

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Energeetika teaduskond
Mäeinstituut



Geotehnoloogia eriala AAGB
Kaupo Rõivasepp, 072395
Bakalaureusetöö AKG40LT
ID: 1339

„ESTONIA“ KAEVANDUSES 2008. A. TOIMUNUD VARINGUD

Juhendaja:
Merle Otsmaa, geoloogiainsener

Tallinn
Mai, 2011

SISUKORD

SUMMARY	4
EESSÕNA	5
1. SISSEJUHATUS	5
1.1. Lähteülesanne	5
1.2. Estonia kaeveväli	6
1.3. Estonia kaevevälja uurituse ülevaade	8
1.4. Estonia kaevevälja põlevkivivaru	10
2. KAEVEVÄLJA GEOLOOGILINE ISELOOMUSTUS	11
2.1. Kasuliku kihi iseloomustus	11
3. PÕLEVKIVI KAEVANDAMISE VIIS	13
3.1. Kaevandamist kitsendavad tegurid Estonia kaeveväljas	14
4. VARINGUD ESTONIA KAEVANDUSES	15
4.1. Seismoloogilised nähtused	16
4.2. 2008. a. Estonia kaevanduse varingute asukoht	17
5. VARINGUTE GEOLOOGILISED PÕHJUSED	19
5.1. Rikkevööndid ja karstumus	19
5.1.1. Rikkevööndid	19
5.1.2. Kivimite karstumus	19
5.2. Varisenud kambriplakkide lähiümbrus	20
5.2.1. Estonia KV piires eraldatud ohualad	20
5.3. Põlevkivikihi üldine tugevus	25
5.4. Järeldused	27
6. VARINGUTE TEHNOLOOGILISED PÕHJUSED	27
6.1. Järeldused	28
7. VARINGUTE MÄENDUSLIKUD PÕHJUSED	29
7.1. Järeldused	32
8. VARINGUTE VÄLTIMINE JA KAEVANDAMISE KADUDE VÄHENDAMINE	33
8.1. Kombain-kamberkaevandamine	33
8.2. Tagasitaitmine	36
9. VARINGUTE MÕJU MAAPINNAL	39
9.1. 2008. a. suvel	39
9.2. 2011. a. kevadel	40
KOKKUVÕTE	44
TÄNUSÕNAD	45
KASUTATUD KIRJANDUS	46

Tabelid

Tabel 1. Estonia kaevevälja põlevkivivarud seisuga 31.12.2009. a. [23]	10
Tabel 2. 2008. a. toimunud varingute asukoht Estonia kaeveväljas	18
Tabel 3. Kivimite tugevusklassid teimitugevuse alusel	25
Tabel 4. Estonia KV tootuskihi keskmised näitajad seisuga 01.01.2007. a. [19]	26
Tabel 5. Koristustööde vana ja uue tehnoloogia erinevus	28
Tabel 6. I varingu tervikute püsivus mõõdistamise hetkel	32
Tabel 7. I varingu tervikute püsivus eeldataval varinguhetkel	32
Tabel 8. II varingu tervikute püsivus mõõdistamise hetkel	32

Tabel 9. II varingu tervikute püsivus eeldataval varinguhetkel.....	32
---	----

Joonised

Joonis 1. Eesti põlevkivimaardla asukohakaart 1998. a. seisuga [9].....	7
Joonis 2. Estonia KV plokkide ja alaplokkide asendiskeem 1995. ja 1998. aasta seisuga [7,8]	9
Joonis 3. Estonia KV tootuskihind [9]	11
Joonis 4. Kamberkaevandamise põhimõtteline skeem [20]	13
Joonis 5. Kambriploki varingute mõjufaktorid [17].....	15
Joonis 6. 2008. a. varing. Foto: O. Nikitin [28].....	17
Joonis 7. Estonia kaeveväljas toimunud varingute asukoht	18
Joonis 8. Ohualad Estonia kaeveväljal [10].....	21
Joonis 9. Laekivimite varingud II ohualas. Foto: V. Kattai [10].....	22
Joonis 10. Ohualad Estonia kaeveväljal [3].....	23
Joonis 11. Varisenud kambriplokid ja IV ohuala	24
Joonis 12. Tervikute püsivuse arutamise skeem.....	30
Joonis 13. Kivimimassiivi nõrgenemise protsess ajas [13]	31
Joonis 14. Kombain-kamberkaevandamine [2]	34
Joonis 15. Tehnoloogia ee-rindes [2]	35
Joonis 16. Kamberkaevandamise kambriploki tagasitaitmise skeem [5].....	37
Joonis 17. Tagasitaitmine kombain-kamberkaevandamise korral [4]	37
Joonis 18. Varinisenud alal olevad lõhed. Foto: H. Soosalu	39
Joonis 19. Varisenud alad 2011. a. välitöö tulemusena.....	40
Joonis 20. Lõhe I varingu idaservas	41
Joonis 21. Kaldunud puud vajumi tsentri suunas	42
Joonis 22. Lõhe I varingu idaservas	43

Tekstilisad

Lisa 1. Bakalaureusetöö lähteülesanne ID1339.....	49
Lisa 2. Maavara kaevandamise luba KMIN–054	50
Lisa 3. Settekivimilise pealiskorra stratigraafiline ja hüdrogeoloogiline liigestus.....	54
Lisa 4. Curriculum Vitae	55

Graafilised lisad

- Gr. Lisa 1. Kaevevälja plaan, M 1 : 50 000
Gr. Lisa 2. Varingute kambriploki plaan, M 1 : 2000

SUMMARY

The aim of this work is to analyze two collapses that took place in January and July, 2008, in the Estonia underground mine. This paper highlights geological and mining technological features that have been previously studied and that may provide explanations to the fact that the collapses occurred. Maps of the Estonia mining field (scale 1:50 000) and the collapsed area (scale 1:2000) were compiled in this work. Moreover, new ways for extracting oil shale are suggested in order to keep the surface stable and at the same to reduce mining losses, in concert with the principles of sustainable mining.

Geological conditions in the area of the two collapses are complex. For instance, one mining block that is located directly to the south of the collapsed area was defined as danger zone during the year 2007. Several karst zones and tectonic fractures were identified. After an additional survey in the area it was decided to stop the mining operations.

The quality of the oil shale in the area of these collapses was somewhat better than usually within the Estonia mining field (calorific value 11.99 MJ/kg, energy capacity 41.83 GJ/m², respectively). This signifies that the pillars in the mining block are not as resistant to drilling and blasting as are the pillars in other blocks of the mining field. It is possible that this factor contributed in these collapses, as well.

A new technology has been in use in the Estonia mining field since 2004. This technology transfers the mining face up to 4.0 m, compared to the 1.6–1.8 meters with the old means. Because of this, greater explosive charges are in use and blast duration is longer in a mining block. Therefore, more violent seismic vibration affects the rock mass and the pillars are prone to more damage. Taken the local geological conditions into account together with the new mining methods, it can be stated that it is likely that the used technology contributed in these collapses.

In addition, simplified calculations of pillar strength show that pillar resistance against rock pressure was not strong enough to hold the roof of a mining block. Collapses are a direct consequence of this fact.

In order to keep the surface stable and also to reduce mining losses it is recommended to renew the current mining system (room-and-pillar). For instance, continuous miner with backfilling could be introduced, using oil shale ash and limestone as backfilling material. This would reduce mining losses, as well as the amount of waste material, i.e. oil shale ash and limestone, transported to the surface.

This work is related to Tallinn University of Technology Mining Department grant: ETF7499, Conditions of sustainable mining.

EESSÕNA

Käesoleva töö eesmärgiks on analüüsida 2008-ndal aastal Estonia kaevanduses toimunud kahte varingut. Töös tuuakse välja nii seismilised nähtused kui ka varingute geoloogilised, mäenduslikud ja tehnoloogilised põhjused ning vaadeldakse nende omavahelisi seoseid. Töö on aktuaalne, sest soovitatakse erinevaid meetmeid varingute ärahoidmiseks ja kaevandamise kadude vähendamiseks, mis on tänapäeval säästliku kaevandamise üks põhilisemaid eesmärke.

1. SISSEJUHATUS

1.1. Lähteülesanne

Estonia kaevanduses kaevandatakse Keskkonnaministeeriumi Viru regiooni poolt 04.09.2004. a. välja antud kaevandamise loa KMIN – 054 (Lisa 2) alusel 45...70 m sügavusel maapõues. Kaevanduse algusaastast peale on kaevandamise viisiks tulptervikutega (sammastervikutega) kamberkaevandamine, kus tervikuteks on kaevandatava kihi ehk kasuliku kihi osad. Kuigi tervikute mõõtmed arvutatakse püsitugevuse järgi, toimub kaevanduses siiski aeg-ajalt nii väiksemaid kui ka suuremaid varinguid. Nii toimuski 2008. a. Estonia kaevanduses kaks suuremat varingut töötavates kambriplokkides. Käesoleva töö eesmärgiks on selgitada antud varingute põhjusi. Kas need võisid olla karstinähtused koos lõhede ja riketega, uue tehnoloogiaga lõhkamine või põhjustasid varinguid hoopis projekteeritud mõõtmetest väiksemad tervikud? Antud bakalaureusetöö on koostatud vastavalt lähteülesandele ID1339 (Lisa 1). Töö on seotud TTÜ mäeinstituudi grandiga: ETF7499, Säästliku kaevandamise tingimused.

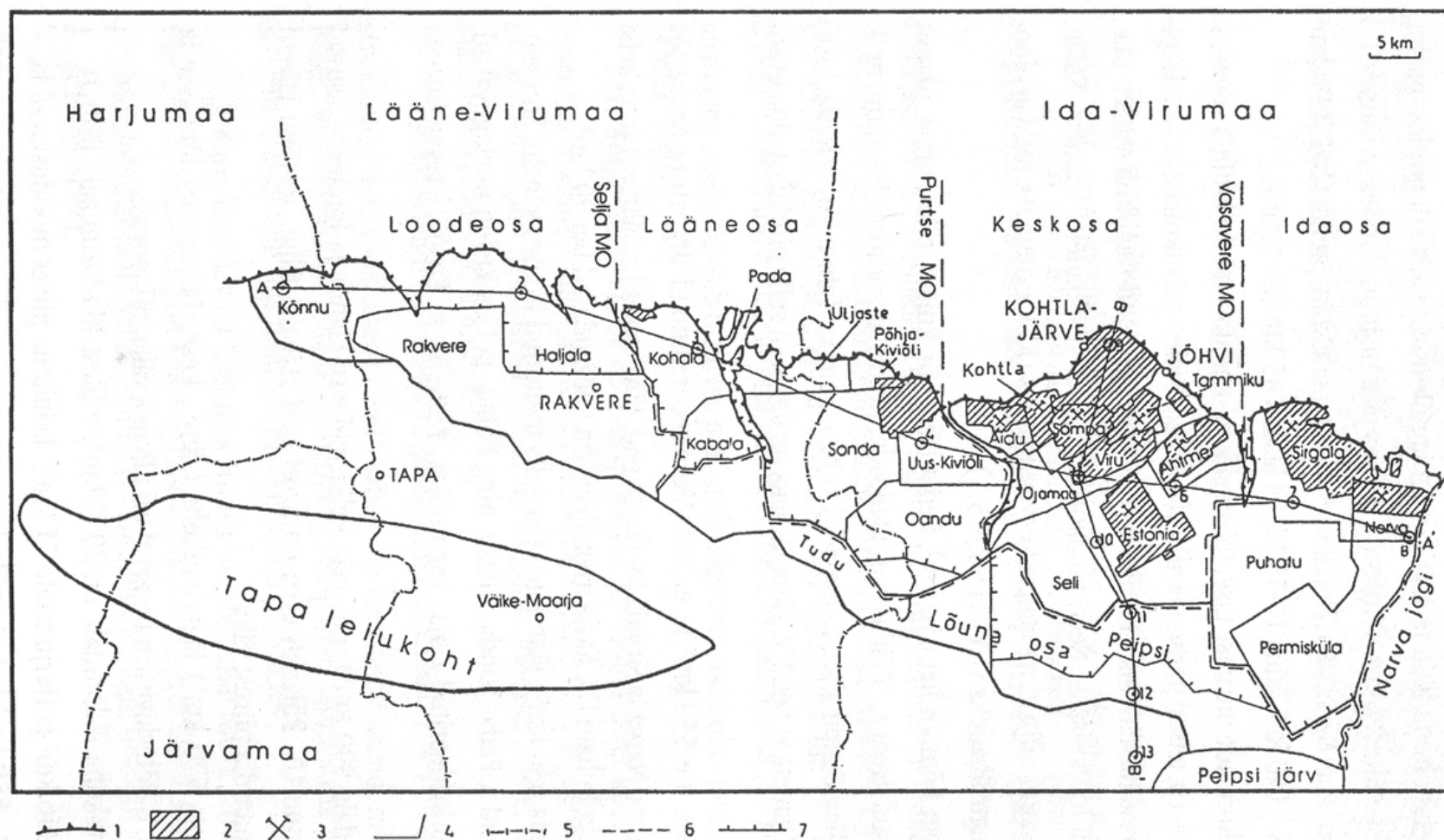
1.2. Estonia kaeveväli

Estonia kaeveväli (KV) asub Ida-Virumaal, Eesti põlevkivimaardla keskosas. Põhjaosas piirneb ta Viru ja kirdes Ahtme KV-ga ning loodes Ojamaa uuringuväljaga (UV) (Joonis 1, Gr. Lisa 1). Välja idapiiriks on Vasavere mattunud ürgoru lääneserv ja Puhatu UV lääneserv. Lõunapiir on ühine Peipsi UV-ga ja läänepiir Seli UV-ga. Suurem osa Estonia KV-st jääb Mäetaguse ja Illuka valla maadele, väike osa välja edelanurgast on Iisaku valla piirides [9].

Diagonaalsuundades kulgevad üle mäeeraldise ala Jõhvi-Tartu-Valga, Mäetaguse-Kohtla-Järve ja Pagari-Illuka maanteed. Territooriumil on Mäetaguse asula ning hulk külasid. Estonia kaevanduse tööstusterritooriumilt lähtub haruraudtee Ahtme jaama. Kaevandusväli asub nõrga lainelisusega tasandikul, maapinna absoluutsed kõrgused on vahemikus 55...75 m. Kesk- ja lõunaosa on valdavalt kaetud metsaga, põhjaosas on põllu- ja heinamaad. Lääneosas ulatuvad mäeeraldise alale Seli ja Ratva soo idapoolsed äärealad. Viru kaevandusest lähtuv Raudi kanal kulgeb Estonia KV põhjapiirilt kagusse Illuka küla suunas. Mäeeraldise territooriumilt saavad alguse Rannapungerja jõgi ja temasse suubuv Jõuga kanal [25].

Keskkonnaministeeriumi Viru regiooni poolt 04.09.2004. a. välja antud maavara kaevandamise loaga KMIN – 054 (kehtib kuni 10.08.2019. a.) määratud mäeeraldise piirid on järgmised:

- põhjas: Ahtme tektoonilise rikke vöönd ja Ahtme kaevandusväli;
 - idas: Kurtna järvestiku kaitseala piir, mis oli määratud ENSV MN määrusega 5. novembrist 1963.a Nr. 1258 K;
 - lõunas: Viivikonna tektoonilise rikkevööndi telgjoon;
 - läänes: loode–kagusuunaline joon, mis läbib geoloogilise luure puurauku nr. 5018.
- Mäeeraldise nurgapunktide koordinaatide alusel arvutatud pindala on 14162,54 ha [25].



Joonis 1. Eesti põlevkivimaardla asukohakaart 1998. a. seisuga [9]

1 – põlevkihikihindi avamusjoon; 2 – ammandatud alad; 3 – tegutsevad kaevandused ja karjäärid; 4 – väljade piirid; 5 – maakondade piirid; 6 – Eesti põlevkivi leiukoha piir; 7 – Eesti maardla lõunapiir.

1.3. Estonia kaevevälja uurituse ülevaade

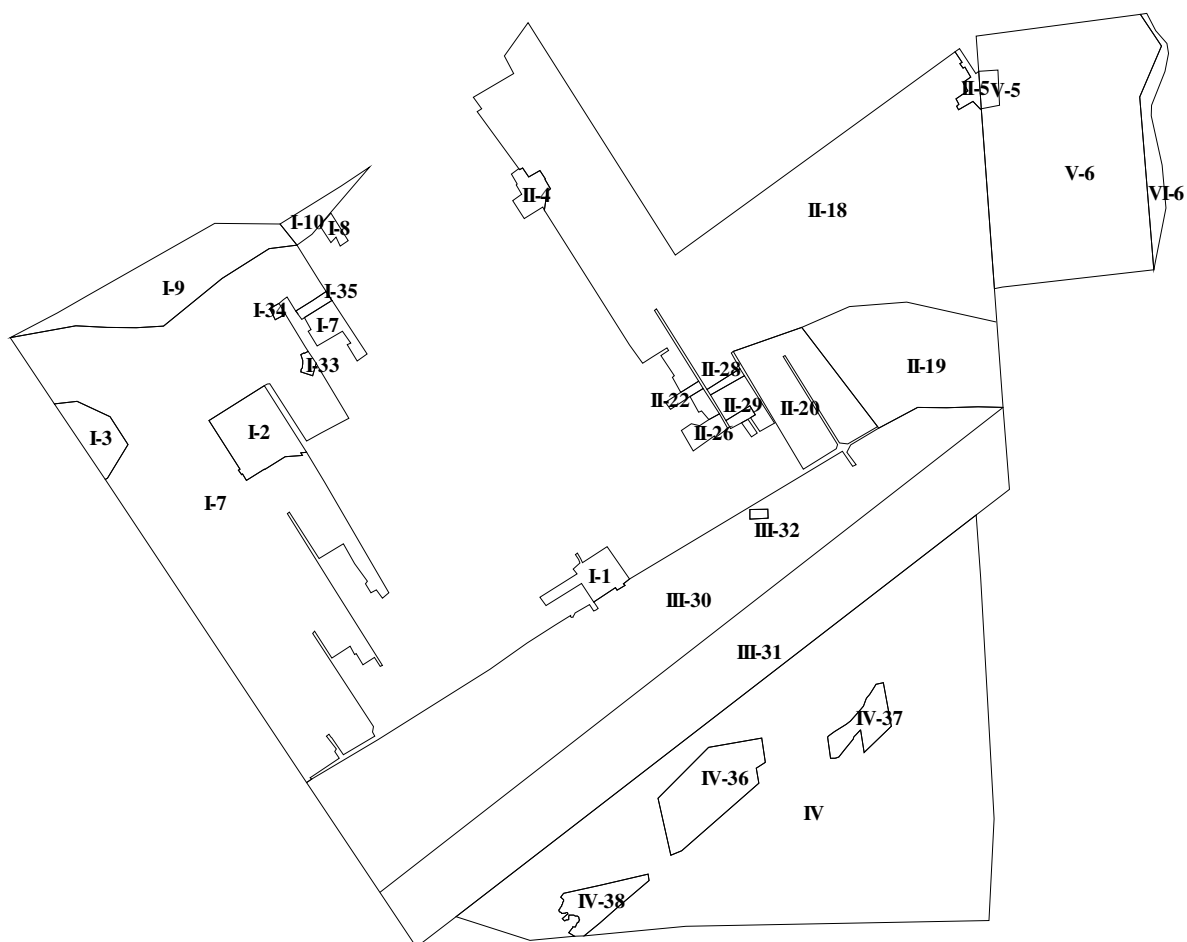
Kui 2008. aastal möödus põlevkivi kaevandamise algusest 90 aastat, siis uuringuajalugu ületab juba 200 aastat. Kuna põlevkivi uuringuid on tehtud juba 19-ndast sajandist, siis kõikide uuringute andmeid antud töösse lisada on küllaltki mahukas ettevõtmine ning ebavajalik. Seetõttu on piiratud ainult lähiminevikus tehtud ümberhindamiste, uuringute ning antud töö temaatikaga seotud uurimustöödega.

Estonia kaevanduse projekti koostas Leningradi Instituut Giprošaft 1960-ndate aastate algul Eesti Põlevkivi tellimise alusel. Tegemist oli täiesti uut tüüpi kaevandusega. Uudne oli põlevkivikaevanduste jaoks maa-alune magistraalkonveiertransport, talvisel ajal soojendatav surutuulutuse süsteem, kõrgem mäetööde kontsentratsioon, kõrgem seadmete automatiseerimise tase, väga suure võimsusega seadmed ja nendest tingituna tunduvalt võimsam energiavarustussüsteem, kaevanduse pealmaakompleksi ehitiste uut moodi paigutus, mäemassi akumulereerimispunkrite olemasolu kaevanduse ja rikastusvabriku vahel, tunduvalt suurem rikastusvabrik ja eelkõige enneolematult suur planeeritud toodang. Kaevanduse ehitamine algas 1964. aasta sügisel ja kestis 8 aastat [29]. Estonia kaevanduse I järk võeti vastu 1972. aasta 28. detsembril tootlikkusega 5,4 mln t põlevkivi aastas, mis oli maailma põlevkivikaevandustest suurim [9].

1995. a. hinnati ümber Eesti põlevkivimaardla Estonia KV põlevkivivaru, lähtudes “Maavarade uuringu korra rakendamise juhendist põlevkivile” [7]. Varu arvatati ja kinnitati 6 plokis ja 22 alaplokis (Joonis 2). 1995. a. varu hinnangu käigus määratud plokkide keskmisi näitajaid – põlevkivikihtide summaarne paksus, kütteväärtus, mahukaal ja energiatootlus – on kasutatud ka kõigis edaspidi toimunud varu ümber hindamistes.

1997. a. töötas Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituut välja põlevkivivaru määramise majanduslikud kriteeriumid [19]. Majanduslikust aspektist lähtuvalt klassifitseeritakse põlevkivivaru aktiivseks ja passiivseks vastavalt järgmisele kriteeriumile: allmaakaevandamise korral on varu majanduslikult aktiivne, kui varu arvutusliku plokki tootuskihi keskmise energiatootlus on vähemalt 35 GJ/m^2 , erijuhtudel mitte alla 34 GJ/m^2 . Passiivse varuna arvele võetava põlevkivi varuploki keskmise kihindi energiatootlus peab olema vähemalt 25 GJ/m^2 .

1998. a. Estonia KV põlevkivivaru ümberhindamisel [8] lähtuti ülalkirjeldatud uutest majanduslikest kriteeriumitest, arvestati toodangut ja tootmiskadusid ning 1996. a. uue Kivinõmme maastikuala moodustamisega. Plokkide I–V energiatootlus jäi vahemikku $37,2...42,1 \text{ GJ/m}^2$, mis vastas aktiivse varu nõuetele ning plokki VI energiatootlus $31,8 \text{ GJ/m}^2$ vastas passiivse varu nõuetele. IV plokki varu oli juba 1995. a. varu hinnangu käigus tunnistatud passiivseks looduskaitsealised põhjustel. Kivinõmme maastikukaitseala moodustamisega seoses eraldati IV plokki piires 3 uut alaplokki (Joonis 2). I–III plokki piire muudeti seoses varu kaevandamisega. Plokkide pindalad määrati planimeetriga. KV varu arvatati ja kinnitati 6 plokis ja 26 alaplokis.



Joonis 2. Estonia KV plokkide ja alaplokkide asendiskeem 1995. ja 1998. aasta seisuga [7,8]

2008. aastal täpsustas Eesti Geoloogiakeskus Eesti põlevkivimaardla Estonia kaevvälja registrikaarti (0036) [19]. Töö eesmärgiks oli kooskõlastada maavarade nimistu tärkandmed ja digitaliseeritud kaardimaterjali andmed, kuna eri viisidel arvatud plokkide pindalad erinesid. Senini olid tärkandmetes olevad pindalad arvatud 1:25000 topograafilistelt kaartidelt mõõdetud koordinaatide järgi ja need ei lange kokku digitaliseeritud kaardimaterjali omadega. Töö raames koostati KV plaan ning arutati varusid. Uute plokkidena eraldati kaitsealadele jääv varu. Kõikidele plokkidele anti uued nimed.

2008. aastal koostatud KV graafilise lisa on võetud aluseks ka selles töös, kuna see on kõige kaasaegsem plaan Estonia KV-st, mille kohta leidis andmeid.

1.4. Estonia kaevevälja põlevkivivarud

Estonia kaevanduse mäerandise piires on ehitiste alla jäetud mitmeid kaitsetervikuid (Gr. Lisa 1). Nendes olevad põlevkivivarud kuuluvad passiivsete varude hulka. Passiivseteks on hinnatud ka loodus- ja maastikukaitsealadesse jäänud põlevkivivarud. Üldjuhul passiivseid varusid ei kaevandata [25].

Vastavalt Eesti Vabariigi 2009. aasta maavaravarude koondbilansile [23] on 04.09.2004. a. välja antud kaevandamise loa KMIN-54 järgi Estonia kaevevälja varud seisuga 31.12.2009. a. järgmised:

Tabel 1. Estonia kaevevälja põlevkivivarud seisuga 31.12.2009. a. [23]

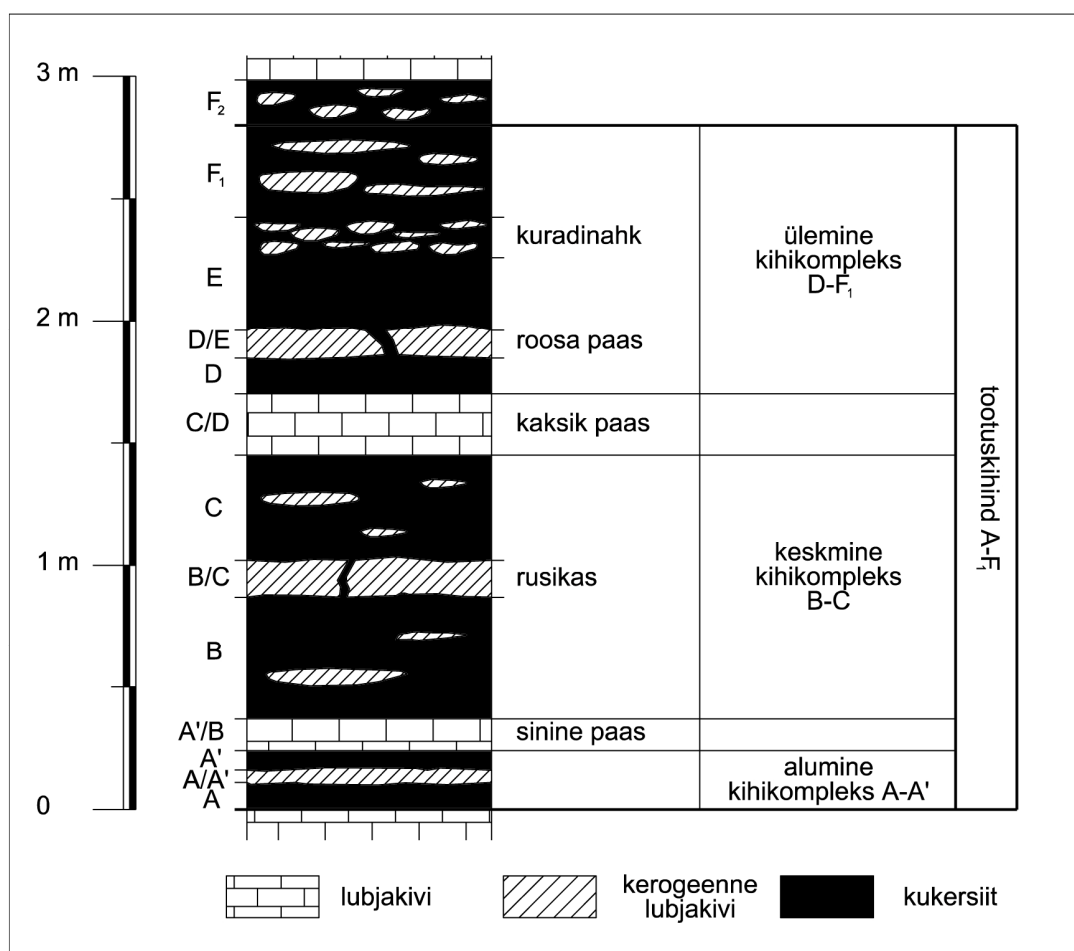
Varu liik	Aktiivne, tuh t	Passiivne, tuh t	Pindala, ha
Tarbevaru	214914,3	50895,0	11914,58
Reservvaru	105791,6	12854,0	

2. KAEVEVÄLJA GEOLOOGILINE ISELOOMUSTUS

Estonia KV paikneb Põhja-Eesti lavamaal. Kihid lasuvad väikese kallakusega lõuna suunas. Tootus põlevkivikiht lasub Kukruse lademe allosas (O_{2kk}), mis kujutab endast põlevkivi vahekihtidega paekivimassiivi, kogupaksusega 2,8...3,8 m. Valdaval alal lasuvad Kukruse lademel Idavere (O_{2id}), Jõhvi (O_{2jh}), Keila (O_{2kl}), Oandu (O_{2on}), Rakvere (O_{2rk}) ja kohati Nabala (O_{2-3nb}) lademe lubjakivi- ja merglikihid kogupaksusega 40...50 m ning nendel Kvaternaari liiva-, savi- ja/või kruusasetted. Mullakihi paksus on 0,2...0,4 m. Kvaternaarisetete kogupaksus on vahemikus 1...10 m [Lisa 3]. Kukruse lademe lamamiks on Uhaku (O_{2uh}) lademe savikad lubjakivid ja merglid õhukeste savikate põlevkivi vahekihtidega. Uhaku lademe paksus on keskmiselt 15 m [25].

2.1. Kasuliku kihi iseloomustus

Eesti põlevkivimaardla tootuskihi moodustavad Kukruse lademe Kiviõli kihistiku alumise osa seitse kukersiidi (alt ülespoole A, A', B, C, D, E, F₁) ja kuus lubjakivi vahekihti (A/A', A'/B, B/C, C/D, D/E, E/F₁) (Joonis 3) [9].



Joonis 3. Estonia KV tootuskiht [9]

Kukersiidikihtide paksus on erinev – 5...60 cm. Enamik neist (B, C, E, F₁) sisaldab ka läätsjaid kerogeense lubjakivi mugulaid, mis esinevad kihtides erinevatel tasemetel ja väga erinevas mahus.

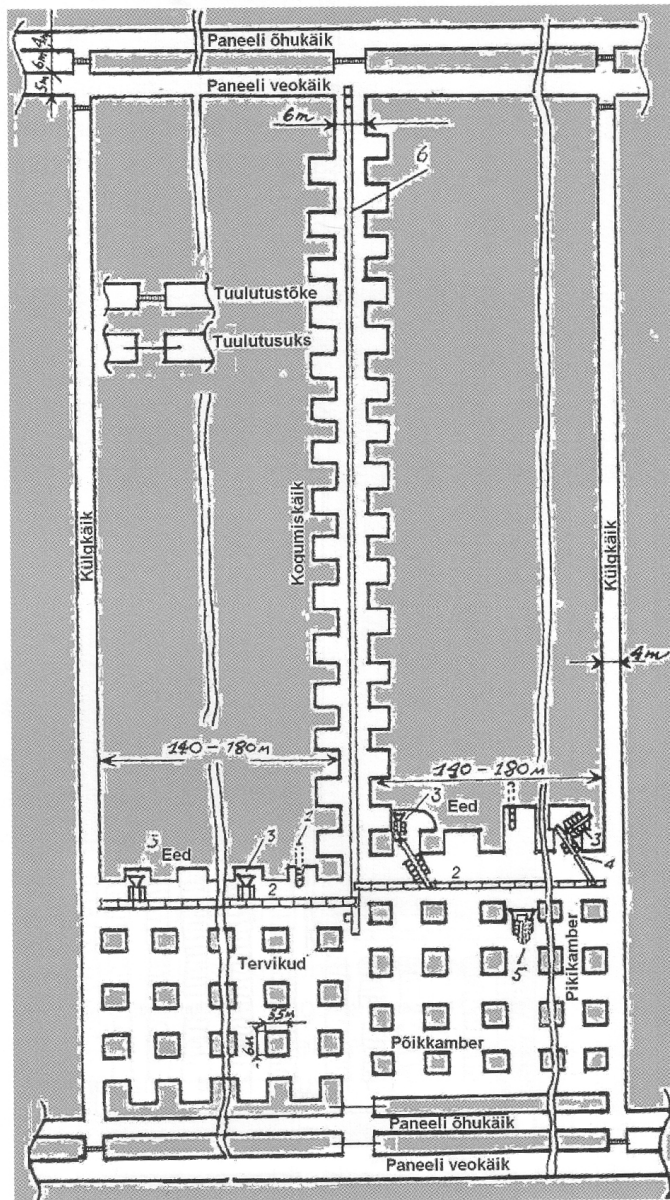
Lubjakivi vahekihtidest kõige paksemad (10...30 cm) A'B ja C/D on jälgitavad kogu tootuskihi piires. Nende kihtide piirid (kontaktid) on küllalt sirged, orgaanilise aine sisaldus on neis madal, enamasti alla 5%. Teised vahekihid on mõnevõrra kõrgema kerogeeni sisaldusega (kuni 12%), muutlikuma paksusega ja moodustavad tihti väljavenitatud läätsjaid mugulaid.

Tootuskihi A-F₁ üldpaksus on välja kirdeosas 2,8 m, vähenedes 2,6 meetrini edelas. Samas suunas alaneb kihindi mäemassi kütteväärtus 9 MJ/kg kuni 7 MJ/kg ning energiatootlus 42 GJ/m² kuni 37 GJ/m². Estonia KV põlevkivi kvaliteet on tegutsevatest kaevandustest ja karjääridest madalaim [9].

Estonia mäeeraldisel väljatakse kõik kihid A-st F₁-ni. Kuna Estonia KV eri paikades on erinevad geoloogilised tingimused (rikked, karstumus, lõhed), siis mõjutavad need nii tervikute kui ka vahetu lae püsivust ning viimase varisemise risk suureneb. Estonia kaevanduses on kambri kõrgus 2,8 m. Normaalses tingimustes garanteerib see vahetu lae püsivuse. Keerulistes geoloogilistes tingimustes ei taga see aga vahetu lae püsivust ning lagi hakkab varisema. Seetõttu on kambri kõrgust suurendatud 3,8 m peale [24] ja väljatakse rohkem mäemassi.

3. PÕLEVKIVI KAEVANDAMISE VIIS

Juba algusest peale on Estonia kaevanduses kasutusel olnud ainult üks kaevandamisviis – tulptervikutega (sammastervikutega) kamberkaevandamine, mis kujutab endast kaevandamisviisi, kus lagi hoitakse üleval riskülikukujuliste tervikutega, mille vahele moodustuvad koristuskambrid (Joonis 4). Tervikuteks on kaevandatav mäemass [29].



Joonis 4. Kamberkaevandamise põhimõtteline skeem [20]

Seadmed skeemil: 1 – soonur, 2 – kraapkonveier, 3 – laadur, 4 – ülelaadur, 5 – buldooser, 6 – lintkonveier [20].

Eesti põlevkivikaevandustes on kasutusel paneelettevalmistus. Kambriplokid on laiusega 300...350 m ja 600...800 m pikkusega ning asuvad 40...75 m sügavusel. Kambriploki

kõrgus on 2,8 või 3,8 m [11]. Juurdepääs põlevkivikihtidele on vertikaalsete ja kaldšahtide kaudu.

Vahetu lagi on esindatud põlevkivi- ja paekihtidega. Kambrite vahetu lae püsivuse kindlustamine toimub metallankurtoestikuga. Põhilagi koosneb erineva paksusega paekihtidest, mis tavaolukorras toetamist ei vaja. Põlevkivi raimatakse massiivist puur- ja lõhketöödega, kus lahtimurtud mäemass laetakse laadurite abil kraapkonveieritele, mida mööda see liigub kambriploki lintkonveierile ja sealt paneeli lintkonveieri kaudu rikastusvabrikusse. Põlevkivi rikastamisel tekkinud aheraine ladustatakse puistangutesse. Puistangutes olev materjal on suhteliselt inertne ega kujuta keskkonnale otsest ohtu [25]. Põlevkivi tootmiskaod on umbes 30%, olenevalt kaevandamise sügavusest kohati isegi ligi 40%, kuna tervikute suurus muutub vastavalt kaevandamise sügavusele [18].

Kaevandamistöde suund on kaevandusõuest kaevandusvälja piiride poole [25].

3.1. Kaevandamist kitsendavad tegurid Estonia kaeveväljas

Kaevandamist piiravateks teguriteks on välja idapiiril Muraka looduskaitseala (mäeeraldisest 0,8 km²), Mäetaguse, Kurtna ja Pagari asula ning mitmed rajatised (lõhkeaine ladu, kaevanduse tehnoloogiline kompleks, kalmistu jt), mille alla on tarvis jätta kaitsetervikud.

Estonia KV põhjapiiril paikneb kirde–edelasuunaline Ahtme tektooniline rikkevöönd, lõunapiiril Viivikonna tektooniline rikkevöönd. Rikkevööndite laius varieerub paarisajast meetrist viiesaja meetrini. Kihtide lasumus on rikkevööndites ja nende läheduses rikutud [25]. Nendel aladel on tootuskihi hüpsomeetria keeruline, kivimite lõhelisus, karstumus ja veeand on seal kõrgendatud. Seoses sellega võivad ka kaevandamistingimused osutada rasketeks, nagu seda näitab praktika mäeeraldisel kagutiivas, kus samuti täheldatakse kõrgendatud lõhelisust ja kivimite karstumust [9].

Tehtud analüüsid on näidanud, et tektooniliste lõhede läheduses on lagi vähem püsiv ja enamus varinguid toimub selles piirkonnas [16].

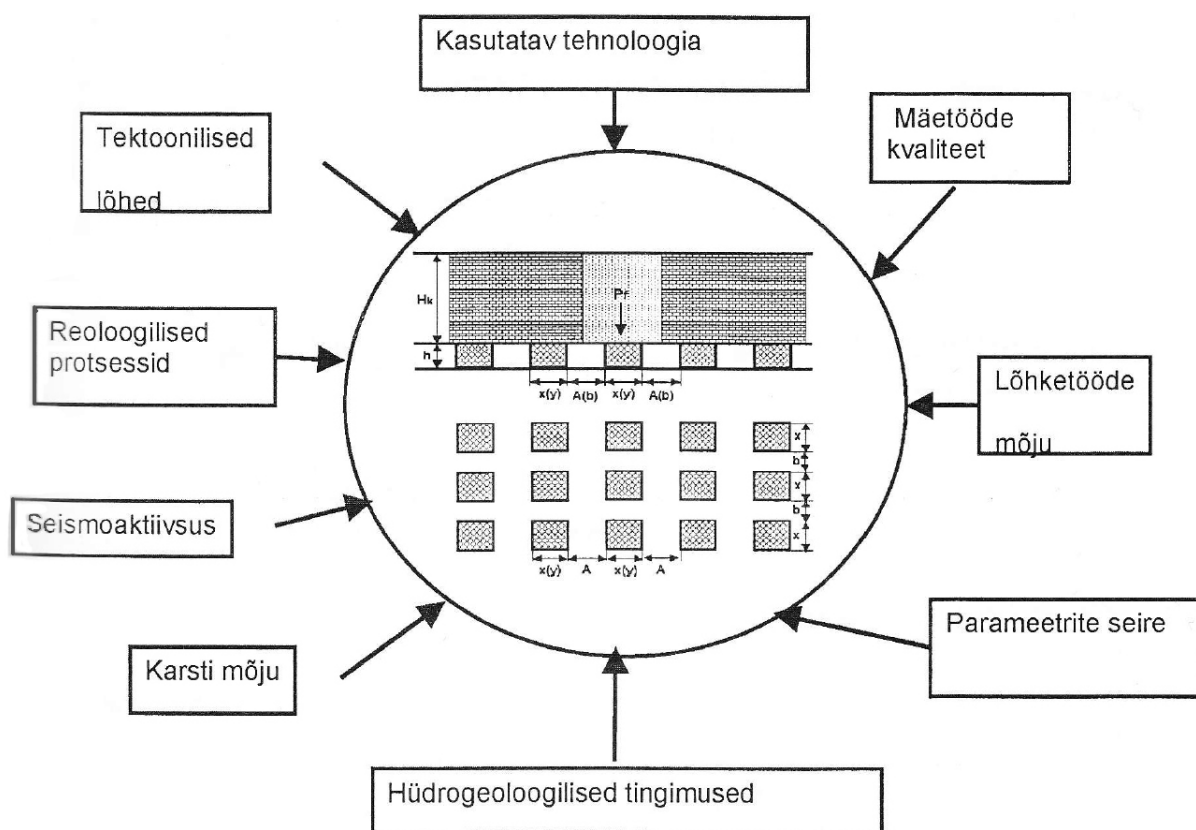
Samuti raskendab põlevkivi tihe läbipõimumine paekiviga tema kaevandamist ja rikastamist. Orgaanilise aine sisaldus põlevkivikihtides väheneb lõuna suunas, põhjustades seal kihindi tugevusparameetrite suurenemist [11].

4. VARINGUD ESTONIA KAEVANDUSES

Põlevkivi kamberkaevandamisel liigub lasum ja maapind vaid mõne sentimeetri piires ega ole seega märgatav. Kaevandamisjärgne maa jääb suure tõenäosusega püsima ja nii tekib, sõltuvalt kaevandamissügavusest, stabiilne või kvaasistabiilne ala. Kvaasistabiilse ala peamine eripära on see, et lasumit hoidvad tervikud võivad ootamatult puruneda ja maapind vajuda [22].

Kuna kaevandamisel jagatakse kaevandamisala plokkideks või jaoskondadeks, siis varingu korral ongi ohus üks jaoskond ehk kambriplakk. Kambriplaki sees olevad tervikud on plokki piiravatest tervikutest väiksemad ja võivad suurema tõenäosusega puruneda. Plokki piiravad tervikud on aga seevastu ette nähtud igavesti püsima ning ei purune [27].

Joonis 5 iseloomustab kambriplaki varingute põhilisi mõjufaktoreid.



Joonis 5. Kambriplaki varingute mõjufaktorid [17]

Uuringud Eesti põlevkivikaevandustes on näidanud, et kambriplaki püsivust mõjutavad nii geoloogilised kui ka tehnoloogilised faktorid. Kambrite ja tervikute mõõtmed erinevad üldiselt projektistest, kuna lõhketööd avaldavad mõju kivimimassiivile. Nad põhjustavad kas olemasolevate lõhede avanemist või uute tekkimist, mis toovad endaga kaasa kivimite tugevuse vähenemise. Tervikute mõõtmete maksimaalne kõrvalekalle ei ületa ± 1 m projektistest. Peale mäetööde avaldavad geoloogilised tingimused küllaltki suurt mõju kambriplaki püsivusele [17]. On teada, et kõigil ülalkirjeldatud põhjustel on kambriplakis toimunud stiihilised (looduslikud, iseeneslikud) varingud nii kaevetööde käigus kui ka peale kambriplakkide väljamist [11]. 2005 aasta andmetel on registreeritud kokku 73 varingut 100 km²-il [14].

4.1. Seismoloogilised nähtused

Kambriploki varing on märgatav, kui see toimub koristustöö ajal või vahetult peale ploki lõpetamist. Seevastu kaevandatud ala kaugemas osas toimunud varinguid võidakse mitte märgata või jätta registreerimata, eriti kui nad ei tekita märgatavaid muutusi maa peal. Seepärast valdab mäemeeste seas aramus, et kambriplokkide hilisvaringuid ei toimugi ja kaevandatud ala jääb igavesti püsivaks, kuid nii see ei ole [22].

Seega, kui kirjeldatavad varingud oleksid toimunud kaevandatud ala kaugemas osas, poleks neid ehk registreeritudki. Seda enam, kui on tegemist madala taimestikuga alaga ja juba eelnevalt soostunud aladega – siis on neid raske tuvastada ka aerofotodel. Siinkohal tulevad appi seismojaamad ning seismoloogid, kes mõõdavad maapinnas toimuvaid võnkeid sekunditäpsusega.

Seismoanalüüsi eest Eesti alal vastutab Eesti Geoloogiakeskus. Hallatakse kolme seismojaama võrku (Matsalu, Vasula, Suurupi^{*}). Seismilise analüüsi teostamiseks on see absoluutne miinimum. Võnkumiste analüüsile aitab hästi kaasa ka tihe koostöö naabermaadega, sest andmeid vahetatakse Soome Helsingi Ülikooli Seismoloogia Instituudiga. Lisaks saadakse andmeid ka ühest Läti seismojaamast. Seega on kokku kasutusel 14 jaama võrk, mis võimaldab teha korraliku analüüsi [27].

See võrk katab küllaltki hästi ka Eesti põlevkivimaardla ala, kust registreeritakse enamus sündmustest, mille põhjustajateks on Aidu ja Narva karjääride lõhkamised. Kuna seismojaamad on põlevkivimaardlast siiski küllaltki kaugel, siis kõige väiksemad sündmused, mida selline võrk suudab tuvastada, on umbes magnituudiga 1. Tüüpiliselt on lõhkamised põlevkivimaardlal magnituudiga kuni 2.

Ideaalses olukorras on seismoloogil teada kõik alad, kus ja millal lõhtakse, kuna paljud lõhkajad edastavad seismoloogidele oma lõhkamiste nimekirju. Nii on võimalik hõlbustada igapäevast analüüsi, sest on teada et need seismoloogilised nähtused on seotud kindlate karjääride lõhkamistega. Reeglina lõhatakse Eesti karjäärides argipäeviti ja tööajal. Kuid isegi tuntud kaevandataval alal toimuv seismiline sündmus ei pruugi alati olla tavaline lõhkamine. Erinevuse lõhkamise ja näiteks maavärina või varingu vahel aitab määrata seismojaamalt tuleva signaali põhjalikum analüüs [27].

^{*} Eesti Geoloogiakeskus OÜ juhtivseismoloog, Heidi Elisabet Soosalu, sõnul on alates 2011. aasta jaanuarist Suurupi asendatud Arbaverega.

4.2. 2008. a. Estonia kaevanduse varingute asukoht

2008. a. registreeriti Eesti põlevkivimaardlas kaks seismilist sündmust, mis osutusid lähemal analüüsimisel kaevandusvaringuteks (Joonis 6). Mõlemad varingud toimusid enamvähem samas kohas – alal, kus tegutseti aktiivselt kaevandamisega (külgstrekkide 1305-1306 ja 1305-1 vahel, Gr. Lisa 2).

Esimene varing toimus esmaspäeva öösel 21.01.2008 kell 01:30 ja seismoloogid määrasid selle magnituudiks 1,8. Teine toimus teisipäeva öösel 2.07.2008 kell 01:44 ja selle magnituudiks määrati 2,0.



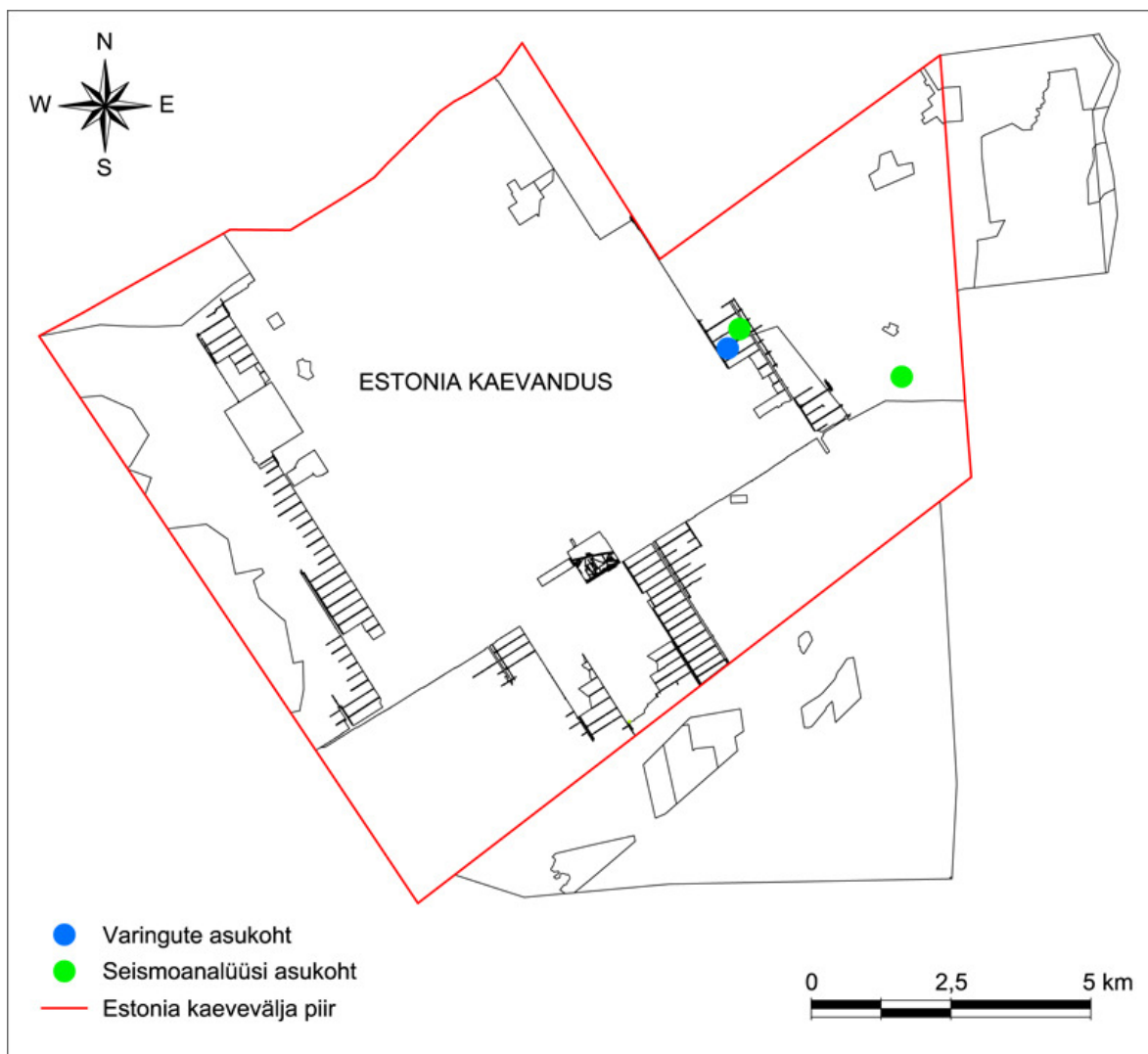
Joonis 6. 2008. a. varing. Foto: O. Nikitin [28]

Seismoloog määras sündmuste asukohaks Estonia KV idaosa (Joonis 7) ning ka Eesti Põlevkivi esindaja kinnitas, et varingud toimusid Estonia kaevanduses.

Kui sündmuste kellaeg suudetakse määrata sekunditäpsusega, siis asukoha määramist mõjutab seisimojamaade võrgu tihedus. Näiteks põlevkivimaardla piires on asukoha täpsus üldiselt \pm mõni kilomeeter. Tabel 2 iseloomustab tõeliste varingute ja seismoanalüüsiga määratud asukohti [26]. Mõlemad varingud toimusid endise ploki II-20 piires (praeguse ploki 15) [7, 8, 19].

Tabel 2. 2008. a. toimunud varingute asukoht Estonia kaeveväljas

Toimumise aeg		Asukoht						Magni- tuud
GMT	Eesti aja järgi	Seismoanalüüs		Tõeline		Koordinaadid		
		°N	°E	°N	°E	x	y	
20080120 2330	20080121 0130	59,228	27,495	59,234	27,441	6571218.8	696339.1	1,8
20080701 2244	20080702 0144	59,237	27,445	59,234	27,441	6571218.8	696339.1	2,0



Joonis 7. Estonia kaeveväljas toimunud varingute asukoht

Nende varingute haruldane öine kellaaeg välistas kohe lõhkamiste olemasolu, ning signaalide edasisel analüüsil saadi ka selle kinnitust. Seismiliste signaalide kujud ja nende võngete sagedussisaldust kajastavad spektrogrammid olid väga erinevad lõhkamiste signaalide kujust, aga ei meenutanud ka maavärinate signaale [27].

5. VARINGUTE GEOLOOGILISED PÕHJUSED

5.1. Rikkevööndid ja karstumus

5.1.1. Rikkevööndid

Geoloogilis-geofüüsikaliste uuringute tulemuste põhjal on Eesti põlevkivimaardlas välja selgitatud rida regionaalseid tektoonilisi rikkevööndeid. Rikked laiuvad valdavalt kirde–edela suunas (Viivikonna, Ahtme, Aseri, Viitna, Paide), kuid nad pole üksteisega rangelt paralleelsed ja sirgjoonelised [6]. Nende asimuut võib kõikuda 10...20° NE kuni 50...60° NE piires. Vööndite ulatust võib jälgida kümneid kilomeetreid, kuid täieliku kontuuri osas ei ole selgust: laius 200...300 m ja kuni 800...900 m. Rikkevööndite sügavuse kohta ollakse arvamisel, et enamik neist läbib kogu settekivimite kompleksi ning võib olla seotud süvamurrangutega aluskorras [9]. Lõhed on vertikaalilähedased.

Rikked ei ole kogu ulatuses püsiva iseloomuga, kuid kivimite nihkumise üldine vertikaalne amplituud (kuni põlevkivi tootuskihi lamamini) varieerub mõnest meetrist kuni 15...20 meetrini. Aseri ja Viivikonna rikkel on suhteliselt tõusnud kagutiivad, Ahtme rikkel on kagutiib vajunud.

Puurimistöde tulemuste põhjal on rikkevööndites kindlaks tehtud: kvaternaarisetete paksuse mõningane suurenemine, oosisüsteemide esinemine, karstilehtrid, lõhelisus, purustatus; aluspõhjaliste karbonaatkivimite dolomiidistumine, nende värvumine raudhüdrosiidiga ja nõrk sulfaatne mineraalsus; esineb põlevkivikihtide tugevat karstumust ja tootuskihi lamami hüpsomeetria on raskendatud. Tektooniliste rikete kohal on geofüüsikaliste uuringutega fikseeritud suurenenud elektrijuhtivuse selged anomaaliad, mis vastavad kivimite purustuse ja karstumuse vöönditele [6].

5.1.2. Kivimite karstumus

Eesti põlevkivimaardlas, nagu ka terves Baltikumi põlevkivibasseinis, on kogu karbonaatkivimite kihtkond, kaasa arvatud ka põlevkivi produktiivne lade, allutatud karstumisprotsessidele. Karst levib nii pindmiselt kui ka sügaval ja kindlat piiri nende vahele ei saa tõmmata.

Pindmine karst soodustab pinnavee intensiivset neeldumist, madalates kaevandustes osaleb ta vee juurdevoolus ja mõjutab kaeveõonte lae püsivust. Sügavamate kaevanduste rajamisele pindmine karst otsest mõju ei avalda, kuid tema olemasolu viitab kaudselt ka süvakarsti võimalikule arengule [6]. Kuna karstisoonid esinevad tihti gruppidega üksteise läheduses, pikendusel või kulissidena, siis võib kogu karstunud ala laius ulatuda kuni 300...500 m ja pikkus 4...5 ja kohati enam kilomeetrini [3].

Karstumisprotsessid raskendavad kaeveõonte läbimist, teevad keeruliseks kaevandamistöde tehnoloogia valiku, nendega on seotud tootuskihi lasumi ja seinte ebapüsiv seisund, suurenenud vee juurdevool jne. Kõik need asjaolud avaldavad negatiivset mõju põlevkivitootmise tehnilis-majanduslikele näitajatele.

Uurijad on teinud kindlaks, et kivimite vastupidavus ning füüsikalise-mehaanilised omadused muutuvad normaalsel geoloogilisel väljal asuvas maardlas väga vähe, kuid karstiriketes üsna järsult. Karstivöönditele lähenedes suureneb tunduvalt kivimite poorsus, väheneb põlevkivi kõvadus ja suureneb niiskusesisaldus [6]. Kõik see ei võimalda rajada normaal mõõtmetega kambriplokke, kaevandamistehnika kasutamine muutub keerukaks,

suureneb maavara kadu tervikutes ning tööde ohtlikkus seoses kaeveõõnte lae ja seinte varinguohuga. Tekib vajadus kaevanduskäigud põhjalikult toetada või jätta suuremad tervikud. Seoses sellega muutub põlevkivi kaevandamine karstisoonide piirkonnas majanduslikult mitteotstarbekaks ja tavaliselt need alad jäetakse tervikutesse [3].

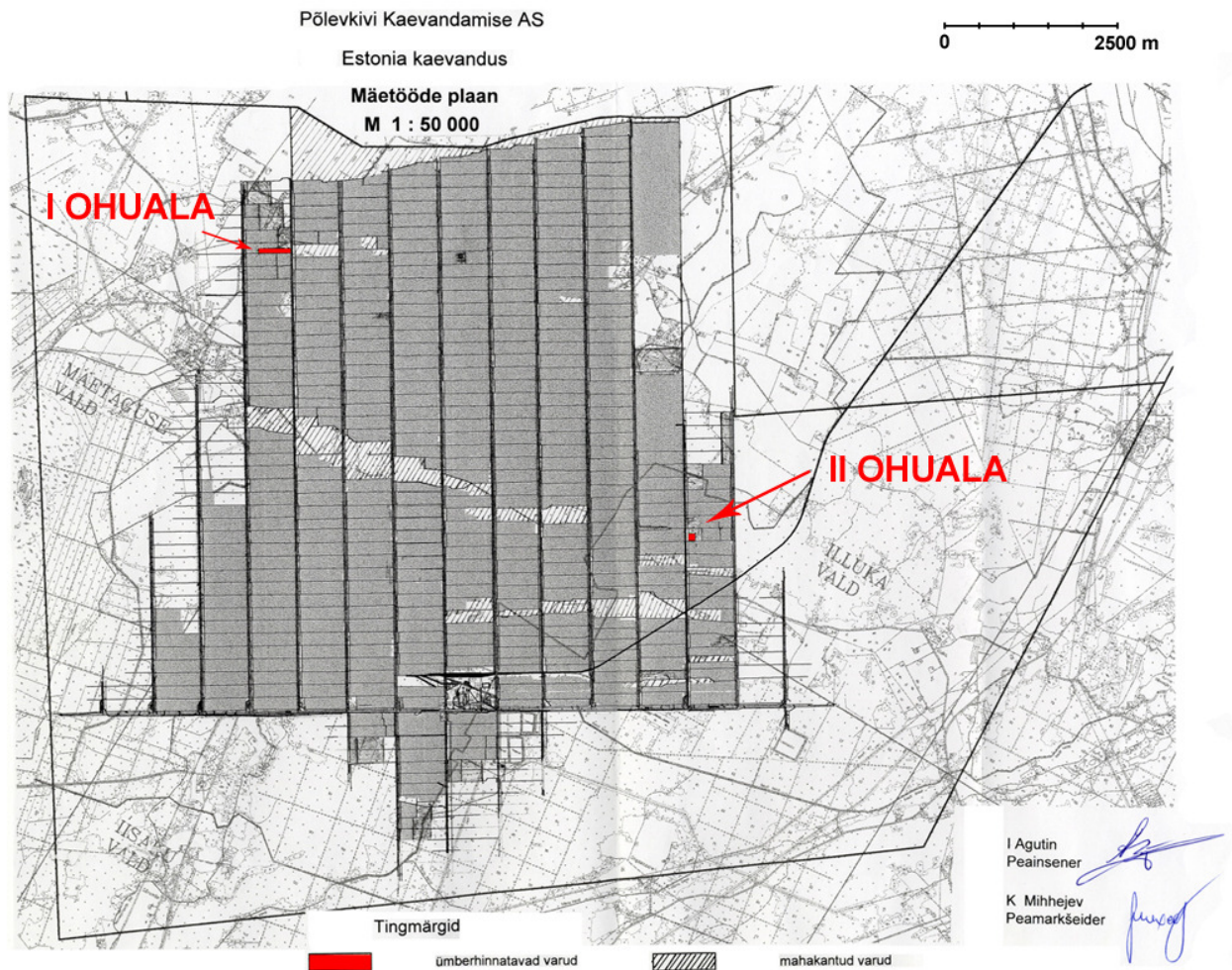
5.2. Varisenud kambriplokkide lähiümbrus

Eelnev tektooniliste rikete kirjeldus käis põhiliselt Eesti põlevkivimaardla ja Estonia KV kohta üldiselt. Selle järgi ei saa kindlalt väita, et antud varingute läheduses oli kindlasti karstiala, esines lõhesid või tektoonili rikkeid. Kuid milline võis olla antud varingute läheduses olev kivimimassiivi ehitus? Kuna täiendavaid uuringuid ei saadud antud töö käigus sooritada, siis tuleb tugineda juba olemasolevatele uurimistöodele ja aruannetele.

5.2.1. Estonia KV piires eraldatud ohualad

2003. a. esitas Põlevkivi Kaevandamise AS Estonia kaevandus seletuskirja Estonia kaeveväljal kasutuskõlbmatu põlevkivivaru ümberhindamise kohta (varu seisuga 01.01.2003. a.) [10]. Keskkonnaministeeriumile esitati taotlus Estonia KV ja Estonia kaevanduse mäeeraldisel arvel oleva 100 tuh tonni aktiivse põlevkivi tarbevaru, kui mittekasutuskõlbliku, bilansist välja arvamiseks. Põhjuseks toodi rasked ja ohtlikud kaevandamistingimused tektooniliste ja karstirikete levikualade piirkonnas.

Põlevkivivaru ümberhindamist Estonia KV taotleti kahel alal. Esimene pindalaga 2,07 ha asus KV loodeosas, mis paiknes 1995. a. varu arvutuse [7] I ploki piires ja teine ala pindalaga 0,88 ha, mis paiknes KV idapoolses osas ploki II piires (Joonis 8).



Joonis 8. Ohualad Estonia kaeveväljal [10]

Kuna esimene ala jääb 2008. aastal toimunud varingute asukohast küllaltki kaugemale ja seetõttu ei iseloomustata varisenud kambriplokkide lähiümbrust, siis seda siin enam edasi ei vaadelda. Seevastu iseloomustab II ohuala antud piirkonda küllaltki hästi.

II ohuala asus KV ja mäeeraldise idapoolses osas kambriplokis 1108 ja jäi 1995. a. varu arvutuse plokki II alaplokki II-18 piiresse. Alal oli seletuskirja järgi tootuskihi ja laekivimite kõrgendatud lõhelisus ja ebapüsivus ning suurenenud vee juurdevoolud. Laepüsivust ei taganud ka ankurtoestik. Laekivimite varingud olid antud alal toimunud paljudes kohtades kõrgusteni 4,2...4,8 m (Joonis 9). Kuna kaevandamine muutus 2003. a. üha keerulisemaks, siis mäetööd antud alal peatati. Mäetöödega saadud informatsioon ja ka täiendav vaatlus näitas, et põlevkivi väljamise lõpetamine alal seoses keeruliste kaevandamistingimustega ja ohtlikkusega töötajatele olid põhjendatud.

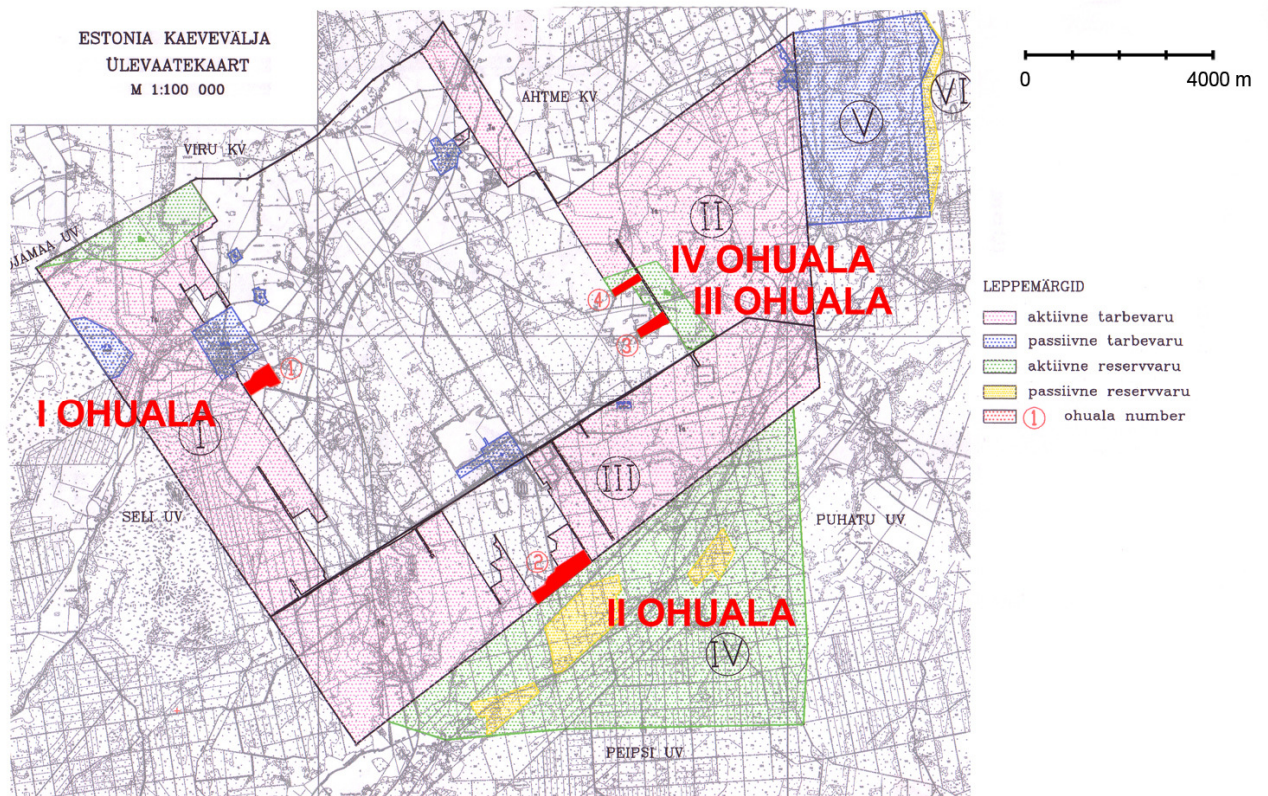


Joonis 9. Laekivimite varingud II ohualas. Foto: V. Kattai [10]

Kui ülalkirjeldatud II ohuala jääb varingualast siiski pisut kaugemale (u. 1000 m) ja selle järgi ei saa teha veel üldistatud järeldusi, siis järgmine näide kinnitab samuti mäemassiivi rikete olemasolu olles 2008. aastal toimunud varingutele veelgi lähemal.

2007. a. esitas Eesti Põlevkivi Kaevandamise AS Eesti Põlevkivi tellimisel põhjendused ja materjalid Estonia kaevevälja ja Estonia kaevanduse mäeeraldise ohualade põlevkivivarude bilansist mahaarvamise kohta [3]. Põlevkivivarude mahaarvamist Estonia KV taotleti neljal alal. Esimene ohuala pindalaga 23,61 ha asus KV loodeosas ja jäi 1995 a. varu arvutuse I ploki.

Teine ohuala pindalaga 43,9 ha paiknes KV idapoolses osas ploki III piires. Kolmas ohuala pindalaga 12,49 ha ja neljas ohuala pindalaga 9 ha jäid KV idapoolse osa ploki II piiridesse (Joonis 10).

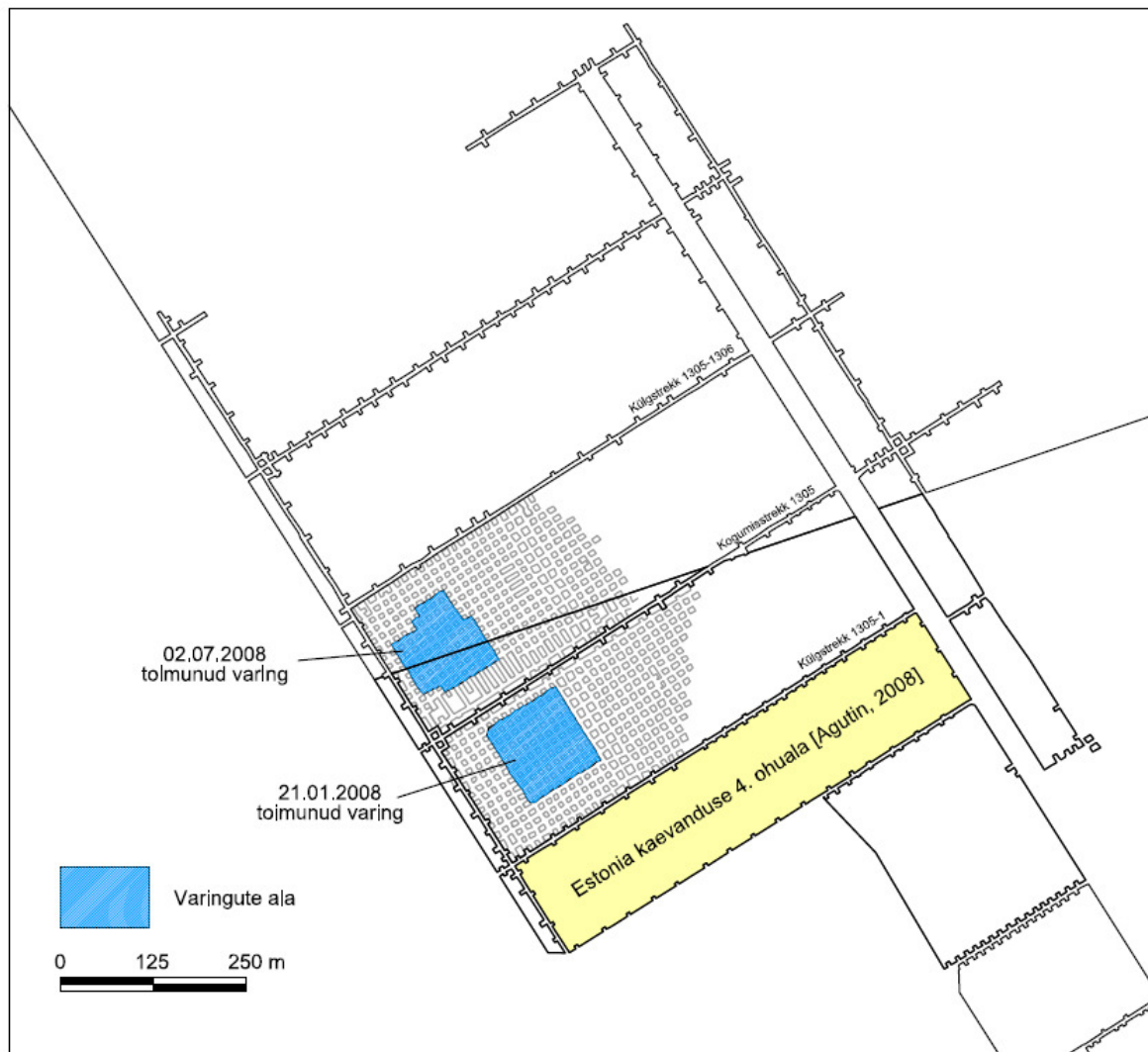


Joonis 10. Ohualad Estonia kaeveväljal [3]

Kuna neljas ohuala jääb Estonia varingute asukohale kõige lähemale, siis vaadeldakse edasi ainult neljandat ohuala.

Neljanda ohuala pindala on 9,0 ha, ning põlevkivivarude 305 tuh. tonni. See paikneb KV ja mäeeraldise idaosas 11 ja 13-nda paneeli ja külgstrekkide 1301-1 ja 1304-1305 vahelisel ohualal ja jääb 1995 a. varuploki II alaploki II-20 kontuuri.

Mõlemad 2008. a. toimunud varingud jäävad külgstrekkide 1305-1306 ja 1305-1 vahel. Seega asub neljas ohuala antud kambriplakkide varingutest vahetult lõuna suunas (Joonis 11).



Joonis 11. Varisenud kambriplokid ja IV ohuala

Terve rea kaeveõõntega olid ohualal läbindatud ka karstitsoonid. Karstirikete levikut tootuskihindis oli samuti jälgitud strekkides ohualast 4 vahetult läänes, kus põlevkivivaru oli 2001. a. bilansist juba maha arvatatud [3].

Mäetöödega saadud informatsiooni ning komisjoni täiendava vaatluse alusel lõpetati põlevkivi väljamine neljandal ohualal. Põhjuseks toodi rasked ja ohtlikud kaevandamistingimused tektooniliste ja karstirikete levikualade piirkonnas.

Kuna varisenud kambriplokkidest u. 1000 m loode suunas ja vahetult lõunas on erinevatel aegadel eraldatud põlevkivi kaevandamise ohualasid, siis võib arvata, et karstitsoonid ja laekivimite lõhelusid jätkusid ka varisenud kambriplokkidesse.

5.3. Põlevkivikihi üldine tugevus

Põlevkivi on settekivim, mis on tekkinud veekogu põhjas ning koosneb orgaanilisest ainest. Kuna settimise tingimused (vee temperatuur jms) olid erinevad, siis vahepeal settis lubjakivikiht, siis jälle põlevkivi ja vastupidi, moodustades praeguse põlevkivikihi [30]. Seega nagu peatükis 2.1 kirjeldatud, koosneb põlevkivikiht vaheldumisi nii lubjakivi ja põlevkivi kihtidest. Teatavasti on aga lubjakivi- ja põlevkivikihtidel erinev tugevus.

Kivimite tugevusklassid teimitugevuse alusel näitavad, et põlevkivi vastupanu survele on 10...40 MPa, seevastu lubjakivil 40...140 MPa [21]. Tabel 3 iseloomustab kivimite tugevusklasside teimitugevuse alusel.

Tabel 3. Kivimite tugevusklassid teimitugevuse alusel

Klass	Vastupanu survele Mpa	Näited	
		Eestis, sh maakivid	Maailmas
Pudedad	> 5	Savi, nõrgalt tsementeerunud liiv, kruus	
Poolkaljused	5-10	Liivakivid, fosforiit, Kambriumi savi	Soolad, pruunsüsi, kips
Kaljused (nõrgad)	10-40	Põlevkivi, savikivi, domeriit, mergel	Kivisüsi, porsunud kivimid, kriit
Kaljused (keskmised)	40-140	Paekivi, lubja- ja dolokivi	Kildad, liiva- ja lubjakivid, rauamaak
Kaljused (tugevad)	140...200	Moonde ja tardkivimid, soonkivimid, marmor	
Kaljused (ülitugevad)	> 200	Kvartsiit, basalt, diabaas	

Seega võib varinguid soodustada lisaks tektoonilistele riketele ja karstumusele ka tootuskihi üldine tugevusaste, kuna kamberkaevandamisel tervikutesse jääv mäemassiiv moodustub just tootuskihi tugevusest.

Põlevkivikihi üldine tugevus ja püsivus oleneb sellest, kui suur on tootuskihi lubjakivi sisaldus. See omakorda mõjutab tootuskihi kütteväärtust ja energiatootlust. Mida suurem on lubjakivi sisaldus, seda väiksem on kütteväärtus ja energiatootlus. Seevastu, mida rohkem on kihindis lubjakivi, seda tugevam ja püsivam on kihind. Antud väidet iseloomustab ka järgmine tabel (Tabel 4).

Tabel 4. Estonia KV tootuskihindi keskmised näitajad seisuga 01.01.2007. a. [19]

Ploki nr.		Vana ploki ja alaploki nr.	Tootlik kihind	Pindala, ha	Keskmised näitajad						Katendi paksus
Uues	Vanas				MM paksus, m	PK paksus, m	MM kütte- väärtus, MJ/kg	PK kütteväärtus, MJ/kg	PK mahukaal t/m3	Tootsa kihindi energiatootlus, GJ/m2	
1	1	I-7	F ₁ -A	1521,39	2,68	2,1	8,32	11,4	1,6	39,17	50-65
2	7	I-1 Kaevanduse tehnoloogiline kompleks	F ₁ -A	52,5	2,68	2,1	8,32	11,4	1,6	39,17	55-60
3	7	I-2 Mäetaguse aleviku kaitsetervik	F ₁ -A	110,58	2,68	2,1	8,32	11,4	1,6	39,17	55-60
4	7	I-3 Muraka LKA Ratva skv.	F ₁ -A	73,82	2,68	2,1	8,32	11,4	1,6	39,17	50-55
5	7	I-34 Farm	F ₁ -A	5,06	2,68	2,1	8,32	11,4	1,6	39,17	55-60
6	7	I-33 Kalmistu	F ₁ -A	7,04	2,68	2,1	8,32	11,4	1,6	39,17	55-60
7	8	I-9	F ₁ -A	249,72	2,68	2,1	8,32	11,4	1,6	39,17	50-55
8	1	I-7 Muraka Natura ajutiste piiranguvöönd (Seli LKA)	F ₁ -A	254,5	2,68	2,1	8,32	11,4	1,6	39,17	60-65
9	1	I-7 Ratva metsise püsielupaiga piiranguvöönd	F ₁ -A	6,99	2,68	2,1	8,32	11,4	1,6	39,17	50-55
10	2	II-18+II-19	F ₁ -A	2186,58	2,73	2,16	8,84	11,99	1,57	41,83	40-60
11	9	II-4 Pagari asula kaitsetervik	F ₁ -A	31,27	2,73	2,16	8,84	11,99	1,57	41,83	50-55
12	9	II-5 Kurtna asula kaitsetervik	F ₁ -A	19,86	2,73	2,16	8,84	11,99	1,57	41,83	35-40
13	2	II-18 Kurtna rohe-tilksambliku ja kollase virvesambliku püsielupaiga skv.	F ₁ -A	28,51	2,73	2,16	8,84	11,99	1,57	41,83	50-55
14	2	II-19 Illuka mõisa park	F ₁ -A	3,61	2,73	2,16	8,84	11,99	1,57	41,83	50-55
15	10	II-20	F ₁ -A	162,91	2,73	2,16	8,84	11,99	1,57	41,83	60-65
16	3	III-30+III-31	F ₁ -A	2859,54	2,74	2,17	8,20	10,97	1,61	39,43	55-65
17	11	III-32 Lõhkeainete ladu	F ₁ -A	3,87	2,74	2,17	8,20	10,97	1,61	39,43	60-65

Varingud toimusid plokis II-20. Võrreldes teiste plokkidega on II-20 ploki keskmised kütteväärtuse ja energiatootluse näitajad küllaltki kõrged. Mäemassi kütteväärtus on 8,84 MJ/kg, kus põlevkivi kütteväärtuse moodustab 11,99 MJ/kg. Tänu suurele kütteväärtusele on ka põlevkivi mahukaal kõige väiksem, 1,57 t/m³ ning vastavalt sellele on ka tootuskihindi energiatootlus kõige suurem, 41,83 GJ/m² [19].

5.4. Järeldused

Nagu eespool kirjeldatud, on Estonia kaeveväljas mitmeid rikkevõõndeid, mis toovad endaga kaasa kivimite karstumuse. Lähtudes varem tehtud uurimistöödest Estonia kaeveväljas ja 2008. a. varingute vahetusläheduses võib väita, et varinguala geoloogilised tingimused olid komplitseeritud.

Kui varingute lähiümbruses on välja eraldatud kaks ohuala (kusjuures üks varingutest vahetult lõunas), siis võib arvata, et varisenud kambriplokkides esines samuti tavapärasest rohkem lõhelisust ja kivimite karstumust, millised avaldavad otseselt mõju tervikute püsivusele.

Samuti, kui võrrelda varinguala (II-20 plokk) põlevkivi tootuskihindi keskmisi näitajaid [19] teiste Estonia kaevevälja plokkidega, on selge, et varinguala põlevkivi kütteväärtus (11,99 MJ/kg) ja energiatootlus (41,83 GJ/m²) on kõige suuremad. Järelikult oli antud varingute piirkonnas kõrgema kvaliteediga põlevkivikihind kui tavaliselt Estonia KV-s, mis aga omakorda tähendab mõnevõrra nõrgemat terviku püsivust puur- ja lõhketööde suhtes. Tervikute külgedesse tekivad kergemini lõhed ja tervikute küljed hakkavad murenema.

Sellest tulenevalt võib lähiümbruses eraldatud karstisoonide, tektooniliste rikete ja lõhede ning põlevkivi küllaltki suure orgaanika sisalduse tõttu väita, et antud kambriplokkide geoloogilised tingimused soodustasid varingute ilmnemist.

6. VARINGUTE TEHNOLOOGILISED PÕHJUSED

Nagu juba peatükis 3 on kirjeldatud, kasutatakse Estonia kaevanduses kamberkaevandamise viisi. Kamberkaevandamisel moodustatakse 8–10 m laiused kambrid, kus põlevkivikihind puuritakse ja lõhatakse [20]. Lõhatud mäemassiiv transporditakse konveiertranspordiga rikastusvabrikusse. Kui lõhatud mäemassiiv on koristatud, saavutatakse ee edasinihe olenevalt lõhkamise parameetritest.

Aastani 2004 kasutati Estonia kaevanduses koristustöödel nõ. tavatehnoloogiat. Selle puhul oli ee edasinihe lõhketsükliks 1,6...1,8 m. Alates 2004-ndast aastast on kasutusel uus tehnoloogia (pika edasinihkega), mis suurendab ee edasinihet kuni 4,0 meetrini [12]. Alljärgnev tabel (Tabel 5) iseloomustab vana ja uue tehnoloogia parameetrite erinevusi.

Tabel 5. Koristustööde vana ja uue tehnoloogia erinevus

Jrk. Nr	Näitajad	Ühik	Vana tehnoloogia	Uus tehnoloogia
1	Lõhkeaukude pikkus, max	m	2,1	4,0
2	Laengu pikkus lõhkeaugus	m	kuni 1,2	2,23-3,35
3	Laengu mass, max	kg	1,2	3,1
4	Lõhkeaine kulu kambris lõhketsükli, max	kg	24	79,5
5	Korraga lõhtavate kambrite arv	-	4-9	3-5
6	Lõhkeaine üldkulu lõhketsükli	kg	96-216	238,5-397,5
7	Algmurde tüüp		kiil + soon	puurauk
8	Viitegruppide arv	-	8	18
9	Laengute lõhkamise aeg kambris	s	0,27	4,25
10	Ee edasinihe tsükli	m	1,6-1,8	kuni 4,0

Tabelist on näha, et uue tehnoloogia puhul on suuremad kõik näitajad, mis mõjutavad mäemassiivi käitumist. Neist kõige olulisemad on kambris lõhatava lõhkeaine kogus ja lõhkamise kestus. Uue tehnoloogia puhul suureneb lõhkeaine kulu kambris enam kui kolm korda, terviku küljed kujundatakse kahe lõhkamisega, tavatehnoloogiaga kulub selleks neli tsükli. Tavatehnoloogia puhul on lõhketööde dünaamilise mõju kestus tervikule 0,27 s (lisaks võngete hääbumine), uuel tehnoloogial 4,25 s (lisaks hääbumine).

Kuna pika edasinihke puhul on lõhkamiste kestus pikem ning laengud võimsamad kui vana tehnoloogiat kasutades, siis dünaamiliste võngete mõjul hakkavad kambri tervikute küljed murenema ja pragunema. Tekivad praod, mis on enamasti paralleelsed kaeveõone seintega, st risti lööklaine leviku suunaga. Kõrge laega väljamilisel esinevad praod tavaliselt kogu terviku ulatuses ning ee-rinna eemaldumisel jätkub tervikute purunemine mäerõhu ja eerrinde järgnevate lõhkamiste mõjul, mis viib tervikute külgede murenemisele ja mõõtmete vähenemisele (pinge nõrgendab terviku pinda ja tervik hakkab kihthaaval murenema).

6.1. Järeldused

On ilmselge, et mida suuremad on lõhkelaengud ja lõhkamise kestus, seda suuremad seisilised lained raputavad mäemassiivi ning seda enam saab kannatada tervikutesse jääv osa. Selle tulemusena on paljudes kambriplokkides (või poolplokkides) tekkinud tervikute külgede märgatav murenemine [17]. Seda esineb eriti kõrge laega (3,8 m) väljatud aladel. Seetõttu vähenevad tervikute ristlõike pindalad, mis suurendab otseselt lae varisemise ohtu ning on personalile ohtlik. Kindlasti mõjutab tervikute seinte purunemist ka massiivi lõhelisus ja vesisus [1, 16]. Põlevkivi tugevus on veega küllastunud umbes poolteist korda nõrgem kui kuivalt. See viitab võimalusele, et põlevkivikaevanduste mahajäetud kambrite tervikud pehmenevad veega täitudes ja varingud intensiivistuvad [1].

Pika edasinihkega tehnoloogiat kasutades tuleks tervikute mõõtmeid oluliselt suurendada. See aga toob kaasa suured kaevandamise kaod, mistõttu tervikutega kamberkaevandamine muutuks ebaratsionaalseks.

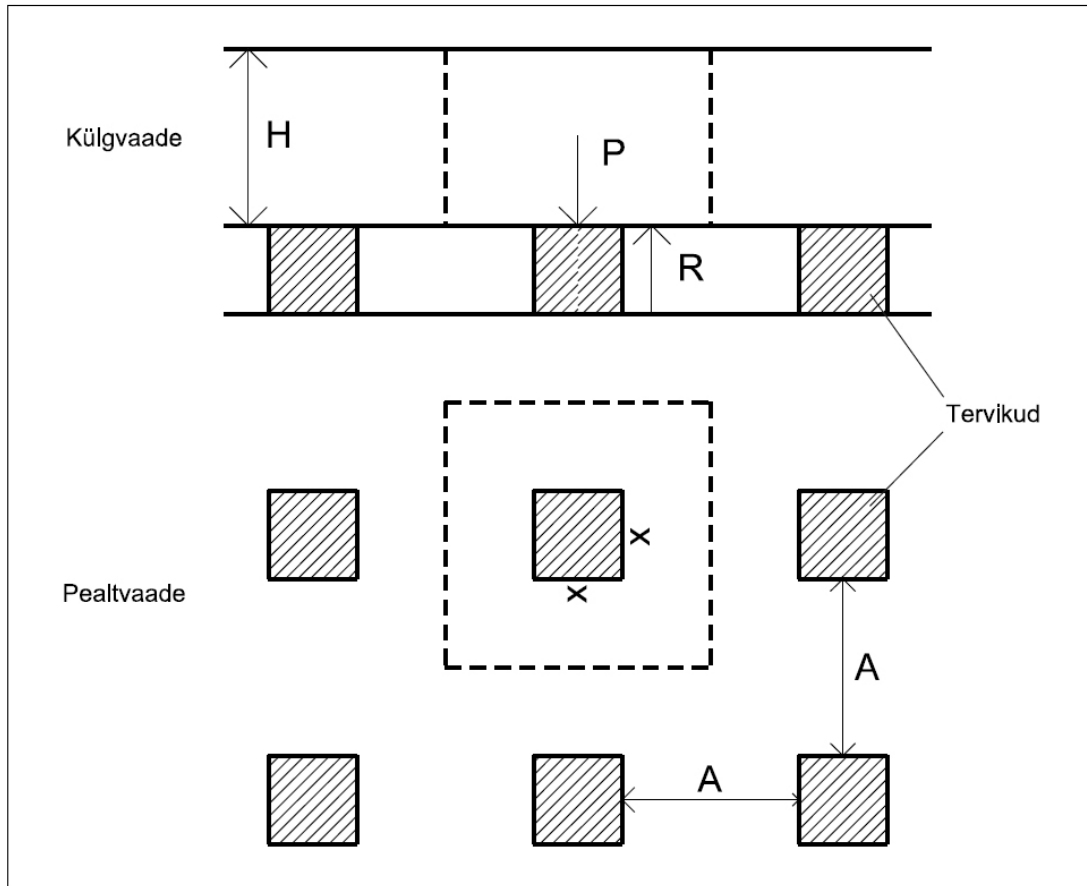
7. VARINGUTE MÄENDUSLIKUD PÕHJUSED

Mäenduslikest põhjustest vaadeldakse tervikute mõõtmete suurusi. Täpsemalt, kui suured olid varingualal tervikud ja kas nende vastupanu määrehüle oli piisav? Arvatakse, et Estonia varingud toimusid seetõttu, et kasutatud kambrite kõrguse (3,8 m) ja pudedala kohta projekteeritud tervikute mõõtmed olid liiga väikesed (ca 40 m²) [27].

Tervikute arvutamise meetodika aluseks on teadmine, et kivimikonstruktsiooni tugevus aja jooksul väheneb. Seepärast arvutataksegi tervikud kahe kivimi tugevustunnuse – alg- ja püsitugevuse alusel. Algtugevus iseloomustab kivimit kiire koormamise puhul, näiteks survekatsel. Pideva surve all, nii nagu see on tervikutes, kivimi tugevus väheneb seni, kuni saab võrdseks püsitugevusega. Väga suure surve all tugevuse vähenemine ei pruugigi lakata ja kivim puruneb. Püsivate tervikute arvutamise aluseks võetakse püsitugevus.

Alg ja püsitugevust saab määrata laboratooriumis kivimiproovide katsetamise teel. Kuid laboratoorsed katsed ei kirjeldada ega mõõta seda, mis maapõues tegelikult toimub. Seepärast peetakse püsivaks projekteeritud tervikute ootamatut purunemist hälbeks. Hälvete elimineerimiseks kasutatakse arvutustes varutegurit, mis põlevkivikaevandustes kasutusel oleva meetodika kohaselt võib olla 1,1...1,4. Seega, tervik projekteeritakse 10...40% suurem kui tugevusõpetuse alused ette näevad. Samas, varuteguri suurus on kindel ainult projekteerimise staadiumis. Tegelikuses kujundatud või töö käigus (lõhketööde mõjul) kujunenud tervikute mõõtmed erinevad projektmõõtmetest väga mitmel mäetehnilisel põhjusel (näiteks ee edasiliikumise ebahühtlus), millest tulenevalt külje pikkus ee liikumise suunas võib lahknedada projekteeritust [22].

Kuna varisenud alal olevate tervikute ristlõike pindalad ja lamami sügavus on teada, siis on võimalik arvutada nende püsivust. Allolev skeem (Joonis 12) selgitab lihtsustatud arvutuse käiku.



Joonis 12. Tervikute püsivuse arutamise skeem

Skeemil toodud tingmärgid on järgmised:

- P – ühele tervikule mõjuv mäerõhk, N;
- R – terviku vastujõud, N;
- x – terviku küljepikkus, m;
- A – tervikute vaheline kaugus, m;
- H – kattekivimite paksus, m.

Skeemil tähistatud katkendjoonega ala iseloomustab ühele tervikule mõjuvat mäerõhku (P). Teades lubjakivi mahukaalu ja kattekivimite paksust (H) on võimalik arvutada antud piirkonnale mõjuv mäerõhk. Ühele tervikule mõjuva mäerõhu (P) saab arvutada järgmiselt:

$$P = (A + x)(A + x)H\gamma \quad [N]$$

- A – tervikute vaheline keskmine kaugus, 8 m;
- x – tervikute küljepikkus, m;
- H – laekivimite paksus, 62 m;
- γ – lubjakivi mahukaal, 2,5 t/m³.

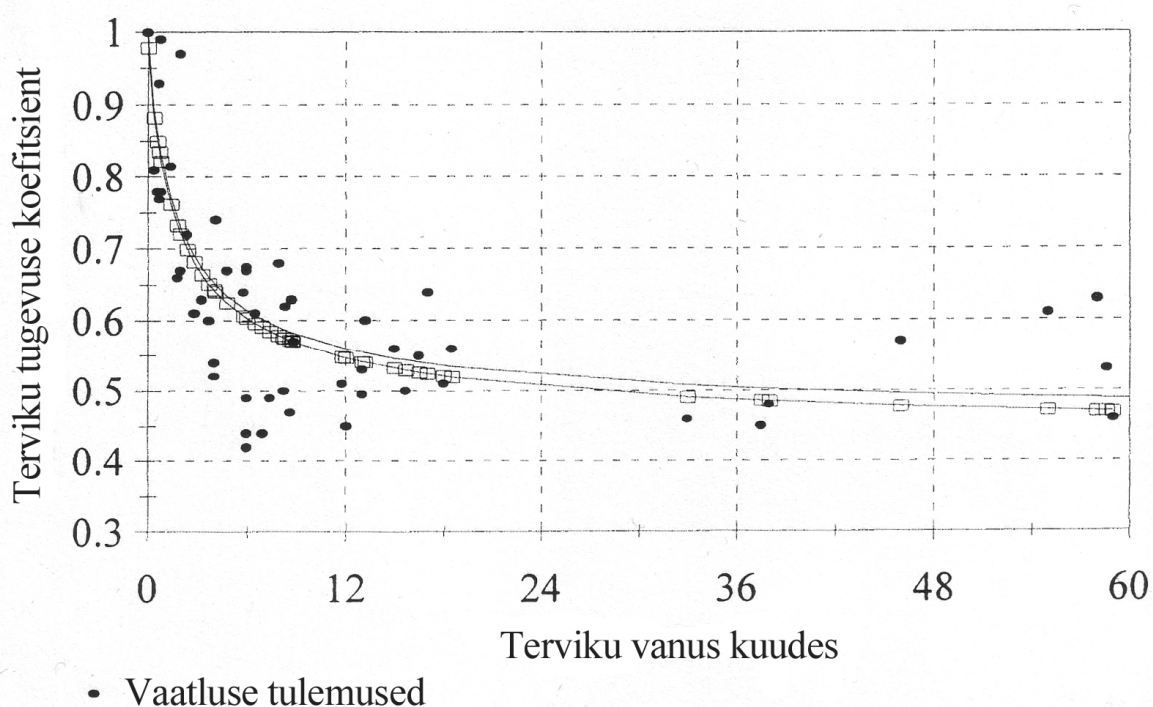
Ühe terviku vastupanu (R) määrdhule (P) on arvatav järgmise valemiga:

$$R = S\sigma \quad [N]$$

S – terviku keskmine ristlõike pindala, m^2 ;

σ – terviku hetktugevus.

Eesti Energia Kaevandused AS arendusosakonna juhataja O. Nikitini sõnul oli varingute toimumiskohas kattekivimite paksus 58...62 m ja kaeveõõnte (kambrite) kõrgus 3,8 m ning varingute alla jäänud tervikute vanus 6...8 kuud. Eesti leiupaiga põlevkivikihi jaoks tuleb tingliku hetktugevuse ja kestustugevuse alampiiri keskmisteks väärtuseks võtta $R_0 = 16$ MPa ja $R_\infty = 7,0$ MPa [13, 15]. Teatavasti tervikute tugevus ajas väheneb [22]. Kuna tervikute vanuseks hinnati kuni 8 kuud, siis vastavalt allolevale skeemile saadakse terviku tugevuse koefitsiendiks $\sim 0,56$ ja terviku tugevuseks seega 9 MPa (Joonis 13) [13].



Joonis 13. Kivimimassiivi nõrgenemise protsess ajas [13]

Tervikute keskmised ristlõike pindalad on saadud varingute kambriploki plaanilt (Gr. Lisa 2). Vastavalt sellele on arvatud tervikute püsivus mõõdistamise hetkel eeldades, et tervikud on ruudukujulised (Tabel 6, Tabel 8).

On teada, et tervikute mõõtmed vähenevad puur- ja lõhketööde tõttu maksimaalselt üks meeter [17]. Seega eeldataval varinguhetkel on tervikute mõõtmetelt lahutatud üks meeter (Tabel 7, Tabel 9).

Tehtud arvutused ja tulemused on toodud alljärgnevas tabelites.

Tabel 6. I varingu tervikute püsivus mõõdistamise hetkel

H, m	A, m	S, m ²	x, m	γ , t/m ³	γ , N/m ³	σ , MPa	σ , MN/m ²	P, MN	R, MN
62	8	42,40	6,51	2,5	24516,63	16	16	320,03	678,40
								Suhe:	2,12

Tabel 7. I varingu tervikute püsivus eeldataval varinguhetkel

H, m	A, m	S, m ²	x, m	γ , t/m ³	γ , N/m ³	σ , MPa	σ , MN/m ²	P, MN	R, MN
62	9	30,36	5,51	2,5	24516,63	9	9	320,03	273,24
								Suhe:	0,85

Tabel 8. II varingu tervikute püsivus mõõdistamise hetkel

H, m	A, m	S, m ²	x, m	γ , t/m ³	γ , N/m ³	σ , MPa	σ , MN/m ²	P, MN	R, MN
62	8	38,70	6,22	2,5	24516,63	16	16	307,36	619,20
								Suhe:	2,01

Tabel 9. II varingu tervikute püsivus eeldataval varinguhetkel

H, m	A, m	S, m ²	x, m	γ , t/m ³	γ , N/m ³	σ , MPa	σ , MN/m ²	P, MN	R, MN
62	9	27,25	5,22	2,5	24516,63	9	9	307,36	245,24
								Suhe:	0,80

Kui võrrelda mõlemaid jõudusid, siis on näha, et:

- $R > P$ – jääb tervik püsima;
- $R = P$ – jõud on võrdsed;
- $R < P$ – tervik variseb.

7.1. Järeldused

Kirjeldatud kambriplokkides olid tervikute ristlõigete pindalad projekteerituna 40,9 m² [28]. Vastavalt varingute kambriploki plaanile (Gr. Lisa 2) on I varingu keskmine terviku ristlõike pindala 42,4 m² ning II varingu keskmine terviku ristlõike pindala 38,7 m². Tervikute tegelikud mõõtmed aga varieeruvad suures vahemikus (26,0...97,0 m²), mistõttu mõjub mäerõhk tervikutele ka erinevalt, vähendades kambriploki püsivust.

Samuti ei ole teada varingute kambriploki plaanil (Gr. Lisa 2) toodud tervikute mõõtmete vastavus tegelikule. Seega ei ole teada, kas plaanil esitatud tervikute mõõtmed olid sarnased ka varingute ajal või olid tervikud varingute hetkel veelgi väiksemad. Teades, et lõhketööde mõjul tervikute mõõtmed vähenevad (17), siis tõenäoliselt võisid tervikute mõõtmed erineda plaanil esitatutest. Võttes arvesse tervikute mõõtmete vähenemise kuni üks meeter on antud arvutuste (Tabel 7, Tabel 9) järgi ühe terviku vastujõud mäerõhule väiksem, mistõttu tervikud tõenäoliselt varisevad. Teades eelnevalt antud piirkonna komplitseeritud geoloogilisi tingimusi võib öelda, et tervikute mõõtmed oleksid pidanud olema suuremad.

8. VARINGUTE VÄLTIMINE JA KAEVANDAMISE KADUDE VÄHENDAMINE

Eesti põlevkivikaevandustes on käesoleval ajal kasutusel kamberkaevandamisviis, mida hakati juurutama 60-ndate aastate algul. Kasutatavat kaevandamisviisi võib iseloomustada kui küllaltki efektiivset ja ohutut, mida on näidanud ka pikaajaline kasutamine, kuid on ka rida negatiivseid omadusi [2]:

- ee rinde edasinihe on tsüklilise iseloomuga, mis põhjustab koristustööde madala kontsentratsiooni.
- Tulptervikutega kamberkaevandamisviisi kambrite tuulutus ei ole efektiivne.
- Lõhketööde mõjul toimunud kambri seinte (tervikute) purunemine 1,0 m [17] ulatuses suurendab kambriploki kadusid.
- Töö organiseerimine kambriplokis on keerukas, eriti just suure lõhketööde mahu tõttu.
- Kaevandamise kaod on olenevalt lamami sügavusest 30...40%.
- Suurel pidalal esineb kvaasistabiilset ala maapinnal.

Seega, kui kaevandamise kaod (sügavuse suurenedes, tehnoloogilistel põhjustel) ja süsinikdioksiidi emissioonid aina suurenevad, aheraine mäed maapinnal laienevad ning veega täitunud kambriplokkide varingud intensiivistuvad [1], siis kas ainuüksi kamberkaevandamise viisi on tänapäeval enam mõistlik kasutada?

Üheks perspektiivseks varingute vältimise ja kadude vähendamise variandiks on täitmise tehnoloogia kasutamine, mis nõuab kasutatava kaevandamisviisi moderniseerimist. Samuti aitab neid mõjusid vähendada (vältida) kombain- kamberkaevandamise viis.

8.1. Kombain-kamberkaevandamine

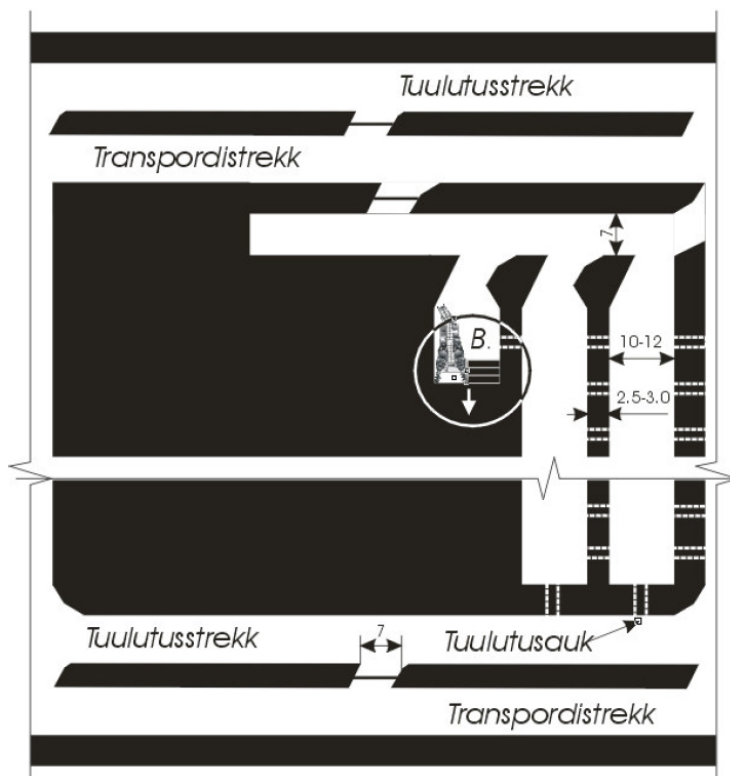
Üheks kaevandamise kadude ja allmaakaevandamise arendamise suunaks on kombain-kamberkaevandamine. Kombainkaevandamist on Eesti kaevandustes ka varem proovitud, kuid raskendavaks asjaoluks oli põlevkivikihi keerukas ehitus, kuna madala võimsusvarustusega kombaini efektiivset kasutamist piiras tugevate lubjakivikihtide olemasolu põlevkivikihis [2]. Toimus valikuline väljamine. Väljati kihid A...C. Valikuliselt väljatud 1,5...1,6 m paksune kiht andis kaevisse, mille kütteväärtus vastas tarbija nõuetele minimaalselt. See kaevandamisviis oli tootlik, kuid kapitalimahukas ja maapinna muutused olid silmnähtavad [20].

Seoses tehnika arenguga on tänapäeval võimalik edukalt kasutada põlevkivi kaevandamiseks lühiee-kombaini, mida iseloomustab suur võimsus ja edasinihke kiirus. Masin tagab kambriploki kõrge tootlikkuse ja tööde kontsentratsiooni ning ohutuse. Kombaini on võimalik kasutada ka läbindustöödel, mille läbindamiskiirus ületab suurusjärgu võrra traditsioonilist läbindamist puur- ja lõhketöödega [2].

Kombainkaevandamise eelised võrreldes kasutatava puur- ja lõhketööde variandiga:

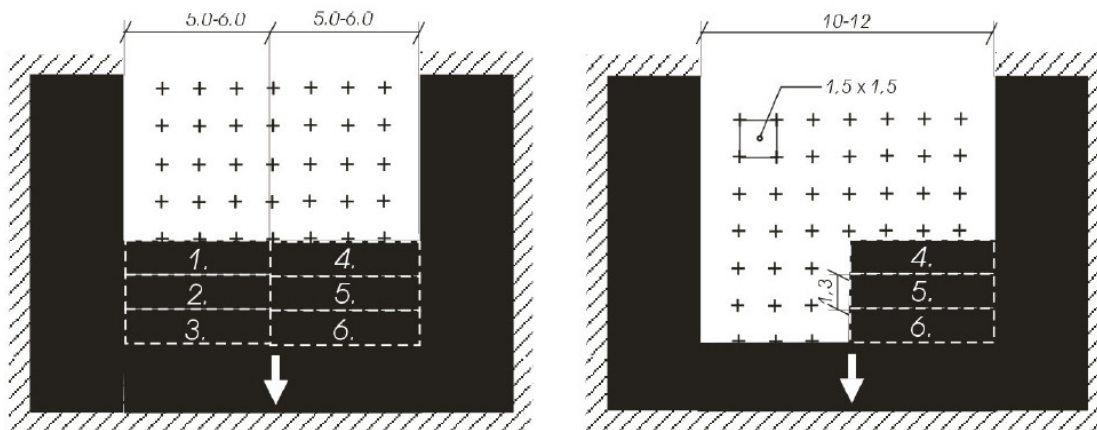
- Kivimi raimamine, esmapurustamine ja laadimine toimub ühe protsessiga. Protsess on pideva iseloomuga, mis suurendab kambriploki tööde kontsentratsiooni ja tootlikkust.
- Tööde tootlikkus sõltub masina võimsusest, ei sõltu inimeste arvust.
- Kombain võimaldab kihindi selektiivset väljamist. Jäävad ära kulud rikastamisele ja pae veole. Kambriplakk muutub sõltumatuks rikastusvabriku asukohast. Kaevandatav kaevis on kaubapõlevkivi.
- Kombainkaevandamine võimaldab kasutada mobiiltranspordi ja optimeerida laekäitlust parimate majandusnäitajate saavutamiseks.
- Seoses puur- ja lõhketööde puudumisega vähenevad tervikute mõõtmed ja seoses sellega ka põlevkivi kaod tervikutes.
- Tekib võimalus ka põlevkivikihtide G ja H väljamiseks. Suureneb õlikivi väljatulek ja vähenevad põlevkivi kaod.
- Lühieekombaini on võimalik kasutada läbindustöödel, mis tagab läbindamise suure kiiruse.

Joonis 14 iseloomustab kombain-kamberkaevandamist. Kambriplakk on jagatud väljamiskambriteks. Kambritevaheline linttervik tagab põhilae püsivuse. Tänu lõhketööde raimamisele on võimalik vähendada tervikute laiust, mis vähendab omakorda kambriploki kadusid, sest terviku küljed ei ole purunenud. Ankurtoestik tagab 10...12 m laiuse kambri vahetu lae püsivuse. Lähtudes kaevandamise tehnoloogiast ja määrahust on tööde ohutuse tagamiseks kambriploki suudmesse jäetud tugevdatud tervikud. Orienteeruvad kambriploki kaod on 20%, võimalik toodang 1,0 milj. m³ kaevist aastas [2].



Joonis 14. Kombain-kamberkaevandamine [2]

Kambrit kaevandatakse kahes poolkambris (Joonis 15). Koristustöid alustatakse vasakpoolses kambri osas laiusga 5...6 m läbinduspikkusega kuni 4 m. Samaaegselt paigaldatakse ankrud vabas kambri osas. Peale seda väljatakse kambri parempoolne osa, kusjuures toimub vaba kambriosa toestamine ankrutega. Üheks võimalikuks variandiks on kasutada ajutist toestikku, mis paigaldatakse raimamistöde toimumise ajal. Kamber toestatakse ankrutega tagapool kombaini.



Joonis 15. Tehnoloogia ee-rindes [2]

Tuulutus toimub traditsioonilise skeemi alusel. Kambrite tuulutuse tagamiseks puuritakse linttervikusse avad. Läbi nende väljub heitõhk kõrvalolevasse kambrisse ja sealt edasi tuulustusstrekki. Maavara vedu kombaini juurest on ette nähtud liikurvagonettidega või kalluritega. Kuna väljamisprotsess on pideva ja transport tsüklilise iseloomuga, siis kasutatakse vahepunkteid.

Ehkki ainuüksi kombain-kamberkaevandamise viis vähendab mõningal määral kaevandamise kulusid ning kiirendab tööde tootlikkust, jäävad koristamisel siiski maha tervikud. Kombain-kamberkaevandamise ühildamisel tagasitaitmise meetodiga saaks väljatud ka esialgu tervikutesse jäänud põlevkivi.

8.2. Tagasitaitmine

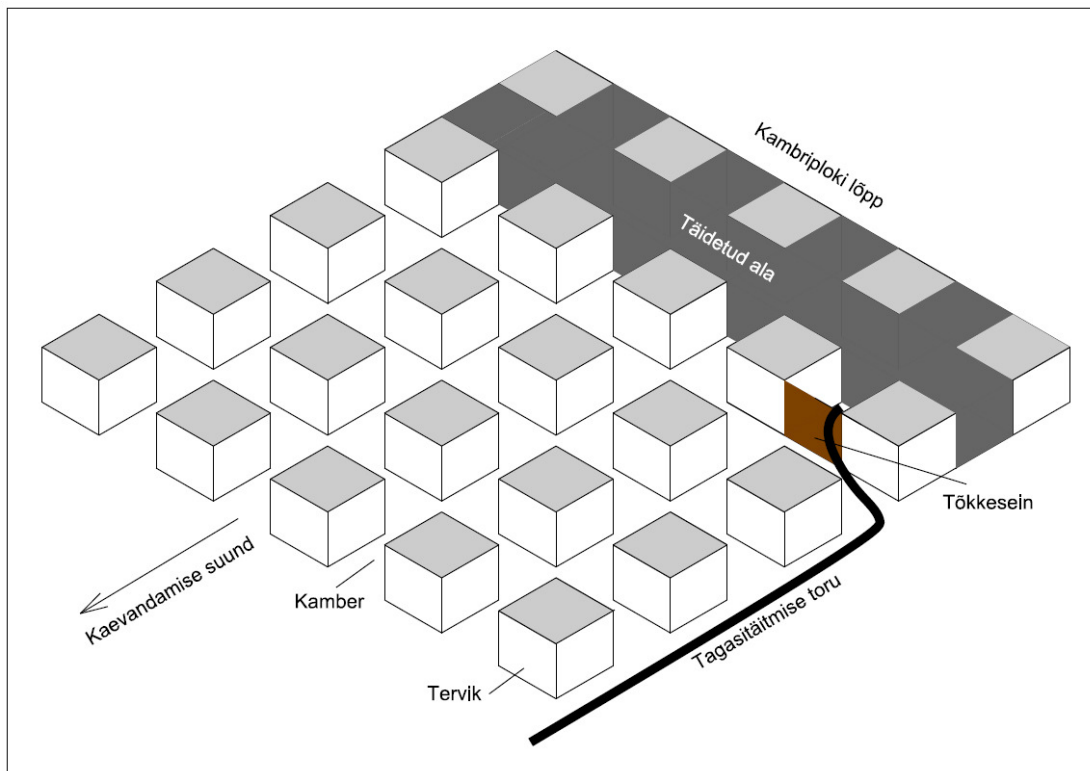
Täitmise tehnoloogia rakendamisel kaevandustes on suur positiivne mõju Eesti põlevkivitööstusele, sest aitab kokku hoida varusid ja tõsta tööde efektiivsust ning ohutust. Maailmapraktika on näidanud, et täitmise efekt on märgatav. Eestis alustati tardsegudega täitmise alaseid uuringuid 1980-ndatel aastatel. Uuringute põhieesmärkideks oli maapinna püsivuse säilitamine, maavarakao vähendamine ja tootmisjääkide (-jäätmete) ohutu kasutamine. Praktiliseks väljundiks oli Kiviõli kaevanduse sulgemine, kus täideti 30 000 m³ kaeveõõnsusi maapealsete objektide kaitseks [18].

Täitmisviis võib olla näiteks hüdrauliline, pneumaatiline, mehaaniline. Täitemassiiv võib olla kivistuv (elektrijaama tuhk + lubjakivi + vesi) või mitte kivistuv (lubjakivi, elektrijaama CO₂-ga seotud tuhk) [27].

Tänapäeval on otstarbekas kasutada täitematerjaliks elektrijaama tuhka ja aheraine lubjakivi. Põlevkivituha ja lubjakivi kasutamine täitematerjalina vähendab nende ladustamise (ladestamise) mahtu ja pindala maapinnal ning seoses sellega ka keskkonnatasusid ning aitab täita EL direktiive. Selleks tuleb välja töötada uued täitmisega kaevandamise süsteemid, mis tagavad:

- maapinna püsivuse;
- kadude vähenemise kuni 30%;
- CO₂ vähenemise;
- keskkonnatasude vähenemise (tuha ja aheraine ladustamise);
- maavara kaevandamisõiguse tasu parima kasutamise.

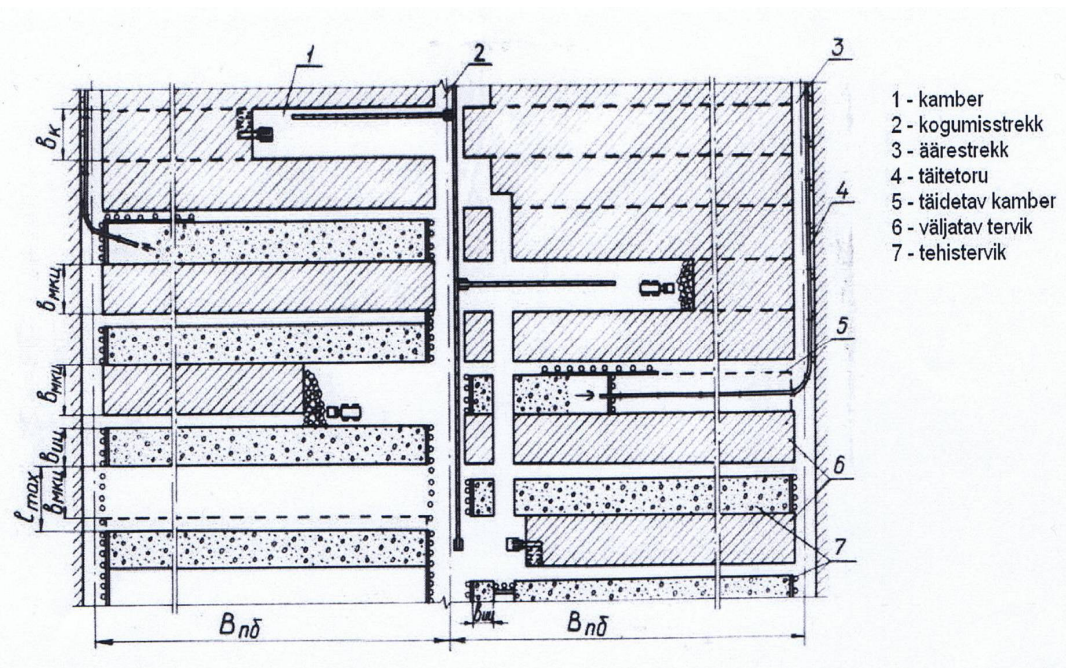
Siiani kasutatava kamberkaevandamise puhul on võimalik kasutada kivistuvat täitemassiivi tekitates tehistervikud (Joonis 16) [5].



Joonis 16. Kamberkaevandamise kambriploki tagasitaitmise skeem [5]

See võimaldab vähendada tervikute mõõtmeid ning põlevkivi tuhka ja lubjakivi koguseid maapinnal. Samuti muutub kaevandatud ala tulevikus stabiilsemaks.

Kõige efektiivsem on aga kasutada tagasitaitmist koos kombain-kamberkaevandamise viisiga (Joonis 17).



Joonis 17. Tagasitaitmine kombain-kamberkaevandamise korral [4]

Täitmine sel viisil kujutab endast tehnoloogiat, kus juba kaevandatud kambrid täidetakse täitemassiiviga. Täitemassiivi kivistumisel töötavad need kui tehstervikud. Seetõttu on võimalik vältida ka esialgselt tervikutesse jäetud põlevkivikihi mäemassiiv, minimeerides kaevandamise kadusid. Põlevkivikihi katend jääb seega seisma tehstervikutele.

Tehtud laborikatsed [18] on näidanud, et täitesegust piirnorme ületavaid raskemetallide koguseid põhjavette ei leostu. Leostuv vesi on küll aluseline, kuid aluseline on ka tavabetonidest leostuv vesi. Saadud laborikatsete tulemusi on siiski otstarbekas kontrollida reaalsetes kaevandustingimustes, viies läbi eksperimente ja teste.

Maailmapraktikas kasutatakse erinevaid täitmistehnoloogiaid ja paljude puhul on nende katsetamine algusjärgus. Ökonoomsed ja optimaalsed lahendused selguvad alles aastatepikkuste katsetuste põhjal. Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituudi poolt tehtavad uuringud sisaldavad segu koostamist, pumpamise ja veo analüüsi, massiivi jälgimist ja kaasnevate mõjude analüüsi [18].

9. VARINGUTE MÕJU MAAPINNAL

9.1. 2008. a. suvel

Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituudi ja Eesti Geoloogiakeskuse meeskonnaga uuriti 21.01.2008. a. toimunud varingut nii seismiliselt kui ka keskkonnamõju vaatepunktist. Mäeinstituut korraldas 17.06.2008. a. välitöö jaanuarikuise varingu keskkonnamõju hindamiseks ja mõõtmiseks. Varing toimus metsaga kaetud alal ja selle tagajärjed maastikul olid üsnagi dramaatilised (Joonis 18).

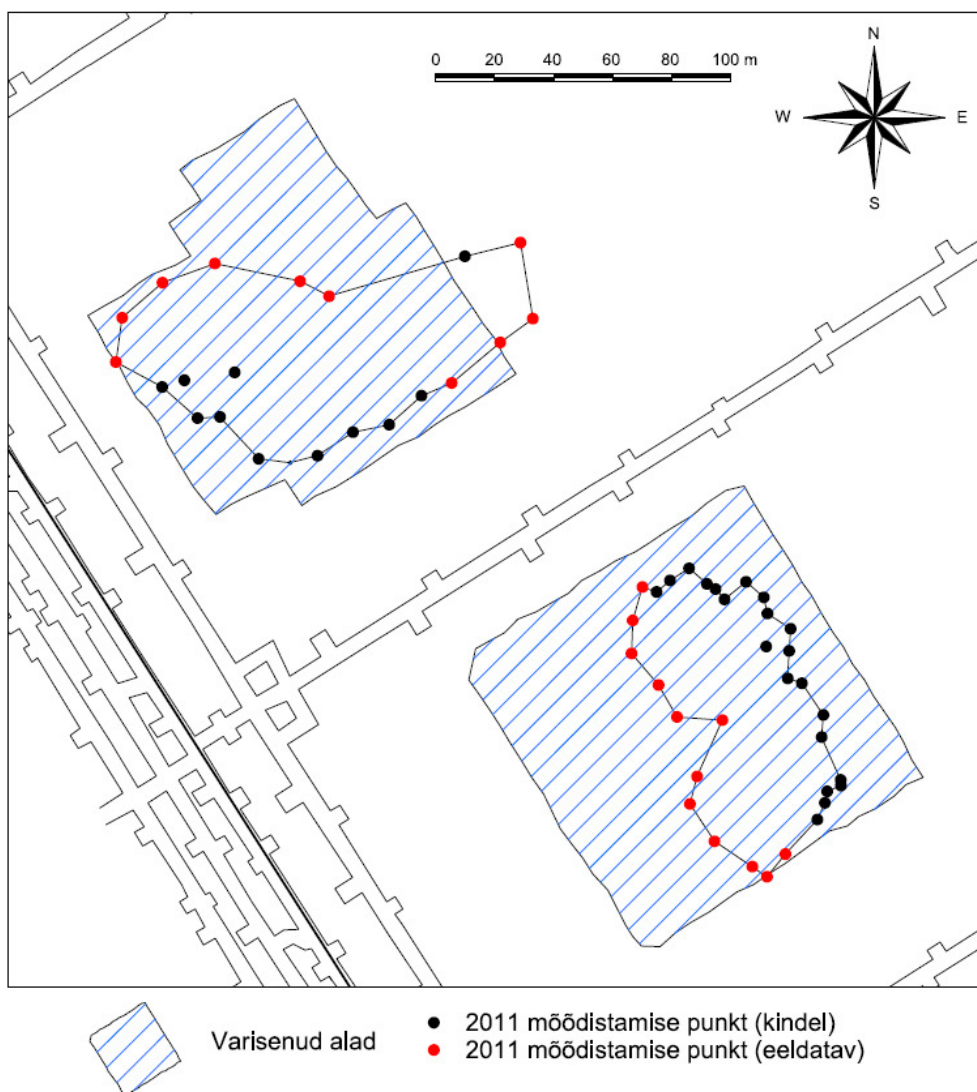


Joonis 18. Varinisenud alal olevad lõhed. Foto: H. Soosalu

Varingu asukohta märgistasid kuni paarikümne sentimeetrised lõhed ja vajunud ala tsentri suunas kaldu olevad puud. Mõõdistamiste järgi oli maapind vajunud kuni 2,0 meetrit [27].

9.2. 2011. a. kevadel

Antud töö raames sooritati ühepäevane välitöö 18.05.2011. a. Töö eesmärgiks oli mõlema varingu küllastamine ning varisenud ala kaardile kandmine (Joonis 19, Gr. Lisa 2). Eelmisest välitööst oli möödunud enam kui kolm aastat. Nende aastate jooksul ei ole veel maapinnalt kadunud lõhed. Mõõdistatud lõhed olid kuni 0,5 m laiad, maksimaalse sügavusega 0,7 m ning kuni 20,5 m pikkused. Üldiselt olid lõhed täitunud kasvupinnasega ja liivaga. Varisenud alade ümbruses oli näha kaldus puid vajumi tsentri poole, kui ka värskelt langenud puid.



Joonis 19. Varisenud alad 2011. a. välitöö tulemusena

Mustad punktid joonisel tähistavad varisenud kontuuri kindlaid punkte, st. neis kohtades oli maapinnal näha selgesti varinguid iseloomustavad tegurid (lõhed, kaldunud puud). Punased aga seevastu tähistavad varisenud kontuuri eeldatavaid punkte. Antud asukohtades oli varisenud ala märgistamine raskendatud, kuna puudusid konkreetsed märgid varingutest.

Esimese varingu idaserv oli hästi mõõdistatav. Sealne maastik oli järssem ning ilmselge selgesti lõhed. Lääneserv aga oli ebaselge. Ilmselt oli see tingitud laugemast maastikust.

Vajumi keskosas asus 60 m pikkune ja 28 m laiune ovaalne veekogu sügavusega u. 50 cm. Veekogu olemasolu oli ilmselt tingitud möödunud (2010. a.) aasta lumerohkest talvest. Teise varingu ilmingud olid ebaselgemad kui esimese varingu puhul. Konkreetset lõhed olid nähtavad ainult kontuuri lõunaservas. Seda iseloomustab ka ülalolev joonis (Joonis 19). Teise varingu poolt tekitatud vajumi sügavuseks arvatati 1,45 m. Alljärgnevad fotod (Joonis 20, Joonis 21, Joonis 22) on tehtud autori poolt 18.05.2011. a. toimunud välitööl.



Joonis 20. Lõhe I varingu idaservas



Joonis 21. Kaldunud puud vajumi tsentri suunas



Joonis 22. Lõhe I varingu idaservas

KOKKUVÕTE

Antud bakalaureusetöö (ID 1339, Lisa 1) ülesandeks oli analüüsida Estonia kaevanduses 2008. aastal toimunud varinguid. Töö käigus uuriti varisenud ala geoloogilisi, tehnoloogilisi ning mäenduslikke põhjusi eelnevalt tehtud uurimistööde põhjal. Koostati Estonia kaevevälja plaan mõõtkavas 1:50 000 ning varisenud kambriploki plaan mõõtkavas 1:2000. Säästlikku kaevandamist väärtustades soovitati ka erinevaid meetmeid varingute ärahoidmiseks ja kaevandamise kao vähendamiseks.

Varisenud ala lähiümbruse geoloogilised tingimused olid komplitseeritud. Varingutest vahetult lõunas oli 2008. aastal välja eraldatud ohuala. Ohualal oli kaeveõõntega läbindatud mitmeid karstisooni. Mäetöödega saadud informatsiooni ning komisjoni täiendava vaatluse alusel lõpetati antud alal põlevkivi väljamine. Põhjusteks olid rasked ja ohtlikud kaevandamistingimused tektooniliste ja karstirikete levikualade piirkonnas. Varisenud kambriplokkidest loode suunas oli 2003. aasta ohualal eraldatud samuti tootuskihi ja laekivimite kõrgendatud lõhelus ja ebapüsivus ning suurenenud vee juurdevoolud.

Varisenud alal oli ka küllaltki hea põlevkivi kvaliteet (kütteväärtus - 11,99 MJ/kg, energiatootlus - 41,83 GJ/m²) võrreldes teiste erinevate Estonia kaevevälja plokkidega. See viitab kambriterviku nõrgemale vastupidavusele puur- ja lõhketööde suhtes.

Alates 2004. aastast kasutatakse Estonia kaevanduses koristustöödel pika edasinihkega tehnoloogiat, mis suurendab ee edasinihet kuni 4,0 meetrini. See aga tähendab suuremaid lõhkelaenguid ja lõhkamise kestvust, mistõttu mõjutavad suuremad seismilised lained mäemassiivi ning kannatada saab eelkõige tervikutesse jääv osa. Selle tulemusena tervikute mõõtmed vähenevad ning see soodustab varingute teket.

Võttes arvesse tervikute mõõtmete vähenemise (lõhketööde mõjul) kuni üks meeter on tervikute püsivuse lihtsustatud arvutuse järgi ühe terviku vastujõud mäerõhule väiksem, mistõttu tervikud tõenäoliselt varisevad. Varisenud alal esines veel tervikute mõõtmete suur erinevus (26,0...97,0 m²). Selle tulemusena mõjub mäerõhk tervikutele erinevalt vähendades viimaste püsivust.

Varingute vältimiseks ja kaevandamise kadude vähendamiseks soovitatakse uuendada kasutatavat kaevandamisviisi. Evitada kombain-kamberkaevandamist koos tagasitäitmisega, kasutades täitematerjalina näiteks elektrijaama tuhka ja aheraine lubjakivi. See võimaldaks vähendada nii kaevandamise kaudusid kui ka põlevkivi tuha ja lubjakivi koguseid maapinnal.

On ilmne, et varisenud ala piirkonnas –

- oli mäemassiiv geoloogiliselt komplitseeritud;
- kasutati vale kaevandamistehnoloogiat antud lõhenenud ja karstunud mäemassiivi puhul;
- esines suur hulk projekteeritud tervikust (40,9 m²) väiksema mõõtmetega tervikuid;
- esines tervikute mõõtmete suur erinevus;
- oli põlevkivikihindis kõrge orgaanilise aine sisaldus.

Seega on tõenäoline, et antud töös käsitletud faktorite koosmõju põhjustas 2008. aastal toimunud varingud.

TÄNUSÕNAD

Siinkohal tahaksin tänada isikuid, kes mind selle töö valmistamisel otseselt abistasid ja nõustasid: Merle Otsmaa, Heidi Elisabet Soosalu, Jüri-Rivaldo Pastarus, Kaja Zavitskaja, Mall Orru, Mati Rammo, Mare Kukk, Priit Koppel ja Sven Kärber. Lisaks, tänan kõiki isikuid, kes juba kasutatud kirjanduse peatükis loetletud.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Adamson, A., Reinsalu, E., Toomik, A. (1999). Võimalikud protsessid suletud kaevandustes - <http://www.ene.ttu.ee/maeinstituut/konver/v.html>
2. Adamson, A., Nikitin, O., Pastarus, J.-R. (2003). Kombain-kamberkaevandamise variant. In: Mäemasinad ja mäetehnika : Eesti mäekonverentsi ettekannete artiklid, Kunda, 14. märts 2003. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2003, 17-20 http://www.staff.ttu.ee/~oleg/publications/adamson_nikitin_pastarus_2003.pdf
3. Agutin, I. (2008). Seletuskiri põlevkivi Kaevandamise AS Estonia kaevanduse ohualade põlevkivivaru mahaarvamise kohta (varu seisuga 01.01.2007. a.). Põlevkivi Kaevandamise AS. EGF 7870
4. Jurkevitsš, G. F., Adamson, A. P. (1989) Põlevkivi kaevandamise tehnoloogia perspektiivsed arengusuunad. TTÜ toimetised. (vene keeles).
5. Karu, V., Västriku, A., Anepaio, A., Väizene, V., Adamson, A., Valgma, I. (2008). Future of oil shale mining technology in Estonia. Oil Shale, vol 25, No. 2 Special, lk 132-133
6. Kattai, V., Bassanets, J. (1973). Aruanne tektoonika ja karsti-ilmingute uuringutulemustest Eesti põlevkivimaardla Kiviõli ja Estonia kaeveväljal. Geoloogia Valitsus. EGF 3262
7. Kattai, V., Beljajev, G. (1995). Eesti põlevkivimaardla varu ümberhindamine (seisuga 01.01.1995. a.). Estonia kaeveväli. Eesti Geoloogiakeskus. EGF 5306
8. Kattai, V. (1998). Eesti põlevkivimaardla Estonia kaevevälja varu hinnang seisuga 01.01.1998. a. Eesti Geoloogiakeskus. EGF 6028
9. Kattai, V., Saadre, T., Savitski, L. (2000). Eesti põlevkivi: geoloogia, ressurss, kaevandamistingimused. OÜ Eesti Geoloogiakeskus. Tallinn : Akadeemia Trükk
10. Kattai, V. (2003). Seletuskiri Põlevkivi Kaevandamise AS Estonia kaevanduse kasutuskõlbmatu põlevkivivaru ümberhindamise kohta (varu seisuga 01.01.2003 a.) Põlevkivi Kaevandamise AS Estonia Kaevandus. EGF 7539
11. Nikitin, O., Pastarus, J.-R., Tomberg, T. (2000). Maa seisundi juhtimine kamberkaevandamisel. In: Põlevkivi talutav kaevandamine. Konverentsi ettekannete teesid ja artiklid: Jõhvi, 26 mai 2000, lk 37-40. http://www.staff.ttu.ee/~oleg/publications/nikitin_pastarus_tomberg_2000.PDF
12. Nikitin, O. (2008). Lõhketööde mõju uuringute lähteülesanne. TTÜ Mäeinstituut
13. Pastarus, J.-R. (2002). Allmaakonstruktsioonide ja mäemassiivi pikaajaline käitumine ja keskkonnamõju. Grandiprojekti nr 3651 lõpparuanne. Tallinna Tehnikaülikool, Mäeinstituut. Tallinn

14. Pastarus, J.-R. (2005). Improved underground mining design methods in Estonian oil shale deposit. In: Proceedings of the 5th International Conference "Environment. Technology. Resources": 5th International Conference Environment. Technology. Resources. Rezekne Augstskolas Izdevnieciba, Rezekne, Latvia, June 16-18, 2005. (Toim.) Noviks, G.. Läti, Rezekne: Rezekne Augstskolas Izdevnieciba, 2005, 270 - 274.
15. Pastarus, J.-R.; Sabanov, S. (2005). Concept of risk assessment for Estonian oil shale mines. In: Proceedings of the 5th International Conference "Environment. Technology. Resources" : 5th International Conference "Environment. Technology. Resources" Rezekne Augstskolas Izdevnieciba, Rezekne, Latvia, June 16-18, 2005. (Toim.) Noviks, G.. Läti, Rezekne: Rezekne Augstskolas Izdevnieciba, 2005, 237 - 242
16. Pastarus, J.-R., Lohk, M. (2006). Varinguriskist koristuskambrite etes. 90 aastat põlevkivi kaevandamist Eestis. Eesti Mäseltsi Mäekonverents 2006. Tallinn : Infotrükk
17. Pastarus, J.-R., Sabanov, S. (2006). Riskide haldamise meetodika kasutatavus Eesti põlevkivikaevandustes. 90 aastat põlevkivi kaevandamist Eestis. Eesti Mäseltsi Mäekonverents 2006. Tallinn : Infotrükk
18. Pastarus, J.-R., Valgma, I., Väizene, V., Pototski, A. (2011). Kaevandamise täitmisuuringud. In: Eesti mere- ja maapõue uuringutest ning arukast kasutamisest: XIX Aprillikonverentsi teesid. Aprill, 2011. Tallinn, lk. 39 - 42
19. Rammo, M. (2008). Eesti Põlevkivimaardla Estonia kaevälja Registrikardi (0036) täpsustamine. OÜ Eesti Geoloogiakeskus. Tallinn. EGF 7968
20. Reinsalu, E. (2011). Eesti mäendus: õpik kõrgkoolidele. Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, 2011. Harjumaa. Tallinna Raamatutrükikoda
21. Reinsalu, E. Mäendusõpik. Mäeinstituudi veebiõpik kaevandamisest, rakendusgeoloogiast ja geotehnoloogiast. 4. mai. 2011. <http://maeopik.blogspot.com/2009/01/kivimi-tugevus.html>
22. Reinsalu, E., Toomik, A., Valgma, I. (2002). Kaevandatud maa. Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituut. Soha OÜ Trükk
23. Roosalu, R. (2010). Eesti Vabariigi 2009. aasta maavaravarude koondbilansid (varu seisuga 31.12.2009. a.) EGF 8224
24. Sabanov, S., Tohver, T., Väli, E., Nikitin, O., Pastarus, Jüri-Rivaldo. (2008). Geological aspects of risk management in oil shale mining. Oil Shale, 2008, vol 25, lk. 149
25. Sokman, K. (2009). Seletuskiri AS Eesti Põlevkivi Estonia kaevanduse Maavara kaevandamise loa KMIN-054 muutmise taotlusele -

<http://www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=1138484/2009-05-20+Seletuskiri.pdf>

26. Soosalu, H. 2009. Seismiline seire. Aruanne riikliku keskkonnaseire allprogrammi "Seismiline seire" täitmisest 2008. aastal. Tallinn. Eesti Geoloogiakeskus. EGF 8046
27. Soosalu, H., Valgma, I. (2009). Seismoanalüüsiga võib tuvastada kaevandusvaringuid, Keskkonnatehnika, nr 3, lk. 8-9
28. Soosalu, H., Valgma, I., Sokman, K. (2009). Seismic detection and on-site survey of mine collapses in Estonia. Ettekande slaidid. <http://www3.hi.is/~heidi/Data/soosalueta-collapse-handout.pdf>
29. Varb, N., Tambet, Ü., jt. (2008). 90 aastat põlevkivi kaevandamist Eestis: tehnoloogia ja inimesed. Tallinn: OÜ GeoTrail KS.
30. Põlevkivi. (2011). Mäeinstituudi teemaleht – Põlevkivi kaevandamine ja kasutamine. 4. mai. 2011. <http://põlevkivi.blogspot.com/2008/11/plevkivi.html>

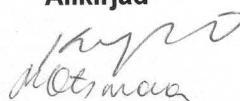
Mäeinstituudi tudengitöö ülesanne

Ainete laiendatud kavad <http://mi.ttu.ee/ained/>

ID	1339
Õppeaine	Bakalaureuse lõputöö
	10EAP
Õppeaine kood	AKM40LT
Nimetus	"Estonia" kaevanduses 2008.a. toimunud varingud.
Name	Collapses in Estonia mine in year 2008.
Nasvanie	
Täpsustatud ülesanne	Selgitada välja "Estonia" kaevanduse varisenud plokkide geoloogilised tingimused ja varingute põhjused. Teha järeldused ja anda soovitusel, kuidas edaspidi varinguid vältida.

Allkirjad

Üliõpilane Kaupo Rõivasepp
Juhendaja Merle Otsmaa
Konsultant



Mäeinstituudi nõukogu esimees Ingo Valgma



Tüüp bakalaureusetöö
Keel eesti

Üliõpilase kontaktandmed

Nimi Kaupo Rõivasepp
E-mail kaupo;kollid.org

Töö on seotud teemaga

GRANT7499 Säästliku kaevandamise tingimused

WWW <http://mi.ttu.ee/ETF7499/>

Eelkaitsmise aeg 12.05.2011 Kaitsmise aeg 9.06.2011

Ülesandele on lisatud Ingo Valgma poolt antud TTÜ Mäeinstituut lähteülesanne

Ülesanne kehtib kuni

9.06.2011

Töö on kaitsstud hindede

Juhendaja Merle Otsmaa

Allkiri

MAAVARA KAEVANDAMISE LUBA

Keskkonnaministeerium
(loa andja)

KMIN-054
(registreerimise number)

1 Loa omanik	1.1.	Ettevõtja nimi Eesti Energia Kaevandused AS	
	1.2.	Äriregistrikood (isikukood) 10032389	1.3. Aadress Jaama 10 41533 Jõhvi
	1.4.	Majandustegevuse registri number KA00001 ja registrisse kandmise kuupäev 09.12.2003. a	
2 Kaevandaja	2.1.	Ettevõtja nimi Eesti Energia Kaevandused AS	
	2.2.	Äriregistrikood (isikukood) 10032389	2.3. Aadress Jaama 10 41533 Jõhvi
	2.4.	Majandustegevuse registri number KA00001 ja registrisse kandmise kuupäev 09.12.2003. a	
3 Maardla	3.1.	Maardla nimetus Eesti põlevkivimaardla	3.2. Maardlaosa nimetus Estonia kaeveväli
	3.3.	Maardla (maardlaosa) registrikaardi number 0036	3.4. Maardla põhimaavara põlevkivi
	3.5.	Maardla tähtsus: üleriigilise tähtsusega <input checked="" type="checkbox"/> kohaliku tähtsusega <input type="checkbox"/>	
4 Mäeeraldis	4.1.	Mäeeraldis nimetus Estonia kaevandus	
	4.2.	Mäeeraldis liik: uus mäeeraldis <input type="checkbox"/> olemasoleva laiendus <input type="checkbox"/> ümberregistreerimine <input type="checkbox"/> ümbervormistamine <input checked="" type="checkbox"/>	
	4.3.	Mäeeraldis asukoht Ida-Viru maakond Iisaku, Illuka, Mäetaguse vald	4.4. Mäeeraldis pindala, ha 14 162,54
5 Mäeeraldis teenindusmaa	5.1.	Pindala, ha 720,93	
	5.2.	Kaevandamisega rikutud korrastatava maa kasutamise otstarve -	
6 Geoloogiline uuring	6.1.	Geoloogilise uuringu loa omanik -	

	6.2.	Geoloogilise uuringu luba:		
		väljaandja	number	loa kehtivus
		-	-	-
	6.3.	Uuringu tegija ENSV MN Geoloogia Valitsus		
	6.4.	Uuringu aruanne nimetus „Eesti põlevkivimaardla kaevvälja nr 9 geoloogilis- uuringuliste tööde aruanne“		
		fondi number	varude kinnitamise otsus ja	kuupäev
		2443	98-05 01-15 01-34	27.10.1998 11.07.2001 22.11.2001
7 Maavaravarud	7.1.	Aktiivne varu:		
		maavara nimetus	tarbevaru	reservvaru
		Põlevkivi	263 825	17 517
				ühik tuh t
	7.2.	Passiivne varu:		
		maavara nimetus	varu	ühik
		Põlevkivi	10 669	tuh t
	7.3.	Kaevandataav varu:		
		maavara nimetus	varu	ühik
		Põlevkivi	281 342	tuh t
	7.4.	Mulla maht:		
		-	-	-
8 Maavaravaru kasutamine	8.1.	Maavara kasutusala kütusena elektriijaamades, toormena õli tootmiseks		
	8.2.	Maavara kaevandamise keskmine aastamäär		
			kogus	ühik
			-	-
	8.3.	Maavara kaevandamise maksimaalselt lubatud aastamäär on 7 300 tuh t, kuid AS-le Eesti Energia Kaevandused antud kõikide põlevkivi kaevandamise lubade alusel kokku ei tohi aastas kaevandada rohkem kui 15 010 tuh t		
	8.4.	Loa kehtivusaeg 10.08.2019		

9
Täiendavad
tingimused

9.1 : : **Loa omanik peab:**

1. Tegema aastal 2010 lisaks senistele kontrollarvutustele otsesed õhuheite mõõtmised tuulutusstrekkidest lõhketöödest tekkiva õhuheite mõju selgitamiseks;
2. Mõõtma aheraine ladestamisel tekkivat müra Väike-Pungerja küla Estonia kaevanduse tootmisterrituumi poolses osas. Sinna hulka kuulub akrediteeritud labori teostatav müra mõõtmine tootmisterrituumil, tootmisterrituumi piiril, ladestamisalale lähima elamu juures kogu ööpäeva kestel iseloomuliku tootmisrütmi perioodil kaks korda aastas;
3. Mõõtma lõhketöödega kaasnevaid maavõnkeid kamberploki koristustööde lõhketöödest tingitud häiringute täpsemaks hindamiseks. Hoonete seisund tuleb hinnata ja dokumenteerida hoone valdaja juuresolekul enne, kui lõhketööd hoone lähedusse jõuavad. Hoonete seisund tuleb dokumenteerida ka pärast lõhketööde toimumist. Kaebuste esitamise korral tuleb lõhketöödega kaasnevate maavõngete mõõtmist koristustööde lõhketöödest tingitud häiringute täpsemaks hindamiseks korrata;
4. Peatama põlevkivi kaevandamine Selisoo loodusala all, kuni pole välja töötatud sobiv tehnoloogia, mis võtab arvesse Selisoo loodusala aluse ala isoleerimise vajadust ülejäänud Estonia kaevandusest;
5. Kui kaevanduse piir nihkub Selisoo loodusala piirile lähemale kui 200 m, vältima läbi aluspõhja veekihtide maapinnale ulatuvate kommunikatsioonide rajamist. Tuulutusšurfide ja tehniliste puuraukude rajamisel tuleb kasutada ainult vettpidavaid ja põhjaveekihte üksteisest isoleerivaid konstruktsioone. Selisoo loodusala piirini jõudvasse kaevanduse ossa tuleb elekter jt kommunikatsioonid viia maa alt. Samasuguseid nõudeid tuleb täita ka Muraka loodusala piirile läheduses;
6. Sulgema Estonia kaevanduse mäeeraldisel teadaolevad kasutusest väljas olevad puuraugud ja tuulutusšurfid, et takistada nende kaudu põhjaveekihtide vee segunemist. Esitada loa andjale puuraukude ja tuulutusšurfide sulgemise kava regulaarselt 5 aasta järel;
7. Rajama Seli soo märgala serva seirepuuraukugrupid, sh ka kvaternaarisetetes vee taseme määramiseks;
8. Selisoo looduslal seirama raba pealispinna kõrgust Seli soo märgala piires perioodiga 5 aastat;
9. Vajaduse korral reguleerima ja kontrollima Selisoo looduslal vee äravoolu Seli soo ümbrusse rajatud kuivendusvõrgu kaudu looduslähedase veerežiimi taastamiseks;
10. Tegema vähemalt üks kord vee erikasutusloa kehtivuse perioodi kestel eesvooluks olevate looduslike veekogude elustiku uuringuid (seiret), et selgitada veekogu ökoloogilise seisundi dünaamikat;
11. Määrama settetiikide heljumikoormuse ja efektiivsuse nädalasisese dünaamika (mõõtma siseneva ja väljuva koormuse dünaamikat mitu korda ööpäevas 1 nädala jooksul) eri veerikkusega aegadel 4 korda aasta kestel. Tegema mõõtmised vähemalt üks kord vee erikasutusloa kehtivuse perioodil, soovitatavalt loa esimesel aastal;
12. Tegema aastal 2012 uuringud kaevandusvee Kurtina looduskaitseala järvedest mööda juhtimise eri variantide võimaliku mõju täpsustamiseks (käsitleda tuleb heljumi ja karbonaatide sadestumist);
13. Koostama maavara kaevandamise loas sätestatud sulgemistööde jaoks vajalikud prognoosid ja hüdrogeoloogilised modelleerimistööd vähemalt 5 aastat enne kaevanduse sulgemist;
14. Kaevandaja kulul rajama kaevanduse mõjupiirkonda jäävatele

taludele alternatiivse veevarustuse. Veevarustuse väljaehitamise järgnevus tuleb otsustada iga aasta mäetööde kava koostamise käigus. Kaevude asendamise kava tuleb esitada omavalitustele;

15. Rakendada Väike-Pungerja külas aheraine ladestamisel tekkiva müra mõju vähendamiseks asjakohaseid leevendusmeetmeid;

16. Rekonstrueerima ja puhastama setetest Väike-Pungerja külas asuvad kolm settetiiki.“

Märkus: Maavara kaevandamise luba KMIN-054 on antud kantsleri 8.juuli 2004. a käskkirja nr 642 alusel. Luba on muudetud kantsleri 10.08.2009 käskkirjaga nr 1319 ja kantsleri 04.12.2010 käskkirjaga nr1737

Loa andja

Rita Annus kantsler
nimi ja amet

allkiri



04.12.2010
kuupäev

Stratigraafiline liigestus							Hüdrogeoloogiline liigestus		
Ladestu	Ladestik	Ladejärg	Lade (indeks)	Kihistu (indeks)	Paksus, m	Litoloogiline koostis	Vee-kompleks	Veekiht (vk), veepide (vp)	
Devon	Kesk-devon	Eifel	Narva (D2nr)		0..40	liivakivi, aleuroliit, domeriit, savi, dolomiit	Kesk-Devon		
Silur	Alam Silur	Llandovery	Raikküla (S1rk)	Nurmekunna (S1nr)	< 6	detriitne ja afaniitne lubjakivi, dolomiit	Siluri	Raikküla-Juuru vk	
			Juuru (S1jr)	Tamsalu (S1tm)	< 10	biomorfne ja jämedateraline lubjakivi			
				Varbola (S1vr)	8...15	mergli vahekihtidega lubjakivi			
O r d o v i i t s i u m	Ülem-ordoviitsium	Ashgill	Porkuni (O3pk)	Ärina (O3är)	7...9	kvartsliaakivi, biohermne mergel, kerogeenne lubjakivi, dolomiit	Ordoviitsiumi	Porkuni-Pirgu vk	
			Pirgu (O3prg)	Adila (O3ad)	< 13	savikas lubjakivi			
				Moe (O3mo)	25...35	puhas või savikas peene- ja mikrokristalliline lubjakivi			
			Vormsi (O3vr)	Tudulinna (O3tl)	< 20	mergel, savikas lubjakivi			Vormsi vp
		Kõrgessaare (O3kr)		< 9	savikas lubjakivi				
		Kesk-ordoviitsium	Caradoc	Nabala (O2-3nb)	Saunja (O3sn)	15...20		afaniitne lubjakivi	Nabala-Rakvere vk
					Paekna (O2pk)	6,5...16		savikas lubjakivi	
				Rakvere (O2rk)	Rägavere (O2rg)	11...17		afaniitne ja mikrokristalliline lubjakivi	Oandu-Keila vp
	Oandu (O2on)			Hirmuse (O2hr)	0...4,5	detriitne mergel, savikas lubjakivi			
	Keila (O2kl)			Keila (O2kl)	12,5...14	puhas ja savikas lubjakivi		Keila-Kukruse vk	
				Jõhvi (O2jh)	Jõhvi (O2jh)	6...10			savikas lubjakivi, mergel
	Idavere (O2id)			Vasavere (O2vsv)	2...6	lubjakivi mergli vahekihtidega			
				Tatruse (O2tt)	1,5...5	puhas lubjakivi			
	Llandeilo		Kukruse (O2kk)	Viivikonna (O2vv)	< 20	lubjakivi, kukersiit, mergel		Uhaku vp	
				Uhaku (O2uh)	Kõrgekalda (O2kr)	7,5...16			savikas lubjakivi mergli ja kukersiidi vahekihtidega
	Llavirn		Lasnamäe (O2ls)	Väo (O2vä)	5...10	puhas lubjakivi		Lasnamäe-Kunda vk	
				Aseri (O2as)	Aseri (O2as)	1,5...5			ooiidne lubjakivi
		Kunda (O2kn)	Napa (O2np)	0...5,7	ooiidne lubjakivi				
			Loobu (O2lb)	0...5	puhas lubjakivi ja dolomiit				
		Sillaoru (O1-O2sl)	0,3...1,5	ooiidne lubjakivi					
Arenig		Volhovi (O1vl)	Toila (O1tl)	1,5...2,5	glaukoniitlubjakivi, dolomiit	Volhovi-Pakerordi vp			
	Latropi (O1lt)	Leetse (O1lt)	0,3...2,0	glaukoniitne lubliivakivi					
	Varangu (O1vr)	Varangu (O1vr)	0...2,7	savikas aleuroliit, savi					
	Pakerordi (O1pk)	Türisalu (O1tr)	0...2,5	graptoliitargilliid					
Kallavere (O1kl)		0,5...10	detriitne kvartsliaakivi, konglomeraat						
Kambrium	Alam-kambrium		Pirita (C1pr)	Tiskre (C1ts)	6...24	liivakivi, aleuroliit	Ordoviitsiumi-kambrium	Pakerordi-Tiskre vk	
				Lükati (C1lk)	6...19	aleuroliit liivakivi vahekihtidega			
			Lontova (C1ln)	Lontova (C1ln)	60...80	savi liivakivi vahekihtidega			
Vend	Ülemvend		Kotlini (PR3Vgd)	Voronka (PR3Vvr)	15...36	liivakivi, aleuroliit, savi	Kambriumi-vendi	Lontova vp	
				Kotlini (PR3Vkt)	0...40	aleuroliit, savi		Voronka vk	
				Gdovi (PR3Vgd)	35...51	liivakivi, aleuroliit, savi		Kotlini vp	
								Gdovi vk	

CURRICULUM VITAE

Nimi: Kaupo Rõivasepp
Sünniaeg: 20/09/1983, Tallinn
Telefon: +37258150088
E-post: roivasepp@gmail.com, kaupo@egk.ee

Hariduskäik: 2007... Tallinna Tehnikaülikool, bakalaureuse õpe
2003...2005 Tallinna Polütehnikum, polügraafia
2002... Tallinna Majanduskool, infotöötlus (lõpetamata)
1999...2002 Tallinna Laagna Gümnaasium

Täiendkoolitus: 2010 Paberdokumentide digitaliseerimine
2008 Tarkvara Mapinfo baaskoolitus

Teenistuskäik: 2011... Surfari OÜ, klienditeenindaja
2008... Eesti Geoloogiakeskus OÜ, geoloogiatehnik
2007...2008 Hansafond Grupp AS, admin-portjee
2004...2007 Macroprint Meedia OÜ, trükioperaator
2003...2004 Eesti Kontsert, klienditeenindaja

Keeled: Eesti keel Emakeel
Inglise keel Hea
Soome keel Algaja
Vene keel Algaja

Arvutioskus: Hea MS Internet Explorer, Adobe Acrobat, MS Excel,
MS PowerPoint, MS Word, OpenOffice.org
Keskmine Adobe Photoshop, Fidelio, MicroStation, MS
FrontPage, The Gimp
Algtase CorelDraw, MapInfo, HTML, Linux, Pascal,
Visual Basic

Hobid: Fotograafia, muusika, kunst, kino, reisimine