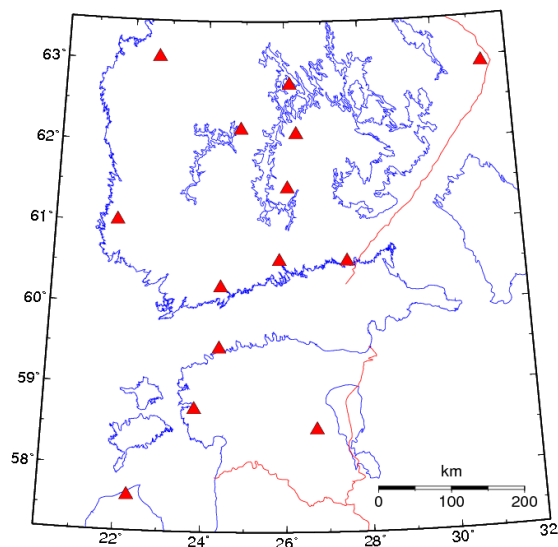


## **20. Kaevandusvaringute avastamine Eesti põlevkivimaardlas seismiliste sündmuste abil**

Merle Otsmaa, Heidi Soosalu, Ingo Valgma, Jüri-Rivaldo Pastarus

Maavarade kaevandamise ja mäetööde paratamatuks tagajärjeks on muutused maa välisilmes ning ülemiste kihtide geoloogilises ehituses. Võiks arvata, et kui kaevandamine toimub maa all, jääb maapind rikkumata. Kuid siiski võime maavara madala lasumuse puhul täheldada altkaevandatud alale omast mikroreljeefi. Võib ette tulla järsuseinalisi, mõnes kohas isegi maa peale avanevaid varinguauke. Mahajäetud või suletud kaevandustest põhjustatud reljeefimuutused võivad tekkida väga ebasobivatesse kohtadesse [6]. Varinguaugud tulevad suuremad kui laavakaevandamisel, kuna väljatakse ka kogu kaevandatavas põlevkivikihtis olnud lubjakivi. Viimased tähelepanuväärsemad varingud toimusid Estonia kaevanduses 2008. aasta jaanuaris ja juulis [12]. Varingud võivad põhjustada hoonete ja teede purunemisi, maapinna liigniiskumist, mullaerosiooni põllumaad. Sellepärast on üpris oluline püüda prognoosida varingute võimalikkust erinevates piirkondades [19, 20, 2]. Paikapidavate prognooside tegemine nõuab olemasolevate varingute põhjalikku ja igakülgset uurimist, mis omakorda eeldab nende varingute avastamist. Tähtsaks uuringufaktoriks on aeg, mis kulunud kaevandamisest kuni võimaliku maapinna vajumiseni [18]. Peab märkima, et tuleviku kaevandamistehnoloogia valik sõltub kaevandatud maa potentsiaalsest stabiilsusest [21]. Maapinna stabiilsus mõjutab uute kaevandamislubade saamist ja ressursikasutust [22]. Varinguid on hea märgata käidavates ning inimeste poolt kasutatavates kohtades, aga kui maapinna vajumine leiab aset metsas ja juba suletud kaevanduse alal, ei pruugi ükski inimene sellest midagi teada [7]. Varinguid võib olla suhteliselt lihtne avastada nende ligikaudset asukohta teades. Joonis 20-3 on näha Estonia kaevanduse varingu kohal puude kalduvajumine varingu suunas. Kaevandusvaringuga kaasneb seismiliste lainete teke ja levik maakoores, mida registreerivad seismilise seire jaamad Eestis ja Soomes (Joonis 20-1 Kasutatud seismilise seire süsteem [11]). Antud uurimus püüab nende seireandmete põhjal välja selgitada seni märkamatuks jäänud kaevandusvaringuid [9, 14, 15, 13, 5].



Joonis 20-1 Kasutatud seismilise seire süsteem [11]

Tänu seismilise seire andmetele muutub kaevandusvaringute avastamine palju lihtsamaks, on võimalik avastada juba toimunud ja praegu toimuvaid varinguid. Käesolevas töös uurisime Helsingi Ülikooli Seismoloogiainstituudi igakuiseid Põhja-Euroopa seismilisi sündmusi kajastavaid bülletääne, milles on registreeritud nii maavärinad kui ka inimtegevusest põhjustatud seismilised sündmused Skandinaavias, Loode-Venemaal ja Eestis ning kindlaks määratud nende täpsed toimumiskohad [9]. Varingute ja lõhkamisest tingitud seismiliste sündmuste eristamine on võimalik [1, 16].

Eesti alal registreeritakse tavaliselt mitukümmend seismilist sündmust kuus. Seda on päris palju ja enamik tähistavad lõhkamisi lubjakivi- või põlevkivikarjäärides. Kõigi nende sündmuste kontrollimine, kas mõni neist juhuslikult pole seotud kaevandusvaringuga, oleks ülimalt pikk ja aeganõudev protsess. Seetõttu pidasime mõistlikuks võtta arvesse, et Eestis on lõhkamine karjäärides lubatud üksnes päevasel ajal. Kogemused on näidanud, et lõhkamisi viiakse läbi peaaegu eranditult üksnes tavapärasel tööajal ja väga harva nädalavahetustel. Seetõttu võtsime lähema vaatluse alla ainult sellised seismilised sündmused, mis leidsid aset ebatavalisel ajal, kas hilisõhtul, varahommikul, öösel, pühapäevadel või pühade ajal. Satelliidifotode põhjal tegime kindlaks, kas võimalikud varingukohad ikka paiknevad töötava või suletud kaevanduse alal.

## Kaevandamine ja keskkond. Mäeinstituut 2012

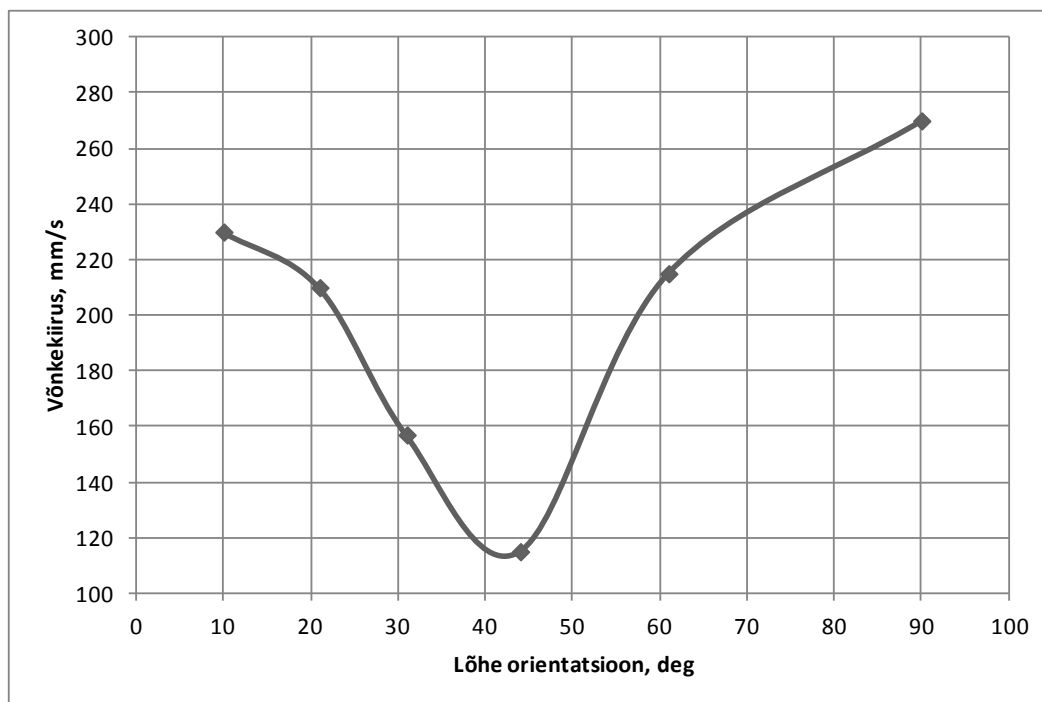
Otstarbekas on veel uurida võimalike varingute asukohti Maa-ameti laserskaneerimisega (LIDAR) koostatud reljeefikaardil ning sel kombel saada lisainformatsiooni [3]. Kui varing on juba kahe meetodi abil üles leitud, on õige aeg läbi viia varingu uuring ja mõõdistamine kohapeal. On loodud laialdane tehnoloogilisi, keskkondlikke ja kaardistamisandmeid sisaldav GIS-andmebaas kaevanduspiirkonna tarbeks, mida saab kasutada kaevandusvaringute uurimisel [11,17, 8].

Helsingi Ülikooli seismilise seire bulletääne uuriti aastate 2003 – 2005 kohta. Tabel 20-1 on esitatud potentsiaalsete kahtluse all olevate varingukohtade hulk, mis vajavad põhjalikumat uurimist.

**Tabel 20-1 Oletatavate varingute arv aastate ja kuude lõikes**

	2003	2004	2005
Jaanuar		2	
Veebruar			
Märts		3	1
Aprill	2	1	1
Mai		2	
Juuni			
Juuli		1	2
August		2	
September			
Oktoober			
November			
Detsember			

Oletatavate varingute asukohad said välja valitud nende ebahariliku toimumisaja tõttu, mil inimeste poolt tekitatud seismilised sündmused pole tõenäolised. Seismilise sündmuse aeg oli määratud väga täpselt. Asukoha täpsus pole nii suur seismilise seirevõrgu hõreduse tõttu. Ka asub lähim seismilise seire jaam põlevkivi kaevandusalast üsna kaugel: ligikaudu 120 – 180 km. Spetsiaaluuringute ja eksperimentidega kaevandustes on tõestatud, et seismiliste lainete võnkekiirus sõltub lõhede olemasolust ja orientatsioonist kivimis [10] (**Joonis 20-2**). Kui lõhe on 40 - 50<sup>0</sup> nurga all, siis võnkekiirus väheneb tunduvalt, kaks kuni kolm korda. Ilmselt mõjutab seismilise sündmuse toimumiskoha täpsuse määramist ka seismiliste lainete võnkekiiruse muutumine.



Joonis 20-2 Seismilise laine võnkekiirus erinevate lõheorientatsioonide korral [10]

Meile huvi pakkuvate seismiliste sündmuste tugevus oli 0,9 kuni 1,8 magnituudi. Meeldetuletuseks olgu öeldud, et Estonia kaevanduse varingute tugevused olid 1,8 ja 2,0 magnituudi [13].

### Kokkuvõte

Seismiline meetod on tõestanud oma efektiivsust kaevandusevaringute tõestamisel kahel korral Estonia kaevanduses 2008. a. Nüüd laiendame seda meetodit oletatavate varingute seismogrammide uurimisel. 2008. a kogemuste põhjal on näha, et lõhkamise seismogrammide erinevad oluliselt kaevandusvaringu seismogrammidest. On võimalik eristada neid kahte sündmust maavärinatest. Teiseks on vaja võrrelda võimalike varingute asukohti LIDARi reljefimudeliga. Kui need uuringuandmed langevad kokku, võime olla kindlad kaevandusvaringu toimumises ja jätkata uuringut välitöödega (Joonis 20-1 Kasutatud seismilise seire süsteem [11]).



Joonis 20-3 Puud on vajunud kaldu kaevandusvaringu suunas.

Artikkel on seotud järgnevate Mäeinstituudi uuringute ja projektidega: ETF 9018 – Kaevandusvaringud Kirde-Eestis – avastamine, identifitseerimine ja põhjused, AR12007 - Põlevkivi kadudeta ja keskkonnasäästlik kaevandamine, ETF78123 - Täitmine ja jääkide (jäätmete) haldamine Eesti põlevkivitööstuses.

### Viited:

1. Discriminating between large mine collapses and explosions using teleseismic P waves. Author(s): Bowers, D (Bowers, D); Walter, WR (Walter, WR). Source: PURE AND APPLIED GEOPHYSICS Volume: 159 Issue: 4 Special Issue: SI Pages: 803-830 DOI: 10.1007/s00024-002-8660-8 Published: FEB 2002
2. Erg, K.; Reinsalu, E.; Valgma, I. (2003). Geotechnical Processes and Soil-Water Movement with Transport of Pollutants in the Estonian Oil Shale Mining Area. In: Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference on Environment. Technology. Resources: 4th International Scientific and Practical Conference on Environment. Technology. Resources. 26-28. June 2003, Rezekene. , 2003, 79 - 84.
3. Karu, V. (2012). Dependence of land stability on applied mining technology. 11th International Symposium "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering", Doctoral Scholl of Energy and Geotechnology, Pärnu, Estonia, 16-21.01.2012 (252 - 255).Elektriajam
4. Lind, H.; Robam, K.; Valgma, I.; Sokman, K. (2008). Developing computational groundwater monitoring and management system for Estonian oil shale deposit. Agioutantis, Z.; Komnitsas, K. (Toim.). Geoenvironment & Geotechnics (GEOENV08) (137 - 140).Heliotopos Conferences
5. Mäendusõpik [Võrguteavik] : veebiõpik kaevandamisest, rakendusgeoloogiast ja geotehnoloogiast. [Tallinn: TTÜ mäeinstituut] 2008-2012

6. Otsmaa, M., Karu, V. (2011). Posttehnoloogilised protsessid altkaevandatud alal. Aprillikonverentsi ettekanne 2011.
7. Reinsalu, E.; Toomik, A.; Valgma, I. (2002) Kaevandatud maa. TTÜ Mäeinstituut.
8. Reinsalu, E.; Valgma, I (2003). Geotechnical processes in closed oil shale mines. Oil Shale, 20(3), 398 - 403.
9. Seismic Bulletins. <http://www.helsinki.fi/geo/seismo/english/bulletins/index.html> 22.05.2012
10. Singh, S. P., Narendrula, R. Assessment and prediction of rock mass damage by blast vibration. Mine Planning and Equipment Selection. Taylor and Francis Group, London, 2004, p. 317-322.
11. Soosalu, H.; Uski, M.; Kortström, J. (2008) Joint Finnish-Estonian seismic analysis of quarry blasts in NE Estonia. Nordic seminar 2008. Karu, V.; Västriku, A.; Valgma, I. (2008). Application of modelling tools in Estonian oil shale mining area. Oil Shale, 25(2S), 134 - 144.
12. Soosalu, H.; Valgma, I. (2009). Detection of mine collaps with seismic methods - a case study from Estonia. In: Book of abstracts: International Oil Shale Symposium, Tallinn, Estonia, 8-11 June 2009: Tallinn:, 2009, 101 - 102.
13. Soosalu, H.; Valgma, I. (2009). Detection of mine collapses with seismic methods- a case study from Estonia. Valgma, I. (Toim.). Resource Reproducing, Low-wasted and Environmentally Protecting Technologies of Development of the Earth Interior (1 pp.). Tallinn: Department of Mining TUT; Russian University of People Friendship
14. Soosalu, H.; Valgma, I. (2009). Seismoanalüüsiga võib tuvastada kaevandusvaringuid. Keskkonnatehnika, 3, 6 - 9.
15. Soosalu, H.; Valgma, I.; Sokman, K (2009). Seismic detection and on-site survey of mine collapses in Estonia. Nordic Seismic Seminar, Stockholm, 14.-16.10.2009. , 2009.
16. Source Mechanism-Dipole versus Single Force Application to Mining Induced Seismic Events in Deep Level Gold Mines in South Africa. Author(s): Sileny, J (Sileny, J.); Milev, AM (Milev, A. M.). Editor(s): Potvin, Y; Hudyma, M. Source: RASIM6: CONTROLLING SEISMIC RISK Pages: 259-265 Published: 2005
17. Valgma, I. (1999). Mapping potential areas of ground subsidence in Estonian underground oil shale mining district. In: Proceedings of the 2nd International Conference "Environment. Technology. Resources". Rezekne, Latvia 25-27 June 1999: 2nd International Conference "Environment. Technology. Resources". Rezekne, Latvia 25-27 June 1999. , 1999, 227 - 232.
18. Valgma, I. (2009). Oil Shale mining-related research in Estonia. Oil Shale, 26(4), 445 - 150.
19. Valgma, I.; Leiaru, M.; Karu, V.; Iskül, R. (2012). Sustainable mining conditions in Estonia. 11th International Symposium "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering", Doctoral School of Energy and Geotechnology, Pärnu, Estonia, 16-21.01.2012 (229 - 238). Tallinn: Elektriajam
20. Valgma, I.; Reinsalu, E.; Erg, K.; Kattel, T.; Lind, H.; Mets, M.; Pastarus, J.-R.; Sõstra, Ü.; Sabanov, S.; Rannik, E.; Karu, V.; Västriku, A.; Tohver, T.; Hansen, R.;

## Kaevandamine ja keskkond. Mäeinstituut 2012

---

- Tammemäe, O.; Torn, H. (2006). Eesti maapõue geotehnoloogilised mudelid, erijuhus - lavamaardlad.
21. Valgma, I.; Västrik, A.; Karu, V.; Anepaio, A.; Väizene, V.; Adamson, A. (2008). Future of oil shale mining technology. Oil Shale, 25(2S), 125 - 134.
22. Väli, E.; Valgma, I.; Reinsalu, E. (2008). Usage of Estonian oil shale. Oil Shale, 25(2S), 101 - 114.