

Suletud põlevkivikaevanduste ressurss – kaevandusvesi

Veiko Karu

Tallinna Tehnikaülikool, mäeinstituut

Ehitajate tee 5, Tallinn, 19086

veiko.karu@ttu.ee

Sissejuhatus

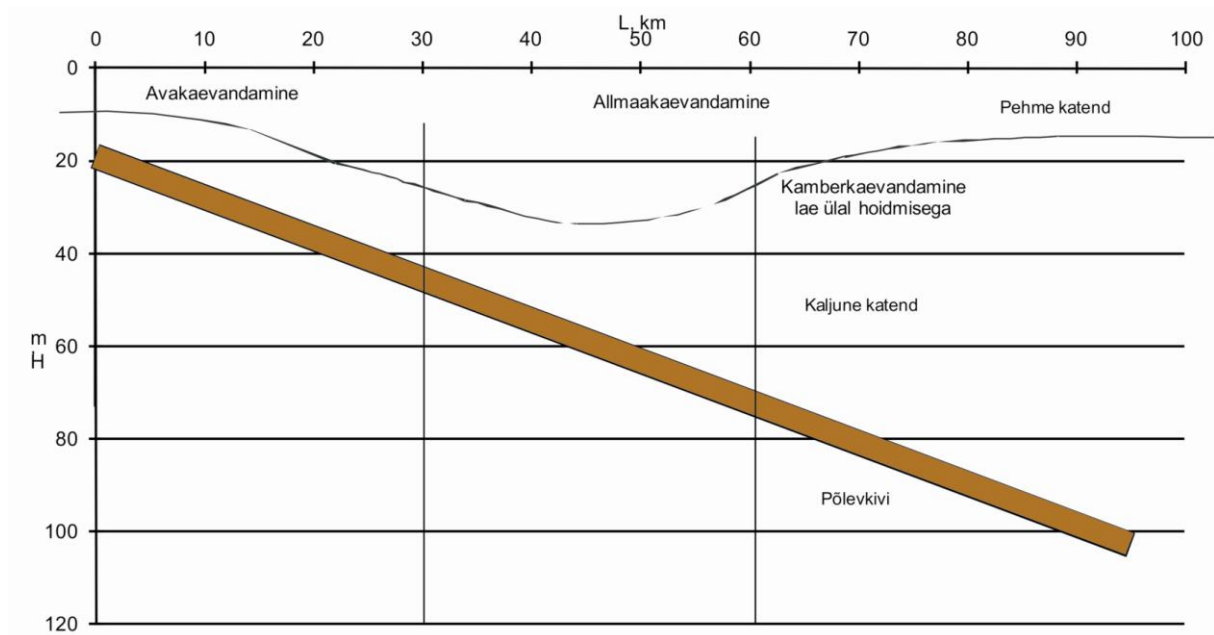
Eestis on mitmeid maavarade ressursse, mida kasutatakse erinevates tööstusharudes, näiteks ehituses, tsemenditootmisel, keemiliste ühendite tootmisel, energeetikas. Nendest maavaradest on tuntuim põlevkivi – meie energeetika alus tänapäeval. Eesti ei oleks energeetiliselt sõltumatu, kui meil ei oleks põlevkivi, mida on Eestis kaevandatud enam kui 90 aastat. Selle aja jooksul on maa alt välja veetud enam kui miljard tonni põlevkivi. Kogu kaevandamise aja on kasutusele võetud järjest keskkonnasõbralikumaid kaevandamisviise ja pööratud rõhku keskkonnakaitsele. Nüüdseks on loodud põlevkivi kaevandamise arengukava ja rakendusplaan, mis tagavad põlevkivi optimaalse kasutamise.

Põlevkivi kihind asub enamasti põhjaveetasemest allpool ning selle kaevandamiseks tuleb alandada põhjaveetaset. Nii on tekkinud Ida-Virumaal töötavate põlevkivikaevanduste ümber põhjavee alanduslehter. Kaevandamise lõppedes peatatakse vee pumpamine kaevandusest ja karjäärist ning põhjaveetaset hakkab taastuma kaevandamisega tasemele. Nii täituvadki suletud kaevandused veega ja tekib tehnogeenne veekogum oma omadustega (Erg jt 2007). Eesti põlevkivimaardlas on suletud kaevandustest veega täielikult täitunud Ahtme, Tammiku, Sompa ning osaliselt täitunud kaevandus nr 4, kaevandus nr 2, Käva, Käva 2, Kohtla, Kiviõli ning Kukruse (joonised 2 ja 3). Kaevanduste vahele on jäetud tõkketervikud, mille tulemusel on tekkinud kaevanduste piires nn allmaabasseinid. Tõkketervik jäetakse kaeväljade (kaevanduste) vahele, tõkestamaks vee sissevoolu naaberkaevandusest, kui see peaks suletama.

Käesolev artikkel annab ülevaate, milliseid andmeid on tarvis koguda ja analüüsida, et võimalikult täpselt teada saada suletud kaevanduste piires oleva vee mahtu, mis jaguneb kolmeks: kvaternaari setetes, lubjakivi katendis ning väljatud põlevkivikihindis olevaks veeks. Arutletakse samuti, kuidas kaevandusvee ressursi saaks kasutada.

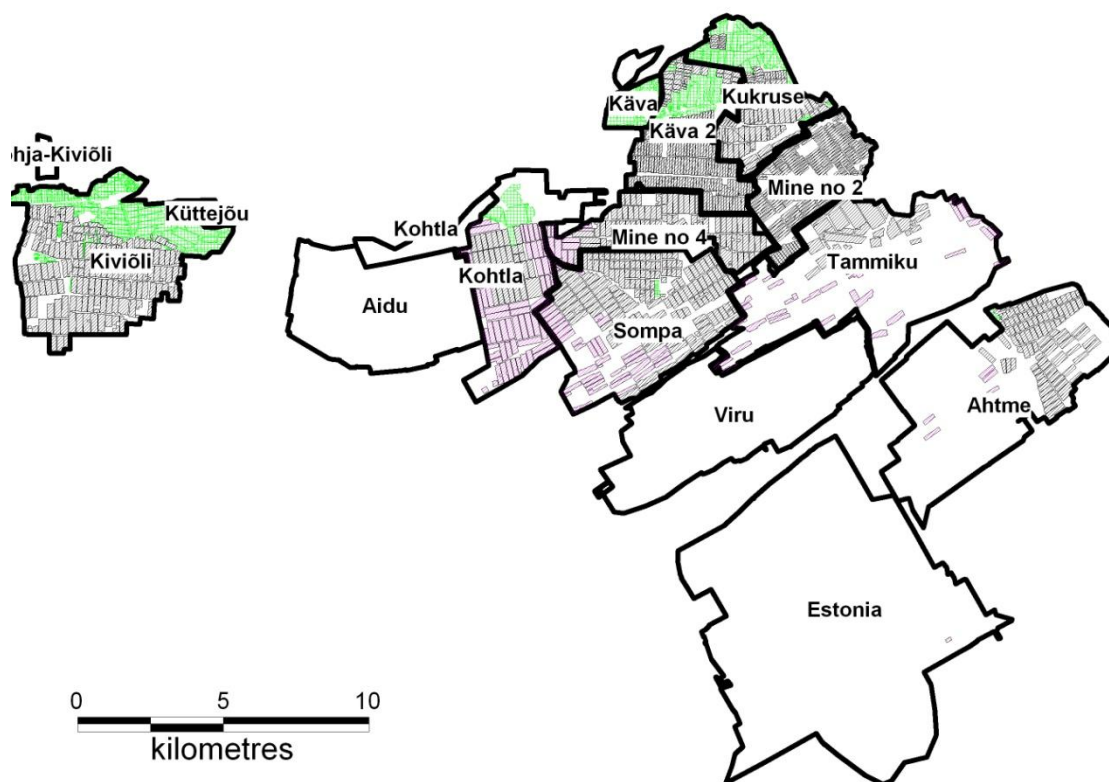
Metoodika

Topograafiliste ja geoloogiliste andmete alusel (stratigraafia, hüdrogeoloogia, LIDAR andmestik) on koostatud põlevkivi kihtide ning külgnevate kivimite lasumusmudel, mille lõiked on aluseks mäendustingimuste kirjeldamisele. Mäendustingimused, mis mõjutavad otseselt kaevandamist, jagunevad kolmeks: geoloogilisteks, tehnoloogilisteks ja keskkonnatingimusteks. Levinuimad tingimused on maavara kihi paksus, sügavus, kaldenurk, kivimite püsivus, ekskaveeritavus jms. Mäendustingimuste alusel valitakse sobivaim kaevandamismoodus (joonis 1).



Joonis 1. Mäendustingimuste piirangud kaevandamistehnoloogiatele (Adamson jt. 2005).

Põlevkivi kaevandamise käigus kasutatud kaevandamisviisid ja teostatud mäetööd kantakse erinevatele kaevanduskaartidele, blanšettidele, joonistele. Nii on olemas hea ülevaade teostatud töödest. Võttes arvesse põlevkivi lasumust ning tehnoloogia arengut saab põlevkivimaardla keskosa kaevandatud ala jagada kaheks: põhjaosa ning lõunaosa. Põhjaosas on valdavaks kaevandamisviisiks olnud laavadega kaevandamine (käsi- ja kombainilaavad) (joonis 2), lõunaosas seevastu kamberkaevandamine (joonis 3). Avatavas Ojamaa kaevanduses on kaevandamistehnoloogiaks samuti kamberkaevandamine nagu ka planeeritavas Uus-Kiviõli kaevanduses.



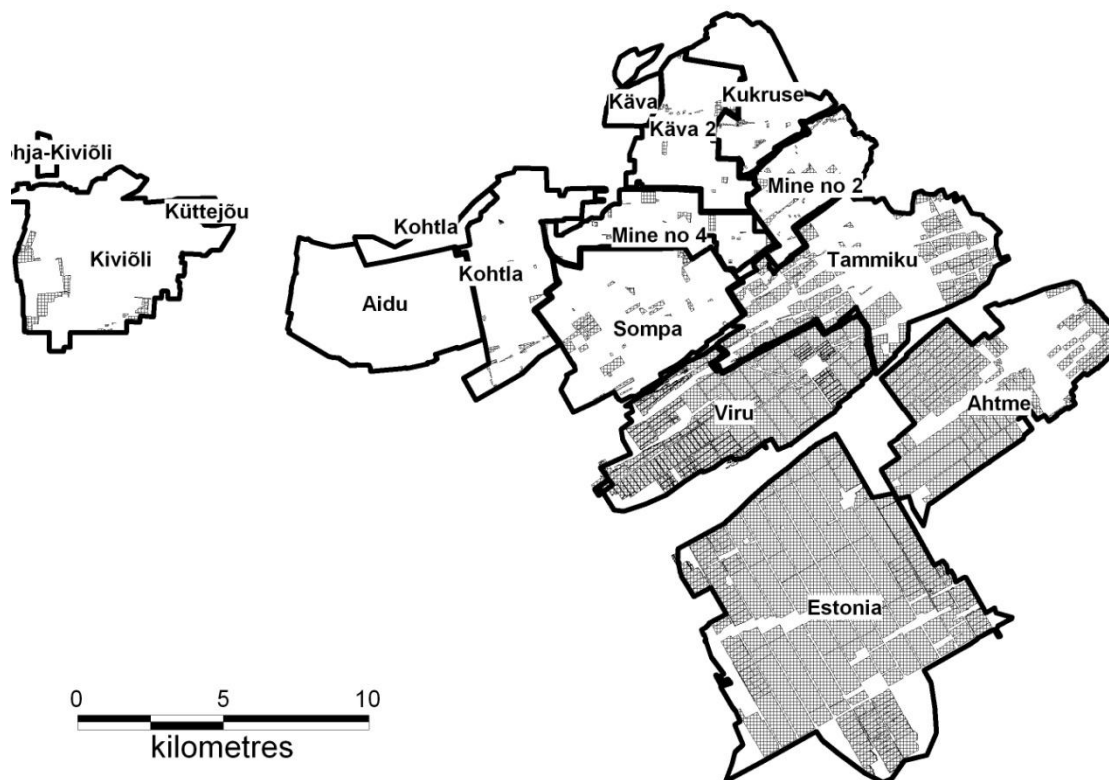
Joonis 2. Laavadega kaevandatud ala. (punane viirutus – kombainilaava; roheline viirutus – käsikamber; must viirutus – käsilaavad)

Käsilaavaga kaevandamine

Käsilaavaga kaevandamisel väljatakse umbes 2,8 meetrit tootsat kihindit, milleks on tavaliselt umbes 2,2–2,3 meetrine kiht alates tootsa kihindi põhjast (A kihist). Pärast kaevandamist toimub laekivimite sujuv langamine aherainest täitevmaterjalile (täiteribadele). Laekivimite sujuvale vajumisele järgnev deformatsioon jõuab lõpule juba mõne kuu jooksul, vaid väiksemad järelvajumised toimuvad 1–2 aasta vältel. Vajumi sügavus sõltub lasumi paksusest ja on käsitletaval alal valdavalt 1 m piires. Pärast vajumise perioodi võib maapinda lugeda deformeerituks ja stabiilseks. Järelvajumised on üldjuhul võimalikud vaid siis, kui maapinnale lisandub mingi suurem lisakoormus (ehitusobjekt). Väga pika aja jooksul, eriti pärast kaevanduse uputamist, võib toimuda täiteribade lagunemise ja tihenemise protsess ning selle tagajärjel väga aeglane täiendav vajumine. Laavade lõppudes on võimalikud jääkkonsoolide hilised murdumised.

Kombainikaevandamine

Kombainidega kaevandamisel väljatakse põlevkivikihid paksusega 1,5–2,4 m ning kaevandamislaava pikkus on, sõltuvalt mäetehnilistest võimalustest (karstivööndite vahekaugusest), kuni 180 m. Põlevkivi maardlasse jääb alasid, kus väljatav paksus on 1,5–1,6 m ja laavade pikkus 600 m. Laekivimite käitlemine toimub nende täieliku langetamisena hüdraulilise murdtoestiku abil. Ka kombainilaavades võib lõppudes ja vahetervikute juures jääda osa laekivimeid konsoolina rippuma, mis teatud aja pärast võivad purunedes tekitada maapinna järelvajumisi. Kombainilaava kohal võivad tekkida kuni 1,5 m sügavused vajumid. Pika aja jooksul järelvajumised lõppevad ja pärast seda võib maapinda lugeda täiesti stabiilseks.



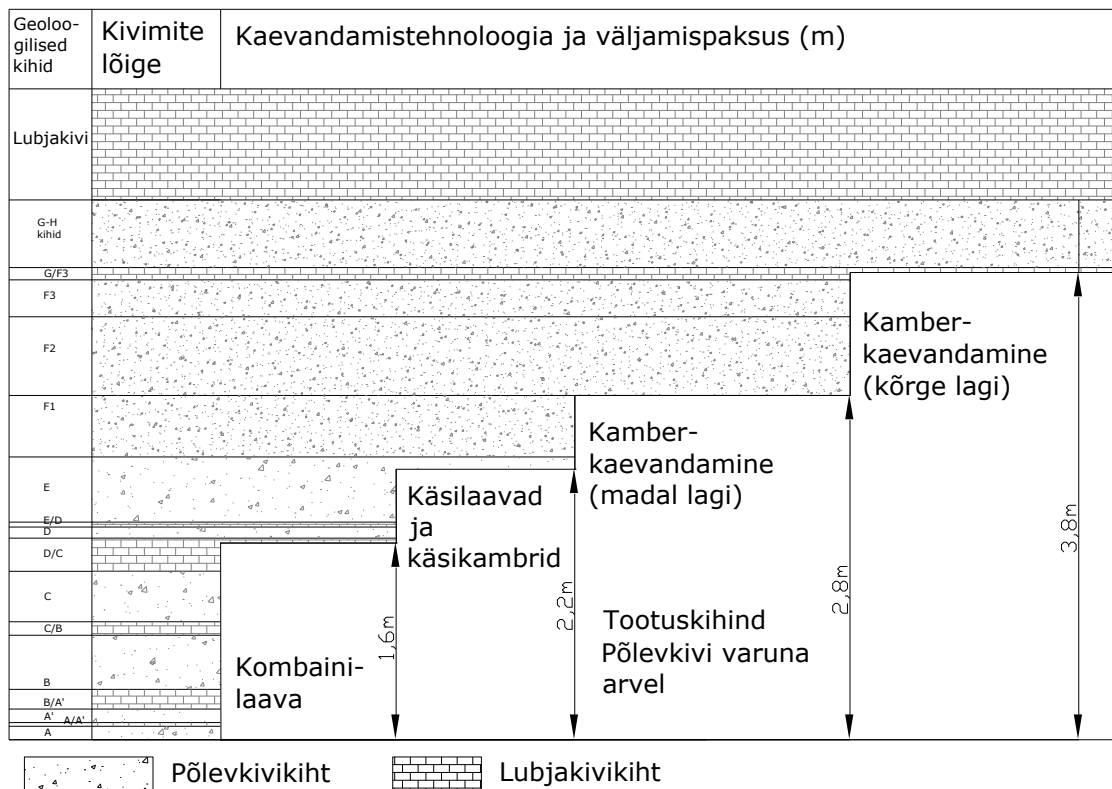
Joonis 3. Kamberkaevandamine.

Kamberkaevandamine

Kamberkaevandamise puhul on väljatava kihi paksus umbes 2,8 m ehk kogu tootsa kihindi lasund. Täiustatud kamberkaevandamise puhul väljatatakse ka 3,8 m paksust kihti, vastavalt sellele kuidas kaevandamistingimused võimaldavad. Põlevkivi väljamiseks kasutatakse puur- ja lõhketöid. Kamberkaevandamisel hoitakse lagi ja lasum tervikutel, mistõttu kadu hoidetervikutes on kuni 30%. Tehnoloogia nõrgaks küljeks on maapinna oleku määramatus pärast mäetööde lõpetamist. Suurimaks erinevuseks võrreldes teiste kaevandamistehnoloogiatega on asjaolu, et pärast mäetöid jäävad laekivimid paigale ja neid hoitakse ülal sambakujuliste tervikute abil, mis moodustatakse mäetööde käigus. Tervikute suurus kavandatakse sõltuvalt maapealsete objektide tähtsusest. Lage üleval hoidvad tugitervikud peaksid purunema üldjuhul 2–3 aasta jooksul, tavaliselt toimub varisemine pikema aja jooksul. Enamik väljatöötatud kambreid püsivad varinguta aastaid. Alal, kus lamami paksus ületab 30 m, pole võimalik üheselt ette öelda, kus ja millal varingut võiks oodata. Suuremal lasumissügavusel on võimalikud järelvaringud, mis tekitavad maapinna vajumeid. Erinevusi on lisaks ka kaevandamisviisi üksikelementides.

Kaevandatud maa-ala

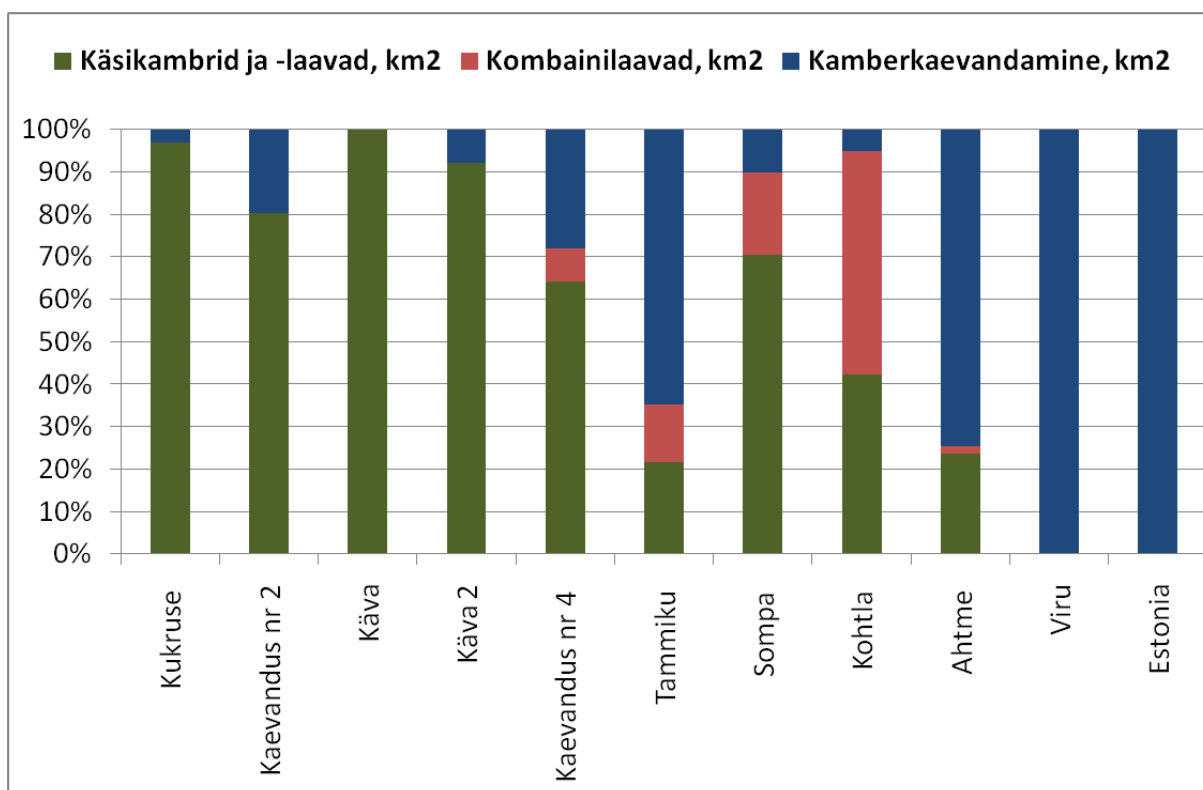
Kaevandatud maa-ala olukord sõltub peamiselt sellest, millist kaevandamisviisi on kasutatud (Reinsalu jt. 2002). Kaevandamisviisist ning geoloogilistest tingimustest sõltub tervikute ja kambrite suurus, lae käitlemiskord, paeriitade ladumine ning lae langetamine kombainkaevandamisel. Seega jääb vastavalt eelnevale kirjeldusele kaevandatud alasse erineva suurusega tühja ruumi (joonis 4) ning olenevalt põhjavee tasemest täitub see ruum veega.



Joonis 4. Kaevandatud maa-alale jääva ruumi suurus.

Tulemus

Analüüsidest erinevaid mäetööde plaane, kaevanduste kaarte, geoloogilisi tingimusi, tootmisgraafikuid ning teisi aspekte saab välja tuua valdava tehnoloogia vastavas kaevanduses (joonis 5). Kasutatud kaevandamise tehnoloogia paneb paika piirid, kui palju tühja ruumi pärast mäetööde lõppu kaevandatud alasse jääb.



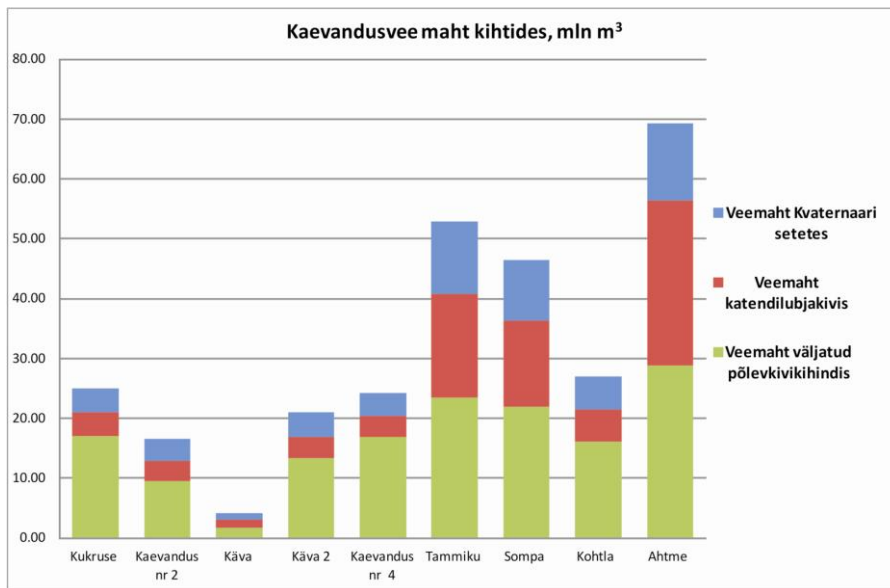
Joonis 5. Kaeveväljadel kasutatud kaevandamisviiside jagunemine.

Kaevandusvee mahuarvutuse jaoks vajalikud andmed on toodud tabelis 1.

Tabel 1. Kaevandusvee mahuarvutamise andmestik ja tulemused.

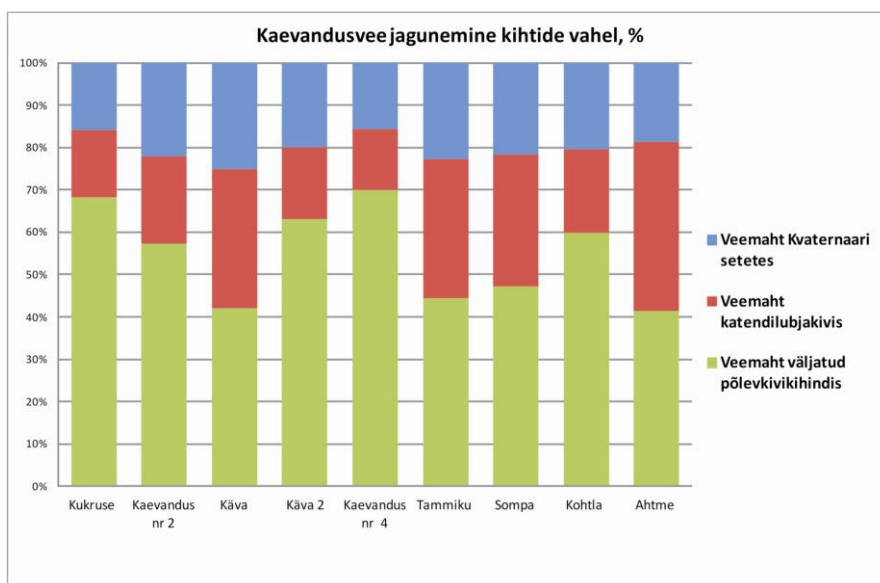
Omadused	Kukuruse	Kaevandus nr 2	Käva	Käva 2	Kaevandus nr 4	Tammiku	Sompa	Kohtla	Ahtme
Kaevanduse avamine	1921	1949	1924	1924	1953	1951	1948	1937	1948
Kaevanduse sulgemine	1967	1973	1972	1972	1975	1999	1999	2001	2001
Kaevandamisae, aasta	46	24	48	48	22	48	51	64	53
Kaevvälja pindala, km ²	13.20	12.30	3.47	14.05	12.70	40.00	33.60	18.30	43.30
Kaevandatud ala, km ²	15.13	8.57	1.84	11.72	10.43	19.26	18.14	12.14	26.36
Kaevandamata ala, km ²	-1.93	3.73	1.63	2.33	2.27	20.74	15.46	6.16	16.94
Katendi paksus, m	11	13	21	10	12	23	23	15	37
Põlevkivi kihindi paksus, m	2.83	2.81	2.83	2.82	2.8	2.8	2.77	2.76	2.79
Tühi ruum põlevkivikihindis, mln m³	42.82	24.08	5.22	33.05	29.20	53.92	50.24	33.52	73.53
Väljatud põlevkivikihindi paksused, m									
Käsilaava	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
Käsikambrid	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
Kamberkaevandamine	2.83	2.81	2.83	2.82	2.8	2.8	2.77	2.76	2.79
Strekkid	2.83	2.81	2.83	2.82	2.8	2.8	2.77	2.76	2.79
Kombainilaava	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Kaevandatud maa-ala, km²									
Käsilaava	11.28	6.87		9.16	7.71	4.36	12.70	3.80	6.33
Käsikambrid	3.50	0.00	1.84	1.73	0	0	0.06	1.36	0.05
Kamberkaevandamine	0.29	1.70		0.79	1.08	11.81	1.86	0.55	19.22
Strekkid	0.06	0.00	0.00	0.04	0.69	0.36	0.00	0.02	0.30
Kombainilaava	0	0		0	0.95	2.74	3.52	6.41	0.46
Kaevandatud ala, km²	15.13	8.57	1.84	11.72	10.43	19.26	18.14	12.14	26.36
Kaevandusvee maht kihtides, mln m³									
Veemaht Kvaternaari setetes	3.96	3.69	1.04	4.22	3.81	12.00	10.08	5.49	12.99
Veemaht katendilubjakivis	3.94	3.40	1.37	3.56	3.48	17.33	14.46	5.30	27.62
Veemaht väljatud põlevkivikihindis	17.05	9.54	1.74	13.29	16.92	23.51	21.93	16.14	28.75
Kokku	24.96	16.62	4.15	21.06	24.21	52.84	46.47	26.93	69.36
Kaevandusvee jagunemine kihtide vahel, %									
Veemaht Kvaternaari setetes	15.9	22.2	25.1	20.0	15.7	22.7	21.7	20.4	18.7
Veemaht katendilubjakivis	15.8	20.4	32.9	16.9	14.4	32.8	31.1	19.7	39.8
Veemaht väljatud põlevkivikihindis	68.3	57.4	42.0	63.1	69.9	44.5	47.2	59.9	41.4

Arvestades ning analüüsid kaevandatud maa-ala, kasutatud kaevandamistehnoloogia poolt maha jäetud tühja ruumi, veetaset kaevanduste piirkonnas ja geoloogilisi omadusi, on välja arvatud suletud kaevandustes olevad veemahud nii väljatud põlevkivikihindis kui ka kihindit katvates kihtides (sealt tuleb juurdevool) (joonis 6). Lisaks oleneb kaevanduse piires oleva kaevandusvee maht kaevanduse suuruselt ning tema lasumusest põhjaveetaseme suhtes.



Joonis 6. Kaevandusvee mahud kaevanduste lõikes, mln m³.

Kaevandusvee maht üksi ei ütle aga midagi, tähtis on teada millises kihis ta enamasti paikneb. Järgnevalt jooniselt (joonis 7) saab teada, et suurim osa suletud põlevkivikaevanduste alal olevast põhjaveest asub väljatud põlevkivikihtis. Sügavamate kaevanduste puhul katendi kihid suurenevad ning nii suureneb ka neis oleva vee kogus.



Joonis 7. Kaevandusvee jagunemine kihtide vahel, %.

Arutelu

Suletud põlevkivikaevanduste vee kasutamine soojusenergia allikana on üks võimalusi moodustunud tehnogeense veekogumi otstarbekaks kasutamiseks, kuna kaevandusvesi omab aastaringselt stabiilset veetemperatuuri. Teades toodetava soojusenergia vajadust saame valemi 1 alusel arvutada vajaliku kaevandusvee hulga, mida vajab soojuse tootmiseks soojuspumbaajaam. Selleks et hinnata protsessi majanduslikku efektiivsust ja teades kui palju soojuspumbaajaam kasutab elektrienergiat, tuleb kasutada soojustegurit (COP – *Coefficient of Performance*) (Eesti Soojuspumba Liit 2010). Soojusteguri väärtus määrab ära, kui palju elektrienergiat soojuspumbaajaam vajab soojusenergia tootmiseks. Näiteks kui COP = 1, siis

protsess vajab sama palju elektrienergiat kui ta suudab toota soojusenergiat (COP väärtuse arvutamine 2010).

Saadav soojusenergia kaevandusveest arvutatakse valemi abil:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \text{ (kW)} \quad (1)$$

kus:

Q – saadav soojus (kW)

m – vaja minev kaevandusvee kogus (kg/s);

c – vee erisoojus (4,19 kJ/kgK);

Δt – muutus vee temperatuuris (K)

Analüüsimeks, kui palju tuleb elektrienergiat kasutada vajaliku soojusenergia saamiseks, on kasutatud järgnevat valemit:

$$COP = \frac{Q_{\text{soojus}}}{Q_{\text{tarbitud el}}} \quad (2)$$

kus: COP – soojustegur; Q_{soojus} – saadav soojus (kW); $Q_{\text{tarbitud el}}$ – kulutatav elektrienergia soojuse saamiseks (kW).

Arvestades kaevandusvee kõrget potentsiaali soojusallikaks soojuspumbal, on Mäetaguse vald arendamas soojuspumpa Kiikla külas, mis kasutab soojusallikana Sompa kaevanduse kaevandusvett (Karu 2010; 2011). Kaevandus piirneb põhjast endise kaevanduse nr 4 kaevandatud alaga, idas Tammiku, lõunas Viru ja läänes Ojamaa kaevandustega. Rajatud soojuspumbajaama võimsus on 500 kW, mis kasutab maksimaalselt 74 m³/h kaevandusvett. Rakendatud tehnoloogia näeb ette, et kaevandusvesi pumbatakse maa peale ja juhitakse seejärel mööda torustikku soojuspumbani (umbes 1000 m), milles alandatakse vee temperatuuri nelja kraadi võrra ning seejärel suunatakse mööda torustikku jahenenud vesi uuesti Sompa kaevanduse veebasseini tagasi, umbes 300 m kaugemale väljapumpamiskohast – nii jõuab tagasi lastud vesi kaevanduses uuesti üles soojeneda.

Kokkuvõte

Põlevkivi on Eestis kaevandatud enam kui 90 aastat. Selle aja jooksul on maa alt välja veetud enam kui üks miljard tonni põlevkivi. Lisaks põlevkivile on välja veetud põlevkivikihi lubjakivikihi ja neist on moodustunud aheraine mäed, mis nüüd ilmestavad Ida-Virumaa loodust. Kui kaevanduses ei ole enam võimalik põlevkivi kaevandada (kas tehnoloogiliselt, varu ammendumisel või majanduslikult), siis see suletakse vastavalt kehtestatud korrale. Eesti põlevkivimaardlas on suletud tänaseks maardla keskosas kümme kaevandust, viimased neist suleti 1999–2002 (Sompa, Tammiku, Ahtme ja Kohtla kaevandused). Kuna põlevkivi kihid asub enamasti põhjaveetasemest allpool, siis põlevkivi kaevandamiseks tuleb alandada põhjaveetaset. Nii on tekkinud Ida-Virumaale põhjavee alanduslehter. Kaevandamise lõppedes kaevandusest ja karjäärist vett enam välja ei pumbata ja põhjaveetase hakkab taastuma sellele tasemele, mis oli tal enne kaevandamist. Nii täituvadki suletud kaevandused veega.

Suletud põlevkivikaevanduste vee kasutamine soojusenergia või kineetilise energia allikana on üks võimalusi moodustunud tehnogeense veekogumi otstarbekaks kasutamiseks. Veekogumi kasutamise hindamiseks tuleb arvutada võimalik vee maht, vee vooluhulk ja analüüsida võimalikke kohti veevõtuks, vee pumpamiseks või soojuspumba paigutamiseks. Analüüsiks on otstarbekas koostada mäenduslik geoinfosüsteemi mudel, milles sisaldub kivimikihtide ja maapinna geomeetiline mudel, kaevanduse tehnoloogiline ruumiline mudel ja veevoolu hüdrogeoloogiline dünaamiline mudel.

Mäetaguse vallas rajatud soojuspumbajaam kasutab soojusallikana Sompa kaevanduses olevat kaevandusvett. Sompa kaevandus, mis jääb Kiikla asula kirdeossa, suleti 12.02.2000. Kaevandus

piirneb põhjas endise kaevanduse nr 4 kaevandatud alaga, idas Tammiku, lõunas Viru ja läänes Ojamaa kaevandusega. Soojuspumbajaama võimsus on 500 kW, mis kasutab maksimaalselt 74 m³/h kaevandusvett. Rakendatud tehnoloogia näeb ette kaevandusvee ringlust ja vastav torustik on rajatud külmumispiirist allapoole, et minimaliseerida talvise ilma mõju välja pumbatavale ning tagasi suunatavale kaevandusveele. Vastav projekt ei ole veel jõudnud majandusliku optimumini, kuid kui see peaks lähiaegadel saavutatama, siis on reaalne, et taolisi soojuspumbajaamu võib veel teisi tekkida Ida-Virumaal suletud kaevanduste piirkonda.

Tänuõnad

Autori poolt teostatud uurimustöö ning käesolev artikkel on seotud TTÜ mäeinstituudi teadusuuringuga ETF grandiprojekt 7499 “Säästliku kaevandamise tingimused”, ETF grandiprojekt 8123 “Täitmine ja jääkide (jäätmete) haldamine Eesti põlevkivitööstuses”, Euroopa Liidu Läänemere piirkonna projektiga “MIN-NOVATION Mining and Mineral Processing Waste Management Innovation Network”.

Kasutatud kirjandus

- Adamson, A., Reinsalu, E., Valgma, I., Sõstra, Ü., Lind, H., Tammeoja, T., Tohver T., Västriku, A., Karu, V. (2005). Eesti põlevkiviressursi kasutamissuundade riikliku strateegia aastani 2020 alusuuringud. Põlevkivi kaevandamise tehnoloogilise struktuuri optimeerimine. – <http://www.ene.ttu.ee/maeinstituut/rk/>
- COP väärtuse arvutamine - http://www.answerbag.com/q_view/2038366 (30.11.2010)
- Eesti Soojuspumba Liit - <http://espel.ee/> (11.11.2010)
- Erg, K., Karu, V., Lind, H., Torn, H. 2007. Mine pool water and energy production. Doctoral school of energy- and geo-technology January 15–20, 2007, Kuressaare, Estonia.
- Karu, V. (2010). Amount of water in abandoned oil shale mines depending on mining technology in Estonia. Lahtmets, R (Toim.). 9th International Symposium Pärnu 2010 “Topical Problems In The Field Of Electrical And Power Engineering” and “Doctoral School of Energy and Geotechnology II”, Pärnu, Estonia, June 14 - 19, 2010 (83 - 85). Tallinn: Estonian Society of Moritz Hermann Jacob
- Karu, V. (2011). Underground water pools as heat source for heat pumps in abandoned oil shale mines. 10th International Symposium "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering", Doctoral Scholl of Energy and Geotechnology, Pärnu, Estonia, 10-15.01.2011 (130 - 134).Estonian Society of Moritz Hermann Jacobi
- Reinsalu E., Toomik A., Valgma I. 2002. Kaevandatud maa. TTÜ mäeinstituut, 97 lk.