

9. Kaevandamisjätmetest valmistatud täitesegu katsetamine

Maris Leiaru

Maapõu koosneb erinevatest maavaradest, mida inimkond on kaevandanud ja kasutanud juba sajandeid, Eestis on arvele võetud 12, bilansiliselt peetakse ülevaadet aga 18 maavaral [8]. Üheks tähtsamaks maavaraks loetakse Eestis põlevkivi, mida on kaevandatud peamiselt elektrienergia tootmiseks enam kui 90.aastat. Eestis leidub kahte liiki põlevkivi: diktüoneemaargilliit ja kukersiit. Diktüoneemaargilliidis on madal orgaanika sisaldus varieerudes 10 – 20% vahel [24].

Põlevkivi kaevandamist alustati 1916. aastal, alguses kaevandati karjäärides, hiljem 1922. aastal liiguti maa alla. Kamberkaevandamise tehnoloogia võeti kasutusse 1960.aastatel [22]. Põlevkivi kaevandamisel tekivad suured kaod nii kaevandamise kui rikastamise käigus, mis on kujunenud tõsiseks probleemiks [21] ja millele otsitakse lahendust. Aastate jooksul põlevkivi kaevandamise ja töötlemise käigus tekkinud jäätmed on kuhjatud aherainemägedesse ehk jäätmehoidlatesse, hinnanguliselt on neisse ladestatud kuni 200 miljonit tonni aherainet. Täna paiknevad kuhjatud aherainemäed mitmete ettevõtete ja omavalitsuste territooriumitel [3].

Põlevkivi otse põletamisel tekkivat põlevkivituhka saab edukalt taaskasutada, see on väärtuslik side – ja täiteaine. Kasutamist leiab praegu ennekõike lendtuhk, mis püütakse kinni tsüklonites ja elektrifiltrites [18]. Kõige peenem püütakse kinni elektrifiltritega, veidi jämedam jääb tsüklonitesse ja kõige jämedam tuleb eemaldada kolletest. Koldetuhaga pole senini midagi ette võtta suudetud [17].

Lisaks põlevkivi kaevandamisel tekkivatele jäätmetele, on põlevkivi kaevandamisega kaasnev probleem kaevandamissügavus. Estonia kaevanduse tingimustes on praegusel kaevandamissügavusel hetkel 60 m. Probleemi lahendamiseks on läbi viidud uuringud kamberkaevandamise tehnoloogia kriitilise sügavuse määramiseks, kus ta oleks veel ökonoomne ja maavara kaod minimaalsed. Arvutused näitasid, et sügavusel 60 m on kaod tervikutes ~30 % , sügavamale minnes kaod suurenevad. Seega on jõutud juba kriitilise piirini. Kasutatav sammastervikutega kamberkaevandamise tehnoloogia ei ole nendes tingimustes efektiivne ning tstarbekas on välja töötada optimaalsed kaevandamissüsteemid. Üheks perspektiivsemaks variandiks on kaeveõõne täitmise tehnoloogia kasutamine [15].

Kasutades põlevkivituhka ja aherainet kaevanduse täitematerjaliks, väheneks ohtlike ainete maapinnale ladustamise maht ja pindala ning sellega seoses hoiaks ettevõtte kokku keskkonnatasude eest makstavate tasude pealt. Kaevanduste täitmise tehnoloogiat on kasutatud näiteks Poola Wieliczka soolakaevanduses [14,12]. Täitmise tehnoloogia väljatöötamine suurendaks kaevandamise ohutust ja altkaevandatud alade maapinna püsivust

Kaevandamine ja keskkond. Mäeinstituut 2012

ning lahendaks tootmisjääkide ja – jäätmete ladustamise probleeme. Täitmisega kaevandamine põhineb säästliku kaevandamise tingimustel [2, 23, 5].

Kaevandamise tardsegudega täitmise tehnoloogia uuringuid alustati 1980-ndatel aastatel, milles osalesid TTÜ mäeinstituut, Eesti Põlevkivi, Škotsinski nim. Mäendusinstituudi Filiaal Kohtla-Järvel, NIPI Silikaatbetooni instituut jne. Praktiliselt väljundiks oli Kiviõli kaevanduse sulgemine, kus täideti 30000 m³ kaeveõõsi maapealsete objektide kaitseks. Seega Eestil on olemas kogemused ja kompetents selles valdkonnas [14]. Tulemused kinnitasid tardsegude kasutamise võimalust ja otstarbekust allmaatehnoloogias. Väljatöötatud tehnoloogia arengut ja evitamist pidurdas vastava tehnika puudumine ja majanduslik otstarbekus. Tänapäeval on olukord kardinaalselt muutunud. On tekkinud nii majanduslik huvi kui ka vastavad tehnoloogilised lahendused [13]. Täitmisega tehnoloogia rakendamisel kaevandustes on suur positiivne mõju Eesti põlevkivitööstusele, sest võimaldab kokku hoida kuni 30 - 40 % varudest [15].

Mäeinstituudis katsetati kaevandamise jäätmetest valmistatud katsekehade survetugevusi, mille põhjal saab edasi arendada edasise katseid põlevkivituhha ja aherainega.

Katsetööde eesmärgiks oli leida sobivaim segu ehk suurima survetugevusega katsekeha segu. Segu koostamise aluseks on võetud ehitusinstituudi poolt koostatud katsekehade aruande tulemused [20] ja 1990. aasta katsetööde tulemused [1]. Saadud survetugevus näitas valmistatud katsekeha kvaliteeti.

Ehitusinstituudi poolt teostatud katsetes saadi suurim survetugevus, kui segu koostises oli 75% tuhka 25% täitematerjali. 1990.aastatel tehtud tulemused näitasid parimat survetugevust kui koostises oli 50% tuhka 50% täitematerjali. Katsekehade valmistamisel ja katsetamisel lähtuti standardist EVS-EN 12390-2:2009 Kivistunud betooni katsetamine. Osa 2: Tugevuskatse katsekehade valmistamine ja hoidmine [4].

Katsekehade valmistamiseks kasutati lubjakivikillustikku 8-16 mm, sideaine komponendina kasutati erinevaid põlevkivituhkasid: tsükloni -, elektrifiltri -, katlatuhk (vt Joonis 9-2 Kasutusel olevad põlevkivituhhad [20]); ja segu segamiseks vett. Liiva (sõelmete) asendajana kasutati mõningates segudes katla – ja tsüklonituhka. Katsetööde ajal valmistati kokku 8 segu, millest sai valada 8 kuubikut ja 16 silindrit (millest 8 silindrit läksid punktkoormustesti katsetuseks). Segud nummerdati 1..8ni, kuubikud tähistati alati tähega C; silindrid A ja B-ga.

Katsekehade segud koostati põhimõttel, et kahel järjestikusel segul (1 ja 2; 3 ja 4; 5 ja 6; ning 7 ja 8) on samasuguste komponentidega ja protsendilise sisaldusega koostis. Ainuke vahe on see, et segud 1, 3, 5, 7 jäävad pärast vormist vabastamist õhu kätte seisma, teised (2, 4, 6, 8) vette.

Kõiki katsekehi katsetati survepressi abil seitsme päeva vanuselt. Enne kui sai hakata määrama survetugevust, tuli katsetatav katsekeha kaaluda ja mõõta külgede pikkused. Kuna

Kaevandamine ja keskkond. Mäeinstituut 2012

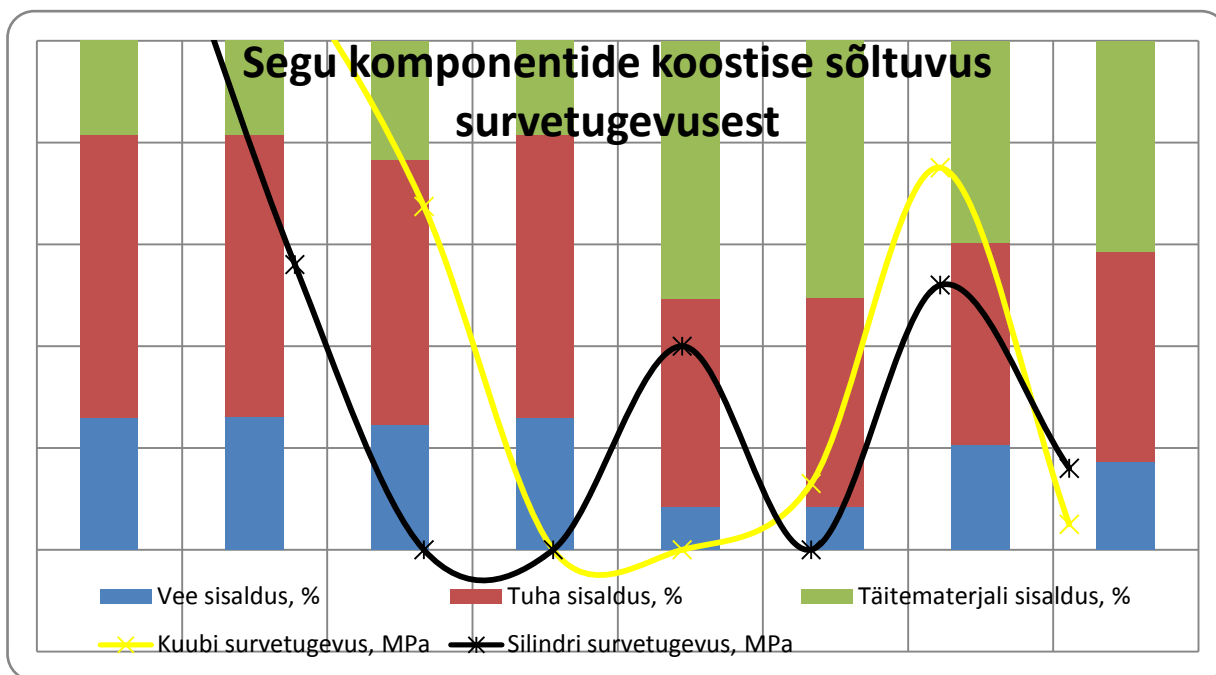
katsetatav kuubik oli mõõtmetega 100x100 mm, siis tuli saadav survetugevus läbi korrutada paranduskoefitsiendiga, 0,95 [19]

Survetugevus on üks tähtsamaid tahkunud betooni omadusi. Tavaliselt mõõdetakse 150x150 mm kuubikute survetugevust 28 päeva möödudes. Survetugevuse näit saadakse rakendades maksimaalset jõudu Newtonites, mis on jaotunud katsekeha pinnale [16].

Katsetööde käigus segati segusid ja katsetati tehiskivi vastupanuvõimet avaldatavale survele. Kõiki katsekehi katsetati seitsme päeva vanuselt. Enne kui sai hakata määrama survetugevust, tuli katsetatav katsekeha kaaluda ja mõõta kõikide külgede pikkused. Survetugevus saadi kirja kaheteistkümmel katsekehal, kusjuures survepress registreeris ametlikult kolm kuubiku ja kaks silindri tulemust. Tulemus loeti registreerituks, kui arvuti väljastas vastavad tulemuste lehed. Kuna katsetatav kuubik oli mõõtmetega 100 x 100 mm, siis tuli saadav survetugevus läbi korrutada paranduskoefitsiendiga, 0,95. Neljal korral oli katsekeha niivõrd nõrk, et tulemuseks saadi null. Seega katse ebaõnnestus kümnel korral. Põhjusteks võib pidada väikest kivistumise aega ja sellega seoses ei olnud katsekeha piisavalt tugev, et survepressile vastukoormust anda. Survetugevuse illustreerivaks näiteks on Joonis 9-1, mis kirjeldab katsekehade saadud survetugevust ja katsekehade koostist.

Suurim survetugevus saadi segul nr 1, kus katsetatava kuubi survetugevuseks oli (koos koefitsiendiga 0,95) 1,44 MPa, silindril 1,27 MPa (vt Tabel 9-1). Segu koosnes 25% täitematerjalist ja 75% tuhast. Kuid lähtuvalt standardist EVS-EN 12390 – 2:2009, kus on öeldud, pärast vormist vabastamist tuleb katsekehi hoida, kas kambris temperatuuril 20 ± 2 °C 95% relatiivse niiskuse juures või siis vees temperatuuril 20 ± 2 °C. Vaidluste korral loetakse etalonmeetodiks vees hoidmisel saadud tulemusi. Kuna katsekehi polnud võimalik hoida nõutud kuivades tingimustes, siis tuli antud segu retsepti korrata ja pärast kahepäevast vormis hoidmist vette seisma panna. Saadi, et segul nr 2 oli silindri survetugevus 0,56 MPa, kuubil (koos koefitsiendiga 0,95) 1,12 MPa. Segud 1 ja 2 olid tahked ja neid pidi vardaga tihendama. Antud meetodi juures on arvestatav tulemus segul nr 7, (vt Joonis 9-3 Survetugevuse katse [9]) kus silindrilise katsekeha survetugevus oli 0,75 MPa, kuubikul 0,52 MPa, segu oli voolav ja ei pidanud tihendama. Segu nr 4 ebaõnnestus, sest survetugevust ei saanud katsetada, kuna pärast veest võtmist olid katsekehad niivõrd pudedad, et lagunesid koost.

Võrreldes standardsete vormi mõõtudega, siis kõik segud paisusid kivistudes. Vees olevad tehiskivid paisusid keskmiselt 15%, kuivades oludes seisnud katsekehad paisusid ligikaud 3%.



Joonis 9-1 Segu komponentide koostise sõltuvus survetugevusest

Tabel 9-1. Segude koostised

Segu	Betooni koostis		Tuha koostis	Vesi	Survetugevus, MPa	
	Tuhk	Täitematerjal			Kuup	Silinder
1	55%	19%	1-K 20%; 2-K 80%	26%	1,44	1,21
2	55%	19%	1-K 20%; 2-K 80%	26%	1,12	0,56
3	52%	23%	filtrituhk 100%	24%	0,67	-
4	55%	19%	filtrituhk 100%	26%	-	-
5	41%*	51%	1 K-A 50%; tsüklonituhk 50%; filtrituhk 13%	8%	-	0,4
6	41%*	51%	1 K-A 50%; tsüklonituhk 50%; filtrituhk 13%	8%	0,13	-
7	40%	40%	filtrituhk 100%	20%	0,75	0,52

Kaevandamine ja keskkond. Mäeinstituut 2012

8	41%	42%	filtrituhk 100%	17%	0,05	0,16
---	-----	-----	-----------------	-----	------	------

Saadud katsetused näitavad, et põlevkivituhka saab tõepoolest kasutada sideainena. Esimeses segus kasutati katla – ja tsüklonituhka sideaine asendajana, mis jätsid segu kuivaks, vesi imbus kiiresti. Katla – ja tsüklonituhaga segu katsetamise edasiarendamisel peaks veekogust suurendama. Ülejäänud katsetes kasutati sideainena elektrifiltrituhka, mis jättis segu vedelaks ehk valatavaks. Kui eesmärk on saada vedel segu, siis peaks täitematerjali kogust vähendama, vee sisaldus peaks jääma 20% sisse. Kuna põlevkivituhast katsekehade valmistamine on seotud kaevanduste täitmisega, mis võimaldaks väljata rohkem maavara ja stabiliseerida maapinda, siis antud tehiskivide töö põhjal saaks uurida, millise koostisega segu edasi arendada, mida oleks võimalik katsetada reaalsetes katsetöödes. Edasistes töodes ei tohiks survetugevust testida seitsme päeva vanuste katsekehadega, vaid näiteks 28, 56, 112 jne päeva vanuste katsekehadega.

Kui kasutada põlevkivi aheraine fraktsiooni 32 – 64 mm, siis kuluks tuhka rohkem, kuna peenike osa (tuhk) täidaks suurte kivide vahele tekkivaid tühimikke. Seega kasutades väiksema fraktsiooniga täitematerjali, kuluks tuhka vähem.

Kokkuvõte

Eesmärgiks oli leida sobivaim segu ehk leida suurim survetugevuse näitaja. Kokku valmisati kaheksa segu, millest saadi 16 tehskivi, survetugevus saadi kirja kaheteistkümnelt korral, millest survepress registreeris tulemuse viiel korral. Ülejäänud tulemused loeti masina ekraanilt. Suurim survetugevus oli segul nr 1, 1,44 MPa, kuid selle segu miinuseks oli, et segu oli valamatu, jäi liiga tahke. Hea tulemuse andis ka segu nr 7, mille survetugevus oli 0,75 MPa, see segu oli vormi pannes voolav. Paremate tulemuste saamiseks tuleks katsekehi lasta kauem kuivada (või hoida kauem vees) ehk täitemassiivi tugevus sõltub tardumisajast [9]. Antud tulemuste põhjal võib hinnata parimaks seguks segu nr 7, kuna see segu oli voolav ja survepress registreeris ka ametliku tulemuse. Edasistes katsetustes tuleks lähtuda just sellest segust ning lasta katsekehal kauem kuivada või vees seista.

Artikkel on seotud järgnevate Mäeinstituudi uuringute ja projektidega: AR12007 – Põlevkivi kadudeta ja keskkonnasäästlik kaevandamine, projektiga AR10127 – Tuhk - Põlevkivi põletamisega kaasnevate tahkjäätmete uute kasutusvaldkondade alused, VIR 491 MINNOVATION - Kaevandamise ja kaevandamisjääkide/jäätmete uuringud Eestis ja Läänemere piirkonnas ja ETF78123 - Täitmine ja jääkide (jäätmete) haldamine Eesti põlevkivitööstuses.

Viited:

1. Adamson, A. (1990) Отчет исследование вариантов управления горным давлением с закладкой выработанного пространства отходами промышленности. АМ – 8017/2. Tallinn

2. D' Obyrn, K.(2012) The stabilization of the rock mass of the wieliczka salt mine through the backfilling of the witos chamber the use of injection methods
3. Eesti Energia. Aastaruanne 2010.
4. EVS-EN 12390-2:2009 Kivistunud betooni katsetamine. Osa 2: Tugevuskatse katsekehade valmistamine ja hoidmine
5. Guo, GL., Feng, WK., Zha, JF., Liu, YX., Wang, Q., (2011). Subsidence control and farmland conservation by solid backfilling mining technology
6. <http://forte.delfi.ee/news/smart/article.php?id=56067684&categoryID=40758612>
29.04.2012
7. https://www.energia.ee/-/doc/pdf/concern/environmental_report_2010_est.pdf
8. Leiaru M., Kukk R., Karu V. (2011). Eestimaa ressursid – Schola Geologica VII meened esinejatele. Rmt.: Verš E., Preeden U., Lang L. (toim) *Maa ressursid. Schola Geologica VII*. Tartu: Eesti Loodusuurijate Selts. (lk 117)
9. Leiaru M., Survetugevuse katse pilt.
<http://kaevandamisjaatmed.blogspot.com/2012/05/kaevandamisjaatmetest-valmistatud.html?spref=bl> (25.05.2012)
10. Leiaru, M. Põlevkivituhad <http://maeopik.blogspot.com/2012/05/polevkivituhad.html>
23.05.2012
11. Leiaru, M. Survetugevuse katse <http://maeopik.blogspot.com/2012/05/survetugevuse-katse.html> 23.05.2012
12. Pastarus, J. R., I. Valgma, Ü. Sõstra. Süsihappagaasiga neutraliseeritud põlevkivituha ladustamine. www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=967273/MI.pdf
15.05.2012
13. Pastarus, J.-R.; Valgma, I.; Robam, K. (2011). Täitmise tehnoloogia ja kaevandusvesi. Valgma, I. (Toim.). Kaevandamine ja vesi (70 - 72). Tallinn: TTÜ mäeinstituut
14. Pastarus, JR, Valgma, I., Adamson, A. (2008). Põlevkivi kasutamise jätkusuutlikkusest.
15. Pastarus, J-R.; Adamson, A.; Nikitin, O.; Lohk, M. (2010). Tagasitäitmise kaevandamistehnoloogia kontseptsioon. Västriku, A.; Niitlaan, E.;
16. PMW Central Service. Putzmeister AG, Concentrate Technology for Concentrate Pumps edition 94/2007. Germany: Print Rr mediangmbH. (lk 15)
17. Puura, E. Mida põlevkivituhast tegelikult teha annaks ja võiks?
18. Põlevkivi kasutamise riiklik arengukava 2008 – 2015. <http://www.envir.ee/232764>
12.05.2012
19. Raado ML. (2010). Ehitusmaterjalid loengukonspekt.
20. Raado, L-M. (2008). Põlevkivi kaevandamis – ja töötlemisjäätmete kasutamine tagasitäiteks kaevandatud aladele. Tallinn: Tallinna tehnikaülikooli ehitustootluse instituudi ehitusmaterjalide teadus –ja katselaboratoorium.
21. Raukas, A., JM Punning. (2009). Environmental problems in the Estonian oil shale industry. ENERGY & ENVIRONMENTAL SCIENCE
22. Valgma, I. (2003). Estonian oilshale resources calculated by GIS method.

Kaevandamine ja keskkond. Mäeinstituut 2012

23. Valgma, I., Leiaru M., Karu, V., Iskül, R. (2011). Sustainable Mining Conditions in Estonia
24. Vali, E. Valgma, I. Reinsalu, E. (2008). Usage of Estonian oil shale

Lisa:



Joonis 9-2 Kasutusel olevad põlevkivituhad [20]



Joonis 9-3 Survetugevuse katse [9]