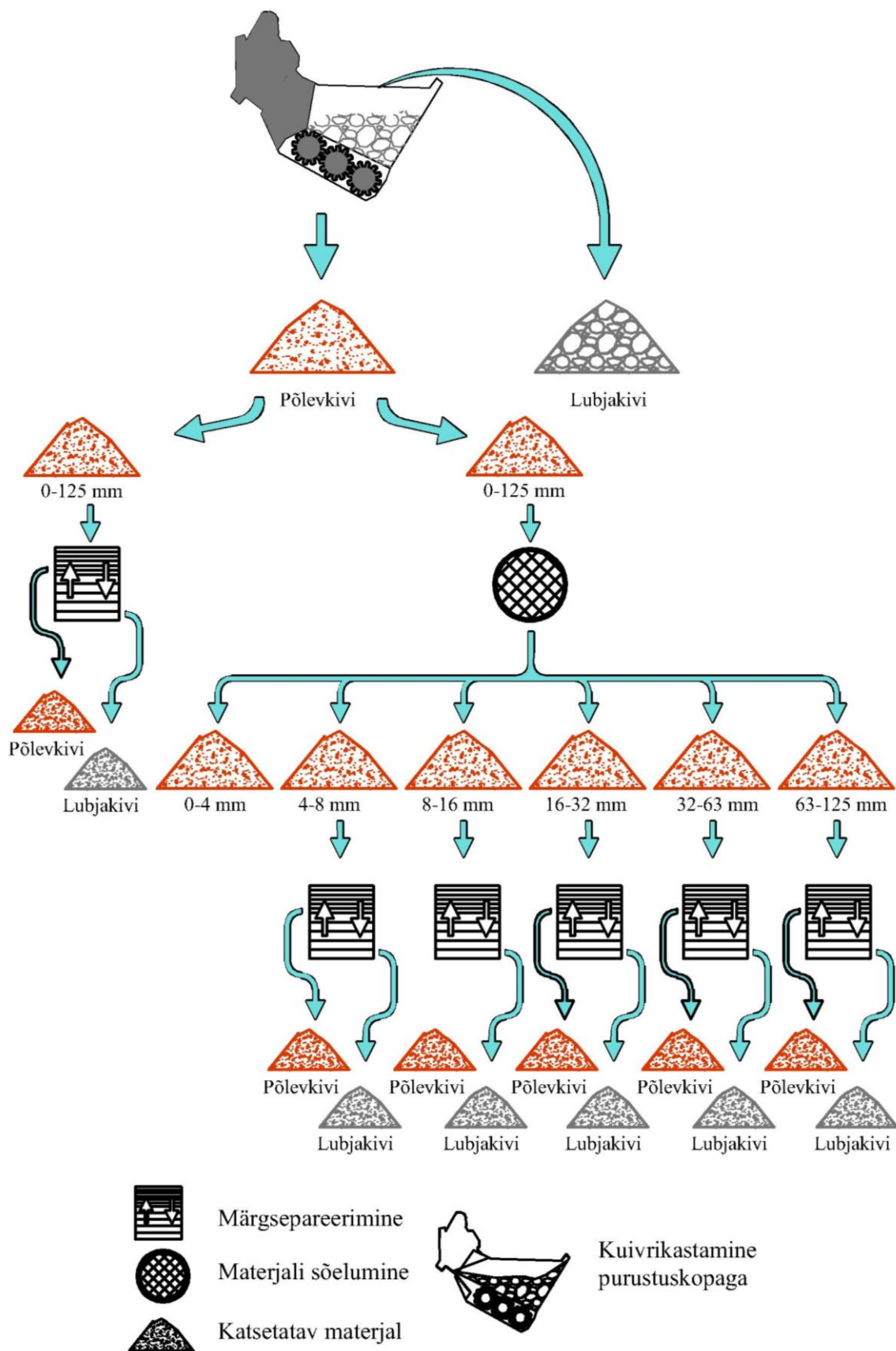
Töö käigus ei soovitud vaadelda teisiti purustatud põlevkivikaevist, sest oluline oli hinnata ühte rikastamismeetodit.

Kõik 6 proovi olid eelnevalt kaalutud ning valati märgsepareerimise seadmesse, täites ära maksimaalselt 5 proovikasti, mis on näha joonisel Joonis 8. Katseseadme veepaak täideti 105 liitri veega. Veepaagi ja materjali vahele asetati 4 mm sõel, mis tähendas, et väiksemad osakesed kui 4 mm juhiti veega setteks. 4 mm sõel võeti kasutusele, sest sooviti samu näitajaid, mis varem tehtud kivilisõel katsetel. Materjali rappumine kestis 15 minutit, igal katsel rõhk ja tõstete arv sõltus materjali käitumisest parameetrite muutmisel.

Peale materjali rappumist suunati vesi katseproovist välja ning iga kiht korjati, kaaluti ja kuivatati eraldi. Materjal oli pestud tolmut ja peenosakekestest ning tihedam osa on kogunenud alumisele kihile (Joonis 9). Joonisel Joonis 10 on näha lubjakivitükke, mida varjutavad üksikud põlevkivitükid. Materjali kogumisel kogumiskoosse, on visuaalsel vaatlusel lubjakivi osatähtsus palju suurem kui esmalt paistis. Seda tõestavad ka hilisemad tulemused.

Peale kuivatamist teostati sõelumata materjaliosale sõelanalüüs. Mõlemast katsematerjalist eraldati käsitsi lubja- ja põlevkivi, ehk toimus käsitsirikastamine. See teostati visuaalse vaatluse põhjal. Kui mõne tüki puhul polnud aru saada kumma komponendiga tegu on, pesti see kuivamisel tekkinud tolmut puhtaks ja purustati haamriga ning hinnati kivimi sisu põhjal.

MÄRGSEPEREERIMINE MAAVARADE KAEVISTE RIKASTAMISEL



Joonis 7 Põlevkivi märgsepareerimise katsetöö skeem

MÄRGSEPARIIRIMINE MAAVARADE KAEVISTE RIKASTAMISEL



Joonis 8 Põlevkivi, sõelaavaga 16-31,5 mm, märgsepareerimise seadmes enne katse teostamist



Joonis 9 Põlevkivi, sõelaavaga 16-31,5 mm, märgsepareerimise seadmes pärast katse teostamist



Joonis 10 Põlevkivi, sõelaavaga 16-31,5, märgsepareerimise seadme alumises kihis

Need tükid, kus aheraine oli põlevkivi küljes looduslikult kinni, määrati vastavasse puistangusse selle järgi, mis maavara oli enim tüki küljes. Peale kaalumist ja käsitsi separeerimist arutati põlevkivi ja lubjakivi massiprotsendid. Kõik tegevused olid fotografeeritud hilisemaks täpsustamiseks.

5.3. Katsetulemused

Katsetav põlevkivikaevis jagunes Alljigi katseseadmes peale 15 minutist rappumist 4-5 proovikasti vastavalt materjali kogusest. Klassi 63-125 mm jäi vaid 2 kihti materjali, sest sellise suurusega osakesi oli katsetavas proovis vähe. Joonisel Joonis 11 on näha, suurem osa materjali kogusest kattis ära alumised kihid. Kui vaadata joonist Joonis 12, on näha, et mida allapoole kiht läheb, seda rohkem lubjakivi ka temas on. Samuti on klasside vahes seaduspärasus, mida iseloomustab joonis Joonis 13. Mida peenem on materjal, seda vähem selles leidub lubjakivi. Katsetulemustest lähtub, et eelsõelutud proovid käitusid märgsepareerimise seadmes efektiivsemalt, mida ka tõestab põlevkivi ja lubjakivi kogused erinevates kihtides.

MÄRGSEPARIIRIMINE MAAVARADE KAEVISTE RIKASTAMISEL

Tabelites Tabel 1 ja Tabel 2 olevate andmete analüüsil selgus, et kahe algproovi aheraine kogus erineb 5 %. Sõelumata proovis oli 29 % lubjakivi ja sõelutud proovis 34 % kogumassist. Erinevus võis tulla esialgse kvarteerimise tulemusel proovide kaheks jaotamisel, käsitsi rikastamise efektiivsuses või kaevise omapärasest. Võib väita, et 5 % viga pole antud juhul suur, kuid mis piirides see võib kõikuda, tuleks välja selgitada täiendavate katsetöödega.

Põlevkivi märgsepariirimise tulemustega võib rahule jääda. Ülemised proovikihid olid täitunud vaid põlevkiviga, mistõttu 100% rikastatud. Alumistes proovikastides oli lubjakivi segunenud vähesel määral põlevkiviga. Sealne aheraine keskmine sisaldus sõelumata kaevise puhul oli 48% ning klassides 38%, varieerudes 3-97% vahel. Kuna põlevkivi kogus oli piisavalt suur, peaks maksimaalse efektiivsuse saamiseks kasutama peale märgsepariirimist täiendavat rikastamist. Antud juhul oli tegu käsitsi separiirimisega (Joonis 15 ja Joonis 16), kuid see pole küllalt kasulik majanduslikult ja ajakasutamise punktist.

Teine lahendus oleks enne märgsepariirimist viia materjali tükisuurus miinimumini. Katsetulemus näitas, et kõige vähem oli lubjakivi klassis 4-8 mm, kus aheraine moodustas 14% kogumassist. Siit aga järeldub, et märgsepariirimise jaoks materjali eelpurustamise jaoks ei sobi ainuüksi Allu purustuskopp M-3-32 Prototype 001, kuna kasuliku materjali kaod on märgatavad.

Kogu see materjal, mis katse käigus läheb läbi sõela vette, võib pidada antud katse tingimuste kohaselt kaoks. Sõela ava muutmisega saab kadusid vähendada, kuid siis võib ka seadme efektiivsus langeda, kuna peenemad osad võivad sõela ummistada. Joonisel Joonis 14 on näha materjali kadusid eri klassides. Tulemused on saadud kasutades materjali algkoguse ja proovikastidest korjatud materjali koguseid. Kõige suuremad kaod tekkisid siis, kui katsetati sõelumata kaevist. Üks põhjus, miks kadu küündis 42%-ni oli see, et materjali hulgas oli ka klass 0-4, mis teiste katsete käigus oli välja sõelutud.

Joonisel on näha seaduspärasust, mida suurem on klass, seda vähem tekib kadusid. Klassid, mis kihitusid kõige paremini (4-8 ja 8-16) jäid kaod 11-18% piiresse ja suurema tükisuuruse korral olid kaod 4-6% vahel. Üldjuhul võib väita, et kadudes olev materjal on enamasti põlevkivi. See tähendab, et materjal tuleb veest välja setitada ning ilma täiendava rikastamiseta saab seda kasutada. Maksimaalse efektiivsuse saavutamiseks või täiendavaks rikastusseadmeks võtta hüdrotsükloni, mida kirjeldati peatükis 3.2.

MÄRGSEPARIIRIMINE MAAVARADE KAEVISTE RIKASTAMISEL

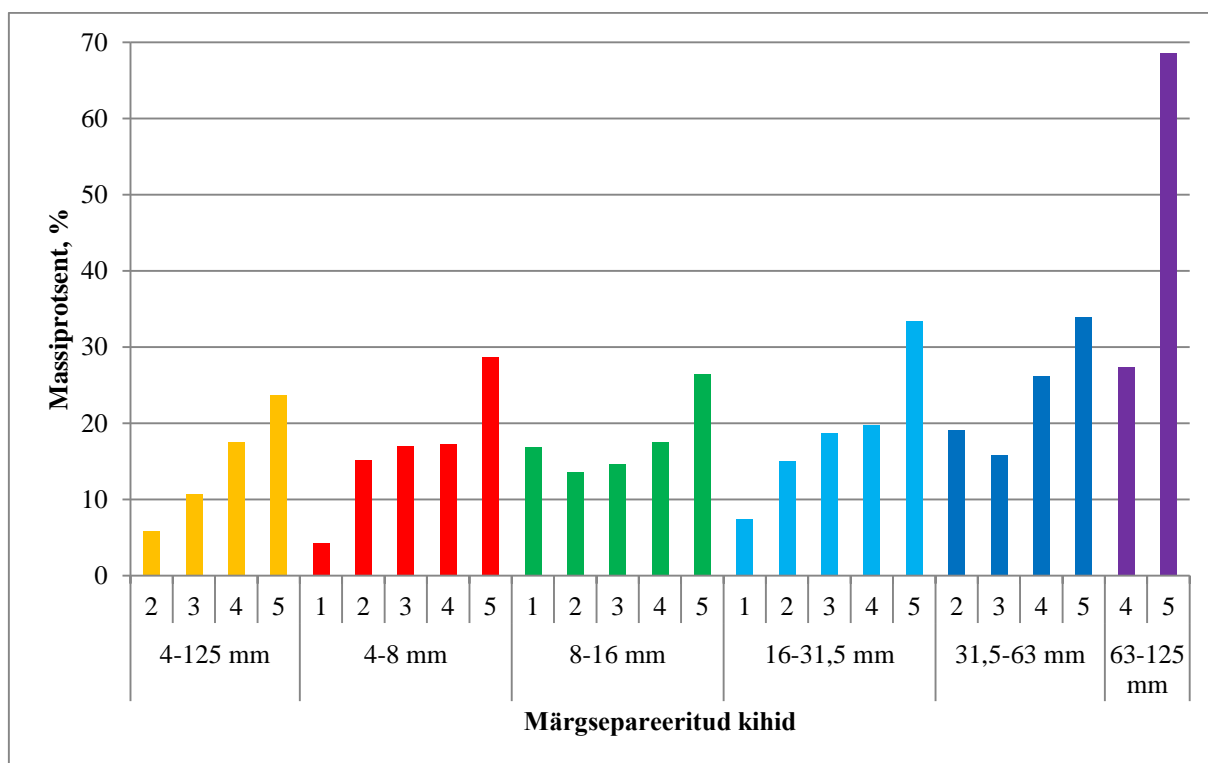
Tabel 1 Põlevkivi katsetööde tulemused

Katsetöö materjal	Alg-materjali kogus, g	Kiht	Märgmass, g	Protsent alg-kogusest, %	Kuiv-mass, g	Põlev kivi kogus, g	Lubja kivi kogus, g	Põlev kivi kogus, %	Lubja kivi kogus, %
Sõelumata põlevkivi kaevis 0-125 mm	30 450,0	2	2140,0	6	1793	1793	0	100	0
		3	3930,0	11	3279	3279	0	100	0
		4	6160,0	18	5354	4538	816	85	15
		5	9640,0	24	7203	2862	4341	40	60
Sõelutud põlevkivi kaevis 4-8 mm	13 709,0	1	617,8	4	583	583	0	100	0
		2	2199,0	15	2079	2079	0	100	0
		3	2463,4	17	2329	2329	0	100	0
		4	2652,6	17	2374	2292	82	97	3
		5	4084,6	29	3932	2651	1281	67	33
Sõelutud põlevkivi kaevis 8-16 mm	14 400,4	1	2851,9	17	2435	2435	0	100	0
		2	2118,0	14	1954	1954	0	100	0
		3	2402,4	15	2108	2108	0	100	0
		4	2799,9	18	2528	1784	744	71	29
		5	4023,8	26	3813	1488	2325	39	61
Sõelutud põlevkivi kaevis 16-31,5 mm	24 373,0	1	2018,0	7	1818	1818	0	100	0
		2	3864,0	15	3655	3655	0	100	0
		3	4870,0	19	4561	4561	0	100	0
		4	5063,0	20	4799	3808	991	79	21
		5	8533,0	33	8147	1900	6247	23	77
Sõelutud põlevkivi kaevis 31,5-63 mm	23 758,6	2	4780,0	19	4521	4521	0	100	0
		3	3925,6	16	3764	3764	0	100	0
		4	6580,0	26	6228	3158	3070	51	49
		5	8378,5	34	8048	2738	5310	34	66
Sõelutud põlevkivi kaevis 63-125 mm	11 353,4	4	3272,0	27	3100	3100	0	100	0
		5	8048,0	69	7787	258	7529	3	97

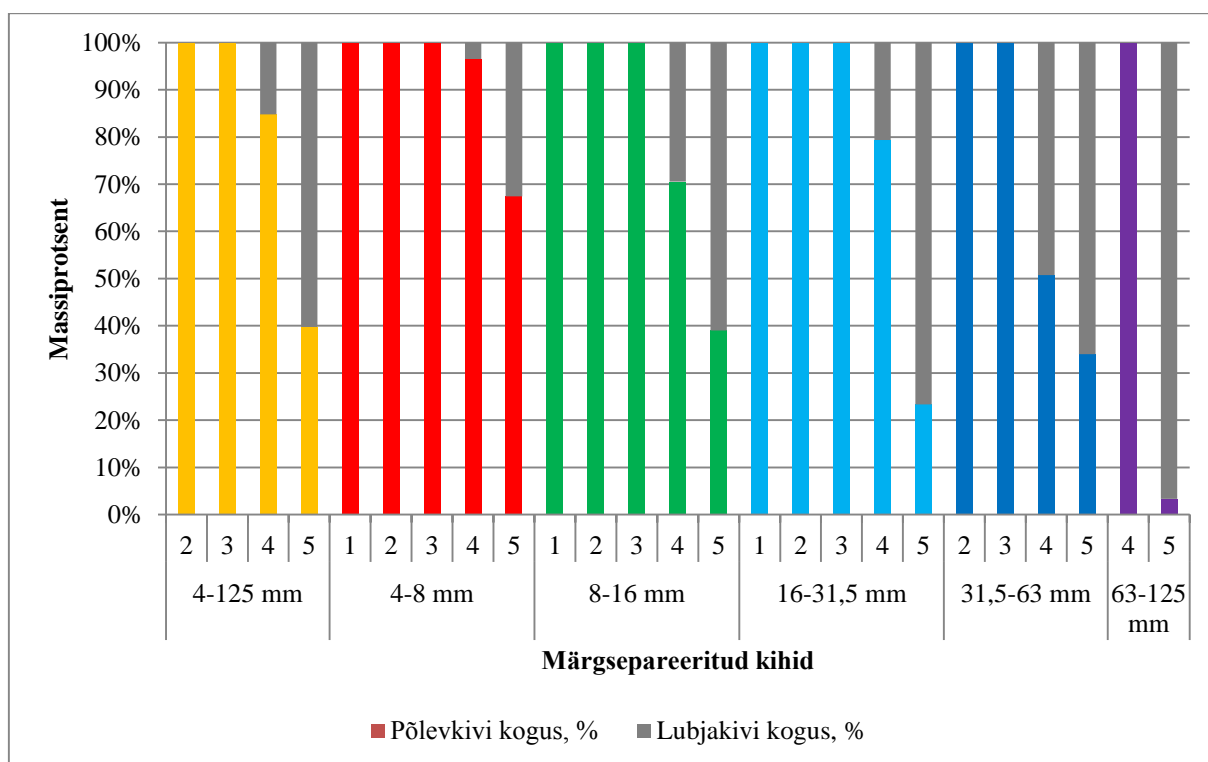
Tabel 2 Põlevkivi katsetööde tulemused 2

Katsetöö materjal	Põlevkivi kogus, %	Lubjakivi kogus, %	Põlevkivi kogus, %	Lubjakivi kogus, %	Kadu, %
Sõelumata põlevkivi kaevis 0-125 mm	71	29	71	29	42
Sõelutud põlevkivikaavis 4-8 mm	88	12	66	34	18
Sõelutud põlevkivikaavis 8-16 mm	76	24			11
Sõelutud põlevkivikaavis 16-31,5 mm	69	31			6
Sõelutud põlevkivikaavis 31,5-63 mm	63	37			5
Sõelutud põlevkivikaavis 63-125 mm	31	69			4

MÄRGSEPARIIRIMINE MAAVARADE KAEVISTE RIKASTAMISEL

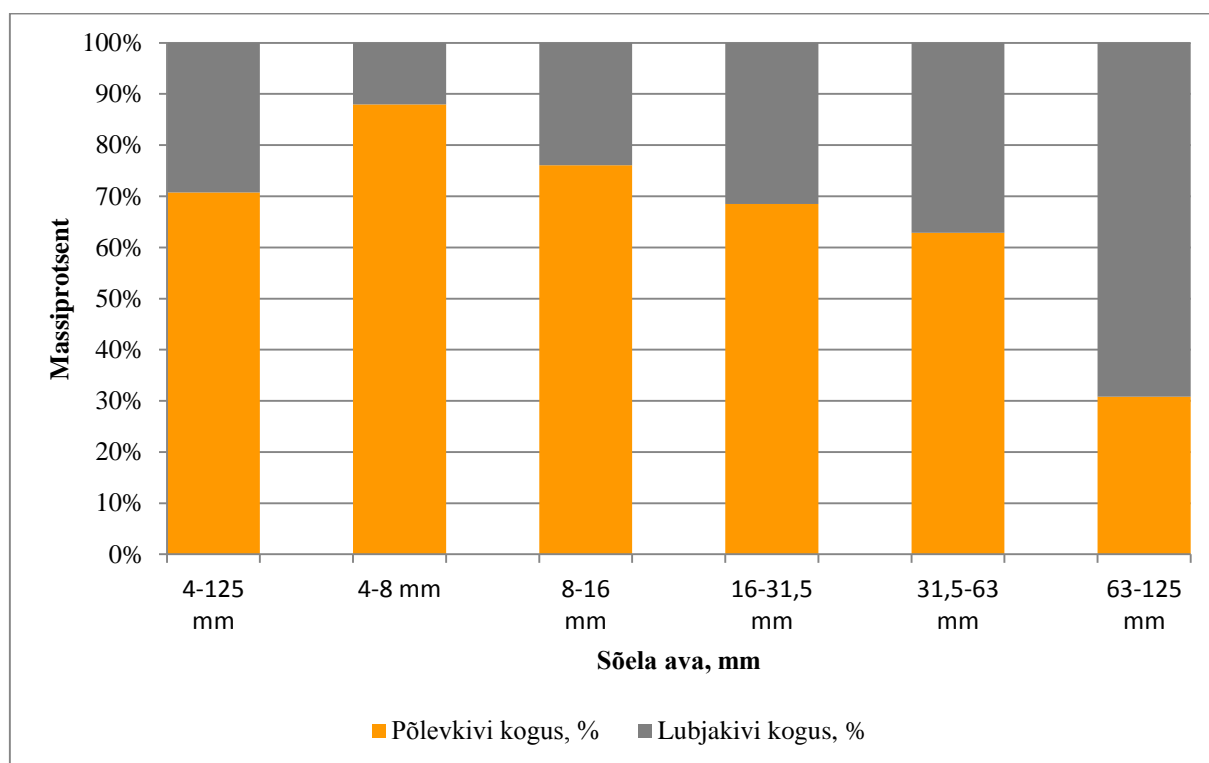


Joonis 11 Katsetatava materjali protsentuaalne jaotumine kihtide viisi

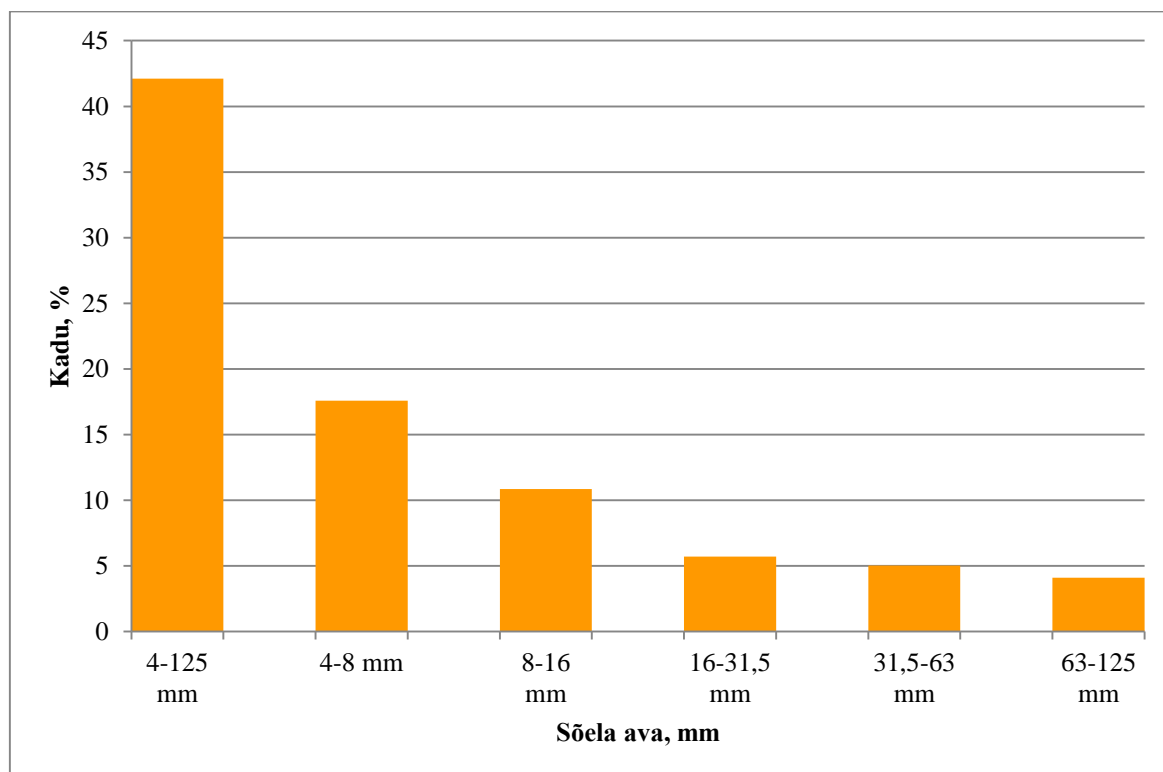


Joonis 12 Põlevkivi ja lubjakivi massiprotsendid erinevate kihtides

MÄRGSEPARIIRIMINE MAAVARADE KAEVISTE RIKASTAMISEL



Joonis 13 Põlevkivi ja lubjakivi massiprotsendid erinevates klassides



Joonis 14 Eri põlevkiviklasside kaod, mis tekkisid märgsepariirimise käigus

MÄRGSEPARIIRIMINE MAAVARADE KAEVISTE RIKASTAMISEL



Joonis 15 Käsitsi rikastatud 31,5-63 mm põlevkivi kiht 1



Joonis 16 Käsitsi rikastatud klassi 31,5-63 mm lubjakivi kiht 4

6. Fosforiit märgsepareerimise katsetööd

Teine Eestis olev rikastamisväärne maavara on fosforiit ehk oobolusliivakivi, mis koosneb käsijalgsete kodadest ja liivast. Kojad sisaldavad umbes 36% fosfaati, mida kasutatakse väetiste tooraineks. [20] Tänapäeval ei kaevandata Eestis fosforiiti, kuid seda tehti ja töödeldi Vene impeeriumi, Eesti esimese vabariigi ja Nõukogude ajal. Kuna fosforiidi väljamisel saadud kaevis koosneb nagu põlevkivigi kasulikust komponendiks (fosfaat) ja aherainest (liiv), tuleb nende eraldamiseks väljatud materjali rikastada. [30]

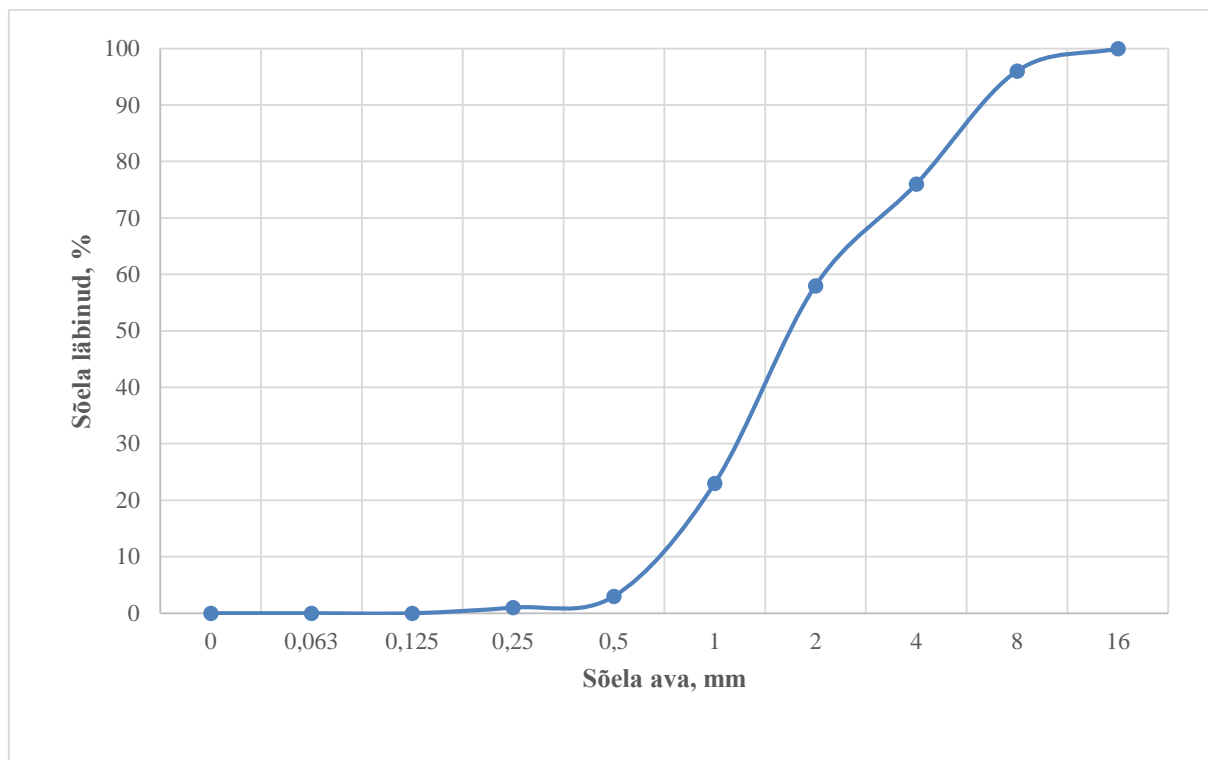
19. sajandi keskel kirjeldati Eesti alade fosforiidi tähtsust ja võimalusest toota väetist. Parimaks rikastusmeetodiks pakuti välja karpide väljasõelumist liivast. 1924. aastal alustati Ülgasel fosforiidi kaevandamist ja rikastamist. Rikastamine toimus kuni 1938. aastani kui rikastusvabrik hävis tulekahjus. Kuid 1940. aastal ehitati uus rikastusvabrik Maardusse, tegutsedes 1991. aastani. [31] Fosforiidi rikastamiseks kasutati peamiselt flotatsiooni, millest räägiti pikemalt peatükis 3.6.

Fosforiidi märgsepareerimise katsetööde ülesandeks oli analüüsida rikastusmeetodi tõhusust ja välja selgitada tingimused, mille puhul saavutatakse parimad tulemused.

6.1. Töö käik

Katsetatav materjal oli pärit Maardu rikastamisvabriku puistangust. Proovimaterjali võttis Martin Nurme 18.09.2014 vastavalt proovivõtustandardile EVS-EN 932-1. Katsetöid oli kaks, et hinnata materjali käitumist erinevates olukordades. Rohkem katseid ei tehtud, sest ei saavutatud põlevkivile sarnanevalt oodatavaid tulemusi. Mõlemad katsetatavad osad kaaluti, täideti Alljigi seadme 5 väikest proovivõtukasti. Materjali ja veega täidetud veepaagi vahele asetati alguses 1 mm sõel ja teisel juhul 4 mm sõel. Sõelaavast väiksema suurusega materjal juhiti katse lõpus veega minema. Veega rappumine kestis 15 minutit, konstantsel rõhul (esimesel katsel 0,12 ja teisel 0,08 bar) ja tõstete arvu (vastavalt 89 ja 150 tõstet minutis) juures.

Peale märgsepareerimist kaaluti väikesed proovikastid, kuivatati ja teostati esimesele katsele sõelanalüüs iseloomustamiseks materjali. Samuti eemaldati sõelumise teel alguses märkamatuks jäänud üksikud kilda ja lubjakivitükid, mille kogus polnud märkimisväärne ja ei mõjutanud katsetulemusi. Sõelanalüüsi käigus hinnati visuaalselt materjali kodade ja liiva protsentuaalset osakaalu igal sõelakomplekti sõelal. Protsentide alusel arvutati välja hinnangulised massid ning arvutati iga kihi koostisosade massiprotsendid.



Joonis 17 Katsetatud materjali terastikuline koostis

Massiprotsendid on hinnangulised, sest saadud visuaalsel teel. Parema tulemuse saamiseks oleks saanud koostist hinnata mikroskoobi all. Seda ei tehtud, kuna katse käigus oli juba aru saada, et meetod pole tõhus, kuna ei toimunud kihistumist.

Joonisel Joonis 17 on näha materjali sõelkõver esimese katse korral. Kuigi märgsepariirimise seadmel eraldas materjali ja vett 1 mm sõel, ei läbinud kõik alla selle olevad osakesed sõela. Alla 1 mm materjali protsendid on nullilähedased, kuid miks nad ikkagi tekkisid on kaks põhjust. Märgsepariirimise käigus olid parameetrid (rõhk ja üleslükete arv) küll head katse teostamiseks, kuid osad sõelaavad ummistusid materjaliga mitmeid kordi. Peale kuivatamist kuivatuskapis 105 kraadi juures katsematerjal kohati lagunes peenemaks.

6.2. Katsetulemused

Katsetav fosforiidikaev (Joonis 18) jagunes Alljigi katseadmes peale 15 minutist rappumist esimesel katsel nelja ja teisel juhul ühte proovikasti, mille kogused on toodud tabelis Tabel 3. Kaevise mahu järsu languse põhjustas sõela ava suurenemine 1 mm-lt 4 mm-ni. Sõelu muudeti, sest väiksema sõela puhul kojad ning liiv ei jagunenud omaette kihtideks, mida oli näha põlevkivikaevise katsetamisel. Esimesel juhul 29% materjali algkogusest juhiti veega minema, mistõttu käsitleti seda osa edaspidi kaona. Sõela ava suurenedes tõusis ka materjalikao hulk. Kuna 1 mm sõel on kõige väiksem seadmega kaasas olev sõel ja 4 mm

MÄRGSEPARIIRIMINE MAAVARADE KAEVISTE RIKASTAMISEL

kõige suurem, oli soov hinnata olukorda suurima võimaliku sõelaava korral. Katsematerjali algkogusest 80% oli alla 4 mm osakesi, põhiliselt liiv ja seadmesse jäi alles vaid kofad. Joonisel Joonis 20 on näha, et heledat värvi liiv pestakse välja ja tumedad kofad jäävad sõela peale. Teise katse korral oli tegu pigem märgsõelumisega, kus aheraine pesti kaevisest välja. Meie katse eeldas aga kihtidesse paigutamist. Seepärast pole fosforiiti kasulik antud märgsepariiris seadmega analüüsida.

Kahe katse korral proovikastidesse jäänud materjali massiprotsente iseloomustab joonis Joonis 21. 1 mm sõela puhul jäi materjali alles 71 %, millest karpide kogusisaldus oli 78% ja liival 22%. Massiprotsendid algkogusest olid vastavalt 55% ja 16%. Teisel katsel vähenes materjali hulk proovikastides 3,5 korda. Kodade kogus vähenes eelmisega võrreldes 3 korda ja liival 16 korda. Kasuliku komponendi ja aheraine suhe oli 95 ja 5%. Alkogusest aga 19 ja 1%. Siit järeldub, et kui kasutada kõigepealt märgsõelumist 4 mm sõelaava korral, saame eraldada peaaegu kogu aheraine, välja arvatud see, mis jääb kodade külge. Sõelaaluse materjali tuleks uuesti rikastada teisi meetodeid kasutades. Kahe erineva rikastamismeetodi kasutamine, milleks üks oleks antud katse, poleks hinnanguliselt majanduslikult kasulik.

Tabel 3 Fosforiidi katsetööde tulemused

Katsetöö materjal	Algmaterjali kogus, g	Kiht	Märgmass, g	Protsent algkogusest,%	Kuivmass, g	Karpide kogus, %	Liiva kogus, %
Fosforiidi kaevis, sõelaga 1 mm	23650	1	3560	12	2796	81	19
		2	4530	18	4171	74	26
		3	4400	16	3784	76	24
		4	6980	25	6011	80	20
		Sete		29	6859		
Fosforiidi kaevis, sõelaga 4 mm	23650	4	4990	20	4770	95	5
		Sete		79	18799		

MÄRGSEPARIIRIMINE MAAVARADE KAEVISTE RIKASTAMISEL

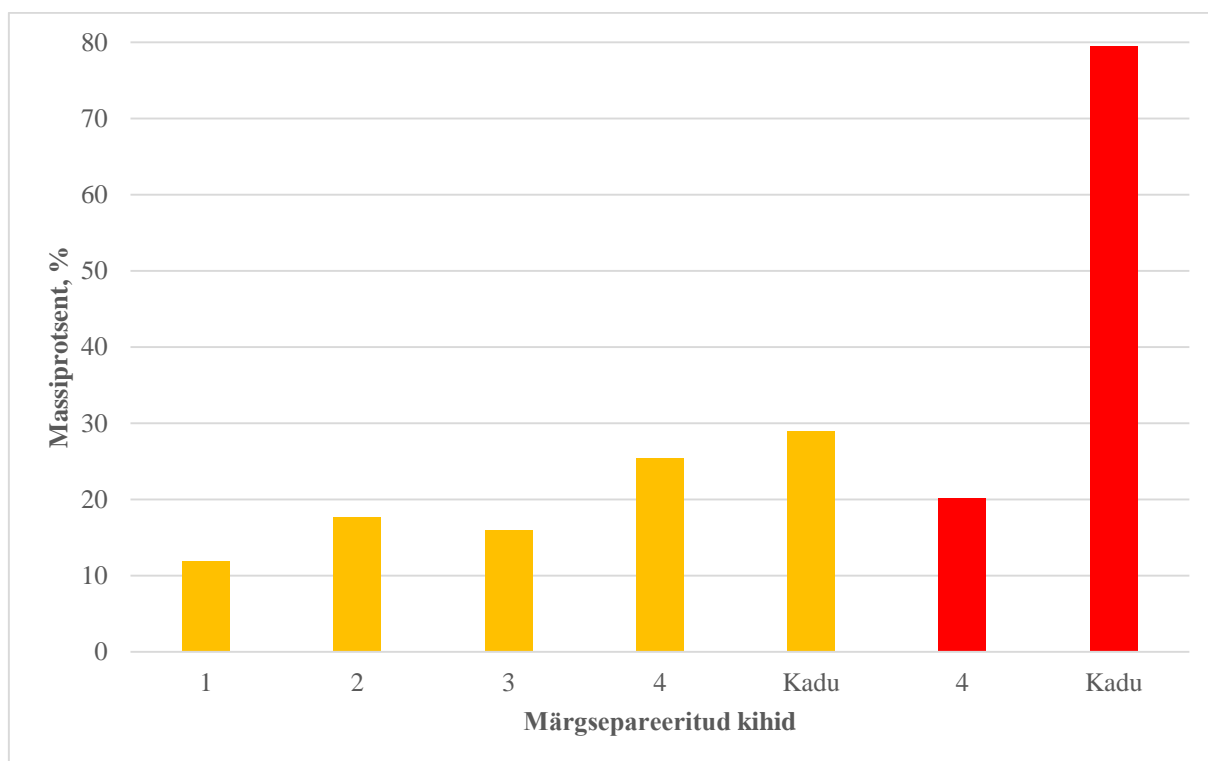


Joonis 18 Fosforiidi kaevis katse alguses

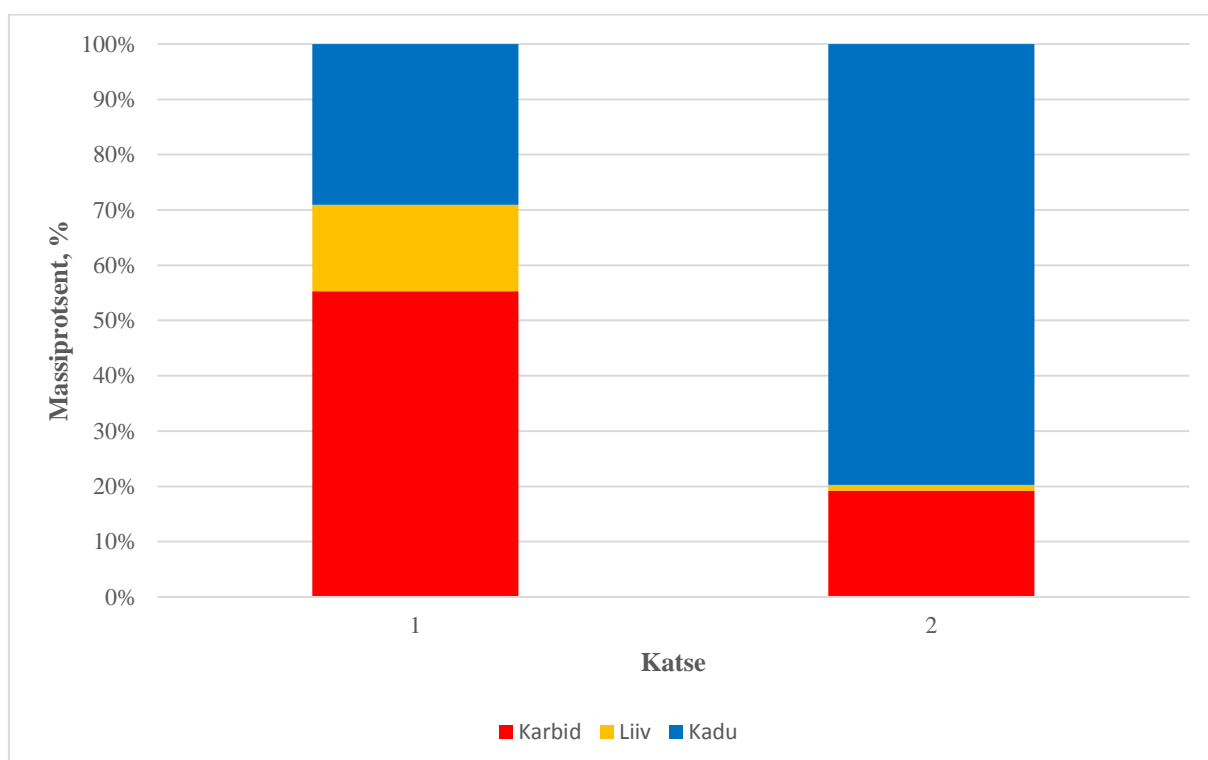


Joonis 19 Fosforiidist pestakse liiv välja

MÄRGSEPARIIRIMINE MAAVARADE KAEVISTE RIKASTAMISEL



Joonis 20 Katsetatava materjali protsentuaalne jaotumine kihtide viisi



Joonis 21 Fosforiidi katsetööde massiprotsendid. Esimesel juhul kasutati 1 mm ja teisel 4 mm sõela

7. Kruusa märgsepariirimise katsetööd

Kruus on jämepeurdsete, mille koostisesse kuuluvad tard-, moonde- ja settekivimite ümardunud osakesed, läbimõõduga 5 -70 mm (pinnaseteaduses ka 2- 63 mm). Suuremad osakesed moodustavad munakad ja rahnud. Peenema läbimõõduga osad kui 5 mm moodustavad liiva. [24] Kruusa kasutatakse ehitus- ja täitematerjalina. Kruusa kui ehitusmaterjali kvaliteeti tõstab materjali väike tolmu- ja saepulvisaldus ja suur survetugevus ning külmakindlus. Kvaliteeti tõstetakse ehk kaevist rikastatakse tolmu väljapesemisega, klassideks sõelumisega ning purustamisega. [26]

Kruusa tihedus sõltub tema lähtekivimite koostistest ja seepärast oli märgsepariirimise katsetööde ülesandeks hinnata kaevise käitumist rikastusmeetodi valikul. Peale põlevkivi katsetöid tekkis oletus, et kruusa katsetamisel jääb kristalliline osa kõige alumisse kihti, selle peale jääb lubjakivi ja ülemises kihis on liivakivi.

7.1. Töö käik

Katsetavaks materjaliks oli Lõuna-Eesti kruusakarjäärast pärit kruusa ja liiva segu. Proovimaterjali võtsid Martin Nurme ja Veiko Karu 23.10.2014 vastavalt proovivõtustandardile EVS-EN 932-1. Katsetöid oli üks, et hinnata materjali kasutatavust Alljig seadmega.

Katsetatav materjal kaaluti ning sellega täideti märgsepariirimise seadme 5 väikest proovivõtukasti. Materjali ja veega täidetud veepaagi vahele asetati 4 mm sõel. Sõelaavast väiksema suurusega materjal, mis koosnes liivast ja tolmu, juhiti katse lõpus veega minema. Joonisel Joonis 22 on näha materjal katse seadmes enne masina tööle panemist. Joonisel Joonis 23 on liiv kruusa fraktsioonist väljapestud ja selgesti on eristatav kruusa mineraloogiline koostis. Veega rappumine kestis 15 minutit, konstantsel rõhul ja tõstete arvu juures. Rõhk oli 0,10 bar ehk sama mis põlevkivi klassi 8-16 korral. Tõstsagedus oli 98 tõstet minutis.

Peale märgsepariirimist kaaluti väikeste proovikastide sisu, kuivatati ning teostati sõelanalüüs. Katsetatud materjali rikastati käsitsi, ehk eraldati üksteisest lubjakivi, liivakivi ja tardkivimi fraktsioonid, nagu joonisel Joonis 24, ning arvutati massiprotsendid. Tardkivimi osa koosnes graniidist, basaldist jms. Katsetatud materjali igale osale koostati sõelkõver, mis on toodud joonisel Joonis 25, iseloomustamaks maavara.



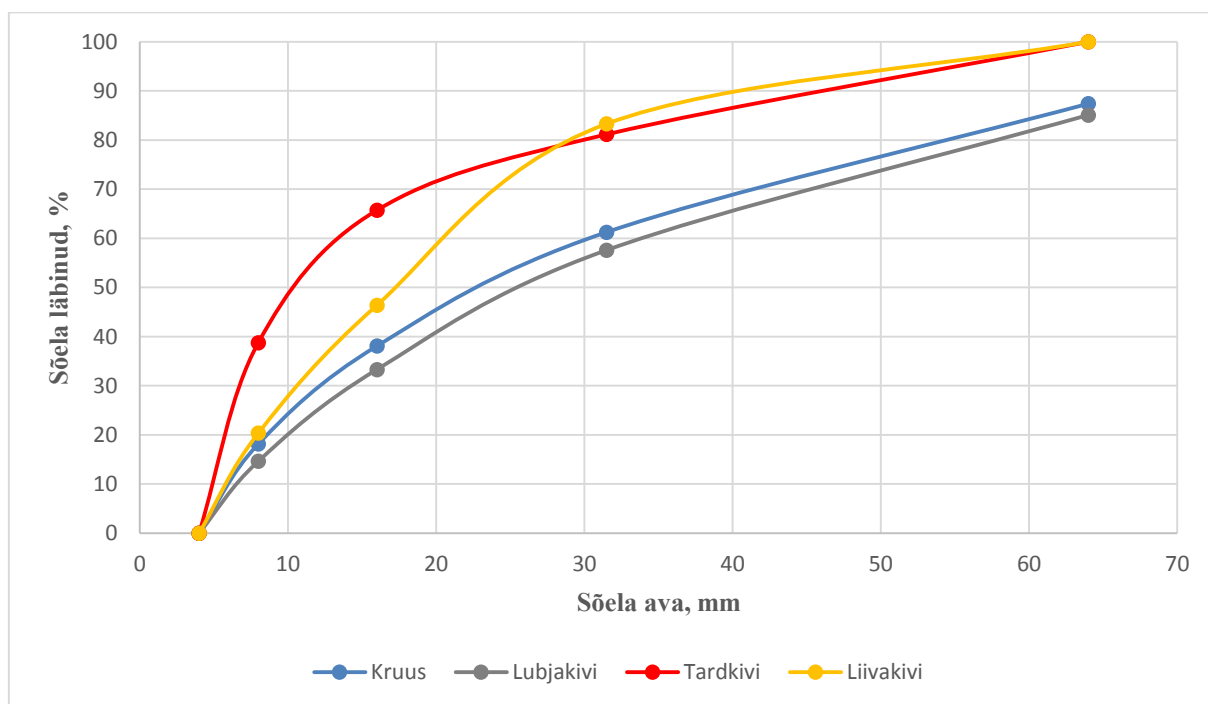
Joonis 22 Kruusa-liiva segu märgsepareerimise seadmes enne katse teostamist



Joonis 23 Kruus märgsepareerimise seadmes pärast katse teostamist, kus on näha, et liiv on kruusafraktsioonist välja pestud



Joonis 24 Katsetatud materjal koosnes lubjakivist, tardkivimist ja liivakivist



Joonis 25 Katsetatud materjali terastikuline koostis

7.2. Katsetulemused

Kruusa-liiva segu täitis katse alguses 5 väikest proovikasti. Märksepareerimise lõpus juhiti alla 4 mm osa veega katseseadmest ära ning kruusaga oli täitunud vaid 2 proovikasti, mis kaalumise andmetel moodustas 39% algkogusest. Katsetulemused on toodud tabelites Tabel 4 ja Tabel 5. Joonisel Joonis 26 on näha materjali kahe kihi massiprotsente algkogusest, mis jagunesid 4. ja 5. kihile vastavat 13 ja 26%. Väiksema sõela ava korral kui 4 mm oleks materjali kadu olnud väiksem, kuid antud katsel polnud liivafraktsiooni kinnihoidmine vajalik. Kihtidesse oleks materjali jäänud tunduvalt rohkem, kui eelnevalt oleks katsetatav materjal ära pestud.

Materjali kogumisega proovikastidest kogumisnõusse, oli näha, et materjal ei jagunenud visuaalselt nii ühtlaselt erinevatesse kihtidesse, kui seda enne katset loodeti. Joonisel Joonis 27 on näha eri kihtides oleva lubja-, tard- ja liivakivi massiprotsendid. Kogu kruusast, mis peale katset proovikastidesse jäi, moodustas 85% lubjakivi, 14% tardkivi ja 1% liivakivi. Kuna lubjakivi oli kõige rohkem ja suure tihenõusega erineva tihedusega, jagunes seda mõlemasse proovikasti, mistõttu teised kivimid olid sellega segunenud.

Materjali vähesuse tõttu on siiski kaks kihti võrreldavad ja neis ilmneb seaduspärasus. Liivakivi, mis on kõige väiksema tihedusega, esineb ülemisel kihil rohkem kui alumisel vastavalt massiprotsentidele 1,9% ja 0,7%. Seevastu tardkivim, mille tihedus on kolmest komponendist suurim esineb rohkem alumises kihis. Tardkivimi osatähtsus tõuseb 11%-lt 16-le. Lubjakivi tihedus jääb kahe eelneva materjali tiheduse vahele ja väheneb kihtide süvenemisega. Vastavad suurused on 87% ja 83%.

Esmase katsetulemusega võib rahule jääda, sest materjalide tiheduste ja eri kihtide vahel toimus seaduspärasest. Kuid kruusa jaoks tuleb teha täiendavaid katseid koos eelneva märgsõelumisega. Praeguse katse negatiivne pool on see, et kruusa pole mõtet märgsepareerida kui eri materjalid ei kihistu välja. Antud töö autori hinnangul on kruusa siis mõtet Alljigi seadmega separeerida, kui teise kivimi sisaldus põhimaavarast ei ületaks 10-15 %.

Olulisem on saavutada tard- ja lubjakivi eraldatavus, sest teedeehituslikus mõttes on tardkivimi kvaliteediomadused suuremad. Antud kruusa puhul on liivakivi osatähtsus tühine. Mõne teise koostisega kruusa puhul, kus liivakivi kogus on suurem ja olulisem võib tulla selle

MÄRGSEPARIIRIMINE MAAVARADE KAEVISTE RIKASTAMISEL

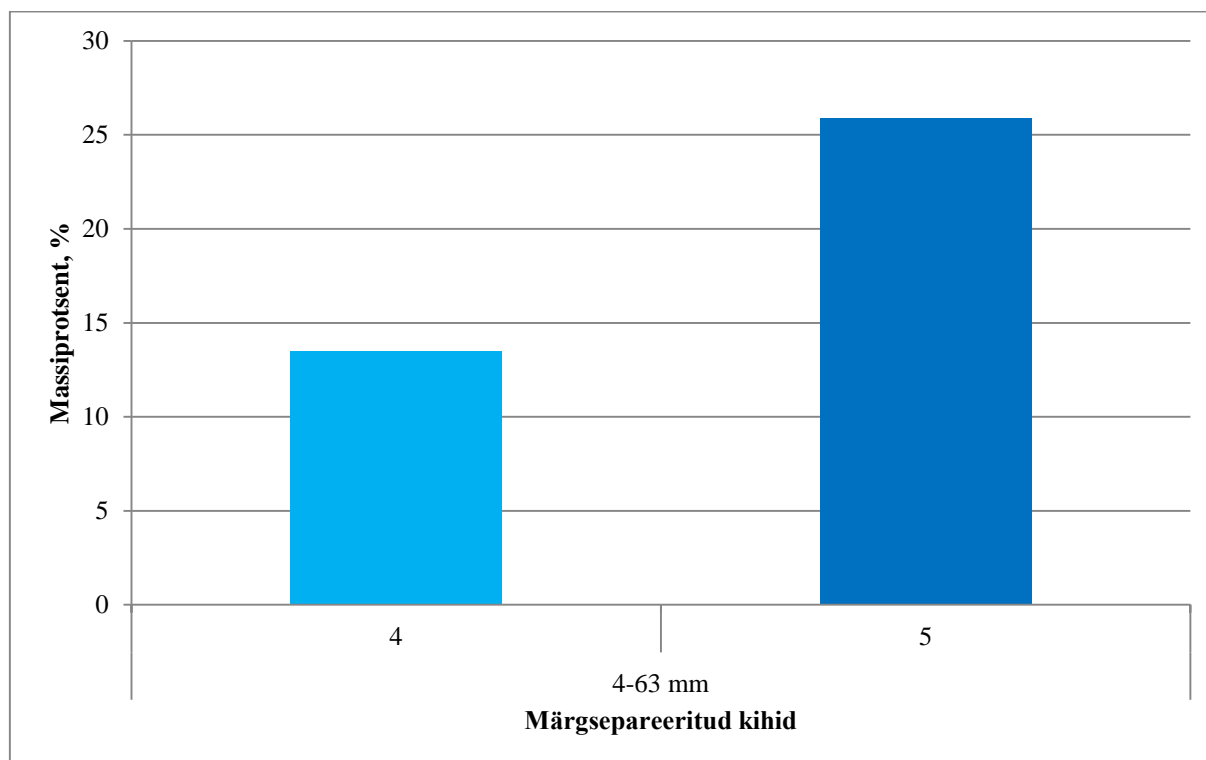
eraldamine kaevisest kõne alla. Soovitav on Alljigi pilootseadmega katsetada ka teise koostisega kruusasad.

Tabel 4 Kruusa katsetööde tulemused

Katsetöö materjal	Algmaterjali kogus, g	Kiht	Märgmass, g	Protsent algkogusest, %	Kuivmass, g
Sõelumata kruusa kaevis 0-63 mm	47900	4	6860	13,5	6462,1
		5	12780	25,9	12405,2

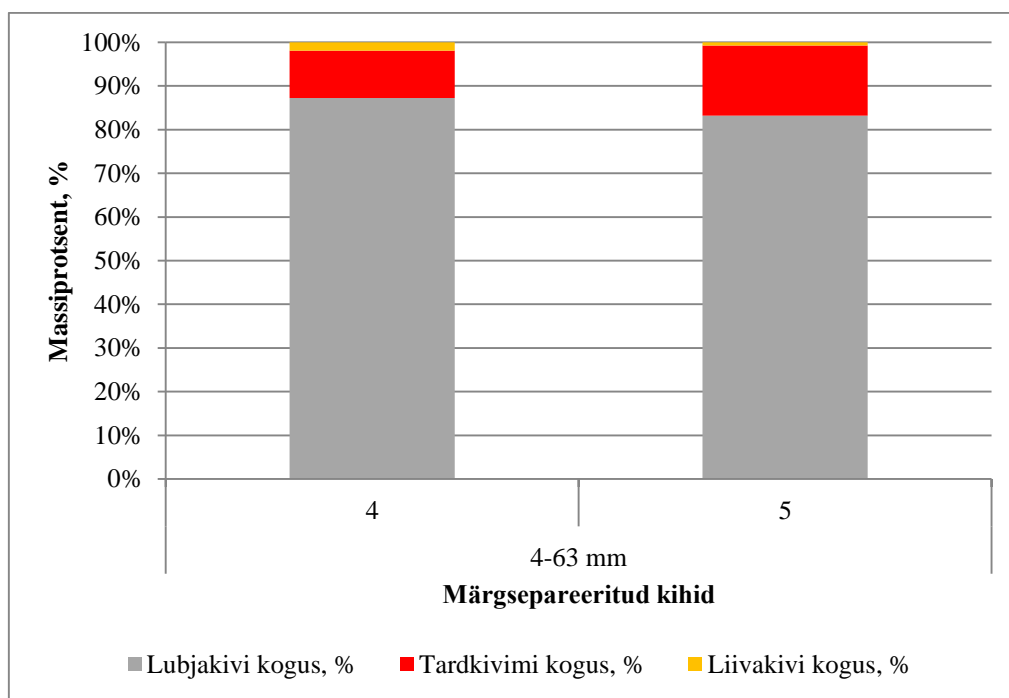
Tabel 5 Kruusa katsetööde tulemused

Kiht	Märgmass, g	Protsent algkogusest, %	Kuivmass, g	Lubjakivi kogus, g	Tardkivimi kogus, g	Liivakivi kogus, g	Lubjakivi kogus, %	Tardkivimi kogus, %	Liivakivi kogus, %
4	6860	13,5	6462,1	5636,0	705,3	120,8	87,2	10,9	1,9
5	12780	25,9	12405,2	10321,7	1992,3	91,2	83,2	16,1	0,7



Joonis 26 Katsetatava materjali protsentuaalne jaotumine kihtide viisi

MÄRGSEPARIIRIMINE MAAVARADE KAEVISTE RIKASTAMISEL



Joonis 27 Lubjakivi, tardkivimi ja liivakivi massiprotsendid erinevate kihtides

8. Kivisöe märgsepariirimise katsetööd

TTÜ Mäeinstituudis toimunud kivisöe märgsepariirimise katsetööd viisid läbi 2013. aastal projekti Min-Novation raames. Ülesandeks oli projekti partnerlusriigi, Poola, saadetud kivisütt ja selle aherainet uurida, tehes katsetööd tulevaste kasutusvalade, näiteks teedeehitus leidmiseks.

Katsetatava materjali tükisuurus jäi vahemikku 20-150 mm ja see pärines Wujeki kivisöe kaevandusest Ülem-Silesias, Poolas. Nagu põlevkivi kaevis koosneb kasulikust materjalist ja aherainest, nii leidub Poola kivisöekaevandustes aherainena Karboni settekivimeid. See on segu liivakivist, argilliidist, kiltkivist ning savist. Aheraine tekib nii mäetööde ettevalmistamisel kui ka kivisöe kaevandamisel. [32]

Kivisöe märgsepariirimise katsetööde ülesandeks oli hinnata kaevisse käitumist rikastusmeetodi valikul. Tulemuste analüüsidest saame anda hinnangu meetoodika kasutamise tõhususe ning rikastusmeetodi sobivuse, tasuvuse ja efektiivsuse kohta ning võrrelda tulemusi põlevkivi katsetöödega.

8.1. Töö käik

Katsetatav kivisöe kaevis purustati eelnevalt Mäeinstituudi 0,5 m³ mahuga purustuskopaga Komplet, kust väljus materjal tükisuurusega kuni 40 mm. Seejärel proov kuivatati ja sõeluti sõelakomplektiga klassideks 0-4 mm; 4-8 mm; 8-16 mm; 16-32 (16-31,5) mm ja 32-40 (31,5-40) mm. Kõik klassid, välja arvatud 0-4 mm, separeeriti märgsepariirimise seadmega Alljig. Algmaterjali kogused varieerusid 32 ja 35 kg vahel, täites ära kõik viis proovivõtukasti. Kõige suurema tükisuurusega materjali oli vähem, nagu põlevkivi puhul ja kastid said täidetud vaid 16 kg materjaliga.

Peale iga kastet koguti kihid eraldi kogumiskastidesse ja kaaluti. Kihtidest eraldati aheraine visuaalselt ja käsitsirikastamise teel. Pestud materjali puhul oli hästi näha tumedad (kivisüsi) ja heledad (aheraine) tükid, nagu on vaadeldavad joonisel Joonis 28. Kasulik ja mittekasulik komponent korjati erinevatesse anumatesse, kuivatati ja kaaluti. Seejärel arvutati välja iga klassi kohta massiprotsendid.

8.2. Katsetulemused

Kivisöe katsetulemused (Tabel 6) sarnanesid põlevkivi omadega. Siin kehtib samuti seos tükisuuruse ja massiprotsentide vahel. Mida peenem on materjal, seda vähem on temas aherainet. Joonisel Joonis 30 on näha, et klassis 4-8 mm on 100 % kivisütt. Sama näitavad ka kaalumise ja käsitsi separeerimise tulemused. Kuna autor ei teostanud ainsa katsena kivisöe katsetamist, vaid kasutas olemasolevaid katsetulemusi, usub ta, et 1-2 % võis siiski selles kihis olla aherainet.

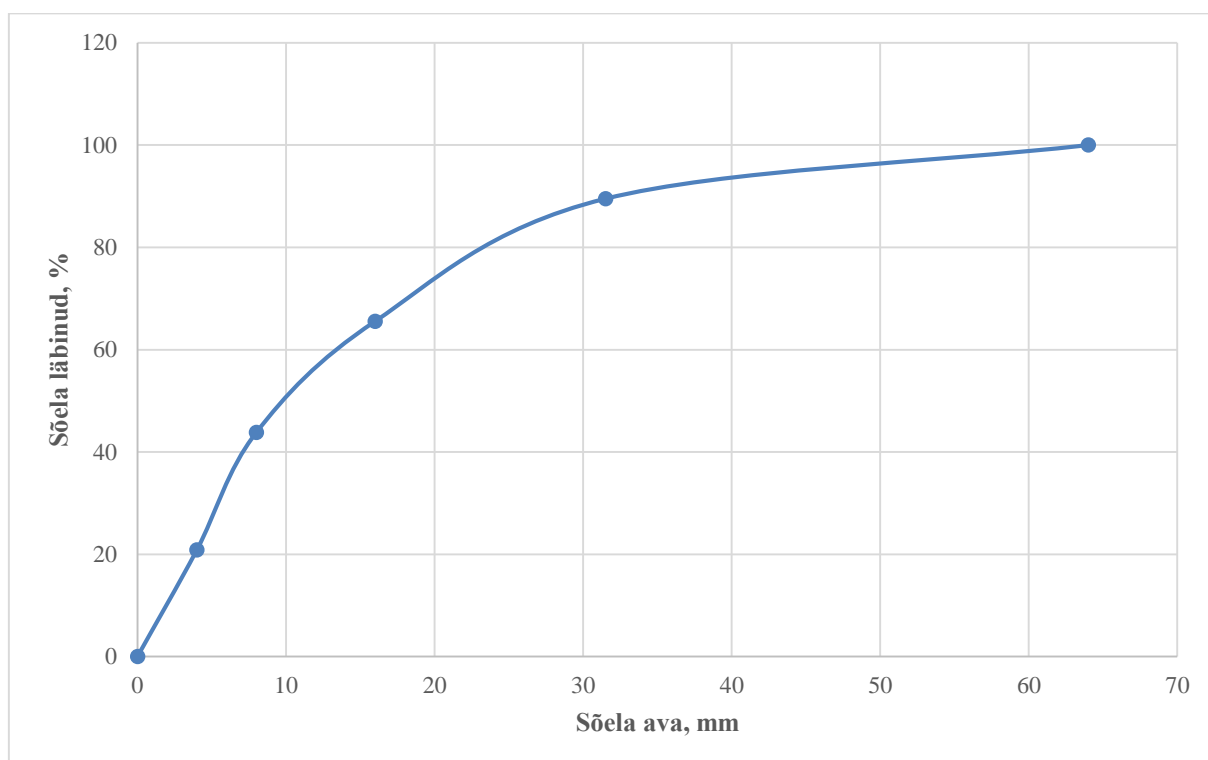
Kihistamise seisukohapealt oli kõige edukam katse klassiga 8-16 mm. Materjal täitis alguses 5 väikest proovikasti, kuid 7,6 kg kao tõttu jäi alles 4 kihti. Kõige alumisel kihis oli 100% aherainet, järgmisel 50% ning kahel pealmisel 0%. Klass 16-31,5 mm eraldusid aheraine ja kasulik komponent ebaühtlaselt, kuid olid siiski eraldatavad. Kui võrrelda eelmiste klassiga, siis sellel korral oli 2% aherainet rohkem, ehk 52%. Suurima läbimõõduga materjalis oli aherainet 89%. Katsetulemustega võib rahule jääda ja kivisütt saab nagu põlevkivigi edukalt märgsepareerida. Läbi sõela vette juhitud materjali võib pidada kadudeks ja kao protsendid sõltuvalt klassist on järgmised: 4-8 mm 48%, 8-16 mm 23%, 16-31,5 mm 12% ja 31,5-63 mm 8%. Kadudes oleva materjali kättesaamiseks tuleb vee ja peenosakeste segu setitada.

Tabel 6 Kivisöe katsetööde tulemused

Katsetöö materjal	Algmaterjali kogus, kg	Kiht	Kogus, kg	Kivisöe kogus, kg	Aherainekogus, kg	Kivisöe kogus, %	Aherainekogus, %	Kadu, %
31,5-63	15,72	3	1,2	1,5	12,9	11	89	8
		4	5,4					
		5	7,9					
16-31,5	35,92	1	2,9	2,9	0,0	100	0	12
		2	4,7	3,8	0,9	82	19	
		3	7,7	0,5	7,3	6	94	
		4	8,0	8,0	0,0	100	1	
		5	8,2	0,1	8,2	1	99	
8-16	32,6	2	4,6	4,6	0,0	100	0	23
		3	4,3	4,3	0,0	100	0	
		4	7,2	3,6	3,6	50	50	
		5	8,9	0,0	8,9	0	100	
4-8	34,42	3	5,1	5,1	0,0	100	0	48
		4	4,1	4,1	0,0	100	0	
		5	8,6	8,6	0,0	100	0	

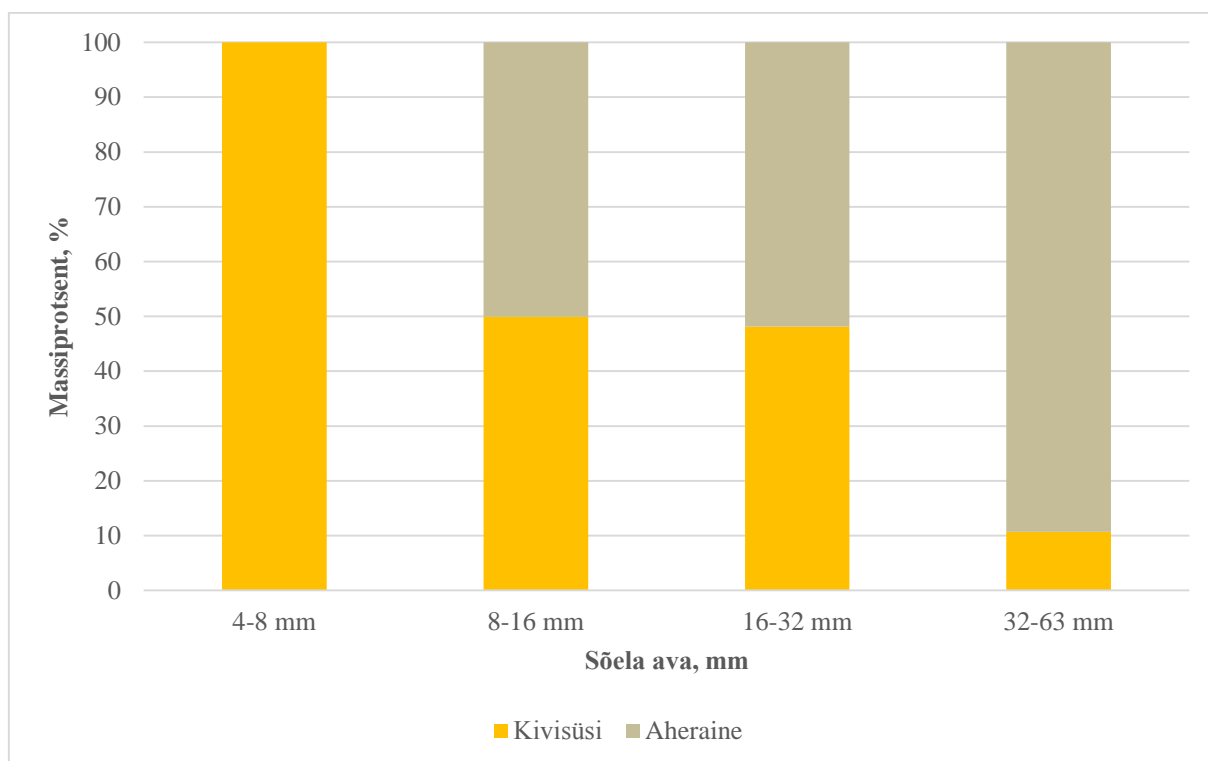


Joonis 28 Kivisöe märgsepareeritud klass. Läikivad mustad tükid on kivisüsi, halli varjundiga materjal on aheraine. Foto: Mäeinstituut



Joonis 29 Katsetatud materjali terastikuline koostis

MÄRGSEPARIIRIMINE MAAVARADE KAEVISTE RIKASTAMISEL



Joonis 30 Kivisõe ja aheraine massiprotsendid erinevates klassides

9. Diskussioon

2014. aastal teostatud märgsepariirimise katsetööd seadmega Alljig S400/600x400 näitasid, mis maavarasid ning mis parameetrite juures on võimalik kasutada. Katsetatavaid kaeviseid oli neli: põlevkivi, fosforiit, kruus ja kivilüsi. Põlevkivi ja kivilüsi käitusid sarnaselt ning toimus arvestatav kihtideks jaotamine, nagu katsete alguses ka eeldati. Erinevalt nendest kaevistest, käitusid sarnaselt fosforiit ja kruus, kus seadme maksimaalse sõela ava korral pesti aheraine liiv välja. Kihistumist ei toimunud. Fosforiidi puhul läks suur osa kasulikust komponendist kadudeks. Kruusa puhul oli erinevates proovikastidesse kihistunud segu lubja-, tard- ja liivakivist, kuigi komponentide massiprotsendid andsid lootust katsete jätkamisega. Kasutatavat kivilüsi ja põlevkivi kaevist rikastati töö käigus kolmel erineva meetodiga: kuivrikastamine purustuskopaga, märgsepariirimine ja käsitsi rikastamine.

9.1. Materjali tükisuurus ja kaod

Katsetest järeldus, mida suurem on materjali tükisuuruste erinevus, seda raskemini liigub materjal katseseadmes ja kihistub. Seda näitasid kruusa ja põlevkivikaevise 0-125 mm katsed. Enne märgsepariirimise katse teostamist on oluline eelnev materjali purustamine ja sõelumine. Mida peenem on fraktsioon, seda paremini materjal kihistub. Seepärast oleks kasulik materjal purustada klassiks 4-8 mm või 8-16 mm. Katsetava seadmel kasutatavad sõelad on 1-4 mm, siis tähendab see seda, et peenem materjal kui sõelaava juhitakse seadmest välja ning see läheb kadudeks kui ei toimu täiendavat rikastamist mõne teise meetodiga, milleks võib olla näiteks hüdrotsüklon.

Põlevkivi puhul oli näha seaduspärasust, mida väiksem on materjali klass seda suuremad on kaod. Eespool ära toodud märgsepariirimise puhul paremate klasside kaod jäävad 11-18% vahele, kuid vette juhitud materjal on välja setitav. Kuna kadudes on komponendiks üldjuhul vaid põlevkivi, ei pea seda täiendavalt rikastama. Kivilüsi puhul kehtis sama seos tükisuuruse ja kadude protsendi vahel, kuid kivilüsi kaod on suuremad. 4-8 mm ja 8-16 mm klasside kaod on 23-48%. Kadude vähendamiseks peab märgsepariirimise järel kasutama setitamist.

Fosforiidi katsetamisel 1 mm sõelal läks kadudeks 29% materjalist ja 4 mm sõela puhul 80%. Ka sellel juhul on materjal välja setitav, kuid kuna peenes klassis on kasuliku komponendi hulgas ka palju aherainet liiva, tuleb seda täiendavalt rikastada teiste meetoditega. Kruusa puhul ei saa otseselt kadusid vaadata, sest alla 4 mm materjal, mis läbi sõela läks moodustab liiva fraktsiooni.

9.2. Materjali valik ja seadme parameetrid

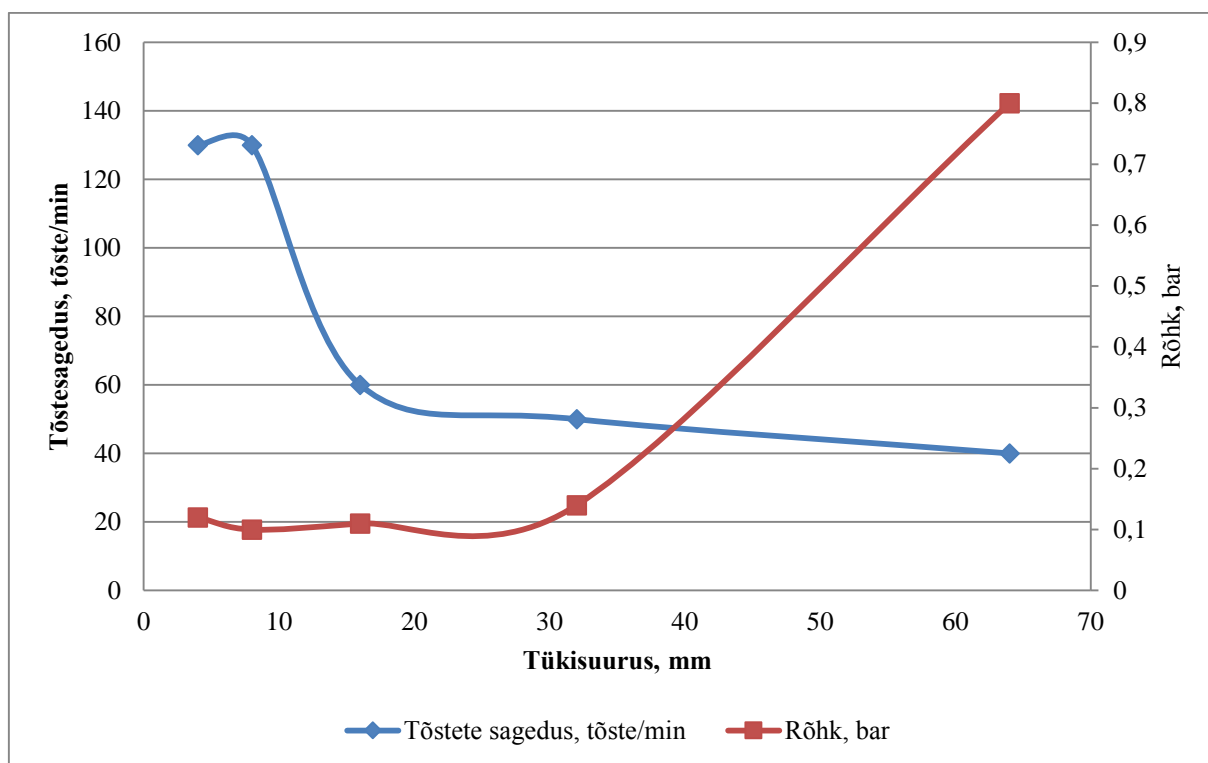
Katsetulemustest järeldus, et kihistumise seisukohast olid edukaimad põlevkivi ja kivisöe katsetulemused. Esiolgu hinnangul fosforiiti ei saa ja pole mõtet rikastada märgsepareerimise seadmega Alljig. Kruusa puhul on vaja teha mitu täiendkatset tõestamaks maavara kasutuskõlblikkust meetodi jaoks. Katsete hulka kuuluvad kindlasti kõigepealt mahumassi määramine, et välja selgitada lubjakivi ja tardkivimi tiheduste erinevused. Seejärel tuleb kruus sõeluda ühtlasemaks klassi, kasutades selleks ka standardse sõelanalüüsi jaoks mõeldud sõelakomplektides mittevajaminevaid vahepealseid sõelu. Samuti on mõtet katsetada ka erinevate karjääride kruusa, sest koostised võivad erineda väga suures ulatuses.

Põlevkivi ja kivisöe iga klassi kohta sooritati vaid üks katse. Täpsemate tulemuste saamiseks oleks vaja teostada mitu katset ja nende keskmiste väärtusi kasutades anda hinnang, mille piires tulemused võivad kõikuda. Oluline on ka koostöö teiste riikide kaevandajate ja uurimisgruppidega, et saaks katsetada väljaspool Eestit olevaid materjale. Nii tehti näiteks Poola kivisöe katsetööd Min-Novationi projekti raames.

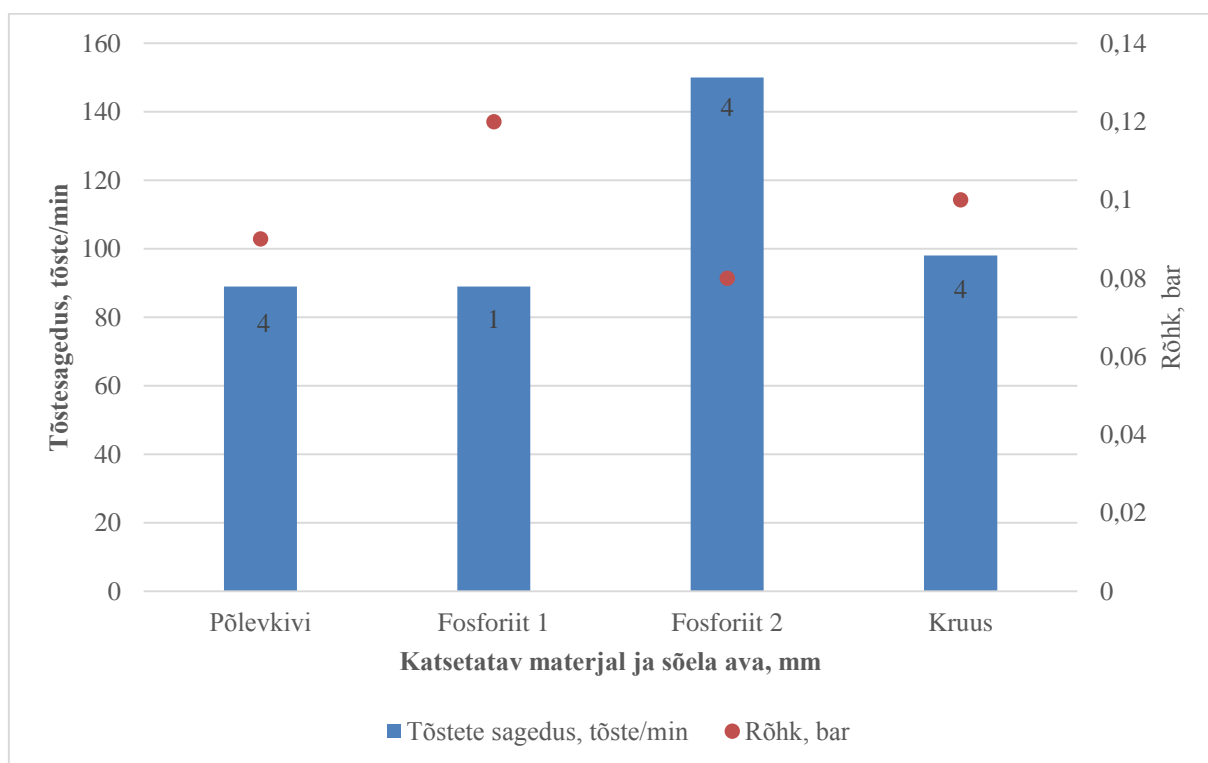
Katse edukas sooritus sõltub sõela ava, rõhu ja tõstete sageduse valikust. Milliste parameetrite juures materjal paremini käitub, saadi teada katsetööde käigus. Joonisel Joonis 31 on ära toodud 4 mm avaga sõela kasutades erinevate põlevkivi klasside käigus kasutatud parameetrid. Siit järeldub, mida suurem on katsetava maavara tükisuurus, seda väiksem peab olema tõstete arv minutis. Seevastu rõhk peab klassi suurenedes tõusma. Nagu varemalt öeldud, tulevad paremad tulemused klassidesse jaotamise teel. Joonisel Joonis 32 on ära toodud sõelumata kaeviste tööparameetrid. Fosforiidi tulemuste põhjal saab järeldada, sõela ava muutes miinimumist maksimumini, muutuvad märgatavalt teiste parameetrite valik.

Kuna kivisöe katsetööd olid teostatud varem ja ainsana autori poolt mitte teostatud, ei registreeritud peale sõela ava suuruse muid parameetreid. Soovitusena võib öelda, et tulevaste katsetööde raames on oluline kõik parameetrid üles kirjutada, et tulevikus materjali separeerimise käigus oleks teada õiged valikud. Arvestama peab ka sellega, et iga materjal käitub erinevalt ning parameetrid võivad varieeruda teatud piirides. Lisaks on soovitus igakord üles märkida veesamba tõusu ja languse kõikumise amplituut. Käesolevas töös kõikidel katsetel seda ei mõõdetud, kuid selle analüüs aitaks kaasa paremate tulemuste saamiseks.

MÄRGSEPARIIRIMINE MAAVARADE KAEVISTE RIKASTAMISEL



Joonis 31 Põlevkivi tükisuuruse sõltuvus märgsepariirimis seadme tõstesagedusest ja rõhust



Joonis 32 Sõelumata materjalide tükisuuruse sõltuvus märgsepariirimis seadme tõstesagedusest ja rõhust

9.3. Märgsepareerimine rikastamistehnoloogias

Rikastamismeetodid on olulised kaevise efektiivseks kasutamiseks ja kaevandamisjätmete minimaalseks tekkeks. Märgsepareeritud materjali erinevad kihid on kasutatavad eri valdkondades. Tabelis Tabel 7 on ära toodud separeeritud maavara kasutamise võimalused. Põlevkivil ja kivisöel toimus kihistumine ja kihte on võimalik kohe tooteks valmistada. Fosforiidil 4 mm sõela puhul saab fosfaati sisaldavad kujud kohe kätte, sest liiv pestakse välja, kuid kihistumist ei toimu. Katseseadmest eraldatud liiva tuleb esmalt setitada, et seda oleks võimalik edasi kasutada.

Kruusa puhul tuleb leida lahendus eri komponentide eraldamiseks, sest praegu kihistumist ei teki ja rikastamine on puudulik. Üldjuhul võib väita, et kõikides kaevistes täidab eraldatud aheraine täitematerjali rolli. Kas aheraine sobiks ehituseks või mitte, sõltuvad tema omadustest ja selle vastavusest standardi või seaduse nõuetele.

Tabel 7 Maavara teekond massivist tooteni, kasutades märgsepareerimist

Kaevis	Raimamise tehnoloogia	Töötlemine	Märgsepareeritud kiht	Materjal	Tooted
Põlevkivi	Draglain Ekskavaator Freeskombain Laavakombain	Purustamine	Ülemine	Põlevkivi	Elektrienergia Õli Keemiatööstuse tooraine
	Buldooserkobesti Puurlõhketööd	Rikastamine raskes vedelikus	Alumine	Lubjakivi	Täitematerjal
Fosforiid	Draglain Laavakombain Frontaalkombain	Kuulveskis peenendamine	Kõik kihid	Biogeenne fosfaat	Fosforhape Söodafosfaat Väetis
	Hüdromonitor Puurlõhketööd	Rikastamine flotatsiooniga	Sõelaalune	Flotoliiv	Täitematerjal
Kruus	Ekskavaator Kopplaadur	Sõelumine Purustamine	Kõik kihid	Graaniit	Kõrgemargiline killustik
				Lubjakivi	Erineva margiga killustik, ehitussegud
				Liivakivi	Täitematerjal
				Liiv	Täitematerjal, ehitusmaterjal
Kivisüsi	Draglain	Purustamine, rikastamine, sortimine	Ülemised	Kivisüsi	Elektri- ja soojusenergia, keemiatööstus
	Ekskavaator				
	Freeskombain		Alumised	Aheraine	Täitematerjal, teede ehitusekillustik
	Laavakombain				

MÄRGSEPARERIMINE MAAVARADE KAEVISTE RIKASTAMISEL

Töö käigus vaadeldavat tehnoloogiat saab kasutada põlevkivi ja kivisöe rikastamiseks. Fosforiidi puhul poleks selle kasutamine tasuv, sest liiva väljapesemist saab teostada ka kiiremini ja odavamate vahenditega. Samuti on kaod liiga suured ja peenmaterjal jääb rikastamata. Kruusa puhul pole samuti kasulik antud rikastusmeetodit kasutada. See muudaks ehituskruusa kalliks. Saadav graniidi ja lubjakivi eraldamine ei anna ehitajatele väga suurt kasu, sest kaevises on graniidi kogus liiga väike. Tabelis Tabel 8 on autor toonud peamised katsetatud materjalide omadused ja efektiivsed rikastamismeetodid. Märgsepareerimine on väga hea meetod ning selle arendamine suurendab võimalust, et seda kasutakse tulevikus Eestis põlevkivitööstuses.

Tabel 8 Rikastusmeetodi valik

Kaevis	Materjal	Omadused							Rikastusmeetodi valik		
		Kütteväärtus	Õli saagis	Kasuliku komponendi sisaldus	Surve-tugevus	Külmakindlus	Purunemiskindlus	Peen-materjali osatähtsus	1	2	Märgsetitamise võimalikkus
Põlevkivi	Põlevkivi	X	X	X				X	Raskes vedelikus	Kuivrikastamine purustuskopaga	Jah
	Lubjakivi			X	X	X	X	X			
Fosforiit	Fosfaat			X				X	Flotatsioon	Veejoaga pesemine	Ei
	Liiv										
Kruus	Graniit			X	X	X	X	X	Sõelumine	Veejoaga pesemine	Ei
	Lubjakivi			X	X	X	X	X			
	Liivakivi										
	Liiv										
Kivisüsi	Kivisüsi	X		X				X	Gravitatsiooniline	Raskes vedelikus	Jah
	Aheraine			X	X	X	X	X			

10. Kokkuvõte

Projekti Min-Novation raames soetas Mäeinstituut endale märgsepariirimise pilootseadme Alljig S400/600x400. Seade raputab kaevist koos veega ette antud rõhul ja üleslükete arvu juures ning kihistab tiheduse alusel eri materjali. Alumistesse kihtidesse jääb tihedam ja raskem osa, pealmistesse kergem. Iga kiht on teistest eraldatav, mistõttu peale katsetööd võime eri osad kokku korjata, kasutades neid vastavalt nende omadustele. Seadmel eraldab vett ja kaevist sõel, mille ava sõltub katsekäigust. Materjali osa, mis on väiksem sõela avast juhitakse katse käigus ära, mida on võimalik väljasetitamise kasutusele võtta.

Maavarade rikastamismeetodeid on mitmeid ning seepärast on antud töö ülesandeks uurida eri kaeviste käitumist märgsepariirimise seadmes. Katsetatavaks materjaliks oli põlevkivi, fosforiidi, kruusa ja kiviõõ kaevised. Analüüsiti, kui erinevalt käitub sõelutud ja sõelumata materjal, mis klassi puhul saavutatakse parimad tulemused, palju tekivad kadusid ning kas ja milliste maavarade puhul on antud meetod kasulik. Samuti hinnati seadme parameetrite valikut ja sobivust.

Töös järeldus, et kõigi kaeviste puhul ei saa antud meetodit kasutada. Parimad tulemused saavutati sõelutud põlevkivi ja kiviõõ klassid 4-8 mm ja 8-16 mm. Fosforiidi katsel toimus liiva väljapesemine kodadest, mis on ka rikastamine, kuid antud töös ei läinud see positiivse tulemusena arvesse, kuna ei toimunud eeldatavat kihistumist. Kruusa kaevisest pesti liiv välja ning materjal jaotus ebaühtlaselt. Katsest tekkis palju seaduspärasusi ja soovitusi edaspidisteks katsetöödeks. Lõppkokkuvõtteks võib öelda, et seade sobib teatud maavarade rikastamiseks. Katsetega peaks jätkama nii Eesti kui ka välismaa maavarasid kasutades.

11. Kasutatud allikad

1. **Riigiteataja.** Maapõueseadus. § 2. Mõisted. [Võrgumaterjal] 2014 [Tsiteeritud: 12. detsember 2014] <https://www.riigiteataja.ee/akt/108072014021>.
2. **Ignatovets, S., Valgma, I.** Põlevkivi rikastamisjääkide ladustamine ja alternatiivne kasutamine. Mäendus. Tallinn : TTÜ Mäeinstituut, 2014. lk 198-202.
3. **Eesti Standardikeskus.** EVS 670 Kaubapõlevkivi. Tallinn. 1998
4. **Reinsalu, E.** Eesti mäendus II. Tallinn. 2013. lk 49.
5. **Kattai V., Saarde T., Savitski L.** Eesti põlevkivi. Tallinn : Eesti Geoloogiakeskus, 2000. lk 81, 83.
6. **Väizene V., Valgma I., Iskül R., Kolats M., Nurme M., Karu V.** High selective oil shale mining. Oil Shale. Tallinn : Estonian Academy Publishers, 2013. lk 305-325.
7. **Ots, A.** Põlevkivi põletustehnika. Tallinn : Eesti Energia, 2004. lk 41-42.
8. **Valgma, I., Karu, V., Kolats, M.** Killustatav killustik - sette kivimitel paiknev Eesti vaevleb killustiku kaevandamise hirmudes, teadmatuses ja ehitusmaterjalide puuduses. Killustiku kaevandamine ja kasutamine. Tallinn : TTÜ Mäeinstituut, 2008. lk 49-53.
9. **Pastarus, J.-R., Valgma, I., Robam, K.** Täitmise tehnoloogia ja kaevandusvesi. Kaevandamine ja vesi. Tallinn : Eesti Mäeselts, TTÜ Mäeinstituut, 2011. lk 70-72.
10. **Valgma, I.** Mäemasinate kasutusreaal. Kaevandamine ja keskkond. Tallinn : Mäeinstituut, 2012. lk 29-39.
11. **Aarna A., Kask K., Reier A., Öpik I.** Põlevkivi. Tallinn: Eesti Riiklik Kirjastus, 1954. lk 61.
12. **Lauringson V., Reier A.** Eesti NSV maapõuevarad ja nende kaevandamine. Tallinn : Perioodika, 1981. lk 60-61.
13. **Valgma, I., Väizene, V., Kolats, M., Karu, V., Pastarus, J.-R., Rahe, T., Iskül, R.** Reduction of Oil Shale Losses. Environment, Technology, Resources. Rezekne : Rezekne Augstskola Izdevnieciba, 2013. lk 201 - 205.

14. **Varb N., Tambet Ü.** 90 aastat põlevkivi kaevandamist Eestis. Tallinn : OÜ GeoTrail KS, 2008. lk 339.
15. **Ignatovets, S.** Põlevkivi rikastamisjääkide ladustamine Estonia kaevanduse näitel. Lõputöö. Tallinn : Tallinna Tehnikakõrgkool, 2014. lk 13-14.
16. **Rahe, T., Nurme, M.** Põlevkivi kaevandamisest ning ühest võimalikust tuleviku tehnoloogiast. Mäendus. Tallinn : TTÜ Mäeinstituut, 2014. lk 122-131.
17. **Nurme, M.** Allu purustuskopa katsed Narva karjääris. Talveakadeemia 2014 Teaduslikud lühiartiklid. Tartu : MTÜ TalveAkadeemia, 2014. lk 50-59.
18. **Ralston, O. C.** Electrostatic separation of mixed granular solids. Amsterdam : Elsevier Publishing Company, 1961. lk 72-80.
19. **Plakk, P.** Elektriliste separaatorite uurimine Eesti põlevkivi rikastamise seisukohalt. Tallinn : Tallinna Polütehniline Instituut, 1959. lk 1-5, 22-37.
20. **Reinsalu, E.** Fosforiit kui Eesti loodusvara. Eesti Loodus. Tallinn : Eesti Loodus, 2012. lk 8-12.
21. **Tsutsulkovsky, V. Y., Boldin, V. S., Yurkova, L.A., Shuvalova, N. K.** Flotation of Low-grade phosphorite ores of the Baltic basin. Proceedings of the Soviet-Swedish symposium on the beneficiation of phosphate rock. 1979. lk 94-128.
22. **Kulu, P., Kübarsepp, J., Valdma, L.** Metallioõpetus ja metallide tehnoloogia I. Metallioõpetus ja metallurgia. Tallinn : TTÜ kirjastus, 1998. lk 65-67, 82-84.
23. **Närep, E.** Kaevisest peenosiste eraldamise võimalused. Lõputöö. Tallinn : TTÜ Mäeinstituut, 2013. lk 15-30.
24. **Raudsepp, R., Räägel, V., Savitskaja, L., Orru, M., Kattai, V.** Eesti maapõuerikkusi. Tallinn : Eesti Geoloogiakeskus, 1993. lk 31-32, 40-41.
25. **Petersell, V., Shtokalenko, M., Täht-Kok, K., Talpas, A.** Kirde-Eesti tööstuspiirkonna pinnase (muldade) keskkonnaseisundi uuringute aruanne. Tallinn : Eesti Geoloogiakeskus, 2013. lk 10.

- 26. Karu, V., Valgma, I.** Pilootseade kaevandamisel tekkinud jääkide ja jäätmete töötlemiseks ning uute kasutusvalade leidmiseks. Mäendus. Tallinn : TTÜ Mäeinstituut, 2014. lk 132-142.
- 27. Aaloe, A., Bauert, H., Soesoo, A.** Kukersiit- Eesti põlevkivi. Tallinn : TÜ GEOGuide Baltoscandia, 2006. lk 36.
- 28. Adamson, A., Reinsalu, E., Valgma, I., Sõstra, Ü., Lind, H., Tammoja, T, Tohver, T., Karu, V., Västriku, A.** Eesti põlevkiviresursi kasutamissuundade riikliku strateegia aastani 2020 alusuuringud. Tallinn : TTÜ Mäeinstituut, 2005. lk 7.
- 29. Nurme, M., Rahe, T., Valgma, I.** Fosforiidi rikastamise katsetööd. [toim.] Lang, L., Truuver, K., Post, T. Fosfor- aegade algusest tänapäevani. Schola Geological X. Tartu : Eesti Loodusuurijate Selts, 2014. a. lk 65-68.
- 30. Kaar, E., Kiviste, K.** Maavarade kaevandamine ja puistangute rekultiveerimine Eestis. Tartu : Eesti Maaülikool, 2010. lk 15-23.
- 31. Reinsalu, E.** Eesti mäendus. Tallinn : TTÜ kirjastus, 2011. lk 68-69.
- 32. Cala, M.** Mining Waste Management in the Baltic Sea Region. Min-Novation project. Krakow : Wydawnictwa AGH, 2013. lk 24-31.