

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Loodusteaduskond
Geoloogia instituut



Põlevkivi kombainkaevandamise tehnoloogia kamberkaevandamisel asulate all Ojamaa kaevanduse tingimustes

Bakalaureusetöö

Juhendaja: Tõnu Tomberg, MSC

Kaasjuhendaja: Vladimir Mazin, VKG
Kaevandus OÜ,
Peatehnoloog

Üliõpilane: Roman Malõšev
143069 AAGB

Õppekava nimetus: AAGB 02/09

Tallinn 2017

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus ning kinnitan, et esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Kinnitan, et antud töö koostamisel olen kõikide teiste autorite seisukohtadele, probleemipüstitustele, kogutud arvandmetele jmt viidanud.

Roman Malõšev

.....

(allkiri ja kuupäev)

Juhendaja: *Tõnu Tomberg*

Töö vastab bakalaureusetööle esitatavatele nõuetele.

.....

(allkiri ja kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees:

Lubatud kaitsmisele

.....

(nimi, allkiri, kuupäev)

Tallinna Tehnikaülikool
Geoloogia instituut
Lõputöö ülesanne

Töö ID	1702B	Õppekava	AAGB02/09
Üliõpilane	Roman Malõšev	Matrikli nr.	143069 AAGB
Töö liik	Bakalaureusetöö	Õppeaine kood	
Juhendaja	Tõnu Tomberg	Ülesanne kehtib kuni	01. juuni 2017.a.

Töö ülesanne	Põlevkivi kombainkaevandamise tehnoloogia kämberkaevandamisel asulate all Ojamaa kaevanduse tingimustes
Topic of the Thesis	Development of technology for oil shale uderground mining with continuous miners in codition of Ojamaa oil shale mine

Töö sisu põhipunktid	Mäeeraldise üldiseloomustus Käesoleval ajal kasutatav tehnoloogia Kombainkaevandamise tehnoloogia lühieekombainiga Kombaini valik Tervikute arvutus Kokkuvõte
----------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Seotud teadusteema ja/või sihtasutus	VKG Kaevandused OÜ
--------------------------------------	--------------------

Tähtajad

Eelkaitsmine	22. 05	Kaitsmine	Alates 01.juuni 2017.a.
--------------	--------	-----------	-------------------------

Üliõpilane	Roman Malõšev		19. 05. 2017 a
Juhendaja	Tõnu Tomberg		17.05.2017 a
Konsultant			
	_____	_____	_____
	nimi	allkiri	kuupäev

Ülesanne kinnitatud	_____
Ülesanne täpsustatud	_____
Ülesanne pikendatud	_____

Põlevkivi kombainkaevandamise tehnoloogia kamberkaevandamisel asulate all Ojamaa kaevanduse tingimustes

Sisukokkuvõte

Kui mäeeraldise piirkonnas maa peal tuleb ette objekte, mis vajavad kaitset, siis kaevandamine nende all on keelatud või piiratud. Peamiselt on see tingitud lõhketööde seismilisest mõjust. Selliste kohtade kaevandamiseks töötakse kaevandustes välja eriprojektid.

Kui arvutada maksimaalne põlevkivi toodang piirkonnast, kus asuvad hooned ja mille põlevkivivara kogust on teada, kasutades puur-lõhketööd, siis on vaja arvestada hoidetsoonide suurused ja seismilise mõju tsoonid. Seega lõpptulemus väheneb umbes kaks korda.

Kui samas piirkonnas kaevandada põlevkivi mehaanilise raimamisega ehk kasutades lühieekombaini, siis saab väljata umbes 85% põlevkivi kambriplokist.

Abstract

The purpose of this study is to compare two different technologies for oil shale extraction from the mine at Ojamaa in a chamber block, using drilling and blasting or continuous miner.

If there are some objects at mining district that need protection, then the mining under them is prohibited or restricted. This is mainly due to the seismic effects of blasting. These locations for the extraction are operated with special projects. When calculating the maximum oil shale production in region where the buildings are located and the amount of oil shale property is known, using drilling and blasting, it is necessary to consider protection zone sizes and seismic impact zones. Thus, the end result is reduced by about two times.

Mining oil shale in the same area by using a mechanical extraction technology, it can be about 85% of oil shale extracted.

Sisukord

1. Sissejuhatus	7
1.1 Probleemi käsitus	8
2. Mäeeraldise üldiseloostus	9
2.1 Ojamaa kaevanduse geoloogiline ehitus ja maavara varud	10
2.2 Põlevkivikihi ehitus ja kvaliteet	11
2.3 Kaevevälja hüdrogeoloogiline iseloostus	13
3. Olemasoleva tehnoloogia lühikirjeldus	14
4. Peatatud töödega kambriploki nr 1401 andmed	15
4.1 Hoiatavad objektid	15
4.2 Hoonete kaitsetervikute mõõtmete määramine	17
5. Puur-lõhke tööd	19
5.1 Seismiline mõju	19
5.2 Seismilise mõju arvutamine	19
5.3 Arvutustulemused	22
6. Kombainkaevandamise tehnoloogia	24
6.1 Kombaini valik	26
6.1.1 Sandvik MB 600 series	26
6.1.2 Alpine Bolter Miner ABM 20	27
6.1.3 Sandvik MC350	28
6.1.4 JOY 14CM27	29
6.2 Tervikute arvutus	30
7. Tulemuste analüüs	33
8. Kokkuvõte	34
9. Kasutatud kirjandus	35

1. Sissejuhatus

Ojamaa kaevandus tegutseb juba 8 aastat ja kasutusel oli ainult puur-lõhketööd. Kuid viimasel ajal mõeldakse vahetada seda kombainkaevandamise tehnoloogiaga.

Kombain on hea variant tervikute õige suuruse tagamiseks ning lisaväärtuse annab ka maavara kadude vähenemine olematu kambri seinte purunemistsooni tõttu. Elektriajamiga läbinduskombainid roomikutel käiguosaga on võimelised üheaegselt teostada raimamise ja toestamise protsesse, mis võimaldab pidevalt kaevandada maavara. Kombainid on projekteeritud tööks koristus- ja ettevalmistuskaeveõõntes. Kombaine saab kasutada söe-, kipsi- ja soolakaevandustes, nii ettevalmistamisel, kui ka kamberkaevandamisel.

Käesolevas töös käsitletakse kahe erineva Ojamaa kaevanduse kaevevälja konkreetse piirkonna kaevandamisvarianti. Vaatleme olemasolevat kamberkaevandamissüsteemi puur- ja lõhketöödega ja võimalikku alternatiivset kamberkaevandamisviisi lühieekombaini kasutamisega. Analüüsitakse kambriplokki nr 1401, mille piirkonnas maa peal asub 3 talu; käesoleval ajal on nimetatud kambriplokis tööd peatatud.

1.1 Probleemi käsitlus

Tänapäeval kasutatakse Eesti põlevkivikaevandustes sammastervikutega kamberkaevandamisviisi. Puur- ja lõhketöödega raimamine koos laadurveokite kasutamisega võimaldab efektiivset kamberkaevandamist. Käesoleval ajal on kamberkaevandamise tehnoloogia pidevalt täiustunud, mäemasinad on välja vahetatud uute, täiustatud ja töökindlate masinate vastu. Juurutatud on uued puur- ja lõhkemasinad, täpsustatud on koristuse parameetreid ja parandatud on tööde organiseerimist kambriplökkides. Loetletud tegevused kindlustasid peamiste tehnilis-majanduslikke näitajate kasvu.

Kuid mäeeraldise piirkonnas maa peal mittehärva tuleb ette objekte, mis vajavad kaitset ja kaevandamine nende all on keelatud või piiratud. Peamiselt on see tingitud lõhketööde seismilisest mõjust. Selliste kohtade kaevandamiseks töötakse kaevandustes välja eriprojektid, milles arvutatakse lõhketööde seismilise mõju tsoonid, kehtestatakse täiendavad piirangud mäetöödele (lõhketöid teostatakse ainult päevasel ajal, piiratakse üheaegselt lõhatavate kambrite arvu, üheaegselt lõhatav lõhkeaine kogus jne). Mõningatel juhtudel mäetööd peatatakse ja osa mäeeraldisest kantakse maha.

Lõhketööde mõju saab välistada põlevkivi mehaanilise raimamisega (näiteks, läbinduskombaini kasutamisega).

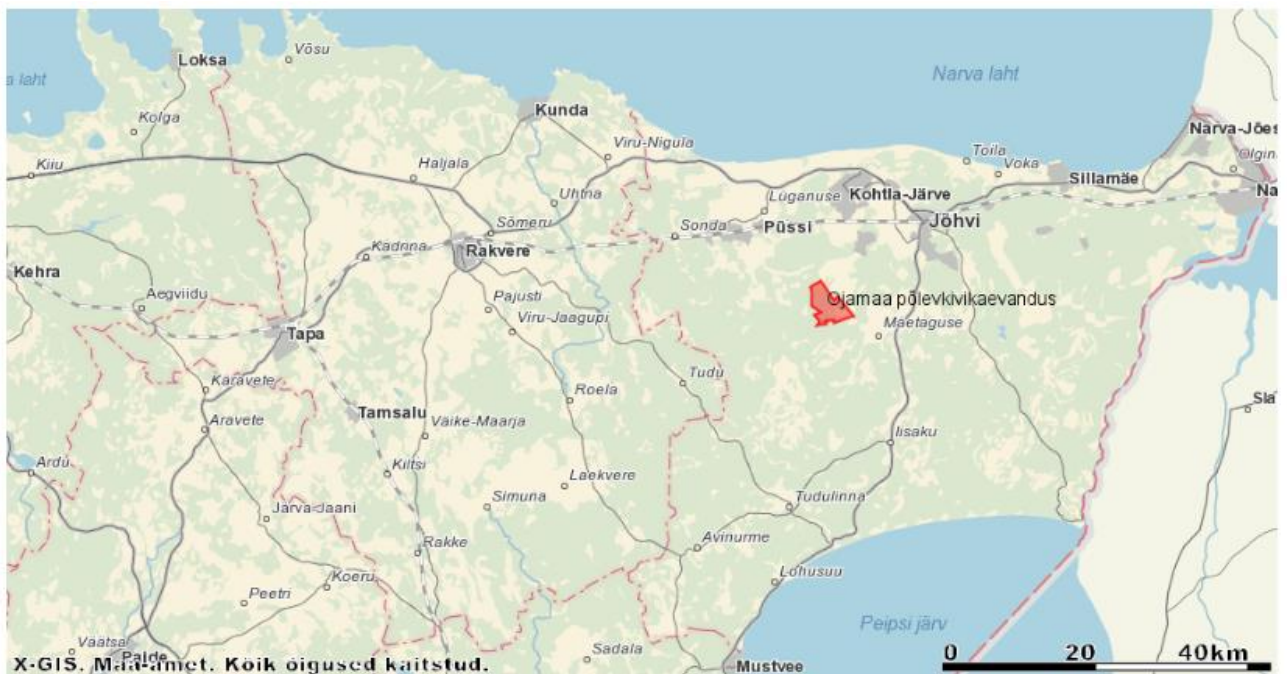
Käesolevas töös võrdleme võimalike põlevkivikadusid Ojamaa kaevanduse konkreetses kambriplöki väljamisel puur- ja lõhketöödega ja kombaini kasutamisel.

2. Mäeeraldise üldiseloostus

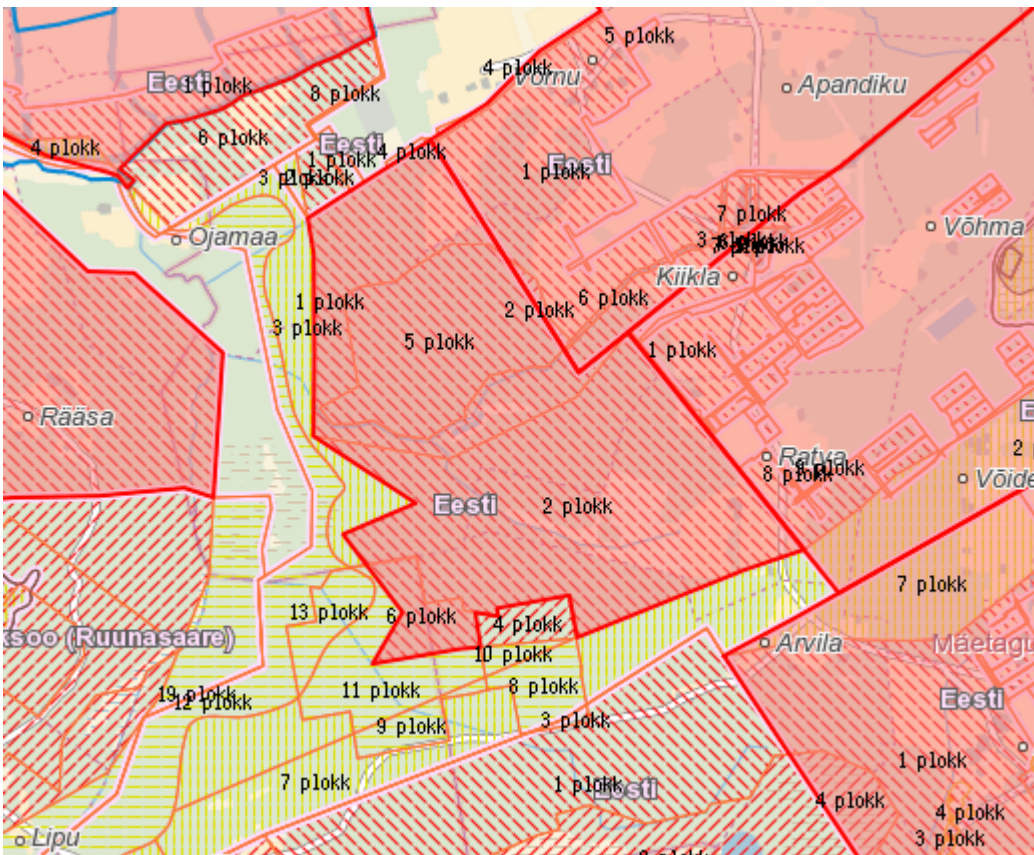
Ojamaa kaeveväli asub Eesti põlevkivimaardla keskosas ja administratiivselt paikneb Ida-Virumaa Mäetaguse ja Maidla vallas. Kaevandamisluba nimetatud kaeveväljal kinnitati Keskkonnaministeriumi poolt 27.09.2004 ja selle number on KMIN-055. Kaevandamist alustati aastal 2009. [1]

Kaevevälja piirid on järgmised: põhjas – Kohtla kaevandus, Idas – Somp ja Viru kaevandus, kus on varu ammendatud ja kaevandused täitunud veega. Lõunas - Ahtme tektooniline rike ning Muraka LKA. Läänes on kaevevälja piiriks Purtse ürgorg. [2]

Ojamaa kaevandusel on rikastusvabrik, ka purustus- ja sõelumiskompleks. Sõelumiskompleksist väljub 2 erinevat põlevkivi fraktsiooni 0...25 mm ja 25...125 mm, millest esimene suunati otse 12 km pikkusele konveierile Kohtla-Järve suunas, ning suurem fraktsioon kuulus rikastamisele ehk põlevkivi ja paekivi (aheraine) eraldamisele. [3]



Joonis 1. Ojamaa põlevkivikaevandus asub Ida- Virumaal Mäetaguse vallas. Joonis Maa-amet kaardirakendusest.



Joonis 2. Ojamaa põlevkivikaevanduse mäeeraldise piir. Joonis Maa- ameti kaardiserveri maardlate rakendusest.

2.1 Ojamaa kaevanduse geoloogiline ehitus ja maavara varud

Maapind vaadeldava kaevevälja kohal on peamiselt tasane, kuid esineb ka ebatasasusi. Kõige kõrgem on idapoolne osa. Maapinna pidev langus toimub läänesuunas. Ligi 70% pindalast on kaetud metsaga, soostunud alad hõlmavad kuni 20%. Hüdrograafilise võrgu moodustavad kuivenduskraavid. [2]

Ojamaa kaeveväljal on suhteliselt lihtne geoloogiline ehitus. Katendi paksus kogu põlevkivikihi ulatuses jääb enamasti 28-31 m piiridesse. Kattekivimid koosnevad peamiselt karbonaatsetest kivimitest, neid katavad erineva paksusega kvaternaarsed setted. Karbonaatsed kivimid koosnevad peamiselt peenekristallilistest õhukesekihulistest kergelt savikatest paekihidest üksikute mergli ja põlevkivi vahekihtidega. [2]

Kaevandatava põlevkivi kihindi põhja lasumissügavus maapinnast on põhjapiiril 30 meetrit, kasvades lõuna suunas 40 meetrini. Kaevandusvälja keskosas sügavus kõigub 35 ja 42 meetri vahel.

Põlevkivi ja teda katvad lubjakivid kuuluvad Keskordoviitsiumi ladestusse. Põlevkivi põhilise katendi (alus kivimid) moodustavad lubjakivid, mis sisaldavad alumises osas õhukesi kerogeeni

sisaldavaid vahekihte ja ka savikaid vahekihte. Lubjakivikompleksi kogupaksus on 25–36 meetrit, kivimeid läbivad vertikaalsuunalised tektoonilised lõhed. [1]

Ojamaa kaevanduse 2015. aasta detsembri seisuga kaevandatava põlevkivi aktiivne tarbevaru on 58681 tuhat t [4]. Kaevandamisloa kehtivus on alates 28.10.2004 kuni 27.09.2029. Kaevandamisel maksimaalse lubatud aastamäär on 3500 tuhat t aastas. Maavara kasutusala on energia ja põlevkiviõli tootmine. [5]

2.2 Põlevkivikihi ehitus ja kvaliteet

Põlevkivikihi keskmine paksus kaevälja põhjapoolses osas on 2,62 m, s.h. põlevkivikihtide paksus - 2,17 m. [1]

Terve põlevkivikihi iseloomustamiseks vaatleme lühidalt üksikuid kihte [1].

Kiht A lasub põlevkivikihi allosas ja kujutab endast nõrgalt savikat pruuni või tumepruuni põlevkivi. Kihi paksus on 0,12...0,15 m, keskmiselt 0,13 m.

Kiht B – pruun põlevkivi, kergelt savikas, löögi puhul puruneb õhukesteks kihtideks. Kihi B põlevkivi on kõige kõrgema kütteväärtusega ja kõige puhtam. Paksus on vahemikus 0,5...0,6 m, keskmiselt 0,53 m.

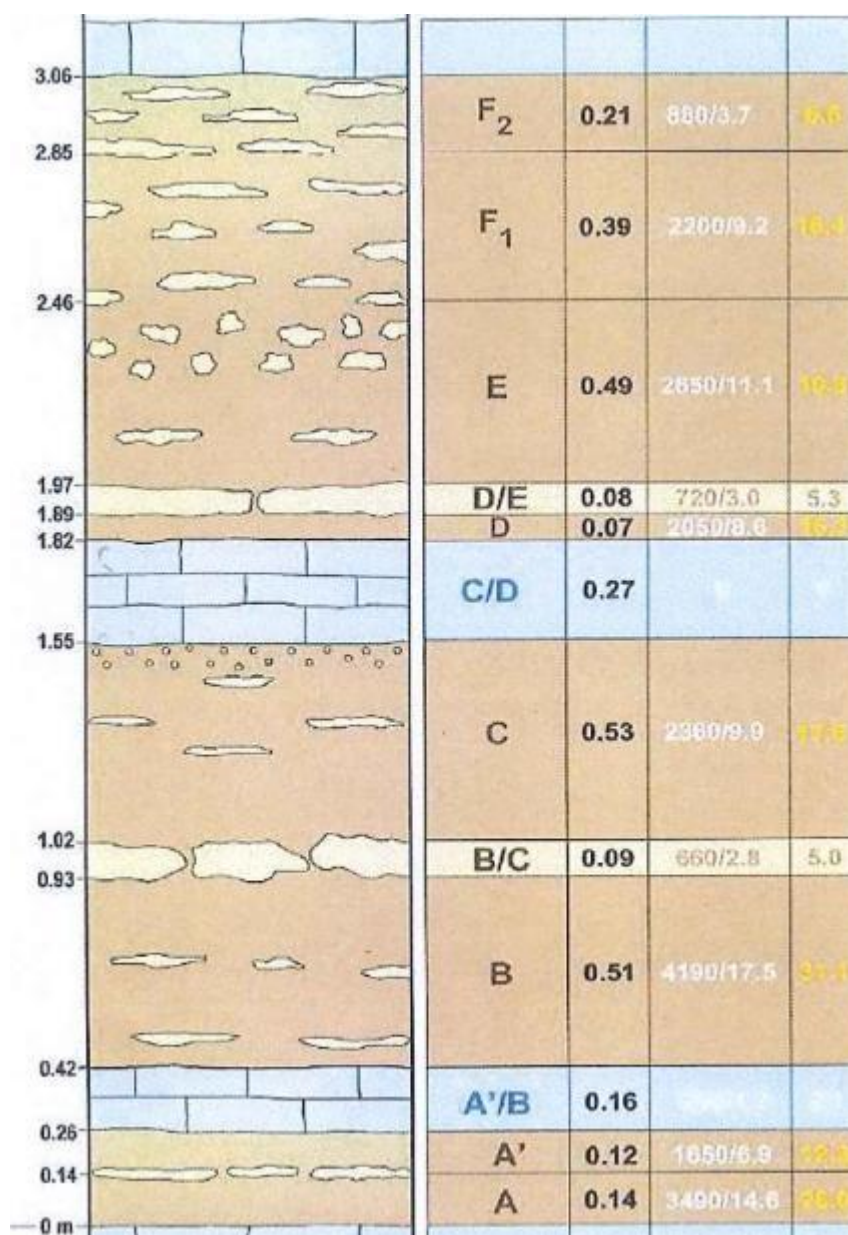
Kiht C – põlevkivi on pruun või tumepruun koos lubjakivimugulatega ja lubjakivi vahekihtidega (paksusega 0,04...0,05 m). Kihi alumises osas on põlevkivi puhas ja kerge. Kihi paksus suureneb 0,04...0,05 m lõunaosas kuni 0,2...0,3 m põhjaosas.

Kiht C/D nn. „kaksikpaas” – tihe paas, värvus helehallist tumehallini. Tavaliselt kihi C/D kontaktid põlevkivikihtidega on selged, teravad ja sirged. C/D praktiliselt ei sisalda kerogeeni. „Kaksikpaas” on tootsas kihindis kõige paksem ja hästi markeeriv oma ühtlase paksuse, suure kõvaduse ja halli värvuse poolest Kihi keskmine paksus on 0,25 m.

Kiht D – hästi savikas põlevkivi (vahest ka kerogeenisaldav mergel) pruunikas-hall roheka varjundiga, raske, löögi puhul puruneb plaatideks. Paksus on 0,03...0,1 m, keskmiselt 0,08 m.

Kiht E – põlevkivi, värvus helepruunist tumepruunini, sisaldab kerogeenseid lubjakivi konkretsioone mõõtmega kuni 0,06...0,07 m. Kihi paksus on 0,40...0,60 m, keskmiselt 0,47 m.

Kihindi ehitus koos keskmiste näitajatega plokis I on antud joonisel 3.



Joonis 3. Põlevkivikihi ehitus [1]

Põlevkivikihi A–F1 kütteväärtus on kõrge, võrreldes maardla ülejäänud hõlvamata osaga. Kihindi ülapiaksus on 2,6–2,9 m, mäemassi kütteväärtus 8,7–10,5 MJ/kg ja energiatootlus 41–46 GJ/m².

Tabel 1. Põlevkivikihtide omadused [2].

Kiht	Ojamaa 1 (plokk I)			Ojamaa 2 (plokk II)		
	Paksus, m	Kütteväärtus		Paksus, m	Kütteväärtus	
		kcal/kg	MJ/kg		kcal/kg	MJ/kg
F ₁	0,38	2340	9,8	0,39	2201	9,21
E	0,44	2896	12,1	0,49	2645	11,07
E/D	0	0	0,0	0,08	718	3,01
D	0	0	0,0	0,07	2056	8,61
D/C	0,20	596	2,5	0,27	0	0,00
C	0,57	2926	12,2	0,53	2362	9,89
C/B	0,11	778	3,3	0,09	661	2,77
B	0,54	4340	18,2	0,51	4189	17,54
B/A'	0,14	365	1,5	0,16	290	1,21
A'	0,09	1927	8,1	0,10	1853	7,76
A'/A	0,02	602	2,5	0,02	754	3,16
A	0,13	3610	15,1	0,14	3484	14,58

2.3 Kaevevälja hüdrogeoloogiline iseloomustus

Arvestades mäemassiivi ehitust kaevevälja piirides, on vee juurdevool kaeveõntesse suurim ordoviitsiumi veekompleksist, kuhu kuuluvad Nabala-Rakvere ja Keila-Kukruse veekihtid.

I. Nabala-Rakvere veekiht levib vaadeldava ala kaguosas ja võtab enda alla Rakvere ja Nabala lademetel lähelised lubjakivid ja dolomiidid kogupaksusega 7 m.

II Keila-Kukruse veekiht levib Kukrusse, Idavere, Jõhvi Keila veekihi alumises osas ja võtab enda alla peaaegu kogu Ojamaa kaevevälja. Lamamis lasub põlevkivikihtidele. [2]

Kaevandusvesi on suurema mineraalisisaldusega, põhiliselt sulfaatide arvel.

Põlevkivi kaevandamisel kaevandusvee tase langeb kuni kaevevälja põrandani. Sõltuvalt meteoroloogilistest faktoritest iseloomustavad vee juurdevoolu suured sesoonsed kõikumised.

Tektooniliste rikete vööndeid ja karsti iseloomustavad suurenenud vee juurdevool, laekivimite ebapüsivus ja tühikute moodustumine nendes. Tektooniliste rikete keskosa on täidetud savika vett halvasti läbilaskva materjaliga. Rikketsoonide äärealade avamisel kaeveõntega suureneb vee juurdevool. [1]

3. Olemasoleva tehnoloogia lühikirjeldus.

Praegu on kasutatud sammastervikutega kamberkaevandamine, kus on arenenud puur-lõhke tööde tehnoloogia. Mäerõhu kontroll on tagatud hoidetervikutega mõeldud pikemale elueale, mis hoiavad kivimit mäemassiivis. Nende vahele moodustatakse kambrid, kus saavad mäemasinad liikuda ning manööverdada. Kambrite toetamiseks on kasutusel ankurtoestik. Ankur on üsna lihtsasti valmistatav ning paigaldatav. Samuti on ta korduvkasutatav, mis teeb selle kasutamise veel mugavamaks. Rakendatud kivimi massi lausväljamine. Jagamine kasuliku tootele ja lubjakivile toimub rikastusvabrikus rikastumise protsessi ajal. [6]

Täielik puhastamistsükkel koosneb mitmest eraldatud toimingust, mis on venitatud ajal ja kaevevälja aladel.

Kõik tsükli operatsioonid:

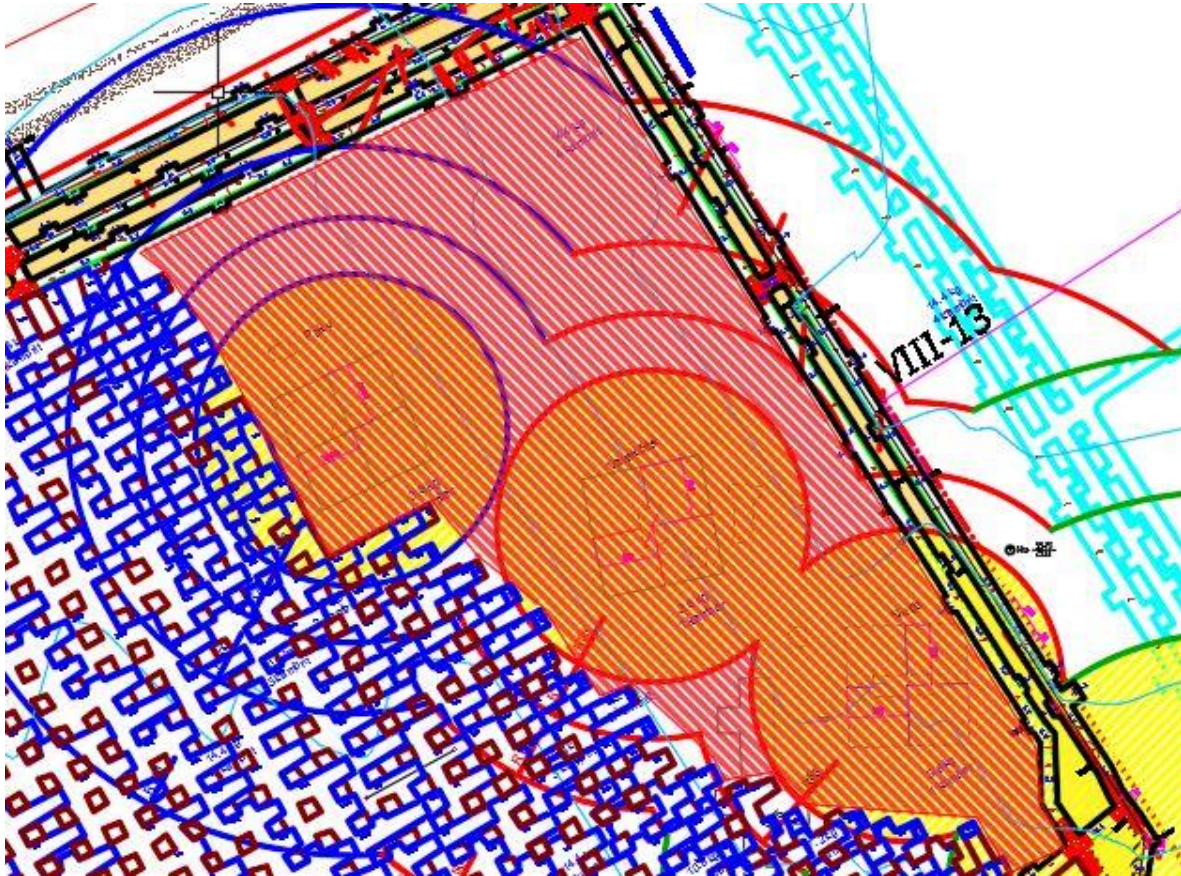
- Aukude puurimine lakke ja lae toetus
- Lõhkeainete paigaldamiseks mõeldud aukude puurimine
- Laadimine ja lõhkamine
- Ventilatsioon pärast töö lõpetamist
- Kivimimassi kohaletoimetamine

Mäetööde protsesside paljusus tingib seda, et mäemassi laaditakse ühes ees ainult ühes vahetuses ööpäevas, see ei ole efektiivne koristustööde frondi kasutamise vaatevinklist. Ojamaa kaevanduse plaaniliste ülesannete täitmiseks tuleb töös hoida 7 kuni 8 monteeritud kamberplokki. [1]

Lõhatud kivimi mass oma koostiselt sisaldab mittegabariite. See põhjustab avariilisust konveiertranspordil. Seetõttu mittegabariitne materjal purustatakse gabariitseks purustitel, mis on paigaldatud laadimiskohtadesse igas kamberplokis. [1]

4. Peatatud töödega kambriploki nr 1401 andmed

Katsetamiseks oli valitud üks osa 1401. plokis, mis ei ole veel väljatud ning kus on tööd praegu peatud. Autocadi kaudu sain pindala umbes 41000 m² Ojamaa kaevanduse plaanist.



Joonis 4. Kamberploki katsetav osa kaevanduse plaanis.

Kui lae kõrgus on 3,2 m, siis Ojamaa tingimustes põlevkivi kihindi tootlikkus on $P = 4,165 \text{ t/m}^2$. Seega Põlevkivi varu nimetaud piirkonnas on $4,165 * 41000 = 170765 \text{ t}$ põlevkivi.

4.1 Hoiatavad objektid

Metoodika järgi hoitavad objektid jaotuvad kolme hoiusklassi [7]:

I hoiuklass:

1. Maa-ala, mille hoidmine on sätestatud kaitstavate loodusobjektide seadusega
2. Veehaarde, sanitaarkaitseala, mille hoidmine on sätestatud veeseadusega.
3. Veekaitsevöönd, mille hoidmine on sätestatud ranna ja kalda kaitse seadusega

II hoiuklass:

1. Raudtee ja maantee
2. Tiheasula
3. Kaevanduse šaht
4. Riigikaitse rajatis
5. Vee-, gaasi, kütte- ja muu magistraalorustik ning kaabelliin;
6. Nelja ja enamkorruselise hoone
7. Üle 3-aastase kestusega paiksed tööstusehitised ja seadmed
8. Riigi geodeetilise põhivõrgu punktid
9. Seadusega kaitstavad looduse üksikobjektid
10. Püsivad veekogud

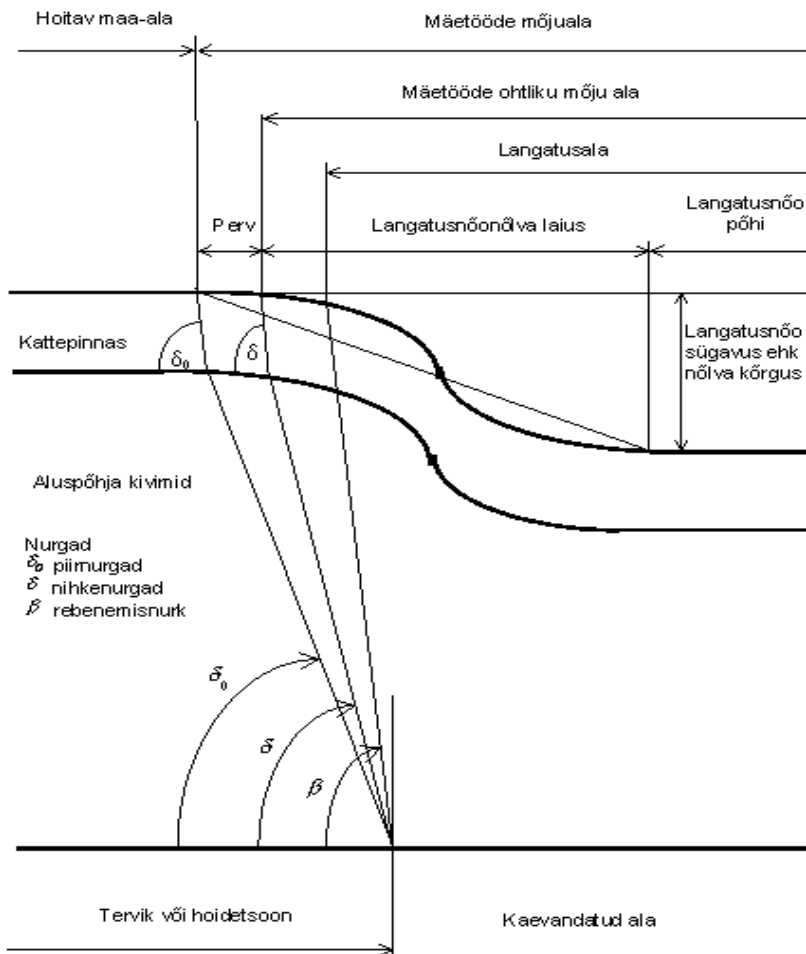
III hoiuklass:

1. I ja II hoiuklassi mittekuuluvad ehitised ja maa-alad (objektid).

I hoiuklassi objekti alla jäetakse reeglina hoidetervik, millesse jääv maavara arvatakse kaevandamisele kuuluvast maavara varust maha.

II hoiuklassi objekti alla jääva maavara kaevandamise kohta koostatakse objekti hoidmise projekt, milles valitakse ja põhjendatakse hoidemeetmed.

Kui hoitava objekti all tehakse mäetöid, tuleb hoitava objekti hoidmiseks moodustada maa alla hoidetsoon. II hoiuklassi ehitiste alla jäetava hoidetsooni suurus määratakse lähtuvalt kaevandamisviisi tehnoloogilistest parameetritest nii, et kaitstav ehitis koos tema piirist kuni 5 m laiuse pervega jääks välja kivimi nihkenurkadega määratud mäetööde ohtliku mõju alast. II hoiuklassi kuuluva veekogu ja kaitstava looduse üksikobjekti moodustatakse hoidetsoon nii, et objekt jääks välja rebenemisnurgaga (β) määratud langatusalast. [7]



Joonis 5. Allmaakaevandamise mõju maapinnale [7]

4.2 Hoonete kaitsetervikute mõõtmete määramine

Allmaakaevandamise ohtliku mõju tsooni piirid maapinnal määratakse välise kaitsetervikute rea suhtes aluspõhja kivimite ja pinnase nihkenurgal.

Hoidetsooni arvutamiseks võtan need parameetrid, mis on lähedamatel objektidel, kus oli juba ülevaade tehtud Ojamaa kaevanduse poolt. Seega talude asukohas on põlevkihi kiht 30,15 m sügavusel. Kvaternaarse te paksus on 3,10 m, kaeveõone kõrgus mäetööde teostamise koha on 3,2 m.

Aluspõhja kivimite nihkenurk igal suunal võetakse 70° ja pinnase nihkenurk 50° .

Kaitseterviku piirid määratakse arvestades kaitsetsooni suurust valemiga 1 [7]:

$$R = h_k * \cot \varphi + (H_k + h) * \cot \delta + B_1; \quad (\text{valem 1})$$

5. Puur-lõhke tööd

5.1 Seismiline mõju

Kaitstavate objektide altkaevandamisel toimub arvutus lõhketööde seismilise mõju järgi. Seejuures määratakse objekti maksimaalne lubatud võnkekiirus, mis võib tekkida lõhkamisel. Selle alusel arvutatakse lõhkeaine kogus, mida võib lõhata ühes viitegrupis ja millisel kaugusel on lõhkamine lubatud.

Seismilise mõju arvutus on kinnitatud MKM määrusega. Esmajärjekorras vaadeldakse kaitstava objekti seisundit. Sellest sõltuvad kasutatavad koefitsiendid arvutustes.

5.2 Seismilise mõju arvutamine

Lõhketööde projekteerimisel maksimaalselt lubatav võnkekiirus hoonetele arvutatakse järgmise valemiga: [8]

$$v_{maks} = v_1 F_k; \quad (\text{valem 2})$$

Kus:

- V_1 – maksimaalselt lubatud võnkekiirus (cm/s) vastavalt kaugusele hoitavast objektidest ja pinnase omadustele
- F_k – ehitise liigist sõltuv parandustegur

Eeldame, et kaitsvad hooned on ehitatud kergbetoonplokkidest, vundamendid on ehitatud maakividest ja tsemendist. Hoonete aluspinnas on pehmest moreenist.

Tabel 2. Ehitise suurim lubatav võnkekiirus sõltuvalt kaugusest ja aluspinnasest [8]

Kaugus ehitiseni (m)	Suurim lubatav võnkekiirus v_l (cm/s)		
	Ehitise aluspinnas		
	Savi, kruus, liiv, pehme moreen	Tugev moreen, kildad, pehme lubjakivi, liivakivi	Graniit, gneiss, tugev lubjakivi, tugev liivakivi
1	1,8	3,5	14,0
5	1,8	3,5	8,5
10	1,8	3,5	7,0
20	1,5	2,8	5,5
30	1,4	2,5	4,5
50	1,2	2,1	3,8
100	1,0	1,7	2,8
200	0,9	1,4	2,2
500	0,7	1,1	1,5
1000	0,6	0,9	1,2
2000	0,5	0,7	0,9

Tabel 3. Ehitise liigist sõltuv parandustegur [8]

Nr	Ehitise liik	Parandustegur F_k
1	Rasked ehitised, nagu sillad ja sadamakaid	2,00
2	Betoon-, raudbetoon- ja teraskonstruksioonid, eelmainitud konstruksioonidest tööstushooned, pritsbetooniga kaetud allmaarajatised	1,50
3	Tellistest ja betoonist büroo- ja ühiskondlikud hooned, betoonvundamendile või kaljupinnasele ehitatud puuhooned	1,20
4	Betoonist või tellistest elumajad (ehitises ei tohi olla kasutatud kergbetooni ega silikaattelliseid), allmaakaablid. Kivistuv valubeton eaga üle ühe nädala	1,00
5	Kergbetoonehitised (ka kõik muud ehitised, milles on kasutatud kergbetooni). Kivistuv valubeton eaga 3–7 ööpäeva	0,75
6	Eriti vibratsioonitundlikud ehitised, nagu muuseumid, kirikud ja teised kõrgete võlvide ja suurte pingeväljadega hooned, silikaattellistest hooned. Kivistuv valubeton eaga kuni 3 ööpäeva	0,65
7	Varinguohtrikud ajaloo- ja arhitektuurimälestised, varemed	0,5

$V_1 =$ võetakse alates 1,0 (100 m) cm/s

$F_k =$ võetakse 0,75 (oleneb hoone liigist)

$V_{maks} = 1,0 * 0,75 = 0,75$ cm/s = 7,5 mm/s – maksimaalne lubatud võnkekiirus

Ohustatud objekti asukoht	Seismiliselt ohutute laengute arvutusvalem (kg)
Pinnas, kaevandamissügavus 20 m	$Q_{maks} = \left(\frac{d}{\left(\frac{738}{V_{maks}} \right)^{0,929}} \right)^2$
Pinnas, kaevandamissügavus 40 m	$Q_{maks} = \left(\frac{d}{\left(\frac{33623}{V_{maks}} \right)^{0,403}} \right)^2$

Kus

- Q_{maks} – maksimaalne seismiliselt ohutu viitegrupi suurus (kg);
- d – kaugus lõhkamiskohast ohustatud objektini (m);
- V_{maks} – ohustatud objekti maksimaalne lubatud võnkekiirus (mm/s).

Võtame teine valem kaevandamissügavusega 40 m ja muundame võnkekiiruse leidmise valemiks

$$v_{maks} = \frac{33623}{0,403 \sqrt{\frac{d}{\sqrt{Q_{maks}}}}}; \quad (\text{valem 3})$$

Laengute suurused on võetud tegutsevatest lõhketööde passidest, ehk ühe kambri jaoks 3,6 kg ja kahe kambri jaoks 7,2 kg.

Arvutuse tulemused:

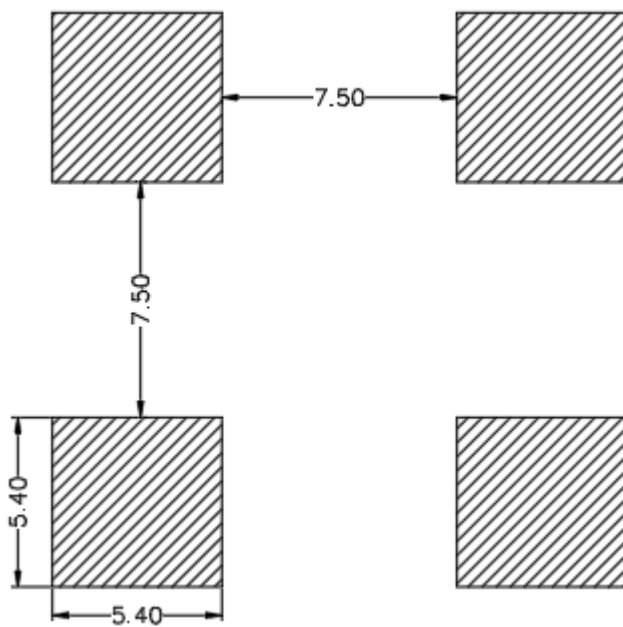
Tabel 4. Oodatavad võnkekiirused lõhketöödel (ise tehtud).

r, m	Q tegelik, kg	V, mm/s, oodatav	V, mm/s lubatav
55	3,6	7,91	7,5
	7,2	18,7	
75	3,6	3,66	
	7,2	8,66	
100	7,2	4,24	
	10,8	7,01	
150	18 (5 kambrit)	4,83	

Saadud tulemustest on näha, et kui kaugus kaitstava objektini on väiksem kui 55 meetrit, siis lõhketööd selle passi järgi on keelatud ja tuleb välja töötada uus lõhketööde pass.

5.3 Arvutustulemused

Siin ma ei arvuta tervikute mõõtmed ja kambri laius, vaid võtan need andmed, mis on juba Ojamaa kasutusel. Sellega terviku mõõtmed on 5,4 x 5,4 m ja tervikute vaheline kaugus ehk kambri laius 7,5 m.



Joonis 7. Terviku mõõtmed kasutades PLT

1. Ühe terviku pindala:

$$5,4 * 5,4 = 29,16 \text{ m}^2$$

Hoidetsoonide järgi

2. Kogu lubatud pindala

$$41000 - (3051 + 3130 + 3536) = 31283 \text{ m}^2$$

$$31283 * 4,165 = 130294 \text{ t põlevkivi}$$

3. Tervikute hulk territooriumil:

$$5,4 + 7,5 = 12,9 \text{ m} - \text{terviku ja kambri pikkus}$$

$$12,9 * 12,9 = 166,41 \text{ m}^2 - \text{terviku poolt} \\ \text{ülalhoitava lae pindala}$$

$$31283 / 166,41 = 187 - \text{maksimaalne tervikute} \\ \text{hulk kambriploki osas}$$

4. Väljatava põlevkivi mass

$$29,16 * 4,165 = 121,45 \text{ t} - \text{kaod ühes tervikus}$$

$$121,45 * 187 = \underline{22711} \text{ t} - \text{kaod tervikutes}$$

$$130294 - 22711 = \underline{107583} \text{ t} - \text{maksimaalne} \\ \text{toodang kambriploki osast.}$$

Seismilise mõju järgi

2. Kogu lubatud pindala

$$41000 - 9503 * 2,5 = 17241 \text{ m}^2$$

$$17241 * 4,165 = 71808 \text{ t põlevkivi}$$

3. Tervikute hulk territooriumil:

$$5,4 + 7,5 = 12,9 \text{ m} - \text{terviku ja kambri pikkus}$$

$$12,9 * 12,9 = 166,41 \text{ m}^2 - \text{terviku poolt} \\ \text{ülalhoitava lae pindala}$$

$$17241 / 166,41 = 103 - \text{maksimaalne tervikute} \\ \text{hulk kambriploki osas}$$

4. Väljatava põlevkivi mass

$$29,16 * 4,165 = 121,45 \text{ t} - \text{kaod ühes tervikus}$$

$$121,45 * 103 = \underline{12509} \text{ t} - \text{kaod tervikutes}$$

$$71808 - 12509 = \underline{59300} \text{ t} - \text{maksimaalne} \\ \text{toodang} \quad \text{kambriploki} \quad \text{osast.}$$

Järeldus.

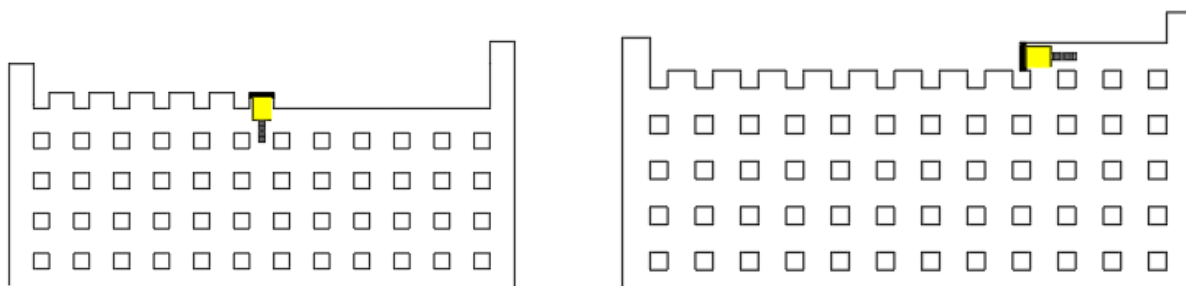
Puur-lõhke töödel on oma miinused selles olukorras. Kuna lõhketööd tekitavad võnkeid mis elanikud tunnevad, siis selles plokis tuleb kasutada vähem lõhkeainet korraga ehk lõhata näiteks üks kamber korraga või koostada uued lõhketööde passid. See seik aeglustab koristamistööd väga tugevasti. Samuti mängivad rolli mõned piirangud, näiteks lõhketööd ei saa öisel ajal teha, kui lõhketööd on talude lähedal.

6. Kambainkaevandamise tehnoloogia

See tehnoloogia põhineb mäemassiivi mehaanilisel raimamisel. Selleks kasutatakse spetsiaalselt kombaini, mis üheaegselt kaevandab põlevkivi massiivist ja laadib selle kalluritele, mis viivad põlevkivi kogumisstreki konveierile. Spetsialistide hinnangul on Eesti põlevkivi maardla tingimustele sobivam trummeltööorganiga kombain. [9]

Oma pöörlevate trumlitega kombain väljab erinevaid maavara kihte sentimeetrise täpsusega. Nad töötavad suurendatud selektiivsusega ja on võimelised garanteerima põlevkivi ja aheraine eraldi väljamise.

Kaevandamisviis jääb samaks – kamberkaevandamine sammastervikutega. Koristuste gabariidid valitakse kombaini tööorgani järgi.



Joonis 8. Kambaini võimalik tööskeem

Soovitav seadmete kompleks: kombain, punker-ümberlaadija ja kallurid. Punker-ümberlaadija on vajalik kombaini konveiri pideva tööprotsessi ja autotranspordi tsüklilise töö ühtlustamiseks. [9]

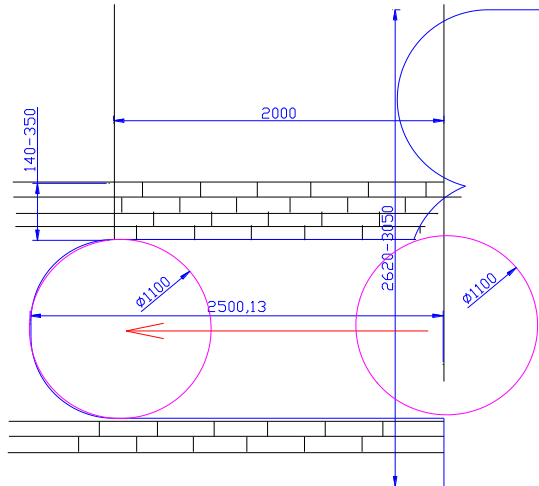
Mehaniseeritud kambainväljajamisseadmete loetelu:

Tabel 5. Võimalik masinapark kambainkaevandamisel

Nõ	Nimetus	Kogus	Eesmärk
1.	Lühieekombain	1	Põlevkivi- ja pakihtide eraldi väljamine, mäemassi laadimini punkrisse, lae puurimine, ankrute paigaldamine ja pingutamine.
2.	Punker-ümberlaadija	1	Kombaini konveieri pideva tööprotsessi ja autotranspordi tsüklilise töö ühtlustamiseks
3.	Kallurid Scania	3	Maavara transport eest konveierini

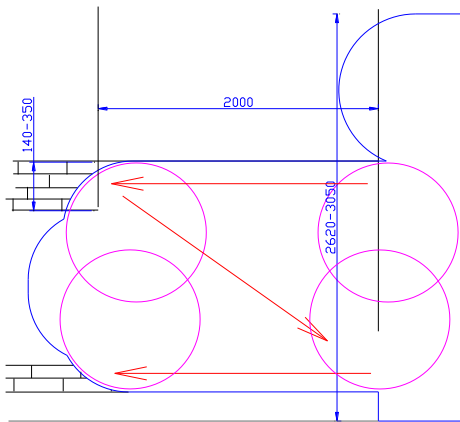
Koristusee tsükkel koosneb kolmest kaevesammust [9]:

1. Esimene kaevesamm – B ja C põlevkivikihtide väljamine. Selles kihindi tsoonis on kivimi löiketugevus kõige väiksem. Kihi paksus on 1130 mm. Väljatud põlevkivi maht purustatud kujul on u 9 - 10 m³.



Joonis 9. B ja C põlevkivikihtide väljamine

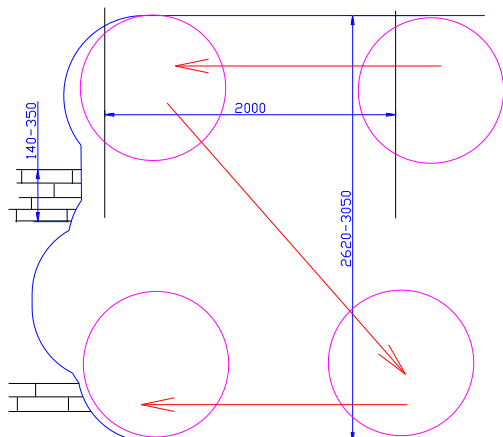
2. Teine kaevesamm – C/D (C/E) ja A/B paevahekihtide väljamine. Kaevesamm koosneb kahest osast. Kombaini tööorgan tõstetakse C/D aherainekihi kõrgusele ja väljab selle. Seejärel tööorgan (kombain) liigub tagasi, langetab tööorgani A/B aherainekihi kõrgusele ja väljab selle, kaasates seejuures ülemise allakukkunud kihi.



Joonis 10. C/D (C/E) ja A/B paevahekihtide väljamine

3. Kolmas kaevesamm - A, D, E, F1, F2 põlevkivikihtide väljamine. Kaevesamm koosneb samuti kahest osast. Kombaini töötrummel tõstetakse nõutavale kõrgusele ja väljatakse ülemised kihid D, E, F1 ja F2. Seejärel tööorgan (kombain) liigub tagasi, langetab tööorgani kaeveõone põhjani ja väljab kihi A. Väljatud põlevkivi maht purustatud kujul on u 11 - 12 m³. Väljatud

põlevkivi transporditakse laadimispunkti kogumistrekil. Pärast A kihi väljamist kombain peatatakse, puuritakse laepuuraugud ja paigaldatakse ankrud.



Joonis 11. A, D, E, F1, F2 põlevkivikihtide väljamine

6.1 Kombaini valik

Selle töö raames teen kombainkaevandamise tehnoloogiliste variantide analüüsi, mis peamiselt sõltuvad kombaini valikust. Analüüsi ja valiku kriteeriumiks on maksimaalne põlevkivi toodang valitud piirkonnast ja minimaalsed kaod tervikutes. Kombaini põhilised parameetrid valikul on töötrumli laius ja läbimõõt. Teoreetiliselt on ideaalne kui kombaini trumli diameeter on 1100 mm. Sellel juhul põlevkivi kihindi B ja C kihid võib väljata ühekorraga. Põlevkivi väljamine toimub lühikeste kaevesammudega (2,0 m) Samuti on tähtsad kombaini kõrgus ja maksimaalne löikamise kõrgus.

Kombaini eelised on järgnevad [11]:

- Kaeveõõnte läbindamine ja ankrute paigaldamine toimub üheaegselt.
- Töötsoon puurimisel ja ankrute paigaldamisel on kaitstud.
- Tolmueemaldamine toimub löikeorganite integreeritud niisutusüsteemi abil.
- Laial löiketrumlil on lahti tõmmatavad ja kokkukäivad osad, mis tagavad suurema manöövervusvõime.
- Tänapäevane distantsjuhtimine kombaini kõigile funktsioonidele (peale puurimisseadmete)

Võimalikud variandid on järgmised.

6.1.1 Sandvik MB 600 series

Sandvik MB seeria kombainid on ohutud ja tootlikud läbindus- ja koristusete kiirel läbindamisel. Löikeorgan on monteeritud hüdrauliliselt juhitavale liugraamile; alglöike löikamine toimub

sõltumata kombaini pearaamist ja roomikkäiguosast. Kombaini raamil on ankrute paigaldaja, mis võimaldab üheaegselt paigaldada ankruid ja väljata mäemassi. [10]



Joonis 12. Lühieekombain Sandvik MB 670

Põhilised tehnilised andmed:

Tabel 6. Sandvik MB seeria tehnilised parameetrid [10]

	MB610	MB650	MB670
Kombaini mass	80 t	97 t	97 t
Kombaini pikkus	11.5 m	11.0 m	11.0 m
Kombaini kõrgus	1.70 m	2.7 m	2.7 m
Lõiketrumli laius	5.18 m	4.9 / 5.2 / 5.5 m	4.9 / 5.2 / 5.5 m
Lõiketrumli läbimõõt, m	1,10	1,15	1,15
Ee kõrgus	1.96 - 3.66 m	2.2 - 3.6 m	2.9 - 4.5 m
Ankurtoestamise platvormid (lae ja külgede toestamiseks)	4 + 2	4 + 2	4 + 2
Kombaini võimsus	315 kW	270 kW	270 kW

6.1.2 Alpine Bolter Miner ABM 20

Kombain ABM 20 on pidevat tüüpi "Continuous Miner" kombain, mis on ette nähtud kaeveõnte kiireks läbindamiseks kivimite tugevusega Protodjakonovi kõvadusteguriga kuni 8 ühikut. Ee ristlõike maksimaalne pindala on 24 m². [11]



Joonis 13. Lühieekombain Alpine Bolter Miner ABM 20

Põhilised tehnilised andmed:

Tabel 7. Miner ABM 20 tehnilised parameetrid [11]

	Miner ABM 20
Kombaini pikkus, m	10,7
Kombaini mass, t	80
Lõiketrumli laius, m	4,3-4,9 (4,9-5,2)
Ee kõrgus, m	2-3 (2,2-3,5)
Lõiketrumli läbimõõt, m	1,15
Trumli pöörlemiskiirus, p/sek	30 (1,8)
Laadimiskiirus, t/min	25
Konveieri laius, mm	760
Kombaini liikumiskiirus, m/min	4,5-18

6.1.3 Sandvik MC350



Joonis 14. Lühieekombain Sandvik MC350

Tabel 8. Sandvik MC350 tehnilised parameetrid [12]

	Sandvik MC350
Kombaini pikkus, m	10,88
Kombaini mass, t	60
Kombaini kõrgus, m	1,03
Lõiketrumli laius, m	3,5
Lõiketrumli läbimõõt, m	1010
Ee kõrgus, m	3,1
Laadimise tootlikus, t/min	10-30
Konveieri tootlikus, t/min	10-30
Kombaini liikumiskiirus, m/min	25

6.1.4 JOY 14CM27



Joonis 15. Lühieekombain JOY 14CM27

Tabel 9. JOY 14CM27 tehnilised parameetrid [13]

	JOY 14CM27
Laadimise tootlikus, t/min	17-36
Lõiketrumli läbimõõt, m	1,118
Konveieri laius, mm	965
Lõiketrumli laius, m	3,5
Surve pinnasele, kPa	207
Kombaini mass, t	67
Ee kõrgus, m	3,40

Lõppvalik

Selle töö jaoks valin kaks kombaini. Esimene on kombain firma Sandvik. Temal on kohased parameetrid kamberkaevandamiseks nagu trumli laius ja läbimõõt. Kombainil ABM 20 on lõiketrumli laius vähem.

Teine on kombain firma JOY. Väike laiuse tõttu on temal lihtsam manööverdada tervikute vahel. See kombain saab garanteerida põlevkivi väljamist ee kõrgusel 3,2 meetrit.

6.2 Tervikute arvutus

Variant 1.

Selle töö jaoks oli valitud kombain Sandvik MB 670, mille tööorgani laius on 5,5 m.

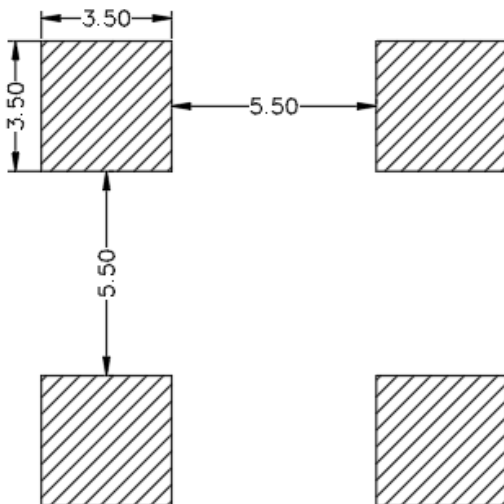
Tervikute arvutuslik laius määratakse valemi järgi [7]:

$$Y = \frac{n_{\text{H}} * A * \gamma * H * (b + x) + q * R_t * \left(0.7 + \left(0.3 * \frac{x - q}{h}\right)\right) * (x - q)}{R_t * \left(0.7 + \left(0.3 * \frac{x - q}{h}\right)\right) * (x - q) - n_{\text{H}} * \gamma * H * (b + x)} \quad (\text{valem 4})$$

Kus :

x	=	3,50	m	- terviku etteantud laius, m
Y	=	3,48	m	- terviku arvutuslik pikkus, m
b	=	5,50	m	- pikikambri laius, m
A	=	5,50	m	- põikkambri laius, m
q	=	0,1	m	- tervikute summaarne varisemisala laius, m
h	=	3,2	m	- terviku kõrgus, m
R _t	=	6,6	MPa	- terviku pikaajaline (üle 5 aasta) tugevus, MPa
n _H	=	1,4		- tugevuse varutegur
H _p	=	28,80	m	- kaevandamissügavus, m
γ	=	0,025	MN/m ³	- kattedivimite keskmine mahukaal, MN/m ³

Terviku mõõtmed on 3,5 x 3,5 ja vaheline kaugus 5,5 m (kambri laius)



Joonis 16. Terviku ja kambri mõõtmed kasutades Sanvik MB 670

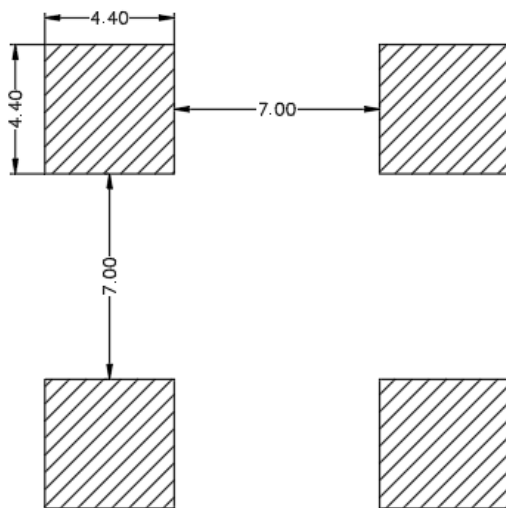
Variand 2

Teiseks variandiks selle töö jaoks oli valitud kombain JOY, mille tööorgani laius on 3,5 m. Kuna tööorgani laius on kambri jaoks üsna väike, siis oma töösüklil ta läbib kambri kaks korda, seega saame kambri laius 7 m.

Tervikute arvutamiseks on kasutatud sama valem 3:

x	=	4,30	m	- terviku etteantud laius, m
Y	=	4,37	m	- terviku arvutuslik pikkus, m
b	=	7,00	m	- pikikambri laius, m
A	=	7,00	m	- põikkambri laius, m
q	=	0,1	m	- tervikute summaarne varisemisala laius, m
h	=	3,2	m	- terviku kõrgus, m
R _t	=	6,6	MPa	- terviku pikaajaline (üle 5 aasta) tugevus, MPa
n _u	=	1,4		- tugevuse varutegur
H _p	=	28,80	m	- kaevandamissügavus, m
γ	=	0,025	MN/m ³	- kattekivimite keskmine mahukaal, MN/m ³

Terviku mõõtmed on 4,4 x 4,4 ja vaheline kaugus 7,0 m (kambri laius).



Joonis 17. Terviku ja kambri mõõtmed kasutades JOY 14CM27

Arvutuste tulemused:

Sandvik MB670

$3,5 * 3,5 = 12,25 \text{ m}^2$ – ühe terviku pindala

1. Tervikute hulk kambriploki osas:

$3,5 + 5,5 = 9 \text{ m}$ – terviku ja kambri pikkus

$9 * 9 = 81 \text{ m}^2$ – terviku poolt ülalhoitava lae pindala

$41000 / 81 = \underline{506}$ – maksimaalne tervikute hulk kambriploki osas

2. Väljatava põlevkivi mass

$12,25 * 4,165 = 51 \text{ t}$ – kaod ühes tervikus

$51 * 506 = \underline{25806} \text{ t}$ – kaod tervikutes

$170765 - 25806 = \underline{144959} \text{ t}$ – maksimaalne toodang kambriploki osast.

JOY 14CM27

$4,4 * 4,4 = 19,36 \text{ m}^2$ – ühe terviku pindala

1. Tervikute hulk kambriploki osas:

$4,4 + 7 = 11,4 \text{ m}$ – terviku ja kambri pikkus

$11,4 * 11,4 = 129,96 \text{ m}^2$ – terviku poolt ülalhoitava lae pindala

$41000 / 129,96 = \underline{315}$ – maksimaalne tervikute hulk kambriploki osas

2. Väljatava põlevkivi mass

$19,36 * 4,165 = 80 \text{ t}$ – kaod ühes tervikus

$80 * 315 = \underline{25200} \text{ t}$ – kaod tervikutes

$170765 - 25200 = \underline{145565} \text{ t}$ – maksimaalne toodang kambriploki osast.

7. Tulemuste analüüs

Võrreldi kaht põlevkivi kaevandamise tehnoloogilist varianti. Võrdluse aluseks oli väljatava põlevkivikogus kambriploki osast. Arvutused näitavad, et kasutades lühieekombaini saab palju rohkem põlevkivi kaevandada.

Tabel 10. Põlevkivi toodandu võrdlus (ise tehtud)

	Puur- lõhketööd		Sandvik MB670	JOY 14CM27
	Hoidetsoon	Seismiline mõju		
Tervikud	5,4 x 5,4 m	5,4 x 5,4 m	3,5 x 3,5 m	4,4 x 4,4 m
Kambri laius	7,5 m	7,5 m	5,5 m	7 m
Tervikute arv	187	103	506	315
Kaod tervikutes	22711 (17,4%)	12509 t (17,4%)	25806 t (15,1%)	25200 t (14,8%)
Väljatav maavara	<u>107583</u> t	<u>59300</u> t	<u>144959</u> t	<u>145565</u> t

Seega, $145565 \text{ t} - 107583 \text{ t} (59300 \text{ t}) = \underline{37982} \text{ t} (86265)$ rohkem saab kombainiga väljata, kui puur- lõhketöödega.

Kombain võidab selles võrdluses sellepärast, et oma tööajal ta ei teki seismilist mõju ja võnkeid. Sellel juhul kombain ei sega elanikke ja saab kiiresti põlevkivi väljata hoonete all. Põlevkivi toodangu arvutamisel kombainkaevandamisel ei olnud arvestatud hoidetsooni piirid. Küll võiks teha seal hoidetervikuid suurem.

8. Kokkuvõte

Ojamaa kaevanduse puhul on tegemist ühega kahest toimivast põlevkivi allmaakaevandusest Eestis. See asub Ida-Viru maakonnas ning kulgeb Mäetaguse ja Maidla valla aladel. Tänu oma ligikaudu 12 kilomeetri pikkusele konveieriliinile on OÜ VKG Ojamaa kaevanduse näol tegemist ka kõige modernsema allmaakaevandusega, mis Eestis hetkel tegutseb.

Antud bakalaureusetöö põhieesmärk oli võrrelda võimalike põlevkivikadusid ja maksimaalne põlevkivitoodang Ojamaa kaevanduse konkreetses kambriplokis väljamisel puur- ja lõhketöödega ja kombaini kasutamisel. Põhiliseks erandiks oli see, et väljamine toimus ka asulate all. Selleks oli tehtud erinevad arvutused ja valitud sobiv kombain Ojamaa kaevanduseks ning arvutatud tervikute mõõtmised selle jaoks.

Selles töös oli näidatud, miks valitud kambriplokk oli peatud ja miks ei ole otstarbekas jätkata seal puur-lõhketööd. Põhilised põhjused on:

1. Umbes 9717 m² kogu pindalast jääb hoidetsooniks, kus kaevandamine ei ole lubatud või on piiratud.
2. Umbes 23757 m² ala jääb väljamata seismilise mõju tõttu lõhkamise töödel.

Kombainkaevandamine sobib selle kambriplokiks parem, sest mehaanilisel raimamisel ei pea seismilist mõju ega hoidetsoonide piirid arvestama. Sellel juhul saab väljata umbes 85% põlevkivi kambriplokist. Saadud tulemuste järgi kõige tootlikum on lühieekombain JOY 14CM27. Ainus puudus on, et tal ei ole võimekust lae toetada, sest puuduvad ankurtoestuse platvormid.

Tuleb rõhutada, et tegemist on teadusuuringutel, teoreetilistel teadmistel ning käsiraamatutel põhineva tööga, mistõttu tuleb kuni reaalse katseteni antud tulemustesse suhtuda teatud ettevaatusega.

9. Kasutatud kirjandus

1. Žalinov S., Mazin V., Undusk V.. (2009). Ojamaa kaevevälja ja Sompa kaevevälja lõunaosa kaevandamise korrigeeritud projekt. Seletuskiri, Kohtla – Järve, 111 lk. (25.02.17)
2. Rätsep A., Toomik A., Liblik V. (2003). OÜ VKG Aidu Oil poolt kavandatava Ojamaa põlevkivikaevanduse Rajamise ja põlevkivi kaevandamisega kaasneva keskkonnamõju hindamine. KMH aruanne, Jõhvi, 77 lk. [WWW] <http://www.vkg.ee/cms-data/upload/keskkonnakaitse/kmharuanne-ojamaa-kmh-geoloogia-txt.pdf> (25.02.17)
3. Saarnak, M., Rusanov, F. (2014). Ojamaa kaevandus- Eesti kõige uuema kaevanduse toodang õlitehasele. Tallinna Tehnikaülikool, mäeinstituut, Tallinn, 6 lk. [WWW] <http://digi.lib.ttu.ee/i/?1848> (25.02.17)
4. Maavaravarude koondbilans seisuga 2015 [WWW] http://geoportaal.maaamet.ee/docs/geoloogia/koondbilanss_2015.pdf?t=20160620143516 (25.02.17)
5. Keskkonnaamet, VKG Kaevanduse OÜ kaevandamise luba. https://eteenus.keskkonnaamet.ee/?page=eklis_view&pid=683815&desktop=0&u=20150825084204 (25.02.17)
6. Valgma I., Väizene V., Kolats M., Grossfeldt G., Karu V. (2014). Mäendus. Tallinn: TTÜ Mäeinstituut.[WWW] http://www.ene.ttu.ee/maeinstituut/kogumik/2014/Maendus_2014_Maeinstituut.pdf (10.03.17)
7. Loko, E. 2004. Allmaakaevandamisel maapinna ja ehitiste hoidmise juhend, 28 lk. (18.03.17)
8. Lõhketöö projektile esitatavad nõuded, vastu võetud 01.06.2005 nr 64. Riigi Teataja, RTL 2005, 63, 910 [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/907012?leiaKehtiv> (18.03.17)
9. VKG Kaevandused OÜ. 2016. Технологическое обоснование селективной отработки пласта сланца в камерной системе разработки с применением проходческо - очистного комплекса. Kohtla – Järve, 16 lk. (16.04.17)
10. Проходческие комбайны с навесными анкероустановщиками, [WWW] http://www.miningandconstruction.sandvik.com/SANDVIK/1181/Internet/CIS/S000922.nsf/LU_SL/SLFrameForm1B6963B7C2A63F1F1C125785600308B90?OpenDocument (16.04.17)
11. Журнал "Горная Промышленность" №4. 1998. Проходческий комбайн ALPINE BOLTER MINER ABM-20 [WWW] <http://mining-media.ru/ru/article/podzemash/2066-prokhodcheskij-kombajn-alpine-bolter-miner-avm-20> (06.05.17)
12. Оборудование для подземных горных работ фирмы sandvik. Каталог. (06.05.17)
13. Каталог проходческих комбайнов Continuous Miner Product Line 14CM Series фирмы JOY (06.05.17)