

28. Lühieekombaini kasutamise mõjud varingute tekkele kirde- eesti põlevkivikaevandustes

Kaspar Peebo, Heidi Soosalu

Tänapäeval kaevandatakse Kirde-Eesti põlevkivikaevandustes juba pikka aega kasutusel olnud puur-lõhketöödega ning kamberkaevandamise tehnoloogiaga. Hetkel toimub kaevandamine kahes kaevanduses, Estonias ja Ojamaal. Paraku osutub selline tehnoloogia maavara raiskavaks ning samas seab ohtu nii inimesi kaevanduses kui ka looduskeskkonda maa peal, näiteks varingute näol. Inimestele on ohtlik eelkõige kasutatav tehnoloogia ise ning sellest tulenevalt kambri seinte purunemistsoonid, mis võivad variseda. Samuti võivad lõhketööde mõjul tekkida praod vahetusse lakke, mille langetamine või lisatoestamine nõuab ettevõttelt lisakulutusi. Lisaks on tervikute nõutud ristlõike pindala keerulisem tagada puur-lõhketöödega kui kombainikaevandamisega. Kui etteantust väiksema pindalaga tervikuid on palju ühes poolkambris, toimub suure tõenäosusega varing. Paljudele ohtlikele probleemidele oleks lahenduseks lühieekombaini kasutamine. Kombain on hea variant tervikute õige suuruse tagamiseks ning lisaväärtuse annab ka maavara kadude vähenemine olematu kambri seinte purunemistsooni tõttu. Antud artikkel annab ülevaate hetkel kaevandustes toimuvast, analüüsib, kas lühieekombainiga on võimalik ohtlikke varinguid ära hoida ning uurib kombaini kasutuselevõttuga seotud seadusandlust.

Kamberkaevandamine puur-lõhketöödega

Kaevandamine toimub Kirde-Eesti kaevandustes kamberkaevandamise ja puur-lõhketööde meetodiga, mis üldiselt tagab tervikute mõõtude piisava täpsuse ning piisava toodangu, kuid nagu 2008. a aset leidnud suuremad varingud näitasid, on probleem siiski aktuaalne. Sammastervikute vahel valmistatakse ee ette spetsiaalsete masinatega, kus ankurdatakse lagi, puuritakse kuus algmurde auku ning 23 lõhkeauku [Eesti Energia Kaevandused AS-i andmetel]. Seejärel täidetakse lõhkeaugud emulsioonlõhkeainega, toimub lõhkamine ning koristatakse allmaakopplaaduritega. Kaevis transporditakse maa peale konveiertranspordi meetodiga, kus põlevkivist eraldatakse lubjakivi.

Hetkel kasutatav puur-lõhketööde meetodi kõige suurem probleem seisneb lõhketööde iseärasustes. Nimelt tänu lõhkamistele tekivad kivimikihtidesse praod, mis muudavad kivimite püsivust nõrgemaks. Näiteks hetkel lõhatakse Estonia kaevanduses nelja meetri pikkuste lõhkeaukudega, mis aga tähendab, et tervikute arvutustes kasutatakse meetodit, mis teeb terviku kandva osa 0,5 m väiksemaks igast seinast, millega kaasnevad ka suuremad kaod. Lisaks suurematele kadudele on probleemne ka tervikute täpsete mõõtmete tagamine, mis on aluseks varingute tekkele – kui kambriplokis on palju

alamõõdulisi tervikuid, on tõenäosus kambriplokis varingu tekkimiseks oluliselt suurem sellest, kui oleksid tervikud täpsete projekt mõõtmetega. Selletõttu kaardistavadki markšneiderid hoolikalt raimamisel tekkinud tervikute mõõtmeid, et kontrollida tervikute mõõtmeid. Lõhketööde vibratsiooni mõju, maapealsetele objektidele – majadele, elektriliinidele ning maa-alustele objektidele – kaevudele, torudele, kaeveõnetele, on siiani aktuaalne [1].

Kamberkaevandamine lühieekombainiga

Eesti põlevkivikaevandamise ajaloos on katsetatud kombainkaevandamist, kuid kuna tol ajal puudus vastav tehnoloogia tugeva lubjakivivahekihi raimamiseks, lõpetati katsetused ning jätkati puur-lõhketöödega kaevandamist. Lühieekombain on väljamismasin (Joonis 28-1), millega raimatakse kaevist mäemassiivist. Liikumiseks kasutab kombain roomikuid. Keskseks elemendiks masinal on lõikeorgan, millest saab alguse väljamine.



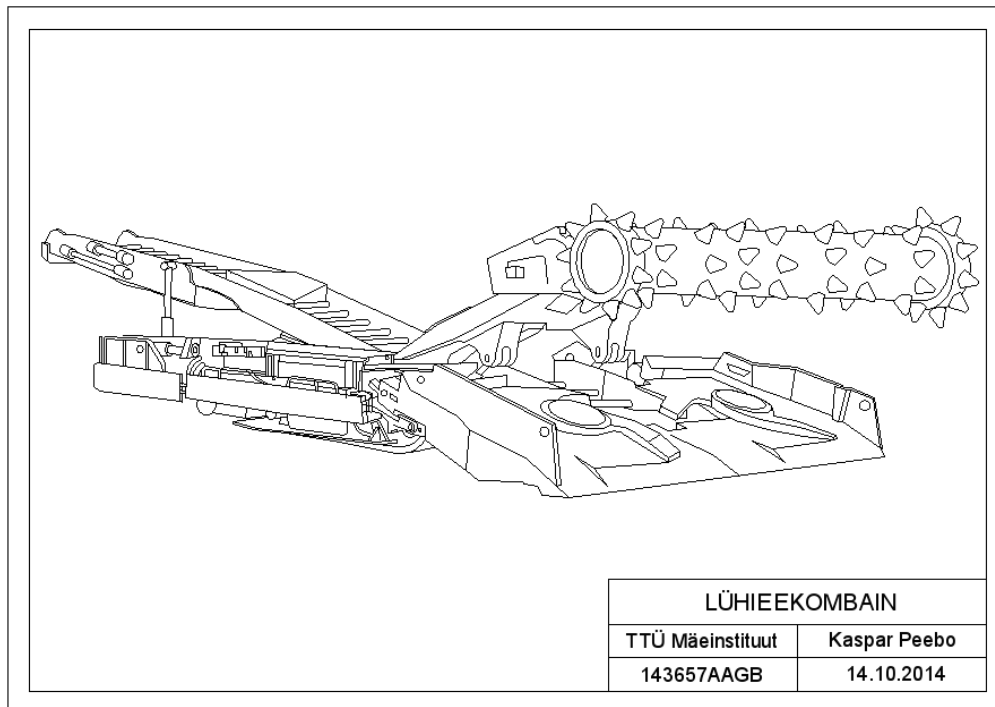
Joonis 28-1. Lühieekombain [3]

Lõikeorgan kujutab endast trumlit või lõikepäid, mille küljes on nn lõikehambad, mis massiivi purustavad. Kaevisse, mille lõikeorgan raimab, laeb kapplaadur labade mehhanismiga kraapkonveierile, mis omakorda transportib kaevisse süstikvagonetile või laotab selle kambri puistangusse, et allmaakopplaadur saaks kaevisse viia toiturpurustisse (Joonis 28-2). [2]

Tegelikkuses on lühieekombainiga kaevandamisel mitmeid eeliseid puur-lõhketöödega võrreldes:

- Kivimi raimamine, esmapurustamine ja laadimine toimub ühe protsessiga, mis on pideva iseloomuga ning mis suurendab kambriploki tööde kontsentratsiooni ja tootlikkust.

- Tööde tootlikkus sõltub masina võimsusest, mitte inimestest.
- Kombain võimaldab kihindi selektiivset väljamist ning kaovad kulud lubjakivivahekihtide veole. Kaevandatav kaevis on kaubapõlevkivi.
- Puur-lõhketööde puudumisega vähenevad tervikute mõõtmed ja seoses sellega ka põlevkivi kaod tervikutes.
- Lühieekombaini on võimalik kasutada läbindustöödel, mis tagab läbindamise suure kiiruse. [4]



Joonis 28-2. Lühieekombaini skeem

Analüüsid näitavad, et lühieekombainiga kaevandamisel on võimalik väljata kuni 90% varust. Lühieekombainiga kaevandamisel on vaja toetada vahetu lagi ankurtoestikega [5]. Üheks kõige suuremaks väljakutseks põlevkivi kaevandamisel lühieekombainiga on lubjakivist vahekiht mida Eesti põlevkivimaardla kihindi nimesüsteemi järgi kutsutakse C/D-ks [6]. C/D vahekihi survetugevus on oluliselt suurem, kui muudel kihtidel. Näiteks Põhja-Kiviõli karjääris on C/D vahekihi survetugevus kohati lausa 160 MPa, kuid üldjuhul jääb 80 MPa juurde [7].

Varasemalt on lühieekombaini kasutamist Eesti põlevkivikaevandustes uurinud O. Nikitin ning V. Undusk. O. Nikitin leidis uuringute käigus, et tehnoloogiliselt oleks võimalik lühieekombain kasutusele võtta ja see garanteeriks lagede püsivuse ning kaod väheneksid 11–16 %-ni [8], puur-lõhketöödega kaevandades on kaod kaevanduses üle 30% sõltuvalt kattekivimikihi paksusest.

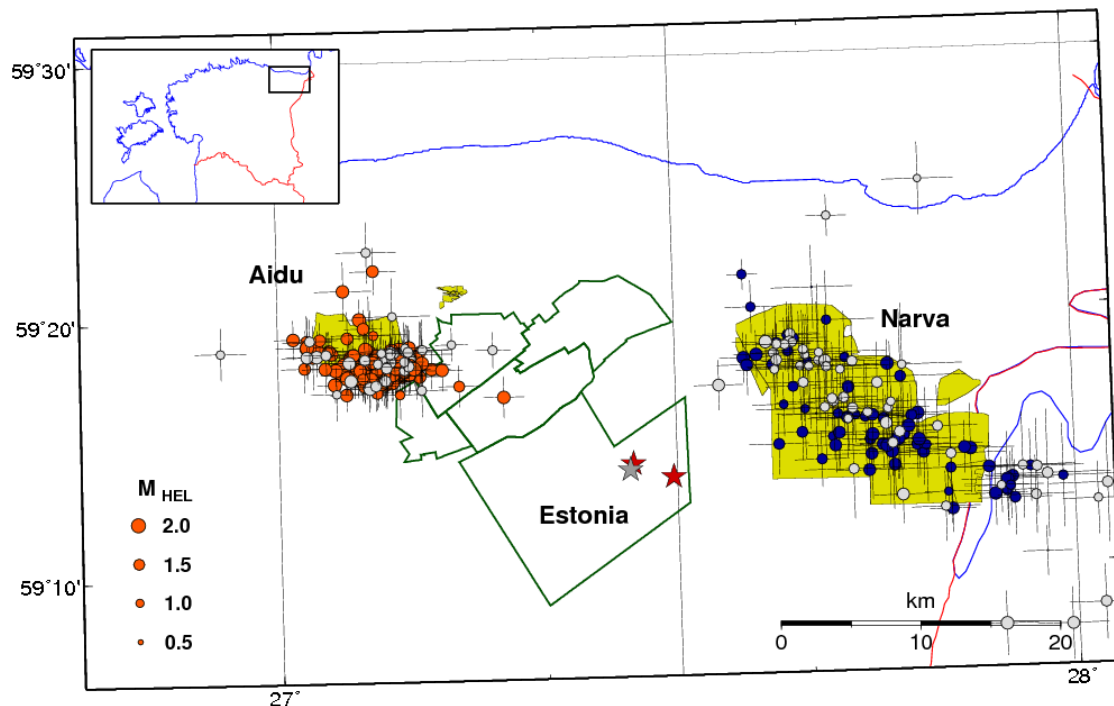
Kaevandusvaringuid puudutav seadusandlus

Iga ettevõtte huvides on kaevandada keskkonnasäästlikult ning ohutult, kuid tuleb siiski meeles pidada, et äris on kasum olulisel kohal. Eestis sätestab kaevandamise protsesse kaks põhilist seadust: Maapõueseadus ning Kaevandamiseadus. Kaevandamiseaduses (RT I 2003, 20, 118) on öeldud § 4, et kaevandamisel ja kaeveõõne teisesse kasutamise korral tuleb tagada inimese, vara ja keskkonna ohutus ning sama paragrahvi teises osas öeldakse, et kaevandamise ja kaeveõõne teisesse kasutamise kohal tuleb rakendada meetmeid maapinna vajumise ja varisemise ärahoidmiseks või juhtimiseks [9]. Maapõueseaduse (RT 2004, 84, 572) § 48 järgi peab kaevandamisega rikutud maa korrastamise käigus tagama kaeveõõnte füüsilise stabiilsuse ja vajumite tekke vältimise [10]. Seega antud seadustest lähtudes peab kaevandaja tagama inimeste ja keskkonna säilimise ning valima selleks kõige sobilikuma väljamistehnoloogia, kuigi kohustuslikku tehnoloogiat ja arvutusmeetodeid seadustega ette ei anta, vaid see sõltub ettevõtte sisepoliitikast. Kui vahetatakse puur-lõhketööd lühieekombainiga kaevandamise vastu, siis väheneksid oluliselt välisõhku paisatavate saasteainete maht [11] ning poleks vaja enam peale lõhketöid nõnda ulatuslikku tuulutamist. Pideva töörežiimiga masina kasutusele võtul peab arvestama võimalike riketega ning seeläbi võimalike looduskeskkonna reostamisega, nagu näiteks kütuse või õli lekked [11]. Lühieekombaini operaatorid peavad väga rangelt kinni pidama ohutusnõuetest nagu kaitsevahendid ja asukoht masina suhtes. Üks olulisemaid probleeme masina operaatoritel on müra, mille tõkestamiseks tuleb kanda vastavaid kaitsevahendeid [12]. Samuti tuleb operaatoritel kanda kindlasti kaitseprille, kiivrit ning tööriideid. Pole harv juhus, kui mõni põlevkivi tükk mehaanilisel raimamisel masinast kaugemale lendab.

Jätkusuutliku keskkonna seisukohalt on ülioluline, et kaevandajad kasutaksid säästvamaid tehnoloogiaid. Seaduse kohaselt peab kaevandaja ise valima parima tehnoloogia, kuid ettevõtja seisukohalt on see küsimus päevakorral üldjuhul ainult uue objekti rajamisel, sest kaevandamise käigus on väga kulukas vahetada juba toimivat tehnoloogiat uue ja parema vastu. Seega võib olemas olla küll keskkonnasõbralikum tehnoloogia, kuid kaevandaja ei ole huvitatud selle kasutusele võtmisest, sest olemasolev täidab kõik piiritingimused ära.

Kindlasti peab kaevandaja tegema vajaliku selleks, et kaevanduses ei toimuks varinguid ning vältima maapinnal deformatsioone ning tagama oma töötajatele ohtutu töökeskkonna.

Varingud Estonia kaevanduses 2008. aastal



Joonis 28-3. Seismoloogilised sündmused Eesti põlevkivimaardlas aastal 2008. Tärnid - varingud, täpid - lõhkamised [13]

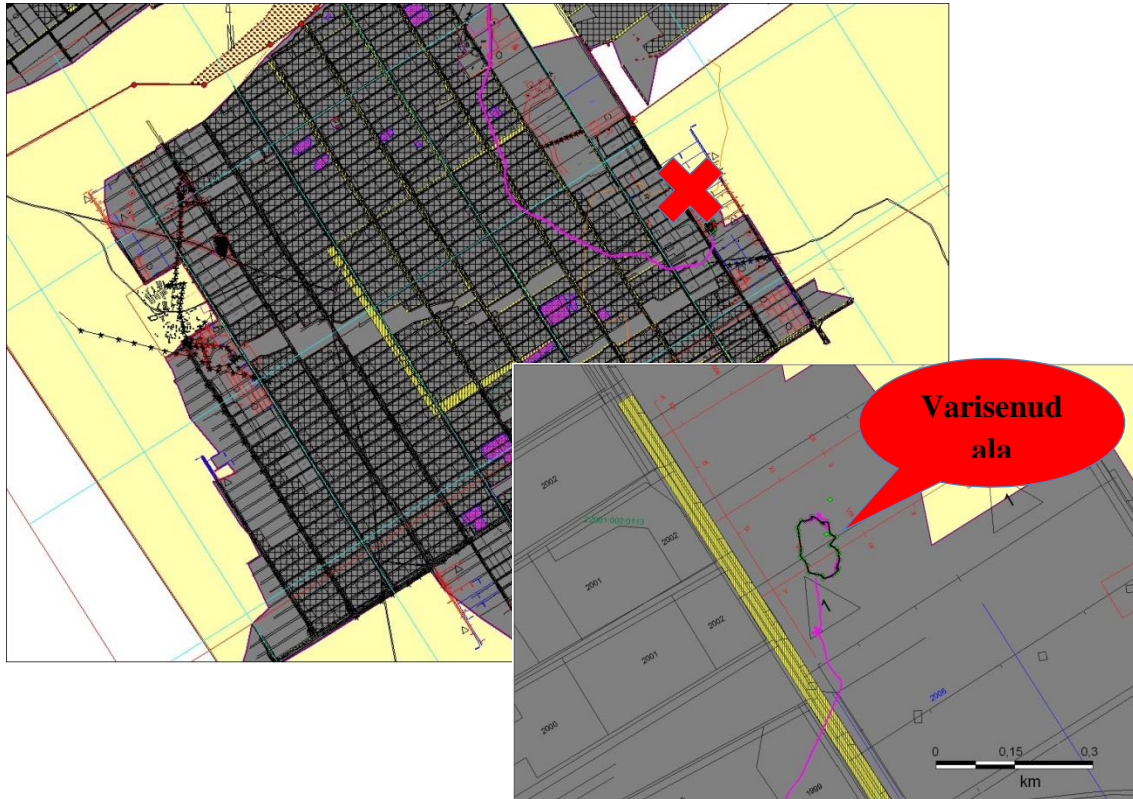
2008. aastal tuvastati seismiliselt Estonia kaevanduse alalt kaks varingut (Joonis 28-3 ja Joonis 28-6), millest üks toimus jaanuaris ja teine juulis eelmise vahetus läheduses. Estonia kaevanduse varingud tekkisid alal, kus tegutseti aktiivselt kaevandamisega. Põhjuseks oli kaevanduskambrite vaheliste tervikute purunemine. Jaanuaris toimunud varingule määrati esialgselt magnituudiks 1,8 ning juulis toimunud 2,0. [13] Hilisem täpsustamine langetas neid arvusid magnituutideks 1,6 ja 1,8 [14]. Varingud toimusid metsases piirkonnas ja nende tagajärjed olid maastikul üsnagi dramaatilised. Näiteks jaanuaris 2008 toimunud varingu asukohal märgistasid vajunud ala selle pikitelje suunda kaldunud puud (Joonis 28-4) ja maapinda olid tekkinud kuni paarkümmend sentimeetrit laiad lõhed (Joonis 28-5). Mõõdistamise järgi oli maapind vajunud kuni 1,5 meetrit. [13]



Joonis 28-4 2008. aasta varingu tagajärjel vajunud puud maapinnal [13]



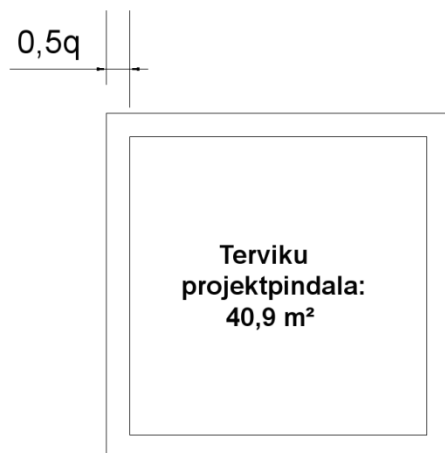
Joonis 28-5 2008 aasta varingu tagajärjel tekkinud lõhe maapinnal [13]



Joonis 28-6 Varisenud ala Estonia kaevanduse mäetööde plaanil. Koordinaadid: 59,234N & 27,441E. [15]

Varingute ärahoidmine kaevandades lühieekombainiga

Lühieekombaini mõju varingute ärahoidmiseks seisneb eelkõige tervikute ühtlases täpsuses, mille tagab mehaaniline juhitud raimamine. Kui hetkel on Estonia kaevanduses tervikute projektpindalaks $40,9 \text{ m}^2$ [15], on tegelikkuses paljud tervikud väiksemad mis seab ohtu inimesed kaevanduses või suuremad, mille juhul toimub maavara raiskamine. Tänu lõhketööde ebatäpsusele antud mõõdet sageli ei saavutata. Halbade tervikute pindala jääb vahemikku $33\text{--}37 \text{ m}^2$, alla 33 m^2 tervikute kandevõime on väga kehv. Kõige sagedamini esinevad tervikute mõõtmed jäävad vahemikku $37\text{--}41 \text{ m}^2$ ning $41\text{--}60 \text{ m}^2$. Lisaks kasutatakse hoide- ning tõkketervikuid, mille pindala küündib $60\text{--}117 \text{ m}^2$. [15]

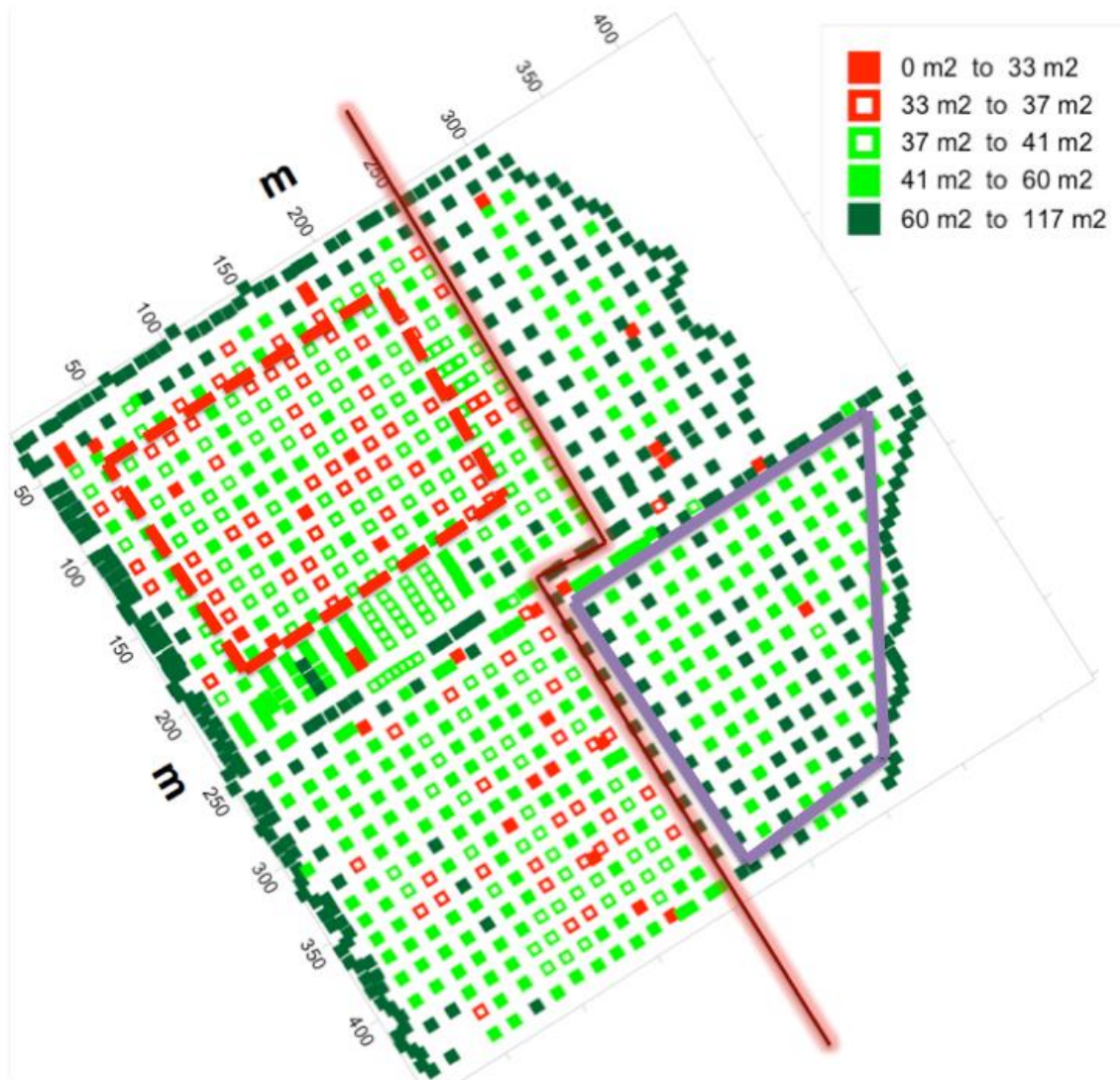


Joonis 28-7 Tervikute varisemistsooni skemaatiline näide

Mehaanilise raimamise tulemusel on inimestel kaevandustes oluliselt ohutum tööülesandeid täita, kuna puuduvad ohtlikud lõhketööd (millele kaasnevad erinevad ohtlikud gaasid) ning puudub varisemistsoon (q) tervikute seintes (Joonis 28-7). Puurlõhketööde korral on lühikeste lõikeaukude puhul (2 m) $q = 0,6$ m ning pikkade lõhkeaukude (4 m) puhul $q = 1,0$ m, kuid lühieekombaini puhul $q = 0$ m.

Kui tervikute pindala on väiksem projektpindalast, on tegemist nõrgestatud tervikuga ning tema tugevusomadused langevad. Kui selliseid tervikuid on ühes poolkambris või kambriplokis palju, on tegemist ohtliku kambriplokiga ning seal võib aset leida varing (Joonis 28-8). Selleks, et taolist stsenaariumit vältida, tuleks leida lahendus, kuidas raimata nii, et tervikud oleksid ühegabriitsed ehk mõõtmed oleksid projektpindalale ligilähedased. Üheks võimaluseks on võtta kasutusele lühieekombain, mida oleks võimalik operaatoril juhtida vastavalt vajadusele ning mis langetaks oluliselt kaevandusvaringute tekke tõenäosust tervikute alamõõdulisuse tõttu.

Vältimaks tulevikus sarnaseid varinguid nagu 2008. aastal, tuleks kasutusele võtta lühieekombain, mis võimaldab väljata pideva protsessiga ning täpsemalt võrreldes puurlõhketöödega.



Joonis 28-8 Kambriloki tervikute mõõtmete skeem. Katkendlik punane joon - ohtlik ala, kus võib tekkida varinguid. Lilla pidev joon - ala, mis sarnaneks lühieekombainiga kaevandamisel tervikute mõõtmete poolest. [15]

Maavara kadude vähenemine

Lühieekombainiga kaevandamise heaks küljeks on võimalike varingute ärahoidmise kõrval veel see, et vähenevad kaod kaevandamisel. Lisaks muudab kaoefekti ka asjaolu, millised tervikud valida, kas linttervikud või sammastervikud.

Kõige säästlikumalt on võimalik kaevandada kombainiga ja kasutades linttervikuid, kuid kadude olulist vähenemist saab tähendada ka kombaini ja sammastervikutega kaevandamisel (

Tabel 28-1) [16].

Tabel 28-1 Põlevkivi kaod tervikutes [16]

Põlevkivi kaod tervikutes, %	Terviku parameetrid		
	Kombain	Madalad laed	Kõrged laed
	q=0 m	q=0,6 m	q=1,0 m
Sammastervikutes, %	23,4	26,7	31,4
Linttervikutes, %	15,5	21,8	25,6
Sammas- ja linttervikute erinevus, %	7,9	4,9	5,8

Kui kaevandataks 1000 tonni põlevkivi, siis kaod kombainiga ja linttervikutega kaevandades on 15,5 % ehk 155 tonni, kasutades puur-lõhketöid ja linttervikuid oleksid kaod 21,8 % ehk 218 tonni. 2014. aastal on põlevkivi kaevandamisõiguse tasu 2,00 €/t [17], kuna kaevandaja peab maksma maavara kaevandamisõiguse tasu ka tervikutesse jääva maavara eest, siis ettevõtja huvides on saada maksimaalne toodang.

Kokkuvõte

Kaevandusplokkide stabiilsus ja pinna vajumised on väga aktuaalsed teemad eriti intensiivselt asustatud aladel, nagu seda on Ida-Virumaa Eestis [18]. Seega tuleb leida lahendus, et 2008. aasta toimunud suuremate varingute taolised nähtused ei korduks. Kuna tehnoloogia on edasi arenenud ning tänapäevased lühieekombainid on võimelised raimama tugevat lubjakivivahekihti, siis oleks aeg Eesti ettevõtetal taoline tehnoloogia kasutusele võtta. Lisaks aitab lühieekombainiga väljamine kaasa kadude vähenemisele tervikutes ning tagab võimalikult sarnaste garabiitidega tervikute tekke, mis omakorda loob eelduse, et väheneb varingute arv ning suureneb toodangu maht ja kaevandustööliste turvalisus. Eesti Vabariigi kaevandamisega seotud seadusandlus lühieekombaini kasutuselevõttu ei takista, kui sellega ei seata ohtu inimesi ning keskkonda – seega puuduvad põhjused, miks ei võiks kaevandajad olla innovaatilised ning katsetada lühieekombaini, et välja selgitada nende praktiline väärtus Eesti põlevkivikaevanduste tingimustes.

Töö on seotud uuringuga ETP AR12007 nr. 3.2.0501.11-0025 „Põlevkivi kadudeta ja keskkonnasäästlik kaevandamine“ – mi.ttu.ee/etp.

Viited

1. Toomik, A., Tomberg, T. Blast vibrations in oil shale underground mining - Tallinn, 1998. Lk: 65 – 74 (OIL SHALE, 1998, Vol. 15, No. 1)
2. Peebo, K. Bakalaureusetöö: Kombainkaevandamine Uus-Kiviõli kaevanduse tingimustes. - Tallinn, 2014.
3. Directindustry.com [[WWW](#)] (14.10.2014)
4. Valgma, I. Mäemasinad ja mäetehnika. – Tallinn, 2003. Lk: 17 – 20.
5. Nikitin, O. Doktoritöö: Optimazation of Room-and-Pillar Mining Technology for oil-shale Mines. – Tallinn, 2003. Lk: 14 – 40; 71 – 77.
6. Kattai, V., Saadre, T., Savitski, L. Eesti põlevkivi: geoloogia, ressurs, kaevandamistingimused. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, 2000. Lk: 58 – joonis 5.2.
7. Väli, E. Doktoritöö: Best Available Technology for the Enviromentally Friendly Mining with Surface Miner. – Tallinn, 2012. Lk: 21 – 22. [[WWW](#)] (14.10.2014)
8. Nikitin, O. Mining block stability analysis for room-and-pillar mining with continuous miner in Estonia oil shale mines. - Tallinn, 2003. Lk: 515 – 528 (OIL SHALE, 2003, Vol. 20, No. 4) [[WWW](#)] (14.10.2014)
9. [Kaevandamiseadus](#) (RT I 2003, 20, 118) - (14.10.2014)
10. [Maapõueseadus](#) (RT I 2004, 84, 572)- (14.10.2014)
11. [Keskkonnatasude seadus](#) (RT I 2005, 67, 512) - (2.10.2014)
12. [Töötervishoiu ja tööohutuse nõuded](#) mürast mõjutatud töökeskkonnale, töökeskkonna müra piirnormid ja müra mõõtmise kord – (2.10.2014)
13. Soosalu, H. Eesti Geoloogiakeskuse aruanne: Aruanne riikliku keskkonnaseire allprogrammi “Seismiline seire” täitmisest 2008. aastal. – Tallinn, 2009. [[WWW](#)] (14.10.2014)
14. Soosalu, H., Dineva, S., Ring, M., Valgma, I., Nikitin, O., Rõivasepp, K. Seismic analysis of mine collapse signals in NE Estonia. The 45th Nordic Seismology Seminar, Visby, Sweden, 8-10 October 2014.
15. Soosalu, H. Valgma, I. Seismoanalüüs kaevandusvaringute tuvastamisel. – Tallinn, Mäeinstituut. – Tallinn GIS-päev, 2008. [[WWW](#)] (14.10.2014)
16. Toomik, P. Bakalaureusetöö: Linttervikutega kamberkaevandamise tehnoloogia. – Tallinn, 2013.
17. [Riigile kuuluva maavaravaru kaevandamisõiguse tasumäärad](#) - (2.11.2014)
18. Pastarus, JR. Nikitin, O. Methods of mining block stability analysis for room-and-pillar mining with continuous miner in Estonian oil shale mines. - Itaalia, 2002. Lk: 677 – 682 (7th International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production – SWEMP, Cagliari, Italy, 7-10 October 2002).