

"Virumaa maavarade võimaliku kaevandamise keskkonnamõjud põhja- ja pinnaveele ning maastikule keskkonnageoloogiliste mudelitega analüüsituna koos alternatiivsete leevendusmeetmetega"

---

Köide 8. Leevendusmeetmete valik ja majanduslik hinnang

---

## Sisukord

1. Sissejuhatus .....	3
2. Kaevanduse tagasitaitmine .....	4
2.1. Tagasitaitmise tehnoloogiad.....	4
2.2. Eelised ja tulud, puudused ja kulud.....	4
2.3. Kanada praktika.....	6
2.4. Euroopa praktika .....	6
2.4.1. Cleveland Potash Ltd näide.....	8
2.4.2. Saksamaa näited .....	8
2.5. USA praktika.....	9
2.6. Austraalia praktika .....	10
2.7. Kokkuvõte .....	11
3. Põhjavee ringpumpamine .....	15
4. Põlevkivi kaevanduse uputamine plokkide kaupa .....	17
Kasutatud ja viidatud kirjandus.....	19

## 1. Sissejuhatus

Hüdrogeoloogiline modelleerimine (kõide 4) kinnitas, et nii fosforiidi kui ka põlevkivi kaevandamine põhjustab põhjaveežiimi muutusi. Olenevalt geoloogilisest ehitusest ja kasutatavast tehnoloogiast on mõjud nii põhjavee kogusele kui ka vee keemilisele koostisele. Käesolevas peatükis käsitletakse kolme leevendusmeetet ja nende majanduslikku mõju.

Fosforiidi kaevandamisel sõltub põhjaveele tekitatava mõju ulatus sellest, kas kaevanduse kohal lasuvad veepidemed purunevad või mitte. Katendi purunemise vastu aitab kõige tõhusamalt kaevanduse tagasitäitmine. Järgnevalt antakse ülevaade kaevanduste tagasitäitmise maailmapraktikast ja mõningatest materjalidest, mida saaks Eestis täitena kasutada.

Fosforiidi kaevandamise korral kujuneb Ordoviitsiumi-Kambriumi veekihti ulatuslik survetaseme alanduslehter. Kaevanduse kuivana hoidmiseks tuleb veetaset alandada kümneid meetreid ja see mõjutab oluliselt veetasemeid paarikümne kilomeetri raadiuses. Ühe leevendusmeetmena testiti kaevanduse lähedal põhjavee väljapumpamist et see siis mõned kilomeetrid eemal veekihti tagasi juhtida. Peatükis käsitletakse ringpumpamisega seotud kulusid ja tulusid.

Põlevkivi kaevandustesse voolab võimalike fosforiidi kaevandustega võrreldes oluliselt rohkem vett, kuna kaevanduse peal olevad veepidemed lekivad. Kaevandusse sissevoolava vee hulk kasvab proportsioonis kaevanduse pindalaga suurenemisega. Allpool käsitletakse kaevanduse osade kaupa sulgemist kui leevendusmeetet.

## 2. Kaevanduse tagasitaitmine

### 2.1. Tagasitaitmise tehnoloogiad

Söekaevanduste tagasitaitmine liiva ja vee seguga sai alguse USA-s Anthracite'i regioonis juba üle 100 aasta tagasi (otseseks põhjuseks oli välistada kiriku vajumine) ning levis sealt Euroopasse samuti juba XX sajandi alguses. Uus tagasitaitmise laine käivitus USA-s 1960ndatel-1970ndatel aastatel, täitmistehnoloogia massrakenduse põhjustas vajadus saada kätte rohkem sütt ja vähendada vajumisi tühjade kaevanduskäikude kohal.

Praeguseks on kaevanduste tagasitaitmine muutunud laialdaseks ja tavapäraseks praktikaks ning on arenenud mitmed erinevad tehnoloogilised lahendused. Veebisait [1] toob lühidalt ja konkreetselt välja neli erinevat tüüpi materjali, mida kasutatakse allmaakaevanduste tagasitaitmiseks:

- Pulp – suure veesisaldusega tööstusjääkidest eemaldatakse vesi, nii et tahke aine osakaal ületab 75%, ning materjal pumbatakse maa alla, vajaduse korral lisatakse sideaineid.
- Vesiliiv – jääkidest eraldatakse liivafraktsioon ning pumbatakse maa alla, vajaduse korral lisatakse sideaineid.
- Tsementeeruv täidis – leiab kasutamist juhul, kui on vaja vabaneda näiteks kaevanduse aherainest ning suurendada kaevanduse toodangut tavatehnoloogias alles jäetavate tervikute arvel, sellisel juhul pumbatakse tsemendilahus peale aherainega täitmist maa alla ning viimane tsementeerib pooriruumi või toimub tsementeeruva aine ja täitematerjali segamine vahetult enne kaevandusse pumpamist.
- Kuiv täidis, milleks on aheraine, liiv, kruus või muud tööstusjäägid – kallutatakse avatud kaevanduskäikudesse.

### 2.2. Eelised ja tulud, puudused ja kulud

Veebisait [1] ja [2] toovad välja ka **allmaakaevanduste** tagasitaitmise eelised ja tulud ning puudused ja kulud.

Eelised ja tulud:

- Maapinnal on vähem jäätmekäikmeid, positiivne visuaalne mõju ning positiivne mõju maakasutusele.
- Võimalus kaevandada tervikuid, mida poleks muidu kaevandada saanud.
- Kaevandust toetav funktsioon, sissevajumiste riski vähenemine.
- Efektivsem ventilatsioon kaevandatavas osas.
- Kui kaevanduses tekib veereostus (näiteks sulfaadid), siis tsementeeritud tagasitaitide võib aidata piirata reostuse levikut.

Puudused:

- Kõrge hind, eriti juhul, kui kasutatakse tsementeerivaid sideaineid, vajadus lisatööjõu ja eritehnika järele (samas, olenevalt kohalikust tööhõivest, võib täiendav tööhõive olla regioonile positiivne).

- Kõrge veesisaldusega jäätmete puhul on vajalik veesisaldust vähendada.
- Toob kaasa kaevandusplaanide muutuse, probleemide korral on kaevandusplaanid tagasitäitmisest sõltuvuses.
- Vedela täidise korral veeldumise oht.
- Täitematerjali kui toetuse kokkuvarisemise oht, näiteks lõhkamistöde käigus tervikute väljamiseks.
- Põhjaveereostuse oht täidisest välja leostuvate ühendite poolt.

Tööstusjääkide kasutamine karjäärade korrastamisel omab peamiselt kahte positiivset keskkonnakaitselist ja sotsiaal-majanduslikku mõju: kaevandatud maa taastamine kasutuskõlblikuks majanduslikult kasulikult ja keskkonnakaitseliselt lubataval viisil, ning kõrvaldades vajaduse kasutada maad tööstusobjektide ümbruses jääkide ladustamiseks (Ward et al. 2006).

**Karjäärade** korrastamisel on eelised ja tulud ning puudused ja kulud oluliselt erinevad allmaakaevanduste täitmisest:

Eelised ja tulud:

- Maapinnal vähem jäätmeid, positiivne visuaalne mõju ning positiivne mõju maakasutusele.
- Võimalus täita peale kaevandamist karjääridesse jäävad transporditeed jm suuremad negatiivsed pinnavormid.
- Pinna- ja põhjaveerežiimi parem reguleerimine vettpidavate kihtide loomise kaudu.
- Efektiiivse kasvukihi loomine taimestiku arenguks.
- Võimalus kasutada jäätmeid kaevandusteede jm palju täitematerjali nõudvate objektide rajamisel töötavates karjäärides, juhul kui jäätmed on selleks sobilikud.

Puudused:

- Võimalik kõrge hind, eriti juhul, kui kasutatakse tsementeerivaid sideaineid vettpidavate kihtide loomisel, vajadus lisatööjõu ja eritehnika järele (samas, olenevalt kohalikust tööhõivest, võib täiendav tööhõive olla regioonile positiivne).
- Vajalik on luua korrastamisplaan koos karjääri kaevandamisplaaniga ning arvestada kasutatavate jääkide mahu ja kvaliteediga (Eestis nõutud).
- Võimalik vajadus jääke eelnevalt töödelda või stabiliseerida.
- Põhjaveereostuse oht täidisest välja leostuvate ühendite poolt.

Veebisait [3] annab ülevaate täitematerjalide põhilistest parameetritest koos kommentaaridega, miks need on olulised. Lisaks tehnilistele parameetritele (erikaal, veesisaldus, poorsus, granulomeetria jne) on oluline ka täitematerjali mineraloogia, sest mõned mineraalid (portlandiit e kaltsiumhüdrokksiid, sulfaadid jne) lagunevad ja lahustuvad aja jooksul, põhjustades tsementeerituse nõrgenemist, samuti võib sõltuvalt mineraalide kristallide kujust tekkida diferentseerumine juba vett sisaldava täitematerjali settimisel.

Selle analüüsi põhjal on aheraine kasutamine kaevanduste tagasitaitmisel võrreldes teiste tööstusjäätmetega (nt põlevkivituhk, keemiatööstuse jäätmed) väiksemate probleemidega põhjaveereostuse suhtes.

### 2.3. Kanada praktika

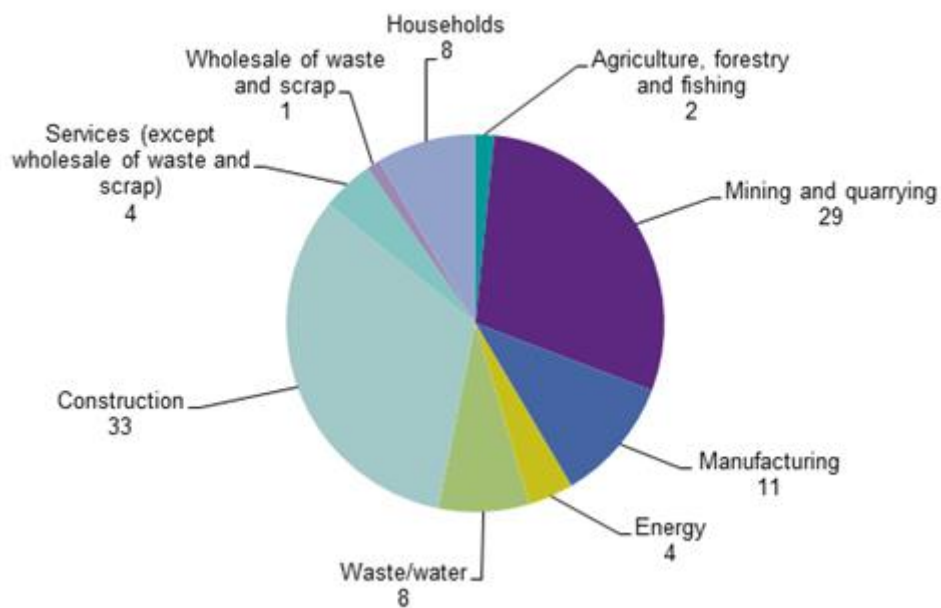
Allmaakaevanduste tagasitaitmine on eriti levinud praktika Kanadas, kus hinnanguliselt 66-75% kaevanduste tühimekest täidetakse. Eriti oluline on kogu maagikeha kättesaamine kõige suurema tonnihinnaga maavarade puhul.

Kanada Sudbury kaevanduslahenduste ajakiri [4] annab ülevaate kaevanduste tagasitaitmisega seonduvatest põhimõtetest. Peamiseks põhimõtteks on see, et tagasitaitmine peab olema majanduslikult efektiivne ning täidis peab käituma vastavalt prognoosile. Täitematerjalide kohta kehtivateks põhinõueteks on odavus, kättesaadavus ja piisavalt hea ning prognoositav käitumine peale täitmist.

Aheraine kasutamine aitab maandada kaevanduskäikude võimaliku kokkuvarisemisega kaasnevad riskid ning välistada keskkonnamõjud, mis kaasnevad aheraine paigutamise ja maapinnale (Sheshpari 2015).

### 2.4. Euroopa praktika

Eurostati andmeil [5] tekib Euroopa Liidu 28 riigis üle 2.5 miljardi tonni tahkeid jäätmeid aastas, sellest kaevandusjäätmed moodustavad 29% (2012. aasta andmed). Eestis oli 2012. aastal vastav osakaal 43% (9.3 Mt kaevandusjäätmeid 22.0 Mt koguhulga juures). Euroopa Liidu riikidest tekib enim kaevandusjäätmeid Rumeenias (223 Mt), järgnevad Bulgaaria (141 Mt), Rootsi (129 Mt), Poola (68 Mt), Soome (53 Mt), Kreeka (47 Mt), Suurbritannia (24 Mt) ja Hispaania (23 Mt), Eesti on 9.3 Mt-ga 9. kohal.



Joonis 1. Jäätmete teke Euroopa Liidus [5].

Detailsematest ülevaadetest on Eurostat kaevandusjätmed välja arvanud, kuna tegu on lihtsalt maapõuest välja toodud materjaliga, mille kogus ja omadused varieeruvad vastavalt kaevandamise meetodile (peamiselt sõltudes sellest, kas tegu on all- või pealmaakaevandustega) ning maardla ja maavara iseloomule.

Euroopa Liidu projekt MIN-NOVATION kirjeldas kaevandamisega ja kaevandusjätmetega seotud probleematikat ja parimate tehnoloogiate kasutamise edulugusid Soomes, Saksamaal, Norras, Poolas, Rootsis ja Eestis. Seejuures toodi näiteid ja kirjeldusi ka kaevanduste tagasitaitmise kohta aheraine abil.

Lovisagrivan Rootsis on 1989. aastal rajatud Zn-Pb-Ag kaevandus. Igal aastal toodetakse 37 500 tonni maaki ning maapinnale tuuakse ka 31 000 tonni aherainet. Aastail 1992-2004 töötati välja tagasitaitmise meetodika ning aastast 2005 on see kasutuses. Tagasitaitmise abil õnnestub tagada eelkõige kaevanduskäikude stabiilsus varingute vastu [6].

Zinkgruvan Rootsis on Zn-Pb-Ag kaevandus, rajatud juba 1857. aastal, aastast 2011 toodetakse ka vaske (Cu). Aherainet kasutatakse nii tammide ja teede rajamisel kui täitematerjalina müügiks, rikastusvabriku jäägid segatakse tsemendiga ning kasutatakse tagasitaitmiseks, võimaldades tõsta maagi kättesaadavuse peaaegu 100%-ni. Tagasitaitmisele kuulub 0,75-0,90 Mt rikastusjääke aastas [3].

Garpenberg Rootsis on Zn-Pb-Ag kaevandus juba aastast 1300, aheraine kasutus analoogne Zingruvaniga [6].

KGHM Polska Miedz SA Rudna on vasekaevandus Poolas, kaevandatakse 840-1250 m sügavuselt. Euroopa suurim vasekaevandus, toodetakse 10 Mt vasemaaki aastas. Aheraine kasutatakse tühimike tagasitaitmiseks, vastav tehnoloogia on kasutusel juba 40 aastat, kasutatav tehnika on aja jooksul pidevalt täiustunud. Hetkel eraldatakse kogu aheraine juba maa all, ilma maapinnale toomata. Aastal 2011 tekkis ja kasutati 1,47 Mt aherainet [6].

Euroopa tööstusjääkide taaskasutust hinnates on olemas andmed ECOBA (European Coal Combustion Products Association) kohta, kuhu kuuluvad Belgia, Prantsusmaa, Saksamaa, Kreeka, Iirimaa, Holland, Poola, Portugal, Hispaania ja Suurbritannia. Neis riikides tekib üle 90% Euroopa söetööstuse jääkidest, sealhulgas 37 Mt lendtuhka, 5,6 Mt katlatuhka ja 11,7 Mt teisi tahkeid jätmeid aastas (2000. aasta andmed, Kalyoncu 2001). Seejuures taaskasutati 2000. aastal efektiivselt 56% ehk 31 Mt jääkidest, konkreetselt lendtuhast 48% (18 Mt) ja katlatuhast 44% (2,5 Mt). Peamisteks kasutusvaldkondadeks olid tsemendi ja betooni tootmine (68%) ning teedehitus (21%).

Von Bergi ja Feuerborni (2007) hinnangul tekkis 2003. aastal Euroopa Liidu 15 liikmesriigis 65 Mt söetööstuse jääke, millest 68% moodustas lendtuhk. Jääkide taaskasutamisel kasutati 52,4% jääkidest ära ehitustegevuses (tsemendilisand, teedehitus, täitematerjal, kaevanduste tagasitaitmine) ning 35,9% karjäärade korrastamiseks. Ainult 3% lendtuhast, 10% katlatuhast ning 29% tahke soojuskandjaga katelde tuhast jäi kasutamata ning paigutati keskkonda. Seejuures aastate lõikes taaskasutuse protsent pidevalt kasvas.

#### 2.4.1. Cleveland Potash Ltd näide

Suurbritannias paiknevas ettevõttes Cleveland Potash Limited tekib kaaliumkarbonaadi tootmisel kaks erinevat jäätmevoogu: lahustuvatest sooladest koosnev tsentrifuugimisjääk (1,8 Mt aastas) ning saviosakestest ja kaltsiumsulfaadist koosnev filtreerimisjääk (0,2 Mt aastas) [7]. Kui varem pumbati jäägid Põhjamerre, siis 1996. aastal viidi läbi eeluuringud ning 1998-2002 rakendusuring jääkide tagasipaigutamiseks Boulby kaevandusse. Projekti maksumuseks oli 3 miljonit GBP ning uuringud käsitlesid järgmisi küsimusi:

- Lahustuvatest sooladest ja saviosakestest koosneva materjali tagasiladestamise võimalused.
- Vajaminevate sideainete lisand.
- Jääkide tagasipaigutuse tehniline süsteem.
- Jääkide mõju kaevanduse tervikutele.
- Jääkide käitumine tervikute purunemisel.
- Insenerlahendused vajaminevatele tehnilistele sõlmedele.

Projekti raames rajati pilootseade ning aastas paigutatakse kaevandusse 200 000 tonni filtreerimisjääke, kasutades jääkide kandjana merevett. Transpordi kaugus torude abil on 5,5-11 km ning kaevanduse sügavus 900-1100 m. Sideainete lisandist otsustati loobuda selle maksumuse ning transpordil tekkivate tardumisprobleemide tõttu.

Esimene tagasitüümine viidi läbi 2003. aastal ning ilmnis ridamisi tehnilisi probleeme (torustiku lekked, kaabli rikked, probleemid kraanidega), kõigest hoolimata süsteem käivitati ning mere asemel paigutatakse filtreerimisjäägid kaevandusse (Wilkins et al. 2004).

#### 2.4.2. Saksamaa näited

Saksamaal toimub tööstusjääkide paigutamine vanadesse soolakaevandustesse ning selle õiguslikke aspekte käsitledes viidatakse Euroopa Kohtu otsusele 27. veebruarist 2002, mille kohaselt on jäätmete paigutamine kaevandustesse taaskasutuse vorm juhul, kui sellega kaasneb varude parem kaitse (näiteks varisemisohude vähenemine). Sellise taaskasutuse reguleerimiseks kinnitati Saksamaal 30. oktoobril 2002 vastav kord, mis sätestab sellega seonduvad jäätmemajanduse ja keskkonnakaitse nõuded. Teadaolevalt on selline taaskasutuse tõlgendus kasutusel ainult Saksamaal. Kaevandustele avanes läbi sellise korra väga hea võimalus üheaegselt paremini kasutada maavarasid ning vähendada kulusid, kuna näiteks mitmete ehitusjäätmete, lendtuha ja jääkmuda ladestamine maapinnale ilma täiendava töötluseta ei ole lubatud (Marx et al. 2005).

Selline kord (Versatz-V) kehtib jäätmete tekitajatele, omanikele, kaevandusfirmadele ning tagasitüütmismaterjalide tootjatele. Keskkonnakaitse seisukohalt on vajalik järgida jäätmetes olevate toksiliste ühendite hulka ning lubatud kontsentratsioone väljaleostumisel. See punkt omakorda ei kehti soolakaevanduste kohta, millest väljaleostumist peetakse välistatuks. Soolakaevanduste puhul rakenduvad orgaaniliste ainete maksimaalse sisalduse ja mitmete metallide maksimaalse kontsentratsiooni sätteid põhjusel, et nende kontsentratsioonide ületamisel peetakse otstarbekaks jäätmeid teisel viisil taaskasutada (Marx et al. 2005).



Üks peamisi soolakaevandusi, kus toimub jäätmete ladestamine, on Sonderhausen/Thuringia. Kasutatakse hüdraulilist tagasitäitmist, „suurte kottide“ meetodit ning gravitatsioonilist puistemeetodit, neist kõige efektiivsem on hüdrauliline tagasitäitmine. Hüdraulilisel tagasitäitmisel lisatakse jäätmete (tolmud, tuhad, liivad, mudad) peenfraktsioonile kontsentreeritud soolalahust (üle 240 g/l magneesiumkloriidi lahus) vältimaks tervikute lahustumist (Marx et al. 2005).

Saksamaal Stettenis toimub samuti mineraalsete jäätmete ladustamine vanasse soolakaevandusse [8]. Protsess käivitati 1997. aastal, kaevandus ise on üle 150 aasta vana. Maapinnal töötab spetsiaalne töötlemisjaam, kus analüüsitakse iga tagasiladestavat materjali eraldi, kokku toimetatakse maa alla 40 000 tonni jäätmeid aastas. Transpordiks kasutatakse alates 2008. aastast tavalisi kallureid.

## 2.5. USA praktika

USAs põletatakse aastas ligi miljard tonni sütt ning tekib 120 miljonit tonni tuhka (Belem and Benzaazoua, 2008). Sellest leiab kasutust ligi 25 miljonit tonni, peamiselt tsemendi ja betooni lisandina, täitematerjalina, jääkide stabiliseerijana, teedehituses ning kaevanduste tagasitäitmiseks. Konkreetselt allmaakaevanduste tagasitäitmiseks kulub 1,1 Mt lendtuhka, 0,33 Mt katlatuhka ning 0,17 Mt lendgaasidest väevli eemaldamise jääke (Belem and Benzaazoua, 2008), samas karjääride tagasitäitmise kohta detailsed andmed puuduvad, kuid konkreetsetelt objektidelt on informatsioon ligi 5 Mt kasutamise kohta aastas.

Põhja-Dakotas on üle 600 mahajäetud söekaevanduse [9], enamus neist allmaakaevandused. Esineb rohkesti kaevanduskäikude kokkukukkumisi, põhjustades ohtu eriti asumitele ja teedele. Kaevanduste täitmist alustati juba 1980ndatel, algetapil kasutati vesiliiva ning gravitatsioonilist täitemetodit. Meetod oli ebaefektiivne, kuna täitematerjal ei jõudnud kõikide tühimikeni ning kohati uhuti põhjavee poolt minema.

Alates 1991. aastast võeti kasutusele survealine täitmine tsementeeruva seguga, mis aga osutus väga kulukaks, sest tsementeeruva aina kasutati portlandtsementi. Alates 1995. aastast hakati testima tsemendi asendamist lendtuhaga. Erinevalt Eesti elektriijaamade lendtuhast koosneb kivisöe Elektriijaamade lendtuhk 80-90% ulatuses klaasifaasist, mis reaktsioonides kaltsiumhüdroksiidiga moodustab kaltsiumsilikaathüdraate – peamiseid tsemendimineraale.

Projekt oli finantsiliselt läbiviidav, kuna 10 senti igalt kaevandatud ligniiditonnilt suunatakse maksudena mahajäetud kaevanduste korrastamisprogrammi, nii laekub fondi kokku umbes 3 miljonit dollarit aastas. Alates 1981. aastast on läbi viidud üle 85 korrastamisprojekti kogumahas üle 23 miljoni dollari.

Lendtuha põhise tsementeeruva segu kontseptsiooni väljatöötamist rahastas North Dakota Public Service Commission. Enne seda projekti oli keelatud lendtuhka maa alla viia, tervisekaitse keelas selle võimalike põhjaveereostuse probleemide tõttu. Töö käigus analüüsiti 23 erinevat tuhasegu, varieerides tuha, tsemendi, liiva, vee ja tardumisele kaasa aitavate ainete kontsentratsioone. Segusid hinnati vastavalt voolavusele, võimalusele pumbata, homogeensuse säilimisele pumpamisel, survetugevusele tardumisel ning leostumispotentsiaalile. Projekti tulemusena selgitati välja kaks enim sobivat lendtuhka,

millele kasutamiseks tervisekaitse üldse loa andis. Siiski kujunes tsemendi, lendtuha ja liiva vahekorraks vastavalt 5:3:11, seega tuhk küll asendas osa tsemendist, kuid tugevasti vähem kui poole vajaminevast kogusest.

Tehes majanduslikud kalkulatsioonid peale 9 projekti lõppemist leiti, et lendtuha kasutamine aitas kokku hoida 18% projektide kogukulust, absoluutarvuna 0,5 miljonit dollarit. Kokku kasutati ära 14 117 tonni lendtuha. Tsemendi tonni hinnaks oli keskmiselt 100 dollarit ning lendtuha tonnihinnaks 15 dollarit.

Kivisöe lendtuha on USA-s kaevanduste täitmiseks kasutatud paljudes osariikides, siiski on just viimasel ajal meediakanalitesse jõudnud informatsiooni põhjaveereostuse põhjustamise kohta lendtuha kasutamise tõttu ning teema on üles võetud keskkonnakaitseorganisatsioonide poolt.

Karjääride korrastamisel on tööstusjääkide kasutamine USA-s samuti sagedane praktika. Colorado osariigi loodeosas on lendtuha, katlatuha ning suitsugaaside väävlialdusjääke kasutatud Trapper Mine'i korrastamisel alates 1984. aastast. Eelnevad uuringud sisaldasid pinna- ja põhjavee hüdroloogilisi ja hüdrogeokeemilisi uuringuid nii kaevanduse territooriumil kui selle ümbruskonnas seondatuna kliimaatilise andmestikuga. Hinnati erinevate jääkide ning karjääri enda katendimaterjali koostist ja leostumist. Leiti, et leostumisel jääkidest eralduvad Al, Ba, Cr, B ja Mo kontsentratsioonid ületavad joogiveele ja pinnaveele kehtestatud standardeid, aga samuti leiti, et koos katendimaterjaliga tagasitäitmisel toimuvad keemilised reaktsioonid välistavad nende elementide edasikandumise ümbritsevasse keskkonda. Analüüsi ja modelleerimise teel järeldati, et põhjavee reostumine jääkide (lendtuhk, katlatuht, jääkmuda) lisamise korral tagasipaigutatava katendi hulka ei põhjusta põhjaveereostust (Ward et al. 2006).

Lendtuha, katlatuha ja jääkmuda paigutamine karjääridesse toimub näiteks ka San Juan Mine'is ja Navajo Mine'is (New Mexico osariik). Vastavad uuringud, analoogsed Trapper Mine'iga, viidi läbi igal juhul eraldi, samuti leiti iga karjääri puhul sobilik tehnoloogia jääkide kasutamiseks (Ward et al. 2006).

## 2.6. Austraalia praktika

Austraalias on tööstusjääkidest kaevanduste täitmiseks samuti prioriteetselt välja valitud söeektriijaamade lendtuht, mille sideainelised omadused iseenesest ei taga selle põhjal moodustatud segu piisavat kivistumist, küll aga saab lendtuha kasutada koos teiste tsementeeruvate materjalidega (portlandtsement, terase tootmise jääkide baasil valmistatud tsement jne) ning seeläbi parandada selliste segude tehnilisi omadusi. 2003. aastal tekkis Austraalias 13 miljonit tonni lendtuha, millest kasutamist leidis 1,42 Mt tsemendilisandina, 0,5 Mt tööstusliku lisandainena ning 2,45 Mt karjääride korrastamisel ning kaevanduste transporditeede rajamisel (Grice, 2001).

Tuhal baseeruvat täitematerjali kasutatakse Wambo Colliery tühimike täitmiseks New South Walesi osariigis, selle tulemusena õnnestub parandada söe väljamise efektiivsust ning vähendada vajumiste ja varingute riske (Heidrich 2003). Eelnevalt viidi läbi täielik

keskkonnamõjude uuring ning riskianalüüs. Tuhka kasutatakse asendamaks osa vajaminevast tsemendist.

Lendtuhka Bayswateri elektriijaamast on kasutatud Ravensworthi lähedal paikneva karjääri korrastamiseks alates 1996. aastast. Tekkivad tühimikud täidetakse järk-järguliselt tuhaga, kaetakse kasvukihiga ning haljastatakse. Seejuures on kasvukiht saadud tuha ning teiste jääkide töötlemise ja segamise tulemusena. Sydneys paiknev ettevõtte Bio-Recycle toodab mulla lisandainet Mine-Mix, segades erinevaid tööstusjääke ja lisades vajalikke aineid taimestiku kasvu tagamiseks.

Kokkuvõtvalt on tööstusjääkide kasutamine kaevanduste tagasitaitmiseks tööstusriikides seotud tugevate seadusandlike piirangutega ning praktiliselt iga juhtumi korral on vajalik tegelda seadusandliku baasi tõlgendamisega. Seejuures on keskkonnaorganisatsioonide poolt välja toodud põhiküsimuseks pinna- ja põhjavee reostus.

## 2.7. Kokkuvõte

Maailmas on küllaldaselt näiteid tööstusjääkide kasutamisest nii kaevanduste tagasitaitmiseks kui karjääride korrastamiseks. Nii sotsiaal-majanduslikult kui keskkonnakaitseliselt on see täiesti loogiline tegevus, sest võimaldab vähendada jääkide ladestamist tööstusobjektide lähedusse ja seeläbi parandada maakasutust, ning samaaegselt tagada kaevandustes maavara efektiivsem väljamine ja vajumiste ning varingute riskide vähenemine, karjäärides aga läbimõeldum ja kvaliteetsem korrastamine.

Iga kaevandus ja karjäär on spetsiifiline, koosnedes väga paljude parameetrite unikaalsest kooslusest. Kõige läbimõelduma kaevandamisprojekti korral luuakse tagasitaitmise või korrastamise plaan samaaegselt kaevandamisplaaniga, sest kaevanduste tagasitaitmise korral loob tagasitaitmine lisatingimusi kaevandamistehnoloogia valikule ning karjääride katendi ümberpaigutamisel on võimalik juba arvestada ala lõplikku kujundamist taaskasutuseks ning lähtuda sellest katendi eemaldamisel ja tagasipaigutusel. Samas on loomulikult võimalik täita ka juba suletud kaevandusi ning korrastada töö lõpetanud karjääre ja karjääriosasid, kuid näiteks kui kaevandused on veega täitunud, siis on tagasitaitmine juba tehniliselt väga problemaatiline.

Samuti on iga jääde ning jäätmete ja muude lisandainete segamise tulemusena saadav segu spetsiifiline. Kui söetuhka on kogu maailmas intensiivselt uuritud ning selle taaskasutamiseks loodud standardiseeritud analüüsimeetodid ja taaskasutatud tehnoloogiad, siis Eesti põlevkivitööstuse jäägid on oma koostise ja omaduste poolest erilised, otseseid analooge mujalt maailmast võtta ei saa. On olemas positiivsed aspektid, nagu näiteks väga madal raskmetallide sisaldus kukersiidis ning sideaineliste omadustega mineraalide teke tööstuslikus protsessis. Samas viib just sideaineliste omadustega mineraalide, eriti vaba CaO ning selle baasil tekkiva  $\text{Ca(OH)}_2$  olemasolu jääkides need automaatselt ohtlike ainete kategooriasse, kuna kõigist nende baasil valmistatud segudest leostuv vesi on väga aluseline, olles seetõttu ohtlik nii keskkonnale või inimese tervisele.

Maailmapraktikas on suudetud saavutada olukordi, kus seadusandlus teeb teatud jääkide (näiteks söeelektriijaamade lendtuhk) või ladestuskohtade (näiteks Saksamaa

soolakaevandused) puhul teatud mööndusi, mitte lugedes lendtuhka ohtlike jäätmete hulka või mitte nõudes soolakaevandustesse paigutatavate materjalide leostumisparameetrite vastavust normidele. Samas on igal juhul eraldi ikkagi vajalik garanteerida, et kaevandusaladelt ei toimu elementide ja ainete ülenormatiivsete kontsentratsioonide lekkimist ei pinna- ega põhjavette. Ohtlike jäätmete taaskasutamine ei ole keelatud, vaid on isegi soovitud juhul, kui töötlemise, stabiliseerimise või segamise tulemusena õnnestub ohtlike ainete kontsentratsioone vähendada ning tagada, et keemilisi elemente või ühendeid ülenormatiivsetes kontsentratsioonides välja ei leki.

Samas ei saa tööstusjääkide paigutamine kaevandustesse ja karjääridesse olla eesmärgiks omaette. Kui kaevandamistehnoloogia valikul leitakse, et tagasitäitmine võimaldab maavara efektiivsemalt kätte saada, vähendada vajumiste ja varingute riske ning parandada ventilatsiooni, siis just selle kuluefektiivne saavutamine on põhieesmärk. Selle põhieesmärgi saavutamiseks on mitmeid alternatiive, millel on erinevad hinnad. Eelnevalt peab iga alternatiiv olema põhjalikult analüüsitud. Sellise analüüsi kolm kõige olulisemat osa on tehniline lahendus, keskkonnakaitseline lubatavus ja kuluefektiivsus.

Samamoodi tööstusjääkide paigutamisel karjääridesse on võimalik kujundada sobilik maastik mistahes otstarbeks (põllumaa, metsa-ala, puhkeala, spordiala jne) ning parandada korrastamisel hüdrogeoloogilist režiimi, kasvukihi kvaliteeti jne. Jällegi, on vajalik püstitada põhieesmärk, mida korrastamisega soovitakse saavutada, ning läbi kaaluda erinevad alternatiivid samades olulistest osades – tehniline lahendus, keskkonnakaitseline lubatavus ja kuluefektiivsus.

Sobilike tööstusjääkide valik ühe või teise põhieesmärgi täitmiseks on väga oluline küsimus, mida võiks formuleerida järgmiste alapunktidenä:

- Kas tööstusjääkide kasutamine võimaldab soovitud tehnilist lahendust saavutada?
- Kas tööstusjääkide kasutamine on keskkonnakaitseliselt lubatav?
- Kas tööstusjääkide kasutamine tagab projekti võimalikult suure kuluefektiivsuse?

Kui kõikidele nendele küsimustele on vastus jaatav, siis on projektiga mõtet tõsiselt tegelda. Mingisuguste konkreetsete jäätmete kasutamine kindlas hulgas ja segus on seejuures üks alternatiivvariantidest, mida tuleb hinnata.

Aheraine tagasipaigutamisel kaevanduskäikudesse viiakse kivimid tagasi algsesse asukohta. Keskkonnakaitseliselt on küsimus, mis selle tagajärjel muutub ning mis on erinev võrreldes paigutamisega maapinnale. Täiesti selgelt põhjustab aheraine paigutamine maapinnale aherainemägedesse juhul, kui sellele ei õnnestu anda selget funktsiooni (nt spordirajatis, turismiobjekt vmt), piiranguid maakasutusele.

Aheraine paigutamise senine praktika aherainemägedesse on muuhulgas sisaldanud isesüttimist – 1960ndate lõpus ja 1970ndate alguses põles 7 aherainemäge. Põhjusteks olid suur kukersiidisaldus (käsitsirikastamise tõttu), liiga suur kõrgus ning liiga järsud nõlvad. Hiljem on aherainemägede isesüttimist suudetud vältida, kuid inimtegevusega seotud põlengute risk on jäänud. Osaliselt põlenud Kukruse aherainemäes kestavad utmisprotsessid

senini ning toimub ka orgaaniliste ühendite lekkimine põhjavette. Täielikult põlenud ning põlemata aherainemägede puhul on põhiprobleemiks püriidi oksüdeerumine ja sulfaatse vee teke, millel on põhjavee kvaliteedile lokaalne negatiivne mõju.

Kaevanduskäikude tagasitäitmise korral on aherainel kindlalt tervikute püsivust suurendav funktsioon ning positiivne mõju põhjavee liikumiskiiruse vähenemise ning ülejäänud kaevanduskäikude efektiivsema tuulutuse kaudu.

### **Aheraine:**

Värske aheraine tagasipaigutamisel kaevanduskäikudesse on positiivsed mõjud juhul, kui teha seda suuremas mastaabis (st tegu pole vaid mõne tühimiku täitmisega, vaid süstemaatiliselt suurema ala täitmisega).

Tagasitäitmise tulemusena väheneb püriidi oksüdeerumine ning vastavalt kipsi teke, kuna hapniku ligipääs kaevanduskäikudega avatud kukersiidikihtidele väheneb tunduvalt. Samuti väheneb põhjavee liikumise kiirus kaevanduskäikudes.

Lihtsate täiendavate lahendustega, näiteks kindlate valitud kaevandustühimike täitmisega aheraine ja põlevkivituha baasil valmistatud seguga väheneb õhu- ja veeliikuvus veelgi ning positiivsed mõjud on suuremad.

Aherainel puudub hapestumisvõime, sest karbonaatide poolt tagatud neutraliseerimisvõime on palju kordi suurem kui püriidi hapestumispotentsiaal.

Maksumus: Kõige kriitilisem faktor kaevanduste tagasitäitmisel aherainega on transporditee kaugus. Hinnanguliselt ja tuginedes maailmapraktikale on maksumus väike, mitte ületades 1-2 % maavara maksumusest.

### **Tuhk:**

Lahendust vajavaks küsimuseks on, missugused kvaliteedinormid tuleb seada põlevkivi tuha ja teiste kaevandamis-, põletamis- ja töötlemisjääkide segudele, et täidis oleks tardumisjärgselt piisava kvaliteediga, vastupidav ning et keskkonnamõjud oleksid aktsepteeritavad ja seadusandluse raamistikus lubatavad.

Keskkonnakaitse seisukohalt on selge, et segude kivistumise käigus tekib paratamatult teatud koguses aluselist vett, mis põhjavee liikumise tagajärjel levib teatud kaugusele ning avaldab teatud ulatusega mõju põhjavee kvaliteedile. Sisuliselt tekivad sellised mõjud kõikide ehitustööde korral, kus kasutatakse tsementi või lupja. Seega, vajalik on selgitada, missuguse kvaliteediga vesi tekib erinevate segude tardumise käigus. Seondades saadud uuringute tulemusi hüdrogeoloogiliste põhjavee liikumise mudelitega ja hüdrogeokeemiliste põhjavee kvaliteedi muutumise mudelitega on võimalik hinnata segude tardumise käigus tekkivaid keskkonnamõjusid.

Tardumise käigus seotakse enamuse vaba CaO-d ära teiste uute tekkivate mineraalide koosseisu ning vaba Ca(OH)<sub>2</sub> jääb alles sellisel määral, et mõju kestvuse aeg on erinevalt tuhaplatoodes aset leidvatest protsessidest suurusjärgude võrra väiksem. Samuti moodustub segu kivistudes väikese veejuhtivusega täidis ning seetõttu vee kogus, mis täidises läbi tungib ning edasi põhjavette levib, on väike.

Kaevanduste tagasitäitmine fossiilsete kütuste põletamisel tekkinud tuhaga on laialt levinud maailmapraktika ning kui see on majanduslikult otstarbekas, siis on see ka Eestis täiesti arvestatav viis tuhka taaskasutada, saavutades põlevkivi kaevandamisel tekkivate kadude vähenemise ning vähendades kaevanduste sisselangemisega kaasnevat riski ja negatiivset mõju maapinnale.

Raskmetalle tuhkbetoonidest piirnorme ületavates kogustes põhjavette ei leostu. Tuhkbetoonidest leostuv vesi on küll aluseline, kuid aluseline on ka kõikidest tavabetoonidest leostuv vesi, sest betoonide tsementeeruvad omadused põhinevadki aluselises veekeskkonnas toimuvatel keemilistel reaktsioonidel. Aluselise mõju kaob täielikult tuhkbetoonist leostuva vee segunemisel põhjaveega. Kui tuhkbetoonides on jäänud alles ka kaltsiumhüdroksiid ehk portlandiit, siis tagab mõju täieliku kadumise tuhkbetoonist välja leostuva vee segunemine põhjaveega vahekorras 1:100 ning kui portlandiiti alles ei ole ja esineb ettringiit, siis segunemine vahekorras 1:10. Põhjavesi käitub tuhkbetoonidest leostuva vee suhtes mitte ainult kui lahjendi, vaid kui reagent, kus vesinikkarbonaatioon reageerib hüdroksiidiooniga ning selle tulemusena settib välja kaltsiit.

Vajalik on valida põlevkivituhkade ja põlevkivi kaevandamisel tekkinud aheraine baasil valmistatud betoonsegudest sellised, mille veeläbilaskvus on väikseim ning milles sisalduva portlandiidi hulk oleks samuti võimalikult väike. Vastavalt senistele uuringutele on kõik tuhksideainetega valmistatud betoonid on varajases kivinemisstaadiumis tundlikud vee suhtes, samas aga keevkihikata tuhaga valmistatud betoonid omavad tunduvalt suuremat veekindlust kui tolmpõlemiskatla tuhaga valmistatud betoonid ning ehitustehniliselt parimaid omadusi saavutatakse betoonidega, milles on kasutatud võimalikult suures hulgas keevkihikata tuhka.

Samas, võrreldes lihtsalt aheraine kasutamisega tagasitäitmiseks, on tuhkbetoonsegude kasutamine kordades kallim. Vajalikud on ka investeerimiskulud segu valmistamiseks ja sissepumpamiseks vajalikku tehnikasse. Hinnanguliselt ja tuginedes maailmapraktikale võib maksumuseks kujuneda 3-10% kaevandatud maavara maksumusest. Kõige kriitilisem faktor on tuhade ja aheraine üldine kättesaadavus projekti läbiviimise hetkel, nende sobivus tuhkbetoonsegude valmistamiseks ning transporditeede kaugused. Seoses nende ülisuurte umbmäärasustega on täpsemaid hinnanguid antud ajahetkel sisuliselt võimatu teha.



30 eurot meeter ehk 5 kilomeetrine lõik puurkaevude paari vahel maksab 75 000 – 150 000 eurot. On mõistlik rajada rohkem lähestikku paiknevaid puurkaeve, mille vesi koondatakse mitme kaevugrupi ühisesse trassi. Ühest Ordoviitsiumi-Kambriumi veekihi puurkaevust suure koguse ( $>20 \text{ m}^3/\text{h}$ ) vee pumpamine on tehniliselt raskem kui sama koguse võtmine kahe puurkaevu summana. Tagasijuhtimiseks on samuti mõistlik rajada rohkem kaeve, kuna kaevud vajavad ummistumise vältimiseks regulaarset puhastamist.

Ringpumpamise tulemusena väheneb kaevandusest väljapumbatava vee pealt makstav erikasutustasude kulu. Kui kaevandusest välja pumbatava vee hulk väheneb  $5000 \text{ m}^3/\text{d}$ , siis aastane kokkuhoid on ligikaudu 120 000 eurot (erikasutustasu aastal 2025 on  $0,067 \text{ EUR}/\text{m}^3$ ), 30 aasta kulu 3,6 milj eurot.

Ringpumpamise süsteemi projekteerimise, rajamise ja hoolduse kulud on seotud rohkete umbmäärasustega. Sõltuvalt süsteemi ehituskulude optimeerimisastmest võib, kuid ei pruugi ringpumpamise süsteem olla majanduslikult tasuv. Puurkaevude kasutamine veevarustuse tagamiseks parandab tasuvust.



#### 4. Põlevkivi kaevanduse uputamine plokkide kaupa

Põlevkivikaevandused on pindalalt suhteliselt suured ning kuna põhjavee sissevoolust olulise osa moodustab lasuva veekihi põhjavesi, siis on ka kaevandusvee kogused suured. Lisaks senise praktikana on hoitud kogu kaevandus kuivana kogu kaevanduse töötamise perioodil. Kaevandusest välja pumbatava vee hulk kasvab aastatega üha suuremaks. Välja pumbatava vee pealt makstavad erikasutustasud moodustavad arvestatava osa tegevuskuludest.

Kaevanduse osad, kus mäetööd on lõppenud, saaks isoleerida töötavast kaevandusest ning lõpetada nendest vee väljapumpamine.

Eelised ja tulud:

- Väheneb kaevanduse dreniv mõju keskkonnale.
- Vee erikasutustasude vähenemine.
- Paranevad võimalused taastada kaevandamiseelset veerežiimi.

Puudused ja kulud:

- Ohutusrisk.
- Tervikute jätmisega seotud maavara kadu.
- Betoneerimise ja/või tagasitäite kulu.

Kaevanduse isoleeritavateks plokkideks jaotamine on kõige väiksemate kuludega, kui seda ette näha juba kaevandamise eel või varases staadiumis. Strateegiliselt on mõistlikum alustada kaevandamist kaugematest osadest väljaveokoha poole, et kaugemaid/servapoolseid osi saaks järjest sulgeda (plokki millest kulgeb läbi oluline transpordikäik ei saa sulgeda).

Tehnilise poole pealt on oluline kavandada süstemaatiliselt tervikud (näiteks kambriploki seinad) selliselt, et need peaksid vastu vee survele ja vee äravoolusüsteemid nii, et need on suletavad. Väiksemate plokkide kaupa isoleerimine vähendab läbimurdva veega seotud riske (palju väikseid plokkide on ohutum kui üks suur).

Mida suurem on vee sissevool mingis kaevanduse osas, seda tähtsam on selle piirkonna kiirem sulgemine. Modelleerimine (köide 4, VK4) näitab, et sissevoolava vee hulga vähendamisel saavutatakse suurem efekt, kui suletakse kaevealast rohkem eraldatud osi, kuhu vesi voolab mitmest küljest.

Kaevanduse jaotamine väiksemateks teineteisest hüdrauliliselt eraldatud osadeks on oluline ka keskkonnamõjude vähendamise seisukohalt nii kaevandamise ajal kui ka pärast kaevanduse sulgemist. Isoleeritud osad võimaldavad põhjavee tasemel kerkida erinevale tasemele. Olemasolevate kaevanduste probleemiks on see, et kaevanduskäikude veega täitumisel tekib maa-alla veekogu, mille toitumine ühes otsas avaldub ka teise otsa survetasemes, mis viib kaevanduse kohal asuvate madalamate piirkondade liigvee probleemideni.

Positiivsed kogemused on olemas Estonia kaevanduses, kuhu on rajatud settebassein kaevandusvee heljumi vähendamiseks enne vee juhtimist loodusesse maa peal.

Kaevandustest välja pumbatava vee maht ruutkilomeetri kohta varieerub mõnest tuhandest kuupmeetrist ööpäevas lõunapool paiknevates kaevandustes (näiteks Estonia, VK4) kuni 10 000 kuupmeetri ööpäevas õhema katendiga kaevandustes. Arvestades kaevandusest välja pumbatava vee erikasutustasu määrasid aastal 2025 (66,83 eurot 1000 m<sup>3</sup> kohta) maksab iga ruutkilomeetri kuivana hoidmine 50 000 – 250 000 eurot aastas. Sulgedes 5 km<sup>2</sup> suuruse ala 15 aastaks (pool kaevandusloa perioodist) on võimalik erikasutustasude pealt kokku hoida 3–15 milj. eurot. Tervikutega seotud põlevkivi kaod ja betoneerimistöödega seotud kulud on kindlasti väiksemad.

## Kasutatud ja viidatud kirjandus

- [1] <http://www.tailings.info/storage/backfill.htm> [20.07.2018]
- [2] [http://www.mininglife.com/Miner/Backfill/mine\\_backfill\\_introduction.htm](http://www.mininglife.com/Miner/Backfill/mine_backfill_introduction.htm) [20.07.2018]
- [3] [http://www.mininglife.com/Miner/Backfill/mine\\_backfill\\_properties.htm](http://www.mininglife.com/Miner/Backfill/mine_backfill_properties.htm) [20.07.2018]
- [4] <http://www.sudburyminingolutions.com/articles/Technology/06-07-BackfillBasics.asp>  
[20.07.2018]
- [5] [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Waste\\_generation\\_by\\_economic\\_activity\\_and\\_households,\\_EU-28,\\_2012\\_%28%25%29.png](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Waste_generation_by_economic_activity_and_households,_EU-28,_2012_%28%25%29.png) [20.07.2018]
- [6] <http://www.minnovation.eu/uploads/Compendium%20of%20Mining%20and%20Processing%20Waste%20Management%20Technologies.pdf> [20.07.2018]
- [7] <http://www.tailings.info/casestudies/clevelandpotash.htm> [20.07.2018]
- [8] <http://www.wacker.com/cms/en/products-markets/chemical/backfill/backfill.jsp>  
[20.07.2018]
- [9] <http://www.fhwa.dot.gov/engineering/geotech/hazards/mine/workshops/kdot/kansas04.cfm>  
[20.07.2018]
- Belem T. and Benzaazoua M., 2008. Underground mine paste backfill technology: applications and design methods. *Geotechnical and Geological Engineering*, 26, 147-174.
- Grice A.G., 2001. Recent Minefill Developments in Australia. *Minefill 2001: Proceedings of the 7th International Symposium on Mining with Backfill*, Chapter 32 - Case Histories.
- Heidrich C., 2003. Ash Utilisation - a perspective on coal use in Australia. *12th International Conference on Coal Science*, International Coal Science Forum, Cairns, Australia, 13.
- Kalyoncu R.S., 2001. Coal combustion products. *U.S. Geological Survey Minerals Yearbook*. Chapter 19: 1–11, Reston, VA: U.S. Geological Survey.
- Marx H., Lack D. and Krauke W., 2005. Substantial Aspects of the Recycling of Industrial Wastes as Backfilling Material in Salt Mines. *20th World Mining Congress & EXPO2005*, Tehran, Iran.
- Sheshpari M., 2015. A Review of Underground Mine Backfilling Methods with Emphasis On Cemented Paste Backfill. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 20, 5183-5208.

- von Berg W. and Feuerborn H.J., 2007. Coal combustion products in Europe trends and developments. In: Proceedings of World of Coal Ash Conference, University of Kentucky, Lexington.
- Ward C.R., French D., Jankowski J., Riley K. and Li Z., 2006. Use of coal ash in mine backfill and related applications. Research Report 62. Pullenvale, Qld, QCAT Technology Transfer Centre.
- Wilkins M., Fehrsen M. and Cooke R., 2004. Boulby Mine Backfill System: Design, Commissioning and Operation. Paterson & Cooke Consulting Engineers (Pty) Ltd.