

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

Köide 1. Koondaruanne

Sisukord

1. Sissejuhatus	3
2. köide „Geoloogilised, maastikulised ja keskkonnatingimused: virtuaalsete kaevandamispaikade valik“	4
A. Viru veelahkmeala.....	8
Näidis- ja testala 2. Põhja-Pandivere.....	8
Näidis- ja testala 3a. Rägavere lääneosa	10
Näidis- ja testala 3b. Rägavere idaosa.....	11
B. Viru rannikulava	12
Näidis- ja testala 1. Põhja-Toolse.....	12
C. Alutaguse lava	14
Näidisala 4.....	14
3. köide „Virtuaalse kaevanduse ruumiline ja ajaline planeerimine“	15
4. köide “Hüdrogeoloogiline modelleerimine”	16
5. köide „Virumaade mudeli kirjeldus ja kasutusjuhend“	18
6. köide „Geokeemilised tingimused“	20
7. köide „Kaevanduste ja jäätmetekke mõju maastikele katsealadel – parim praktika“	21
8. köide „Leevendusmeetmete valik ja majanduslik hinnang“	24
Kasutatud ja viidatud kirjandus	29

1. Sissejuhatus

Projekti "Virumaa maavarade võimaliku kaevandamise keskkonnamõjud põhja- ja pinnaveele ning maastikule keskkonnageoloogiliste mudelitega analüüsituna koos alternatiivsete leevendusmeetmetega" aruanne koosneb lisaks käesolevale koondile veel seitsmest köitest, mille sisukokkuvõte on siinkohal toodud eraldiseisvate peatükkidena.

Projekti autoriteks köidete kaupa on:

2. köide: V. Puura, K. Kalla, J. Plado ja A. Soesoo

3. köide: P. Sedman ja P. Talviste

4. köide: A. Jõelet ja M. Polikarpus

5. köide: M. Polikarpus

6. köide: A. Marandi, E. Puura ja E. Karro

7. köide: K. Sepp, K. Metsaots ja J. Raet

8. köide: E. Puura ja A. Jõelet

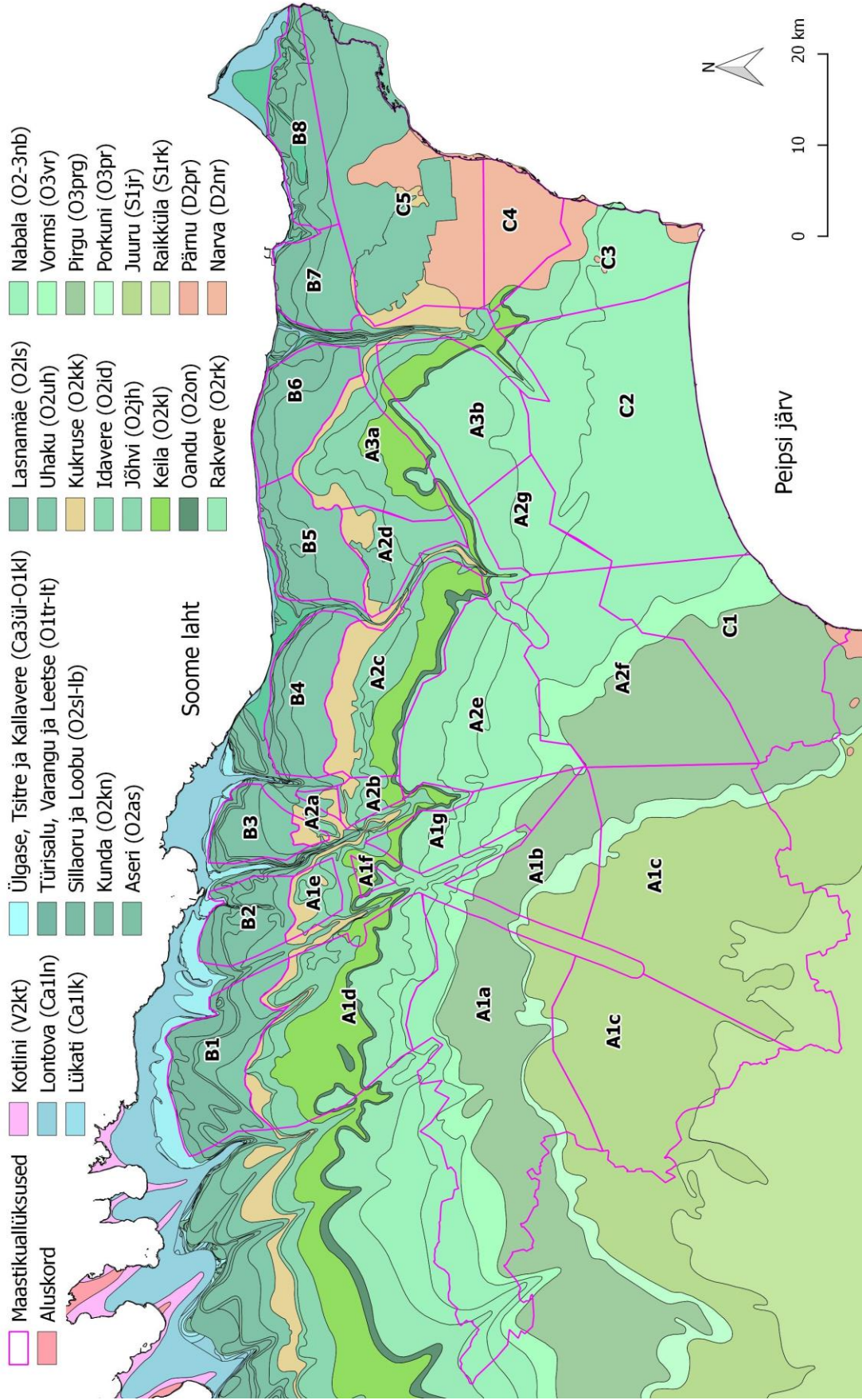
2.köide „Geoloogilised, maastikulised ja keskkonnatingimused: virtuaalsete kaevandamispaikade valik“

Köites 2 analüüsitakse Virumaa kui põlevkivi- ja fosforiidi-levila (-basseini) keskkonnageoloogilist iseloomu, kirjeldatakse maastiku(all)üksuseid ja rajoneerimise aluseid. Rajoneerimiseks analüüsitakse geoloogilisi, kaevandusgeoloogiliste tingimuste ja maavaravarude jaotumise pindalalisi aspekte. Maastikuallüksuste kirjeldamisel arvestatakse ja tõstetakse esile, milline kaevandamise, tööstuse ja asustuse ning keskkonna taastamise/taastamata jätmise mõju looduskeskkonnale on ilmnenud minevikus, ilmneb praegu ja milline on nende eeldatav tulevikumõju loodus-, majandus- ja sotsiaalkeskkonnale. Samuti arvestatakse, missugune võiks olla allüksuste osatähtsus Virumaa kui terviku ökoinnovaatilisel taastamisel.

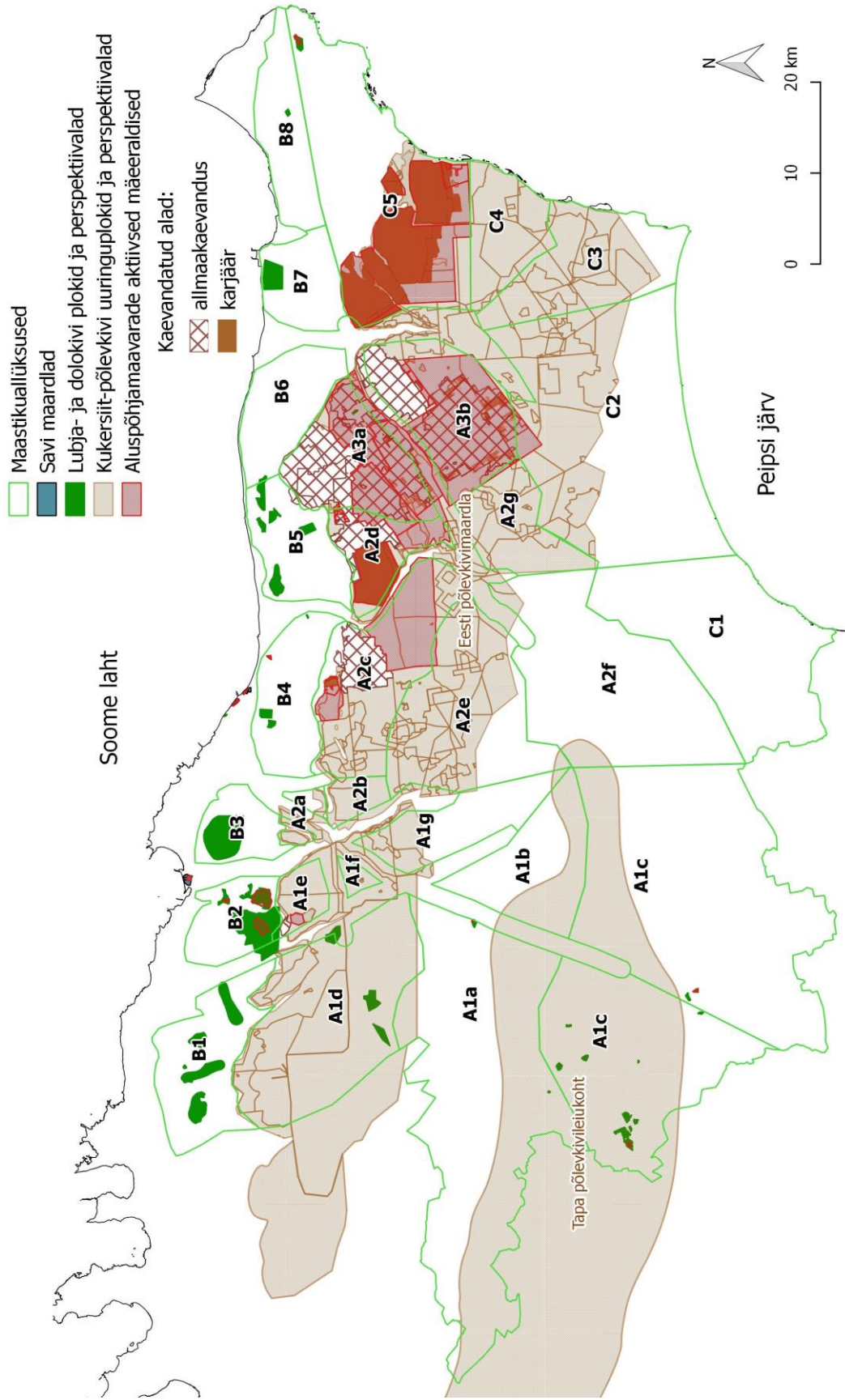
Geoloogiliste, hüdrogeoloogiliste ja maavaraliste kriteeriumite alusel on defineeritud allüksuste erinevusi üksteisest ja sisemist muutlikkust maastikutingimuste poolest. Asendi ja iseloomu poolest sarnased maastikuallüksused grupeeruvad aluspõhja reljeefi suurvormide ja maastikuüksuste piiresse, mis on välja eraldatud pindmise äravoolu (jõgede võrgu) jaotumise ja vesikondade piiride alusel.

Maastikuallüksuste iseloomu ja võrdluse alusel on köite lõpuosas välja eraldatud neli *näidisala* (NA1 kuni NA4), mis sobivad virtuaalsete kaevanduste kirjeldamiseks ja modelleerimiseks. Näidisaladeks on valitud suhteliselt stabiilse geoloogilise ehitusega ning hüdrogeoloogiliste ja mäenduslike tingimustega (paiknevad väljaspool maetud orgude ja tektooniliste rikete vööndeid) segmendid looduslikest maastikuallüksustest. Näidisalades on piisav varu virtuaalse kaevanduse 30-40 aastaseks aktiivsuseks. Näidisalad on valitud illustreerimaks erinevaid maavaralasadundite eksisteerimise näiteid: fosforiit (NA1 ja NA2), põlevkivi ja fosforiidi koosinemine (NA3) ja põlevkivi (NA4). Johtuvalt katendi paksusest ja geoloogilisest ehitusest sobib NA1 avakaevandamiseks ja teised allmaakaevandamiseks. Köites 3 (Sedman ja Talviste 2017) toodud andmete alusel on näidisalade piiresse paigutatud *testalad* (TA), mis on aluseks hüdrogeoloogilisele modelleerimisele.

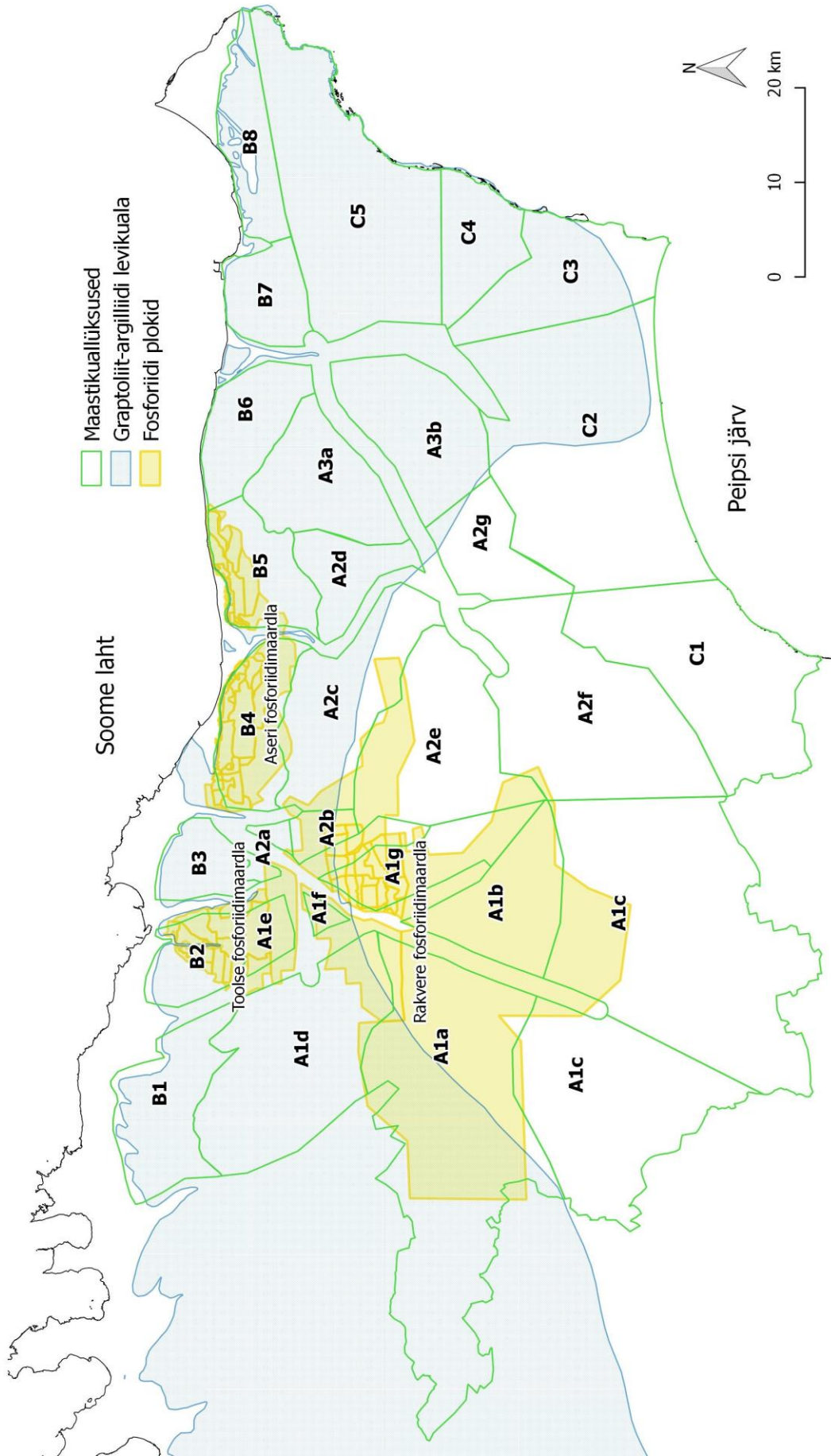
Virumaa maastikuliste erinevuste põhialuseks on ala geoloogiline ajalugu, mis väljendub nüüdisaegses reljeefis. Selle praegune absoluutne kõrgus on hetkeseis viimase jäätumise järgsest, praegugi jätkuvast glatsioisostaatilisest maatõusust. Maastiku suurvormid – Viru veelahkmeala (A) Pandivere kõrgustiku, Ojamaa sadula ja Ahtme kõrgendikuga ning seda lõunast ja kagust ümbritsev Alutaguse lava (C) koos mitmete kohalike ebatasasustega – pärivad oma aluspõhja pinna suhtelised kõrgused Kesk-Devoni-eelselt (umbes 390 milj aasta vanuselt) kontinentaalselt pinnalt, millelt Devoni setetest kate on minema uhutud Kainosoikumis (Puura *et al.* 1999). Viru rannikulava (B) Alam- kuni Kesk-Ordoviitsiumi lubjakivide avamusel on maapind üldiselt põhja suunas kaldu. See on allunud sügavale tunginud erosioonile, mis on seotud praeguse Soome lahe süviku kujunemisega Eel-Neeva ja Eridanose edelasse suunduva jõgede süsteemi tegevusega hilis-Kainosoikumis (Puura *et al.* 1996, Tuuling 2017). Neogeenis alanud mandrijäätumised murrutasid lava pinda veelgi. Sügavalt sisse lõikunud Soome lahte avanevad liustikusetetega täitunud orud



Joonis 1. Maastikuallüksuste asendiskeem Eesti aluspõhja geoloogilise kaardi (andmed mõõtkavas 1:50 000 ja 1:200 000) suhtes.



Joonis 2. Maastikuallüksuste asendiskeem Virumaa aluspõhjamaardlate ja mäeraalide taustal.



Joonis 3. Maastikuallüksuste asendiskeem Virumaa fosforiidiimaardlate ning graptoliit-argilliidi levikuala taustal.

liigendavad lubjakividest rannikulava. Reljeefis väljenduvad ka viimase jäätumise aegsed ning järgsed lokaalsed kuhje- ja kulutusvormid ning kaevandamise poolt kujundatud maastikud oma negatiivsete (kaevandused) ja positiivsete (aherainemäed) pinnavormidega. Erinevatel aegadel ja erinevates erosiooniprotsessides on kujunenud erinevusi reljeefis ja aluspõhja pinnakihtide struktuuris – lõhelisuses ja karstumuses, millel võib olla tähtsus kivimite geotehnilistes omadustes ja kaevandamistingimustes.

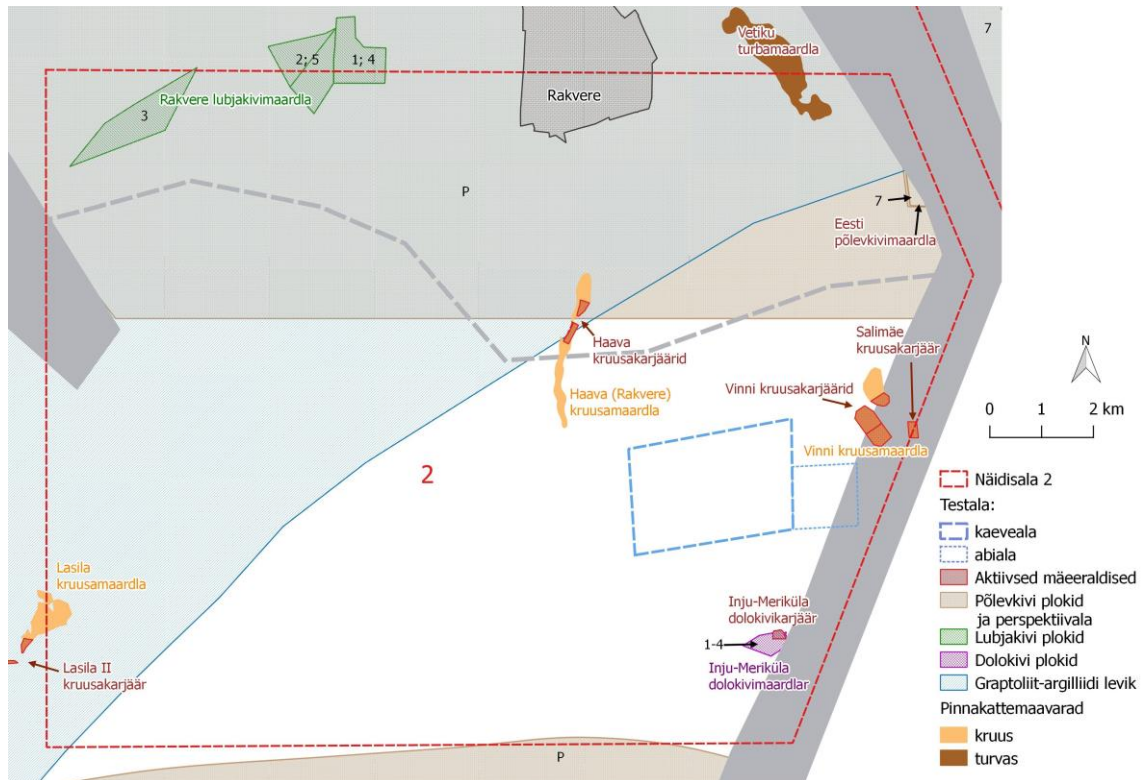
A. Viru veelahkmeala

Viru veelahkmealale (**Joonis 1**) Pandiverest läbi Ojamaa sadula Ahtme kõrgendikuni jääb oluline maht Eesti kukersiidimaardla kesk- ja lääneosas, Tapa kukersiidileiukoha idaosa ning suure Rakvere fosforiidimaardla segmendid, aga ka tehnoloogilise lubjakivi maardlad ja perspektiivalad Edela-Virus (Joonis 2 ja Joonis 3). Viru veelahkmeala piiridelt saavad alguse Viru rannikulava läbivad, Soome lahte suubuvad ning läbi Alutaguse lava Peipsisse ja Narva jõkke suubuvad jõed. Soome lahte avanevad Viru rannikulavasse sügavalt lõikuvate jõeorgude/mattunud orgude suudmed. Selliste allüksusi eraldavate piirstruktuuride tähtsus on suur rannikulava maavaralasadundite leviala liigendamises

Näidis- ja testala 2. Põhja-Pandivere

Näidisala NA-2 paikneb Pandivere kõrgustikul, hõlmates alasid Pandivere võlvi põhjaosas maastikuallükskuse A1a piires ja Pandivere põhjanõlva lõunaosas A1d piires, Rakvere linnast lõunasuunas (Joonis 4). Kolmes suunas on NA-2 piirid siirdelised nii geoloogilise struktuuri, maastike muutuste kui ka fosforiidilasundi muutlikkuse seisukohalt. Ainult ida-kirdepiir kulgeb piki Selja maetud orgu ja ida-kagupiir piki Aseri riket, mis katkestavad kaevandatava fosforiidivaru pidevuse. Pindmine äravool on Soome lahte. Fosforiidi katend pakseneb lõuna suunas 80 meetrist 175 meetrini. Pinnakatte paksus kõigub 1 – 15 m piirides, ulatudes harvades pisivormides 20 meetrini. Näidisalas on dolomiidi ja liiva aktiivseid mäeeraldisi kokku 0,5 ruutkilomeetrit (Joonis 4).

Ligikaudu 30 % näidisala pinnast on kaetud puistutega, mida on mõnevõrra rohkem ala ida- ja lääneosas. Umbes 60 % katab haritav maa, tunduvalt vähem esineb lagealaid. Väga väikseid märgalaid leidub vaid üksikutes kohtades. Asustus ja teedevõrk on väga tihedad. Näidisala piirkonda jääb mitmeid tiheasulaid ning on väga palju üksikuid majapidamisi tiheda teedevõrgustiku ääres. Ala läbivad ka paljud suuremad maanteed. Näidisala põhjapiirile jääb Rakvere linna lõunaosa. Kaitsealused alad moodustavad kogu näidisala pindalast ~10 %. Ala idaosas on Mõdriku-Roela maastikukaitseala (MKA), Kagunurgas Suurekivi looduskaitseala ning edelanurgas Porkuni MKA ja Lasila hoiuala. Lisaks leidub kaitsealuseid mõisa parke ja allikaid. Suuremad vääriselupaigad asuvad näidisala kagu-, edela- ja keskosas.



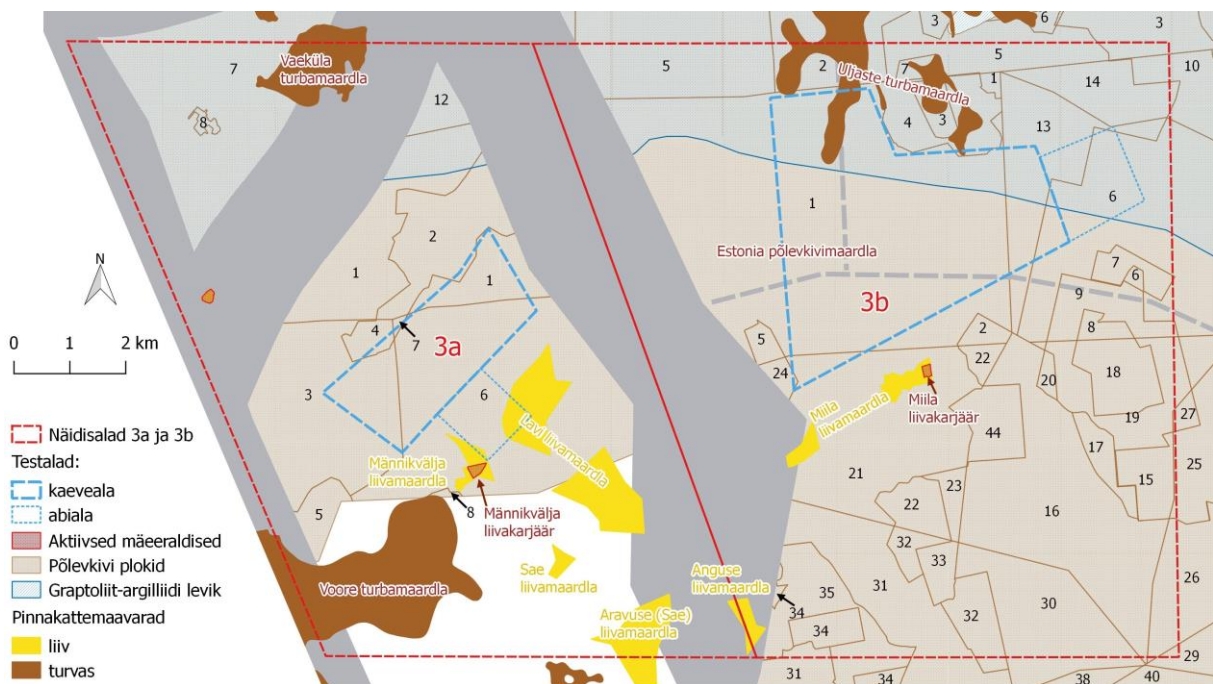
Joonis 4. Maardlad (välja arvatud fosforiit) ja mäeeraldised näidis- ja testala 2 piires.

Näidisala 2 haarab osa Rakvere maardla paksemast ja rikkaimast **fosforiidilasundist** ala kaguosas ja selle vaesemat põhjatiiba. Piirkonda on küll vähe uuritud, kuid perspektiivseid varusid on hinnatud u 1 978 040 tuhandele tonnile, millest P_2O_5 moodustab 177 910 tuhat t. Kihindi sügavus on 80 – 175 m ning keskmine paksus 5,15 m. Näidisalas on tulevikus huviks fosforiidi kaevandamine allmaakaevanduses. Fosforiidilasundi rikkamas osas ei esine katendis graptoliit-argilliiti, kukersiit-põlevkivi ega lubjakivi registreeritud varusid (Joonis 4). Näidisala põhjaosas levib Eesti **kukersiit-põlevkivi** maardla läanetiiva vaene, uurimata lõunaserv. Selle fosforiidi katendisse jääva põlevkivikihi kasutamise võimalused kaugemas tulevikus vajavad eraldi kaalutlemist, kuid hetkel on need perspektiivitud. **Ehituslubjakivi** on registreeritud ~2 ruutkilomeetrit. Ala loodeosas levib **graptoliit-argilliit** paksusega 0,2 - 0,9 m. **Glaukoniit** levib Leetse kihistus, mille keskmine paksus näidisalal on 1,58 m.

Testala 2 pindalaga 8 km² on paigutatud näidisala 2 kesk-idaosasse (Joonis 4). Testala paigutamisel on arvestatud ka keskkonnakaitsepiiranguid. Testala kaeveala pindala on ~6,5 km²; testala juurde kuulub idaservas 1,5 km² suurune abiala. Abiala asub osaliselt piirkonnas kus fosforiidikihi pidevuse katkestab Aseri rike ning kus seetõttu fosforiidi kaevandamine on komplitseeritud. Testalas levib **fosforiit** on uuritud vaid perspektiivvaru tasemel, mille hinnanguline kogus alas on ~65 990 tuhat t (5 810 tuhat t P_2O_5). Testala paikneb kõige rikkamas Rakvere fosforiidimaardla edelaosas, kus keskmine tootlikkus on >2 t/m². Kihindi keskmine paksus on ~4,6 m.

Näidis- ja testala 3a. Rägavere lääneosa

Näidisala 3a pindalaga 87,5 km² paikneb Pandivere kõrgustiku kirdeõlval. Suurema osa näidisalast moodustab maastikuallüksus A1g põhjaosa, loodes osas hõlmab näidisala maastikuallüksust A1f. NA-3a on edelas piiratud Selja maetud oruga, loodes Aseri rikkega ning kirdes Kunda maetud oruga, mis kõik katkestavad fosforiidilasundi pidevuse. Fosforiidil oleva katendi paksus ulatub 75 meetrist 110 meetrini, pinnakatte paksus on valdavalt 2 – 15 m, üksikutes kohtades kuni 20 m. Näidisala piires levib suures osas kukersiit-põlevkivi (välja arvatud lõpunapoolne osa umbes veerandi ulatuses allüksuse pindalast), loodes osas levib õhuke graptoliit-argilliidikiht. Piirkonnas leidub liiva kaevandamiseks aktiivseid mäeeraldisi 0,08 ruutkilomeetrit (Joonis 5).



Joonis 5. Maardlad (välja arvatud fosforiit) ja mäeeraldised näidis- ja testala 3a (Rägavere lääneosa) ja 3b (Rägavere idaosa) piires.

Näidisala pinnast on 55 % kaetud puistutega, millest suuremad massiivid levivad näidisala põhja- ja lõunaosas. Umbes 30% katab haritav maa ning ~10% näidisala pinnast katavad lagealad. Väikseid märgalasid leidub näidisalas vaid üksikutes kohtades. Asustus ja teedevõrk on näidisalas väga tihedad. Ala läbib mitu suuremat maanteed, siia jäävad Vaeküla, Ulvi, Põlula, Lavi jt külad, palju on üksikuid majapidamisi suuremate maanteede ääres ja vahel. Ainult ala kaguosas puudub inimasustus ning puuduvad suuremad teed. Kaitsealused alad moodustavad kogu näidisala pindalast ~15% lisaks looduslikult tundlikule alale, mis on põhjustatud rohketest karstinähtustest tingitud vee kiiremast liikumisest kogu Pandivere kõrgustikul. Suuremad kaitsealad on Võlumäe-Linnamäe MKA näidisala keskosas, lääneosas Mõdriku-Roela MKA, kagunurgas Sirtsli LKA. Lisaks leidub kaitsealuseid parke. Väiksemaid vääriselupaiku leidub kogu näidisala piires.

Näidisala 3a hõlmab osa Rakvere maardla rikkaimast **fosforiidilasundist** maastikuallüksuse A1g põhjaosas. Hinnangulised fosforiidivarud allüksuses on väga suured: 1 116 070 tuhat t, millest P₂O₅ moodustab ~133 320 tuhat t. Näidisala haarab osa Eesti põlevkivimaardla lääneosa lõunaservast (Joonis 5). Ala loodeosas levib **graptoliit-argilliidi** levila õhuke lõunaserv kihindi paksusega 0,05 - 0,3 m. **Glaukoniit**kandva Leetse kihistu keskmine paksus on 1,14 m.

Testala 3a on paigutatud näidisala 3a keskossa lähtudes fosforiidikihi tootlikkusest (>2 t/m²) ning piirangutest (Sedman ja Talviste 2017). Testala pindalaga 7,5 km² koosneb kaevealast (6,1 km²) ja sellest kagusse jäävast abialast (1,5 km²). Katendi kogupaksus testalas on 75 – 100 m. Paksu katendi tõttu on võimalik fosforiidi allmaakaevandamine. Piirkond on uuritud tarbevaru täpsusega ning hinnanguliselt on kaevealasse jääva varu suurus 105 300 tuhat t, millest P₂O₅ moodustab 15 540 tuhat t. Kihindi keskmine paksus on 7,5 m. Kohakuti asuvate fosforiidi ja põlevkivi varude ärakasutamine vajab mõlema maavara ressursi kooskõlastatud altkaevandamist, milleks praegu puuduvad tehnoloogilised lahendused. Seetõttu on lähitulevikus allüksuses kaevandamine ebareaalne.

Näidis- ja testala 3b. Rägavere idaosa

Näidisala 3b pindalaga 103,5 km² paikneb Ojamaa nõo loodeosas. Näidisala hõlmab endas maastikuallüksuse A2b lõunaosa, A2c edelanurga ning A2e loodeosa. NA-3b läänepiir kattub Kunda mattunud oruga, teiste piiride joonestamisel on lähtutud peamiselt fosforiidilasundi uuritusest ja muutlikkusest. Piirkonnas esinevad liiva mäeeraldised kokku 0,03 ruutkilomeetrit (Joonis 5).

Suure osa näidisala pinnast moodustavad puistud (~70%). Sirtsu soo ala kagunurgas on näidisalas levivatest märgaladest suurim, kuid väiksemaid märgalaid asub ka metsasemas kesk- kui põhjaosas. Kokku moodustavad märgalad ~12 % kogu näidisala pindalast. Ala loodeosas asuvad Ulvi ja Kabala külad ning paljud üksikmajapidamised nende läheduses koos neid ühendava teedevõrgustikuga. Asulatest ja teedest sõltuvalt on ka haritavad alad (~10 %) näidisala loodeosas. Hõredama asustusega on ala kirdenurk, ülejäänud piirkonnas asustus küll puudub, kuid metsasemat ala läbivad siiski väiksemad teed. Vääriselupaiku leiab peamiselt näidisala lõunaosas ning kirdenurgas. Umbes 30 % näidisala pinnast on kaitse all.

NA-3b hõlmab osa Rakvere maardla rikkast **fosforiidilasundist**. Hinnangulised fosforiidi varud allüksuses on 769 900 tuhat t, millest P₂O₅ moodustab ~77 530 tuhat t. Kihindi keskmine paksus on 5,9 m. Fosforiidi katendi paksus ulatub 60 meetrist 90 meetrini, pinnakatte paksus on alla 25 m. Näidisalasse 3b ulatub Eesti **põlevkivimaardla** lääne-keskosa (Joonis 5) **Graptoliit-argilliidikihi** õhuke lõunaserv levib näidisala põhjaosas.

Testala 3b asub näidisala põhjapoolses osas. Testala kaeveala on 16,8 km² suurune, sellest idasse jääva abiala pindala on 2,2 km². Fosforiidil oleva katendi paksus ulatub 60 meetrist 90 meetrini, pinnakatte paksus on 5 – 6 m. Kogu testala ulatuses levib kukersiit-põlevkivi, ala põhjaosas levib õhuke graptoliit-argilliidikihi lõunaserv. **Fosforiidilasund** on uuritud perspektiivvaru tasemel. Hinnangulised varud on 161 700 tuhat t, millest P₂O₅ moodustab on ~14 230 tuhat t. Fosforiidikihi paksus on 4,6 m ning produktiivsus kaevealal 0,5 – 2 t/m². Eesti **põlevkivimaardla** varu testalas on ~50 290 tuhat t. Põlevkivikihi paksus testalas on

1,73 - 1,89 m. Kohakuti asuvate fosforiidi ja põlevkivi varude ärakasutamine vajab mõlema maavara ressursi kooskõlastatud altkaevandamist, milleks praegu puuduvad tehnoloogilised lahendused. Seetõttu on lähitulevikus allüksuses kaevandamine ebareaalne. **Graptoliit-argilliidikihi** õhuke lõunaserv levib testala põhjaosas 4,7 ruutkilomeetrit. Leetse kihistu keskmine paksus on 1,97 m.

B. Viru rannikulava

Viru rannikulava on enamasti tasane, läänes absoluutkõrgusel 65 m, idas 25 m kõrgune pikk ja kitsas lava, mida lõigustavad lõuna-põhja-suunalised jõeorud ja maetud orud. Rannikuplatoo allüksuste põhjapiir kulgeb paekaldas, lõunapiir aga veelahkmeala jalamil, kus kulgeb Kukruse lademe avamus. Kitsa rannikulava pind on lõunaosas kohati nõgus, mis avaldub veelahkmeala jalamiga paralleelsete lääne-idasuunaliste jõgede/ojade näol. Rannikulava pinnal avanevad Kesk-Ordoviitsiumi Kunda kuni Uhaku lademete lubjakivid (**Joonis 1**). Pinnakate on enamasti õhuke, esineb alvareid.

Viru rannikulaval paiknevad Toolse ja Aseri fosforiidimaardlad ja Rakvere fosforiidimaardla kirdeosa (Joonis 3), samuti Eesti kukersiidimaardla lääneosa põhjapoolne segment (Joonis 2). Viru rannikulaval on oluline maht globaalselt problemaatilisest musta kilt (diktüoneema-kilt ehk graptoliit-argilliit, Joonis 3). Siin paikneb hüljatud Sillamäe uraanimaagi (graptoliit-argilliit) kaevandus ja uuringuväli. Siin esineb lubjakivileiukohti, sh Kunda tsemendilubjakivi maardla.

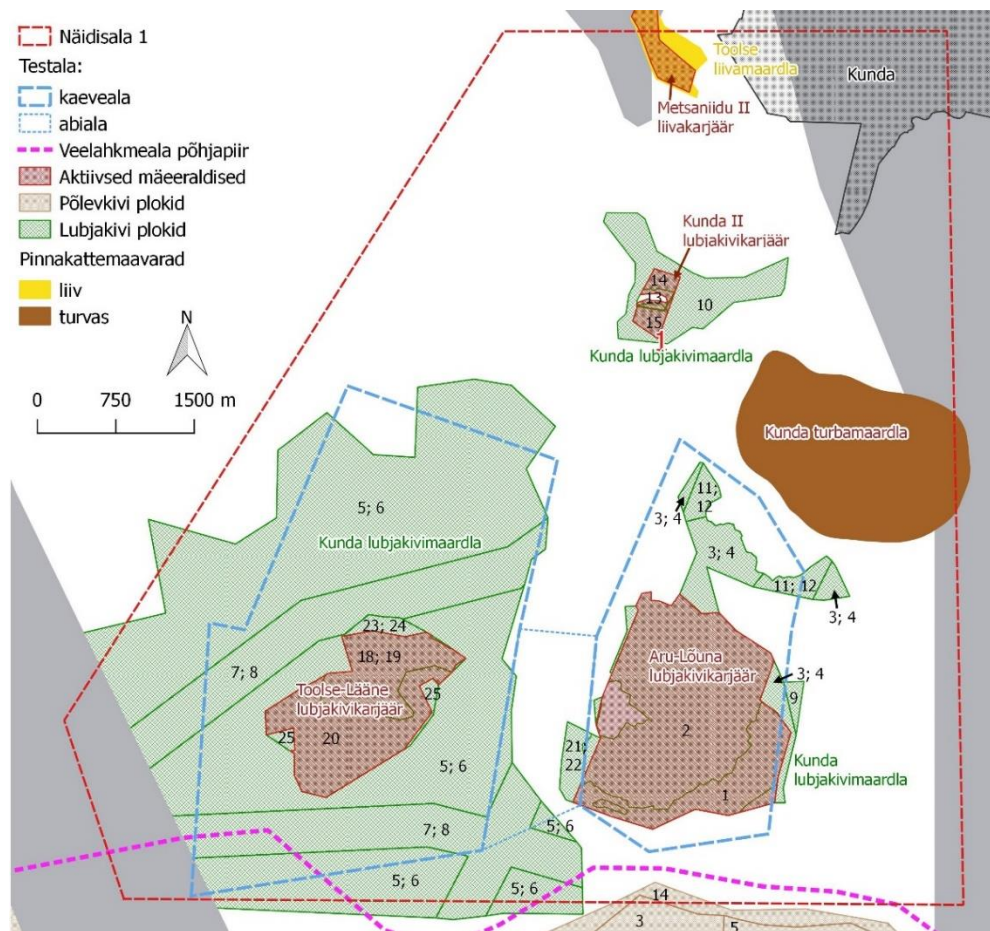
Näidis- ja testala 1. Põhja-Toolse

Näidisala NA-1 (56,4 km²) fosforiidi tarbevaruga 240 420 tuhat t paigutub valdavas osas Viru rannikulavale maastikuallüksuse B2 (Toolse) piiresse hõlmates üksuse ida- ja lõunapoolse. NA-1 paikneb Kunda linnast edelas (Joonis 6). Tema põhjapiiriks on Põhja-Eesti klindi astang, loodepiiriks Toolse maardla fosforiidivaru plokkide loodepiir, idapiiriks Kunda jõe maetud org ning lõunapiiriks Pandivere kõrgustiku jalam Ülem-Ordoviitsiumi Kukruse lademe lamami avamuspiiril. Fosforiidil lasuva katendi kogupaksus kasvab suhteliselt laugelt põhjast lõunasse olles näidisala põhjaosas ~10 m ning lõunaservas ~40 m. Näidisala katab Toolse fosforiidimaardla põhjaosa nendes piirides, kus katendis kukersiit-põlevkivi valdavalt ei esine. Pääegu pool näidisala pinnast on kaetud puistutega, teine pool on haritav maa või lageala. Viimase alla kuuluvad ka Kunda Aru-Lõuna lubjakivikarjääri alad (Joonis 6). Märgalasid on <1% pindalast. Asustus ja teedevõrk on näidisalas suhteliselt tihedad. NA-1 piirkonda jääb mitmeid asulaid ning ala läbib mitu suuremat maanteed ning mitmeid väiksemaid teid, mille läheduses on väiksemaid asulaid ja üksikuid majapidamisi. Märkimisväärsed kaitsealad näidisalas puuduvad.

Näidisala 1 lõunaossa 17,3 km² suurusele alale on paigutatud testala ehk virtuaalne kaevandus (Joonis 6). Testala asukoha valikul on arvestatud nii fosforiidi tootlikkust kui ka Kuna Aru-Lõuna lubjakivikarjääri ja olemasolevate mäeeraldiste paiknemist ning keskkonnakaitsepiiranguid. Testala koosneb kahest eraldiseisvast osast, mis mõlemad kattuvad osaliselt Kunda lubjakivimaardlaga (Joonis 6). Üks osa asub Toolse jõest idas Kuna Aru lubjakivikarjääri ümbruses, hõlmates ~11,4 km² suuruse ala. Teine osa on Toolse jõest läänes ning ümbritseb Toolse-Lääne lubjakivi aktiivset mäeeraldist (~5,9 km²). Kahe kaeveala

vahele on paigutatud ~1,5 km² suurune abiala. Osade geotehniline analüüs (Sedman ja Talviste 2017) on esitatud tervikuna, kuna geoloogilised tingimused on mõlemal osal sarnased. Testala piires katavad maapinda umbes poole ulatuses puistud, palju on lagealaid. Viimase hulka kuulub ka kaevandamisjärgus olev Aru-Lõuna lubjakivikarjäär (Joonis 6). Asustus ja teedevõrk, sellest lähtuvalt ka haritavad alad, asuvad suuremalt jaolt testala läänepoolses osas. Teealaid ja majapidamisi on testalas suhteliselt hõredalt. Idapoolne osa testalast kattub suurelt osalt aktiivse mäeeraldise ja sellest põhjapool juba kaevandatud alaga, mistõttu on selles piirkonnas peamised tööstustootmisalad ja –teed. Märkimisväärsed kaitsealad testalas puuduvad.

Testala piires avanevad Kesk-Ordoviitsiumi Lasnamäe ja Uhaku lademed. Fosforiidil oleva katendi paksus on 25 – 40 m. Pinnakatte paksus on 1 – 2 m, läänepoolsema osa kagunurgas Toolse jõe orus ulatub kuni 5 meetrini. Fosforiiti on võimalik kaevandada karjääriviisiliselt või teatud kaevandustehnoloogiliste tingimuste korral ka allmaakaevanduses (Sedman ja Talviste 2017). Ligikaudne fosforiidikihi sügavus on 25 – 35 m, plokkide keskmised paksused on vahemikus 1,6 - 3,4 m. Testala fosforiidivaru on ~101 030 tuhat t, mis sisaldab 10 080 tuhat t P₂O₅. Kogu piirkond on uuritud tarbevaru täpsusega ning määratud suhteliselt rikkana (0,2 - 1 tonni fosforiiti m² kohta). Testalaga kattub **Kunda lubjakivi** maardla.



Joonis 6. Maardlad (välja arvatud fosforiit) ja mäeeraldised näidis- ja testala 1 piires.

C. Alutaguse lava

Alutaguse lava laiub Pandivere kõrgustiku lõuna-osast ida suunas, Peipsi järve ja Narva jõe lõuna- ja idasuunaliste vooludega vesikonnas. Alal on Ülem-Ordoviitsiumi lubjakivide avamusel tavaliselt kuni 15 m paksune pinnakate, sageli soostunud tasandikud (kirjeldatud osana Peipsi madalikust; Haberman jt. 2008), mis piiravad Viru veelahkmeala kõrgendikke ja nõgusid. Üldjoontes tasane lava langeb 70 m ü.m.p. tasemelt läänes 31 m tasemele Peipsi ääres ja 25 m tasemele kirde-nurgas.

Geoloogilises ehituses on olulisteks erisusteks:

- Viivikonna rike, mis lõikub C5 allüksuse põhjaserva Viivikonna-Kuremäe joonel,
- Pühajõe-Vasavere maetud org Kurtna mõhnastikuga, mis eraldab allüksust C5 Ahtme kõrgendikust (A3) ning
- Kesk-Devoni Narva lademe erosioonijäänuki avamusala põlevkivi katendis Narva jõe läänekaldal.

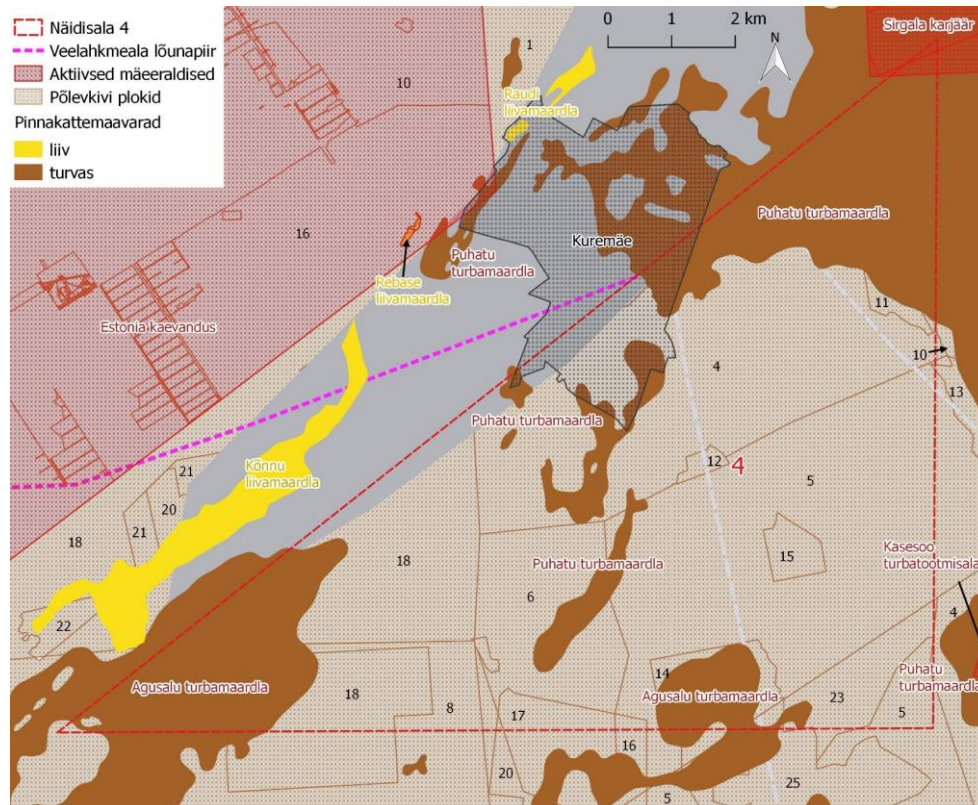
Alutaguse lava keskossa ulatub Eesti kukersiidimaardla keskosa suhteliselt vaene lõunaserv ja idaossa kogu Eesti põlevkivimaardla idaosa (Joonis 2).

Näidisala 4.

Kolmnurkne näidisala 4 (Joonis 7) pindalaga 75,3 km² paikneb Alutaguse laval asudes valdavalt maastikuallüksuste C2 ja C3 piires. Näidisala kirdenurk ulatub vähesel määral maastikuallüksustele C4 ja C5. NA-4 ida- ja lõunapiir on siirdelised, loodepiir on suures osas piiratud Pühajõe oru ja Kurtna mõhnastikuga. Pinnakatte paksus on <20 m.

Suurem osa (~80 %) näidisala pinnast on kaetud puistutega. Märgalad ja haritav maa moodustavad kokku ~15 % näidisalast. Suuremad märgalad asuvad näidisala kirdeosas, kuhu ulatub Puhatu soo loodeosa, ning lõunaserval, kus on Riiska soo ning Kamarna soo osad. Asustus ja teedevõrk on näidisalas suhteliselt hõredad. Suurematest teedest läbib ala vaid loode-kagu suunas Jõhvi-Vasknarva tugimaantee, mille loodepoolses otsas asub Illuka vald suurema asustustihedusega ning mille ümber on koondunud ka näidisalasse jäävad haritavad alad. Ülejäänud alas leidub üksikuid majapidimisi, mis asuvad Illuka valla ümbruses ala loodepoolse piiri lähedal. Ala metsasemas osas on väikemaid teid. Kaitsealused alad moodustavad kogu näidisala pindalast umbes veerandi. Need paiknevad ala ida- ja lõunapiiri ääres – Puhatu LKA ala kirdenurgas ning Agusalu LKA ala lõunaservas. Väikseid vääriselupaiku leidub edela- ja idaosas, üksikud enist kattuvad suuremate kaitsealadega.

Näidisalas 4 on huviobjektiks allmaa-kaevandata **kukersiit-põlevkivi**, kuid leidub ka graptoliit-argilliiti ning Leetse kihistu glauconiiti (Joonis 7). Näidisala haarab tüki Eesti põlevkivimaardla idaosast ning kattub osaliselt planeeritava Estonia II põlevkivikaevandusega. Ala põlevkivivaru on u 234 720 tuhat t, kasuliku kihindi paksus vahemikus 1,73 kuni 2,19 m. **Graptoliit-argilliit** levib näidisala kogu ulatuses, kihindi paksus on 0,05 - 0,7 m. Leetse kihistu keskmine paksus on 0,83 m.



Joonis 7. Maardlad näidisala 4 piires.

3. köide „Virtuaalse kaevanduse ruumiline ja ajaline planeerimine“

Virtuaalse kaevanduse ruumilise ja ajalise planeerimise raames (Sedman ja Talviste 2017) valiti igal näidiselal perspektiivne kaevandusala (testala) ehk “virtuaalne kaevandus”. Näidiselade 1-3 puhul loeti kasulikuks kihiks fosforiit, mis oli aluseks testalade planeerimisel. Näidiselal nr 4 on kasulikuks kihiks põlevkivi ning selle kaevanduse puhul lähtuti Eesti Energia AS edastatud teabest.

Aruandes esitatakse andmed iga virtuaalse kaevanduse kohta kaevanduse ja abiala mõõtmete, kaevandavate kihtide mäendusliku iseloomustuse, kaevanduse rajamise ja kaevandustegevuse ajalise mahu, esitatud maavarade keskmise aastatoodangu ja tekkivate jäätmete kohta. Antakse ülevaade kaevandamise viiside ja tehnoloogiliste lahenduste kohta, hinnatakse kaevanduse võimalikke keskkonnamõjusid ning analüüsitakse võimalikke leevendusmeetmeid.

Virtuaalsete fosforiidikaevanduste suurus (pindala) määrati selliselt, et kaevandamine kestaks vähemalt 30 aastat ja aastatoodanguks oleks 1 milj. tonni kontsentraati P_2O_5 sisalduse 31 % juures. Allmaakaevandamise kaona arvestati 30 %. Saadud pindala järgi hakati kaevandusalasid sobitama näidiseladele võimalikult suure tootlikkusega piirkonda. Seejuures arvestati looduskaitsetisi piiranguid ja maastikuallüksuste skeemi. Rahuldava asukoha leidmisel täpsustati uuesti kaevanduse pindala vastavalt konkreetsele tootlikkusele kaevanduse piirkonnas. Kaevanduse abiala suuruseks hinnati umbes 1.5 km² ning abiala

paigutati kaevanduse kõrvale väiksema tootlikkusega piirkonda või alale, kus maavara tõenäoliselt puudub. Kaevandamise käigus tekkiva aheraine maht arvutati lähtuvalt kavandatud aastatoodangust ja P_2O_5 sisaldusest maagis ja kontsentraadis.

Virtuaalsete kaevanduste, kaevandamiseks püsivalt või ajutiselt maa alla rajatud avauste mõju hindamiseks ümbritsevale kivimmassiivile, geotehnilised arvutused tehti lõplike elementide meetodil. Analüüsi ümber maa-aluste kaeveõõnte toimuvaid pingemuutusi ja vastavaid deformatsioone 2-dimensionaalsel lõikel näidisalade kaupa vastavalt nende geoloogilisele ehitusele. Kivimassiivi deformatsioone ja purunemist vaadeldi mudelis 6 staadiumina:

- algne olukord ilma kaeveõõnteta;
- 8 m kõrgune (fosforiidilasundi paksus) ja 10 m laiune kaeveõõs tootvas kihis;
- kaks 8 m kõrgust ja 10 m laiust kaeveõõnt sama suure tervikuga nende vahel;
- kolm 8 m kõrgust ja 10 m laiust kaeveõõnt sama suurte tervikutega nende vahel;
- ühe terviku eemaldamine (moodustub 30 m laiune kaeveõõs);
- mõlema terviku eemaldamine (moodustub 50 m laiune kaeveõõs).

Kuuest staadiumist koosnevad arvutused tehti virtuaalsetele kaevandustele 1...3. Kuna virtuaalsed kaevandused asuvad erinevas sügavuses, saab tulemuste põhjal võrrelda ja analüüsida erinevusi, mis tulenevad kaevandamissügavuse muutumisest juhul, kui kaeveõõnsuse mõõtmed ei muutu. Mudeli väljundi abil otsustati, mis hetkel (staadiumis) muutuvad deformatsioonid lineaarsest mittelineaarseks ehk purunemise järgseks, kui suured on lineaarsed deformatsioonid enne purunemist, kus moodustuvad kaeveõõnsuse ümber nihkepingete tõttu purunenud tsoonid ning kuidas areneb vastavalt kaeveõõnsuse laiuse suurenemisega lae purunemine tõmbepingete tagajärjel. Hinnati lae toestamiseks jäetud tervikute püsivust ja purunenud kivimmassi ulatust (kõrgust) kaeveõõnsuse kohal pärast lae varisemist. Geotehnilise analüüsi tulemuste alusel hinnati erinevate kaevandamisviiside kasutusvõimalusi. Keskkonnamõju kirjeldati eeskätt geoloogilisest-geotehnilisest aspektist.

4. köide “Hüdrogeoloogiline modelleerimine”

Köites 4 kasutatakse Virumaa hüdrogeoloogilist mudelit, et kirjeldada regionaalset põhjavee voolamist Pandivere kõrgustikul, hinnata kolmel näidisalal paikneva viie virtuaalse fosforiidi kaevanduse ja ühe virtuaalse põlevkivi kaevandusega kaasnevat mõju pinna- ja põhjaveele.

Põhjavee loodusliku veevahetuse uurimiseks kasutati mudeli versiooni, kust eemaldati tarbekaevud ja kaevandused, lisati veekihti markerid, mis võimaldavad vee liikumisteede jälgida, ning arvutati põhjavee voolamist 5000 aasta jooksul. Modelleeritud vee voolamine on kooskõlas seniste arusaamadega põhjavee voolamisest. Lokaalse ja kiire veevahetuse vööndi moodustavad Pandivere kõrgustikul pinnakatte, Siluri, Pirgu-Porkuni ja Nabala-Rakvere veekihid.

Pandivere kõrgustikul moodustavad Keila-Kukruse, Lasnamäe-Kunda ja Ordoviitsiumi-Kambriumi veekihid mõõduka veevahetuse vööndi. Survetasemed nendes veekihtides jäljendavad kõrgustiku reljeefi ja näitavad seoseid lasuvate veekihtidega, kuid vooludistantsid 5000 aasta jooksul on mõõdetavad kilomeetrites. Oandu, Uhaku ja Alam-Ordoviitsium on suhtelised veepidemed, mis lasevad vett läbi, kuid aeglaselt ja väikeses koguses. Veekihtidesse filtreeruv vesi liigub lateraalselt aeglaselt, kuna veekihtide veejuhtivus on suhteliselt väike. Isotoopuuringud kinnitavad, et nendes veekihtides domineerib mandriliustiku sulavesi, mis jääajal veekihtidesse tungis.

Geoloogilise rajoneerimise ja kaevanduste ajalis-ruumilise planeerimise tulemusena välja eraldatud testaladel modelleeriti kaevandamisest tulenevat mõju põhjaveerežiimile. Fosforiidi kaevandamisega kaasneda võivaid mõjusid uuriti kolmel näidisalal viie alammudeliga. Virtuaalsetele fosforiidikaevandustele on iseloomulik Ordoviitsiumi-Kambriumi ja Lasnamäe-Kunda veekihtides kiirelt arenev survetaseme alanemine, mis võib ulatuda enam kui 50 km kaugusele kaevealast. Alanduslehter levib kaugemale, sest kui vee voolamine läbi veepidemete on aeglane, siis kasvab lehter seni, kuni katvatest kihtidest üle suure pindala veekihti filtreeruva põhjavee hulk ja kaevandusest välja pumbatav veehulk saavutavad tasakaalu.

Lasuvate veepidemete isoleerimisvõime säilitamisel (näiteks kaevanduse tagasitäitmise tulemusena) ei moodustu Uhaku veepidemest kõrgemal olulisi alanduslehtreid. Tundlikkuse analüüs näitab, et kaevandusse sisselekkiva vee hulk kasvab oluliselt ja moodustuvad alanduslehtrid ülemistes veekihtides, kui lasuvate veekihtide vertikaalne veejuhtivus kasvab 100–1000 korda (näiteks lõhenemise kasv, tehnoarajatiste lekkimine, kaevanduse lae langetamine). Modelleerimistulemuste määramatuse vähendamiseks on vaja täpsustada mattunud orgude (Kunda, Toolse) ja tektooniliste rikkevööndite (nt. Aseri) ehitust ja hüdrauilisi parameetreid.

Mõju jõgede vooluhulkadele avaldub lagede purunemise korral kaevandusalade läheduses (nagu ka alanduslehtrid pindmistes veekihtides), kuid kaevandusest välja pumbatava vee juhtimine jõgedesse suurendab vooluhulkasid.

Ühe meetmena O-Ca veekihis moodustuva alanduslehtri leviku vähendamiseks testiti kaevanduse ümbritsemist kahe puurkaevude ringiga, millest sisemise ringi kaevudega pumbatav vesi juhitakse vahepeal õhutamata tagasi välimise ringi puurkaevude kaudu. Selle leevendusmeetmega saab vähendada kaevandusse voolava vee hulka ja samas vähendada survetaseme alanemist 5–20 km kaugusel kaevandusest.

Virtuaalne põlevkivikaevandus Alutaguse vallas (osaliselt kattub AS Enefit Kaevandused poolt kavandatava Estonia 2 kaevandusega) toob esile piirkonna hüdrogeoloogiliste tingimuste keerukuse. Piiratud alal erinevad veetasemete alandused oluliselt sõltudes veekihtide ja -pidemete levikust, rikkevööndite esinemisest ja pinnakatte tüüpide levikust. Testalale ja selle lähedusse jäävad mitmed kaitsealused objektid (näiteks Puhatu ja Agusalu looduskaitsealad, Jõuga järved), mille puhul meetritesse ulatuv veetaseme alanemine pindmises põhjaveekihis võib neid oluliselt mõjutada. Mõjude täpsem hindamine eeldab detailset lähenemist igale objektile eraldi. Mõju märgaladele sõltub paljuski vettpidavate

aluspinnaste esinemisest või hästi lagunenud ja madala veejuhtivusega turbapinnaste olemasolust.

Põlevkivi kaevandused on pindalalt suured ja kaevanduse kogu ulatuses kuivana hoidmine tähendab suurte veemahtude väljapumpamist ja nende pealt vee erikasutustasu maksmist. Kaevanduse osade kaupa sulgemine võimaldab oluliselt vähendada välja pumbatava vee hulka ja leevendada keskkonnamõjusid. Mudelis jaotati kaeveala plokkideks ja lõpetati osades plokkides drenimine. Testalal tuleb üle 50% sissevoolavast veest kaeveala kirdeosast (40% pindalast). Kaevanduse ühe osa sulgemisel suureneb mõnevõrra põhjavee sissevool suletud osa läheduses, aga summaarne mõju on suur. Kaevanduse jaotamine väiksemateks teineteisest hüdrauliliselt eraldatud osadeks on oluline ka keskkonnamõjude vähendamise seisukohalt nii kaevandamise ajal kui ka pärast kaevanduse sulgemist. Isoleeritud osad võimaldavad põhjavee tasemel kerkida erinevale tasemele. Olemasolevate kaevanduste probleemiks on see, et kaevanduskäikude veega täitumisel tekib maa-alla veekogu, mille toitumine ühes otsas avaldub ka teise otsa survetasemes, mis viib kaevanduse kohal asuvate madalamate piirkondade liigvee probleemideni. Praktikas on see lahendatud kaevandustesse ülevoolu puurkaevude rajamisega. Selliselt reguleeritud veetase on sageli suurel osal kaevandusest madalam kui eelnev looduslik veetase. Tulemuseks on kiirem sademete infiltratsioon ja oksüdatiivsete tingimuste esinemine aluspõhja kivimites, kus endiselt esineb hajusalt püriiti. See tähendab sulfaatse põhjavee pikemat esinemist.

5. köide „Virumaade mudeli kirjeldus ja kasutusjuhend“

Köide 5 kirjeldab Virumaade hüdrogeoloogilist mudelit, mille eesmärgiks on kirjeldada Ida- ja Lääne-Virumaal hüdrogeoloogilisi tingimusi ning hinnata veetarbimise ja kaevandamise mõju põhjaveele. Loodud mudeli mõõtmed on 160 × 200 km, kattes neljandiku Eesti maismaast ning hõlmetes ka osaliselt Leningradi oblastit (Joonis 8).



Joonis 8. Mudeliala (aluskaart Maa-amet 2018).

Mudelis on kirjeldatud 20 kihti:

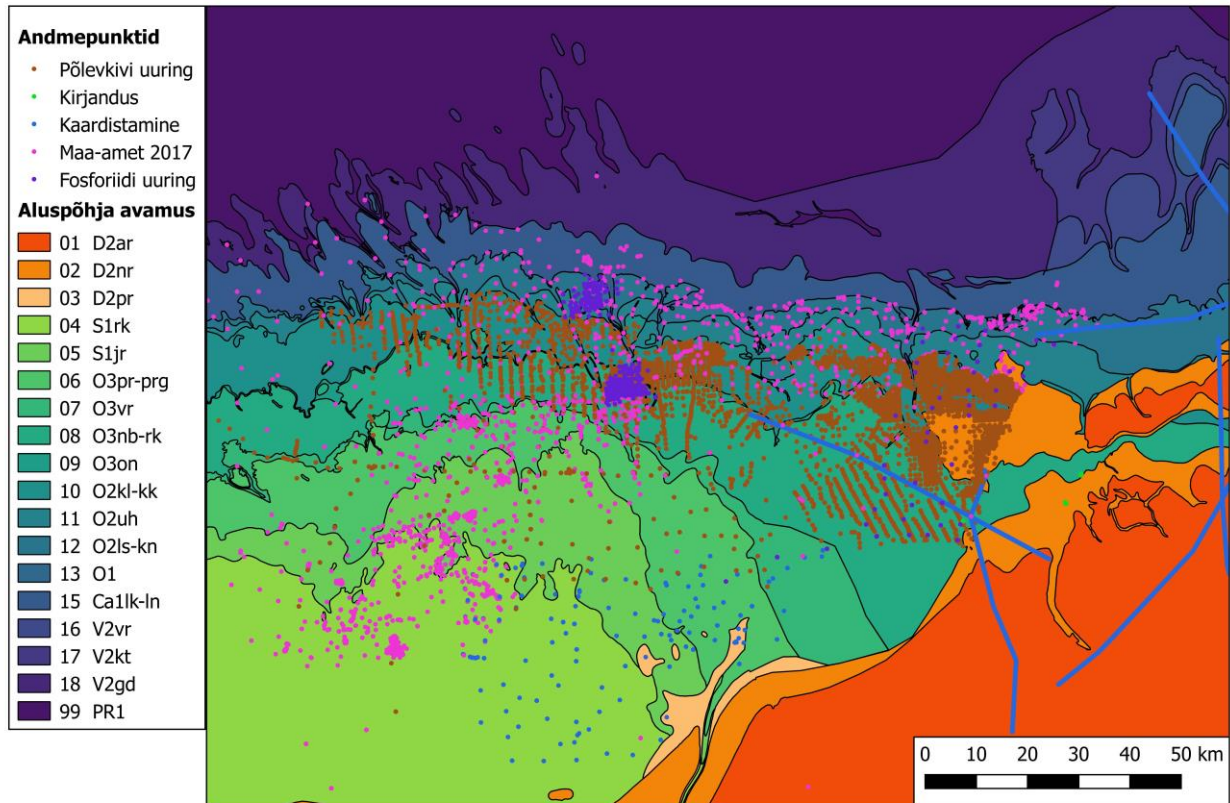
- Kvaternaari veekiht (Q),
- Aruküla veekiht (D2ar),
- Narva veepide (D2nr),
- Pärnu veekiht (D2pr),
- Raikküla veekiht (S1rk),
- Juuru veepide (S1jr),
- Pirgu-Porkuni veekiht (O3pr-prg),
- Vormsi veepide (O3vr),
- Nabala-Rakvere veekiht (O3nb-rk),
- Oandu veepide (O3on),
- Keila-Kukruse veekiht (O2kl-kk),
- Kukruse põlevkivikiht,
- Uhaku veepide (O2uh),
- Lasnamäe-Kunda veekiht (O2ln-kn),
- Alam-Ordoviitsiumi veepide (O1),
- Ordoviitsiumi-Kambriumi veekiht (O-Ca),
- Lükati-Lontova regionaalne veepide (Ca1lk-ln),
- Voronka veekiht (V2vr),
- Kotlini veepide (V2kt) ja
- Gdovi veekiht (V2gd).

Mudeli kihipindade interpoleerimiseks kasutati Maa-ameti puuraukude andmebaasi, Eesti Energia poolt digitaliseeritud põlevkiviüuringu aruannete andmeid ning käesoleva töö käigus digitaliseeritud 9 fosforiidi ja põlevkiviüuringu aruande andmeid (Joonis 9).

Mudeli on koostatud USGS poolt väljatöötatud vabavaraga **ModelMuse** (Winston, 2009), mis mudelarvutuste tegemiseks kasutab samuti USGS poolt arendatud programmi **MODFLOW-2005** (Harbaugh, 2005).

Kogu mudeliala on jagatud $200\text{ m} \times 200\text{ m}$ suurusteks ruutudeks; st mudeli võrgusamm on 200 m. Kogu mudel koosneb 16 miljonist risttahukast ehk rakust, mille mõõtmed on $200\text{ m} \times 200\text{ m} \times h\text{ m}$ (h = kihi paksus).

Mudelis on erinevate rajatingimustena kirjeldatud veekogud, kaevandused ning tarbekaevud. Mudel on aegsõltuv, mudeli ajasamm on 1 aasta. Mudeli simulatsiooni algusaeg on 1954. a. Mudelisse on viidud O-Ca ja Ca-V veekomplekside tarbekaevud, mille aastakeskmised veevõtuandmed pärinevad ajavahemikust 1954-2016. Mudeli elektroonilise lisana on kaasas ka ülemiste põhjaveekihtide tarbekaevud ning veetasemeseiire andmed aastatest 1965-2015.



Joonis 9. Mudeli kihtide avamused ning aluspõhja kihtide loomiseks kasutatud punktandmestik.

Köites 5 antakse lühiülevaade mudeli algandmetest, mis on ära toodud aruande elektroonilise lisas ning näpunäiteid, kuidas seire ja tarbekaevete mudelisse lisada ning mida mudeli kasutamise ja täiendamise juures tähele panna.

6. köide „Geokeemilised tingimused“

Köites 6 selgitatakse näitlikult geokeemilise modelleerimise põhimõtteid ning antakse ülevaade maavarade kaevandamisega seotud ühele tähtsamale reaktsioonile – püriidi oksüdeerumine ja sellega seotud problemaatikale. Püriit esineb esineb kivimites sageli hajusana. Püriidi oksüdeerumiseks on oluline hapniku ja vee samaaegne olemasolu ning tulemusena tekkivad happelised kaevandusveed.

Töös analüüsitakse Virumaal kaevandamisega seotud hüdrogeokeemilistes tüüpsituatsioonides toimuvaid reaktsioone ja nende saadusi. Vaadeldakse (i) püriidi oksüdeerumisega kaasnevat kukersiidi kaevanustegevuse käigus, (ii) kaevanduskäikudes ja (iii) aheraine kuhjades, (iv) fosforiidi leostumist tüüpilise O-Ca põhjaveega, (v) püriidi oksüdeerumist ja leostumist diktüoneema argilliidist, ja (vi) kaevanduse tagasitõitega seonduvaid reaktsioone. Analüüsitakse virtuaalsete kaevanduste mõju põhjaveekeemiale testalade kaupa.

Töös tõdetakse, et tänapäeval kasutusel olevate kaevandamistehnoloogiate juures on sisuliselt võimatu ära hoida püriidi oksüdeerumist kaevanduskäikudes. Seetõttu ei saa pidada reaalseks rajada uusi kukersiitpõlevkivi kaevandusi nii, et kukersiidis olev püriit ei oksüdeeruks, välja arvatud robotiseeritud kaevandamisel allpool põhjavee taset koos kohese tagasitäitmisega, mille tulemusena on välditav ka depressioonilehtrite teke.

Fosforiidi võimalikul kaevandamisel on samuti probleemiks püriidi oksüdeerumine ning ülitähtis on juhul, kui fosforiidi lasumis on graptoliitargilliit, avakaevanduse korral selle kiire isoleerimine atmosfääritingimustest ning allmaakaevanduse korral protsesside ulatuse mitmeaastane uurimine katsekaevanduse rajamise teel.

Allmaakaevanduste tagasitäitmine näiteks põlevkivituha baasil loodud betoonsegudega või aherainega on reaalne võimalus vähendamaks kaevanduse mõju põhjaveele, samuti ohutuse, maapinna deformatsioonide ning maavara kaevandamisel tekkivate kadude vähendamiseks.

Geokeemiline modelleerimine näitas, et põlevkivituhka koos täiteainega (nt aheraine) on võimalik kasutada kaevanduste tagasitäitmiseks ning sõltuvalt konkreetsest tuhast on võimalik hüdrogeokeemilise modelleerimisega näidata mõju ulatust ning seda, et aluselise vee ja põhjavee segunemisel ei toimu lihtsalt lahjenemine, vaid põhjavees sisalduv vesinikkarbonaatioon puhverdab edukalt leeliselist vett koos kaltsiumkarbonaadi väljasettimisega.

Põlevkivituha kasutamise peamiseks probleemiks tuleb pidada eelarvamusi tuhkbetoonide suure negatiivse mõju kohta põhjaveele ning tagasitäitmise tehnoloogia kallidust, st kui ettevõtte ei saavuta tagasitäitmise kaudu suuremat keskkonnamaksude vähenemist kui on tagasitäitmise maksumus või muid olulisi positiivseid tulemeid (maapinna deformatsioonide vähenemine, kaevandamise ohutuse kasv, maavara kadude vähenemine), siis puudub oluline majanduslik huvi seda läbi viia.

Oluliseks tuleb hinnata ka tagasitäitmise võimalusi põlevkivitööstuse aherainega ilma tuhalisandita. Sellisel juhul on oluline täita aherainega korruga võimalikult suur hulk tühimikke, et oleks takistatud hapniku ligipääs aheraine põhimassini ning püriidi oksüdatsioonireaktsioonid toimuksid vaid täidetud tühimike servaaladel. Üksikute tühimike täitmise korral aherainega võib täitmine kaasa tuua summaarses mõttes sulfaatse reostuskoormuse suurenemise.

7. köide „Kaevanduste ja jäätmetekke mõju maastikele katsealadel – parim praktika“

Aruanne „Kaevanduste ja jäätmetekke mõju maastikele katsealadel – parim praktika“ (Sepp jt. 2018) annab ülevaate Eesti ja maailma praktilistest kogemustest, mis käsitlevad kaevanduste ja kaevejääkide mõju maastikele ning tehismaastike väärimdamist Käsitletakse erinevate kaevandamistehnoloogiate (sh allmaakaevandamine ja avakaevandamine) mõju

maastikule ja looduskasutusele üldiselt ning testalade piires. Pakutakse parimad võimalikud stsenaariumid testalade rekultiveerimiseks.

Autorid võtavad rahvusvaheliste kaevanduste taastamisprojektide ühisjooned kokku alljärgnevalt:

- piirkondlik käsitlus – ühtse „maastikupildi“ kontseptsiooni olemasolu – paremad võimalused majanduskeskkonna, piirkonna ja sotsiaalseks arenguks,
- kolm põhilist eesmärki: tagada loodushoid ja vääridada seda, luua mitmekesine rekreatsiooniala, esteetiline keskkond ja kaevandamisala multifunktsionaalsus,
- vääridatud ala sidusus teiste ruumiliste meetmetega (planeeringud, kaitsekorraldus jne), paikade omavaheline ühendus,
- pikka aega kestva kaevandamise puhul etapiviisiline ala vääridamine,
- rohevõrgustiku, puhkealade toimimise tugevdamine,
- mitmekesine rahastuse tagamine (erasektor, piirkond, riik, Euroopa Liidu fondid),
- tihe koostöövõrgustik ja koordineeritus,
- kavandatud järelhooldus ja seire.

Kõige mõistlikum on kasutada Põhja-Toolses (testala 1) kombineeritud kaevandamist, mille puhul toimub olemasolevate lubjakivikarjäärade piires fosforiidi kaevandamine maa pealt ning muus osas allmaakaevandamine. See võimaldaks säilitada loodusväärtused ja vähendada mõju keskkonnale. Karjäärist võiks kujundada mitmekülgne näidisprojekt, arvestades eelõige loodushoiu ja virgestusala eesmärke.

Testala 2, 3a ja 3b virtuaalsete kaevanduste puhul on olemasolevate andmete põhjal kaevanduse stabiilsuse osas soovitatav täitmisega kaevandamine. Testala 4 põlevkivikaevanduse puhul toimuks maavara väljamine kas puur-lõhketööde ja kamberkaevandamisega, lühieekombainiga kamberkaevandamisega või pikaekombainiga lankkaevandamisega. Tõenäoline on, et kasutataks kombineerituna mitut tehnoloogiat.

Korrastamise kvaliteet mõjutab pikka aega kaevandatud ala kasutust ja keskkonda ning kujundab seeläbi ka mäesektori mainet. Korrastatud kaevandamisala kvaliteedi näitajad onmuu hulgas ala kasutamise mitmekülgsed võimalused, maastiku mitmekesisus ja elukeskkonna liigirikkus. Mäetööstus vajab edukaid juhtprojekte. Maailma mäeõppe praktikas on tavapärased katsekarjäärid ja kaevandused, nimetame neid tinglikult näiteks laboriks. Eesti oludes selline asi puudub, aga võiks olla. Selleks ei ole vaja mitut karjääri, piisab ühe karjääri paarihektarilisest osast.

Peamised korrastamise suunda mõjutavad tegurid on kaevandustehnoloogia, kaevandamisala geoloogilised ja hüdrogeoloogilised tingimused, asukoht, sellest tingitud piirkondlikud eripärad, keskkonnatingimused ja maaomand. Sõltuvalt karjääri maaomandist, võimalikust tulevasest sihtotstarbest ja kasutajaskonnast tuleb hinnata kohalike elanike ning teiste huvirühmade kaasamise tarvidust. Ala maakasutuse kujundamine ja arendus sõltub järgmistest näitajatest: tuleb analüüsida, kas lähipiirkond vajab teatud tegevuste arendamiseks kohta, millena saab ära kasutada endist kaevandamisala, kas endisel kaevandamispiirkonnal on mingit arengueelist (esteetilist, tasuvuslikku, unikaalseid looduslikke tingimusi)

ümbritseva ees või mitte, tuleb analüüsida, kes on ala kasutajad, kust ja kuidas nad tulevad, millisele piirkonnale ollakse tõmbekeskuseks, milliseid loodusväärtusi on piirkonna kaevandustegevus kõige enam mõjutanud, milliseid võimalusi pakub karjääriala elupaikade taastamiseks.

Maastiku kujundamisel tuleb vältida üksluisust – Eesti oludes näiteks sageli esinevaid sirgete servade ja ühtse reljeefiga lahendusi, kuhu on rajatud monokultuurne puistu. Seda on tehniliselt kõige lihtsam teha, kuid vaatamiseks igavaim ja esteetiliselt vähepakkuv. Vaadeldavuse puhul on tähtis mitmekesisus – nii reljeefis, taimestik, üksikelementides (teed, puud, ehitised jms) kui ka ruumides ja sealt avanevates vaadetes. Haljastuse või küngastega saab vaateid sulgedes liigendada ruumi selliselt, et väiksemas ruumis viibijale luuakse illusioon eraldatusest, ruumis liikudes muutuvad vaated ja vaadete pikkused.

Loodusväärtused. Maavarade kaevandamine ei või kaitstavaid väärtusi väga mõjutada, vastasel juhul ei tohi kaevandamist lubada. Kaevandamise lubamise tingimuseks on, et kaevandatud alad korrastataks kaevandamiseelse maastikuga samaväärseks ja negatiivsete mõjude minimeerimine tuleb planeerida juba enne kaevandamisega alustamist (LAK 2012).

Põlevkivitööstuse ja tulevikus fosforiiditööstuse tekitatavaid keskkonnanäringuid ei ole võimalik täielikult vältida. Keskkonnanäringuid ei ole kehtiva kaevandamisloaga Natura aladega piirnevatele elupaigatüüpidele ja liikidele võimalik täielikult vältida, kuid eeldatavasti on võimalik tagada senisest parem loodusdirektiivide järgimine. Kaevandamisest laialdaste, suure kaitseväärtusega Natura elupaikadele vahel peaks loobuma ning jätma vajaduse korral kaevandatavatele aladele ja kaitsealadele senisest ulatuslikumad puhveralad. Kõiki määratud Natura alasid tuleb hoida kaevandusmõjude eest puutumatuna. Küll aga on võimalik poolte koostöös säilitada Natura alade sidus ökoloogiline võrgustik Virumaal.

Põlevkivi- ja fosforiidikaevandustes tuleks kasutusele võtta elurikkuse kava kontseptsioon – kogu kaevandamistsükli hõlmava elurikkuse kava koostamine ja rakendamine. Elurikkuse kavasid koostatakse näiteks ülemaailmse haardega Heidelberg Cementi ja Cemexi kaevanduskontsernidesse kuuluvates kaevandusettevõtetes (Rademacher *et al.* 2008). Tegu on ettevõtte enda keskkonnapoliitikast lähtuva vabatahtliku kavaga, mille koostamise hõlbustamiseks on antud välja asjakohased juhendid. Kava põhimõte on kaardistada liigid ja elupaigad karjääris, arvestada nendega mäetöödel ning suunata elupaikade tingimusi teadlikult.

Põlevkivi ja fosforiidi kaevandamise keskkonnamõju on võimalik minimeerida juba mäetööde käigus, valides sobivad tehnoloogilised võtted ja parameetrid. Fosforiidi või põlevkivi allmaakaevandamisel tuleb tagada kaevandamata jääva maavaravaru säilimine kaevandamiskõlblikuna, praeguste teadmiste järgi on see võimalik vaid tagasitaitmise korral. Tulevikus on võimalik fosforiidi ja põlevkivi kaevanduste tagasitaitmise ning tehstervikute abil vähendada langatuste tekkimist. See tähendab, et fosforiidi ja põlevkivi kaevandamisel ning töötlemisel tekkivad jäätmed, nagu aheraine, segatakse lisakomponentidega ja saadud segu juhitakse torustranspordiga kaevandusse tagasi. Sellisest segust moodustatakse tehstervikud, mis täidavad praegu põlevkivist tervikute lage kandvat funktsiooni. Peale kadude suure vähendamise saaks taaskasutada ka põlevkivi ja fosforiidi kaevandamisel ning

töötlemisel tekkivaid jäätmeid, mis kahandaks maa peal ladestatavate jäätmete hulka. Fosforiidi rikastamisel tekkinud liiva kasutamise võimalused kaevanduse täitmisel vajavad veel uuringuid. Kaeveõõnte tagasitäitmise tehnoloogia juurutamisel võib kaugemas tulevikus olla tähtis osa kaevandamiskadude vähendamisel. Eestis on kaevanduste võimalikku täitematerjali uuritud ja katsetatud fosforiidiuuringute raames möödunud sajandi 80. aastatel.

Veerežiimi muutused vajavad igal konkreetsel juhul uurimist ning seire ja välitööde korraldamist. Maapinna deformeerunud aladel vajavad erikäsituslangatusnõlvade kaldenurgad ja need tuleb õigete otsuste vastuvõtmiseks enne üle mõõdistada. Kaevandamisjärgse keskkonnamõju vältimise ja leevendamise seisukohast on tähtis altkaevandatud territooriumi edasise haldamise korraldamine. Allmaatöödega kaevandatud aladel on ülemised põhjaveekihiid palju tundlikumad põllumajandusest pärineva saaste (nitraadid, fosfaadid, orgaaniline reostus jt) suhtes, mistõttu tuleb hoolikalt järgida keskkonnakaitsenõuetest tulenevaid väetamispiiranguid. Jälgida tuleb ka aherainepuistanguid, et vältida nende isesüttimist, ja kavandada kasutamise edasised võimalused (vaateplatvormid, spordirajatised jne) (Liblik jt 2005). Olgu märgitud, et altkaevandatud alade rehabiliteerimise tehnoloogia Eestis puudub. Põlevkivimaardlas on tehtud mitmeid vastavaid uuringuid (Toomik 1999).

8. köide „Leevendusmeetmete valik ja majanduslik hinnang“

Kaevandamine põhjustab põhjaveerežiimi muutusi ning olenevalt maardla geoloogilisest ehitusest ja kaevanduses kasutatavast tehnoloogiast on mõjud nii põhjavee kogusele kui ka vee keemilisele koostisele. Köites 8 käsitletakse kolme leevendusmeetet ja nende majanduslikku mõju.

Tagasitäitmine

Kaevandamisel sõltub põhjaveele tekitatava mõju ulatus sellest, kas kaevanduse kohal lasuvad veepidemed purunevad või mitte. Katendi purunemise vastu aitab kõige tõhusamalt kaevanduse tagasitäitmine. Tagasitäitmine vähendab hapniku ligipääsu püriidile, piirab vee liikumist kaevanduskäikudes ja aitab parandada ventilatsiooni. Tänapäevaks on kaevanduste tagasitäitmine muutunud laialdaseks praktikaks maailmas. Neli peamist tüüpi materjali, mida kasutatakse allmaakaevanduste tagasitäitmiseks:

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

- Kuiv täidis, milleks on aheraine, liiv, kruus või muud tööstusjäätgid – kallutatakse avatud kaevanduskäikudesse.

Allmaakaevanduste tagasitäitmise eelised ja tulud:

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

Puudused:

- Kõrge hind, eriti juhul, kui kasutatakse tsementeerivaid sideaineid, vajadus lisatööjõu ja eritehnika järele (samas, olenevalt kohalikust tööhõivest, võib täiendav tööhõive olla regioonile positiivne).
- Kõrge veesisaldusega jäätmete puhul on vajalik veesisaldust vähendada.
- Toob kaasa kaevandusplaanide muutuse, probleemide korral on kaevandusplaanid tagasitäitmisest sõltuvuses.
- Vedela täidise korral veeldumise oht.
- Täitematerjali kui toetuse kokkuvarisemise oht, näiteks lõhkamistöõde käigus tervikute väljamiseks.
- Põhjaveereostuse oht täidisest välja leostuvate ühendite poolt.

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

Eelised ja tulud:

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

Puudused:

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

- Vajalik on luua korrastamisplaan koos karjääri kaevandamisplaaniga ning arvestada kasutatavate jääkide mahu ja kvaliteediga (Eestis nõutud).
- Võimalik vajadus jääke eelnevalt töödelda või stabiliseerida.
- Põhjaveereostuse oht täidiseist välja leostuvate ühendite poolt.

Allmaakaevanduste tagasitaitmine on eriti levinud praktika Kanadas, kus hinnanguliselt 66-75% kaevanduste tühimikest täidetakse. Peamiseks põhimõtteks on see, et tagasitaitmine peab olema majanduslikult efektiivne ning täidis peab käituma vastavalt prognoositule. Täitematerjalide kohta kehtivateks põhinõueteks on odavus, kättesaadavus ja piisavalt hea ning prognoositav käitumine peale täitmist. Aheraine kasutamine aitab maandada kaevanduskäikude võimaliku kokkuvarisemisega kaasnevad riskid ning välistada keskkonnamõjud, mis kaasnevad aheraine paigutamise ja maapinnale.

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

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

Maailmapraktikas on suudetud saavutada olukordi, kus seadusandlus teeb teatud jääkide (näiteks söeelektrijaamade lendtuhk) või ladestuskohtade (näiteks Saksamaa soolakaevandused) puhul teatud mõõndusi, mitte lugedes lendtuhka ohtlike jäätmete hulka või mitte nõudes soolakaevandustesse paigutatavate materjalide leostumisparameetrite vastavust normidele. Samas on igal juhul eraldi ikkagi vajalik garanteerida, et kaevandusaladelt ei toimu elementide ja ainete ülenormatiivsete kontsentratsioonide lekkimist ei pinna- ega põhjavette. Ohtlike jäätmete taaskasutamine ei ole keelatud, vaid on isegi soovitud juhul, kui töötlemise, stabiliseerimise või segamise tulemusena õnnestub ohtlike ainete kontsentratsioone vähendada ning tagada, et keemilisi elemente või ühendeid ülenormatiivsetes kontsentratsioonides välja ei leki. Samas ei saa tööstusjääkide paigutamine kaevandustesse ja karjääridesse olla eesmärgiks omaette.

Värske **aheraine** tagasipaigutamisel kaevanduskäikudesse on positiivsed mõjud juhul, kui teha seda suuremas mastaabis. Tagasitaitmise tulemusena väheneb püriidi oksüdeerumine ning vastavalt kipsi teke, kuna hapniku ligipääs väheneb tunduvalt. Samuti väheneb põhjavee

liikumise kiirus kaevanduskäikudes. Lihtsate täiendavate lahendustega, näiteks kindlate valitud kaevandustühimike täitmisega aheraine ja põlevkivituha baasil valmistatud seguga väheneb õhu- ja veeliikuvus veelgi ning positiivsed mõjud on suuremad. Põlevkivi aherainel puudub hapestumisvõime, sest karbonaatide poolt tagatud neutraliseerimisvõime on palju kordi suurem kui püriidi hapestumispotentsiaal.

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

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

Keskkonnakaitse seisukohalt on selge, et segude kivistumise käigus tekib paratamatult teatud koguses aluselist vett, mis põhjavee liikumise tagajärjel levib teatud kaugusele ning avaldab teatud ulatusega mõju põhjavee kvaliteedile. Vajalik on selgitada, missuguse kvaliteediga vesi tekib erinevate segude tardumise käigus. Seondades saadud uuringute tulemusi hüdrogeoloogiliste põhjavee liikumise mudelitega ja hüdrogeokeemiliste põhjavee kvaliteedi muutumise mudelitega on võimalik hinnata segude tardumise käigus tekkivaid keskkonnamõjusid.

Põhjavee ringpumpamine

Fosforiidi kaevandamise korral kujuneb Ordoviitsiumi-Kambriumi veekihti ulatuslik survetaseme alanduslehter. Kaevanduse kuivana hoidmiseks tuleb veetaset alandada kümneid meetreid ja see mõjutab oluliselt veetasemeid paarikümne kilomeetri raadiuses. Üks alternatiiv alanduslehtri ulatuse vähendamiseks on ümbritseda kaevandus osaliselt või täielikult kahe puurkaevude ringiga. Kaevandusele lähemal olevatest puurkaevudest välja pumbatav põhjavesi juhitakse kaugemal olevate puurkaevude kaudu veekihti tagasi. Siseringi kaevud alandavad põhjavee survetaset ning kaevandusse voolab vähem vett (vähenemine vähemalt 20–30%, kaevude arvu ja asukohtade optimeerimise korral võib olla saavutatav 50%). Välisringi kaevud tõstavad survetaset veekihi ning muudavad alanduslehtri laugemaks.

Eelised ja tulud:

- Kaevandusest välja pumbatav veehulk on väiksem, alanduslehter veekihi on väiksema ulatusega.
- Kaevandus maksab vähem vee erikasutustasu välja pumbatava vee pealt (eeldatavalt tagasijuhitava vee peal erikasutustasu ei rakendu).
- Vesi on kasutatav kaevanduse poolt vahetult mõjutatud elanike veevarustuse tagamiseks.
- Võimalus koostöös vee-ettevõtetega kasutada vett kaugemal asuvates ühisveevärkides.

Puudused ja kulud:

- Kaevude ja veetrasside rajamise investeering.
- Pumpamise ja kaevude hooldamisega seotud kulu.
- Puurkaevude ja veetrasside rajamiseks on vaja maaomanike nõusolekut.
- Avarii või ebapiisava hoolduse korral oht juhtida veekihti reostust.

Sõltuvalt süsteemi ehituskulude optimeerimisastmest võib, kuid ei pruugi ringpumpamise süsteem olla majanduslikult tasuv. Puurkaevude kasutamine veevarustuse tagamiseks parandab tasuvust.

Põlevkivi kaevanduse uputamine plokkide kaupa

Põlevkivikaevandused on pindalalt suhteliselt suured ning kuna põhjavee sissevoolust olulise osa moodustab lasuva veekihi põhjavesi, siis on ka kaevandusvee kogused suured. Lisaks senise praktikana on hoitud kogu kaevandus kuivana kogu kaevanduse töötamise perioodil. Kaevandusest välja pumbatava vee hulk kasvab aastatega üha suuremaks. Välja pumbatava vee pealt makstavad erikasutustasud moodustavad arvestatava osa tegevuskuludest. Kaevanduse osad, kus mäetööd on lõppenud, saaks isoleerida töötavast kaevandusest ning lõpetada nendest vee väljapumpamine.

Eelised ja tulud:

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

Puudused ja kulud:

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

Kaevanduse osade kaupa sulgemine eeldab mäetööde ajalise kulgemise ja olulisemate transpordikäikude planeerimist selliselt, et tekkiks võimalus kaevanduse osi isoleerida. Geoloogiliste tingimustega arvestamine on samuti oluline, sest mida suurem on vee sissevool mingis kaevanduse osas, seda tähtsam on selle piirkonna kiirem sulgemine. Tehnilise poole pealt on oluline kavandada süstemaatiliselt tervikud (näiteks kambriploki seinad) selliselt, et need peaksid vastu vee survele ja vee äravoolusüsteemid nii, et need on suletavad.

Kaevanduse jaotamine väiksemateks teineteisest hüdrauliliselt eraldatud osadeks on oluline ka keskkonnamõjude vähendamise seisukohalt nii kaevandamise ajal kui ka pärast kaevanduse sulgemist. Isoleeritud osad võimaldavad põhjavee tasemel kerkida erinevale tasemele, mis vähendab sulfaatide teket drenitaval alal ja ülejutusprobleeme madalamatel aladel.

Meede omab suurt kulude kokkuhoiu potentsiaali. Sulgedes 5 km² suuruse ala 15 aastaks (pool kaevandusloa perioodist) on hinnanguliselt võimalik erikasutustasude pealt kokku hoida 3–15 milj. eurot.

Kasutatud ja viidatud kirjandus

- Harbaugh A.W., 2005. MODFLOW-2005, the U.S. Geological Survey modular ground-water model - the Ground-Water Flow Process. U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16.
- LAK, 2012. Looduskaitse arengukava aastani 2020, Keskkonnaministeerium, Tallinn.
- Liblik V., Toomik A. ja Rätsep, A., 2005. Suletud ja suletavate kaevanduste keskkonnamõju. Väljaandes: Liblik, V. ja Punning, J.-M. (toimetajad), *Keskkond ja põlevkivi kaevandamine Kirde-Eestis*. TLÜ ökoloogia instituut, publikatsioonid 9/2005. Tallinn, 31-52.
- Puura V., Amantov A., Tikhomirov V. and Laitakari I., 1996. Latest events affecting the Precambrian basement, Gulf of Finland and surrounding areas. *Geological Survey of Finland, Special Paper*, **21**, 115–125.
- Puura V., Vahe R. and Tuuling I., 1999. Pre-Devonian landscape of the Baltic Oil Shale Basin, NW of the Russian platform. In: Smith B.J., Whalley W.B. and Warke, P.A. (eds.). *Uplift, Erosion and Stability: Perspectives on Long-term Landscape Development*. Geological Society Special Publication, **162**, 75-84.
- Rademacher M., Tränkle U., Hübner F., Offenwerger H. and Kaufmann S., 2008. Promotion of Biodiversity at the Mineral Extraction Sites of HeidelbergCement.
- Sedman P. ja Talviste P., 2017. Projekt: Virumaa maavarade võimaliku kaevandamise keskkonnamõjud põhja-ja pinnaveele ning maastikule keskkonnageoloogiliste mudelitega analüüsituna koos alternatiivsete leevendusmeetmetega. Virtuaalse kaevanduse ruumiline ja ajaline planeerimine. IPT Projektijuhtimine OÜ, Tallinn, 72 lk (Kõide 3).
- Sepp K., Metsaots K. ja Raet J., 2018. Kaevanduste ja jäätmetekke mõju maastikele katsealadel – parim praktika. Tartu, 50 lk (Kõide 7).
- Toomik A., 1999. Allmaakaevandamise mõjud ja nende hindamine. Põlevkivi kaevandamise ja töötlemise mõjud Kirde-Eestis. TPÜ ÖI publikatsioonid, **6**, lk 109-129.
- Tuuling I., 2017. Paleozoic rocks structure *versus* Cenozoic cuesta relief along the Baltic Shield – East European Platform transect. *Geological Quarterly*, **61**, 396–412.
- Winston R.B., 2009. ModelMuse-A graphical user interface for MODFLOW-2005 and PHAST. U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A29, 52 pp.