

## 14. Põlevkivi kaevandamisest ning ühest võimalikust tulevikutehnoloogiast

*Tiit Rahe, Martin Nurme*

### Sissejuhatus

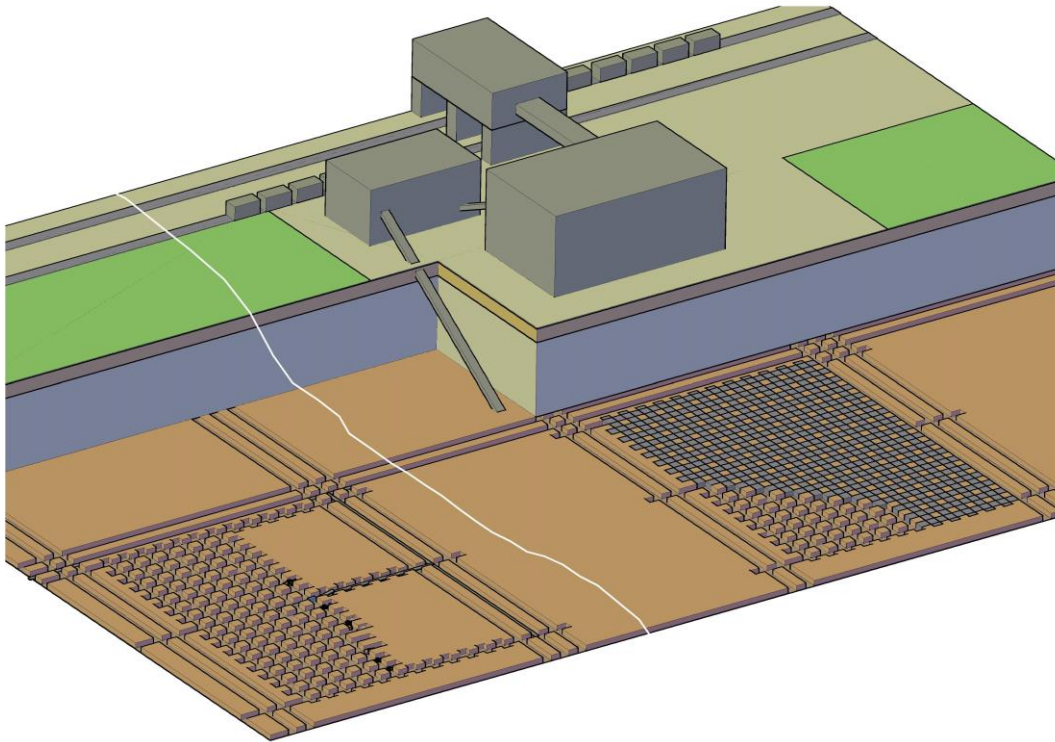
Eestis on põlevkivi kaevandatud nüüdseks juba peaaegu 100 aastat. Hetkel on Eestis selle maavara kaevandamise reaalne maht aastas veidi üle 15 miljoni tonni. Maksimaalseks piiriks on määratud 20 miljonit tonni [22, 20]. Kaevandamise mahtude tippajad jäid kaheksakümnendatesse aastatesse, kui aastas anti põlevkivi kaevandamisest toodanguna välja ligi 30 miljonit tonni kaubapõlevkivi [14]. Põlevkivi on fossiilne ning taastumatu maavara. Kuna varusid ei jätku igaveseks, peaksime riiklikult nii tähtsat maavara kaevandama võimalikult säästvalt [18]. Põlevkivi kaevandamise käigus on Eestis põlevkivi kaevandamise tehnoloogia kõvasti ajas arenenud, kuid arengust hoolimata on kaevandamisprotsessis veel ka täna, mitmeid kiireid lahendusi vajavaid probleeme. Suurimateks probleemideks on põlevkivi suured kaod ning töötlemise ja kasutamise käigus tekkivate jääkide ja jäätmete suur hulk [12]. Keskkonnakaitse ootused üha suurenevad ja maavara säästliku kaevandamise nõuded karmistuvad [22, 23]. Seetõttu tuleb aktiivselt otsida uusi võimalikke kaevandamise tehnoloogiaid. Enne kui saab võimalikuks uute lahenduste juurutamine, tuleks nende sobivust kriitiliselt hinnata ja praktikas katsetada. Protsesse tootmises tuleb väga pikalt ette planeerida, samas peab ajaga kaasas käima ning jälgima pidevalt areneva tehnoloogia uuendusi [17]. Selles artiklis kirjeldan lühidalt Eestis hetkel kasutusel olevat põlevkivi kaevandamise tehnoloogiat, selgitan lugejale tehnoloogia muutmise vajalikkust ning viimaks kirjeldan üht huvitavat ja lootustandvat lahendust purustuskopa näol. Purustuskopp võib esialgsete uuringute põhjal mõningad erinevad põlevkivi kaevandamisega seotud probleemid lahendada sutheliselt üllataval moel.

### Kamberkaevandamine ja täitmise tehnoloogia

Hetkel kasutatakse Eesti põlevkivikaevandustes ainult kamberkaevandamise tehnoloogiat: kogu puur- ja lõhketöödega purustatud materjal viiakse maapinnale, puutumatault jäetakse maa alla alles tugi- ehk sammastervikud [4]. Need sambad hoiavad ülal kattekihtide kihte ning säilitavad kaevanduse kohal oleva maapinna stabiilsuse [9, 12]. Arvestades geoloogilist situatsiooni Eestis, põlevkivi kihindi kaevandamisväärsem osa õhatakse kas 2,8 m või 3,8 m paksuse kihina. Tühimiku sisse jäetakse kindlate vahemaade tagant lõhkamisest puutumata sambad (Joonis 14-1). Sammaste suurus jäetakse võimalikult väike, kuid siiski piisav, et kindlustada kaeveõõne püsivus teoreetiliselt igaveseks ajaks ka siis, kui kaevandamine on lõppenud. Eesmärk on ära

hoida kaevanduse kohal oleva maapinna vajumine [13]. Tervikutesse maha jääv kaevandamata maavara on maavara kadu, mida pole arvatavasti enam kunagi majanduslikult tasuv kasutusele võtta [11]. Põlevkivi kaod tervikutes on hetkel kuni 30%, kuid kaevandamissügavuse suurenemisel üle kuuekümnemeetri, võivad põlevkivi kaod kaevandamisel suurenedagi kuni neljakümne protsendini või isegi rohkemgi [11]. Seesugune maavara kadu on väga suur ning seetõttu võiks isegi öelda, et kamberkaevandamise tehnoloogia on maavara raiskav [8]. Maavara kadu oleks võimalik olulisel määral vähendada, kui kasutaksime kaeveõõnte täitmise tehnoloogiat, ehk ehitaksime tehiskivide tervikud kaeveõõnt toetama. Täitmise tehnoloogiat kasutades on võimalik suurendada ka maapinna püsivust ning vähendada mõju veerežiimile [11]. Täitmise korral maavara kaevandamisel tekkinud tühimik täidetakse mingi täitematerjaliga [1]. Põlevkivikaevanduse puhul on võimalus kasutada täitematerjalina põlevkivi rikastamisel tekkinud jääke, koos põlevkivi tuha ning tsemendi seguga [3, 15, 21]. Kaeveõõnte täitmise tulemusena väheneb ka kaevandamise mõju maapinnale, kuna siis saaks põlevkivi tööstuses tekkivaid jääke kui kasulikku täitematerjali ära kasutada ja seega põlevkivi põletamisel tekkivat tuhka ja rikastamise aherainet ei ladustataks enam maa peale [1]. Seega vähenevad keskkonnatasud, mis tuleks maksta jäätmete ladustamise eest. Selle tehnoloogia miinuseks on keerukus võrreldes praegu kasutusel oleva tehnoloogiaga, kus osa maavara jäetakse lihtsalt kaevandamata, et kaeveõõnt toetada. Teiseks miinuseks on tehnoloogia mõnevõrra kallim hind. Põlevkivi saab küll kadude arvelt rohkem kätte, aga tehiskivide ehitamisega lisandub kaevandamisele mitmeid tegevusi, mis muudavad kaevandamise kulukamaks. Lisanduvateks tegevusteks tervikute

ehitamisel on näiteks segude valmistamine ning täitematerjali transport kaeveõnde. [19]



**Joonis 14-1 Kamberkaevandamise tehnoloogia skeem.**

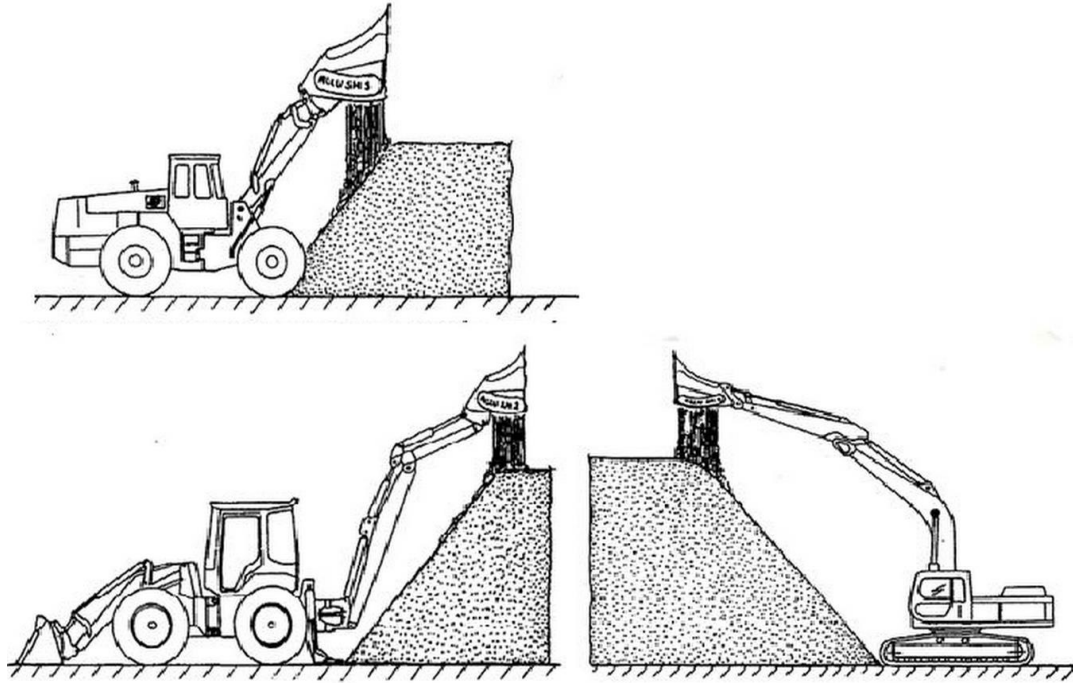
### **Põlevkivi rikastamine**

Põlevkivi rikastamine ehk kasuliku materjali eraldamine lubjakivist, toimub praeguse kamberkaevandamise tehnoloogia juures suurtes maapealsetes rikastusvabrikutes. Lubjakivi eraldamine on vajalik, kuna lubjakivi suur sisaldus teeb materjali kütteväärtuse madalaks. Lubjakivi satub kaevisesse põlevkivi kihindis paiknevatest lubjakivi vahekihtidest. Lubjakivi eraldamine rikastusvabrikus magnetiidi suspensioonis põhineb asjaolul, et põlevkivi on lubjakivist tunduvalt kergem. Põlevkivi tõuseb raskes vedelikus pinnale, aga lubjakivi vajub põhja. Raske vedelikuna kasutatakse magnetiidi suspensiooni, mille tihedus on umbes  $2,1 \text{ g/cm}^3$ . Lubjakivi on enamasti tihedusega  $2,5 \text{ g/cm}^3$  [16]. Igas tootmisetapis tekib jääke ning maavara kadusid, nii ka rikastamisel. Nimelt ei tõuse pinnale põlevkivitükid, mille külge on jäänud osa lubjakivist. Lisaks kulutab selline iga-aastane miljonite tonnide kasutuskõlbmatu lubjakivi transport rikastusvabrikuni lisaenergiat ja on ka seetõttu majanduslikult kulukam. Selle tõttu tekivad rikastamisvabriku juurde tohutud jäätmemäed ehk rikastamise käigus kaevisest eraldatud lubjakivi panilad. Jääkidest saab toota madalakvaliteedilist killustikku, mida saab kasutada teedeehitusel täitematerjalina. Kahjuks sellist täitematerjali pole

majanduslikult mõttekas kaugele transportida, aga kohapealne nõudlus on väga väike. Seepärast suurem osa jääkidest ladustatakse siiski jäätmepeanilatesse. Seesugused aherainemäed katavad Eesti territooriumist juba ligi 790 ha [4, 5].

### **Mis on purustuskopp?**

Purustuskopp on suhteliselt uus seade. Esimesed patendid ilmusid 90ndatel aastatel. Pealtnäha näeb see seade välja nagu tavaline kopp, mida saab kasutada nii ekskavaatori, frontaallaaduri kui ka tavalise traktori tööorganina (Joonis 14-2). Purustuskopp on aga eriline lisafunktsiooniga kopp, mille sisse on monteeritud kaks või rohkem üksteisega vastassuunas pöörlevat hammastega võlli. Materjali laadimine purustuskoppa toimub nagu tavalise kopaga, kuid kopal on lisaks juures purustamise funktsioon. Purustamise eest kannavad hoolt vastassuunas pöörlevate võllide küljes olevad hambad, mis hekseldavad purustuskopa sees olevat materjali. Põhimõtteliselt on tegu nagu väikese mobiilse võllpurustiga, mille kolu on võimalik kasutada ka materjali tõstmiseks. Purustatud materjal väljub purustuskopa alt (Joonis 14-3). Kopal endal pole energiaallikat, seega saab seda ühendada ainult sellise masinaga, millel on olemas hüdraulilise jõu väljund. Purustusvõllid kopa sees paneb pöörlema õlisurve. Purustuskoppadega saab purustada mitmesugust materjali. Võllide vahekaugus üksteisest ning purustushammaste pikkus nende peal määravad ära purustuskoppa sissemineva materjali minimaalse ja maksimaalse suuruse, mida konkreetse purustuskopaga üldiselt on mõttekas purustada. Ettenähtust suuremaid tükke ei pruugi purustuskopa hambad haarata ning väga väike materjal kukub lihtsalt võllide vahelt läbi. Purustuskopast väljunud toodangu omadusi saab mõjutada, varieerides võllide vahekaugusi, hammaste suurust, hammaste kuju ning võllide pöörlemiskiirust. Analoogilise ehitusega on tehtud ka sõelkopad, mis on mõeldud kopas oleva materjali sõelumiseks. Sellisel juhul ei ole võllide peal purustushambaid, vaid nagad, mis lihtsalt liigutavad materjali kopa sees. Materjal, mis on väiksem kui kopa põhjas pöörlevate võllide vaheline kaugus, väljub kopast. Purustuskoppade ning sõelkoppade eelis on nende mobiilsus ning see, et nende abil on võimalik ühe töötsükli jooksul materjali ammutada, materjali transportida, purustada või sõeluda (olenevalt siis kas tegu on sõel- või purustuskopaga) ning juba purustatud/sõelatud materjal näiteks veoauto kasti laadida [5]. Purustuskoppasid kasutatakse üldiselt väga erinevate materjalide peenestamiseks, segamiseks ja õhutamiseks, näiteks muld, kompost, ehitusjätmed, klaas, süsi, lubjakivi. Praeguseks hetkeks toodavad nii purustus- kui ka sõelkoppasid mitmed erinevad firmad üle terve maailma [4].



Joonis 14-2 Purustuskopa kasutusvõimalused erinevate masinate küljes



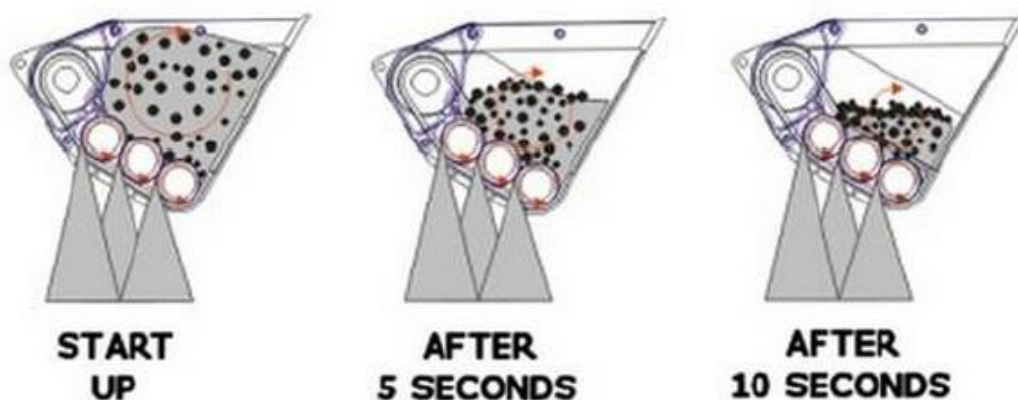
**Joonis 14-3 Purustatud materjal väljub kopa alt**

Eestis on juba mitu aastat uuritud, kas söel- ja purustuskoppasid saab kasutada põlevkivi kaevandamisel. Purustuskoppasid katsetati Eestis põlevkivi töötlemiseks esmakordselt 2011. aastal, pärast seda on läbi viidud mitmeid erinevaid katseid (Tabel 14-1). Kuna seadmel näis olevat tulevikku, siis muretses ka väikesemõõdulise purustuskopa täiendavaks katsetamiseks Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituut, eesmärgiga katsetada seda erinevate kaeviste ning kaevandamisel tekkivate jääkide peal [5, 7, 6]. Praeguseks momendiks on Eestis välitöödel kõige rohkem testitud Soome firma ALLU purustuskoppade mudelid. Viimati toimusid suuremad katsetööd 2013. aasta suve lõpus Narva karjääris [10]. Sealsetel katsetöödel testiti esimest korda 7 m<sup>3</sup> mahutavusega ALLU purustuskopa prototüüpi, mis on disainitud spetsiaalselt kaevandajate vajadusi silmas pidades. Katsetööde käigus on hinnatud erinevate purustuskoppade keskkonnamõju, hinnates tekkiva tolmu hulka, müra ning vibratsiooni suurust. Hindasime erinevate mudelite tootlikkust. Katsetöödel selgus, et purustuskoppadega saab kohapeal põlevkivi rikastada. See tähendab, et kohapeal saab ühe töötsükli jooksul mitte ainult materjali ammutada, transportida, purustada ja laadida, vaid ka eemaldada kaevises sisalduvat lubjakivi. Põlevkivi rikastamine kohapeal purustuskoppade abil, saab võimalikuks seetõttu, et põlevkivil on võrreldes lubjakiviga väiksem survetugevus. Survetugevus on peamine materjali purunemist mõjutav tunnus [15]. Põlevkivi

survetugevus sõltub kivimi pinnakõvadusest, pragulisusest ja niiskusest. Väikse survetugevusega põlevkivi puruneb purustuskopas lubjakivist kiiremini, seejärel kukub võllide vahelt läbi ja väljub purustuskopast (Joonis 14-4). Lisaks - purustuskopa võllide peal olevad hambad lõikavad ning rebivad pehme põlevkivi lubjakivi pealt maha. Purustamise lõppstaadiumis on purustuskoppa jäänud peaaesjalikult lubjakivi, mille võib tõsta kohapeal kõrvale. Purustuskoppadega separeerimise protsess ei ole kahjuks ideaalne. Mõned väiksemad ning pehmemad lubjakivi tükikesed purunevad koos põlevkiviga ning jäävad valmistoodangusse. Samuti jäävad mõned tugevamad põlevkivitükikesed lubjakivi hulka. Protsess vajab küll veel rohkesti katsetamist ning optimeerimist, aga esmased katsetööd on nüüdseks juba tõestanud, et selle seadmega on võimalik kohapeal põlevkivi rikastada.

**Tabel 14-1 Suuremahulisemad katsetööd purustuskoppadega Eestis Mäeinsituudi osalusel**

Katsetööde toimumise aasta	Põlevkiviga katsetamise koht
2011	Kiviõli Keemiatööstuse tehnoplats
2012	Estonia kaevanduse rikastusvabriku plats
	Narva põlevkivikarjäär
2013	Narva põlevkivikarjäär



**Joonis 14-4 Purustuskopa separeerimisprotsess**

## **Kuidas muudaks purustuskoppade kasutamine põlevkivi kaevandamise tehnoloogiat?**

- Esiteks - kui me saaksime kaevisest eemaldada juba kohapeal, kasvõi osaliselt, selles oleva lubjakivi, siis väheneksid kaevandusest või karjäärist väljaveetava kaevisse kogused ja sellega seoses ka transpordikulud rikastusvabrikusse.
- Teiseks – pooleldi rikastatud kaevis, kus oleks vähem lubjakivi, koormaks vähem rikastusvabrikut.
- Kolmandaks - kaevandustesse maha jääv lubjakivi oleks ehitusmaterjaliks tehistervikute ehitamiseks.

See viimane asjaolu on oluline argument, asendamaks kamberkaevandamine täitmise tehnoloogiaga. Kui juba kaevisse väljaveo käigus suudame jätta aheraine maa alla, millest ehitada tehistervikuid, siis see aitab vähendada kulusid mitte ainult materjali väljaveo käigus vaid ka täitematerjali sisseveole. Täitmise tehnoloogia võimaldab meil ära kaevandada kogu geoloogilise varu ja samal ajal väheneb ka keskkonnasaastet. Põlevkivi kadu kaevandamisel väheneb kuni 30% ning jäätmemägesid ei teki nii palju [13].

### **Kokkuvõte**

Kui me jätkame Eestis kamberkaevandamise tehnoloogia kasutamist, siis me ei saa iial lahti kaevandamisel tekkivatest kadudest. Hetkel kasutatava kamberkaevandamise süsteemi maavara kaod on ligi 30% ning need suurenevad veelgi tulevikus, kaevanduse sügavuse suurenedes. Osa maavara jääb praeguse kamberkaevandamise tehnoloogia juures sammastervikutena maa alla, mis on otseselt maavara kadu. Põlevkivi rikastamise protsessi käigus tekivad suured jäätmemäed. Lisaks tekib põlevkivi põletamisel elektri tootmise eesmärgil mahukalt tuhka, mis samuti ladustatakse maapinnal. Need on argumendid, miks kamberkaevandamiselt tuleks minna üle täitmise tehnoloogiale. Kaeveõnne toetamiseks saab ehitada tehislikud tervikud lubjakivi, põlevkivituha ja tsemendi segust [19, 2]. Lisaks on võimalik teostada esmane rikastamine kohapeal, andes tervikute ehitamiseks täitematerjali ja vähendades rikastusvabrikute koormust. Purustuskopp võib olla üks väljapääsudest, kuidas vähendada põlevkivi kadusid ning leevendada keskkonnamõjusid.

Töö on seotud uuringuga AR12007 nr. 3.2.0501.11-0025– Põlevkivi kadudeta ja keskkonnasäästlik kaevandamine – [mi.ttu.ee/etp](http://mi.ttu.ee/etp), B36 - Kivimi raimamine ja rikastamine valikmeetoditega - [mi.ttu.ee/rikastamine](http://mi.ttu.ee/rikastamine).



## Viited

1. Anepaio, A.; Valgma, I.; Margit, K.; Väizene, V.; Saarnak, M.; Pastarus, J.-R. Backfilling technologies for Estonia oil shale mines. Proceedings of the 6th International Conference on Sustainable Development in the Minerals Industry (SDIMI 2013)
2. Arro, H.; Pihu, T.; Prikk, A.; Rootamm, R.; Konist, A.; Kirsimäe, K.; Liira, M.; Mõtlep, R. (2012) .Oil shale CFBC ash cementation properties in ash fields. Fuel, 93, 172 - 180.
3. Huang, YL.; Zhang, JX.; Zhang, Q.; nie, SJ.; Backfilling technology of substituting waste and fly ash for coal underground in China coal mining area. Environmental Engineering and Management Journal. Volume 10, Issue 6, Pages: 769-775. 2011
4. Karu, V.; Gulevitš, J.; Rahe, T.; Roots, R.; Iskül, R.; Põlder, A. (2013). Sustainable Development in the Minerals Industry. 6th International Conference.
5. Karu, V.; Rahe, T.; Närep, E.; Väizene, V.; De Costa, J. (2013). Abstract of Pilot unit for mining waste reduction methods. In: International Scientific Conference Environmental and Climate Technologies, Conference Proceedings: Environmental and Climate Technologies, Riga, 14-16.10.2013. Riga, Latvia: Riga Technical University, 2013.
6. Karu, V.; Rahe, T.; Saarnak, M.; Lüütre, E.; Nurme, M.; Valgma, I. (2013). Selective crushing methods for oil shale mining with crushing buckets in Estonia. International Oil Shale Symposium Tallinn, Estonia
7. Karu, V.; Valgma, I.; Rahe, T. (2013) . Mining Waste Reduction Methods. 13th International Symposium "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering", Doctoral School of Energy and Geotechnology II, Pärnu, Estonia, 14-19.01.2013 (278 - 280). Tallinn
8. Mims, C.; Ziemerink, C. Unearthing Hidden Opportunity in Mobile Mining Equipment Utilization (2012). E&MJ-Engineering and Mining Volume 213, Issue 3, Pages 90-91
9. Nikitin, O.; Pastarus, J.-R.; Sokolov, P. (1999). Stiihilised varingud Eesti põlevkivikaevandustes. In: Mäeohutus ja maaõigus. Konverentsi ettekannete teesid ja artiklid: Mäeohutus ja maaõigus, Tallinn 1999. (Toim.) E. Reinsalu Tallinn: TTÜ mäeinstituut, 1999, 18 - 23.
10. Nurme, M. (2014). Allu purustuskopa katsed Narva karjääris. Talveakadeemia 2014 kogumik (50 – 59)
11. Pastarus, J.-R.; Valgma, I.; Adamson, A. (2008). Põlevkivi kaevandamise jätkusuutlikkusest. Valgma, I. (Toim.). Maavarade kaevandamise ja kasutamise protsessid (4 lk.). TTÜ mäeinstituut
12. Pastarus, J.-R (1998). Analysis of the roof and pillar design in Estonia's oil shale mines. Oil Shale, 15(2), 147 - 156.
13. Reinsalu, E.; Toomik, A.; Valgma, I. (2002). Kaevandatud maa. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool
14. Reinsalu, E. 90 Aastat Põlevkivi Kaevandamist Eestis, lk 6-9
15. Valgma, I.; Kolats, M.; Leiaru, M.; Adamson, A. (2012). Kaevandamine ja keskkond. Tallinn: TTÜ Mäeinstituut, 10-28
16. Valgma I. [Rikastamine](#). Mäeõpik. TTÜ Mäeinstituut.

17. Valgma, I.; Leiaru, M.; Karu, V.; Iskül, R. (2012). Sustainable Mining Conditions in Estonia. Department of Mining, Tallinn University of Technology: Pärnu, 229-238
18. Valgma, I.; Pastarus, J.; Valgma, I.; Adamson, A. (2008). Põlevkivi kasutamise jätkusuutlikkusest. Põlevkivimaa- probleemid ja tulevik. Tallinn: 12-14
19. Valgma I.; Väizene V.; Pastarus J.-R. (2012). Kaeveõõnte täitmine. Valgma, I.; Väizene, V.; Kolats, M.; Karu, V. (Toim.). Kaevandamine ja keskkond (75 - 85). Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli mäeinstituut
20. Valgma, I. (2006). Eesti Mäeseltsi viies tegutsemisaasta. 90 aastat põlevkivi kaevandamist Eestis : Eesti mäekonverents : [5. mai] 2006, [Jõhvi / Eesti Mäeselts] . Tallinn : Tallinna Tehnikaülikool, 2006, 159 – 169.
21. Valgma, I.; Kolats, M.; Karu, V. (2010). Streki toestamine põlevkiviaherainebetooniga. Västrik, A.; Niitlaan, E.; Reinsalu, E.; Vesiloo, P.; Pastarus, J-R.; Köpp, V.; Soosalu, H.; Viilup, (Toim.). Maapõue kasutamise arengud (33 - 38). Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus
22. [Põlevkivi kasutamise riikliku arengukava 2008-2015](#) Täitmise aruanne 2011. aastal
23. [Eesti Energia aastaaruanne 2010-2011.](#)