

Tallinna Tehnikaülikool

Energeetikateaduskond

Mäeinstituut



**PÕLEVKIVI KAEVANDAMISE GEOLOOGILISED
TINGIMUSED JA TEHNOLOOGILISED
VÕIMALUSED NARVA KARJÄÄRI NÄITEL**

ID 2562

Geotehnoloogia magistritöö, AKM70LT

Autor: Paul Toomik

Juhendaja: Jüri-Rivaldo Pastarus, PhD

Tallinn 2015

Autorideklaratsioon

Deklareerin, et käesolev magistritöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli magistrikraadi taotlemiseks ja et selle alusel ei ole varem taotletud akadeemilist kraadi. Töö koostamisel kasutatud kõigi teiste autorite tööd kirjandusallikatest ja mujalt pärinevatele andmetele on viidatud.

.....
Paul Toomik

SISUKORD

TUDENGITÖÖ ÜLESANNE	2
1. PÕLEVKIVI KAEVANDAMINE EESTIS	6
1.1 Geoloogilised tingimused.....	6
1.2 Hüdrogeoloogilised tingimused	6
1.3 Pealmaakaevandamine	8
1.4 Allmaakaevandamine	10
2. NARVA KARJÄÄRI LÄHTETINGIMUSED	15
2.1 Mäeeraldised	15
2.2 Kaevandamine	16
2.3 Lähteandmed	17
3. KAEVANDAMISE TEHNOLOOGIA VALIK	19
3.1 Geoloogilised ja hüdrogeoloogilised tingimused	19
3.2 Mäendustingimused	20
3.3 Varasemad kombainlaavakaevandamise kogemused.....	21
3.4 Allmaakaevandamise mõju maapinnale	22
4. ARUTELU JA TULEMUSED	30
4.1 Koristustöödest üldiselt	30
4.2 Laavakombaini valik	32
4.3 Laavakombaini tootlikkus	33
4.4 Laekäitlus ja tööee toestiku valik	35
4.5 Ettevalmistustööd	36
4.6 Põlevkivi kaod.....	38
4.7 Abiprotsessid – veekõrvaldus ja tuulutussüsteem	39
4.8 Mõju ümbritsevatele keskkonnale.....	39
KOKKUVÕTE	41
SUMMARY	42
KASUTATUD KIRJANDUS	43
LISAD	52

SISSEJUHATUS

Eesti tähtsaimaks maavaraks on põlevkivi, mida on siin kaevandatud ligi 100 aastat. Põlevkivi kaevandatakse Kirde-Eestis, kus paikneb Eesti põlevkivimaardla. Põlevkivi peamiseks kasutusalaadeks on fossiilsest kütusest elektrienergia tootmine ja keemiatööstuse toorainena oli tootmine. Põlevkivi kaevandamise võimalused on määratud geoloogiliste tingimuste, keskkonnakatseliste piirangute ja elanikkonna sotsiaalse taluvusega. (Reinsalu, 2008 (a); Niitlaan *et al.*, 2012)

Põlevkivi kaevandatakse nii peal- kui allmaakaevandamise meetodil, mille valiku määrab katendi eemaldamise piirpaksus katenditeisaldusmasinatega. Kasuliku kihi lõunasuunalise kallaku tõttu suureneb tulevikus allmaakaevandamise osatähtsus põlevkivi kaevandamisel. Põlevkivi kaevandamist raskendab aga pideva protsessina toimuv hoiu- ja kaitsealade moodustamine ning Natura 2000 alade võrgustiku laiendamine. (Niitlaan *et al.*, 2012)

AS Eesti Energia Kaevandused on lõpetanud mäetööd Aidu karjääris ja Viru kaevanduses. Põlevkivi toodangu vähenemise tõttu puudujääva kaubapõlevkivi mahu tagamine jääb hetkel Estonia kaevanduse ja Narva karjääri kanda. Katendi lõunasuunaline paksuse kasv Narva karjääris ja töö ete arvu vähenemine ei võimalda aga kasutatava kaevandamistehnoloogiaga kaevandamise jätkamisel säilitada vajalikul tasemel toodangu mahtu, mistõttu on tekkinud vajadus uute tehnoloogiliste lahenduste leidmiseks põlevkivi kaevandamisel. (Niitlaan *et al.*, 2012; Metsur *et al.*, 2014)

Käesoleva töö eesmärgiks oli analüüsida põlevkivi kaevandamise hetkeolukorda ja varasemaid kogemusi, et neid teadmisi kasutada parima võimaliku tehnoloogia rakendamiseks Narva karjääris, mille puhul keskkonnahäiring¹ oleks minimaalne ning ressursi kasutus maksimaalne.

Täna oma juhendajat tehnikateaduste doktorit Jüri-Rivaldo Pastarust. Lisaks täna heade nõuannete ja soovitude eest tehnikateaduste kandidaati Arvi Toomikut, emeriitprofessorit Enno Reinsalut ning kõiki teisi, kes aitasid ja toetasid autorit käesoleva töö tegemisel. Antud magistr töö on seotud TTÜ Mäeinstituudi projektiga AR12007 – Põlevkivi kadudeta ja keskkonnasäästlik kaevandamine.

¹ Keskkonnahäiring – inimtegevusega põhjustatud vahetu või kaudne negatiivne mõju keskkonnale, sealhulgas keskkonna kaudu toimiv mõju inimese tervisele, healolele või varale (KeÜS, 2011)

1. PÕLEVKIVI KAEVANDAMINE EESTIS

1.1 Geoloogilised tingimused

Eestis leiduv põlevkivi on kujunenud Kesk-Ordoviitsiumi lõpus ning Hilis-Ordoviitsiumi alguses, asudes stratigraafiliselt Uhaku ja Kukruse lademes. Põlevkivikihid, mida Eesti põlevkivimaardlas Kirde-Eestis kaevandatakse, lasuvad Kukruse lademe alumises osas lähestikku paiknevates kihtides, olles eraldatud suhteliselt õhukeste paekivikihtidega. Põlevkivikihi ehk tootuskihi moodustavad seitse kukersiikihti (A, A', B, C, D, E, F₁) ja kuus neid eraldavat lubjakivikihti (A/A', A'/B, B/C, C/D, D/E, E/F₁). Kukersiikihtide paksus on vahemikus 0,05 m kuni 0,6 m ning lubjakivikihtide paksus on kuni 0,3 m. Tootuskihi ehk põlevkivi tööstusliku kihi A...F₁ kogupaksus on 2,8 m. (Kattai *et al.*, 2000; Aaloe *et al.*, 2006)

Maardla põhjaosas alustati kaevandamist karjäärides, kus põlevkivikiht lasus maapinna lähedal. Kui karjääriviisiliselt ei olnud enam võimalik kaevandada, mindi üle allmaakaevandamise meetodile. Lõuna suunas põlevkivikiht lasub sügavamal, mis tuleneb aluspõhjakivimite üldisest lõunasuunalisest kallakusest. (Valgma, 1998; Reinsalu, 2008 (a)) Põlevkivikihi lamami sügavuse kasvu on kujutatud lisas 1 toodud joonisel.

1.2 Hüdrogeoloogilised tingimused

Kirde-Eesti hüdrogeoloogilised tingimused on seotud Pandivere kõrgustiku põhja- ja idanõlvade geoloogilise ehitusega. Lisaks mõjutavad piirkonnas hüdrogeoloogilisi tingimusi mattunud ürgorud ning tektooniliste rikete vööndid, millest ulatuslikumad on Ahtme, Aseri, Rakvere, Sõmeru ja Viivikonna (Lisa 1). Sügavamaid veekihte mõjutavad põhiliselt Kvaternaarisetetega täidetud mattunud ürgorud. Aluspõhja sette kivimite läbilõikes vahelduvad vettandvad² liivakivid ning karbonaatsed kivimid vettpidavate³ savi, mergli ja savika lubjakivi kihtidega. (Kattai *et al.*, 2000; Karise *et al.*, 2004)

Vastavalt Euroopa Liidu veepoliitika raamdirektiivile 2000/60/EÜ⁴ (seadustatud 23. oktoober, 2000) mõistetakse põhjaveekogumi all tinglikult piiritletud põhjavee mahtu põhjaveekihi või -kihtides. Kuna põhjaveekogum iseloomustab teatud veekihi või veekompleksi veemajanduslikult kasutatavat osa, siis võivad erinevate põhjaveekogumite

² Veeand – veega küllastunud pinnase omadus ära anda gravitatsioonilist vett (Karise *et al.*, 2004)

³ Veepide e vettpidav kiht – pinnase, kivimi kiht, mis ei lase vett läbi (Karise *et al.*, 2004)

piirid kattuda. Lisas 2 on toodud joonisena Kirde-Eesti geoloogilise ehituse, litoloogia, hüdrogeoloogiliste üksuste ning põhjaveekogumite korrelatsioon. (Perens *et al.*, 2010)

Kvaternaari Vasavere põhjaveekogum (Q) paikneb Kurtna maastikukaitsealal Vasavere mattunud ürgorus, lõikudes kitsa ribana Ordoviitsiumi aluspõhjakeivimitesse. Põhjaveekogum toitub infiltreeruvast sademeveest, kohati Ordoviitsiumi veekogumi veest ja pinnaveest. (Perens *et al.*, 2010)

Kesk-Devoni põhjaveekogumi sporaadiliselt vettandvat Narva (D_{2nr}) lokaalset veekihti loetakse regionaalseks veepidemeks, kuid praktikas on veekihi avamusalal kihistu ülaosa lokaalselt vettandev. Veekompleks koosneb peeneteralisest liivakivist ja liivsavimoreenist. Veekiht on valdavalt surveta ning filtratsioonikoefitsient madal, 0,6 m/ööp. (Kattai *et al.*, 2000; Perens *et al.*, 2010)

Ordoviitsiumi põhjaveekompleks (O) jaguneb *Ida-Viru põhjaveekogumiks* ja *Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumiks*. Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumi veetaset mõjutab põlevkivikaevandamise veekõrvaldus. Vettandvateks kivimiteks on lubja- ja dolokivid. Veekompleksi veerohkus sõltub kivimite lõhelisusest ja karstumusest. Ordoviitsiumi veekompleksis eristatakse Nabala-Rakvere, Keila-Kukuruse ja Lasnamäe-Kunda põhjaveekihte. (Kattai *et al.*, 2000; Perens *et al.*, 2010)

Nabala-Rakvere põhjaveekihi (O_{3nb-rk}) moodustavad Nabala ja Rakvere lademe lõheline, kohati dolomiidistunud ja karstunud lubjakivi, mille paksus lõuna suunas kasvab. Veekihi lamamiks on Oandu lademe vett vähe läbilaskev mergel ning savikas lubjakivi. Põhjavesi on valdavalt surveta ning asub maapinnast sügavusel 0,3...6,0 m, kaevandusalade mõjupiirkonnas veelgi sügavamal. (Kattai *et al.*, 2000; Perens *et al.*, 2010)

Keila-Kukuruse põhjaveekihi (O_{3kl-kk}) vettandvateks kivimiteks on Keila ja Kukuruse lademe dolomiidistunud lõheline lubjakivi. Veekihi lamamiks on Uhaku lademe savikast ja tihedast lubjakivist koosnev veepide. Töötavate karjäärade ning kaevanduste piirkonnas on põhjaveekihi taset oluliselt alandatud, kuna antud veekiht võtab vahetult osa kaevandusvee kujunemises. (Kattai *et al.*, 2000)

Lasnamäe-Kunda põhjaveekiht (O_{2ls-kn}) levib peaaegu kõikjal, kus vettandvateks kivimiteks on nõrgalt lõhelised lubja- ja dolokivid paksusega kuni 20 m. Kesk-Ordoviitsiumi Uhaku lademe savikas lubjakivi ning mergel paksusega kuni 12 m on ülemiseks suhteliseks

veepidemeks ning Alam-Ordoviitsiumi glaukoniitlubjakivi, dolokivi, aleuroliit ja savi alumiseks veepidemeks. Aladel, kus kaevandamise tõttu on ülemiste veekihtide tasemed alandatud või osaliselt drenitud, on Lasnamäe-Kunda veekihi põhjavesi ainuke väiketarbijate veevarustusallikas. (Perens *et al.*, 2010)

Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogum veevarustuse allikana ei ole eriti olulise tähtsusega, kuna vee kvaliteet ei vasta joogivee nõuetele kaevanduste ja karjääride veekõrvaldusest tingituna või vett ei ole piisavalt. (Perens *et al.*, 2010)

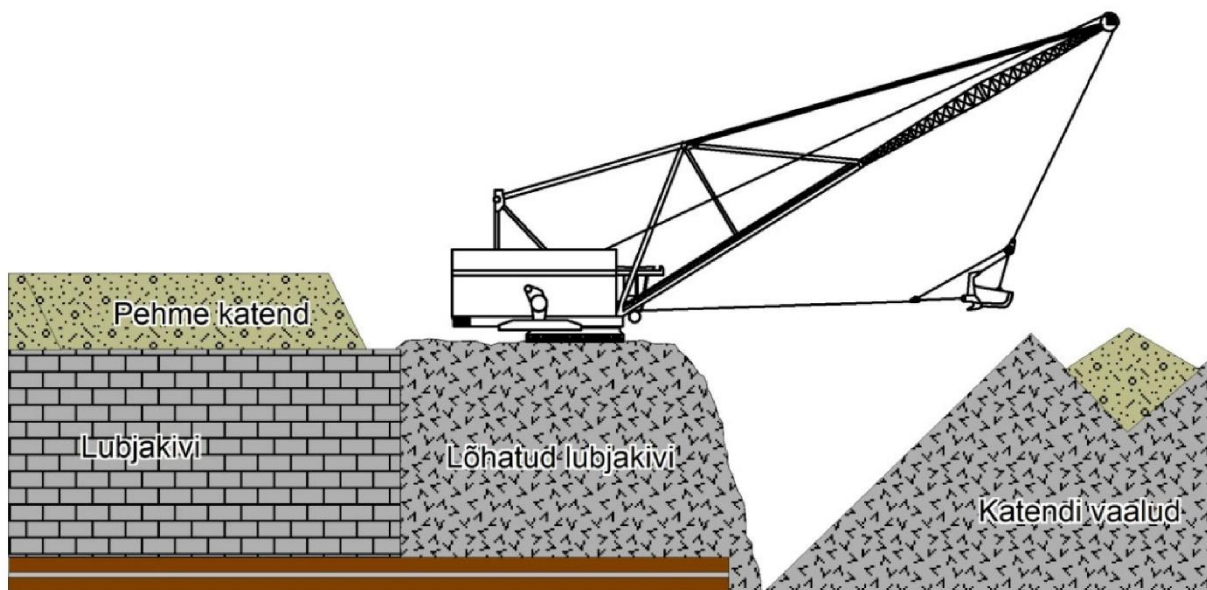
Põlevkivi kaevandamisel pumbatakse karjääridest ja kaevandustest välja 200...260 mln m³ vett aastas. Ühe tonni kaubapõlevkivi saamiseks pumbatakse keskmiselt 12...18 m³ vett. Veehulk on suurim suurveeajal ja sademeterikastel perioodidel. Veekõrvaldamise hulk sõltub kaevandatud ala pindalast ja tootuskihi peal paiknevate veekihtide veerohkusest ning vähesel määral ka toodangu mahust. (Газизов, 1971; Sokman, 2011) Kaevanduste ja karjääride väljapumbatavast veest moodustab enamiku sademevesi, karjäärides ~80% ja kaevandustes ~60%. Peale mäetööde lõpetamist peatatakse vee väljapumpamine, misjärel täituvad kaevandused ja karjäärid taas veega ning põhjaveetase tõuseb. Eelnevalt kuivendatud alad muutuvad taas niiskeks. (Karise *et al.*, 2004; Sokman, 2011)

1.3 Pealmaakaevandamine

Pealmaakaevandamine on kaevandamisviis, kus maavarasid kaevandatakse karjääri viisilisel, katendi teisaldamise teel. Pealmaakaevandamist rakendatakse üldjuhul siis, kui põlevkivikihi katva katendi teisaldamine on majanduslikult otstarbekas, milleks on katendi eemaldamise tehnoloogiline piirpaksus 27 m. Põlevkivi pealmaakaevandamisel kasutatakse Eestis peamiselt vaalkaevandamise tehnoloogiat. (Valgma, 1998; Adamson, 2005)

Põlevkivi kaevandamiseks eemaldatakse esmalt pehmeteks seteteks ja kaljusteks kivimiteks jagunev katend. Tehnoloogilise otstarbekuse ja geoloogilise struktuuri tõttu eemaldatakse katend kahe alaastanguga, kõigepealt pealmised pehmed setted ja seejärel alumised kaljused kivimid. Paljandustöödel kasutatakse draglain tüüpi ekskavaatoreid, mille tehnoloogilise skeemi põhimõtteks on setete ja kaljuste kivimite selektiivne teisaldamine (Joonis 1). Draglaini kaevesammu laius katendi eemaldamisel sõltub masina tehnilistest parameetritest ja kasutatavast paljandusskeemist, jäädes Eestis kasutatavatel masinatel vahemikku 30...45 m. Pealmiste setete eemaldamise järel puuritakse kaljusesse katendisse lõhkelaengud.

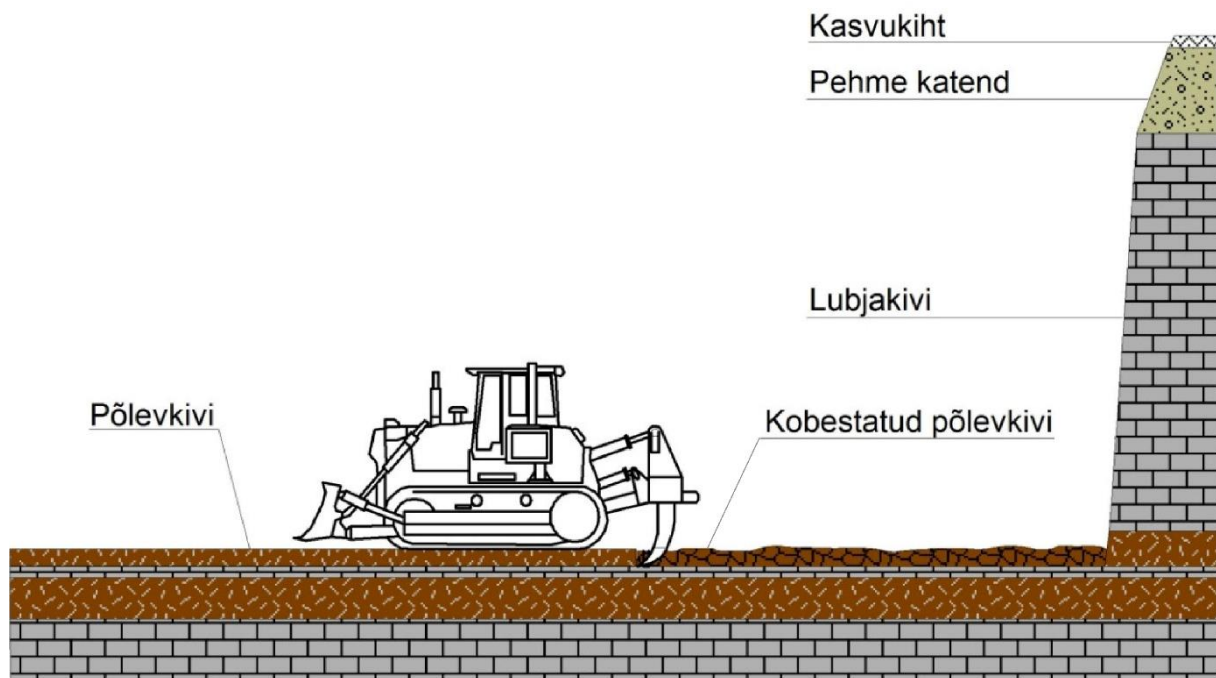
Lõhkelaengutesse laetava lõhkeainega lõhatud kaljune katend teisaldatakse draglainiga. Ripperkobestiga varustatud buldooseriaga kobestatakse põhiliselt lubjakivi alumine osa. Draglain töötab kobestatud kaljuste kivimite kuhila peal ning mõlema alaastanguga teisaldatakse katend ühest seisupaigast – alumise ammutamisega lõhatud kaljused kivimid ja seejärel ülemise ammutamisega settekivimid. Tänu kasutatavale tehnoloogiale on võimalik kaljused kivimid paigutada moodustatava puistangu alumisse ossa ja peale pehmed setted, mis kindlustab puistangute püsivuse ning tagab ala hilisemaks korrastamiseks head tingimused. (Viil, 2010; Reinsalu, 2011)



Joonis 1. Katendi teisaldamine draglainiga (koopia: Niitlaan *et al.*, 2012)

Paljandustööde tehnoloogia määrab tootuskihi katendi paksus. Eelnevalt kirjeldatud paljandustöid kasutatakse paksema katendiga karjäärides – Narva ja Sirgala kaeväljadel. Õhema katendiga kaeväljadel kasutatakse paljandustöödel ühe astmega lihtkaevandamisviisi ilma puur-lõhketöödeta. Täpsem katendi eemaldamise tehnoloogiline skeem on kattedekivimite paksusest ja olemasolevast paljandustehnikast. (Viil, 2010; Väizene *et al.*, 2014)

Põlevkivikihtide väljamisel nagu ka katendi eemaldamisel kasutatakse selektiivset meetodit, kus tootuskihindist väljatakse kvaliteetsed põlevkivikihid ja vähem kvaliteetsed kihid eraldi. Selektiivsel väljamisel kasutatakse peamiselt ripper-kobestiga buldoosereid (Joonis 2). Tootuskihi kobestamiseks kasutatakse ka uudsema tehnoloogiana freeskombaini, mille töötäpsus on kõrgem kui ripper-kobestil. (Reinsalu, 2011)



Joonis 2. Põlevkivihikihindi selektiivne väljamine buldooserkobestiga (koopia: Niitlaan *et al.*, 2012)

Põlevkivi pealmaakaevandamise tehnoloogia on praktiliselt püsinud muutumatuna aastakümneid. Peamised arengud on toimunud vaalkaevandamise tehnoloogia täiustamisel, töökorralduse optimeerimisel ja kaevandamistehnika uuendamisel. Üheks olulisemaks uuenduseks ongi freeskombaini kasutuselevõtmine, mis on suurendanud kontrolli toodangu kvaliteedi üle ja vähendanud materjali edasist töötlemisvajadust. (Väli, 2011; Niitlaan *et al.*, 2012)

Mäetööde üldine liikumissuund Eesti põlevkivimaardlas toimub lõunasuunas, seejuures kasuliku põlevkivihikihindi laskumisega järjest sügavamale maapõue. Kuna üle 27 m sügavusel oleva põlevkivihikihindi karjääriviisiline kaevandamine ei ole majanduslikult otstarbekas, on pealmaakaevandamine kaotamas lähiaastatel oma tähtsust. Seega edasine areng põlevkivi kaevandamisel seisneb pigem kas uute tehnoloogiate juurutamises ning töökorralduse ja töövõtete muutmises või allmaakaevandamise tehnoloogia kasutuselevõtus. (Valgma, 1998; Niitlaan *et al.*, 2012)

1.4 Allmaakaevandamine

Põlevkivi allmaakaevandamist rakendatakse juhul, kui katendi teisaldamine puistangutesse muutub majanduslikult liiga kulukaks. Katendi eemaldamise majanduslikuks tasuvuse piiriks loetakse Eestis kuni 27 m. (Valgma, 1998)

Allmaakaevandamise tehnoloogiast on Eestis kasutatud erinevaid meetodeid, mis on tingitud kaevanduste moderniseerimise vajadusest ja parimate võimalike kaevandamistehnoloogiate evitamisega. Kasutatava tehnoloogia määrab tootuskihi lasumissügavus ja paksus, laekäitlus ning mäerõhu juhtimine. (Väizene *et al.*, 2014) Eestis põlevkivi kaevandamisel kasutatud ja kasutatavad kaevandamistehnoloogiad on:

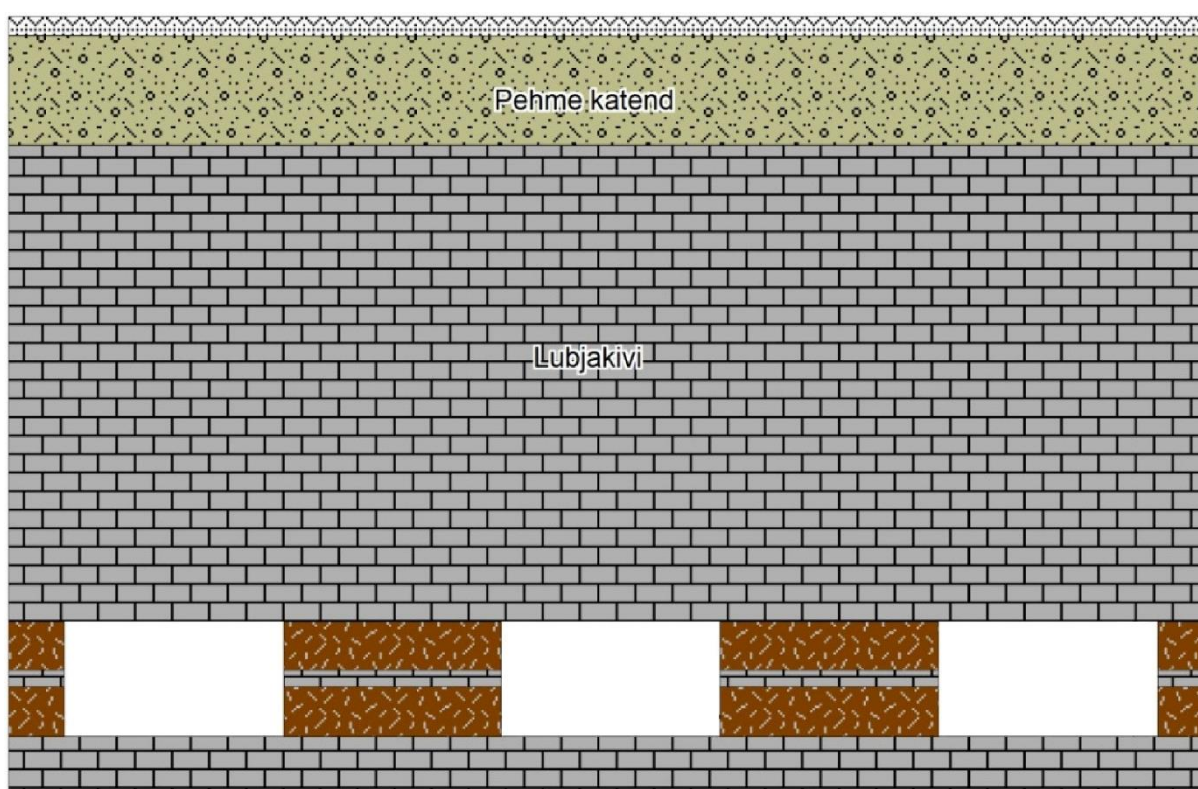
1. Ruumtervikkaevandamine lae langetamisega täitematerjalile (Газизов & Аллик, 1959).
2. Käsilaavaga kaevandamine, kus laekivimid toetuvad täiteribadele (Беловолов, 1953).
3. Kamberkaevandamine, kus lagi toetub põlevkivist jäetud tervikutele (Талве *et al.*, 1965).
4. Kombainlaavakaevandamine laekivimite täieliku langetamisega (Адамсон, 1973).

Ruumtervikkaevandamise ja käsilaavaga kaevandamise tehnoloogiat kasutati enam põlevkivi kaevandamise algaastatel, kuid raske käsitöö, madala tööviljakuse ja suurte põlevkivikadude tõttu oli vaja leida nende asemele uusi alternatiivseid põlevkivi kaevandamise tehnoloogiaid. 1960-ndatel aastatel võeti kasutusele puur-lõhketöödega kamberkaevandamise tehnoloogia. 1970-ndatel aastatel arendati ja töötati välja põlevkivi kaevandamiseks Eesti tingimustes kombainlaavakaevandamise tehnoloogia, mis oli kasutusel aastani 2000. Antud tehnoloogiat iseloomustas üpris suur põlevkivikadu, kuna varasemalt kasutati antud tehnoloogiat põlevkivi raimamiseks peamiselt kohtades, kus laekäitlus kamberkaevandamisviisil oli raskendatud ning lisaks olid kohati suureks probleemiks raskesti varistatavad laed. Kuigi tol ajal moodustasid põlevkivi kaod kombainiga kaevandamisel peaaegu poole kaevandatavast varust, osutus antud tehnoloogia ainuvõimalikuks kaevandamise tehnoloogiaks ebapüsivate laetingimuste korral. Varasemalt kasutusel olnud tehnika ei võimaldanud siiski edukalt juurutada kombainlaavakaevandamise tehnoloogiat ning põlevkivi kaevandamisel jääd traditsioonilise kamberkaevandamise tehnoloogia juurde. (Toomik, 1999; Väizene *et al.*, 2014)

Hetkel ainsaks kasutatavaks allmaakaevandamise tehnoloogiaks on Eestis kamberkaevandamine puur-lõhketöödega, kus kambriplokk on jagatud kogumisstreikiga paremaks ja vasakuks tiivaks. Antud kaevandamisviisi eripäraks on mäetööde käigus moodustuvad sambakujulised tugitervikud⁴ (edaspidi tervikud), mis tagavad põhilae püsivuse. Selline laekäitlusviis välistab mistahes toestiku kasutamise vajaduse põhilae üleval

⁴ Tugitervik – tüüpilised sambakujulised tervikud, mis toetavad koristuskambreid (Reinsalu, 2011)

hoidmiseks. Lähislae kihid liidetakse ankrutega paksemaks ja tugevamaks plaadiks põhilae külge. Samas antud tehnoloogia negatiivseks küljeks on maapinna ebastabiilsus pärast mäetööde lõpetamist – ehk tekib kvaasistabiilne⁵ maa. See tähendab, et peale kaevandamist on küll katend ja maapind stabiilne, kuid pikaajaliselt jätkub tervikute murenemine ja kusagilt võivad alata nn. iseeneslikud varingud ja langatused⁶. Prognoositav maapinna esialgne vajumine võib olla 0,025 m ja varingu korral kuni 1,5 m. Kamberkaevandamise korral määrab kambrite ja tervikute mõõdud kasuliku kihi lasumissügavus, lae kõrgus ja puur-lõhketöödel kasutatava lõhkamise sammu ehk edasinihke pikkus. (Toomik, 1999; Väizene et al., 2014) Kamberkaevandamise ristlõike põhimõtteline skeem on toodud joonisel 3.



Joonis 3. Kamberkaevandamise ristlõike põhimõtteline skeem (koopia: Niitlaan *et al.*, 2012)

Kamberkaevandamine on Eestis ligi 60 aastaga saavutanud üpriski hea tehnoloogilise taseme, mistõttu huvi alternatiivsete kaevandamistehnoloogiate vastu on olnud üsna väike. Kamberkaevandamise tehnoloogia ei ole põhiolemuselt muutunud, peamised arengud on toimunud töökorralduse optimeerimisel, puur-lõhketöödega tehnoloogia täiustamisel ja kaevandamisel kasutatava tehnika uuendamisel. Üheks uuenduseks võib märkida Estonia kaevanduses kaeveõõnte pika edasinihkega kaevandamistehnoloogia järjest suuremat

⁵ Kvaasistabiilne – maa, mille hoidmiseks ettenähtud tervikud ei purune kaevandamise ajal, kuid see võib toimuda kunagi hiljem (Reinsalu *et al.*, 2002)

⁶ Langatus – maakoore õõnte kokkuvarisemine (ÕS, 2013)

kasutuselevõttu. Pika edasinihke korral ühekordse lõhkamisega saavutatakse 4 m pikkune tööee edasinihe, olles lühikese edasinihke korral 2 m. Tänu kasutatavale meetodile suureneb jaoskonna tootlikkus ja vähenevad kulud. Samas on oluliseks negatiivseks faktoriks lõhketööde mõjul tervikutesse tekkiv suurem purunemissügavus, millel puudub lage kandev funktsioon ning seetõttu tuleb projekteerida suuremad tervikud. Pikem edasinihe tekitab suuremaid seismilisi laineid, mis omakorda vähendavad tervikute püsivust. Tagamaks tervikute püsivust on arvutustes suurendatud lõhketööde kasutamise tõttu kambri seinte purunemise summaarset sügavust 0,6 meetrilt 1,0 meetrini. Tootuskihi väljamispaksus on üldjuhul 2,8 m, ebapüsiva lähislae korral aga 3,8 m. (Niitlaan *et al.*, 2012; Väizene *et al.*, 2014)

Raimatud⁷ kaevis laetakse allmaarataslaaduriga kambriplokis paiknevale kraapkonveierile, kus toimub ka materjali esmane purustamine. Edasi liigub purustatud materjal mööda lintkonveierit maapinnale ning vajadusel suunatakse see edasi rikastamisele. Mäetööde organiseerimine kambriplokis on keeruline ja töömahukas protsess just suure lõhketööde mahu ning kaevis pika laadimisprotsessi tõttu. Kamberkaevandamisviis on üprisiski efektiivne, kuid seda iseloomustab tervikutesse jääv suur põlevkivi kadu. (Niitlaan *et al.*, 2012; Väizene *et al.*, 2014)

Kamberkaevandamise viisil on lisaks puur-lõhketöödele võimalik põlevkivi raimata ka lühieekombainiga. Lühieekombain on väljamismasin, millega raimatakse kaevist mäemassiivist. Masin liigub roomikutel ning tema keskseks organiks on trumlil asetsevate hammastega lõikeorgan kivimi massiivist väljalõikamise jaoks. Kuna lühieekombaini kasutamisel ei toimu raimamist puur-lõhketöödega ning tänu sellele on võimalik projekteerida väiksemad tervikud, siis vähenevad omakorda ka põlevkivi kaod tervikutes. Lisaks kadude vähenemisele suureneb tööde tootlikkus – kivimi raimamine, purustamine ning laadimine toimub ühe ja pideva protsessina. Kombain võimaldab kihindi selektiivset väljamist. Keskkonnatundlike alade mõjupiirkonnas kaevandades välistatakse puur-lõhketöödega kaasnevaid maavõnkeid ja müra. Geoloogilisest eripärast tulenevalt on põlevkivi kaevandamisel probleemiks põlevkivi tootuskihi lubjakivi C/D vahekihi teistest kihtidest oluliselt suurem survetugevus. Tulenevalt Eesti põlevkivimaardla tootuskihi keerulisest struktuurist on lühieekombainiga kamberkaevandamist kasutatud episoodiliselt. (Adamson *et al.*, 2003; Niitlaan *et al.*, 2012; Peebo & Soosalu, 2014)

⁷ Raimamine – kaevist kihist lahti murdma (EKSS, 2009)

Kombainlaavakaevandamine ehk kombainkaevandamine on tehnoloogiliselt pikaeege lankkaevandamine lae langetamisel, olles täielikult mehhaniseeritud. Maavarakihi raimamiseks kasutatakse laavakombaini, mis liigub piki tööeed kraapkonveieril. Tööee toestamiseks kasutatakse hüdraulilist toestikku, mis liigub koos konveieriga edasi tööee edasinihkumise järel. Lagi langetatakse toestuskompleksi taga kaevandatud alale, mille tulemusena jäävad suhtelised deformatsioonid minimaalseks. Kombainkaevandamise suureks eeliseks võrreldes kamberkaevandamisega on minimaalne kaevandatava põlevkivi kadu ja võimalus vältida puur-lõhketööde kasutamist. Antud tehnoloogia puuduseks on maapinnale tekkivad deformatsioonid lae varistamise tõttu. (Адамсон, 1973; Adamson *et al.*, 2000; Metsur *et al.*, 2014)

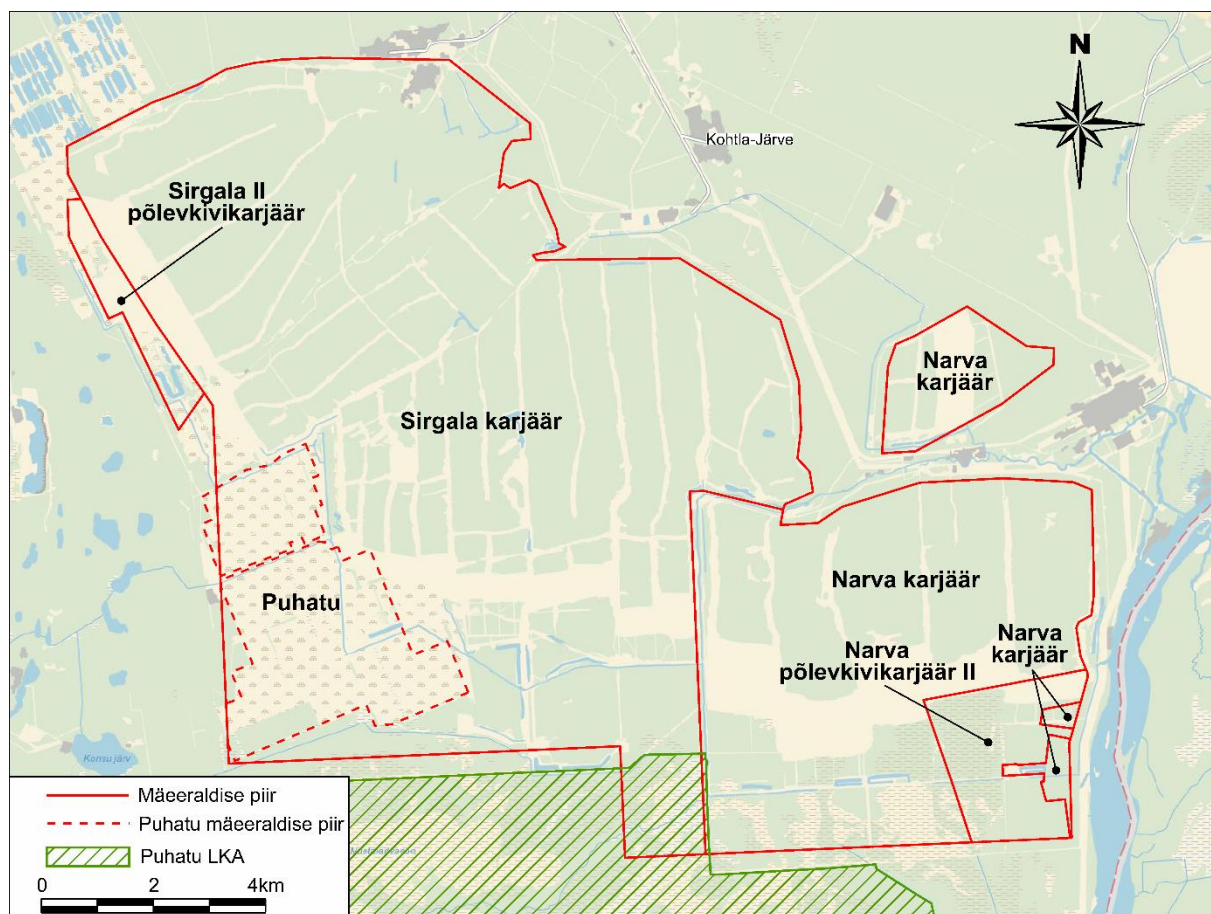
2. NARVA KARJÄÄRI LÄHTETINGIMUSED

2.1 Mäeeraldised

Eesti põlevkivimaardla idaosas toimub põlevkivi kaevandamine Narva ning Sirgala kaeveväljadel, kus kaevandajaks on AS Eesti Energia Kaevandused. Läbi aegade on mäeeraldistel kehtinud erinevad kaevandamise load ja karjääridel erinevad nimed. Segaduste vältimiseks käsitletakse käesoleva magistritöö raames antud karjääre ühtse nimetusega *Narva karjäär* (Tabel 1). Narva karjäär hõlmab ühtse tootmisüksusena töötavat nelja mäeeraldist kogupindalaga 16 330,23 ha, piirnedes läänest Vasavere mattunud ürgoruga, idast Narva jõega ja lõunast Puhatu looduskaitsealaga (Joonis 4). (Sokman, 2010; Metsur *et al.*, 2014)

Tabel 1. Narva karjääri maavara kaevandamisload ja mäeeraldiste pindalad (Maa-amet, 2015)

<i>Mäeeraldis, nimi</i>	<i>Kaevandamise luba, nr</i>	<i>Loa kehtivuse lõpp, kuup</i>	<i>Mäeeraldise pindala, ha</i>
Narva karjäär	KMIN-073	10.08.2019	4 255,77
Narva põlevkivikarjäär II	KMIN-046	15.08.2028	544,11
Sirgala karjäär	KMIN-074	03.05.2019	11 296,60
Sirgala II põlevkivikarjäär	KMIN-087	13.04.2031	233,75



Joonis 4. Narva karjääri mäeeraldiste ja Puhatu mäeeraldise paiknemine (*põhikaardina on kasutatud Maa-ameti WMS teenust*)

2.2 Kaevandamine

Geoloogilistest tingimustest lähtuvalt kaevandatakse hetkel Narva karjääris põlevkivi pealmaakaevandamise meetodil. Lisaks geoloogiliste ja hüdrogeoloogiliste tingimustega arvestamisele jälgitakse kaevandamisel ka loodus- ja keskkonnakaitselisi tingimusi. Looduskaitse objektide kaitse alla võtmisel lähtutakse Looduskaitseadusest, mille järgselt tuleb kaitse alla võtta kõik I kaitsekategooria, 50% II kaitsekategooria ning 10% III kaitsekategooria liikide elupaikadest. Lisaks toimub pideva protsessina Natura 2000 ning hoiu- ja kaitsealade moodustamine ning võrgustiku laiendamine. (Reinsalu *et al.*, 2001 (a); Niitlaan *et al.*, 2012) Natura 2000 ja looduskaitse hoiualade paiknemine Eesti põlevkivimaardlas on toodud lisas 1.

Tuginedes Põlevkivi kasutamise riikliku arengukava 2016...2030 tegemisel vajalike andmete analüüsile, moodustavad kaitstavad alad Eesti põlevkivimaardla pindalast 29% ning seni kaevandamata alast 38%. Looduskaitse piirangute pärast on suur osa kaevandamisväärselt põlevkivi varust arvel passiivse varuna. Narva karjääri mäeeraldiste varust on Puhatu mäeeraldise ja Puhatu looduskaitseala all lasuv põlevkivi varu arvel passiivse tarbevaruna. Osa passiivsest varust võib sobiva kaevandamistehnoloogia kasutamise korral olla siiski kaevandamisväärsena. Eelnevalt on vaja saada ülevaade põlevkivikaevandamise mõjust loodus- ja keskkonnakaitseliste objektidele. (Niitlaan *et al.*, 2012; Reinsalu, 2013; Metsur *et al.*, 2014)

Puhatu turbamaardlas asuv Puhatu mäeeraldis paikneb Narva karjääri lääneosas (Joonis 4), kus Maa-ameti andmetel AS Tootsi Turvas kaevandab kaevandamisloa KMIN-023 alusel. Antud alal paiknev turvas on Maa-ameti maavaravarude koondbilansis arvel aktiivse tarbevaru plokkides, kuid põlevkivi passiivse tarbevaru plokis. Vastavalt Maapõueseaduse § 62 lõige 1 järgi tuleb maapõue seisundit ning kasutamist mõjutava tegevuse teostamisel tagada, et arvelevõetud maavara ja maavaravaru säiliks kaevandamisväärsena. Seetõttu tuleb eelnevalt nimetatud varusid kaevandada selliselt, et kaevandamise käigus ei rikutaks kummagi maavara varu. Kuna turbavaru asub ülemistes kihtides, siis enne põlevkivi karjääriviisilist kaevandamist tuleb ammendada selle peal paiknev turvas. Turba kaevandamine on pikaajaline protsess, kus toodangumaht sõltub erinevatest teguritest (ilmastik, turg, jt). Sõltuvalt eelnevatest teguritest ning lähtuvalt keskkonnaregistri maardlate nimistu andmetel turba jääkvaru kogusest ja viimase viie aasta keskmisest kaevandamismahust, kulub kogu turbavaru kaevandamiseks Puhatu mäeeraldisel hinnanguliselt 70...80 aastat, mis aga tingib seniks

põlevkivi kaevandamise peatumise. Kaevandamata jääva põlevkivi kompenseerimiseks on vaja kas suurendada põlevkivi toodangu mahtu muudelt aladelt või leida alternatiivseid kaevandamisviise, mis võimaldaksid põlevkivi- ja turbavaru üheaegset kaevandamist. Üheks arvestatavaks alternatiiviks Narva karjääri lõunaosas põlevkivi kaevandamiseks võib olla allmaakaevandamine, mis võimaldaks mõlema maavaravaru üheaegset väljamist. (Niitlaan *et al.*, 2012; Metsur *et al.*, 2014)

2.3 Lähteandmed

Varasemate geoloogiliste uuringute põhjal on mäeinsener ja geoloogia-mineraloogiakandidaat Vello Kattai koostanud Narva karjääri kõigi nelja mäeeraldise puuraukude digitaalse andmebaasi I, II ja III etapi, mis kokku moodustab ühtse terviku (Kattai, 2000; Kattai, 2001). Narva karjääri mäeeraldiste ala on varasemalt geoloogiliselt uuritud aastatel 1952...1954, 1957...1959, 1976, 1986, 1987 ja 1989...1992. Tabelis 2 on toodud puuraukude paiknemine Narva karjääri mäeeraldiste lõikes.

Tabel 2. Puuraukude paiknemine Narva karjääri mäeeraldistel

<i>Mäeeraldis, nimi</i>	<i>Puuraukude arv</i>
Narva karjäär	167
Narva põlevkivikarjäär II	45
Sirgala karjäär	281
Sirgala II põlevkivikarjäär	7

Narva karjääri lõunaosas põlevkivi kaevandamise tehnoloogiliste võimaluste leidmiseks on käesoleva magistritöö autor (edaspidi *autor*) vajaliku geoloogilise taustinfo täpsustamiseks digitaliseerinud olemasoleva andmebaasi. Vastavalt V. Kattai poolt koostatud andmebaasile ja varasemalt teostatud geoloogiliste uuringute andmetele on autor kogunud geoloogilise informatsiooni põhjal konstrueerinud Narva karjääri lõunaosa paksusmudelid tootuskihindit katvatest kihtidest ning vormistanud neist joonised – katendi kogupaksus (Lisa 3), Ordoviitsiumi kivimite paksus (Lisa 4), Devoni setete paksus (Lisa 5) ja Kvaternaarisetete paksus (Lisa 6). Samuti on autor koostanud geoloogilise informatsiooni põhjal vaadeldava ala piires viis puuraugu läbilõiget tootuskihindist ning seda katvatest kivimitest ja setetest. Narva karjääri puuraukude läbilõiked on koostatud puuraukudest PA-566, PA-917, PA-967, PA-2396 ja PA-1130 ning on toodud lisades 7...9. Puuraukude kataloogis lisas 10 on toodud kõikide puuraukude nimetused koos koordinaatide ja kihtide paksustega. Paksusmudelite ja puuraukude läbilõigete koostamiseks ning vormistamiseks on autor kasutanud

projekteerimistarkvarasid *Bentley PowerCivil for Baltics V8i* ja *Surfer 11 Surface Mapping System Golden Software, Inc.*

3. KAEVANDAMISE TEHNOLOOGIA VALIK

3.1 Geoloogilised ja hüdrogeoloogilised tingimused

Lõunasuunalise kallakuga tootuskihind lasub Kukruse lademes (O₂kk) ning kujutab endast põlevkivi vahekihtidega paekivimassiivi. Tootuskihind Kukruse lademes on esindatud seitsme põlevkivikihi ja viie nendega vahelduva lubjakivi vahekihiga. Piirkonnas puuduvad olulised tektoonilised rikked (Lisa 1). (Kattai *et al.*, 2000; EE, 2014).

Toetudes autori poolt koostatud geoloogilistele paksusmodelitele on kirjeldatud Narva karjääri lõunaosa geoloogilised tingimused. Katendi kogupaksus jääb antud ala piires vahemikku 14,3...36,3 m, keskmiselt 25,6 m (Lisa 3). Kukruse lademe ülemise osa moodustab kaljune katend, mille paksus jääb vahemikku 0,0...14,9 m, keskmiselt 7,9 m (Lisa 4). Karjääri lääneosas kaljune katend kohati puudub, ulatudes edelaosas aga üle 14 m, ülejäänud ala piires on muutlikus tunduvalt väiksem. Valdavalt lasuvad alal Kukruse lademel Devoni ladestu Narva lade, mis koosneb tumehallist savi, mergli ja dolokivi kihist paksusega vahemikus 0,0...20,6 m, keskmiselt 8,1 m (Lisa 5). Karjääri lääneosas Devoni setted suures osas puuduvad või on õhukese kihi paksusega ning üldine kihipaksus suureneb lõunasuunas. Devoni kihti katvate Kvaternaari ladestu liiva-, savi- ja kruusasetete ülemises osas on kohati turbakiht paksusega kuni 0,5 m. Kvaternaari setete kogupaksus jääb vahemikku 1,0...22,8 m, olles keskmiselt 9,4 m (Lisa 6). Kvaternaari setete paksus on suurim karjääri lääneosas ning väiksem uuritava ala keskosas. (Viil, 2011)

Põlevkivi kaevandamisel mõjutavad vee juurdevoolu peamiselt Kvaternaari, Keskdevoni ja Ordoviitsiumi veekompleksid. Veekihid on seotud Kvaternaari purdsetetega ja Ordoviitsiumi lõhelise paekiviga, mis lasub põlevkivikihi peal. Kvaternaari veekompleks on peamiselt vabapinnaline, asudes vahetult maapinna all. Devoni veekompleks on esindatud Keskdevoni veekogumiga, mille ülemises osas on sporaadiliselt⁸ vettandvateks kivimiteks lõhestunud dolokivid ja mergel ning alumises osas paikneb savikas veepide. Veekogum on üldiselt madala filtratsiooniga, toitudes peamiselt Kvaternaari sademete infiltratsioonist. Kaevandamist mõjutab peamiselt Ordoviitsiumi veekompleksi Keila-Kukruse veekiht, mis toitub põhiliselt sademete infiltratsioonist ja teiste veekihtide läbivoolust. (Perens *et al.*, 2010; Viil, 2011)

⁸ Sporaadiline – üksikult, juhuslikult, hajusalt esinev (ÕS, 2013)

Narva karjääris toimuvad mäetööd ei mõjuta Kvaternaarisetete veerežiimi, kuna Kvaternaari ja Devoni hästi vettpidavad kihid tagavad, et Ordoviitsiumi põhjavee taseme tavapärane alanemine ei avalda olulist mõju ülemiste veekihtide dreenimisele (Reinsalu, 2006; Maack, 2008)

3.2 Mäendustingimused

Peal- ja allmaakaevandamise vahel valiku tegemise oluliseks kriteeriumiks on katendi paksus 27 m. Antud paksus on määratud katenditeisaldusmasinate ehk draglainide katendi eemaldamise piirpaksusega ja katenditeisalduse majandusliku tasuvusega. Seega tehniliselt on võimalik Narva karjääris pealmaakaevandamisel eemaldada katendi kihti sügavamalt kui 27 m, kuid selleks tuleb kasutusele võtta abimasinad, mis aga muudavad põlevkivi väljamiseks tehtavad kulutused tunduvalt suuremaks. (Valgma, 1998; Niitlaan *et al.*, 2012)

Katendi paksuse kasv lõunasuunas ja tööete arvu vähenemine ei võimalda Narva karjääris kasutatava kaevandamistehnoloogiaga säilitada ettenähtud kaevandamise mahtu. Oluline on leida karjääri lõunaosas asuva põlevkivi kaevandamisel tootlikkuse hoidmiseks uusi tehnoloogilisi lahendusi, arvestades seejuures ümbritseva keskkonna minimaalse häiringuga. Ülesandeks on leida selline tehnoloogiline lahendus põlevkivi kaevandamiseks Narva karjääris, mis tagaks põlevkivivaru peal lasuva turbavaru kaevandamisväärseks säilimise ning võimaldaks põlevkivi kaevandamisel tekkiva maavara kadu vähendada.

Geoloogilise informatsiooni põhjal on eelnevalt järeldatud, et Narva karjääri lõunaosas on kaljuse katendi paksus väga muutlik ja õhuke, olles vahemikus 0,0...14,9 m ning keskmiselt 7,9 m. Tuginedes eelmainitule ning asjaolule, et kamberkaevandamisel puur-lõhketöödega on lae püsivuseks vajalik kaljuse katendi minimaalne paksus 10 m, on Narva karjääris kamberkaevandamise tehnoloogia rakendamine raskendatud maapinna stabiilsuse mittesaavutamise tõttu. (Adamson, 2005)

Põlevkivi kaevandamisel on oluline kinni pidada mäetööde ohutust läbiviimisest, saavutada võimalikult vähene maavara kadu ning tagada kaevandamisjärgne maapinna stabiilsus. Kamberkaevandamise tehnoloogiaga kaevandamine ehk tervikute jätmine maa alla põlevkivi tehnoloogilise kao vähendamiseks suurt efekti ei anna. Kuna maavara kao vähendamine koos tööohutuse ja maapinna stabiilse seisundi tagamisega on olulisel seisukohal, siis võimalikuks tehnoloogiaks eelnevate eesmärkide saavutamiseks võib sobida kombainlaavakaevandamine.

Põlevkivi kaod kombainlaavakaevandamise tehnoloogia juures on minimaalsed. (Adamson *et al.*, 2000; Rätsep *et al.*, 2003)

3.3 Varasemad kombainlaavakaevandamise kogemused

1970. aastatel hakati Ahtme, Tammiku, Kaevanduses nr. 4, Kohtla, Somp ja Käva kaevandustes juurutama kombainlaavakaevandamise tehnoloogiat (Saarnak *et al.*, 2014). Kuna Eestis vastav tehnika puudus, siis hangiti selleks söekombaine, mis kohapeal kohandati ümber põlevkivi kaevandamiseks. Sellest hetkest hakkas kombainkaevandamise tehnoloogia kiire areng. (Surva, 2008)

1970. aastal nähti Kaevandus nr 4 kaevandusvälja lääneosas ainuvõimalikuks põlevkivi kaevandamise tehnoloogiaks kattekivimite madala paksuse ja rohkete karstirikete tõttu kombainkaevandamist laekivimite täieliku langetamisega. Kombainkaevandamise tehnoloogia juurutamisega suudeti edukalt kasvatada põlevkivi toodangu mahtu. (Kaup & Nugis, 2008)

1973. aastal katsetati Ahtme kaevanduses kahekihilise väljamisega kombainkaevandamise tehnoloogiat. Keeruka tehnoloogia tõttu ei suudetud tagada ohutut laekäitlust. Toetuseks kasutatud hüdraulilised Sputniku toed olid lakke kõvasti kinni kiilunud, mis omakorda raskendasid mäetöid. Muudeti tehnoloogiat ning järgnevalt raimati vaid põlevkivikihi alumises osas kuni D/C kihini. Põlevkivikaod olid antud juhul küll väga suured, kuid nii saadi ainuvõimaliku tehnoloogiaga väljata karstiäärsed alad. (Nikolai, 2008)

1974. aastal alustati kombainkaevandamise ettevalmistusi Tammiku kaevanduse kirdeosas, kus tootuskihi lasumissügavus alla 10 m ei võimaldanud kamberkaevandamise tehnoloogiat kasutada. Katsetati põlevkivi väljamist erinevate kihipaksustega. Kombainkaevandamine osutus siin sobilikuks ja kohati efektiivseks tehnoloogiaks. Katsetöid alustati ka suhteliselt võimsa läbinduskombaini PK-9R katsetamisega, kuid vaatamata masina suurele massile osutus D/C vahekihi raimamine kombaini tööorganile liialt tugevaks ning kallite lõikehammaste kulu muutus liialt suureks. (Küttis *et al.*, 2008)

Õnnestunuks saab kombainlaavadega kaevandamist nimetada Kohtla ja Somp kaevandustes, kus tugev D/C vahekiht praktiliselt puudus. Seal väljati suurem osa tootuskihindist, kuni tööee toestik seda võimaldas. (Reinsalu, 2008 (b))

Aastatel 1985...1987 toimus Estonia kaevanduses selektiivse kombainkaevandamise katsetööd katselaavas N° 902. Kombainiga väljati põlevkivikihindit kolme astmeliselt (A...C, D/C ja E...F kiht). Antud katsetööde eesmärgiks oli uurida kombainiga kaevandamist lae varistamisega sügavusel üle 60 m ja seda keerukates hüdrogeoloogilistes tingimustes. Katsetöödega tõestati, et see on teostatav, kuid tol ajal puudusid vajalike parameetritega kombainid ja toestikud. Lisaks ei olnud katsetööde ajal antud tehnoloogia majanduslikult tasuv. (Дьяченко *et al.*, 1989; Mikson *et al.*, 2008)

Kombainkaevandamisel on olnud varasemalt probleemiks kombainide suur maksumus ja kohati keerukam tehnoloogia. Lisaks on kasutusel olnud kombainid osutunud raimamisel liialt nõrgaks tulenevalt põlevkivimaardla iseäralikest geoloogilistest tingimustest, mis on lõpuks kaasa toonud suured põlevkivi kaevandamise kaod. Kombainid olid küll väga tootlikud, kuid suutsid väljata vaid tootsakihindi alumist osa A...C. Kombain oli võimeline purustama D/C vahekihti, kuid peale seda vähenes kaevandamise tootlikkus ja lõiketerade kulu muutus suureks. Seepärast kasutati kombaine põhiliselt seal, kus kamberkaevandamine oli raskendatud või lubamatu. (Reinsalu, 2008 (b&c))

Tänapäeval on tänu tehnika arengule ja masinate võimsuse suurenemisele laienenud oluliselt kombainkaevandamise kasutusvõimalused. Viimased kombainkaevandamise tehnoloogilised uuendused on seotud eeskätt töökindluse ja tootlikkuse paranemisega, märkimisväärselt on suurenenud ka tööohutus. Peamised arengud on seotud kolme tehnoloogilise printsiibiga: lae toestik, tööee konveier ning kaevisel raimamine ja selle laadimine. Kombainid on muutunud paremini kontrollitavaks ning lisaks on arenenud kommunikatsiooni ja diagnostika süsteemid. (OTA, 1981; Mitchell, 2009)

3.4 Allmaakaevandamise mõju maapinnale

Tehnoloogiliselt erinevad kamber- ja kombainkaevandamine üksteisest oluliselt (OTA, 1981). Kuigi geoloogilised lähteandmed on põlevkivimaardla lõikes üsnagi sarnased, sõltub valitav kaevandamistehnoloogia uuritava ala täpsematest geoloogilistest tingimustest (Kattai *et al.*, 2000; Adamson, 2005). Kamberkaevandamise varasemate kogemuste ning maapõues toimuvate kaevandamisjärgsete protsesside analüüsi eesmärk on saada vajalikke teadmisi Narva karjääris allmaatööde rakendamiseks.

Varasemate geoloogiliste uuringutega on täheldatud, et Kvaternaarisetete all lasuva põlevkivi katva lubjakivi ülemine osa on kohati tugevasti porsunud, mis omakorda tingib kivimite

mehaanilise tugevuse vähenemise ja püsivuse nõrgenemise. Põlevkivimaardla põhjaosas, kus põlevkivikiht asub maapinna lähedal, on porsunud peaaegu kogu lubjakivikatend. Mäetööde praktikaga on täheldatud, et kuni 10 m sügavuseni on lubjakivi ebapüsiv ning sellest tingituna on kaeveõõnte lagede hoidmine väga keerukas. Põlevkivi avamusjoonelt alustanud esimesed kaevandused töötasid osaliselt porsumistsoonis ja sealt kaevandatud alad on jätkuvalt pidevas varisemisohus. (Toomik, 1999)

Kamberkaevandamisel jäävad pärast mäetöid tervikute abil hoitavad laekivimid suhteliselt püsivaks. Samas selle tehnoloogia negatiivseks pooleks on kaevandamistöõde lõpetamise järgselt maapinna pikaajaline ebastabiilsus. Kuna varingute aeg ja koht on raskesti hinnatav, siis kambritega kaevandatud ala loetakse kvaasistabiilseks. Lisaks võivad maapinna ebastabiilsust suurendada laekivimite varisemise järgselt toimuvad järelvaringud. Kamberkaevandamise meetodi kasutamise tulemusel tekkivad tühimikud võivad põhjustada maapinnani ulatuvaid deformatsioone ning silmnähtavaid muutusi maastikule ja veerežiimile. Looduslikult madalamatel aladel võib deformatsioonidest tingitud maapinna langatuse tulemusel toimuda selle liigniiskumine, kus soodustavaks teguriks on Kvaternaarisetete paksus ja koostis. Deformatsioonide ja liigniiskumise tulemusel maastikule moodustuvad uued tehislikud pinnavormid võivad muuta ökosüsteemides valitsevaid seoseid. (Toomik, 1999; Rull *et al.*, 2005)

Kvaternaarisetetes toimuvate protsesside tulemusel võib veetase maapinna vajumise järgselt tõusta langatuslehtri põhjas tasemeni, mille tulemusena võivad moodustuda madalamatesse kohtadesse lahtise veepeegli väikesed tehisjärved. Lisaks maapinna reljeefile on selletaoliste veekogude tekkeprotsessil oluliseks aspektiks Kvaternaarisetete litoloogiline koostis. Kui aluspinnas sisaldab vettpidavaid vahekihte (liivsavi, saviläätsed), koguneb nendes kohtades vesi deformatsioonilehtri põhja isegi juhul, kui selle all on põhjavee tase alanenud kaevanduse veekõrvalduse tõttu. Selliseid väikesed tehisjärvi on näiteks tekkinud Viru ja Ahtme kaevandusväljade deformeerunud aladel. (Toomik, 1999)

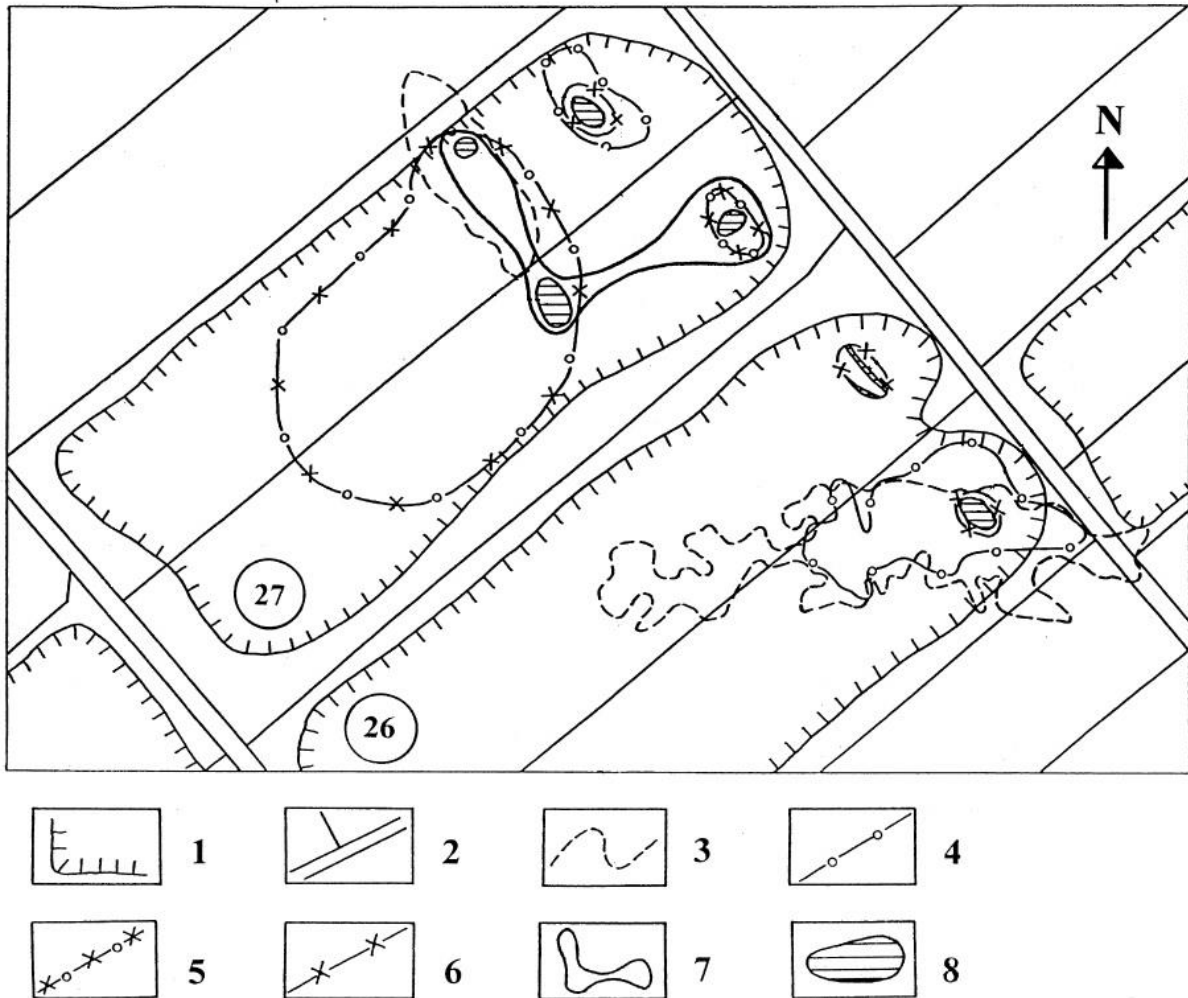
Aastatel 1988...1989 Ahtme kaevanduse ja selle lähiümbruse territooriumil teostatud hüdroteoloogiliste uuringute põhjal nähti seost Kvaternaarisetete paksuse ja veepidavuse vahel. Ahtme ja Viru kaevanduse territooriumil langatuslehtrite täiendava vaatluse põhjal täheldati, et esineb seos Kvaternaarisetete paksuse ja filtratsiooniomaduste muutuste vahel. Kvaternaarisetete paksuse korral üle 2 m suureneb oluliselt savikate vahekihtide (läätsede) esinemise tõenäosus, mis omakorda suurendab setete veepidavust. (Toomik, 1999)

Näiteid Kvaternaarisetete veepidavuse kohta juba suletud ja veel töötavate kaevanduste piirkonnas on mitmeid (Toomik, 1999). Järgnevalt vaadeldakse kaevandamisjärgseid mäetehnilisi protsesse suletud Ahtme ja Viru kaevandustes.

Ahtme kaevandus

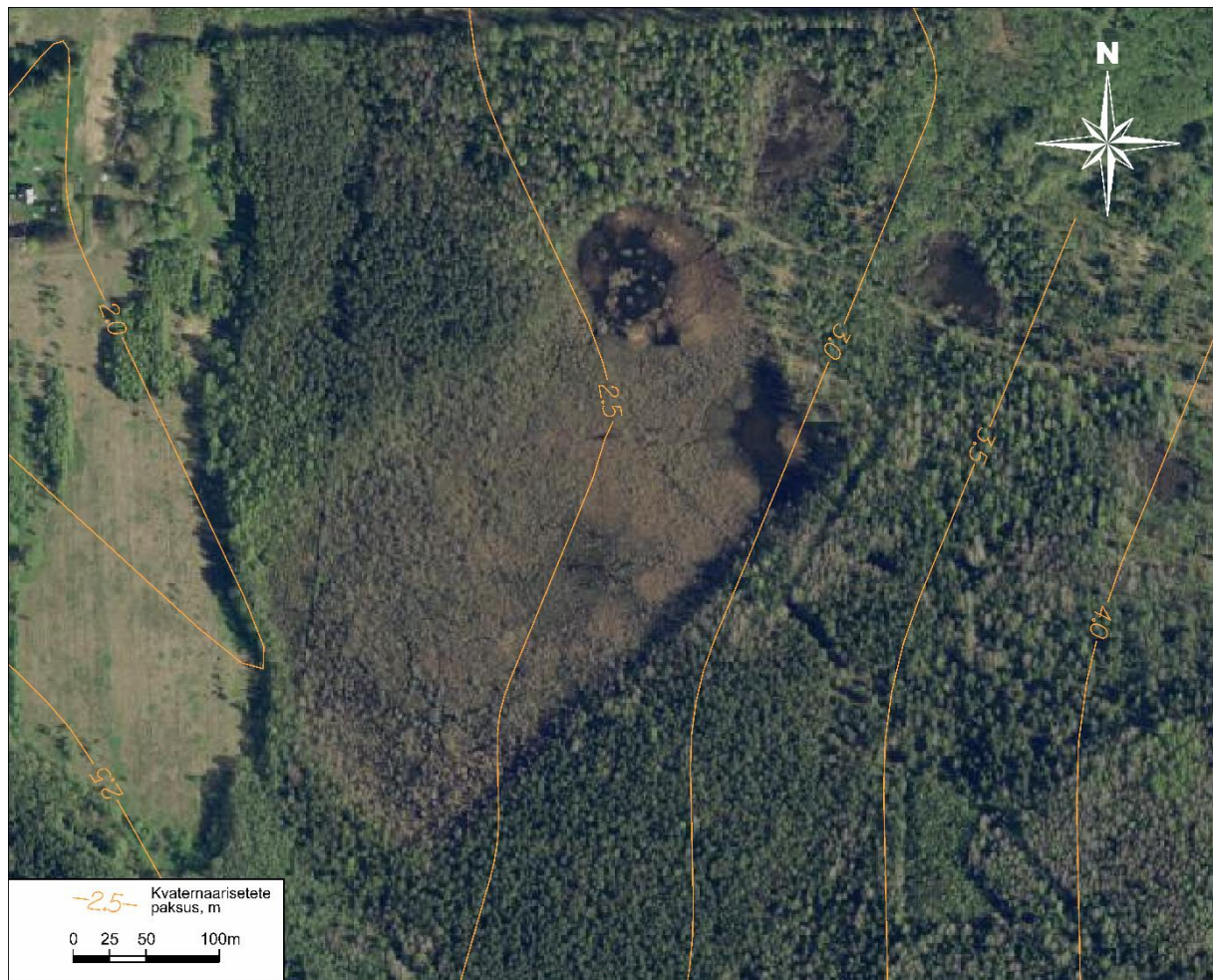
Ahtme kaevandus töötas aastatel 1948...2001 ning põlevkivi kaevandamise tulemusel kuivenes peamiselt Keila-Kukruse veekiht, jättes samas niisked metsamaad märgatava kuivendusemõjuga. Kui toimusid kambriplakkide varingud, kogunes maapinnal formeerunud langatuslohkudes ümbruskonnast pinnase- ja sademevesi, mille tulemusel tekkisid nn tehiskäred. Tekkinud veekogud jäid aastakümneteks muutumatuks, kuigi samal ajal töötas nende läheduses Ahtme kaevanduse veekõrvaldus. Ahtme kaevanduse territooriumil on Kvaternaarisetete paksus valdavalt 2...4 meetrit, kohati kõigest 1 m. (Liblik *et al.*, 2000; Reinsalu, 2011; Niitlaan *et al.*, 2014)

Ahtme kaevanduses on toimunud palju langatusi kvaasistabiilsetel aladel ja seda peamiselt kaevevälja loodeosas (Toomik, 1999). Üheks selliseks näiteks on kamberplakid nr 26 ja 27, kus maapinna esialgne deformatsioon toimus aastatel 1974...1975 (Joonis 5) (Kamalov & Ivanov, 2000; Rull *et al.*, 2005).



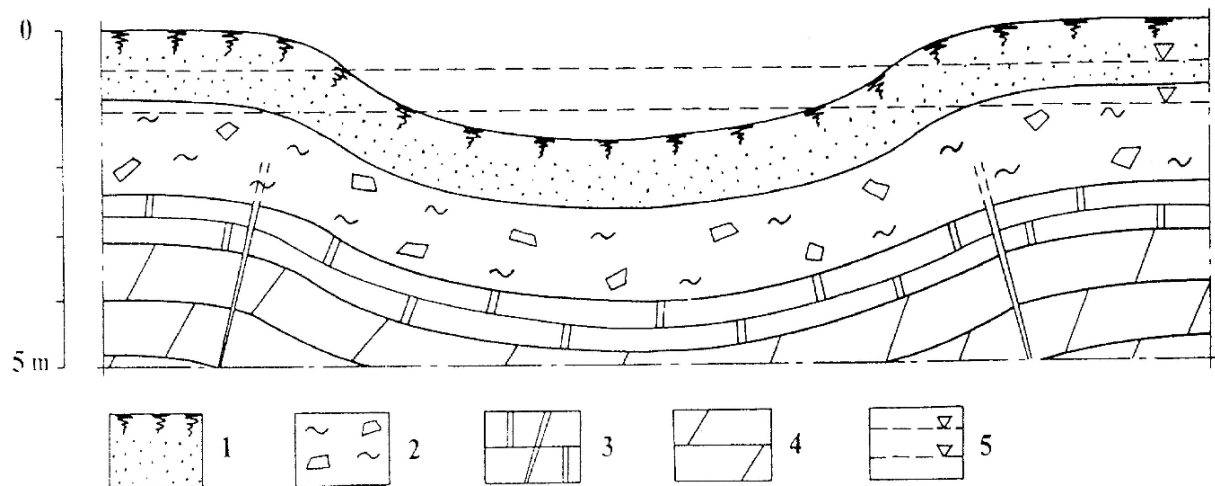
Joonis 5. Maapinna langatused kamberplokkides 26 ja 27, kus: 1-1975.a toimunud langatuse kontuur, 2-kamberplokkide piir, 3-liigniiske ala piirid enne 1975.a, 4-liigniiske ala piirid 1983.a, 5-liigniiske ala 1983...1999.a, 6-liigniiske ala 1999.a, 7-üleujutatud ala 1975.a, 8-üleujutatud ala 1999.a (koopia: Rull *et al.*, 2005)

Kirjeldatud piirkond oli enne deformatsioone kaetud metsamaaga. Deformatsiooni järgselt kujunesid maapinnale veega täitunud langatuslehtrid. (Rull *et al.*, 2005) Kamberplokkide 26 ja 27 Maa-ameti poolt pildistatud ortofotolt (Joonis 6), millele on lisatud Kvaternaarisetete paksused, on näha, kuidas deformeerunud ala eristub täielikult ülejäänud maastikust – ala on soine ning puudub mets. Kvaternaarisetete paksus langatuse piirkonnas jääb vahemikku 2...3 m. Ahtme kaevälja langatuste analüüsimiseks kasutas töö autor aastatel 1947, 1955 ja 1973 läbi viidud geoloogilisi uuringuid.



Joonis 6. Kamberplokkide 26 ja 27 ortofoto Kvaternaarisetete paksustega (*ortofotona on kasutatud Maa-ameti WMS teenust*)

Depressioonilehter Keila-Kukruse veekihi oli välja kujunenud juba langatuste toimumise ajaks, olles eelnevalt suuremas osas dreenitud. Tekkinud deformatsioonid põhjustasid lõhesid aluskivimites, mis oleks pidanud tõstma veeandvust ehk pinnasevesi ei oleks tohtinud koguneda maapinna vajumise järgselt tekkinud langatuslehtritesse. Kuna aga antud alal on Kvaternaarisetete paksus üle 2 m, sisaldades savikat materjali, mis moodustab vettpidava kihi, siis tänu oma plastilistele omadustele peale deformatsioonide toimumist moodustus vettpidav põhi. Vastavalt aastaegadest ja ilmastikutingimustest toimus langatuslehtri veetaseme kõikumine teatud maksimumi ja miinimumi vahel (Joonis 7). (Rull *et al.*, 2005)

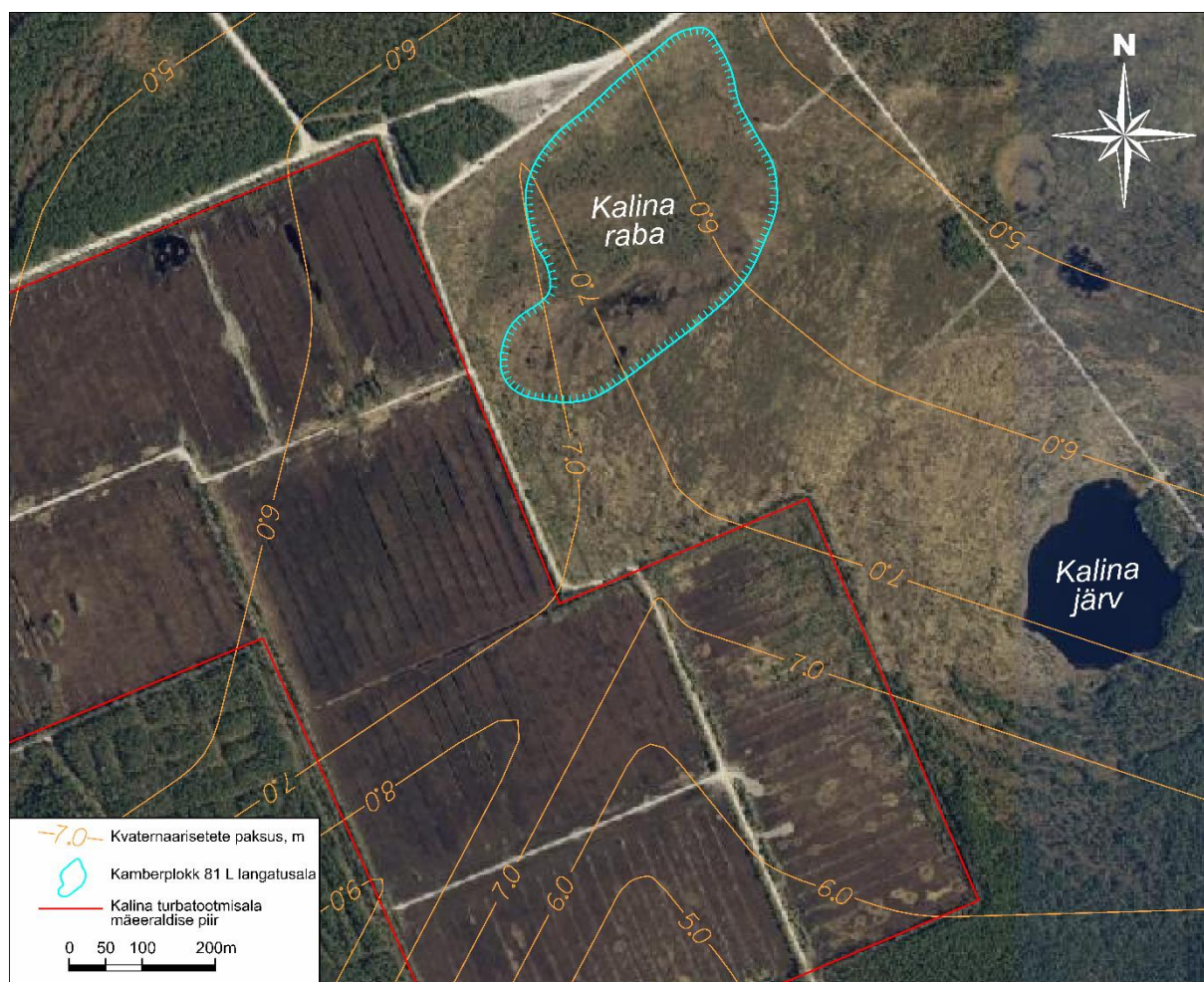


Joonis 7. Ahtme kaevanduse ülejutatud langatusala läbilõige, kus 1-pinnas, 2-savi koos lubjakivi tükkidega, 3-dolomiit (koos vajumisel tekkinud lõhedega), 4-mergel, 5-maksimaalne (suurvee ajal) ja minimaalne veetase (koopia: Rull *et al.*, 2005)

Viru kaevandus

Viru kaevanduses kaevandati põlevkivi aastatel 1964...2013. Kalina raba all paiknevas kamberplokis 81 L toimus põlevkivi kaevandamine aastatel 1975...1976. Kaevandamise järgselt toimunud varingu tulemusena moodustus soostunud ala (Joonis 8 – sinine kontuur). (Хийекиви & Стенин, 1991; Niitlaan *et al.*, 2014). Kalina raba piires on Kvaternaarisetete paksus vahemikus 5,4...7,2 m (Joonis 8).

Palju on uuritud Kalina järve alt kaevandamise võimalustest kamberplokis 83 L (Тоомик *et al.*, 1985; Михальченков & Доманова, 1996). Kvaternaarisedet Kalina järve all moodustavad madala veejuhtivusega turba, savika moreeni ja liiva setetest veekindla põhja paksusega 6...7 m (Joonis 8). Vettpidava kihina Kalina järve all paiknevad Kvaternaarisedet moodustavad veepideme, tänu millele ei ole kaevandamise tõttu tekitatud põhjaveealandus muutnud märkimisväärselt järve veetaset ja kogu kaevandamise ajaks säilis sõltumatu veerežiim. (Hang *et al.*, 2009)



Joonis 8. Kalina raba ja Kalina järve ümbruse Kvaternaarisetete paksuste kaart (ortofotonaalset kasutatud Maa-ameti WMS teenust)

Lisaks Kalina järvele ja selle raba veerežiimi säilimisele on kaevandamise järgselt Viru kaeveväljal tekkinud ka teisi soostunud alasid, kus veepidet rikkumata on säilinud selle veerežiim (Rull *et al.*, 2005). Viru kaevevälja langatuste analüüsimiseks kasutas töö autor aastatel 1950, 1951 ja 1970 läbi viidud geoloogilisi uuringuid.

Järeldused

Mitmekümneaastased vaatlused ja tähelepanekud viitavad sellele, et kohtades, kus on toimunud allmaakaevandamisega põhilae varingud ning maapinna deformatsioonid, jääb pinnavesi püsima langatuslohkudesse ja see on eriti nähtav savi ja mergli vahekihtidega üle 2 meetriste Kvaternaarisetete puhul. Kui toimuvad kamberplokkides järelvaringud, siis avanevad plokkide vahelised lõhed, mille tulemusena langatuse ala kuiveneb. Teatud aja möödudes langatused liigniiskuvad uuesti, mis on seletatav avanenud plokkide vaheliste

lõhede täitumisega ehk kolmataažiga⁹. Kvaternaarisetetest filtreeruv vesi toob sealt kaasa peenemat materjali, millega lõhed aja jooksul täituvad. (Toomik, 1999; Rull *et al.*, 2005)

Võib eeldada, et eelnevalt kirjeldatud kamberkaevandamise kogemus on rakendatav Narva karjääri allmaakaevandamise tehnoloogia puhul, kuna Narva karjääri lõunaosa Kvaternaarisetete paksus on vahemikus 1,0...22,8 m, keskmiselt 9,4 m (Lisa 6). Lisaks Kvaternaarisetteid katvale kihile lasuvad selle all vett vähe läbilaskvad kivimid, mis koosnevad savi, mergli ja dolokivi kihist paksusega vahemikus 0,0...20,6 m ja keskmiselt 8,1 m (Lisa 5) (Viil, 2011).

Aastal 2004 OÜ Eesti Geoloogiakeskuse poolt Narva karjääri lõunaosa modelleerimise tulemused kinnitavad, et põlevkivi varu ammendamine ei riku Puhatu looduskaitseala looduslikku seisundit. Antud alal Devoni vettpidavad kivimid tõkestavad ülemiste veekihtide drenimist ning praktiliselt ei avalda mõju Keila-Kukruse veekihi põhjaveetaseme alanduslehtri arengule Kvaternaarisetete veerežiimis. (Perens *et al.*, 2010)

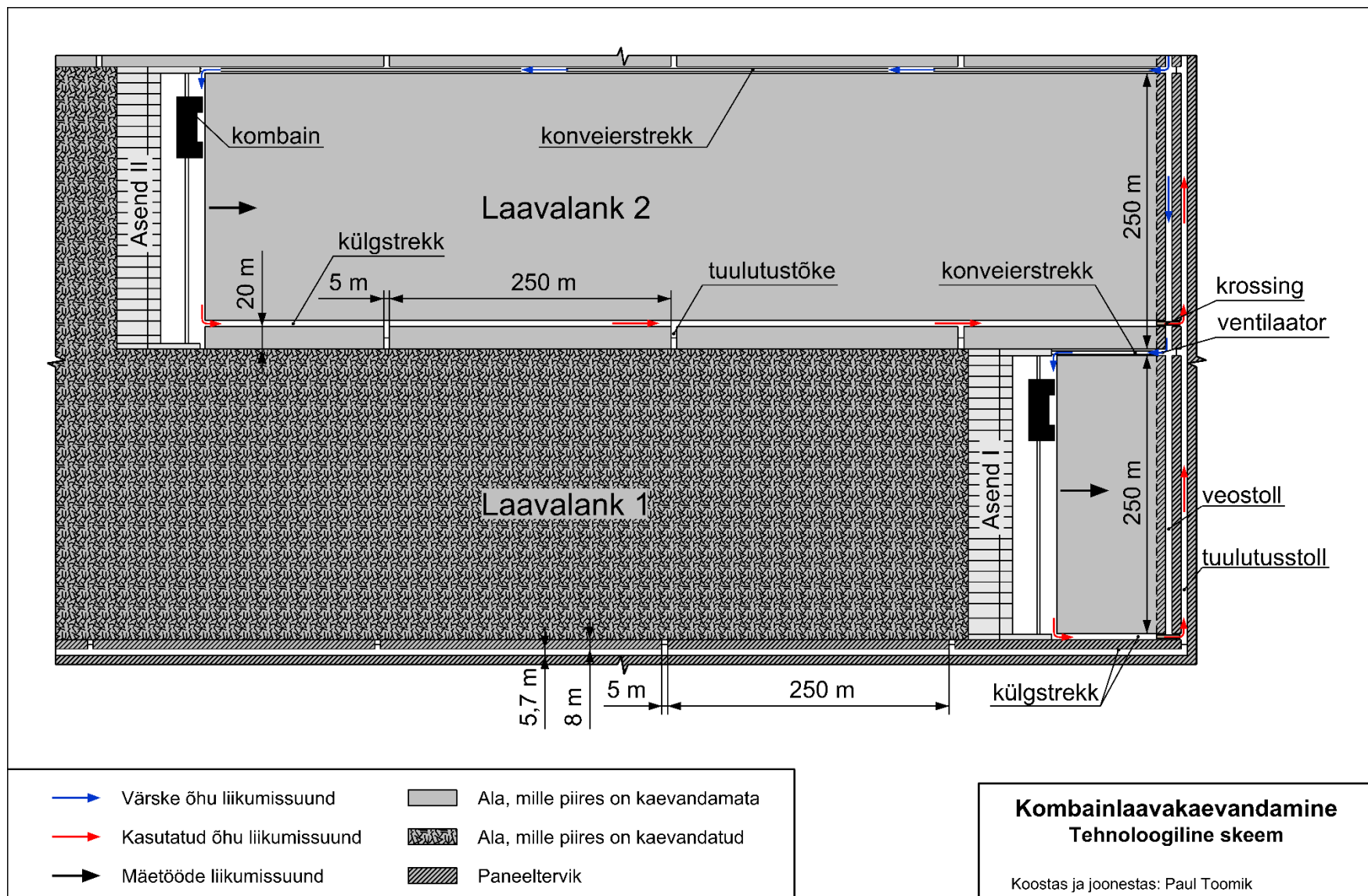
⁹ Kolmataaž – kokkukuhjumine, pooride täitmine peente osakestega filtratsiooni vähendamiseks (Abo *et al.*, 1981)

4. ARUTELU JA TULEMUSED

Katendi teisaldamise tehnoloogiliseks piirpaksuseks loetakse 27 m. Eelnevast tingituna on Narva karjääri lõunaosas soovitatav põlevkivi kaevandamiseks rakendada allmaakaevandamise tehnoloogiat. Kamberkaevandamise tehnoloogia rakendamist Narva karjääris raskendab kaljuse katendi õhukesest paksusest tingitud keerukad geoloogilised tingimused, mis muudab laekäitluse keerukaks. Kaljuse katendi õhuke paksus põlevkivi kaevandamisel kamberkaevandamise tehnoloogiat kasutades muudab selle tehnoloogia majandusliku tasuvuse küsitavaks, kuna projekteerida tuleb suuremad tervikud. Samas ei saa jätkata põlevkivi karjääriviisilist kaevandamist enne turbavaru ammendumist Puhatu mäeeraldisel, milleks aga võib kuluda hinnanguliselt kuni 80 aastat. Narva karjääris kogu kaevandamata ala piires on mõistlik rakendada ühtne tehnoloogia, millega väljata olemasolev põlevkivi varu. Lähtuvalt geoloogilistest tingimustest ja Puhatu mäeeraldisel turba aktiivse tarbevaru olemasolust, on põlevkivi kaevandamiseks projekteeritava Narva karjääri piires mõistlik rakendada kombainkaevandamise tehnoloogia. (Adamson, 2005; Niitlaan *et al.*, 2012)

4.1 Koristustööst üldiselt

Tänapäeval tagavad laavakombainid kõrge tootlikkuse nii põlevkivikihi raimamisel, kaevise transpordil kui ka ohutul läekäitlusel (Adamson *et al.*, 2000). Põlevkivikihi raimamiseks ja väljamiseks kasutatakse laavakombaini, mis liigub kraapkonveieril piki tööeed. Kombain liigub piki tööeed edasi-tagasi kinnitatuna kraapkonveierile kogu laava pikkuses. (OTA, 1981) Kombainil on lõiketeradega varustatud kaks tööorganit, mis pöörlemisel purustavad põlevkivikihi ning seejärel tööorgani labad laadivad purustatud materjali kraapkonveierile. Tööee konveieril liigub purustatud kaevis mööda transpordistrekki ümberlaadurisse, kus on purusti suuremõduliste tükkide purustamiseks. Lae toetamiseks kasutatakse hüdraulilist tööee toestiku, mille kõik seksioonid kinnituvad tööee konveierile, mida nihutatakse horisontaalsete silindritega. (Старцев, 1983; Metsur *et al.*, 2014) Kombainilaavakaevandamise tehnoloogiline skeem on toodud joonisel 9, kus kombaini töötamine esimeses laavalangis on toodud asend I ja teises laavalangis asend II korral.



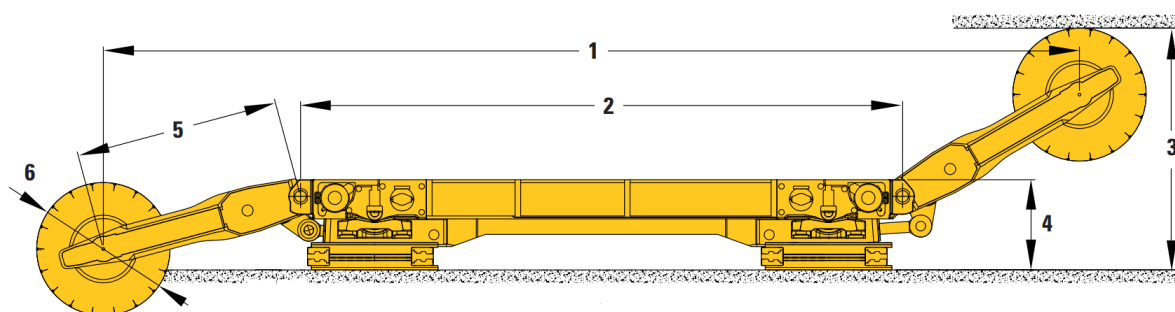
Joonis 9. Kombainlaavakaevandamise tehnoloogiline skeem (Талве *et al.*, 1965; 201-L..., 2008 põhjal)

4.2 Laavakombaini valik

Valitud tehnoloogia rakendamiseks valitakse esmalt sobiv kombain põlevkivi raimamiseks. Konkreetse laavakombaini valik ning selle täpsem analüüs ei ole käesoleva magistritöö eesmärk, kuid omab olulist informatsiooni üldise hinnangu andmisel mäetööde planeerimiseks ja eeldatava tootlikkuse arvutamiseks Narva karjääri allmaakaevandamise jaoskonnas. Laavakombaine tootvaid ettevõtteid on maailmas vähe, kaheks peamiseks tootjaks on JOY Global ja Caterpillar. Laavakombaine kasutatakse peamiselt suure tootlikkusega söekaevandustes, mis tingib vajaduse kasutada suuri masinaid (OTA, 1981). Eesti oludes on oluline leida sobiv masin arvestades tootuskihindi paksust ja Narva karjääri geoloogiliste tingimuste eripära. Autor on üheks võimalikuks variandiks Narva karjääri allmaatöödeks valinud laavakombaini Caterpillar EL1000, mille parameetrid on toodud tabelis 3 ja kombaini skeem joonisel 10.

Tabel 3. Laavakombain Caterpillar EL1000 parameetrid (CAT, 2013)

<i>Jrk nr</i>	<i>Parameeter</i>	<i>Ühik</i>	<i>Väärtus</i>	
1	Lõiketrumlite vaheline kaugus	mm	13 635	
2	Masina koonsooli pikkus	mm	8125	
3	Lõike kõrgus	max	mm	3200
		min	mm	1600
4	Masina konsooli kõrgus	mm	1200	
5	Tööorgani siruulatus	mm	2755	
6	Tööorgani diameeter	mm	1524	



Joonis 10. Laavakombain Caterpillar EL1000 skeem (koopia: CAT, 2013)

Arvestades geoloogiliste tingimuste eripära Eesti põlevkivimaardlas, on oluline analüüsida ja katsetada, milline oleks sobivaim kombain siinsete olude jaoks. Samuti on oluline kombaini tööorgani valik, mis oleks sobivaim kõvade lubjakivivahekihtide raimamiseks. (Старцев, 1983; Adamson, 1998)

4.3 Laavakombaini tootlikkus

Narva karjääri mäeeraldiste maavara kaevandamise lubade järgi on hetkel lubatud kaevandada põlevkivi aastatoodanguna kokku 6 400 tuh t. Narva karjääri pealmaakaevandamise tehnoloogia üleminekuga allmaakaevandamisele on mõistlik vajaliku kaevandamismahu tagamiseks rakendada sujuvat järkjärgulist üleminekut. Esimesed aastad on kombainkaevandamise katsetamise ja juurutamise periood. Järgnevatel aastatel eeldatavasti iga aasta suureneb allmaakaevandamise osatähtsus võrreldes pealmaakaevandamisega.

Tänapäeval kaevandatakse laavakombainidega peamiselt kivisöe kaevandustes, kus kasutatavad kombainid töötavad suure tootlikkusega (EIA, 1995). Narva karjääris tuleb kombaini tootlikkuse arvutamisel lähtuda põlevkivi kaevandamise lubatud maksimaalsest aastatoodangust ja pealmaakaevandamise järkjärgulisest üleminekust allmaakaevandamisele. Lisaks tuleb arvestada masinate remont- ja hooldustöödest tingitud võimalike seisakutega.

Laavakombaini tootlikkus on masina põlevkivi kaevandamise hulk ajaühikus ning selle iseloomustamiseks kasutatakse järgnevaid tootlikkuse kategooriaid: teoreetiline, tehniline ja eksploatatsiooniline tootlikkus. Kombaini tootlikkuse arvutamisel on kasutatud Siberi Föderaalse Ülikooli Mäemasinate ja Komplekside õppetooli materjale. (Sitkarev, 1975; Горные машины, 2015)

Teoreetiline ehk ideaalne tootlikkus on masina pidev töötamine maksimaalsel koormamisel arvutuslikes töötingimustes vastavalt geoloogilistele tingimustele arvestamata ajakadusid. Teoreetiline tootlikkus arvutatakse valem 1 abil (Горные машины, 2015):

$$Q_T = \frac{N}{60 \cdot H_w}, \quad [\text{t/min}] \quad (1)$$

kus N – kombaini ajami võimsus [kW];

H_w – purustamise energiamahukus [kWh/m³].

Tehniline tootlikkus on masina maksimaalne võimalik tootlikkus pideval töötamisel reaalsetes töötingimustes, sõltudes mäetehnilistest teguritest: kombaini konstruktsioonist, tehnoloogilistest töövõtetest ja laava pikkusest. Kasutatud arvutusmetoodika järgi on leitud teoreetiline ja eksploatatsiooniline tootlikkus, seega tehnilist tootlikkust ei ole antud juhul arvestatud. (Докукин, 1976; Горные машины, 2015)

Ekspluatatsiooniline tootlikkus on masina tegelik tootlikkus, mis arvestab kõikvõimalikke ajakadusid tööprotsessis: kombaini tööajakadu vahetuses, masina hooldustöid ja töö organiseerimist. Ekspluatatsiooniline tootlikkus arvutatakse valem 2 abil (Горные машины, 2015):

$$Q_E = 60 \cdot Q_T \cdot K_M, \quad [\text{t/min}] \quad (2)$$

kus Q_T – teoreetiline tootlikkus [t/min];

K_M – masina ajategur.

Lähteandmed ja arvutused on toodud Exceli failis *Arvutused* ning tulemused tabelis 4.

Tabel 4. Kombainkaevandamise tootlikkuse lähteandmed ja tulemused

<i>Parameeter</i>	<i>Ühik</i>	<i>Väärtus</i>
Ajami võimsus kokku	kW	1000
Ettenihke kiirus	m/min	2,9
Tööorgani laius	m	0,6
Purustamise energiamahukus	kWh/m ³	1,8
Masina ajategur	-	0,68
Töö organiseerimistegur	-	0,81
Väljata kihi paksus	m	2,8
Tootuskihi keskmine mahumass	t/m ³	1,9
Laava pikkus	m	250
Vahetuse pikkus	min	360
Masina hooldus vahetuses	min	60
Teoreetiline tootlikkus	t/min	9,3
Ekspluatatsiooniline tootlikkus	t/min	6,3
	t/h	376
	t/kuu	202 912
	t/a	2 434 943

Kombaini ekspluatatsiooniline ehk tegelik tootlikkus peab kaevandamisel tagama vajaliku põlevkivi mahu (Докукин, 1976). Arvutatud tulemuste põhjal on hinnanguliselt aastane ekspluatatsiooniline tootlikkus 2,4 mln t põlevkivi. Arvutatud toodangumaht saavutatakse kaevandamisel ühe kombainiga. Pealmaakaevandamise osatähtsuse vähenemisel ja allmaatoodangu suurenemisel on tõenäoliselt vaja lisa kombaine, lähtuvalt esimese kombaini töökogemustest.

4.4 Laekäitlus ja tööee toestiku valik

Kaevandamine laavakombainiga baseerub kihi mehaanilisel raimamisel ja vahetult tööee toestiku järel lae täielikul varistamisel. Deformatsioonid toimuvad vahetult pärast mäetöid suhteliselt lühikese aja jooksul ning väiksemad järelvaringud võivad toimuda veel hiljemgi. Siiski üldiselt võib eeldada, et lae langetamise järgselt on kaevandatud ala jäädavalt deformeerunud ja stabiilne. Tööee toestamiseks ja lae langetamiseks kasutatakse mehhaniseeritud hüdraulilist toestikku, tänu millele kivimite rõhk tööees hoitakse lubatud piirides ja tagatakse töötajate ohutus. (Таммелаан, 1973; Metsur *et al.*, 2014)

Lagi langetatakse järkjärgult, mille vahemaa määrab lähislae ja põhilae varingusammud. Lähis- ja põhilae põhilised näitajad varingu korral määrati 1950.a lõpus ning 1960.a alguses Peterburi mäe-geomehaanika ja markšneideriinstituudi (VNIMI) poolt ning leidsid kinnitust aastatepikkusel seirel. Lähislagi variseb F_2 kihist kuni 2...3 m kõrgusele. Kuna Narva karjääris kaljuse katendi keskmine paksus on vaid 7,9 m, mille peal paikneb nõrk plastiline Devoni kiht, siis eeldatavasti on lagi kergesti varistatav. Põhilae esimese varingu samm jääb hinnanguliselt vahemikku 20...25 m ja järgmised sammud 10...12 m. (Бублик *et al.*, 1975; Metsur *et al.*, 2014).

Ordoviitsiumi veekompleks mõjutab vee juurdevoolu kaevandusse, mis veekõrvaldussüsteemi kasutades pumbatakse välja. Devoni veekompleksis paikneb savikas veepide, mis oma madala filtratsiooniga ei lase läbi ülemistes kihtides olevat vett. Seega Narva karjääri kaevandamist mõjutab peamiselt Ordoviitsiumi veekompleksi Keila-Kukruse veekiht. (Rull *et al.*, 2005; Perens *et al.*, 2010)

Tööee toestik peab kindlustama ohutud töötingimused, kusjuures toestiku konstruktsioon peab vastu pidama varingute järsule koormusele. Tööee toestiku kõrgus valitakse varuga juhuks, kui lähislagi peaks suuremas ulatuses sisse varisema. (Таммелаан, 1973; Noroozi *et al.*, 2011) Võimaliku variandina valitakse Caterpillari tööee toestik (Joonis 11) ja LLC Yuginsky machine engineering plant tööee toestik MKYu 2SH-16/32 (Joonis 12). Täpsem toestiku valik tehakse tehnoloogilistest ja majanduslikest tingimustest lähtuvalt, mida käesoleva töö raames ei käsitleta.



Joonis 11. Caterpillar tööee toestik (koopia: CAT, 2011)

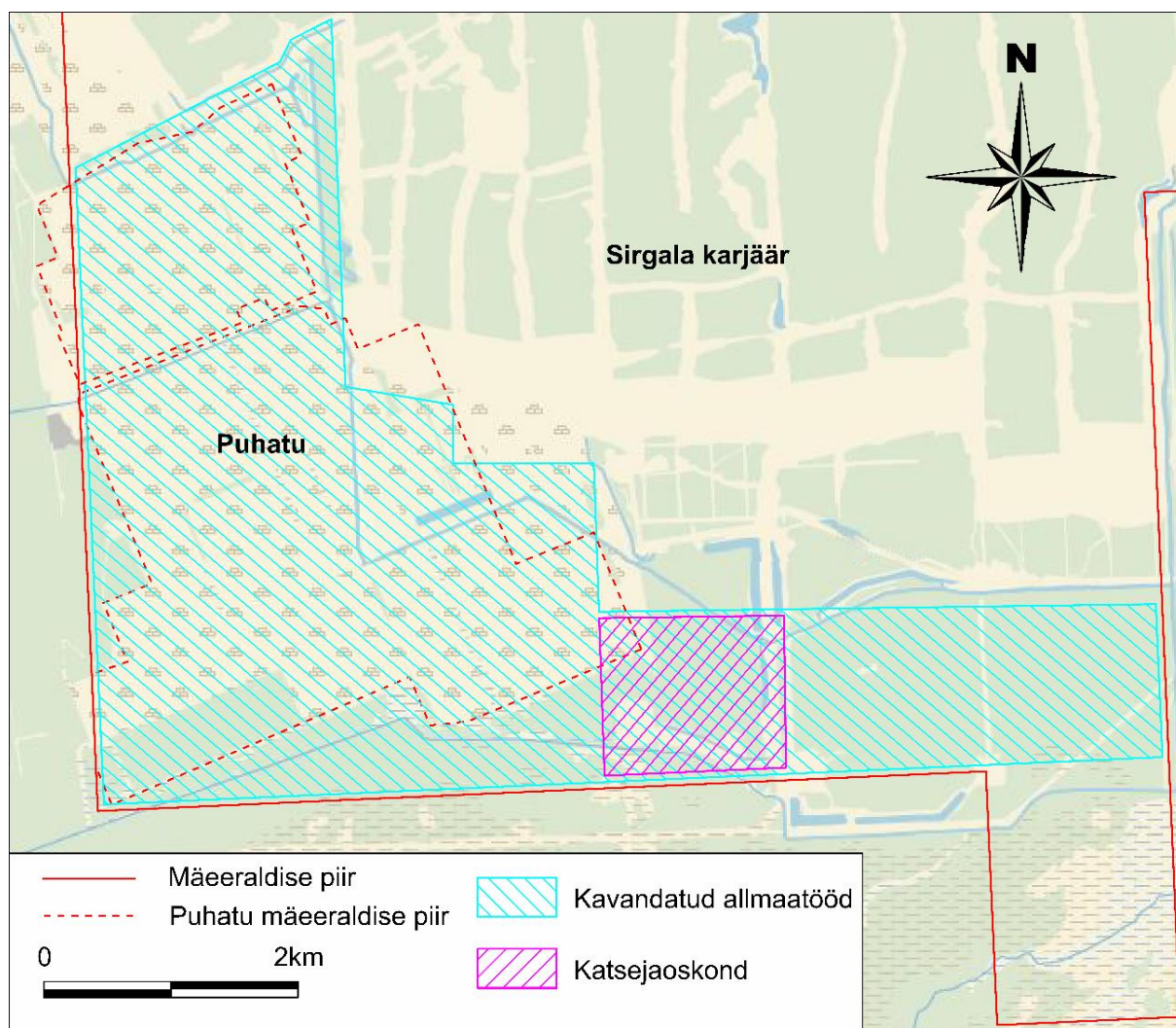


Joonis 12. Tööee toestik MKYu 2SH-16/32 (koopia: LLC Yurginsky, 2015)

4.5 Ettevalmistustööd

Narva karjääri üleminekut allmaakaevandamisele kombainkaevandamise meetodil alustatakse kaevevälja kaevandamata osa paneelidega ettevalmistamisest. Allmaakaevandamist alustatakse esimese paneeli rajamise ettevalmistamisega. Kuna allmaatöödega alustakse eelnevalt pealmaakaevandamisega kaevandatud alalt, siis on otstarbekas paneelidega avamisel järgida karjääri tranšeede asukohta ning kaevandus avada sealt jätkuvalt stollidega, mida allmaakaevandamise mõistes võib nimetada paneelstrekkiideks. Antud töös käsitletakse neid jätkuvalt stollidena. Stollidega avamisel on võimalik kasutada ära olemasolevat karjääri

infrastruktuuri (veekõrvaldus, kaevis transport ja energiavarustus). Paneel avatakse kahe paaris veo- ja tuulutusstolliga. Paneel on projekteeritud lähtuvalt põhja-lõunasuunaliste tranšeede vahelisest kaugusest, millest tuleneb paneeli laiuks 1 500 m ja paneeli pikkuseks kuni mäeeraldise lõunapiirini 1 250 m. Valitud katsejaoskonna asukoht on toodud joonisel 13, mille asukoha valiku oluliseks kriteeriumiks on kaljuse katendi paksus. Katsejaoskonna alal asuva puuraugu PA-566 järgi on kaljuse katendi paksus 10,21 m (Lisa 7). Paneeli ettevalmistamine seisneb ettevalmistuskaeveõõnte rajamises puur-lõhketöödega, misjärel lähislae alumised kihid ankurdatakse pealmiste püsivate laekihtidega kokku. Läbindatakse vaheldumisi paralleelselt kahe kaeveõõnega, mille tuulutamise seisukohast tehakse iga 250 m järel kaeveõõnte vahele lõikelõõr laiusega 5 m. Lõikelõõri kasutatakse ettevalmistustöödel tuulutamiseks ja masinate liikumiseks, mis peale järgmise lõõri avamist suletakse tuulutustõkkega (Joonis 9). (EIA, 1995; Reinsalu *et al.*, 2001 (a); Metsur *et al.*, 2014)



Joonis 13. Kavandatud allmaatööde katsejaoskond (põhikaardina on kasutatud Maa-ameti WMS teenust)

Paneel jaotatakse omakorda kaavelankideks ehk laavalankideks, mis valmistatakse ette kahe kaeveõõnega – konveierstrekki kaevise veoks ning värske õhujoo suunamiseks tööette ja külgstrekki tuulutamiseks ning varuväljapääsuks. Laavalankide vahele jäetakse ettevalmistuskaeveõõnte rajamisel tervik laiusega 20 m, mis kombainiga läbindamisel väljatakse. Kombainlaava tööee pikkuseks on arvestatud 250 m. (MSEC, 2007; Metsur *et al.*, 2014)

4.6 Põlevkivi kaod

Põlevkivi allmaakaevandamisel maapinna püsivuse tagamiseks jäetavate ohutute allmaakonstruksioonide arvutamisel on kasutatud meetodikat „*Allmaakaevandamisel maapinna ja ehitiste hoidmise juhend*“ (Lokko, 2004). See täiustatud ja reaalses olukordades kontrollitud meetodit on Eesti põlevkivikaevandustes kasutatud juba pikka aega. Arvutusmeetodika on mõeldud normaalsetes geoloogilistes tingimustes allmaakonstruksioonide parameetrite arvutamiseks, mis tagavad maapinna ning allmaakonstruksioonide pikaajalise püsivuse. (Pastarus, 2012)

Vastavalt eelnimetatud meetodikale ei soovitata paneelervikute laiust võtta alla 6 m, mis on ühtlasi minimaalne soovitatav laius. Kuna Narva karjääri kaljune katend on õhuke ja muutliku paksusega, siis paneelervikute laiuseks võetakse mäetööde ohutuse seisukohast 8 m ning arvutuste järgi on paneelervikute vaheliseks laiuseks 5,7 m. (Lokko, 2004)

Kivimimassiivi tugevust mõjutavad erinevad maapõuehäired, nagu lõhelisus, varieeruv poorsus, niiskus jne, mis võib põhjustada tervikute ettenägematut purunemist. Seetõttu kasutatakse eelnimetatud meetodika arvutustes tervikute varutegurit, mille suurus on vaid kindel projekteerimise etapis. Mäetööde käigus kujundatud tervikute mõõtmed võivad erineda projekteerimistulemustest, seega tuleb neid kaevandamise käigus täpsustada. (Reinsalu *et al.*, 2002)

Põlevkivi kaevandamise kaod moodustuvad vaid paneelervikutesse jäetavast põlevkivist, kuna laavalangid väljatakse maavarast (Adamson *et al.*, 2000). Tabelis 5 on toodud põlevkivi kaevandamise tehnoloogilised kaod paneelis ning arvutustulemused on Exceli failis *Arvutused*.

Tabel 5. Põlevkivi kaevandamise kaod

<i>Parameeter</i>	<i>Ühik</i>	<i>Väärtus</i>
Laava pikkus	m	250
Paneeli laius	m	1500
Paneeli pikkus	m	1250
Väljatava kihi paksus	m	2,8
Tootuskihi keskmine mahumass	t/m ³	1,9
Laavalangi pindala	m ²	375 000
Paneeli pindala	m ²	1 875 000
Põlevkivi maht paneelis	t	9 975 000
Paneeli tervikutes põlevkivi maht	t	468 160
Põlevkivi kaod	%	5

Arvutustulemuste järgi moodustavad kombainkaevandamisel põlevkivi kaod hinnanguliselt 5%. Võimalikud geoloogilised eripärad – karstiaala, paksem väljatava kihi paksus jms, võivad põlevkivi kadusid suurendada või vähendada (Газизов, 1971).

4.7 Abiprotsessid – veekõrvaldus ja tuulutussüsteem

Allmaatööde veekõrvalduseks on mõistlik kasutada olemasolevat Narva karjääri veekõrvaldussüsteemi. Karjääri veekõrvalduseks on rajatud mäeeraldise lõunaosasse maa-alune pumbajaam, mis on ühendatud tootuskihindist allpool asuvate dreanažistrekidega. Kaevetranšeede põhja kogunev vesi juhitakse töetest eemale vee äravoolu kraavidega. Kuna dreanažistrekidel on põhja-lõuna suunaline kalle, siis vesi koguneb strekkide lõunapoolses otsas olevatesse pumbajaamadesse isevoolselt. Kuna kamber- kui ka laavakaevandamisega kaasnev veekõrvaldus- ja tuulutussüsteem on põhiolemuselt sarnased, siis pakub autor nende lahenduseks Viru kaevanduse kamberploki 201-L põhimõttelist skeemi. Allmaatööde veekõrvalduseks rajatakse soonuritega veesooned, mida mööda vesi juhitakse pumbajaamadesse. (201-L..., 2008; Mändmets, 2008)

Narva karjääris allmaakaevandamisel värske õhu tagamiseks paigaldatakse maa alla tuulutusventilaatorid. Ventilaator suunab veostollist tuleva värske õhujoa mööda konveierstrekki tööette ning kasutatud õhu mööda külgstrekki krossingu kaudu tuulutustolli kuni see jõuab kaevandusest välja (Joonis 9). (Талве *et al.*, 1965; 201-L..., 2008)

4.8 Mõju ümbritsevale keskkonnale

Allmaakaevandamine kombainkaevandamise meetodil toimub lae täieliku varistamisega, mille tulemusena maapind vajudes deformeerub täielikult ning kuni maapinna täieliku

stabiliseerumiseni võib esineda mõningaid kergeid järelvajumisi (Toomik, 1999). Maapinna vajumisel põlevkivikihi hindit katvad kivimid jäävad üksteise suhtes endisesse asendisse (EE, 2014). Vajumise järgselt moodustub kogu paneeli ulatuses tasane maa, mille alla on jäetud paneelervikud kaevandamisel vajalike paneelide hoidmiseks (Adamson *et al.*, 2000). Kaevandamisel tuleb vajunud maapinna liigendatuse vähendamiseks vältida laavalankide vaheliste tervikute jätmist kaevandatud alasse (Rätsep *et al.*, 2003). Töö autor pakub likvideerida laavalankide vahelised tervikud, mis vastasel korral tekitaksid ebatasaseid kõrgendikke. Deformeerunud alale tuleb rajada uus kuivenduskraavide süsteem ning eeskätt kohtadesse, kus on liigniiskumise oht (Rätsep *et al.*, 2003). Ühe võimaliku variandina on võimalik paneelervikute kohale jäävaid kõrgendike kasutada sõiduteede alustena, mille alla vajadusel rajatakse vee juhtimiseks truubid. Allmaakaevandamisel kombainkaevandamise meetodil säilib maapinna endine taime- ja mullakooslus ning eraldi ala korrastamise vajadus on minimaalne (Reinsalu *et al.*, 2001 (b); EE, 2014). Narva karjääri lõunaosas on vaja teostada põhjalikke katseteid, et saavutada kombainkaevandamiseks sobivad tehnoloogilised parameetrid. Arvestades laekivimite omadusi ja paksust, tuleb valida sobivaim toetuskompleks. Olulisem ja suurem probleem on sobivaima kombaini ning tööorgani valimine kõvade lubjakivivahekihtide raimamiseks. Lisaks tuleb uurida ning analüüsida ala hilisema korrastamise võimalusi kombainkaevandamise järgselt.

KOKKUVÕTE

Käesoleva töö raames viidi läbi kompleksne tööstuslikele kogemustele ja teadusuuringutele põhinev analüüs leidmaks võimalust põlevkivi kaevandamiseks Narva karjääri lõunaosas viisil, mis tagaks põlevkivivaru peal lasuva turbavaru säilimise ja võimaldades samas põlevkivi kaevandamisel tekkivat maavara kadu piirata. Olemasolevate geoloogiliste andmete läbitöötamise ja analüüsimise kaudu pakuti tehnoloogiline lahendus Narva karjääris põlevkivi allmaakaevandamiseks. Töö olulisemad tulemused ja järeldused on järgmised:

1. Töö autori koostatud geoloogilistele paksusmudelitele tuginedes kirjeldati Narva karjääri lõunaosa geoloogiliste kihtide tingimused ning leiti, et katendi kogupaksus uuritava alal on keskmiselt 25,6 m ning ulatudes kuni 36 m-ni. Saadud tulemustest lähtuvalt leiti, et senine karjääriviisiliselt põlevkivi kaevandamine Narva karjääris ei ole tulevikus majanduslikult tasuv.
2. Kamberkaevandamise tehnoloogiat ei ole mõistlik Narva karjääri lõunaosas rakendada. Piirkonna geoloogilistest tingimustest lähtuvalt on kaljuse katendi keskmine paksus vaid 7,9 m, mis muudaks mäetööd tehnoloogiliselt keerukaks ning lisaks kaasneksid kamberkaevandamisega suured põlevkivi kaod.
3. Narva karjääri lääneosas paikneb Puhatu mäeeraldis, millel on kaevandamata aktiivset turbavaru. Tuginedes Maapõueseadusele, peab mõlemat maavara, nii põlevkivi kui turvast kaevandama selliselt, et kummagi maavara varu kogus ega kvaliteeti ei kannataks.
4. Senise tootmisvõimekuse tagamiseks, maavara varu maksimaalseks väljamiseks, keskkonna minimaalseks häiringuks ja turbavaru säilimiseks Puhatu mäeeraldisel leiti, et parimaks võimalikuks kaevandamise viisiks Narva karjääri lõunaosas on kombainlaavakaevandamine.
5. Lisaks pakutakse välja põhilised kombainkaevandamise tehnoloogilised parameetrid ja keskkonnakaitselised leevendused.

SUMMARY

Geological conditions and technological possibilities of oil shale mining in Narva opencast

Paul Toomik

In this study, an analysis based on geological data, industrial practice and scientific research was carried out in order to find the best environmentally sustainable mining technology for Narva oil shale opencast. As the result, it was concluded that the best technology to minimize the losses of oil shale, to better ground surface conditions and to preserve the peat deposit in the overburden of the oil shale seam, is underground mining. The most essential results and conclusions of the study are:

1. A geological thickness model was developed which shows that the medial thickness of overburden is 25,6 m (maximum 36 m). The results indicate that opencast mining is not economically feasible in the future.
2. The application of room-and-pillar mining technology is not reasonable in the southern area of Narva opencast. Since the thickness of Ordovician overburden is only 7,9 m, roofing would be very complicated and the ratio of pillars would increase which also increases oil shale loss.
3. Puhatu deposit with active mineable peat resources is located on the western area of Narva opencast. According to the Earth's Crust Act resources must be mined in a way that the quantity and quality of a resource is unaffected by the mining of another resource.
4. The best mining solution in the southern area of Narva opencast is longwall mining in order to ensure the production capability, to minimize oil shale loss and to preserve the peat resource in the Puhatu deposit.
5. In addition, the current study proposes the main technological parameters and environment protection measures of longwall mining.

KASUTATUD KIRJANDUS

201-L..., 2008. 201-L kamberploki pass. Viru kaevandus jaoskond nr 4. Kinnitatud Viru kaevanduse peainseneri I. Agutini poolt 10.04.2008.a. Eesti Põlevkivi

Aaloe, A., Bauert, H., Soesoo, A. 2006. Kukersiit – Eesti põlevkivi. MTÜ GEOGUIDE Baltoscandia. Tallinn

Abo, L., Agur, U., Aro, R. 1981. Tehnikaleksikon. Valgus. Tallinn

Адамсон, А. П. 1973. Об установлении основных параметров очистных комбайнов для сланцевых шахт прибалтийского бассейна. Научные сообщения. Выпуск 111. Разработка горючих сланцев. Министерство угольной промышленности СССР. Академия наук СССР. Институт горного дела им. А. А. Скочинского. Москва. 59-64

Adamson, A. 1998. Breakage of oil shale by cutting. Oil Shale, Vol. 15, No. 2 Special. Estonian Academy Publishers. Tallinn. 186-205

Adamson, A. 2005. Teema 574L. Eesti põlevkiviressursi kasutamissuundade riikliku strateegia aastani 2020 alusuuringud. Etapp 574L.1.1. Põlevkivi kaevandamise tehnoloogilise struktuuri optimeerimine. TTÜ Mäeinstituut. Tallinn [WWW] www.ene.ttu.ee/maeinstituut/rk/tehnoloogia1.pdf (25.05.2015)

Adamson, A., Toomik, A., Mihhaltšenkov, A., Gabets, V. 2000. Maa seisundi juhtimine kombainkaevandamisel. Kogumikust: Põlevkivi talutav kaevandamine. TTÜ Mäeinstituut. Tallinn. 12-15

Adamson, A., Nikitin, O., Pastarus, J.-R. 2003. Kombain-kamberkaevandamise variant. Kogumikust: Mäemasinad ja mäetehnika. TTÜ Mäeinstituut. Tallinn. 17-20

Беловолов, В. Т. 1953. Разработка горючих сланцев. Углетехиздат. Москва. Харьков

Бублик, Ф. П., Иванов, Г. А., Жарков, С. Н., Плахов, А. В., Самлан, Ю. К., Таммелаан, М. А., Онзуль, П. К. 1975. Методические указания по управлению кровлей обрушением на сланцевых шахтах прибалтики. Министерство угольной промышленности СССР. Всесоюзный научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела (ВНИМИ). Институт горного дела им. А. А. Скочинского. Ленинград

CAT, 2011. Roof Support Systems [WWW] https://mining.cat.com/cda/files/2884780/7/roof_support_systems.pdf (25.05.2015)

CAT, 2013. Caterpillar EL1000 Longwall Shearer [WWW] https://mining.cat.com/cda/files/4429429/7/EL1000%20Shearer_Small%20Specalog.pdf (25.05.2015)

Докукин, А. В., Фролов, А. Г., Позин, Е. З. 1976. Выбор параметров выемочных машин: научно-методические основы. Наука. Москва

Дьяченко, З. К., Андреев, В. А., Страцев, А. В., Граф, А. Э. 1989. Результаты испытания селективной выемки пласта горючего сланца. Технология и комплексная механизация добычи горючих сланцев. Научные сообщения. Министерство угольной промышленности СССР. Академия наук СССР. Институт горного дела им. Скочинского. Москва. 11-17

EE, 2014. Maavara kaevandamise luba KMIN-073. Narva kaeveväli. Seletuskiri [WWW] http://www.envir.ee/sites/default/files/seletuskiri_narva_kmin_073_2014.pdf (25.05.2015)

EIA, 1995. Longwall mining. Energy Information Administration. Office of Coal, Nuclear, Electric and Alternate Fuels. U.S. Department of Energy. Washington, D.C. [WWW] http://webapp1.dlib.indiana.edu/virtual_disk_library/index.cgi/4265704/FID1578/pdf/Coal_nuc/tr0588.pdf (25.05.2015)

EKSS, 2009. Eesti keele seletav sõnaraamat [WWW] <http://www.eki.ee/dict/ekss> (25.05.2015)

Газизов, М. С. 1971. Карст и его влияние на горные работы. Институт горного дела им. А. А. Скочинского. Издательство Наука. Москва

Газизов, М. С., Аллик, А. М. 1959. Сланцедобывающая промышленность Эстонской ССР. Научно-техническое горное общество. Углетехиздат. Москва

Горные машины, 2015. Расчет производительности комплекса с очистным комбайном. Сибирский федеральный университет (СФУ) Предмет: Горные машины и комплексы. [WWW] <http://vunivere.ru/work15878> (25.05.2015)

Hang, T., Hiiemaa, H., Jõelet, A., Kalm, V., Karro, E., Kirt, M., Kohv, M., Marandi, A. 2009. Selisoo hüdrogeoloogilised uuringud kaevandamise mõju selgitamiseks. Keskkonnainvesteeringute Keskuse projekt nr 127. Tartu Ülikooli Ökoloogia ja Maateaduste Instituut. Tartu [WWW]

<http://www.geoloogia.ut.ee/sites/default/files/geoloogia/selisooaruanne2009.pdf> (25.05.15)

Хийекиви, Т., Стенин, Ф. 1991. Шахта „Виру“ план горных выработок по пласт у горючего сланца Кукрузеского горизонта O₂kk (М 1:10000). Министерство угольной промышленности СССР. Производственное объединение „Эстонсланец“

Kamalov, R., Ivanov, V. 2000. Ahtme kaevandus mäetööde plaan. Põlevkivi Kukruse lade O₂kk (М 1:10000). Mäetööde arengu programm 2001a. (Asukoht: AS Eesti Energia Kaevandused)

Karise, V., Metsur, M., Perens, R., Savitskaja, L., Tamm, I. 2004. Eesti põhjavee kasutamine ja kaitse. Põhjaveekomisjon. Tallinn

Kattai, V. 2000. Narva karjäärivälja puuraukude digitaalne andmebaas. Eesti Geoloogiakeskus, EGF 6809. Tallinn

Kattai, V. 2001. Narva karjäärivälja puuraukude digitaalne andmebaas (II ja III etapp). Eesti Geoloogiakeskus, EGF 6999. Tallinn

Каттай, В. А., Каттай, Т. И., Меркулова, Л. М., Радик, М. М. 1979. Комплект карт основных показателей промышленного пласта горючих сланцев Эстонского месторождения (масштабы 1:50 000...1:200 000). Том I (пояснительная записка). Министерство геологии СССР. Управление геологии СМ ЭССР. Кохтла-Ярвская геологическая партия. EGF 3569. Кохтла-Ярве

Kattai, V., Saadre, T., Savitski, L. 2000. Eesti põlevkivi: geoloogia, ressurss, kaevandamistingimused. Akadeemia Trükk. Tallinn

Kaup, E., Nugis, K. 2008. Kaevandus nr 4. Rmt: Varb, N., Tambet, Ü. (koostajad). 90 aastat põlevkivi kaevandamist Eestis: Tehnoloogia ja inimesed. OÜ GeoTrail KS. Tallinn. 226-251

KeÜS, 2011. Keskkonnaseadustiku üldosa seadus. RT I, 28.02.2011, 1 [WWW]
<https://www.riigiteataja.ee/akt/KeÜS>

Küttis, E., Männiste, H.-A., Raag, H., Tapner, P. 2008. Tammiku kaevandus. Rmt: Varb, N., Tambet, Ü. (koostajad). 90 aastat põlevkivi kaevandamist Eestis: Tehnoloogia ja inimesed. OÜ GeoTrail KS. Tallinn. 217-225

Liblik, V., Toomik, A., Rull, E., Pensa, M. 2000. Underground mining long-term impact on forest lands. Oil Shale, Vol. 17, No. 2. Estonian Academy Publishers. Tallinn. 141-153

Liblik, V., Toomik, A., Rätsep, A. 2005. Suletud ja suletavate kaevanduste keskkonnamõju. Kogumikust: Liblik, V., Punning, J.-M. (toimetajad). Keskkond ja põlevkivi kaevandamine Kirde-Eestis. TLÜ Ökoloogia Instituudi Publikatsioonid 9. Tallinn. 31-52

LLC Yurginsky, 2015. Roof Support MKYu 2SH-16/32. http://eng.yumz.ru/product/mine/krepi/2sh_16_32 (25.05.2015)

Lokko, E. 2004. Allmaakaevandamisel maapinna ja ehitiste hoidmise juhend. Kinnitatud: 30.01.2004. Jõhvi

Maa-amet, 2015. Avalik WMS teenus [WWW] <http://geoportaal.maaamet.ee> (25.05.2015)

Maack, M. 2008. Sirgala karjäär. Rmt: Varb, N., Tambet, Ü. (koostajad). 90 aastat põlevkivi kaevandamist Eestis: Tehnoloogia ja inimesed. OÜ GeoTrail KS. Tallinn. 252-279

Metsur, M., Tamm, I., Toomik, A., Kaljuste, M., Niidas, A. 2014. AS Eesti Energia Kaevandused kaevandamislubade KMIN-073, KMIN-046, KMIN-074 ja KMIN-087 muutmisega kaasneva keskkonnamõju hindamise (KMH) programm. AS Maves. OÜ Inseneribüroo STEIGER. Tallinn [WWW] http://www.envir.ee/sites/default/files/kmh_programm_narva_avalikustamiseks.pdf (25.05.2015)

Mikson, V., Vaher, E., Viil, A. Estonia kaevandus. Rmt: Varb, N., Tambet, Ü. (koostajad). 90 aastat põlevkivi kaevandamist Eestis: Tehnoloogia ja inimesed. OÜ GeoTrail KS. Tallinn. 326-353

Михальченков, А., Доманова, Н. 1996. Отчет о научно-исследовательской работе: Оценка влияния горных работ шахты “Виру” на уровень воды озера Калина. Акционерное общество “Ээсти пылевкиви” Центр прикладных исследований. Йыхви

Mitchell, G. W. 2009. Longwall mining. Rmt: Kininmonth, R. J., Baafi, E. Y. (toimetajad). Australasian coal mining practice, Monograph 12 (Third Edition). The Australasian Institute of Mining and Metallurgy. Carlton, Victoria. 340-375 [WWW] http://www.undergroundcoal.com.au/pdf/longwall_mitchell.pdf (25.05.2015)

MSEC, 2007. Introduction to Longwall Mining and Subsidence. Mine Subsidence Engineering Consultants [WWW] http://www.minesubsidence.com/index_files/files/Intro_Longwall_Mining_and_Subs.pdf (25.05.2015)

Mändmets, A. 2008. Narva karjäär. Rmt: Varb, N., Tambet, Ü. (koostajad). 90 aastat põlevkivi kaevandamist Eestis: Tehnoloogia ja inimesed. OÜ GeoTrail KS. Tallinn. 300-325

Niitlaan, E., Gaškov, A., Siirde, A., Toomik, A., Tamm, I., Kaljuste, M., Pikk, P-J, Kuhl-Thalfeldt, R., Talumaa, R., Kattai, V., Lahtvee, V. 2012. „Põlevkivi kasutamise riikliku arengukava 2016-2030“ koostamiseks vajalike andmete analüüs. OÜ Inseneribüroo Steiger. SA Säästva Eesti Instituut. AS Maves. OÜ Baltic Energy Partners. Töö nr 12/1019. Tallinn [WWW] http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/0/01/P%C3%B5levkivi_kasutamise_riiklik_arengukav_2016-2030_Andmete_anal%C3%BC%C3%BCs.pdf (25.05.2015)

Niitlaan, E., Schvede, H., Niidas, A. 2014. Uus-Kiviõli kaevanduse täiendavad hüdrogeoloogilised uuringud. Uus-Kiviõli kaevanduse võimalik mõju liigniisketele elupaikadele. OSA 1 alapunkt 1.2. OÜ Inseneribüroo STEIGER. Töö nr 14/1242. Tallinn [WWW] [http://www.lyganuse.ee/documents/119048/0/Aruanne+\(Liigniisked+elupaigad\).pdf/5f03ed4a-7e31-4626-8752-ecd104c81f87](http://www.lyganuse.ee/documents/119048/0/Aruanne+(Liigniisked+elupaigad).pdf/5f03ed4a-7e31-4626-8752-ecd104c81f87) (25.05.2015)

Nikolai, V. 2008. Ahtme kaevandus. Rmt: Varb, N., Tambet, Ü. (koostajad). 90 aastat põlevkivi kaevandamist Eestis: Tehnoloogia ja inimesed. OÜ GeoTrail KS. Tallinn. 162-201

Noroozi, A., Oraee, K., Javadi, M., Goshtasbi, K. Khodadady, H. 2011. A Model for Determining the Breaking Characteristics of Immediate Roof in Longwall Mines. Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University [WWW] <http://www.yerbilimleri.hacettepe.edu.tr/332/05.pdf> (25.05.2015)

OTA, 1981. An Assessment of Development and Production Potential of Federal Coal Leases. Washington, D.C.: Congress of the U.S., Office of Technology Assessment. Indiana University [WWW] http://www.princeton.edu/~ota/disk3/1981/8103_n.html (25.05.2015)

Pastarus, J.-R. 2012. Kaevandamine eritingimustes. Kogumikust: Kaevandamine ja keskkond. TTÜ Mäeinstituut. Tallinn. 104-107

Peebo, K., Soosalu, H. 2014. Lühieekombaini kasutamise mõjud varingute tekkele Kirde-Eesti põlevkivikaevandustes. Kogumikust: Mäendus. TTÜ Mäeinstituut. Tallinn. 223-234 [WWW] http://www.ene.ttu.ee/maeinstituut/kogumik/2014/Maendus_2014_Maeinstituut.pdf (25.05.2015)

Perens, R., Savitski, L., Savva, V., Truu, M., Häelm, M., Jaštšuk, S. 2010. Eesti põlevkivimaardla põhjaveevarule hinnangu andmine. Eesti Geoloogiakeskus. Hüdrogeoloogia osakond. Tallinn [WWW] http://www.envir.ee/sites/default/files/eesti_polevkivimaardla_pohjaveevarule_hinnangu_andmine.pdf (25.05.2015)

Pukkonen, E. 2015. Kui kauaks jätkub põlevkivi? Kogumikust: XXIII Aprillikonverents: Eesti maapõue strateegiast. Eesti Geoloogiakeskus. Tallinn. 20-22

Reinsalu, E. 2006. Ülevaade diskussioonist Kirde-Eesti veeprobleemide teemal. Kogumikust: 90 aastat põlevkivi kaevandamist Eestis. TTÜ Mäeinstituut. Tallinn. 46-49

Reinsalu, E. 2008 (a). Sissejuhatus. Rmt: Varb, N., Tambet, Ü. (koostajad). 90 aastat põlevkivi kaevandamist Eestis: Tehnoloogia ja inimesed. OÜ GeoTrail KS. Tallinn. 6-9

Reinsalu, E. 2008 (b). Teadus- ja arendustegevus põlevkivi kaevandamisel. Rmt: Varb, N., Tambet, Ü. (koostajad). 90 aastat põlevkivi kaevandamist Eestis: Tehnoloogia ja inimesed. OÜ GeoTrail KS. Tallinn. 544-565

Reinsalu, E. 2008 (c). Mäemajandus. Parandatud ja kommenteeritud elektrooniline teavik. TTÜ Mäeinstituut. Tallinn [WWW] <http://digi.lib.ttu.ee/i/?164> (25.05.2015)

Reinsalu, E. 2011. Eesti mäendus. Õpik kõrgkoolidele. Tallinna Tehnikaülikool. TTÜ kirjastus. Tallinn

Reinsalu, E. 2013. Eesti mäendus II. Õpik geotehnoloogia magistrantidele ja doktorantidele. Tallinna Tehnikaülikool. TTÜ Mäeinstituut. Tallinn

Reinsalu, E., Adamson, A., Valgma, I. 2001 (a). Eesti põlevkivimaardla Narva karjääriväljal ja Permisküla uuringuväljal paikneva Usnova katastriüksuse mäetehniline hinnang. TTÜ Mäeinstituut. Tallinn

Reinsalu, E., Valgma, I., Sepp, M., Toomik, A. 2001 (b). Altkaevandatud maa kasutusvõimalused Kohtla kaevanduse näitel. Kogumikust: Mida tähendab kaevanduste sulgemine keskkonnale? (Kohtla kaevanduse näitel). TTÜ Mäeinstituut. Tallinn. 15-20

Reinsalu, E., Toomik, A., Valgma, I. 2002. Kaevandatud maa. TTÜ Mäeinstituut. Tallinn

Rull, E., Liblik, V., Pensa, M. 2005. Muutused deformeerunud maapinnaga metsaalade taimkattes. Kogumikust: Liblik, V., Punning J.-M. (toimetajad). Keskkond ja põlevkivi kaevandamine Kirde-Eestis. TLÜ Ökoloogia Instituudi Publikatsioonid 9. Tallinn. 88-101

Rätsep, A., Toomik, A., Liblik, V. 2003. OÜ VKG Aidu Oil poolt kavandatava Ojamaa põlevkivikaevanduse rajamise ja põlevkivi kaevandamisega kaasneva keskkonnamõju hindamine. Töö nr 43-02.AOil. TPÜ Ökoloogia Instituut. Kirde-Eesti osakond. Jõhvi [WWW] <http://www.vkg.ee/cms-data/upload/keskkonnakaitse/kmharuanne-ojamaa-kmh-geoloogia-txt.pdf> (25.05.2015)

Saarnak, M., Uibopuu, L., Valgma, I., Nurme, M., Väizene, V. 2014. Eesti põlevkivi kaevandamisviisid. Kogumikust: Mäendus. TTÜ Mäeinstituut. Tallinn. 56-68 [WWW] http://www.ene.ttu.ee/maeinstituut/kogumik/2014/Maendus_2014_Maeinstituut.pdf (25.05.2015)

Sitkarev, G. T. 1975. The theoretical, technical, and operational productivities of excavators. Springer. Soviet Mining. Volume 11, Issue 4. 358-364 [WWW] <http://link.springer.com/article/10.1007/BF02499296> (25.05.2015)

Sokman, K. 2010. Maavarade kaevandamise mõju maakasutusele. Rmt: Kaar, E., Kiviste, K. (koostajad). Maavarade kaevandamine ja puistangute rekultiveerimine Eestis. Eesti Maaülikool. Tartu. 56-69

Sokman, K. 2011. Veekõrvaldamise keskkonnaprobleemid Eesti põlevkivi kaevandustes ja karjäärides. Kogumikust: Kaevandamine ja vesi. Eesti Mäeselts. TTÜ Mäeinstituut. Tallinn. 122-124

Старцев, А. В. 1983. Модернизация угольного очистного комбайна КШЗМ для выемки пласта сланца на полную мощность и его основные показатели работы. Вопросы совершенствования технологии и комплексной механизации на сланцевых шахтах и разрезах. Эстонский филиал института горного дела им. А. А. Скочинского. Эстонское республиканское научно-техническое горное общество. Кохтла-Ярве. 35-36

Surva, J. 2008. Sompa kaevandus – lõpetamata ajalugu. Rmt: Varb, N., Tambet, Ü. (koostajad). 90 aastat põlevkivi kaevandamist Eestis: Tehnoloogia ja inimesed. OÜ GeoTrail KS. Tallinn. 134-161

Талве, Л. Г., Соон, К. Т., Саарест, К. Р. 1965. Изучение варианта камерной системы разработки со столбчатыми целиками. Добыча и переработка горючих сланцев. Выпуск 14. Совет народного хозяйства Эстонской ССР. Управление сланцевой и химической промышленности. Научно-исследовательский институт по добыче и переработке сланцев (институт сланцев). Издательство “Недра“. Ленинградское отделение. Ленинград. 3-11

Таммелаан, М. П. 1973. Исследование взаимодействия посадочных крепей с породами кровли на эстонском месторождении горючих сланцев. Научные сообщения. Выпуск 111. Разработка горючих сланцев. Министерство угольной промышленности СССР. Академия наук СССР. Институт горного дела им. А. А. Скочинского. Москва. 47-53

Toomik, A. 1999. Allmaakaevandamise mõjud maapinnale ja nende hindamine. Kogumikust: Liblik, V., Punning, J.-M. (toimetajad). Põlevkivi kaevandamise ja töötlemise keskkonnamõjud Kirde-Eestis. TPÜ Ökoloogia Instituudi Publikatsioonid 6. Tallinn. 109-129

Тоомик, А. А., Доманова, Н. И., Лужецкий, А. В. 1985. Заключение по оценке влияния озера “Калина“ на отработку поля шахты “Виру“. Министерство угольной промышленности СССР. Академия наук СССР. Институт горного дела им. А. А. Скочинского игд им. А. А. Скочинского Эстонский филиал. Кохтла-Ярве

Valgma, I. 1998. An evaluation of technological overburden thickness limit of oil shale open casts by using draglines. Oil Shale, Vol. 15, No. 2 Special. Estonian Academy Publishers. Tallinn. 134-146

Viil, A. 2010. Katendi eemaldamine ja tehniline rekultiveerimine põlevkivikarjäärides. Rmt: Kaar, E., Kiviste, K. (koostajad). Maavarade kaevandamine ja puistangute rekultiveerimine Eestis. Eesti Maaülikool. Tartu. 70-104

Viil, A. 2011. Põlevkivikarjääride (kaevandatud alade) rekultiveerimine. Kogumikust: Kaevandamine ja vesi. Eesti Mäeselts. TTÜ Mäeinstituut. Tallinn. 112-121

Väizene, V., Pastarus, J.-R., Valgma, I. 2014. Ida-Virumaa põlevkivi kaevandamisalade ruumilise planeeringu hinnang. Lep14060. TTÜ Mäeinstituut. Tallinn [WWW] http://axis.ivmv.ee/mv_kodulehe_failid/failid/204543/Ida-virumaa%20polevkivi%20kaevandamisalade%20ruumilise%20planeeringu%20hinnang.pdf (25.05.2015)

Väli, E. 2011. Analysis of oil shale high-selective mining with surface miner in Estonia. Oil Shale, Vol. 28, No. 1. Estonian Academy Publishers. Tallinn. 49-57 [WWW] http://www.kirj.ee/public/oilshale_pdf/2011/issue_1/oil-2011-1-49-57.pdf (25.05.2015)

ÕS, 2013. Eesti õigekeelsussõnaraamat [WWW] <http://www.eki.ee/dict/qs> (25.05.2015)



Kirde-Eesti geoloogilise ehituse, litoloogia, hüdrogeoloogiliste üksuste ja põhjaveekogumite korrelatsioon (Perens *et al.*, 2010)

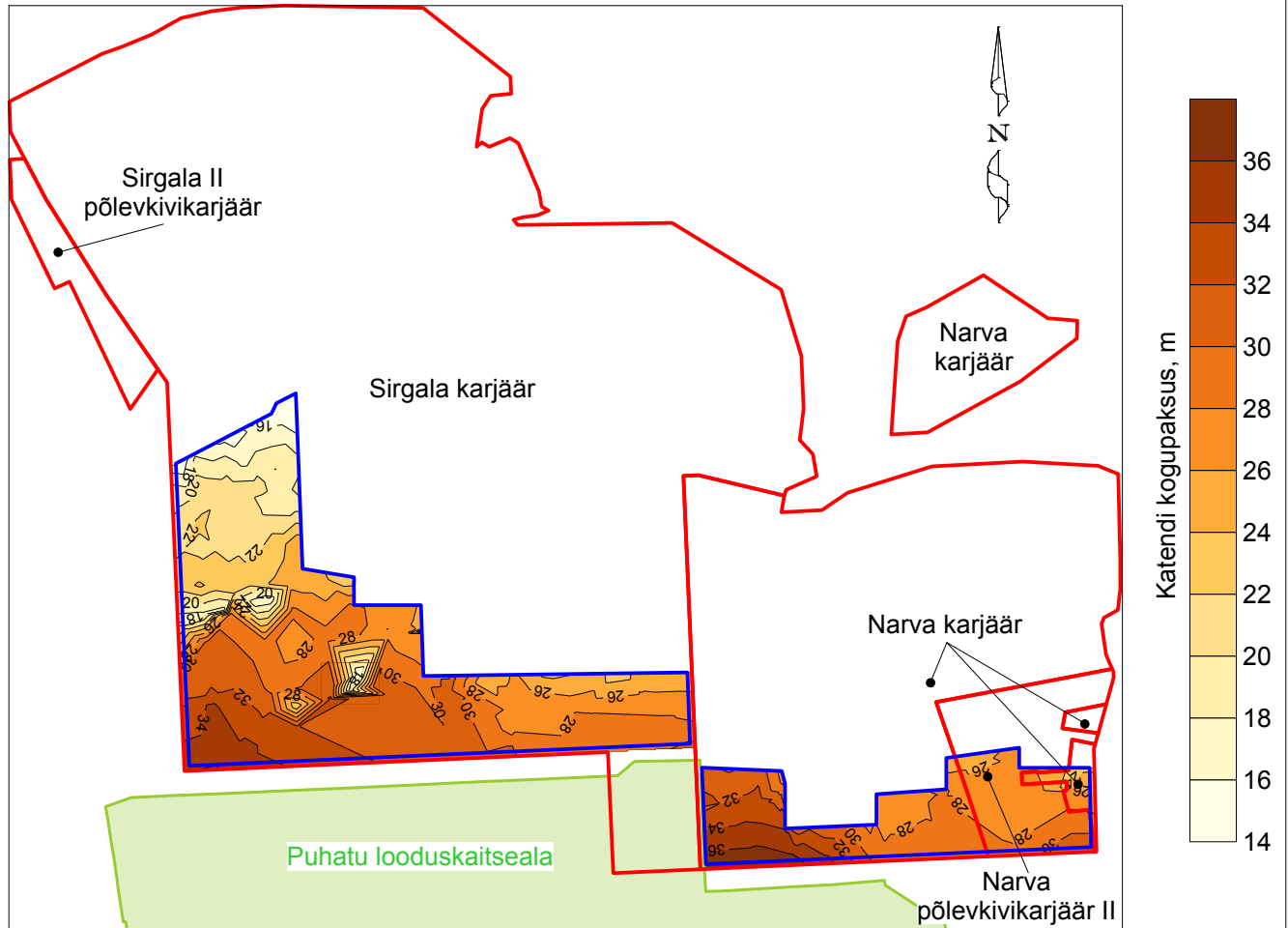
Ladestu	Ladestik	Lade	Indeks	Paksus, m	Litoloogiline tulp	Hüdrogeoloogiline üksus	Põhjaveekogum
Kvaternaar (Q)			Q	0.5 – 77.0		Kvaternaari veekompleks	Vasavere (13)
Devon (D)	Kesk (D ₂)	Narva	D ₂ nr	kuni 31.5		Sporaadiliselt vettandev Narva veekiht	Kesk-Alam-Devon (10)
						Narva veepide	
Ordoviitsium (O)	Ülem (O ₃)	Pirgu	O ₃ prg	36.3–47.3		Pirgu veekiht	Ordoviitsiumi Ida-Viru (5) ja Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivi-basseini (6)
		Vormsi	O ₃ vr	6.05–14.0		Vormsi nõrk veepide	
		Nabala	O ₃ nb	28.6–43.9		Nabala–Rakvere veekiht	
		Rakvere	O ₃ rk	8.0–13.3		Oandu veepide	
		Oandu	O ₃ on	0.70–4.95		Keila–Jõhvi veekiht	
		Keila	O ₃ kl	7.0–15.5		Jõhvi–Idavere nõrk veepide	
		Jõhvi	O ₃ jh	6.5–13.6		Idavere–Kukruse veekiht	
		Idavere	O ₃ id	2.47–9.35		Uhaku veepide	
	Kesk (O ₂)	Uhaku	O ₂ uh	9.75–20.5		Uhaku veepide	Alam-Ordoviitsiumi veepide
		Lasnamäe	O ₂ ls	5.8–12.5		Lasnamäe–Kunda veekiht	
		Aseri	O ₂ as	1.17–5.40		Alam-Ordoviitsiumi veepide	
		Kunda	O ₂ kn	5.15–9.0			
	Alam (O ₁)	Volhovi	O ₁ vl	1.85–6.0		Alam-Ordoviitsiumi veepide	
		Latorpi	O ₁ lt	0.05–2.6			
		Varangu	O ₁ vr				
Pakerordi		O ₁ pk	0.15–18.7				
Kambrium (Ca)	Alam (Ca)	Pirita	Ca ₁ pr	11.5–21.95		Ordoviitsiumi–Kambriumi veekiht	Ordoviitsiumi–Kambriumi (4)
		Lontova	Ca ₁ ln	31.8–45.2		Lükati–Lontova veepide	Kambriumi–Vendi Voronka (2)
Vend (V)	Ülem (V ₂)	Kotlini	V ₂ kt	29.9–44.9		Voronka veekiht	
				13.2–36.0		Kotlini veepide	
				11.7–45.9		Gdovi veekiht	
				26.6–46.5		Gdovi veekiht	
				0.4–19.6		Gdovi veekiht	
Meso-Paleoproterosoikum (PR)			PR ₂₋₁	186+		Kristalne aluskord	



Litoloogia: 1 - moreen; 2 - lubjakivi; 3 - dolomiit; 4 - mergel; 5 - aleuriit; 6 - liiv ja liivakivi; 7 - savi; 8 - gneiss ja graniit

NARVA KARJÄÄR

Katendi kogupaksus



— Mäeeraldise piir



Kavandatud allmaatööd kombainlaavakaevandamisega

M 1:120 000

0m 2000m 4000m

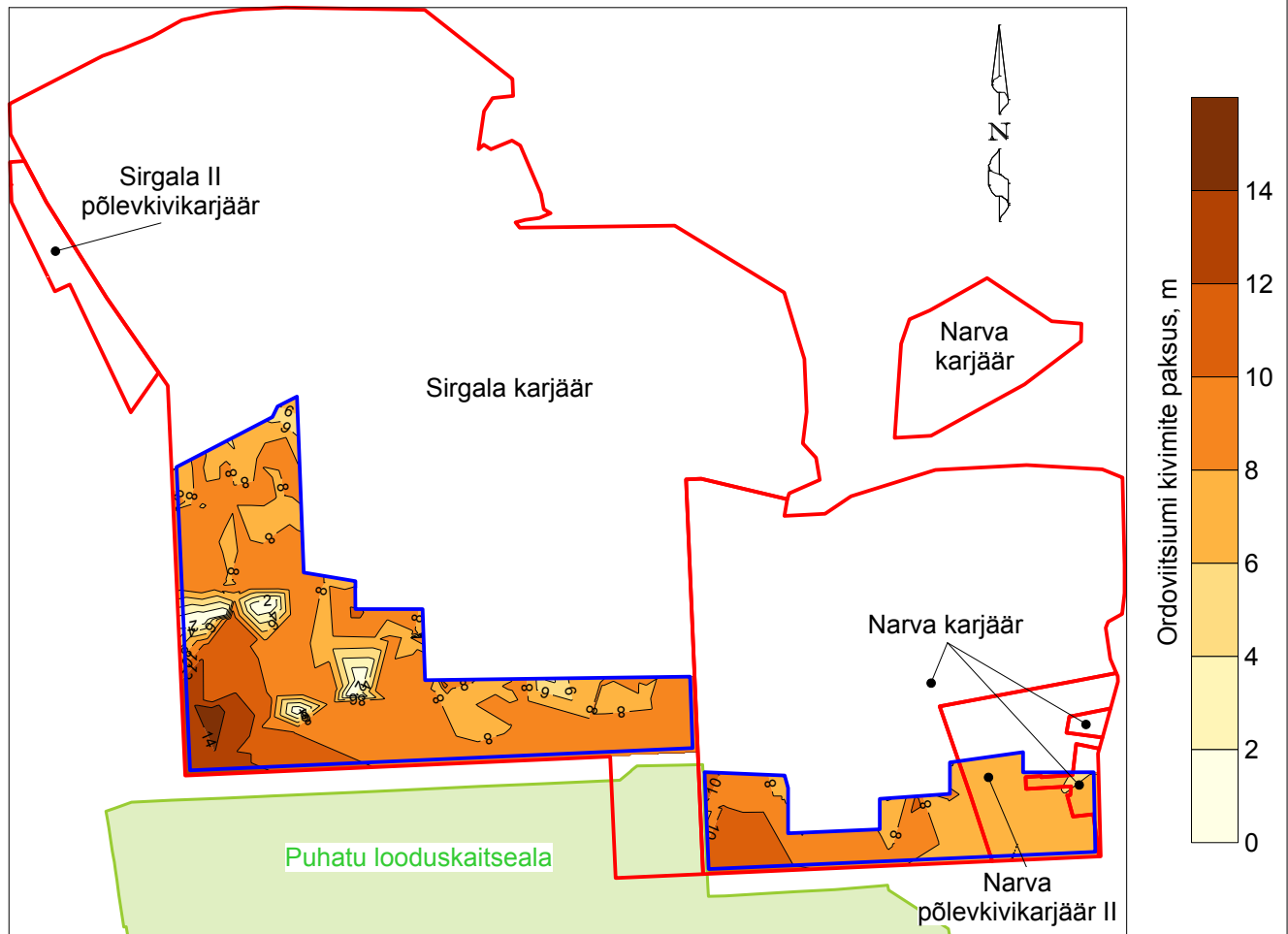
Kasutatud materjalid:

- Kattai, V. 2000. Narva karjäärivälja puuraukude digitaalne andmebaas. Eesti Geoloogiakeskus, EGF 6809. Tallinn.
- Kattai, V. 2001. Narva karjäärivälja puuraukude digitaalne andmebaas (II ja III etapp). Eesti Geoloogiakeskus, EGF 6999. Tallinn.
- Metsur, M., Tamm, I., Toomik, A., Kaljuste, M., Niidas, A. 2014. AS Eesti Energia Kaevandused kaevandamislubade KMIN-073, KMIN-046, KMIN-074 ja KMIN-087 muutmisega kaasneva keskkonnamõju hindamise (KMH) programm. AS Maves, OÜ Inseneribüroo STEIGER. Tallinn.

Koostas ja vormistas:
Paul Toomik

NARVA KARJÄÄR

Ordoviitsiumi kivimite paksus



— Mäeeraldise piir

□ Kavandatud allmaatööd kombainlaavakaevandamisega

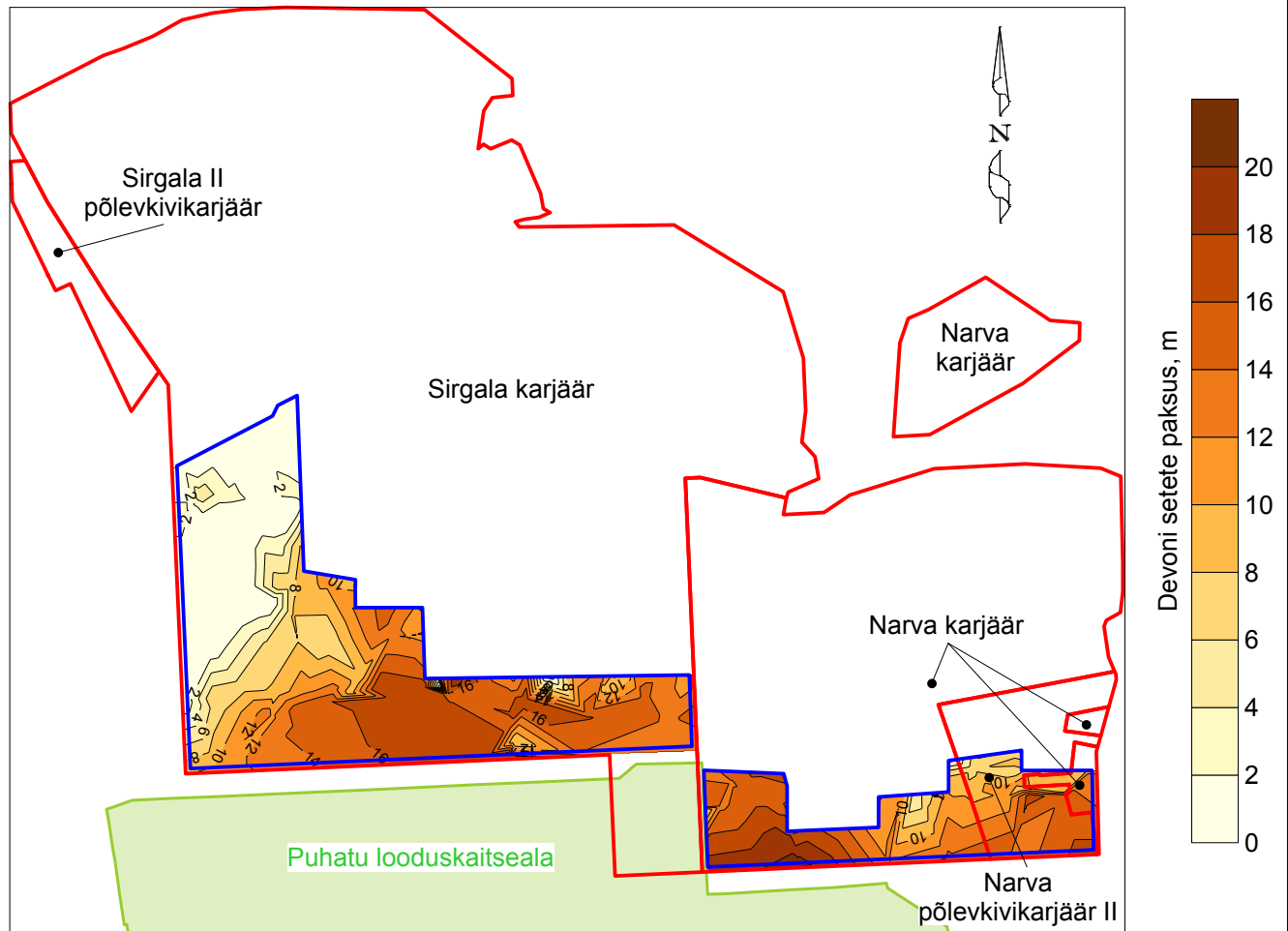
Kasutatud materjalid:

- Kattai, V. 2000. Narva karjäärivälja puuraukude digitaalne andmebaas. Eesti Geoloogiakeskus, EGF 6809. Tallinn.
- Kattai, V. 2001. Narva karjäärivälja puuraukude digitaalne andmebaas (II ja III etapp). Eesti Geoloogiakeskus, EGF 6999. Tallinn.
- Metsur, M., Tamm, I., Toomik, A., Kaljuste, M., Niidas, A. 2014. AS Eesti Energia Kaevandused kaevandamislubade KMIN-073, KMIN-046, KMIN-074 ja KMIN-087 muutmisega kaasneva keskkonnamõju hindamise (KMH) programm. AS Maves, OÜ Inseneribüroo STEIGER. Tallinn.

Koostas ja vormistas:
Paul Toomik

NARVA KARJÄÄR

Devoni setete paksus



— Mäeeraldise piir



Kavandatud allmaatööd kombainlaavakaevandamisega

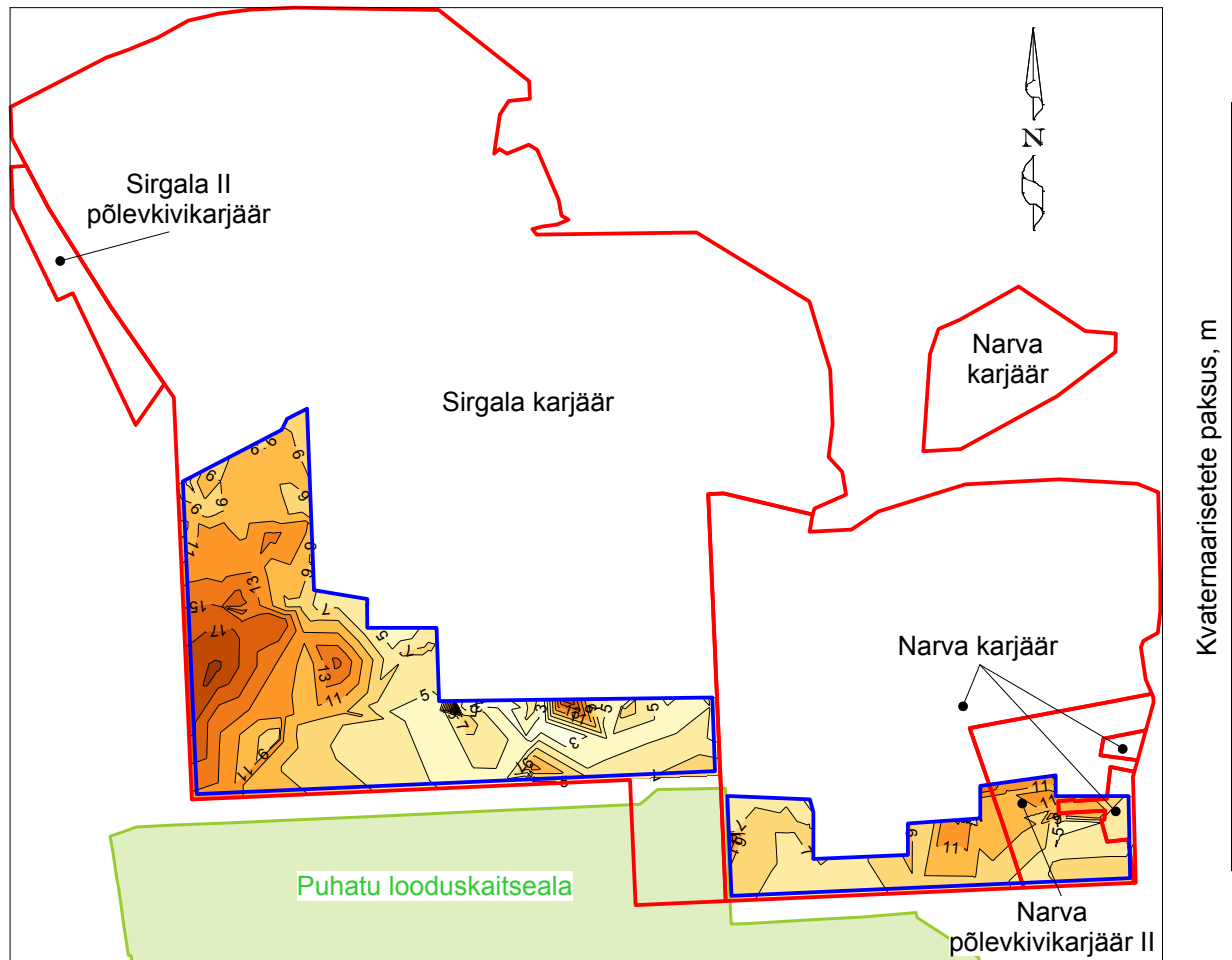
Kasutatud materjalid:

- Kattai, V. 2000. Narva karjäärivälja puuraukude digitaalne andmebaas. Eesti Geoloogiakeskus, EGF 6809. Tallinn.
- Kattai, V. 2001. Narva karjäärivälja puuraukude digitaalne andmebaas (II ja III etapp). Eesti Geoloogiakeskus, EGF 6999. Tallinn.
- Metsur, M., Tamm, I., Toomik, A., Kaljuste, M., Niidas, A. 2014. AS Eesti Energia Kaevandused kaevandamislubade KMIN-073, KMIN-046, KMIN-074 ja KMIN-087 muutmisega kaasneva keskkonnamõju hindamise (KMH) programm. AS Maves, OÜ Inseneribüroo STEIGER. Tallinn.

Koostas ja vormistas:
Paul Toomik

NARVA KARJÄÄR

Kvaternaarisetete paksus



— Mäeeraldise piir

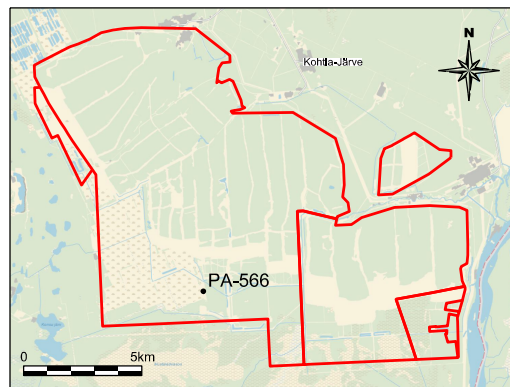


Kavandatud allmaatööd kombainlaavakaevandamisega

Kasutatud materjalid:

- Kattai, V. 2000. Narva karjäärivälja puuraukude digitaalne andmebaas. Eesti Geoloogiakeskus, EGF 6809. Tallinn.
- Kattai, V. 2001. Narva karjäärivälja puuraukude digitaalne andmebaas (II ja III etapp). Eesti Geoloogiakeskus, EGF 6999. Tallinn.
- Metsur, M., Tamm, I., Toomik, A., Kaljuste, M., Niidas, A. 2014. AS Eesti Energia Kaevandused kaevandamislubade KMIN-073, KMIN-046, KMIN-074 ja KMIN-087 muutmisega kaasneva keskkonnamõju hindamise (KMH) programm. AS Maves, OÜ Inseneribüroo STEIGER. Tallinn.

Koostas ja vormistas:
Paul Toomik



PA-566

M 1:200

35,96 abs m

	Stigavus, m	Paksus, m	Kõrgus, abs m	Kihi kirjeldus	Geol. indeks
	3,50	3,50	32,46	Turvas	Q ₁
	4,60	1,1	31,36	Jämedateraline liiv	Q ₂
	5,70	1,1	30,26	Liivsavi veeriste ja munakatega	Q ₃
	19,50	13,80	16,46	Dolomiit, mergel, savi	D ₂ nr
	29,71	10,21	6,25	Dolomiidistunud lubjakivi	O ₂ kk
	30,02	0,31	5,94	H Põlevkivi	
	30,22	0,20	5,74	G/H Lubjakm	
	30,46	0,24	5,50	G Põlevkivi	
	30,72	0,26	5,24	F ₁ Põlevkivi	
	2,71			Tootuskihind A - F ₁	
	33,43		2,53		

M 1:40

Läbitõige	Paksus, m
F ₁	0,33
E	0,50
D/E ₁	0,09
C/D ₁	0,05
C	0,12
B/C	0,40
B	0,26
A/B	0,52
A'	0,20
A	0,10
A	0,14

Kasutatud materjalid:
 1. Kattai, V. 2000. Narva karjäärivälja puuraukude digitaalne andmebaas. Eesti Geoloogilakeskus, EGF 6809. Tallinn.
 2. Kattai, V. 2001. Narva karjäärivälja puuraukude digitaalne andmebaas (II ja III etapp). Eesti Geoloogiakeskus, EGF 6999. Tallinn.

Koostas ja vormistas: Paul Toomik

PA-917

M 1:200 38,11 abs m

Läbilõige	Sügavus, m	Paksus, m	Kõrgus, abs m	Kihi kirjeldus	Geol. indeks
	3,70	3,70	34,41	Turvas	Q ₁
	7,50	3,80	30,61	Peeneteraaline savikas liiv	Q ₂
	9,90	2,40	28,21	Liivsavi, veeriste ja munakatega	Q ₃
	10,90	1,00	27,21	Lõheine dolomiit, mergel	D _{nr}
	15,30	4,40	22,81	Dolomiit	O ₂ kk
	15,60	0,30	22,51	H põlevkivi	
	15,82	0,22	22,29	G/H lubjakivi	
	16,07	0,25	22,04	G põlevkivi	
	17,25	1,18	20,86	F ₂ /G lubjakivi	
	17,59	0,34	20,52	F ₁ põlevkivi	
	20,38	2,79	17,73	Tootuskihind A - F ₁	

M 1:40

Läbilõige	Paksus, m
F ₁	0,32
E	0,64
D/E	0,12
D	0,06
C/D	0,20
C	0,37
B/C	0,18
B	0,40
A/B	0,23
A	0,08
A/A'	0,04
A	0,15

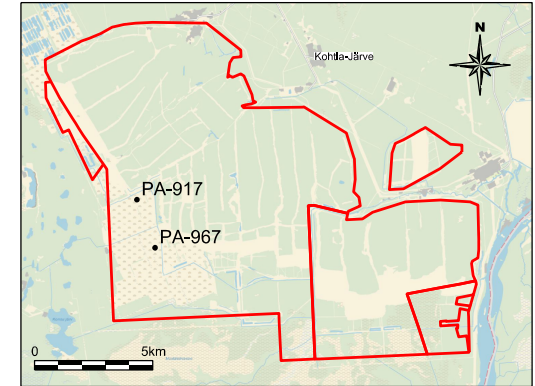
PA-967

M 1:200 37,22 abs m

Läbilõige	Sügavus, m	Paksus, m	Kõrgus, abs m	Kihi kirjeldus	Geol. indeks
	2,70	2,70	34,52	Turvas	Q ₁
	5,00	2,30	32,22	Peeneteraaline liiv	Q ₂
	8,50	3,50	28,72	Saviliiv veeriste ja munakatega	Q ₃
	16,00	7,50	21,22	Dolomiit, mergel	D _{nr}
	23,43	7,43	13,79	Dolomiit	O ₂ kk
	23,79	0,36	13,43	H Põlevkivi	
	24,04	0,25	13,18	G/H Lubjakivi	
	24,24	0,20	12,98	G Põlevkivi	
	25,36	1,12	11,86	F ₂ /G lubjakivi	
	25,54	0,18	11,68	F ₁ Põlevkivi	
	28,56	3,02	8,66	Tootuskihind A - F ₁	

M 1:40

Läbilõige	Paksus, m
F ₁	0,47
E	0,54
D/E	0,07
D	0,15
C/D	0,29
C	0,55
B/C	0,15
B	0,39
A/B	0,16
A'	0,13
A	0,12



Kasutatud materjaleid:
 1. Kattai, V. 2000. Narva karjäärivälja puuraukude digitaalne andmebaas. Eesti Geoloogilakeskus, EGF 6809. Tallinn.
 2. Kattai, V. 2001. Narva karjäärivälja puuraukude digitaalne andmebaas (II ja III etapp). Eesti Geoloogilakeskus, EGF 6999. Tallinn.

Koostas ja vormistas: Paul Toomik

PA-2396

M 1:200 30,00 abs m

Läbilõige	Stügvus, m	Paksus, m	Kõrgus, abs m	Kihi kirjeldus	Geol. indeks
	0,20	0,20	29,80	Kasvukiht	Q ₁
		3,80		Peeneteraline liiv	Q ₂
	4,00		26,00		
		14,60		Dolomiit, savi	D ₂ nr
	18,60		11,40		
		5,95		Dolomiidistunud lubjakivi	
	24,55		5,45		Q ₂ kk
	24,77	0,22	5,23	H põlevkivi	
	25,01	0,24	4,99	G/H lubjakivi	
	25,20	0,19	4,80	G põlevkivi	
	26,36	1,16	3,64	F ₂ /G lubjakivi	
	26,56	0,20	3,44	F ₂ põlevkivi	
		2,89		Tootuskihind A - F ₁	
	29,25		0,55		

M 1:40

Läbilõige	Paksus, m
F ₁	0,36
E	0,62
D	0,11
C/D	0,22
C	0,61
B/C	0,07
B	0,40
A/B	0,25
A'	0,10
A	0,15

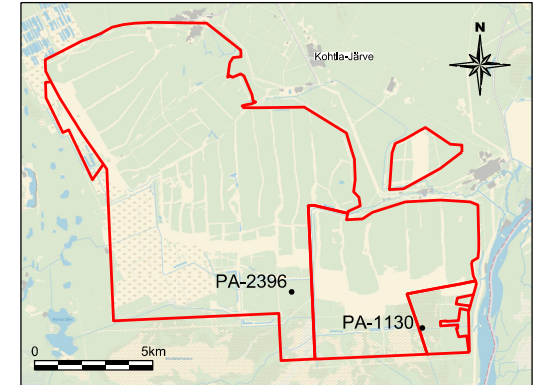
PA-1130

M 1:200 31,33 abs m

Läbilõige	Stügvus, m	Paksus, m	Kõrgus, abs m	Kihi kirjeldus	Geol. indeks
		2,30		Tehnogeensed setted	Q ₁
	2,30		29,03		
		5,70		Väga peeneteraline liiv	Q ₂
	8,00		23,33		
		2,40		Aleurline savil	Q ₃
	10,40		20,93		
		9,20		Dolomiit, mergel	D ₂ nr
	19,60		11,73		
		5,95		Dolomiit, dolomiidistunud lubjakivi	
	25,55		5,78		Q ₂ kk
	25,85	0,30	5,48	H põlevkivi	
	26,03	0,18	5,30	G/H lubjakivi	
	26,23	0,20	5,10	G põlevkivi	
	27,15	0,92	4,18	F ₂ /G lubjakivi	
	27,30	0,15	4,03	F ₂ põlevkivi	
		2,70		Tootuskihind A - F ₁	
	30,00		1,33		

M 1:40

Läbilõige	Paksus, m
F ₁	0,41
E	0,61
D	0,05
C/D	0,06
C	0,25
B	0,39
B/C	0,22
B	0,32
A/B	0,19
A'	0,09
A	0,11



- Kasutatud materjaleid:
- Kattai, V. 2000. Narva karjäärivälja puuraukude digitaalne andmebaas. Eesti Geoloogilakeskus, EGF 6809. Tallinn.
 - Kattai, V. 2001. Narva karjäärivälja puuraukude digitaalne andmebaas (II ja III etapp). Eesti Geoloogilakeskus, EGF 6999. Tallinn.

Koostas ja vormistas: Paul Toomik

Puuraukude nimetused, koordinaadid ja kihtide paksused

Puuraugu nr	X koordinaat	Y koordinaat	Kvaternaari paksus, m	Devoni paksus, m	Ordoviitsiumi paksus, m	Katendi kogupaksus, m
1	2	3	4	5	6	7
2445	6581433.03	703672.07	12.80	0.00	3.65	16.45
2457	6580944.93	703692.58	11.80	0.00	5.37	17.17
2470	6580455.67	703709.47	12.20	0.00	7.74	19.94
2499	6579926.11	703722.25	13.00	0.00	6.15	19.15
2624	6578925.31	703774.98	19.00	0.00	0.60	19.60
2623	6579444.71	703819.58	14.00	0.00	6.75	20.75
2678	6577936.04	703833.71	21.40	0.00	0.90	22.30
2679	6577404.99	703856.57	22.10	0.00	3.05	25.15
2753	6577483.54	705859.83	9.75	0.00	11.14	20.89
2754	6578512.49	705798.28	8.00	0.00	10.95	18.95
2768	6579502.21	705260.65	5.00	0.00	10.05	15.05
2765	6577988.92	705255.05	13.60	0.00	7.45	21.05
2766	6578482.70	705310.91	8.50	0.00	9.35	17.85
2767	6578993.72	705278.25	8.50	0.00	7.60	16.10
2776	6577477.66	704855.87	12.10	0.00	9.70	21.80
2777	6577954.43	704830.10	10.40	0.00	9.65	20.05
2778	6578462.70	704811.12	10.00	0.00	8.30	18.30
2779	6578960.07	704788.87	8.00	0.00	8.23	16.23
2780	6579465.98	704769.58	8.00	0.00	7.62	15.62
2781	6579975.84	704730.21	8.00	0.00	7.20	15.20
2787	6577428.33	704341.55	15.10	0.00	7.40	22.50
2788	6577899.41	704322.04	9.00	0.00	11.30	20.30
2789	6578423.30	704307.62	12.00	0.00	8.15	20.15
2790	6578950.50	704301.49	10.00	0.00	9.00	19.00
2791	6579449.38	704263.15	10.60	0.00	7.55	18.15
2792	6579940.87	704224.75	10.00	0.00	7.20	17.20
2793	6580943.79	704188.58	9.30	0.00	5.80	15.10
2832	6578435.65	703808.30	20.65	0.00	2.05	22.70

1	2	3	4	5	6	7
2844	6580437.61	704209.80	10.20	0.00	5.95	16.15
2851	6576589.51	705471.55	13.45	0.00	13.35	26.80
4057	6576173.30	704277.97	19.40	0.00	8.20	27.60
4058	6576194.20	704742.94	16.00	0.00	13.00	29.00
4059	6576198.30	705236.55	19.00	0.00	12.30	31.30
4060	6576245.17	705720.76	11.00	0.00	8.00	19.00
4061	6576271.14	706236.75	6.90	0.00	8.87	15.77
4067	6575673.68	704256.23	23.00	0.00	9.40	32.40
4069	6575747.16	705756.90	15.00	0.00	6.80	21.80
4070	6575768.61	706253.73	10.00	0.00	4.85	14.85
4166	6577271.61	706191.16	13.00	0.00	5.30	18.30
4157	6576742.62	705721.09	13.60	0.00	8.20	21.80
4158	6576763.73	706215.43	10.00	0.00	5.85	15.85
4163	6577148.70	704179.06	16.30	0.00	5.80	22.10
4164	6577223.80	705185.27	13.00	0.00	9.20	22.20
4165	6577246.36	705692.30	12.00	0.00	9.55	21.55
4170	6577201.24	704702.89	10.80	0.00	13.20	24.00
4171	6576673.26	704702.29	10.40	0.00	13.15	23.55
4188	6575680.90	705208.54	17.00	0.00	10.94	27.94
4226	6576755.89	706074.08	12.35	0.00	21.76	34.11
1002	6571962.97	706530.64	18.00	0.00	13.40	31.40
1003	6571974.83	707023.61	13.00	7.80	11.38	32.18
1004	6572156.52	707476.91	13.00	7.00	11.44	31.44
1005	6572093.03	708014.84	11.60	8.30	9.66	29.56
1006	6572084.20	708514.22	10.00	11.50	8.70	30.20
1076	6571477.76	708426.78	7.60	14.60	9.83	32.03
1249	6573908.80	707323.82	16.20	0.00	7.52	23.72
1250	6573961.10	707314.12	15.70	0.00	7.88	23.58
1251	6574009.55	707301.53	15.50	0.00	7.86	23.36
1252	6573772.09	707358.44	14.40	0.00	9.40	23.80
1253	6573717.89	707372.75	15.90	0.00	7.21	23.11
1254	6573662.76	707383.07	14.30	0.00	7.62	21.92
0905A	6576520.42	706317.17	6.30	0.00	6.42	12.72

1	2	3	4	5	6	7
906	6576533.92	706565.99	6.50	0.00	8.20	14.70
907	6576541.63	706827.29	4.20	0.00	7.78	11.98
0915-I	6575805.82	706511.69	6.50	1.00	6.80	14.30
916	6575812.05	707030.96	9.00	1.83	7.47	18.30
917	6575858.08	707558.09	9.90	1.00	6.35	17.25
0918-4	6575721.68	708075.36	8.30	2.00	7.63	17.93
922	6575130.67	706427.54	8.00	3.70	7.95	19.65
0923-1	6575110.42	706694.77	11.20	1.00	8.30	20.50
0923-3	6575231.02	706642.24	10.50	1.50	7.85	19.85
924	6575171.02	706874.39	10.00	3.50	7.80	21.30
0925A	6575200.71	707126.90	10.70	2.00	9.00	21.70
926	6575217.49	707366.70	10.00	2.00	8.23	20.23
927	6575241.30	707615.26	10.00	1.90	8.38	20.28
928	6575264.74	707881.71	10.00	1.00	8.60	19.60
929	6575300.20	708144.35	8.80	1.90	7.70	18.40
930	6575148.19	708396.72	11.50	0.00	7.17	18.67
931	6575118.55	708541.65	10.00	0.00	7.85	17.85
939	6574353.12	706310.79	11.30	1.00	9.08	21.38
0940A	6574363.28	706560.21	12.20	1.00	8.75	21.95
941	6574383.97	706806.22	12.40	1.00	8.05	21.45
0942A	6574401.23	707054.43	12.00	0.80	9.04	21.84
943	6574414.36	707303.00	12.30	0.90	7.10	20.30
944	6574451.12	707850.42	10.00	3.50	8.40	21.90
945	6574478.11	708141.95	11.00	3.00	9.14	23.14
0961A	6573771.67	706238.68	13.20	0.00	10.59	23.79
0962A	6573801.89	706476.14	15.00	0.00	8.30	23.30
0963A	6573811.75	707044.94	14.98	0.00	8.45	23.43
965	6573831.25	707607.60	13.50	0.50	8.98	22.98
0966A	6573816.80	708109.42	8.60	7.50	8.38	24.48
967	6573824.79	708328.07	8.50	7.50	9.36	25.36
968	6573850.08	708621.52	6.00	9.60	9.02	24.62
0983A	6572903.11	708426.03	10.00	8.00	8.53	26.53
2808	6576620.72	708100.82	9.05	0.00	5.40	14.45

1	2	3	4	5	6	7
2809	6574430.52	707551.99	12.50	0.00	8.80	21.30
2815	6571699.00	707949.22	7.00	13.50	11.05	31.55
4056	6572838.01	706964.44	19.50	0.00	11.60	31.10
4062	6576292.74	706733.00	6.50	0.00	8.85	15.35
4063	6576314.35	707225.88	9.00	0.00	5.65	14.65
4064	6576334.55	707732.02	9.00	0.00	7.45	16.45
4065	6576359.93	708228.15	9.00	0.00	7.80	16.80
4071	6575792.62	706751.43	10.60	0.00	8.40	19.00
4072	6575820.61	707248.87	10.50	0.00	8.50	19.00
4073	6575850.14	707749.55	10.60	0.00	8.13	18.73
4074	6575875.37	708255.52	10.00	0.00	9.35	19.35
4080	6575291.84	706306.68	11.20	0.00	8.58	19.78
4081	6575319.71	706800.74	7.80	5.40	8.55	21.75
4082	6575358.04	707294.71	10.00	2.50	8.70	21.20
4083	6575387.75	707793.80	11.00	1.00	9.15	21.15
4084	6575421.92	708291.20	7.50	3.80	8.55	19.85
4089	6574851.56	706827.18	12.85	0.00	9.55	22.40
4090	6574930.82	707821.55	13.70	0.00	6.50	20.20
4091	6575011.17	708821.49	9.00	4.40	7.85	21.25
4095	6573891.28	708907.60	6.00	10.50	7.78	24.28
4096	6573359.82	708344.57	11.40	8.10	9.00	28.50
4097	6573414.37	709382.09	6.00	12.25	10.55	28.80
4098	6574487.00	708430.03	9.25	7.65	8.63	25.53
4099	6572918.11	708897.13	15.70	6.00	7.30	29.00
4113	6574515.68	708836.59	7.50	7.20	8.15	22.85
4114	6574545.96	709348.29	7.50	6.00	8.10	21.60
4140	6573433.32	709880.70	3.00	15.00	8.40	26.40
4155	6573788.52	706837.09	15.35	0.00	8.94	24.29
4156	6573303.31	707333.18	17.00	0.00	11.92	28.92
4159	6576783.64	706715.94	8.50	0.00	6.90	15.40
4217	6571806.00	706999.98	13.20	6.30	14.90	34.40
4218	6571920.90	708985.91	7.00	16.00	9.23	32.23
4249	6570809.13	707087.91	12.00	10.50	13.60	36.10

1	2	3	4	5	6	7
4341	6572867.21	707898.27	13.00	6.40	9.40	28.80
4489	6574476.15	708579.24	11.25	6.75	8.45	26.45
4490	6574454.40	708595.56	5.70	12.50	8.70	26.90
4491	6574439.64	708613.30	7.40	9.75	8.95	26.10
8147	6573221.10	706477.23	16.80	0.00	0.00	16.80
8148	6573314.42	706876.54	17.50	0.00	0.00	17.50
8149	6573393.82	707230.84	17.40	0.00	0.00	17.40
8150	6573507.86	707726.32	16.90	0.00	0.00	16.90
8151	6573571.31	707999.35	16.60	0.00	0.00	16.60
8160g	6571804.42	708417.85	7.30	15.20	0.00	22.50
132	6573255.43	711869.34	1.50	15.50	8.62	25.62
133	6573302.79	711849.61	1.50	15.50	9.25	26.25
134	6573230.50	711893.88	1.50	15.50	8.39	25.39
178	6572969.25	711971.62	1.50	15.50	5.87	22.87
179	6573018.87	711971.60	3.30	13.50	6.30	23.10
180	6573076.72	711965.40	3.50	14.10	6.50	24.10
181	6573148.91	711966.05	3.50	14.20	6.55	24.25
182	6573201.50	711965.93	3.20	14.90	7.00	25.10
183	6573371.81	711925.15	3.00	18.50	4.10	25.60
184	6573619.60	711937.52	2.80	15.40	5.50	23.70
227	6574152.76	710644.72	7.10	8.70	6.85	22.65
228	6574101.31	710652.25	7.50	8.50	9.00	25.00
229	6573458.31	710745.89	5.70	12.70	6.75	25.15
230	6573406.80	710753.02	5.80	12.90	6.48	25.18
232	6573207.61	710783.33	5.80	12.90	7.20	25.90
233	6573154.77	710791.09	6.20	12.60	7.40	26.20
234	6574057.08	710654.04	7.20	9.30	8.20	24.70
236	6573502.96	711971.47	2.00	15.20	6.50	23.70
238	6574903.46	708643.03	5.30	8.20	7.50	21.00
249	6573801.92	710694.66	7.50	10.50	5.10	23.10
257	6574021.12	710661.10	5.40	9.80	7.60	22.80
258	6574577.64	708841.49	5.40	9.80	8.10	23.30
259	6574692.62	708797.32	5.20	10.30	5.95	21.45

1	2	3	4	5	6	7
260	6574549.64	708852.43	5.40	10.00	7.10	22.50
261	6574798.03	708717.02	5.50	8.40	6.55	20.45
275	6574198.18	712674.61	5.50	9.70	5.40	20.60
379	6572799.34	713428.12	11.80	6.90	5.10	23.80
436	6572531.14	714577.44	5.20	9.00	9.04	23.24
437	6573190.89	713495.41	8.10	9.20	6.75	24.05
438	6573409.60	713372.73	9.10	8.60	6.17	23.87
439	6573978.30	713467.40	8.00	5.80	7.04	20.84
440	6573033.72	713519.51	8.10	9.80	6.70	24.60
441	6572997.11	713649.64	17.80	0.00	6.83	24.63
442	6572953.77	713681.84	18.10	0.00	6.40	24.50
443	6572911.43	713713.71	10.90	5.30	8.04	24.24
530	6572202.87	711979.59	6.40	12.30	8.30	27.00
531	6572031.08	711914.22	5.30	15.00	7.55	27.85
532	6571726.82	711905.62	2.80	16.10	8.90	27.80
533	6571547.88	711914.30	3.80	15.50	7.92	27.22
534	6571280.36	711993.00	11.50	8.10	8.55	28.15
535	6571231.60	712001.04	11.80	8.20	8.78	28.78
536	6571187.22	711995.64	9.00	11.00	9.15	29.15
537	6571147.08	711979.03	11.90	9.10	9.25	30.25
538	6572721.25	711971.37	3.60	9.90	12.20	25.70
539	6572631.22	711981.53	8.70	10.40	7.00	26.10
540	6572567.19	711982.40	7.20	11.20	7.79	26.19
541	6572513.46	711981.30	7.70	10.00	8.07	25.77
559	6574665.33	709713.22	3.50	9.50	6.66	19.66
560	6572800.44	710614.12	6.00	13.20	7.73	26.93
561	6572492.28	710659.09	6.00	12.60	8.57	27.17
562	6572639.12	710834.89	4.50	12.80	9.46	26.76
563	6572585.00	710842.42	4.00	15.80	7.75	27.55
564	6572492.02	710854.96	5.50	14.50	9.35	29.35
565	6572344.82	710876.85	5.50	15.40	7.96	28.86
566	6572214.37	710834.09	5.70	13.80	10.96	30.46
1001	6573229.79	714958.48	2.50	9.90	7.11	19.51

1	2	3	4	5	6	7
1007	6572127.55	709014.85	9.20	12.80	9.12	31.12
1008	6572135.17	709723.75	5.00	17.80	8.51	31.31
1009	6572154.48	710517.53	4.00	16.80	8.72	29.52
1010	6572160.42	710774.21	22.80	0.00	6.79	29.59
01011A	6572221.13	710985.41	3.00	19.10	8.35	30.45
1013	6572227.98	711567.46	2.00	14.50	7.58	24.08
1015	6572195.91	711872.31	3.20	13.50	8.17	24.87
1016	6572390.33	712194.63	3.00	14.20	7.94	25.14
1017	6572373.24	712554.13	20.00	0.00	3.20	23.20
1018	6572460.00	712651.82	4.70	10.90	6.59	22.19
1019	6572445.20	712933.50	6.80	9.70	6.73	23.23
1020	6572433.83	713248.62	6.90	9.50	6.57	22.97
1021	6572472.56	713373.70	5.60	10.70	6.56	22.86
1022	6572487.80	713791.80	6.00	7.20	8.79	21.99
1023	6572492.85	713975.99	3.00	13.00	8.18	24.18
1024	6572503.11	714213.62	2.00	13.40	8.26	23.66
1025	6572509.42	714442.16	2.80	13.40	8.12	24.32
01026A	6572526.87	714682.88	5.60	8.70	8.18	22.48
1027	6572551.87	715033.86	3.70	13.50	7.93	25.13
1082	6571038.06	711551.73	4.30	17.60	8.25	30.15
01083A	6571082.69	711888.26	4.00	18.10	8.86	30.96
1085	6571655.98	713240.38	4.00	16.10	8.11	28.21
1187	6572934.33	712332.43	16.00	0.00	6.63	22.63
1188	6572911.68	712376.52	3.80	9.70	0.00	13.50
1189	6572891.35	712420.51	3.80	10.70	0.00	14.50
1190	6572870.53	712468.04	5.00	10.50	7.35	22.85
1191	6572852.24	712514.40	5.70	11.40	0.00	17.10
1192	6572835.21	712561.41	5.00	10.80	8.71	24.51
1193	6572818.14	712608.92	4.70	12.40	7.75	24.85
1194	6572800.85	712656.15	4.10	12.60	6.70	23.40
1195	6572708.66	712890.63	17.90	0.00	5.62	23.52
1196	6572689.30	712936.50	8.30	6.90	8.24	23.44
1197	6572670.58	712982.94	8.80	9.10	5.51	23.41

1	2	3	4	5	6	7
1198	6572659.12	713031.79	6.30	10.40	5.80	22.50
1199	6572637.44	713077.28	6.70	10.50	5.42	22.62
1200	6572604.35	714742.80	1.60	12.91	7.43	21.94
1201	6572646.51	714710.34	1.40	13.10	8.55	23.05
1202	6572682.80	714684.24	2.80	11.80	7.68	22.28
1203	6572723.45	714652.85	5.50	8.50	7.85	21.85
1204	6572763.78	714623.29	2.40	11.60	7.82	21.82
1222	6572923.71	711872.31	4.00	12.00	7.72	23.72
1223	6572873.50	711869.48	4.70	10.90	8.44	24.04
1224	6572814.88	711860.77	4.20	11.40	8.33	23.93
1225	6572775.15	711856.69	4.30	12.00	7.90	24.20
1235	6572679.07	710859.73	8.00	10.10	7.96	26.06
1236	6572715.26	710806.59	3.80	12.80	9.63	26.23
1237	6572725.21	711859.28	3.70	12.50	7.46	23.66
1238	6572675.39	711860.11	3.00	13.30	7.76	24.06
1239	6572783.31	712702.32	4.90	12.30	6.30	23.50
1240	6573096.50	710366.51	6.40	11.50	8.31	26.21
1241	6573130.42	710338.24	7.50	10.40	8.07	25.97
1242	6573032.00	710443.34	6.20	12.50	0.00	18.70
1243	6573008.73	710477.23	6.50	10.50	9.43	26.43
1244	6573946.68	710292.98	6.40	11.60	0.00	18.00
1245	6573989.77	710282.18	6.40	9.30	7.37	23.07
1246	6573843.80	710332.78	6.70	8.50	7.94	23.14
1247	6573798.81	710352.70	7.10	8.40	7.60	23.10
1270	6572276.15	713388.40	4.00	13.00	7.87	24.87
1271	6572233.97	713419.33	4.00	12.50	8.23	24.73
1272	6572193.46	713449.26	8.00	8.80	7.54	24.34
1273	6572155.87	713505.81	8.00	8.70	7.49	24.19
1279	6572526.64	711852.27	5.00	12.50	8.05	25.55
1280	6572470.14	711864.30	5.00	11.50	7.30	23.80
615	6571686.25	707982.31	11.50	11.50	9.20	32.20
946	6574576.48	709146.79	7.80	4.90	7.53	20.23
947	6574573.10	709658.29	6.00	6.00	7.15	19.15

1	2	3	4	5	6	7
948	6574623.52	710133.81	8.00	5.10	7.39	20.49
969	6573873.66	709160.58	6.00	9.30	7.47	22.77
970	6573882.26	709415.94	6.00	9.10	7.85	22.95
971	6573869.52	709661.32	3.00	12.20	8.25	23.45
0972A	6573896.18	710162.54	5.70	10.00	7.25	22.95
973	6573894.85	710317.71	6.50	11.50	0.00	18.00
974	6573875.42	710659.60	4.50	10.90	6.85	22.25
975	6573916.20	711260.05	5.50	10.60	7.00	23.10
976	6573960.26	711592.25	5.50	9.40	7.05	21.95
977	6574010.97	711901.87	3.40	10.30	6.47	20.17
978	6574082.43	712676.03	3.80	11.30	5.27	20.37
979	6574071.29	713155.20	3.60	11.20	5.70	20.50
984	6572980.73	709717.73	6.00	13.70	7.82	27.52
985	6572989.99	709948.72	6.90	12.10	8.66	27.66
986	6573003.86	710223.84	6.80	11.90	7.65	26.35
987	6573066.29	710410.24	6.70	11.20	7.90	25.80
988	6572937.50	710670.71	2.00	16.50	7.98	26.48
989	6572895.53	711108.82	4.80	11.40	8.48	24.68
990	6572925.85	711336.29	4.60	13.10	8.01	25.71
991	6572961.39	711665.66	3.00	14.36	7.99	25.35
992	6573036.80	711859.83	3.80	12.00	8.70	24.50
993	6573092.98	712086.03	3.50	11.80	8.45	23.75
995	6573128.80	712622.49	4.00	12.20	5.81	22.01
996	6573157.84	713080.07	6.50	9.90	6.89	23.29
997	6573153.88	713409.08	10.00	8.20	6.19	24.39
998	6573080.73	713586.03	8.20	9.80	7.08	25.08
0999A	6573187.04	714117.70	18.50	0.00	5.39	23.89
2393	6573931.80	712261.19	4.00	10.70	6.08	20.78
2396	6571956.14	714106.35	4.00	14.60	7.76	26.36
2810	6573079.05	709920.61	7.20	13.50	7.35	28.05
2815	6571699.00	707949.22	7.00	13.50	11.05	31.55
2817	6571921.07	712182.03	1.00	17.70	8.47	27.17
4115	6574595.05	709847.52	6.00	8.80	6.92	21.72

1	2	3	4	5	6	7
4116	6574628.07	710384.90	7.50	7.70	6.94	22.14
4127	6573945.67	709916.32	6.00	11.30	8.10	25.40
4128	6573986.53	710908.93	7.50	8.30	8.16	23.96
4129	6574005.47	711403.29	5.50	9.50	7.90	22.90
4130	6574023.29	711915.27	2.00	11.00	6.82	19.82
4131	6574059.80	712425.56	3.00	11.70	6.00	20.70
4132	6574069.46	712937.06	3.00	10.70	6.60	20.30
4133	6574114.10	713410.48	6.00	8.90	5.41	20.31
4141	6573458.69	710354.20	6.00	11.85	8.28	26.13
4142	6573486.17	710855.78	5.20	11.30	8.96	25.46
4143	6573511.25	711380.36	1.90	15.45	8.85	26.20
4144	6573514.46	711874.39	3.00	13.80	8.50	25.30
4145	6573576.65	712431.70	1.00	15.10	6.97	23.07
4146	6573576.24	712868.12	4.20	10.80	6.60	21.60
4147	6573635.32	713902.21	9.00	8.50	4.30	21.80
4148	6573635.79	713391.02	2.50	11.30	6.70	20.50
4178	6573029.09	710886.27	5.70	12.00	7.87	25.57
4179	6573065.99	711895.02	4.00	13.75	7.85	25.60
4180	6573124.09	712865.89	4.50	9.66	9.04	23.20
4181	6573186.68	713860.83	6.00	10.20	8.18	24.38
4182	6573198.93	714352.66	2.50	13.50	6.48	22.48
4183	6573135.38	714874.15	4.30	9.70	6.75	20.75
4196	6572592.81	711606.40	4.40	14.00	8.12	26.52
4197	6572621.67	712485.00	2.30	16.75	4.95	24.00
4198	6572676.35	713382.79	7.00	10.10	7.08	24.18
4199	6572714.66	714615.40	2.30	11.70	9.00	23.00
4200	6572724.56	714920.98	0.55	13.45	8.24	22.24
4219	6571977.05	709975.25	5.00	17.00	9.54	31.54
4220	6572039.26	710894.12	8.00	15.75	7.25	31.00
4221	6572214.53	714841.78	5.00	11.00	9.18	25.18
4235	6571580.54	714533.68	6.20	13.70	8.45	28.35
4252	6570971.21	711115.68	4.00	17.90	8.47	30.37
4253	6570977.68	712055.69	3.50	17.70	8.90	30.10

1	2	3	4	5	6	7
4254	6571054.97	713062.76	6.00	13.90	8.46	28.36
4256	6571122.39	715024.83	9.00	13.10	8.40	30.50
4291	6569075.35	714941.62	8.00	19.50	10.20	37.70
8153g	6574077.80	710202.93	4.50	11.20	0.00	15.70
8157	6572353.54	709463.53	7.80	8.40	0.00	16.20
8158	6572230.81	709384.83	7.00	9.00	0.00	16.00
8159	6572070.51	709283.09	9.20	8.80	0.00	18.00
1	6571599.95	716469.32	3.80	13.70	5.90	23.40
10	6570597.73	716512.50	4.50	16.10	6.20	26.80
11	6570297.56	716528.42	4.50	15.30	7.10	26.90
147	6571752.88	718112.94	11.80	2.90	7.40	22.10
185	6571763.73	718212.55	13.00	5.00	4.65	22.65
191	6572077.23	717849.71	12.60	2.60	6.60	21.80
192	6571876.75	717865.67	12.00	3.30	6.90	22.20
193	6571674.80	717882.20	7.90	10.40	5.45	23.75
194	6571473.96	717901.19	9.80	7.70	6.24	23.74
195	6571274.48	717917.11	9.20	9.10	6.30	24.60
196	6571171.38	717928.22	8.80	11.50	4.65	24.95
197	6571071.12	717935.71	8.80	10.10	5.60	24.50
198	6570870.49	717948.18	8.80	10.40	6.95	26.15
199	6570671.03	717964.60	9.00	10.30	6.90	26.20
2	6571499.63	716473.20	3.80	14.00	6.40	24.20
200	6570471.58	717981.02	9.50	10.30	6.75	26.55
3	6571399.77	716476.16	3.80	13.80	6.80	24.40
381	6571801.04	719105.72	8.90	8.00	6.55	23.45
382	6571601.16	719112.65	13.80	3.70	6.14	23.64
384	6571401.38	719121.58	12.30	5.30	7.00	24.60
385	6571201.68	719132.50	11.50	7.10	7.13	25.73
386	6571001.80	719139.43	16.50	0.00	8.08	24.58
387	6570901.95	719144.90	14.50	2.40	8.05	24.95
388	6570752.02	719149.59	10.80	7.00	7.55	25.35
389	6570602.04	719153.29	10.60	9.30	7.10	27.00
390	6570402.34	719164.22	8.80	10.00	9.47	28.27

1	2	3	4	5	6	7
4	6571299.10	716479.06	3.80	13.50	6.80	24.10
5	6571199.30	716481.11	3.80	13.80	7.20	24.80
545	6570563.73	720267.05	9.00	10.80	6.33	26.13
546	6570775.37	720254.59	13.00	6.40	7.36	26.76
547	6570925.39	720251.89	10.20	9.30	6.65	26.15
548	6571072.23	720245.33	12.10	6.40	7.84	26.34
549	6571259.47	720268.99	9.50	9.30	6.75	25.55
550	6571417.44	720309.98	11.20	5.20	7.35	23.75
551	6571564.34	720349.45	10.00	7.50	6.20	23.70
552	6571737.22	720387.77	15.00	3.10	4.65	22.75
553	6571864.23	720430.14	15.10	2.70	6.20	24.00
554	6571899.73	720440.57	15.00	3.40	5.97	24.37
555	6571957.56	720458.00	12.50	4.90	6.02	23.42
556	6572066.10	720490.19	13.80	4.20	5.37	23.37
6	6571098.48	716487.42	3.80	13.90	6.80	24.50
7	6570998.40	716492.09	3.80	14.00	7.70	25.50
8	6570897.72	716496.89	3.80	15.40	6.30	25.50
9	6570797.85	716502.06	3.80	15.00	7.00	25.80
1048	6571734.25	715278.81	3.80	14.90	7.92	26.62
1049	6571726.36	715734.31	1.90	16.70	8.34	26.94
1050	6571715.16	715980.78	2.80	16.30	7.99	27.09
1051	6571713.18	716261.12	3.00	12.30	8.72	24.02
1052	6571705.95	716448.14	3.70	11.80	8.58	24.08
1053	6571672.69	716725.84	7.60	9.10	7.11	23.81
1054	6571691.83	717299.63	8.50	4.80	8.81	22.11
1055	6571699.59	717520.57	12.00	2.30	8.15	22.45
1056	6571708.27	717770.86	10.60	3.95	7.96	22.51
1057	6571717.89	717954.89	8.70	5.40	8.28	22.38
1058	6571923.15	718312.96	8.20	6.20	7.81	22.21
1059	6572032.19	718575.13	11.50	6.80	4.70	23.00
1060	6571944.45	718773.21	8.40	4.70	8.93	22.03
1061	6572079.86	719083.01	10.00	6.70	6.65	23.35
1062	6572018.98	719294.38	12.00	5.30	6.35	23.65

1	2	3	4	5	6	7
1063	6571981.67	719571.44	11.60	5.00	7.91	24.51
1064	6572035.32	719798.29	11.00	7.00	5.60	23.60
1065	6572023.69	720385.81	9.70	7.00	6.45	23.15
1066	6572030.47	720598.52	9.00	8.00	6.58	23.58
1067	6572034.98	720805.31	8.50	7.70	5.47	21.67
1068	6572003.77	721070.73	8.50	7.90	5.60	22.00
1069	6572006.44	721351.89	10.00	7.00	5.70	22.70
1070	6572038.88	721572.04	9.00	7.50	4.90	21.40
1071	6572033.12	721821.48	5.90	6.60	5.75	18.25
1090	6570887.56	715135.56	6.80	12.70	10.53	30.03
1091	6570919.70	715327.02	5.00	15.70	8.94	29.64
1092	6570924.64	715558.33	4.30	17.30	7.75	29.35
1093	6570947.80	715830.12	4.40	16.80	8.44	29.64
1094	6570961.21	716074.89	5.50	16.80	8.24	30.54
1095	6570971.24	716324.80	4.50	16.00	8.29	28.79
1096	6571004.89	716507.00	2.70	14.60	7.95	25.25
1097	6570999.81	716751.24	6.00	10.60	7.98	24.58
1098	6571011.51	716974.39	7.00	8.80	8.62	24.42
1101	6571046.13	717730.46	8.30	8.80	7.86	24.96
1102	6571223.75	717968.05	8.90	7.10	7.96	23.96
1103	6571334.21	718271.78	7.20	7.50	7.82	22.52
1104	6571340.19	718520.92	18.00	0.00	7.00	25.00
1105	6571344.08	718769.28	8.00	9.10	7.70	24.80
1107	6571426.89	719497.50	15.00	4.50	6.65	26.15
1108	6571437.82	719753.93	15.90	2.10	6.84	24.84
1109	6571448.22	720010.16	13.20	4.10	6.57	23.87
1110	6571464.89	720254.79	12.70	3.30	7.59	23.59
1111	6571473.65	720514.65	10.50	5.50	5.94	21.94
01112-2	6571488.81	720850.59	14.00	2.20	6.20	22.40
1113	6571498.67	721261.56	3.80	12.40	6.36	22.56
1114	6571502.38	721509.27	7.80	8.90	4.78	21.48
1115	6571521.40	721781.51	4.00	11.60	5.07	20.67
1116	6570199.48	715411.56	8.30	13.60	10.06	31.96

1	2	3	4	5	6	7
1117	6570234.62	715705.69	7.90	14.60	9.83	32.33
1118	6570237.14	716038.93	8.70	14.70	9.43	32.83
1119	6570242.42	716287.05	8.00	14.90	8.90	31.80
1120	6570244.90	716530.94	8.40	10.90	8.14	27.44
1121	6570272.15	716785.46	8.00	11.60	6.04	25.64
1122	6570305.33	717581.16	8.00	11.00	8.12	27.12
1123	6570320.24	717869.83	12.00	8.00	7.60	27.60
1124	6570340.41	718117.46	7.00	11.20	8.42	26.62
1125	6570356.98	718366.25	8.00	11.90	7.13	27.03
1126	6570371.02	718612.08	12.60	3.90	10.48	26.98
1127	6570394.12	718864.84	16.20	3.90	7.51	27.61
1128	6570410.79	719129.25	9.70	10.30	8.40	28.40
1129	6570434.43	719381.18	10.90	8.50	7.25	26.65
1130	6570430.68	719640.26	10.40	9.20	7.55	27.15
1131	6570448.01	719839.65	9.00	11.40	7.12	27.52
1132	6570470.52	720290.76	12.80	8.20	5.98	26.98
1133	6570486.28	720551.05	9.80	9.80	7.81	27.41
1153	6569289.71	716663.98	6.00	20.60	9.67	36.27
1205	6570257.36	716498.89	8.70	14.00	6.31	29.01
1206	6570255.08	716449.69	8.10	14.50	8.91	31.51
1207	6570252.54	716399.75	7.90	14.80	8.67	31.37
1208	6570250.52	716349.78	7.70	14.80	8.50	31.00
1209	6570250.04	716299.67	7.90	14.90	9.30	32.10
1210	6570411.35	718885.86	4.80	16.10	7.98	28.88
1211	6570401.73	718841.12	12.90	7.90	7.10	27.90
1212	6570400.20	718814.69	11.90	5.50	9.70	27.10
1213	6570395.03	718790.32	13.30	6.80	7.58	27.68
1214	6570393.21	718740.23	13.00	6.60	7.20	26.80
1215	6570389.82	718691.94	11.60	7.20	8.55	27.35
1216	6570384.99	718640.87	12.60	6.40	7.75	26.75
1217	6570381.59	718590.80	11.60	4.90	10.25	26.75
1218	6570329.37	718086.87	8.50	10.50	7.52	26.52
1255	6572179.73	720527.86	6.20	11.00	5.94	23.14

1	2	3	4	5	6	7
1256	6572172.73	720480.03	7.10	10.40	5.88	23.38
1257	6572158.17	720429.90	9.00	8.60	5.22	22.82
1258	6572146.79	720374.30	9.00	8.30	4.87	22.17
1259	6572137.13	720326.56	11.00	7.00	4.23	22.23
1260	6570817.45	717926.51	7.90	8.80	8.11	24.81
1261	6570869.38	717923.15	8.20	7.80	9.00	25.00
1262	6570770.31	717930.05	8.30	8.80	7.74	24.84
1263	6570916.45	717926.60	7.90	9.10	7.83	24.83
628	6570206.28	715180.23	6.80	16.00	9.90	32.70
203	6571886.30	715145.18	3.40	14.80	8.55	26.75
204	6571700.93	715476.77	3.00	16.10	7.06	26.16
205	6571695.91	715924.42	2.50	16.70	8.51	27.71
210	6571716.01	716306.88	3.30	12.30	8.72	24.32
2407	6570372.57	720494.04	4.00	17.00	6.95	27.95
2408	6572070.73	720121.86	11.30	5.40	6.37	23.07
2818	6571950.29	718134.04	13.00	5.40	3.10	21.50
2831	6571416.21	716643.30	7.00	1.50	8.38	16.88
4227	6572256.79	718507.18	14.60	0.00	6.62	21.22
4228	6572293.80	718985.76	8.50	9.00	5.94	23.44
4229	6572302.12	719443.73	10.40	6.30	6.50	23.20
4236	6571624.16	715524.20	4.50	15.00	7.41	26.91
4239	6571736.27	718039.91	8.50	6.30	7.90	22.70
4241	6571785.49	719093.99	13.00	3.60	6.57	23.17
4242	6571830.47	719534.91	13.00	3.30	7.48	23.78
4243	6571856.82	720463.38	11.70	5.70	5.10	22.50
4244	6571895.18	721054.19	7.20	9.70	5.95	22.85
4245	6571892.69	721536.02	6.50	11.10	5.20	22.80
4257	6571158.24	716056.80	4.00	17.40	8.00	29.40
4259	6571233.20	718061.45	9.80	7.80	6.95	24.55
4260	6571288.30	719065.55	12.80	5.00	7.20	25.00
4262	6570450.49	721046.32	9.80	8.25	5.90	23.95
4264	6570604.52	715568.15	7.00	13.80	9.51	30.31
4265	6570691.93	716554.03	5.00	12.90	7.70	25.60

1	2	3	4	5	6	7
4266	6570723.26	717587.98	9.80	7.40	7.95	25.15
4267	6570731.54	718559.81	18.00	0.00	8.10	26.10
4268	6570810.68	719591.41	10.50	7.50	7.64	25.64
4269	6570822.50	720599.81	10.00	9.40	6.60	26.00
4270	6570909.37	721597.47	6.20	10.70	5.59	22.49
4280	6570130.49	715178.34	16.20	8.10	7.40	31.70
4281	6570176.03	716085.10	6.00	16.50	9.93	32.43
4282	6570219.24	717103.77	6.00	13.30	8.67	27.97
4283	6570257.76	718105.20	8.50	11.10	7.00	26.60
4284	6570296.91	719132.66	9.50	11.00	7.75	28.25
4285	6570332.56	720107.33	8.80	10.60	6.69	26.09
4286	6570374.92	721126.02	5.00	14.60	7.01	26.61
4292	6569128.27	716144.08	6.00	20.25	11.60	37.85
4293	6569186.35	717149.03	6.00	19.40	9.68	35.08
4294	6569233.78	718147.10	7.80	12.50	8.37	28.67
4295	6569267.66	719146.39	8.00	14.70	6.90	29.60
4296	6569324.98	720147.69	6.00	14.60	8.05	28.65
4365	6569047.14	721329.27	9.00	15.80	7.90	32.70
4366	6569014.76	721351.60	9.20	14.10	8.35	31.65
4367	6569077.84	721306.43	9.70	17.10	6.35	33.15
4369	6569628.79	720286.41	7.50	12.30	7.94	27.74
4470	6569645.30	720274.63	7.40	12.20	8.04	27.64
4471	6569660.75	720262.35	5.60	14.80	7.28	27.68

Kasutatud materjalid:

1. Kattai, V. 2000. Narva karjäärivälja puuraukude digitaalne andmebaas. Eesti Geoloogiakeskus, EGF 6809. Tallinn.
2. Kattai, V. 2001. Narva karjäärivälja puuraukude digitaalne andmebaas (II ja III etapp). Eesti Geoloogiakeskus, EGF 6999. Tallinn.