

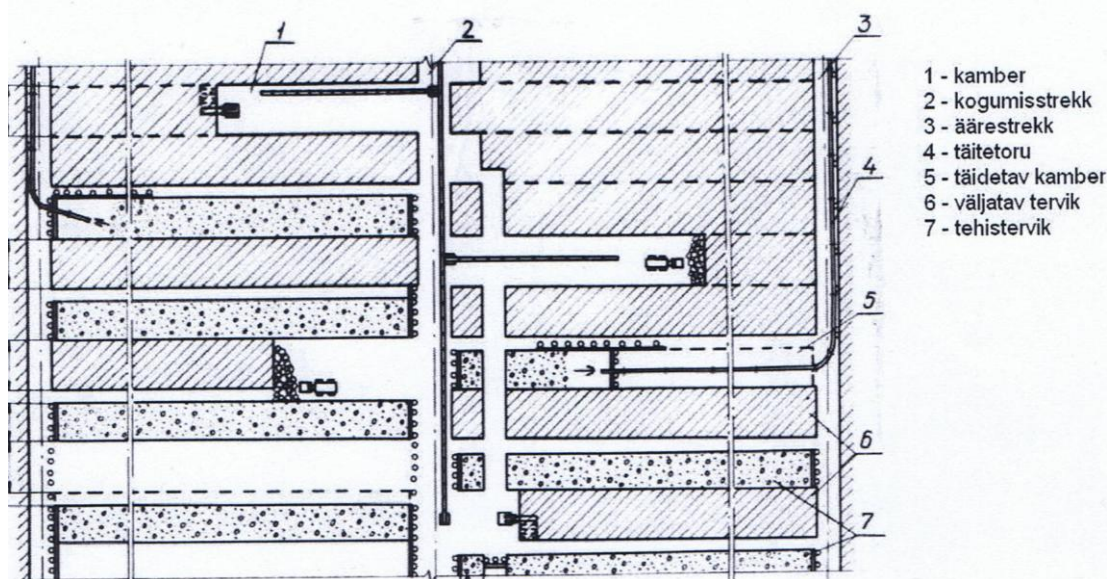
11. Tervikute tugevuse muutumine ajas

Merle Otsmaa

Käesoleval ajal on põlevkivi kaevandamise kaod 20 – 30% [10], kuna kasutusel oleva kamberkaevandamise tehnoloogia puhul on hädavajalik jätta maa-alused tervikud, mis suudaksid põlevkivilasundi kattekivimeid ülal hoida, vältimaks kambriplokkide varinguid ja maapinna olulist vajumist. Tervikute ristlõikepindala peab olema vähemalt 40 m² [7].

Kogu põlevkivi kaevandamise ajaloo vältel on otsitud võimalusi maavara kao vähendamiseks.

On välja pakutud uus tehnoloogia – kombainkamberkaevandamine [4], mis koos tagasitäitmisega [9,12] võimaldab väljata peaaegu kogu põlevkivivaru. Kombainkaevandamine toimub kahes etapis: esimesel etapil jäetakse kambrite vahele põlevkivist linttervikud, kambriid aga täidetakse tehismassiiviga (Joonis 11-1 Kombainkamberkaevandamine [2]) [7]. Mõne aja pärast, kui täitematerjal tehismassiivis on piisavalt tugevnenud, väljatakse põlevkivitervikud.



Joonis 11-1 Kombainkamberkaevandamine [2]

Kirjeldatud meetod on väga kasulik mitmes mõttes. On võimalik tunduvalt vähendada põlevkivi kaevandamis- ja rikastamiskadusid. Põlevkivi kaevandamise ja töötlemise käigus tekib mitmesuguseid jääke, mida saab kasutada täitematerjalina kaevanduses [5]. Teatavasti paiknevad põlevkivikihi vahel lubjakivi vahekihid, mille materjali saab kasutada täitemassiivide rajamiseks. Põlevkivi põletamisel eraldub rohkesti tuhka – nii lenduvat filtrituhka kui ka nn katlatuhka, mille ladustamise eest maapinnal on ette nähtud keskkonnamaksud, mis aasta-aastalt suurenevad. Tõsi küll, filtrituhk kui kvaliteetsem ja paremini kivistuv leiab kasutamist tsemenditööstuses.

Kaevandamine ja keskkond. Mäeinstituut 2012

Elektrienergia tootmisel eraldub palju CO₂, mille ladustamise tingimused Eestis on ebasoodsad õhukeste settekivimite ning põhjavee joogiks kasutamise tõttu. Sellepärast on ainuõige siduda CO₂ põlevkivituhaga stabiilseks mineraalseks ühendiks [6], mida saab kasutada kaevandustes täiteks.

Tänapäeval kasutatakse Eesti põlevkivikaevandustes puur-lõhketöödega kamberkaevandamise tehnoloogiat, mis on küllaltki efektiivne. Kuid kahjuks põlevkivikihi kaevandamissügavusel üle 60 m suurenevad kaod tervikutes kuni 40 %-ni.

Tervikute arvutamise meetodika aluseks on teadmine, et kivimikonstruktsiooni tugevus aja jooksul väheneb [8]. Vältimaks püsivaks projekteeritud tervikute ootamatut purunemist kasutatakse tervikute arvutamisel varutegurit, mis põlevkivikaevandustes kasutusel oleva meetodika kohaselt võib olla 1,1 – 1,4. See tähendab, et tervik projekteeritakse 10 – 40% suurem kui tugevusõpetuse alused ette näevad [10].

Tehistervikutega on lugu sootuks vastupidine: aja jooksul nad tugevnevad (Tabel 11-1 Betooni suhtelise tugevuse sõltuvus ajast.). Täitematerjal tugevneb analoogselt betooni tugevnemisega, mis saavutab suhtelise tugevuse 1,0 umbes 28 päeva jooksul [14]. See tähendab, et juba 28 päeva möödudes on betooni tugevus nõuetekohaselt suur. Kahe aasta pärast on betooni tugevus kahekordistunud. Tugevnemine jätkub veel aastakümneid.

Tabel 11-1 Betooni suhtelise tugevuse sõltuvus ajast.

	Päevad				Aastad			
Betooni vanus	7	28	90	180	1	2	3	5
Suhteline tugevus	0,6	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5

Kahjuks iseloomustab täitemassiivi võrreldes betooniga suhteliselt väike tugevus ja suurem kivistumisaeg: 3 kuni 6 kuud betooni 28 päeva asemel. Sideaine moodustab 60 – 80% täiteaine massist. Materjali hüdrauliline aktiivsus ehk survetugevus veega küllastunud olekus peab olema 2 – 4 korda kõrgem kui kunstterviku normatiivtugevus [1, 13]. Osakeste suuruse vähendamisega kasvab tuha aktiivsus. Räbu on madala hüdraulilise aktiivsusega ja teda on tarvis jahvatada ning lisada suhteliselt suures koguses (30%) aktivisaatorit (tsement, lubi jm.) Siduva aine hüdrauliline aktiivsus ja segu piirtugevus on põhilisteks täitematerjalide kvaliteedi näitajateks.

Täitematerjali tugevnemise füüsikaline olemus seisneb aeglasel hüdrolüüsiprotsessis (H⁺ ja OH⁻ ionide eraldumine) ja seotavate osakeste hüdratatsioonis, mis algab perifeersetest osadest ning järk-järgult levib massiivi keskosas. Hüdratatsioon on keemilise ühendi füüsikaline või keemiline liitumine veega. Põlevkivituhaga põhikomponendiks on CaO e kustutatamata lubi. Täiteseguga veega reageerides muutub CaO kustutatud lubjaks ehk Ca(OH)₂-ks. Süsihappegaasi toimel saab Ca(OH)₂ - st taas CaCO₃. Samas looduslike tervikute tugevust

Kaevandamine ja keskkond. Mäeinstituut 2012

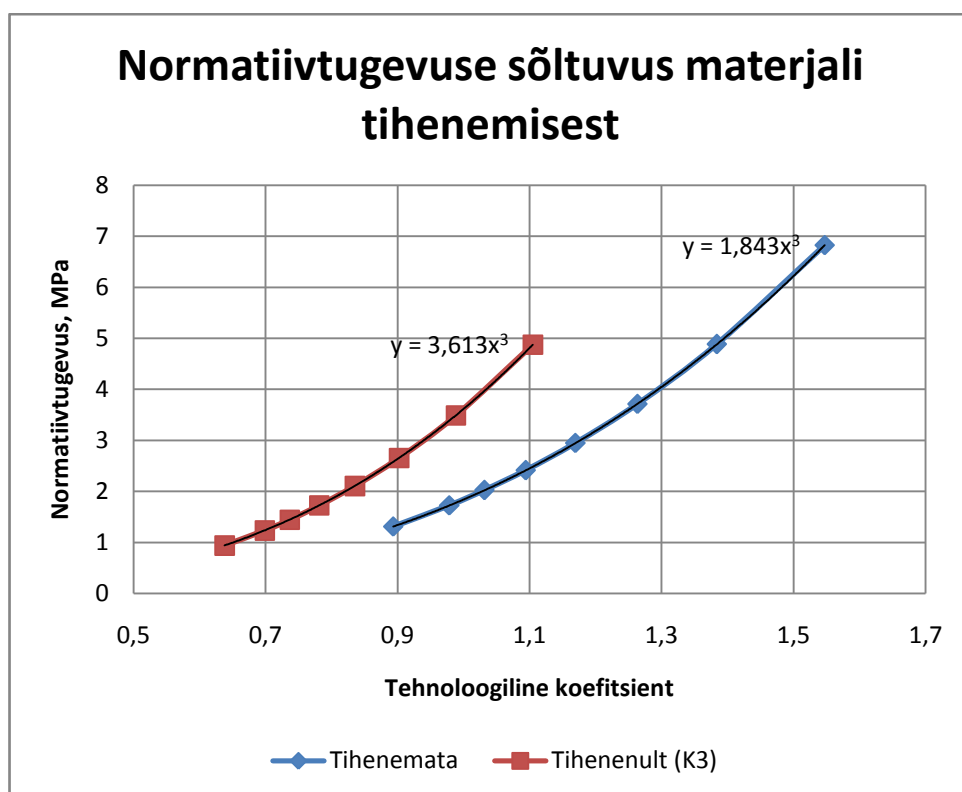
vähendab ka niiskust. Veega küllastunud on põlevkivi tugevus 1,4 – 1,7 ja lubjakivi tugevus 1,1 – 1,4 korda madalam kui kuivalt [16]. Mida suurem on savi sisaldus kivimis, seda rohkem mõjutab tema tugevust vee sisaldus.

Elektrijaamade filtrituhast saab valmistada täitematerjali tugevusega 9 – 10 MPa kolme kuu möödudes. Räbu pärast jahvatamist ja 3 – 5% aktivisaatori (tsemendi) lisamist koos liivaga võimaldab saada täitematerjali tugevusega 2,5 kuni 3,5 MPa. Kui lisada tsementi 20%, suureneb materjali tugevus 5 – 6 MPa-ni. Räbu ja tuhka võib kasutada segudes koos rikastusjääkidega [3, 11].

Tugevaim segu on vahekorras 1:1:6, mis koosneb tsemendist, savist ja puistangute materjalist [14]. Kolme kuuga on selle segu tugevus 16 – 17 MPa. Täitematerjal peab olema peenestatud. Kõige paremad on osakesed suurusega kuni 40 mm.

Optimaalne lubjakivi kogus täitemassis peaks olema 40%. Hüdratatsiooni kineetika suurendamiseks on otstarbekas jahvatada kõrgahju räbu koos purustatud lubjakiviga. Reageerimata CaO võimaldab hüdraatsete kilede rebenemist räbuterade ümber ja hüdratatsioon kulgeb täielikumalt. Silmas tuleb pidada, et püriit on betoonis ebasoovitavaks lisandiks. Hapendumisel võib püriidist tekkida väävelhape, mis lõhustab CaCO₃.

Raskusjõu mõjul surutakse täitematerjal kokku. Kokkusurutavuse koefitsient on 2 – 3,5%, mis sõltub segu konsistentsist ja täidetava ala kõrgusest. Umbes 15 – 20% segus sisalduvast veest läheb hüdroolüüsiks ja hüdratatsiooniks, ülejäänud vesi filtreerub välja. Rõhu kasvades 0,2 MPa võrra suureneb täitesegu tihedus keskmiselt 10%, tugevuspiir samal ajal kasvab kaks korda.



Joonis 11-2 Normatiivtugevuse sõltuvus täitematerjali tihennemisest.

Kaevandusvesi sisaldab tihti lahustunud happeid ja sooli, mis on betooni suhtes agressiivsed. Toimub portlandtsemendi väljaleostamine, kui happesus on alla 6. Erandiks on räbustsemendid, mis on vastupidavad happelisele agressioonile kuni pH väärtuseni 1. Kergelt leeliseline vesi betooni ei kahjusta, kuid kiirendab tardumisprotsessi.

Lahustunud sooladest on kõige ohtlikumad sulfaadid [15].



Kips kristalliseerub betooni poorides ning lõhub tsementi. Süsihape ei ole ohtlik, kui vaba (agressiivse) süsihappe sisaldus ei ületa 15 – 20 mg/l. Eelpool öeldu kehtib portlandtsemendi ja silikaattsemendi kohta. Tsement, milles leidub vähesel määral vaba CaO(OH)_2 , on mineraliseeritud vee suhtes püsivam.

Kokkuvõtteks võib öelda, et kaevandusvesi ei avalda olulist mõju täitesegudele, mis on valmistatud mitmesuguste räbude baasil.

Eestis alustati täitmise alaseid uuringuid 80-ndatel aastatel. Põhiliselt tehakse täitmissegud põlevkivituhast ja lubjakivikillustikust (rikastamisjääkide) vahekorras 1:1 ja 3:1. Mõnikord lisatakse ka liiva. Tsementi kasutada pole tarvis, kuna saadud katsetulemuste kohaselt kivistub põlevkivituhk väga hästi. Ka savi kasutamine pole vajalik. Täite survetugevuseks on 2 – 10 MPa. Mida suurem on lisatava tuha kogus, seda tugevam tuleb täitemassiiv.

Siiski võib öelda, et tuleks veel aastaid katsetada, saamaks kõige optimaalsemaid lahendusi.

Artikkel on seotud järgnevate uuringute ja projektidega: AR12007 - Põlevkivi kadudeta ja keskkonnasäästlik kaevandamine, ETF78123 - Täitmine ja jääkide (jäätmete) haldamine Eesti põlevkivitööstuses, AR10127 – Tuhk - Põlevkivi põletamisega kaasnevate tahkjäätmete uute kasutusala alused ja ETF9018 - Kirde-Eesti kaevandusvaringute tuvastamise, identifitseerimise ja põhjuste uurimise ja DAR8130 – Energia ja geotehnika doktorikool II.

Viited:

1. *Erg, K, Pastarus, J.-R.* (2008). Hydrogeologic impacts in the Estonian oil shale deposit. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 22(4), 300 - 310.
2. *Jurkevitš, G. F., Adamson, A.* (1989) Põlevkivi kaevandamise tehnoloogia perspektiivsed arengusuunad. Tallinna Tehnikaülikooli Toimetised.
3. *Kravtšenko V. P., Kulikov, V. V.* (1974) Kõvastuva täitematerjali kasutuselevõtt kaevandamisel. Moskva. Vene keeles.
4. *Nikitin, O.* (2003) Optimization of the Room-And-Pillar Mining Technology for Oil-shale Mines. *Doktoritöö*. Tallinna Tehnikaülikool.
5. *Pastarus, J.-R., Otsmaa, M., Šommet, J., Pototski, A., Kuusik, R.* (2012) Improvement of Current Mining Technology in Estonian Oil Shale Mines.
6. *Pastarus, J.-R., Valgma, I., Väizene, V., Pototski, A.* (2011) Kaevandamise täitmisuuringud.
7. *Pastarus, J.-R., Adamson, A., Nikitin, O., Lohk, M.* (2010). Tagasitäitmisega kaevandamistehnoloogia kontseptsioon. Maapõue kasutamise arengud (29 - 32). Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus
8. *Pastarus, J.-R., Sabanov, S., Shestakova, J., Nikitin, O.* (2009). Risk analysis of the pillar strength in the Estonia mine. In: *Environment. Technology. Resources: Proceedings of the 7th Internationale Scientific and Practical Conference. June 25-27, 2009*: Rezekne 2009, Läti: Rezekne Augstskola Izdevnieciba, 2009, (Volume 1. Rezekne 2009. p. 291), 19 - 24.
9. *Pastarus, J.-R.; Väli, E.; Lohk, M.* (2009). Backfill technology - challenge for Estonian oil shale industry. *Resource Reproducing, Low-wasted and Environmentally Protecting Technologies of Development of the Earth Interior* (2 pp.). Tallinn: Department of Mining TUT; Russian University of People Friendship
10. *Reinsalu E., Toomik, A., Valgma, I.* (2002) Kaevandatud maa. TTÜ mäeinstituut.
11. *Repp, K. J., Vahrušev, L. K., Studzinski, S. A. jt.* (1968) Kunsttervikute materjalid ja nende valmistamise tehnoloogia. Moskva. Vene keeles.
12. *Sabanov, S., Pastarus, J.-R., Šestakova, J.* (2009). Залладка выработанного пространства в условиях Эстонских сланцевых шахт. Проблемы Недропользования. Записки Горного Института., 60 - 63.
13. *Šommet, J., Pastarus, J.-R., Sabanov, S.* (2011). Hydraulic conductivity testing method for all-in aggregates and mining waste materials. 10th International

Kaevandamine ja keskkond. Mäeinstituut 2012

- Symposium “Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering” and “Doctoral School of Energy and Geotechnology II”, Pärnu, Estonia, January 10 - 15, 2011 (122 - 126). Eesti Moritz Hermann Jacobi Selts
14. *Tsõgalov, M. N.* (1985) Kõrge saagikusega allmaakaevandamine. Moskva. Vene keeles.
 15. http://www.heidelbergcement.com/NR/ronlyres/38309E09-2F97-4023-9DC0-47621DEE6CD6/0/2003090103120606e_1999_06_a2.pdf
 16. VNIMI (1972). Tervikutega laekäitlusega kaevandamisviisi konstruktsioonelementide määramise ajutine juhend põlevkivikaevandustele; Leningrad. (vene keeles)