

Põlevkivituhaga tagasitäitmise teostatavus ning mõju põhjaveele

Madis Osjamets

Eesti Geoloogiateenistus, Tartu Ülikooli ökoloogia ja maateaduste instituut

Põlevkivi kaevandamise tagajärjel paikneb suur osa Kirde-Eesti territooriumist altkaevandatud alal. Mõnedel nendel aladel põhjustab toimunud kaevandustegevus endiselt ohtu maapinna ja seal asuvate rajatiste püsivusele. Piirkonna asustustihedus on sealjuures suurem just nendel aladel, kus kaevanduste pealse katendi paksus on väiksem ja oht maapinna püsivusele suurem. Endiste kaevandusalade stabiilsuse tagamiseks on mujal maailmas levinud praktika kaevanduste tagasitäitmine (Gray 2020; Watson jt 2019). Tagasitäitena on kasutatav segu, mis on keskkonnale piisavalt ohutu, odav ja tagab kaevandustühimikesse viiduna nende kohal asuva maapinna stabiilsuse (Shen jt 2017). Eestis on seni kaevandusala stabiliseerimiseks tagasitäitmist kasutatud vaid üksikutel juhtudel. Seniste uuringute alusel võiks tagasitäite materjaliks sobida põlevkivituhk (Puura jt 2009; Pastarus jt 2013; Siitam 2016). Põlevkivitööstus, mille toorme saamiseks on kaevandused rajatud, toodab ise heitmetena suures koguses põlevkivituhka, millele pole kaasajal mastaapset kasutust leitud. Tartu Ülikool koostöös Eesti Geoloogiateenistusega viis aastatel 2021 kuni 2023 läbi tagasitäite uuringu, mille eesmärgiks oli põlevkivituhast tagasitäite poolt põhjaveele avalduvate mõjude prognoosimine ja mõõtmine ning täitesegu maa alla pumpamise tehnoloogilise teostatavuse katsetamine (Osjamets jt 2023).

Töö käigus täideti Kohtla-Järve linnas asuv 10 meetri pikkune kaevanduskäigu lõik põlevkivielektrijaamast pärineva lendtuha ja vee seguga. Katsetati mujal maailmas levinud maapinnalt seguga tagasitäitmise meetodika sobivust põlevkivituha segust tagasitäitele. Tagasitäite pumpamiseks kaevanduskäiku puuriti 6 spetsiaalset puurauku, mille sisse paigaldati kaevanduse põhja ulatuv täitetoru. Kokku kasutati katses 74 m³ põlevkivi lendtuha, mis kaevanduskäiku pumbatuna moodustas keskmiselt 1,6 meetri paksuse tuhkbetooni keha. Katses kasutatud lendtuhk pärines Eesti elektrijaama kuivsilost ja see transporditi katsealale kinnise autoga. Katsealal segati tuhk veega sama transporti teostanud auto kinnises süsteemis nii, et puudus vajadus tuha vaheladustamiseks (joon. 1). Kasutatud tuha käitlemine ja segamise viis oli mugav ja häiringuvaba, kuid täitmise jõudlus madal. Kokku kulus segu segamiseks ja pumpamiseks koos tuha transpordiga 13 päeva. Täitmise kiirust oleks võimalik tõsta mitme segurauto kasutamisega, mis vähendaksid tuha transpordi tõttu tekkinud seisakuid. Veelgi suurema jõudluse tagaks võimsamate segumasinate kasutamine ja tuha kohapealne hoiustamine.

Tänapäeval tööstuses tekkivat põlevkivituhka pole suuremas koguses tagasitäitmiseks kasutatud. Seega oli töö üheks eesmärgiks leida täitmiseks sobiv põlevkivituhahal põhineva segu retsept. Tagasitäite segule on üldiselt olulised kriteeriumid, et see oleks pumbatav, saavutaks tardudes piisava tugevuse maapinna stabiliseerimiseks, oleks odav ning ei halvendaks oluliselt ümbruskonna veekeskkonda. Mujal maailmas kasutatakse täitesegudes täiteainena enim kaevandamise kõrvalprodukte ja sideainena tsementi, kivisöetuhka, räbu, purustatud lubjakivi ja lupja (Behera jt 2021). Tagasitäitmise katse käigus mõõdeti olulisemate parameetrite selgitamiseks segu veesisaldust, voolavust, segu pinnale tekkiva „vaba vee“ hulka, mahumuutust tardumisel, mineraloogiat ja leostusomadusi ning tuhkbet-

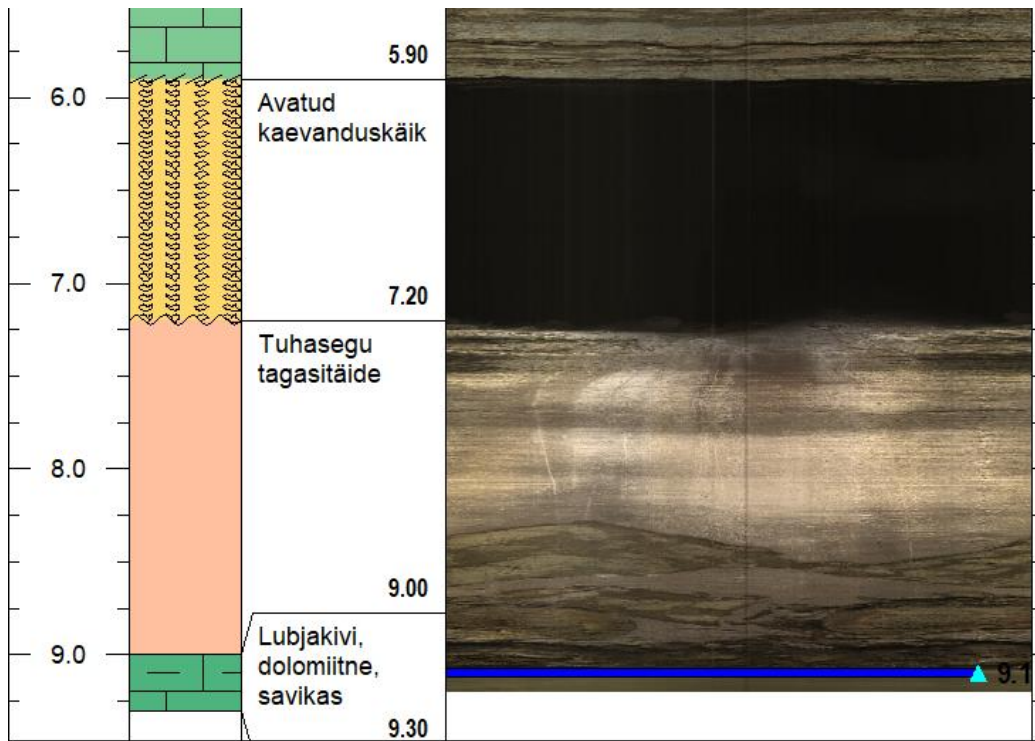


Joonis 1. Täitesegu segamine ja pumpamine kaevandusse läbi selleks puuritud tagasitäite puuraukude.

tooni survetugevusi. Kaevanduskäigus kivistunud tuhkbetooni uuriti südamikpuurimisel võetud proovidega ning puuraugus tehtud geofüüsikaliste vaatlustega. Käigus kivistunud põlevkivituhast tagasitäite moodustas ühtlase lõhedeta täitekeha (joon. 2). Proovimaterjali andmetel saavutab segu hüdratiseerudes ja kivistudes kiiresti maapinna stabiliseerimiseks piisava survetugevuse. Põlevkivi lendtuhk on tagasitäite segudes oma omadustelt sarnane mujal tagasitäite sideainena kasutatava kivisöe lendtuhale. Peamiseks põlevkivi lendtuha eeliseks täitesegu on stabiliseerimiseks piisavad isetsementeeruvad omadused. Levinuimad kivisöetuhad vajavad tsementeerumiseks tuhast suurusjärgu võrra kallima tsemendi lisamist. Põlevkivituha puuduseks võrreldes kivisöetuhaga on suurem veevajadus ja kuiva tuha käitlemise keerukus. Katsete tulemustel leiti, et täitmiseks sobiva voolavusega segu veesisaldus peaks jääma vahemikku 0,65–0,70. Selline segu on pumbatav, ei ummistanud täitmisvoolikuid ning segust ei eraldunud olulises koguses vaba vett.

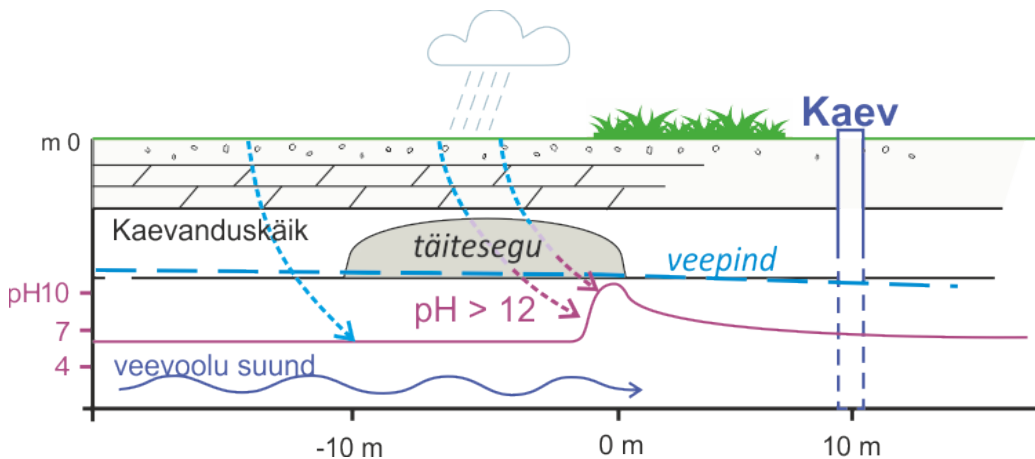
Katseala lähiümbruses jälgiti 1,5 aasta jooksul tagasitäitmise mõjusid põhjaveele ning hinnati nende prognoositavust hüdrokeemilise modelleerimisega. Ümber katseala rajati neli vaatluskaevu, milles tehti automaatanduritega pidevvaatlusi ning võeti regulaarselt veeproove. Katseala läbilõike ja tagasitäitmise mõju kontseptuaalne mudel põhjavee pH näitel on esitatud joonisel 3. Joonisel on näha, kuidas kivistunud tagasitäitega kokkupuutuv ülalt infiltreeruv vesi mõjutab tagasitäite lähipiirkonna põhjavett.

Põhjaveele avalduva mõju hindamiseks koostatud mudel prognoosis aluselise tuha-seguga kokkupuutuva ja kõrgenenud leeliselisusega vee mõju lähiümbruse põhjaveele. Seni on labori leostuskatsete põhjal teada, et tagasitäiteks kasutatud põlevkivi lendtuhk muudab vesilahuse tugevalt aluseliseks $\text{pH} > 12$ (Irha jt 2014). Veeskeskkonda viies seguneb



Joonis 2. Kaevanduskäigus 28 päeva tardunud tagasitäide. Väljavõte puuraugu geotulbast ja 360° fotost.

tuhkbetooniga kokku puutuv vesi põhjaveega. Sellisel vee segunemisel avalduvaid protsesse imiteeriti uuringus hüdrogeokeemilise modelleerimisega, mille tulemused näitasid tuhavee kiiret puhverdamist põhjavees oleva HCO_3^- iooni poolt. Katsekeha vahetus läheduses prognoosis mudel tuhkbetooniga kokkupuutuv vee põhjavee pH tõusu 0,35 ühiku võrra; 10 meetri kaugusel katsekehast oli mõju taandunud. Muudest mudeldatud põhjavee keemiliste muutuste prognoosidest oli märkimisväärseim sulfaatiooni sisalduse tõus.



Joonis 3. Katseala skemaatiline läbilõige ja tagasitäitmise mõju kontseptuaalne mudel põhjavee pH-le.

Põhjavee vaatlused üldiselt kinnitasid geokeemilise mudeli prognoositud sisalduste muutuste dünaamikat. Tagasitäitekehast 10 meetri allavoolu jäävas vaatluskaevus tõusis täitmise ajal pH kuni 0,5 ühikut ning pärast täitmist langes pH kiiresti tagasi looduslikule tasemele. Katse tulemuste põhjal ei ole Eesti põlevkivikaevanduste alal kasutatud tuhaseguga tagasitäitmisel põhjavee pH kõrgenemine probleemiks. Sulfaadisisaldus põhjavees on aga ammendunud kaevanduste tõttu reeglina põlevkivi kaevanduste alal, kus tagasitäitmist rakendada, juba looduslikust tasemest kõrgem. Põlevkivituhaga tagasitäitmise mõjul tõuseb täiteala vahetus läheduses sulfaadisisaldus veelgi. Keskkonnakaitseliselt ongi see tagasitäitmise puhul kõige olulisem mõju. Seetõttu ei ole mõistlik põlevkivituhaga tagasitäitmist teha maapinnalähedase põhjaveekihi joogiveekaevude toitealadel. Tihedama asustusega kaevandusaladel ei ole tegu väga piirava faktoriga, sest joogiveekaevusid on seal vähe ning veevarustus on reeglina lahendatud tsentraalveega.

Uuringu tulemused on ühest küljest kasulikud riigi ametkondadele, kes tegelevad korastamata kaevandusalade ja neist tulenevate ohtudega ning otsustavad ka stabiliseerimisprojektide lubamise. Teisalt on uuringus kirjeldatud täitesegu omadused sisendiks ettevõtetele, kes võiksid tulevikus kaevandusala tagasitäitmist läbi viia. Uuringus saadud teadmisi saab kasutada ka põlevkivisektor, mille tegevuse tõttu toimub allmaakaevandamine ja kaasneb kaevandus- ja tööstusjäätmete teke. Põlevkivitööstusel on riiklike regulatsioonide, kliima ning ressursitõhususe eesmärkide tõttu vajadus edendada ringmajanduse põhimõtteid oma tootmisprotsessis.

Kirjandus

- Behera, S. K., Mishra, D. P., Singh, P., Mishra, K., Mandal, S. K., Ghosh, C. N., Kumar, R., Mandal, P. K. 2021. Utilization of Mill Tailings, Fly Ash and Slag as Mine Paste Backfill Material: Review and Future Perspective. *Construction and Building Materials*, **309**, 125120. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125120>.
- Gray, R. E. 2020. Subsidence over Abandoned Mines: US Experience. *Rmt Surface Subsidence Engineering: Theory and Practice*. Peng, S. (toim), Csiro Publishing, lk 131–160.
- Irha, N., Uibu, M., Jefimova, J., Raado, L.-M., Hain, T., Kuusik, R. 2014. Leaching Behaviour of Estonian Oil Shale Ash-Based Construction Mortars. *Oil Shale*, **31**, 4, 394–411. <https://doi.org/10.3176/oil.2014.4.07>.
- Osjamets, M., Mõtlep, R., Liira, M. 2023. Altkaevandatud alade stabiliseerimine põlevkivitööstuse jääkmaterjalidega. KIK Projekt nr 18416. Tartu Ülikooli ökoloogia ja maateaduse instituut, Eesti Geoloogiateenistus, TÜ Maapõueressursside arenduskeskus.
- Pastarus, J. R., Shommet, J., Valgma, I., Väizene, V., Karu, V. 2013. Paste Fills Technology in Condition of Estonian Oil Shale Mine. *Rmt Environment. Technologies. Resources. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*, Vol. 1, lk 182–185.
- Puura, E., Mõtlep, R., Kriiska, K. 2009. Põlevkivi kaevandamis- ja töötlemisjääkide kasutamine tagasitäiteks kaevandatud aladel: keskkonnamõjude hindamine. TÜ ja TTÜ.
- Shen, B., Poulsen, B., Luo, X., Qin, J., Thiruvengkatchari, R., Duan, Y. 2017. Remediation and Monitoring of Abandoned Mines. *International Journal of Mining Science and Technology* **27**, 5, 803–811. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.07.026>.
- Siitam, L.-O. 2016. „Põlevkivi kaevandatud ala täitmisega lankkaevandamise tehnoloogiliste võimaluste uuringud Narva karjääri tingimustes“. Magistritöö, Taltech, Energeetikateaduskond, Mäeinstituut. Tallinn. 70 lk.
- Watson, P. D., Dennehy, J. P., O'Neill-Gwilliams, S., Parry, D. N., Fraser, I. W. 2019. Ground Treatment and Remediation of Workings. *Rmt Abandoned mine workings manual*, Parry, D. N., Chiverrell, C. P. (toim). CIRIA, London, UK, Vol. C758D, lk 354–414.