



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MÄEINSTITUUT



Reg.nr 74000323
Ehitajate tee 5
19086 Tallinn

KINNITAN
Instituudi direktor

Ingo Valgma

MAARDU FOSFORIIDILEVILA TEHNOGEENSE PÕHJAVEE KVALITEEDI UURING

Lõpparuanne

Töö nr 796 (KIK11067)

Tallinn 2013

PROJEKTI TOETAB: Sihtasutus Keskkonnainvesteeringute Keskus (KIK)

Narva mnt 7A

10117 Tallinn, Harjumaa

Registrikood: 90005946

Tel. 627 4171 faks: 627 4170

E-post: info@kik.ee



TEOSTAJA: Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituut

Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn

Registrikood: 74000323

tel. 6203 850

Arveldusarve nr. 10052037382001 SEB

Veeproovivõtjate litsentsid nr. 939/11 ja nr. 940/11

Hüdrogeoloogiliste tööde litsents nr. 360

Keskkonnamõju hindamise (KMH) litsents, KMH0125

Geodeetilised ja kartograafilised tööd, 660 MA

Majandustegevuse Register:

Kaevandamine, KKA000300

Kaeveõõne teisene kasutamine, KKT000008

Kaevandamise või kaeveõõne teisese kasutamise projekteerimine, KKP000002

Projekti meeskond:

Ingo Valgma

Tiit Rahe

Raul Roots

Margit Kolats

Karin Robam

Kaupo Kuusemäe

Enno Reinsalu

Martin Saarnak

Erki Närep

Vivika Väizene

Martin Riibe

Ülo Sõstra

Martin Nurme

Gaia Grossfeldt

Mall Orru

Veiko Karu

Vivika Väizene

SISUKORD

1. EESSÕNA	4
2. LÜHIÜLEVAADE OBJEKTIST	4
2.1. MAARDU FOSFORIIDILEVILA JA TEHNOGEENNE ALA	4
2.2. KAEVANDAMINE JA TÖÖTLEMINE	6
2.3. MAARDU KAEVANDATUD ALA TEHNOGEENNE JA PIIRKONNA LOODUSLIK VESI	7
2.3.1. Tehnogeenne veekogum.....	8
2.3.2. Pinnavesi.....	9
2.4. TEHNOGEENSE PÕHJAVEE KVALITEETI MÕJUTAVAD FAKTORID	13
2.5. MAARDU PIIRKONNA VEEKEEMIA	13
2.6. VAREM TEHTUD UURINGUD	14
3. EESMÄRK.....	21
4. METOODIKA	21
4.1. VAATLUSPUNKTID	24
4.2. PERIOODILISUS	32
4.3. SADEMED	32
4.4. SADEMETE MÕJU VEETASEMELE	33
4.5. VOOLUVEE KOGUSE SÕLTUVUS SADEMETEST	35
4.6. VEE LIIKUMISSUNAD JA VEETASEMED	35
4.7. VEE KVALITEET	36
5. UURINGUTULEMUSED JA ARUTELU.....	38
5.1. VEE LIIKUMISSUUNDADE VEETASEMETE KAART MAARDU UURINGUALAL	38
5.2. VEEKVALITEET JA VOOLUHULGAD MAARDU UURINGUALAL	40
5.3. VEE KVALITEEDI, VEE LIIKUMISSUUNDADE, VEETASEMETE JA VOOLUHULKADE KOONDTABEL	46
5.4. SAADUD TULEMUSTE PUBLITSEERIMINE	47
5.5. AVALIKKUSE TEABE TÕSTMINE	48
5.6. VÕRDLOS MAARDU, ÜBJA JA AHTME VÄLJAVOOLUDE NÄITEL	49
6. KOKKUVÕTE – JÄRELDUSED JA SOOVITUSED	58
7. VIITEMATERJAL	62
8. LISAD.....	67
8.1. LISA 1. pH JA SO ₄ MÕÕDETUD VÄÄRTUSED VÄLITÖÖDE JA AASTAAEGADE KAUPA.....	67
8.2. LISA 2. BHT7 JA KHT MN MÕÕDETUD VÄÄRTUSED VÄLITÖÖDE JA AASTAAEGADE KAUPA	67
8.3. LISA 3. NÜLD JA PÜLD MÕÕDETUD VÄÄRTUSED VÄLITÖÖDE JA AASTAAEGADE KAUPA.....	67
8.4. LISA 4. MÕÕDETUD ANDMETE KOONDTABEL.....	67

1. Eessõna

Töö eesmärk on Maardu ammendatud kaevandamisala tehnogeense põhjaveekogumi seisundi hindamine ja vee kvaliteedi mõjurite väljaselgitamine.

Tehnogeenne veekogum on Maardu kaevandamiskohtade hüljatud ja suletud kaeveõõnte vesi, mida varem ei ole uuritud.

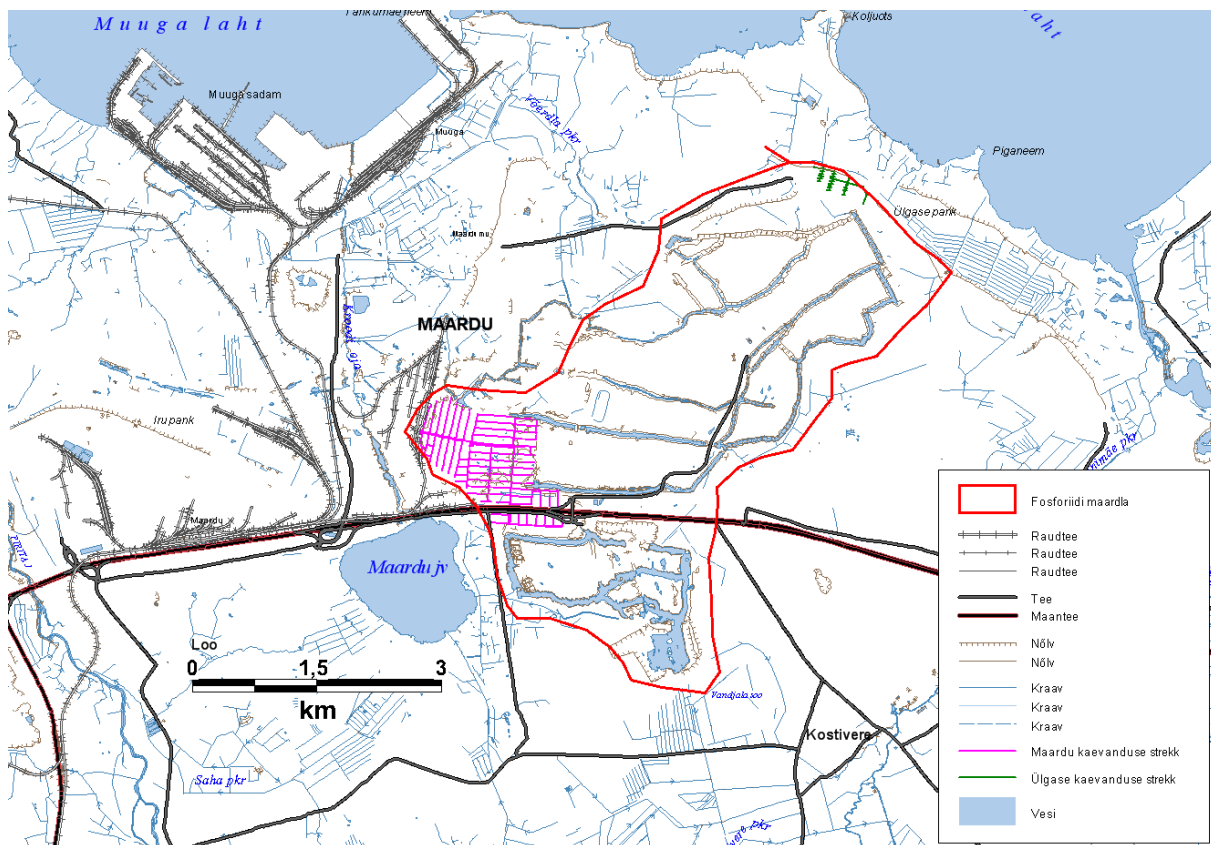
Uuringus on käsitletud varasemaid uuringuid, mille põhjal analüüsiti piirkonna olukorda. On kaardistatakse vee liikumissuunad, hulgad ja kvaliteet.

2. Lühülevaade objektist

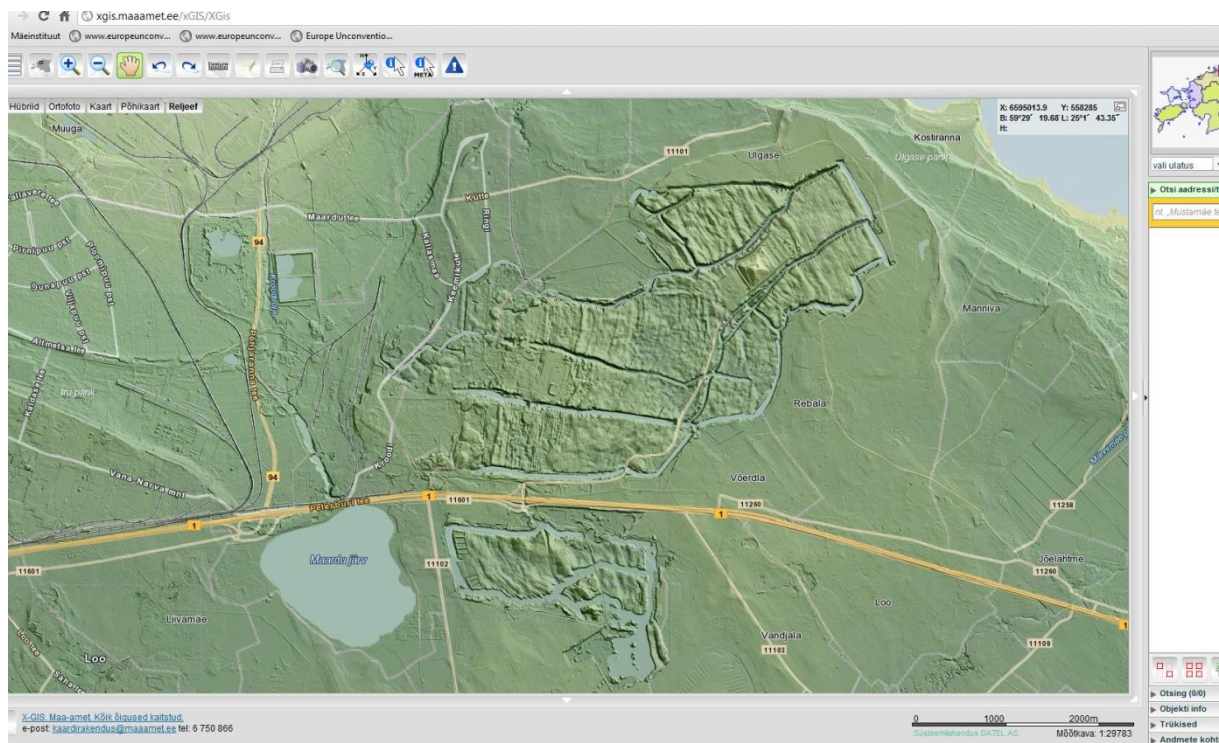
2.1. Maardu fosforiidilevila ja tehnogeenne ala

Maardu fosforiidilevila paikneb Harju maakonnas, 16 km kaugusel idas Tallinnast, mõlemal pool Tallinn-Narva-Peterburi maanteed (Joonis 1). Levila on välja venitatud põhja-lõuna suunas 6 km ulatuses, selle laius on 3 km, üldpindala seega ~18 km². Ala põhjapiiriks on Põhja-Eesti klindi äär, kus kinnikasvanud klindiasangu peal, ja kohati all, asusid endise Kroodi küla ja Kallavere asunduse põllu- ja heinamaad. Maapind on suhteliselt tasane, absoluutkõrgused jäävad vahemikku 33-45 m. Üksikud künkad tõusevad vaid mõni meeter kõrgemale. Ala läänepiiriks on madalaveeline Maardu järv, millest voolab välja Kroodi oja. Järve pindala on umbes 150 ha (1,5 km). Enne fosforiidikarjääri rajamist levila maa-alal suuremad veekogud ja ojad puudusid. Kõlvikutest olid karja-, põllu- ja heinamaad jaotunud enam-vähem võrdselt, aga levila idaossa ulatus ka väikene osa, ca 30 ha, turbasood [16, 52].

Maardu fosforiidilevila moodustab fosforiidilasund, millel kaasajal ei ole kaevandamisväärsust. Levila tuumik-ala on Maardu ammendatud maardla [17, 50]. Maardu tehnogeenne ala on tunduvalt laiem, kui maardla ja selle ammendatud osa (Joonis 1, Joonis 2). Tööstustegevuse ja fosforiiditööstusega seotud inimeste poolt tugevalt mõjutatud alaks võib pidada piirkonda Kroodi ojast Rebala külani ja mererannast kuni Kostivere ja Saha asumiteni (Joonis 2). Kogu see ala avaldab mõju käesoleva töö objektile, kaevandatud ala tehnogeensele veekogumile, selle kvaliteedile ja liikumisele, eelkõige sademete ja maapinnal paiknevate olme- ja tööstusjäätmete kaudu.



Joonis 1 Maardu fosforiidimaardla



Joonis 2 Maardu piirkonna Maa-ameti LIDAR kujutis [50]

Maardu fosforiidilevila kattub tööstuslikku huvi pakkuvate ehitusmaavarade: lubjakivi ja graniidi maardlatega. Lubjakivi kaevandamisel on veekogumile minimaalne mõju, mis

avaldub tolmu sattumises vette ja võib lisada kaevandamisalalt põhjavette ja lõunakarjääri mineraalkomponenti, eelkõige sulfaate. Graniiti ei kaevandata, seega otsene mõju praegu puudub.

2.2. Kaevandamine ja töötlemine

Fosforiidi kaevandamiseks oli kolm kohta (Joonis 3):

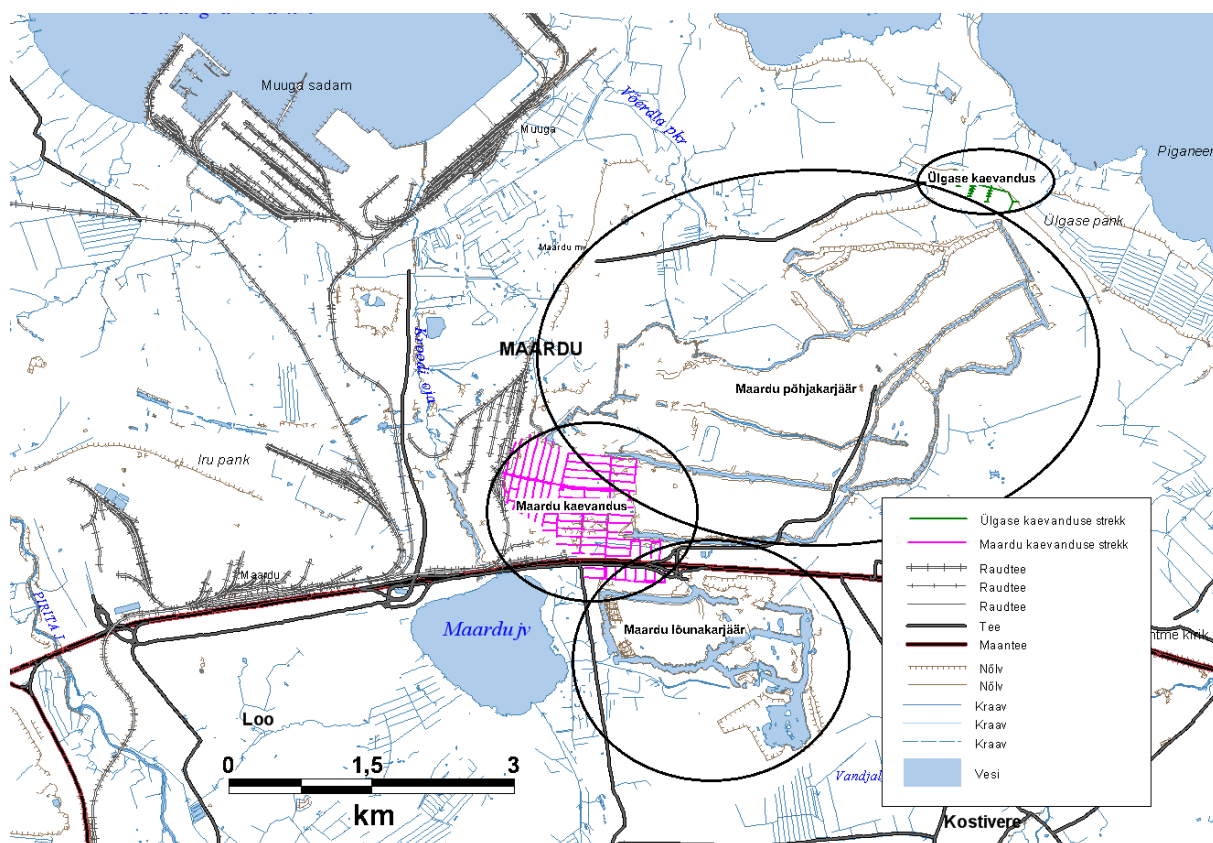
1. Ülgase kaevandus, mis töötas 1926...1938. Kaevanduse teeninduspiirkonda kuulusid rikastusvabrik klindiasangu all, jääkliiva puistang klindialusel tasandikul, raudtee Koljuotsa sadamasse ja sadam. Kaevandus suleti, murti lahti, reostati ja tõkestati 2006 aastal.
2. Maardu kaevandus, 1940...1965.
3. Maardu karjäär, 1954...1993. Jagunes kaheks põhja- ja lõunakarjääriks.

Maardu allmaakaevandus (edasises – kaevandus) ja karjäär olid fosforiiditööstuse (ettevõtte) toormebaas. Ettevõttele kuulusid peale kaevanduse ja karjääri rikastusvabrik ning selle jäätmetöötluskompleks (hiiva ja jääkliiva panilad), ning toorme keemilise töötlemise tehas.

Ülgase kaevanduses kasutati kaevandamisviisi, mis hiljem Venemaa, Slantsõ põlevkivikaevanduses kasutusse võetuna sai nimeks 'kamberlaavad'. Selle kaevandamisviisi kasutamisel kaeveõõnte lagi ei purune, maapind vajub vähe ja põhjavee kaitstus on suhteliselt hea. Kamber-laavadest jäävad maapõue tühimikud. Ülgase stollid olid avatud klinti, mistõttu vett koguneb ainult kaeveõõnte põhjale. Kaeveõõned on nahkhiirte olulise tähtsusega talvituspaik ning kaitse all. [47, 54, 55].

Maardu kaevanduses kasutati esmalt kamberlaavasid, hiljem sammastervikutega kambreid. Ka viimatimainitud kaevandamisviisi puhul on maapinna vajumine väike ja maa alla jäävad tühemikud. Maardu altkaevandatud ala on suurem kui Ülgasel [14].

Fosforiidi avakaevandamine toimus kahel alal. Põhjaosas, fosforiidi kihindi avamusalast kuni Tallinn-Narva maanteeeni olid I...III jaoskonnad (edasises – põhjakarjäär). Lõuna pool maanteed oli IV jaoskond – lõunakarjäär. Kasutati vaalkaevandamist – kobestatud katend ekskaveeriti kaevandatud alale. Kaevandatud ala korrastati – rekultiveeriti metsamaaks. Osale põhjakarjäärist rajati Tallinna prügila (Joonis 3).

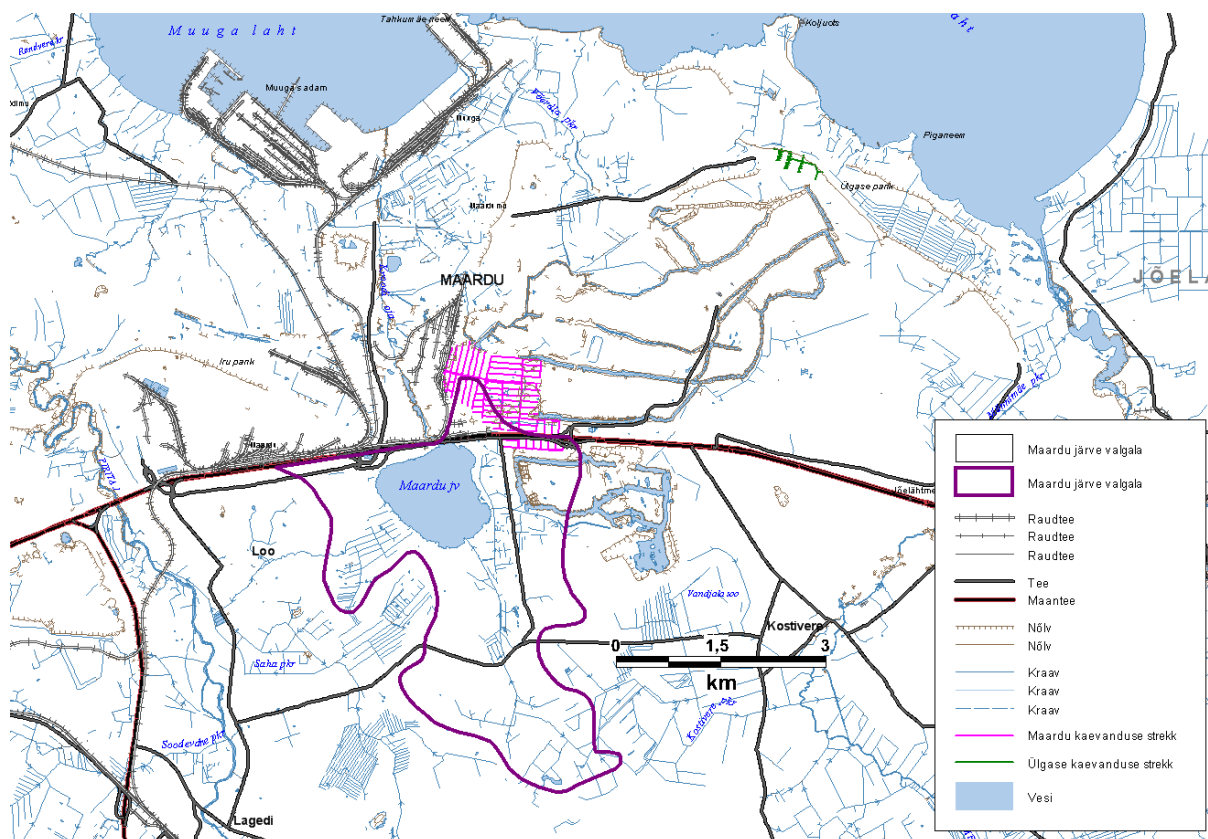


Joonis 3 Maardu kaevandamisala

Vaalkaevandamise tulemusel tekkinud tehnogeenne lade koosneb purustatud katendikivimite ja setete segust. Lademe filtratsioonivõime on suur. Tingituna vaaludesse puistamise tehnoloogiast on lade heterogeenne ja selle filtratsiooniomadustel on märgatav anisotroopia. Filtratsioonigradiendi suurim komponent on risti kaevandamise liikumise suunaga ja vähim on vertikaalsuunaline [15].

2.3. Maardu kaevandatud ala tehnogeenne ja piirkonna looduslik vesi

Maardu järve valgala on vastavalt Keskkonnaagentuuri avalikule keskkonnainfole 13,17 km² [53]. Valgala paikneb kuni 5 km lõunapool Tallinn-Narva-Peterburi maanteed (Joonis 4).



Joonis 4 Maardu järve valgala [53]

2.3.1. Tehnogeenne veekogum

Tehnogeenset veekogumit on kirjeldatud alljärgnevalt:

Tehnogeensete setete veekiht levib endise Maardu fosforiidikarjääri puistangus. Puistang on valdavalt kuiv (moodustab valdavalt aeratsioonivöö). Puistematerjali heade filtratsiooniomaduste tõttu ($K=10-100$ m/d) sõltub põhjavee tase veetasemest tranšeedes. Kohati võib puistangus olla ülavett. Vaatamata suurele paksusele (üle 10 m) sisaldavad setted põhjavett vaid puistangu alaosas ning moodustavad Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveega ühise veekihi. Maardu fosforiidikarjääris, pindalaga 11,2 km², lõpetati fosforiidi kaevandamisega kaasnenud kaevandusvete väljapumpamine 1991. aastal. Pärast kaevetööde lõpetamist on kiiresti tõusnud veetase Lõunakarjääris (tasemelt 20¹ m kuni üle 30 m ümp) [7].

Aeglasem on olnud veetaseme tõus Põhjakarjääris ja eriti selle loodeosas, kus tehisrežiim oli välja kujunenud metsastatud aladel juba 1980. aastaks ega olenenud nii palju väljapumbatava kaevandusvee kogusest. Väljapumbatava vee keskmised kogused ulatusid enne karjääri sulgemist 20 000 m³/d 1982. a kuni 11 000 m³/d 1989. a pideva vähenemisega ajas² [7].

Karjääri lääneserval toimub kaevandusvete väljavool läbi 1965. a likvideeritud maa-aluse fosforiidikaevanduse käikude Kroodi ojja. Kirdes kuivendavad klindil Ordoviitsiumi-

¹ Lõunakarjääris ei ole viimasel kümnendil täheldanud veetaset alla 30 m.

² Pihlak, A. jt, 1984 andmeil ajavahemikul nov 1982...sept 1983 ligikaudu 18 tuht m³/d

Kambriumi veekompleksi Ülgase maa-aluse fosforiidikaevanduse käigud. Lõunakarjääri idaserval toimuv lubjakivi kaevandamine (AS Maardu Kivi) ei mõjuta vee tasemeid. Kaevandamine toimub väljakujunenud aluspõhjaliste veekomplekside veetasemest kõrgemal [7].

Tehnogeensete setete veekiht on reostunud sulfaatidega ja kõrge mineraalsusega (üle 29 g/l). Tegemist on hapude (pH=3,3–6,5), soolakate või isegi soolaste SO₄-Ca-Mg-tüüpi väga karedate vetega, mis sisaldavad kõrgendatud koguses raskmetalle³. Kuni 1 km raadiuses karjäärist esinevad üleminekulised HCO₃-SO₄-Ca-Na-tüüpi karedad põhjaveed mineraalsusega ca 0,5 g/l (Kpanuba, 1991). Kui tavaliselt on sulfaatide sisalduse kasv põhjustatud püriidi oksüdeerumisest, siis Maardu karjääri alal on suurem tähtsus kaevandatud diktüoneemakilda isesüttimisel puistanguis [7].

Karjääri töötamise ajal tehti ulatuslikke uuringuid diktüoneemakilda isesüttimise põhjuste ja tagajärgede väljaselgitamiseks. Tehti kindlaks, et puistangus on temperatuur kohati üle +1000°C (Tallinna uue tahkete olmejäätmete..., 1990)⁴. Isekuumenemisega kaasnes diktüoneemakilda oksüdeerumise kiirenemine ja mitmete komponentide väljaleostumine. Sarnaselt Põhjakarjääri kirdeosale maeti ka Lõunakarjääris kaevandamise lõpuaastail fosforiidi katendi süttimisohulik diktüoneemakilda selektiivselt ja paigutati puistangu alaossa (Reinsalu, 1990). Varasematel aastatel on pinnasesse kogunenud sulfaate ka õhureostusega (Maardu väävelhappetsehi “rebasesaba”) ja sõjajärgseil aastail väävelhappetsehi heitvete juhtimisega Kroodi oja (“punane oja”) (Eesti geoloogiline baaskaart. 6343 Maardu. Seletuskiri, 2002)⁵ [7].

2.3.2. Pinnavesi

Pinnavett on kirjeldatud alljärgnevalt:

Kavandatava Maardu graniidikaevanduse territooriumil (mäeeraldise kohal)⁶ asuvad veega täitunud endise fosforiidikarjääri tranšeed, millest on kujunenud järskude kallastega veekogud. Maardu II graniidikaevanduse KMH AS Maves 34. Maardlast edela pool asub Maardu järv (700 m), idas Jägala jõgi (3700 m) ja läänes Kroodi oja (1200 m). Kavandatavast Maardu graniidikaevandusest 2200 m kaugusel põhjas asub Ihasalu laht, mis on Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvee kogumi osa [7].

Pärast fosforiidi kaevandamise lõpetamist Maardu karjäärides lõpetati ka vee väljapumpamine. Esialgsed fosforiidi väljaveotranšeed täitusid veega. Vee sügavus neis tranšeedes on erinev, suurenedes lõuna poole. Lõunakarjäär, mis paikneb Tallinn-Narva maanteest lõuna pool on veega täitunud. Tranšeede vee analüüse ei ole viimasel perioodil tehtud, kuid ilmselt erineb see looduslikust pinna- ja põhjaveest [7].

Kroodi oja saab alguse Maardu järvest ja suubub Muuga lahte Tallinna Uussadamast ida pool. Nõukogude Liidu perioodil suunati Kroodi oja kõik heitveed, mis pärinesid Maardu

³ Sedalaadi umbmääraseid väiteid, millel puudub viide allikamaterjalile ja/või mõõtmisandmetele, ei saa võtta aluseks, sest neil on enamasti ajakirjanduslik päritolu ja olupoliitiline tagapõhi.

⁴ Usaldusväärsed vaatlusandmed [Pevzner jt, 1982; Aleksandrov jt, 1988] ei kinnita nii kõrget, ilmselt tendentsliku päritoluga temperatuuri. Kuumenenud puistangute sisetemperatuur ei ole ületanud 800°C.

⁵ Tsitaadis toodud viitematerjal puudub meie aruande allikmaterjali loetelus.

⁶ Tsitaat pärineb Maardu graniidikaevandust käsitlevast uuringus.

keemiatehasest, Maardu fosforiidikarjäärist ja endisest allmaakaevandusest, Maardu ja Kallavere asulast jt väiksematest allikatest (Ideon, 1990). Tänapäeval suunatakse Kroodi oja 5 väljalasu (TL056 Kroodi Terminal AS, TL047 AS Technomar & Adrem, HA153 Maardu Vesi AS, TL089 Maardu Terminal AS ja HA127 Maardu Katlamaja AS) heitveed [7].

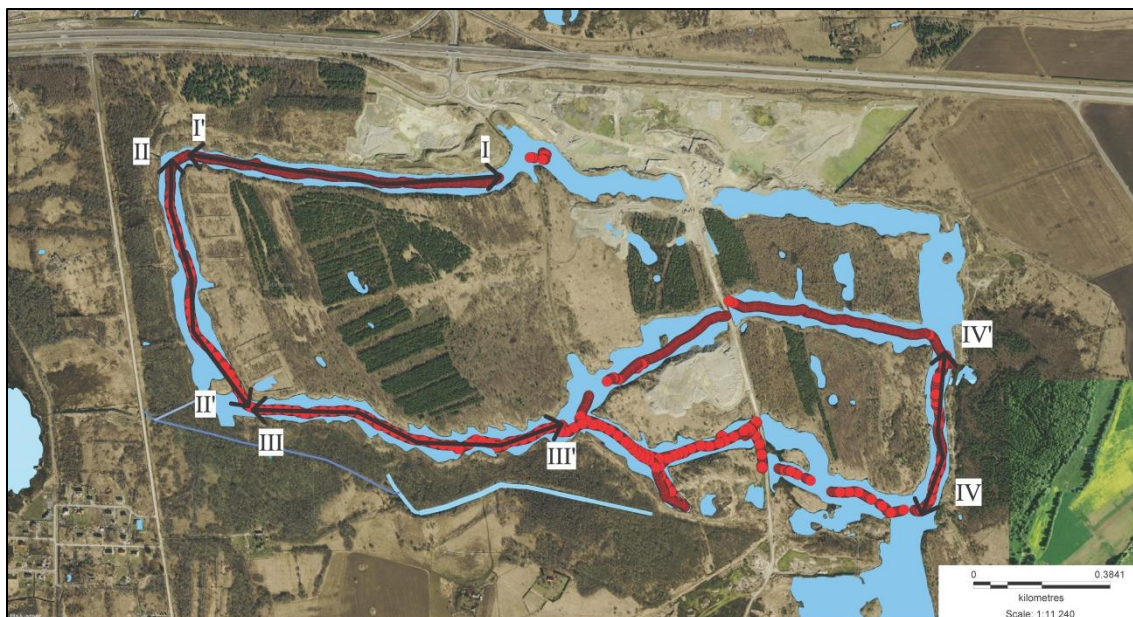
Kroodi Terminal AS, Maardu Vesi AS ja Maardu Terminal AS juhivad Kroodi oja sademevett, AS Technomar & Asrem ja Maardu Katlamaja AS juhivad Kroodi oja reovett. Viiest nelja väljalasu heitvesi ei vasta nõuetele. Ainukesena vastab nõuetele Maardu Vesi AS (HA153) heitvesi. Kroodi oja juhib oma sadevee Iru Elektri jaam. Kroodi oja on halvas seisundis. Maardu järv on Kroodi oja lähteks [7].

Fosforiidikarjääri töötamise ajal moodustas kaevandusvete osa keskmiselt 31% Maardu järve läbiva vee hulgast. Sel perioodil oli järve vesi tugevasti saastatud nii põhiioonide kui ka mitmesuguste mikroelementidega. Pärast fosforiidi kaevandamise lõppemist on järve olukord oluliselt paranenud. Maardu järve vee ja põhjasetete raskmetallide sisaldus oli vähene, sest järv ei ole enam mõjustatud endisest tootmiskoondise "Eesti Fosforiit" tegevusest ja jääkreostusest. Ka oli Maardu järve radioaktiivsus on madalal tasemel (Jõelähtme valla üldplaneeringu 2001-2003. Keskkonnamõjude hindamise aruanne, 2003). Täna sel päeval juhitakse Maardu järve Loo Vesi OÜ heitveed (HA055). Väljalasu heitveed ei vasta nõuetele. Maardu järve seisund on kesine [7].

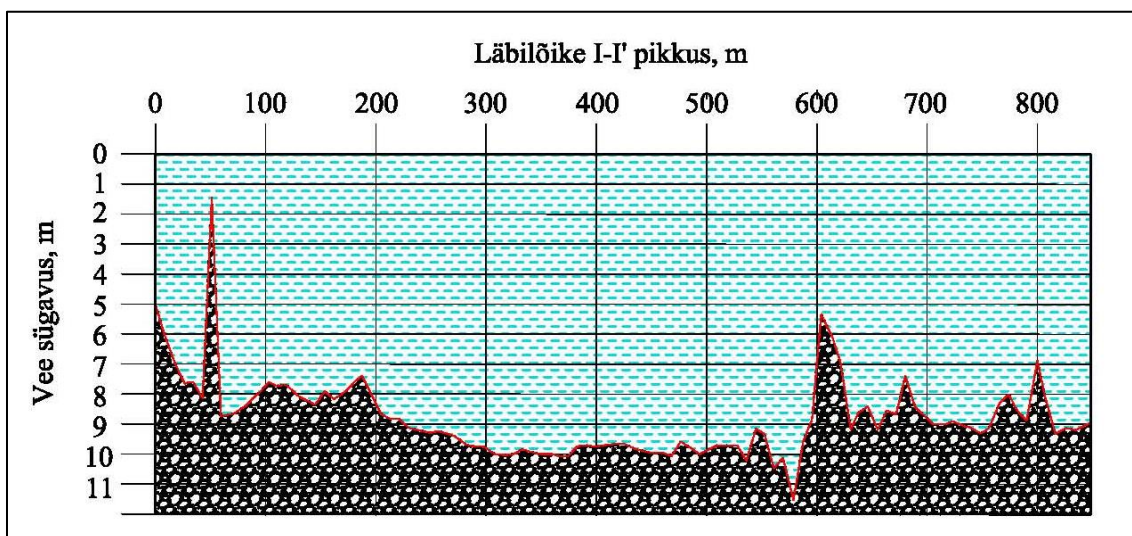
Maapinna absoluutkõrgus põhjakarjääris on 40 m, mis väheneb loode ja põhja suunas (Tabel 1). Fosforiidilasundi põhja absoluutkõrgus on põhjakarjääris 29 m, mis samuti väheneb lõuna suunas (Tabel 1) [51]. Arvutatud on vee mahud keskmiste sügavuste ja pindala järgi (Tabel 1). Tehti katsetööd Lõunakarjääris sonariga karjääri põhja profiili mõõdistamiseks (Joonis 5, Joonis 6, Joonis 7, Joonis 8, Joonis 9). Karjääri sügavus varieerus 8-11 m vahel. Pindala võeti veepinna järgi. Põhjakarjääri tranšeede sügavus on võetud vastavalt fosforiidi põhja sügavusel ja pindalaks on vee pind [60, 61]. Ülgase kaevanduses on vesi kaeveõõnte põhjas, mille kogupikkuseks on 2,5 km, veekihi Laius 0,4m ja veekihi sügavus 0,2m. Maardu kaevanduse veemaht on arvutatud vastavalt kaevandatud ala pindalale ja kaevanduse keskmisele kõrgusele, mis on 1,3-1,6 m [68]. Kroodi oja vee maht on arvutatud veepinna pindala ja keskmiste sügavuste järgi, mis on ülemises oja osas 1,2m ja alumises oja osas 2,4m [67]. Maardu järve põhjas on 6m paksune vettpidav põhjasetete kiht [1, 6].

Tabel 1 Fosforiidikaevandamise alade iseloomulikud andmed

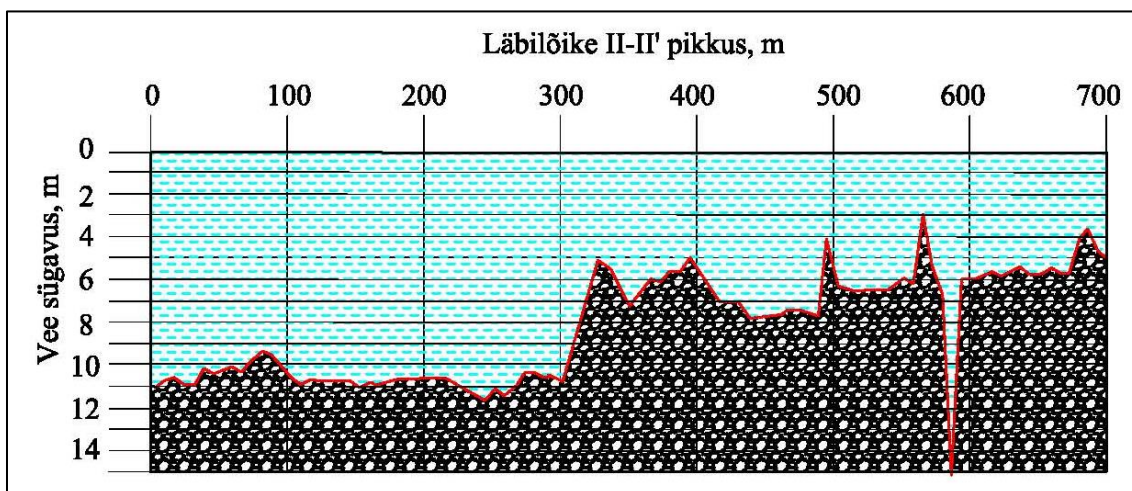
Ala	Fosforiidilasundi põhi abs, m	Maapinna abs, m	Veetaseme abs, m	Vee math veekogus, m ³
Lõunakarjäär	21	40	33	7262700
Põhjakarjäär	29	40	31	1574100
Maardu kaevandus	24	40	28	1267700
Ülgase kaevandus	33	47	33	200
Maardu järv	-	33	33	2368500
Kroodi oja	-	33-0	33-0	79600



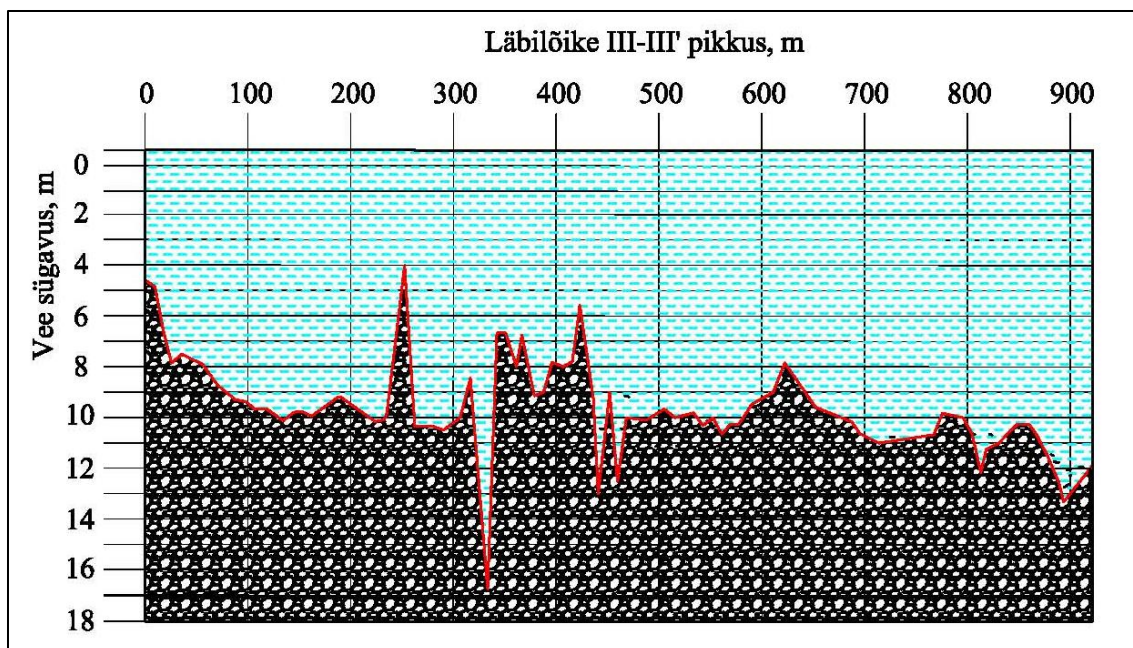
Joonis 5 Lõunakarjääris sonariga mõõdistatud ala ja läbilõigete asukohad



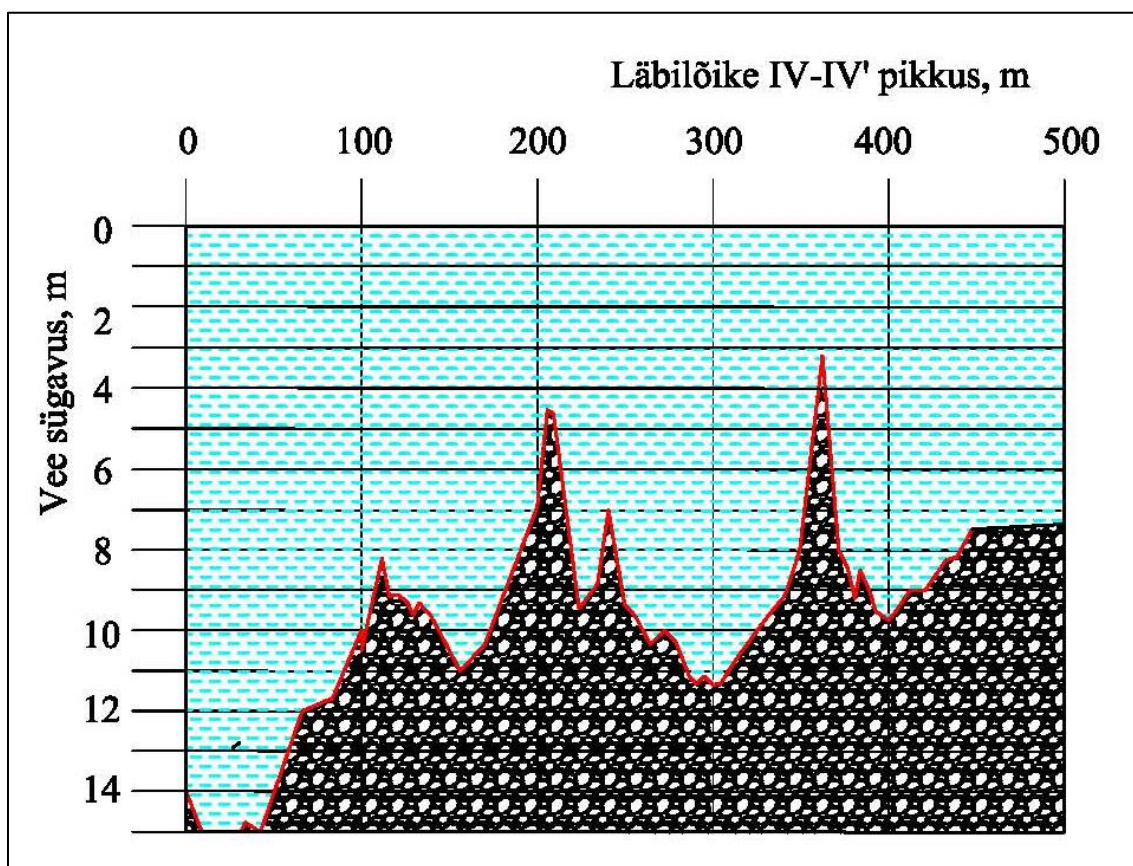
Joonis 6 Läbilõige I-I'



Joonis 7 Läbilõige II-II'



Joonis 8 Läbilõige III-III'



Joonis 9 Läbilõige IV-IV'

Maardu järve voolab vett sisse nii kraavidest kui allikatest, kraavi kaudu suubub järve Maardu lõunakarjääri vesi. Maardu järve väljavool toimub Kroodi oja kaudu merre. Maardu järv oli algselt looduslik veekogu, kuid pärast Kroodi kraavi kaevamist 1894. aastal voolas järv tühjaks. Kaevanduses toimub vee oksüdeerumine ja väljavoolav vesi on pruuni kuni tumepruuni värvusega [13, 51].

2.4. Tehnogeense põhjavee kvaliteeti mõjutavad faktorid

Tehnogeense põhjavee kvaliteeti mõjutavad faktorid on endogeensed, ehk kaevandamistegevusest tingitud ja eksogeensed, millel puudub kaevandamisega otsene mõju. Kaevandatud ala tehnogeense veekogumi kvaliteeti mõjutavad endogeensed mõjurid on:

1. Kaevise väljamisel maha jäänud tootmisjäätmel nagu õlid, kütus, masinate metall- ja plastmassdetailid, kumm (rehvid, linnid jmt), plahvatamata jäänud lõhkeaine jmt
2. Kivimite, eelkõige graptoliitargilliidi (nimetatud ka diktüoneemaargilliidiks või – kildaks) ja mineraalide, peamiselt püriidi lagunemine ja lagunemisproduktide leostumine. Kivimite ja mineraalide lagunemine mõjub tugevalt, kui see kulgeb termiliselt, nagu see oli iseloomulik fosforiidi avakaevandamisele.

Tavapäraselt pühendatakse kaevandamise keskkonnamõju uuringutes tähelepanu just nendele faktoritele. Samas on põlevkivimaardlas tehtud uuringutest teada, et kaevandamisel tekkinud tehnogeensele veekogumile on suur mõju eksogeensetel faktoritel:

1. Kaevandatud ala kasutamine jäätmete (omavoliliseks) paigutamiseks ja (projektipõhiseks) ladestamiseks.
2. Maaviljelus, kust satub põhjavette mitmeid agrokemikaale, eelkõige väetisi.
3. Majapidamised ja aiandusasumid, mis kasutavad kaevandatud ala (ka allmaakaevetõõsi) reovee ja fekaalide suublana.
4. Kaevandatud ala ebakompetentne korrastamine, mis leidis aset Maardu lõunakarjääris, kui sinna üritati rajada linnuvabriku jäätmepeanilat.
5. Kaevandamise jätkamine kas samal või piirneval määraldisel. Maardu juhul on selleks kaasneva ehituslubjakivi kaevandamine.

Kui kaevandus või karjäär hüljatakse, siis endogeensete faktorite mõju jätkub ja mõnikord isegi võimendub. Sulgemisel, kui projekt on kompetentselt koostatud, endogeensete mõjurite toime lakkab (tootmisjäätmel ei teki) või nõrgeneb (kuumenemine ja leostumine summutatakse). Korralikul sulgemisel lakkab ka kaevandatud tühemike (karjääride) risustamine, kuid eksogeensete mõjurite võimendumine välistatud ei ole, sest nõrgeneb kontroll kaevandatud ala üle.

Kõik vähegi arvestatavad tehnogeense vee uuringud on keskendunud mineraalse saaste: sulfaatide ja raskete ning radioaktiivsete metallide ja nende ühendite mõõtmisele. Põhjuse andis graptoliitargilliidi termiline lagunemine, selle metallühendite leostumine ning sellest johtuv hirm radioaktiivsuse ees. Tendentslikku sellisest suundumusest võib tajuda mitmete uuringute tulemustes. Näiteks siseveekogude seire tulemusel nenditakse tähelepanuvajavate faktide rubriigis muu hulgas: „Kroodi oja ja Jägala jõe suudmealal oli raskemetallide sisaldus suhteliselt madal“ [62].

2.5. Maardu piirkonna veekeemia

Maardu järv on Keskkonnaministri 28.07.2009.a määruse No 44, lisa 2 punkt 2. Seisuveekogude pinnavee kogumikud 2.1. Looduslike seisuveekogude pinnaveekogumikud Harju alamvesikonnas järgi kantud keskkonnaregistrisse No 6 all Maardu järv, veekogumi koodiga 2005910_1. Maardu järve, kui seisuveekogu II tüübi järgi, ökoloogiliste seisundiklasside piirid määratakse järgmiste füüsikalise-keemiliste kvaliteedi-näitajate järgi: pH, P_{üld}, N_{üld}, läbipaistvus Secchi ketta meetodil. Läbipaistvust ei määratud, aga selle asemel

määrati hõljumi sisaldus. Arvestades asjaoluga, et varem 1987. ja 1988.a oli veeproove võetud Kroodi ojast isegi 12 korda aastas ja sulfaatide ning mineraalsuse tase oli erakordselt kõrge [44, 45, 58, 59], siis uuringute käigus määrati alati kohapeal sulfaatide sisaldus ja üldine mineraalsus. See võimaldas hinnata täpsemalt kõigis vaatluspunktidest vee üldist seisundit füüsikalis-keemiliste kvaliteedinäitajate järgi ja võrrelda muutusi ajaga 25 aasta taguse ajaga, kui karjäär veel aktiivselt töötas.

Kõige olulisem vee reostaja on Alam-Ordoviitsiumi Pakerordi lademe Türisalu kihistu kerogeenne argilliit, mis võib sisaldada kuni 7% püriiti (FeS_2), mis niiskes hapnikulises keskkonnas kiiresti oksüdeerub, andes lõpptulemusena sulfaatiooni. Samas argilliidis on terve rida ohtlikke mikroelemente, mis kujutavad ohtu inimeste tervisele: antimon, arseen, baarium, berüllium, boor, elavhõbe, koobalt, kroom, molübdeen, nikkel, plii, seleen, tallium, toorium, titaan, tsink, uraan, vanaadium ja vask. Enamus neist elementidest on ohtlike ainerühmade nimistusse kantud (Keskkonnaministri määrus nr 32, vastu võetud 21.07.2010.a). Välja on jäänud nimistust ainult toorium, mis on argilliidis esindatud mõõdetavates kogustes. Ühelt ruutmeetrit kaevandatud alalt Maardus saadi keskmiselt 7 tonni kerogeenset argilliiti, mis segati teiste kivimite ja laguneb praegugi, millele viitavad kõrged sulfaatide sisaldused kogu kaevandatud piirkonna vees ja kõrge vee mineraalsus. Milline on nende elementide kontsentratsioon Maardu järve ja karjääridest ning kaevandusest väljavoolavas vees jääb praegu selgusetuks. Sellist elukeskkonnale ohtlike mikroelementide rohkest ei ole üheski teises Eesti kivimis. Ala on siiani ohtlike elementide tugeva mõju all.

2.6. Varem tehtud uuringud

Kõige vanemaks kättesaadavaks informatsiooniks oli Maardu fosforiidikarjääri ja rikastusvabriku mõju vee kvaliteedile teesides 6. Üleliidulise sümposiumil Tallinnas 16.-18.04.1979.a, kus ettekandega esinesid E. Johannes ja V. Karise [63]. Teesides on ära toodud, et karjääri on kogunenud tohtu kogus katendi materjali, mis sisaldavad lubjakivi, diktüoneema kilta, liivakivi, glaukoniiti ja püriiti. Iseloomulikuks ja väga levinud protsessideks puistangutes on kilda isesüttimine, selle täielik või osaline tuhistumine ning biokeemiline ja keemiline kivimite ja mineraalide murenemine. Eriti oluline on püriidi oksüdeerumise protsess, mis põhjustab kilda isesüttimise.

Atmosfääri sademed infiltreerudes muutuvad puistangutes väga kõrge mineraalsusega sulfaatseks kaltsiumi-magneesiumi veeks, üldise mineraalsusega kuni 60-70 g/l ja kõrge makro- ja mikroelementide sisaldusega. Puistangute vee iseloomulikuks jooneks on suurem magneesiumi sisaldus võrreldes kaltsiumiga ja sulfaatiooni sisaldus suur kõikumine 3,0 g kuni 50 g/l, kõrge rea ionide sisaldused: Fe^{2+} – 3-700 mg/l, Mn^{2+} – 1-100 mg/l, F^- – 1-280 mg/l, K^+ – 10-199 mg/l, Cu^+ – 0.001-2 mg/l. Kõrge mineraalsusega vesi satub puistangutest allpool asuvasse Ordoviitsiumi-Kambriumi sulfaatsesse-karbonaatsesse Mg-Ca vette, mineraalsusega 0,3-0,4 g/l. Põlengute piirkonnas vesi selles põhjaveekompleksis muutub sulfaatseks Ca-Mg-liseks, üldise mineraalsusega 6-8 g/l, neis on kõrge elementide sisaldus ja temperatuur, +20° C. Vee väljapumpamine karjäärist ei võimalda kasvada depressioonilehtril kaugemale karjääri piiridest. Merre ja Maardu järve suunatav heitvesi oli suure sulfaatiooni sisaldusega, 0,45-2,3 g/l, üldise mineraalsusega 1-3 g/l ja on sulfaadiline, Ca-Mg tüüpi. Kuigi karjäärivesi lahjendatakse mitmekordselt Maardu järve veega, on sellel võrreldes teiste järvedega mitte hüdrokarbonaatne, vaid hüdrokarbonaatne-sulfaadiline koostis ja suurendatud sulfaatiooni sisaldus, kuni 200-300 mg/l. Siis ei ületanud ükski komponent piirväärtusi, kuid sellist võimalust autorid ei välistanud [40, 63].

A. Pihlak avaldas 1980ndate aastate algusel artikli teemal „Maardu fosforiidikarjääri puistangute saastav mõju veele.“ Kobestatud kivimite porsumine ja leostumine looduses hüpergeneesi tingimustes on tavaline ja loomulik nähtus, kuid karjääri puistangutes, kuhu kuhjatakse igal aastal miljoneid kuupmeetreid peenestatud kivimeid, on need protsessid looduses toimuvatest mõõtnatult suuremad ning selle tagajärjed võivad olla soovimatud. Keskkonda ohustab kõige rohkem diktüoneema kilt, mille kütteväärtus ulatub 1500-1600 kcal/kg [64] ja mis sisaldab terve rea raskmetalle ja haruldasi metalle. Kilt ise oksüdeerub õhu käes intensiivselt ja võib iseseisvalt kuumeneda ning süttida. Sellised põlemiskolded on sagedased ka puistangutes. Saavutades kõrge temperatuuri, kilt muutub poolkoksiks, eristab gaase, õli ja vett. Kilda utmisprotsess toodab polütsüklilisi aroomaatseid süsivesinikke [**Error! Reference source not found.**], mis on kantserogeense toimega. Isesüttimise kohal võib temperatuur puistangu innal tõusta kuni 500° C, kohati kuni 800° C [4, 5]. Kõrgenenud temperatuur ja termineline lagunemine tõhustavad kildast ja teistest puistangu kivimitest ainete leostumist. Vee aurumisel moodustunud sulfaatkoorik näitab hästi vees lahustunud ainete sisaldust protsentides: S – 20,34; MgO – 11,79; CaO – 8,01; SiO₂ – 5,06; Fe₂O₃ – 3,26; Al₂O₃ – 0,69; K₂O – 0,4; FeO – 0,25; P₂O₅ – 0,09.

Saasteindikaatoriteks olid lahustunud mineraalained (moodustavad keskmiselt 84% karjäärivee lahustunud mineraalainest): sulfaat-, kaltsium- ja magneesiumioonid, nende sisaldus vees. Teisi saasteindikaatoreid (pH, elektrijuhtivus, BHT, KHT jt) kas ei mõõdetud või ei esitatud (Tabel 2).

Tabel 2 Mineraalsaaste indikaatorite sisaldus karjäärivees, mg/l [57]

Proovikoht	Proove	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Kokku
Põhjatee pumbajaam	6	1364...1617	330,1...357,5	183,5...222,4	2095...2418
Peapumbajaam	6	1384...3257	275,2...416,2	127,8...617,9	2150...4951
IV jaoskonna pumbajaam	7	410,7...879,1	138,7...251,9	57,6...107,6	847...1566

Ioonide kontsentratsioon on tabelis autorite poolt esitatud numbrite arvuga.

Vee sissevool karjääri toimub Maardus kahel viisil, sademete näol ja Kvaternaari, Ordoviitsiumi ja Ordoviitsiumi–Kambriumi põhjavee kompleksidest, osa neist on surveleised ja Ordoviitsiumi ja Ordoviitsiumi–Kambriumi põhjavee komplekside vaheline suhteline veepide, mis koosneb Billingeni, Hunnebergi, Varangu lademe ja Pakerordi lademe Türisalu kihistust, on siin välja kaevatud ja rikutud, seega Maardus seda veepidet ei olegi. Karjääri heitvesi suunatakse Maardu järve ja Kroodi oja. Sademete kogus perioodil 25.11.1982.a kuni 29.09.1983.a oli 482,4 mm. Oletati, et sellest 62,5% aurub, ülejäänud infiltreerub maapinda. Tegelikult kogu väljapumbatud vee hulk oli 5 501 500 m³, millest põhjavesi moodustas 4065100 m³ ja sademete vesi vaid 1436 400 m³. Sellest on tehtud järeldus, et karjääris valdab põhjavesi. Tehisäravoolu mooduliks on keskmiselt arvestatud 25,9 l/s·km², mis on oluliselt suurem, kui Eesti keskmine looduslik äravoolu moodul – 7-8 l/s·km² [56, 3].

Kümne kuu vaatluste perioodil on puistangutest välja leostunud 8879,9 t sulfaatiooni, aga põhjaveega tulnud vaid 284,5 t. Peaaegu sama on Ca²⁺ ja Mg²⁺ vahetult leostunud kivimites ja põhjaveega toodud mahtude vahel: 1251,1 t ja 361,9 t Ca²⁺ ja 1472,7 ja 52,8 t Mg²⁺ puhul. Kõige madalam on kõigi ionide sisaldus 4. jaoskonnas (lõunapool maanteed), kus puhta põhjavee juurdevool on suurem. Artikli autorid teevad järeldused, et puistangud on SO₄²⁻, Ca²⁺ ja Mg²⁺ ionidega reostuse allikaks, eriti kuumenemisprotsesside tagajärjel. Koos karjääriveega pumbati välja 8880 t sulfaatiooni, 1251 t kaltsiumit ja 1473 t magneesiumit.

Kõige intensiivsemalt leostusid need ioonid välja lõunapoolses 4.jaoskonnas, kus täheldati ka kilda soojenemist. On tehtud järeldus, et Maardu karjääri heitveed vajavad puhastamist enne saatmist loodusesse [57].

Pihlaku jt artiklis toodud andmeil oli kaevandamise ajal peamise indikaatori, sulfaatiooni, (=sulfaatide) keskmine sisaldus peapumbajamas $2,3 \pm 0,9$, põhja(tee) pumbajamas $1,5 \pm 0,1$ ja lõunakarjäärist pumbatavas vees $0,6 \pm 0,3$ g/l. Mäeinstituudi käsutuses olevate Aidu ja Narva põlevkivikarjääride, 2008. a esimeste kuude vee sulfaatide sisaldus on kaks korda ja kaltsiumi ning magneesiumi ionide sisaldus ligikaudu 30 korda väiksem [64]. Seejuures pole välistatud Maardu karjääri vee proovimise vead.

Arvutati ka Maardu karjääride veebilanss ja mineraalse saaste indikaatorite (ioonide) bilanss ajavahemikul 25.11.82...29.09.83. Sademetest pärineva vee koguse arvutamisel lähtuti karjääri pindalast ja aurustumisest 62,5% ulatuses. Bilansi koostamise meetodika erineb mõneti sellest, mida meie kasutasime analoogilistes uuringutes [10]. Erinevused jäävad sedalaadi uuringutele omase suure arvutamismääramatuse piiridesse.

Kuigi järeldused leostumisest olid triviaalsed, andis artikkel tole aja jaoks olulist teavet. Üks autorite oletus, et kui lõunakarjäär täitub veega „...võivad leostumisprotsessid võtta ettenägematu ulatuse“, väärrib kontrollimist. Tsiteeritud väite eesmärk oli süvendada kahtlust Maardu mäeinseneride poolt välja töötatud ja lõunakarjääris rakendatud paljandamistehnoloogia suhtes, mis pidi pärssima graptoliitargiliidi kuumenemist vaaludes.

Kroodi oja kohta on andmeid 1987.a ja 1988.a proovide keemilise koostise kohta. Nad erinevad oluliselt kõigist teistest Soome lahte suubuvatest jõgedest oma keemilise koostise poolest peamiselt kõrge Ca-, Mg- ja sulfaatiooni poolest (Tabel 3) [9, 44, 59].

Tabel 3 Vooluvee kvaliteedi näitajad Kroodi ojal (aritmeetilised keskmised), 500 m ülesvoolu Tallinn-Kallavere maantee sillast (44, 45, 58, 59).

Aasta	Vooluhulk, m ³ /s	Heljum, mg/l	pH	Mineraalsus, mg/l	Ca ²⁺ , mg/l	Fosfaadid, mg/l	SO ₄ ²⁻ , mg/l	NH ₄ ⁺ , mg/l
1987	0,53	161,4	7,08	3237	223,0	3,477	1734	2,02
1988	0,505	145,5	7,44	2981	256,6	0,468	1433	2,33

Tähelepanu osutavad kõrge heljumi sisaldus, mineraalsus, Ca iooni, fosfaatide ja sulfaatide keskmised sisaldused.

Põhjalikke andmeid Maardu kaevandamisaegse vee voolusuundade ja kvaliteedi kohta võib leida põhjakarjääri sulgemise projektist ja sellele eelnenud, Maardu kauaaegse keskkonnainseneri ja hiljem Eesti TA Geoloogia instituudis töötanud Phd Boris Naumovi sellekohasest uuringust (Tabel 4) [8, 60, 61].

Tabel 4 Karjääride, kaevanduste ja heitvee keemiline koostis Tootmisettevõttes „Eesti fosforiit“ [60, 61]

Objekt	Proove, arv	Kuivjääk, g/l	pH	SO ₄ ²⁻ , mg/l	Ca ²⁺ , mg/l	Mg ²⁺ , mg/l	Na ⁺ , mg/l	K ⁺ , mg/l	Cl ⁻ , mg/l
Karjääri sissevool	5	0,7	7,4	165	162	24	8	10,5	39,7
Sisemised kraavid	5	1,4-7,7	6,6-9,2	700-4400	251-432	91-1051	—	—	17-57
Puisteallikas	5	7,5	7,7	4600	512	876	26,5	135,5	55,7

Maardu kaevandus	3	4,5	7,6	2500	225	57,5	40	20,6	32,6
Ülgase kaevandus	1	0,44	8,3	200	75	30,6	6,3	2,8	25,6
Põhjakarjäär	12	7,3	7,6	4000	460	769	–	–	50,9
Lõunakarjäär	12	1,4	7,6	600	267	94,8	–	–	28,8
Väljavool Soome lahte	12	2,5	7,7	1140	260	191	–	–	20,6

Mõõdetud keemiliste näitajate tulemustest võib teha järeldused, et 1990.a oli kõige suurem vee reostus tranšeedes ja puistest väljavoolavas allikas, kus sulfaatide sisaldus ulatus kuni 4600 mg/l ja Mg^{2+} sisaldus kuni 1051 mg/l, ligilähedane sellele on kogu Põhja karjäär. Kõige vähem mineraalaineid oli Ülgase kaevanduse vees ja karjääridesse sissevoolaval veel. Heitvesi on loomulikult keskmise koostisega, sest seal seguneb vesi, mis tuleb kõigist erinevatest allikatest, kaevandustest, karjääridest, sademetest, Maardu järvest jne. Kahjuks pole toodud andmeid mikroelementide kohta, mis võiksid anda väga mitmesuguseid tulemusi. On ju mikroelementide seas terve rida väga ohtlikke, nagu Hg, As, Cd jt. Kuidas toimub nende leostumine ja kontsentreerumine, see nõuab ilmselt uusi ja konkreetseid uuringuid. Vee balanss on huvitav kogu Maardu fosforiidi leiukoha kohta, sest see seletab vee koostise moodustamise omapärasid ala erinevate osade kohta (Tabel 5).

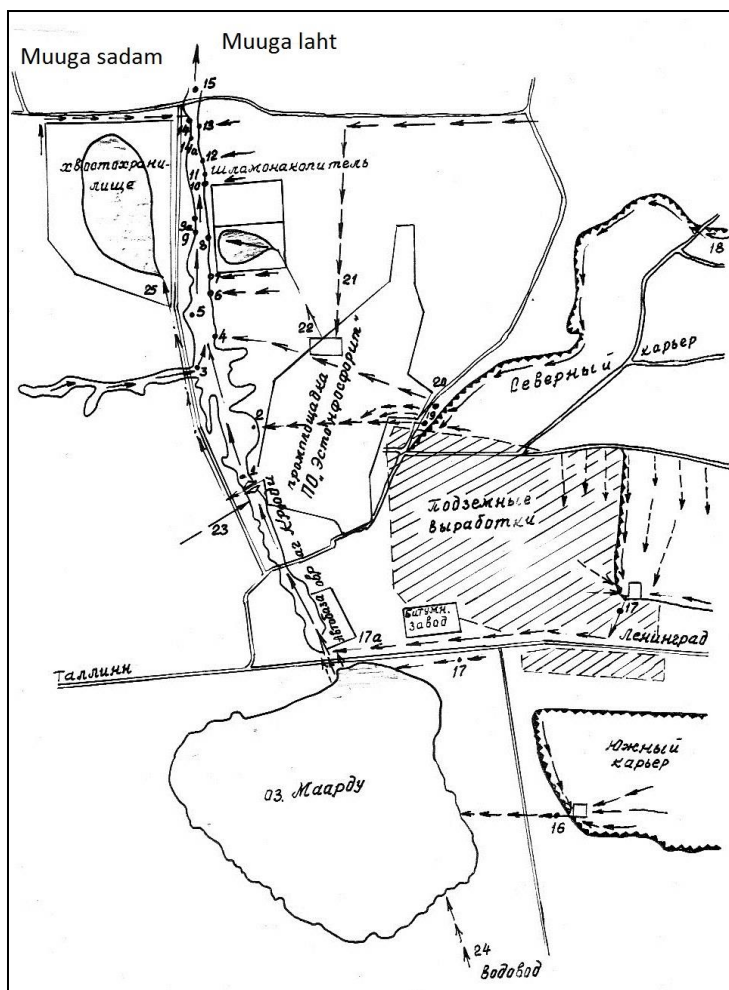
Tabel 5 Karjäärivee balanss Maardu fosforiidi maardlas B. Naumovi järgi miljonites m³ aastas [60, 61]

Karjäär	Karjäärivee kogus	Sademeid	Aurumine	Sademed karjääri	Maa-alune juurdevool
Põhjakarjäär	4,8	5,4	2,8	2,6 (54%)	2,2 (46%)
sh puistangud	–	4,6	2,3	2,3	–
Lõunakarjäär	2,7	1,2	0,6	0,6 (21%)	2,1 (79%)
sh puistangud	–	0,7	0,3	0,35	–

Mineraalainete väiksem sisaldus Lõunakarjääris võib olla seotud suurema põhjavee sissevooluga karjääri, sest kõik muud tingimused on enam-vähem võrdsed, aga põhjavee juurdevool on 1,8 korda suurem.

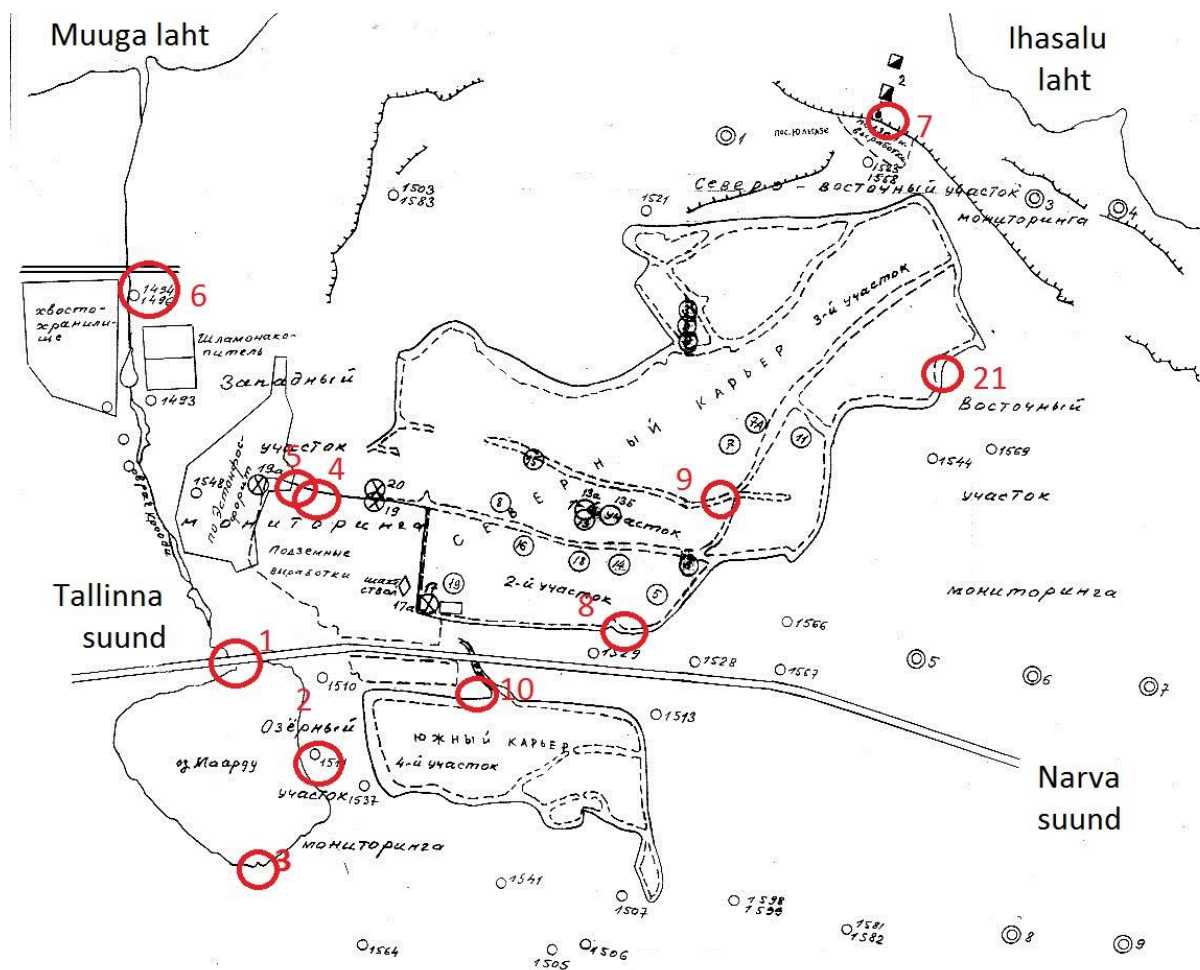
Kümne aasta jooksul, 1977.-1986.a oli Muuga sadama piirkonda Kroodi oja kaudu Soome lahte välja heidetud 198 500 t peeneid tahkeid osakesi ja 500 000 tonni lahustunud mineraalaineid, nende hulgas 1300 tonni fosforit, 9461 t fluori, 11 188 t kloori, 19 t vaske, 368 t rauda, kaltsiumit ja magneesiumit 90 400 t, sulfaatiooni 162 000 t, nitraate 173 t.

Maardu Põhjakarjääri sulgemise projekti andmetel voolas vesi karjääri ja tehase territooriumil enne mäetööde lõpetamist veekogurisse, pumbajaamadesse ja sealt edasi suunati vesi kroodi oja (Joonis 10) [13].



Joonis 10 Tehnogeense vee liikumise skeem karjääri ja tehase territooriumil enne mäetööde lõpetamist

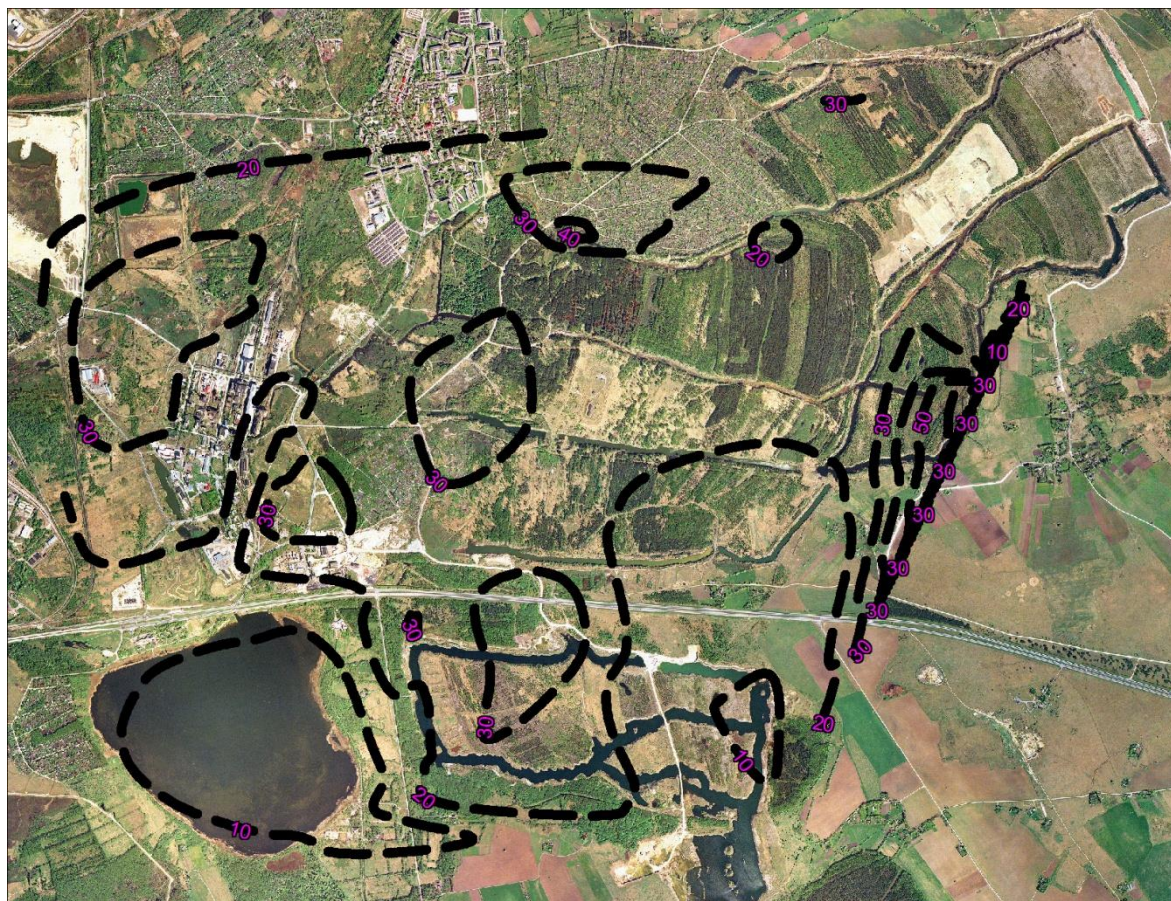
16 – lõuna pumbajaam; 17 - põhjapumbajaam



Joonis 11 Sulgemisprojektis soovitatud monitooringukohad

Naumovi soovitatud mõõtmispunktid, sh põhjavee taseme ja kvaliteedi proovimiseks sobivad puuraugud on joonisel mustade ringikeste ja numbritega [13]. Punased ringid markeerivad käesoleva töö mõõtmiskohtade paiknemist (Joonis 11).

Naumovi töös on toodud ka tööstusterritooriumi skeem käsidosimeetriga mõõdetud kamma-kiirguse andmetega, järgneval kaardil on seotud kaasaegse geograafilise situatsiooniga (Joonis 12).



Joonis 12 Kaevandamise ajal mõõdetud gammakiirguse fooni intensiivsus toonastes ühikutes (R/h) kaasaegsel kaardialusel.

Kiirgusfoon illustreerib teadaolevat – suurimad mõõtarvud, aegunud mõõtühikutes, kuni 50 R/h on karjääri idatiivas, kus paljandus kuumenenud kivim, alal, kus katendikivimite suurema osa moodustas graptoliitargilliit ja tööstusheitmete paigus oli foon 30...40 R/h. Kaevandamisest puutumata alal ja lõunakarjääri idatiivas, kus argilliit paigutati vaalude alla, oli kiirgusfoon alla 20 R/h. Ebaesindusliku meetodika tõttu võib mõõtmistulemused võtta teadmiseks, mitte enamaks.

Kõik varem tehtud uuringud iseloomustavad aega, kui toimus fosforiidi kaevandamine. Tänapäevaks on olukord muutunud:

1. Vee pumpamine, mis oli kaevandusvee kvaliteedi intensiivne mõjur on lakanud. Vee tase kaevandites ja neid ümbritsevates kivimites (nii looduslikes, mõjutatud ja tehnogeensetes) on tõusnud ja saavutanud tasakaalulähedase seisundi. Järelikult on muutunud ka sademetest, kaevandatusd alalt ja põhjaveekihtidest tuleva vee ja nendes sisalduva saaste kogused ning suhe.
2. Mäetööde initsieeritud protsessid: kivimite mehhaaniline ja termiline lagunemine on kulgenud oma rada ja ootuspäraselt aeglustunud nii iseeneset kui ka kaevandatud ala korraldamise tulemusel.
3. Juurde on tulnud uued kaevandatud ala vett mõjutavad tegurid, millest peamine on naabrite reostus. Naabrid on: altkaevandatud alal paiknev aiandusasum ning ühistud ja ettevõtted, kes kasutavad veekogusid suublana (vt p. 2.4), samuti kohalikud elanikud, kes heidavad kaevandatud alale jäätmeid.

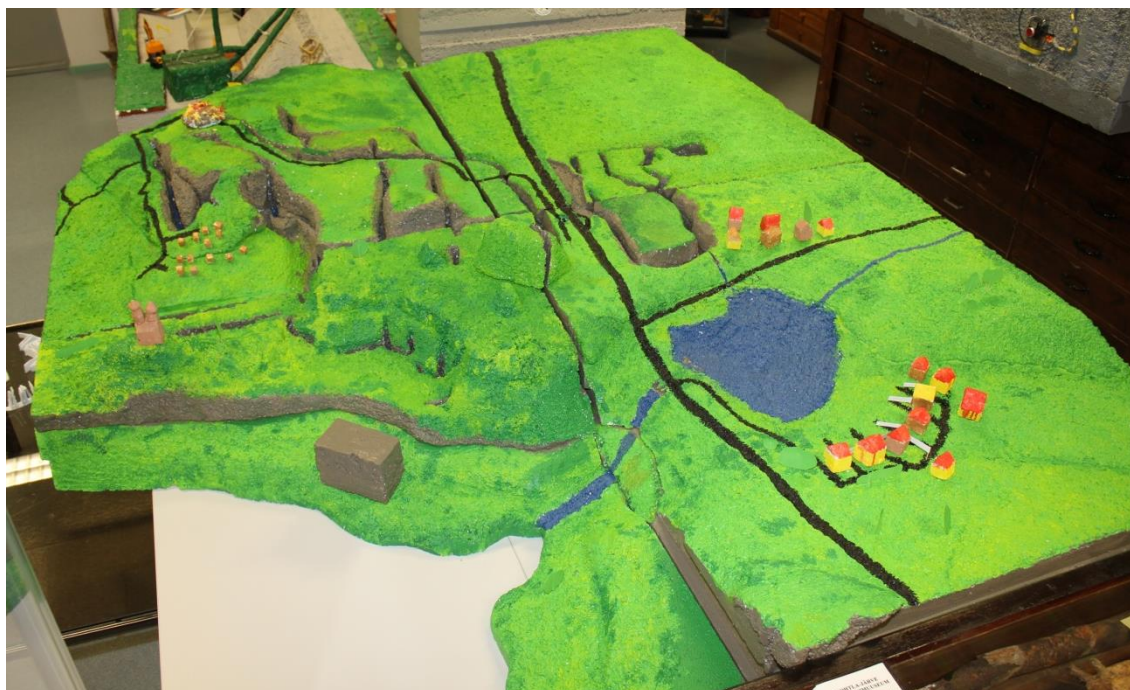
3. Eesmärk

Käesoleva uuringu eesmärgiks on kaardistada, mõõta ja hinnata Maardu fosforiidi levikualal karjääride ja kaevanduste poolt kasutusel olnud alad, määrata neis vee omadused ja mõjufaktorid, liikumise suunad ja veehulgad, määrata veetasemete kõikumised Maardu järves, lõuna- ja põhjakarjääri veekogudes. Määrata ja kaardistada Maardu järve vee sissevoolu ning väljavoolu kohad. Projekti eesmärk on leida uuemaid lahendusvõimalusi Maardu järve piirkonnas, seoses sinna planeeritavate puhkealade loomisega.

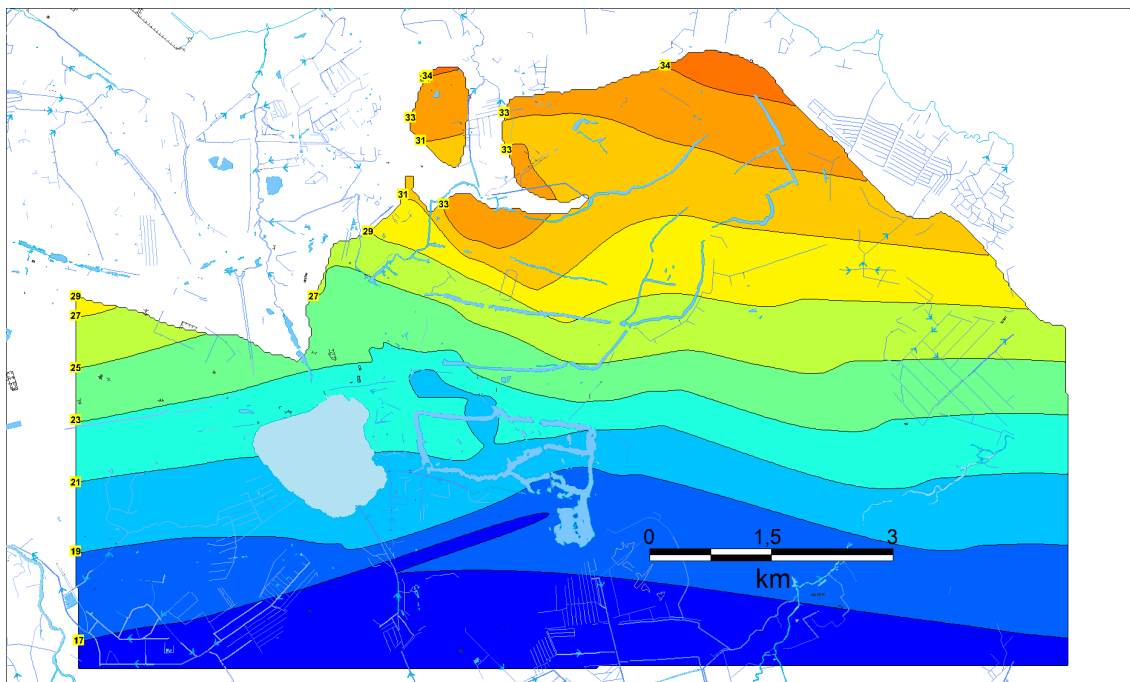
4. Metoodika

Uuringutele eelnesid Mäeinstituudi pikaajalised välitööd, mis hõlmasid puistangute, transeede, rekultiveeritud ala ja taimestiku vaatlust, mõõtmist, analüüsimist ja üksikobjektide projekteerimist. Ala kohta koostati geotehnilisi, geoloogilisi, hüdroloogilisi ja mäenduslikke skeeme [16, 27, 51].

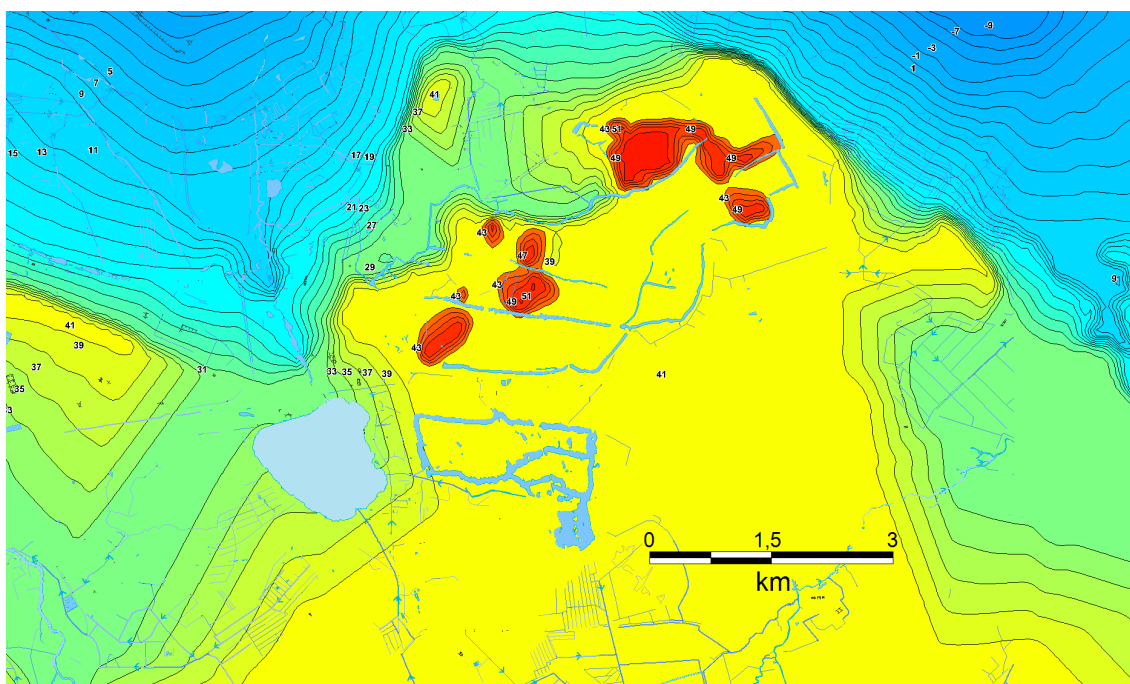
Uuritava ala demonstreerimiseks ja abivahendiks on valmistatud makett [Joonis 13], mis on osutunud väga tõhusaks, kui probleemi kompleksust on vaja olnud selgitada ajakirjanikele ja geograafiahuvilistele. Samuti on koostatud fosforiidilasundi põhja ja maapinna kõrgusmudelid [13, 51].



Joonis 13 Maardu kaevandamispiirkonna makett, vaade ida suunas



Joonis 14 Maardu fosforiidikihindi põhja kõrgusmudel



Joonis 15 Maardu maapinna kõrgusmudel [50]

Välitööde käigus tutvuti olukorraga ja selgitati välja võimalike lävendite asukohad. Välja valiti iseloomulikud kohad, kus hakata jälgima vee liikumist ja taset ning mõõtma vee vooluhulki ja hindama kvaliteeti (Joonis 16, Joonis 17, Joonis 18, Joonis 19) [19, 25].



Joonis 16 Lävendite kõrguste mõõdistamine reaallaja gps-ga



Joonis 17 Vooluhulkade mõõtmine, punkt 3



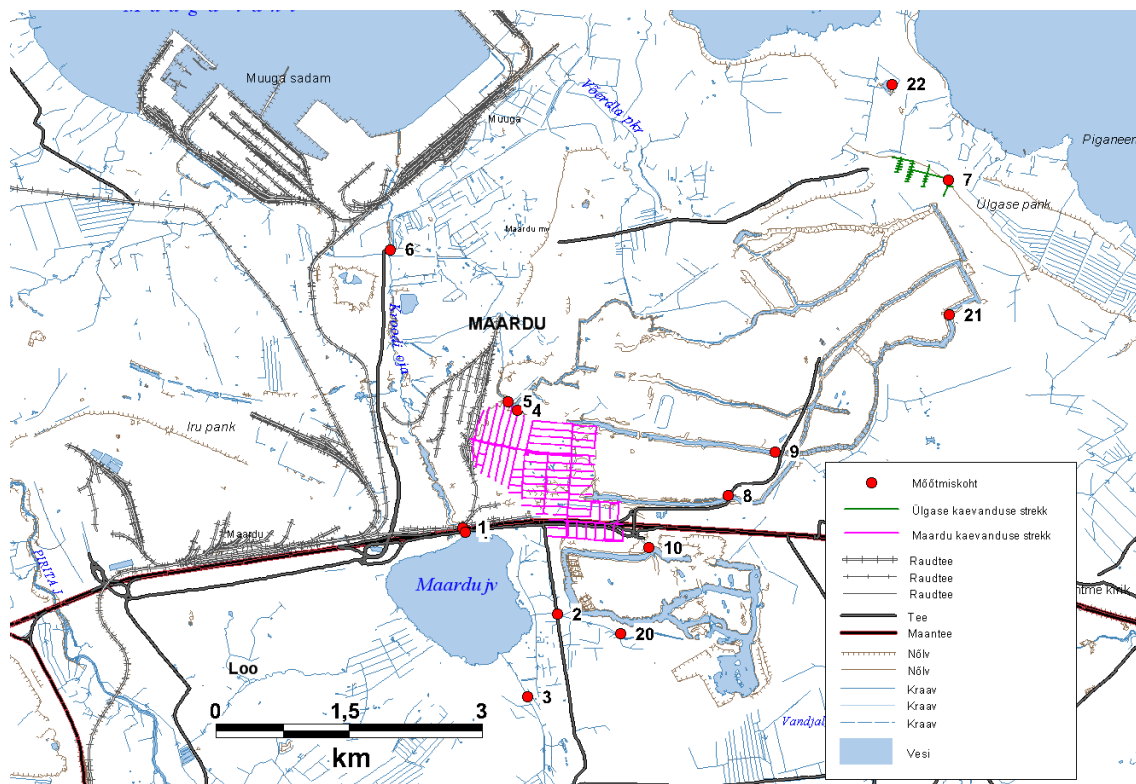
Joonis 18 Elektri juhtivuse ja pH mõõtmine



Joonis 19 Veeproovi võtmine

4.1. Vaatluspunktid

Vaatluse alla võeti 10 iseloomulikku vaatluspunkti ja kaks lisapunkti, kus mõõdeti keemilisi näitajaid (Joonis 20, Tabel 6).



Joonis 20 Maardu piirkonna vaatluspunktid (Vt. Tabel 6)

Tabel 6 Maardu piirkonna vaatluspunktid (Joonis 20)

Punkti nr	Nimi
1	Maardu järve väljavool Kroodi oja (Joonis 21, Joonis 22)
2	Lõunakarjääri väljavool Maardu järve (Joonis 23)
3	Lõuna poolt Maardu järve sissevool (Joonis 24)
4	Maardu kaevanduse väljavool strekist (Joonis 25)
5	Maardu põhjakarjääri ja kaevanduse väljavool (Joonis 26)
6	Kroodi oja enne suubumist merre (Joonis 27)
7	Ülgase kaevanduse väljavool veekõrvaldusstollist (Joonis 28)
8	Põhjakarjääri tranšee (Joonis 29)
9	Põhjakarjääri tranšee (Joonis 30)
10	Lõunakarjääri tranšee (Joonis 31)
21	Põhjakarjääri tranšee (Joonis 32)
22	Ülgase savikarjäär (Joonis 33)



Joonis 21 Maardu järve väljavool Kroodi oja läbi teetruubi, punkt 1



Joonis 22 Maardu järve väljavool Kroodi oja, punkt 1.1



Joonis 23 Lõunakarjääri väljavool Maardu järve, punkt 2



Joonis 24 Lõuna poolt Maardu järve sissevool, punkt 3



Joonis 25 Maardu kaevanduse väljavool strekist, punkt 4



Joonis 26 Maardu põhjakarjääri ja kaevanduse väljavool, punkt 5



Joonis 27 Kroodi oja enne suubumist merre, punkt 6



Joonis 28 Ülgase kaevanduse väljavool veekõrvaldusstollist, punkt 7



Joonis 29 Põhjakarjääri tranšee, punkt 8



Joonis 30 Põhjakarjääri tranšee, punkt 9



Joonis 31 Lõunakarjääri tranšee, punkt 10



Joonis 32 Põhjakarjääri tranšee, punkt 21



Joonis 33 Ülgase savikarjäär, punkt 22

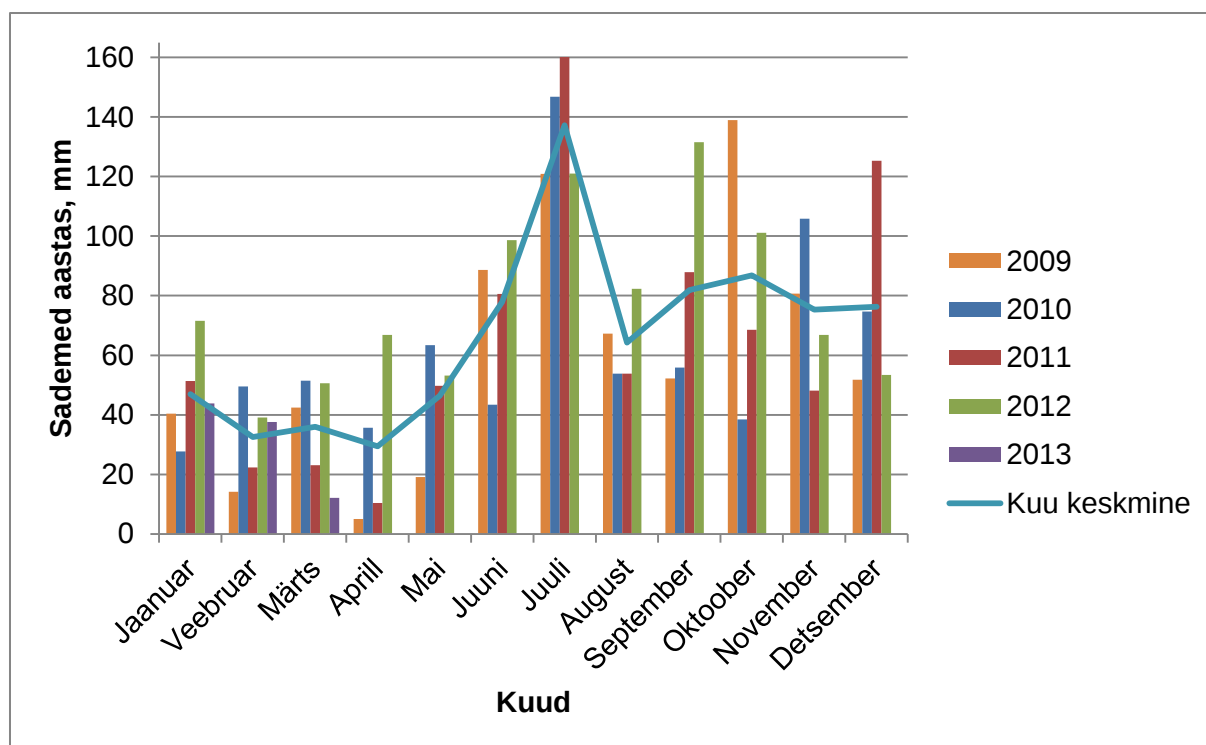
4.2. Perioodilisus

Välitoid teostati kord kvartalis (II, III, IV kvartalis) kahe aasta jooksul, kus mõõdeti kõigis vaatluspunktides pH, elektrijuhtivus, temperatuur, veetase, vooluhulk ja võeti veeproovid. Lisaks toimus vaatlusvälitoid.

4.3. Sademed

Maardu piirkonnas asub 4 ilmavaatlusjaama: Pakri MJ (meteoroloogiajaam), Tallinn-Harku AJ (aeroloogiajaam, kus lisaks aeroloogiavaatlustele tehakse meteoroloogiavaatlusi), Kehra HJ (hüdromeetriaajaam, kus lisaks hüdrololoogilistele vaatlustele tehakse meteoroloogiavaatlusi) ja Vanaküla HJ. Sademete andmed on võetud Tallinn-Harku AJ järgi kuna jaam asub 26 km kaugusel vaadeldavast piirkonnast. Pakri MJ asub 67 km kaugusel, Kehra HJ asub 44 km kaugusel ja Vanaküla HJ asub 51 km kaugusel.

Sademeterohkeim kuu on vaatlusperioodil juuli. Sademeid on rohkem olnud ka septembris, oktoobris ja juunis (Joonis 34).



Joonis 34 Sademete hulk aastatel 2009-2013 [11]

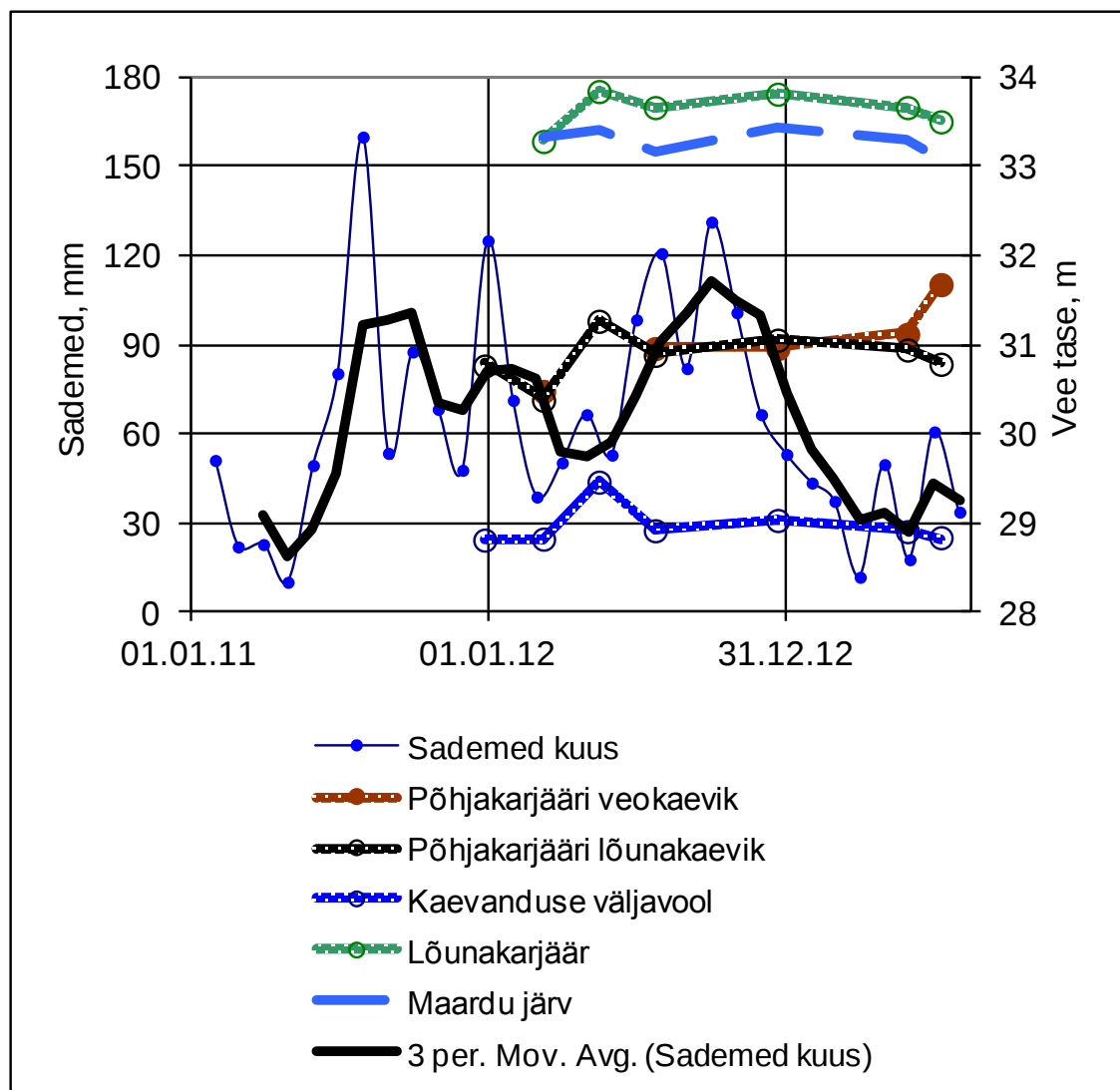
Sademete hulk mõjutab vooluvee kogust ja veetaset.

4.4. Sademete mõju veetasemele

Veetase mõõtmispunktides, taseme muutlikkuse alanevas järjestuses (Tabel 7).

Tabel 7 Veepinna absoluutkõrgus vaadeldava ala peamistes veekogudes

Mõõtmispunkt	Mõõtmispäev							Keskmine tase, m	Ligikaudsed 95% rajad, m			
	27.12.11	08.03.12	15.05.12	23.07.12	20.12.12	28.05.13	08.07.13		Standard	min	max	+/-
9 Põhjakarjääri veokaevik		30.49		30.97	30.97	31.13	31.69	31.05	0.43	30.2	31.9	1.7
8 Põhjakarjääri lõunakaevik	30.77	30.39	31.27	30.89	31.06	30.95	30.79	30.88	0.28	30.3	31.4	1.1
4 Kaevanduse väljavool	28.82	28.83	29.47	28.93	29.04	28.92	28.85	28.98	0.23	28.5	29.4	0.9
10 Lõunakarjäär		33.29	33.85	33.67	33.82	33.67	33.51	33.64	0.21	33.2	34.1	0.8
1.1. Maardu järv		33.32	33.40	33.16	33.43	33.29	33.07	33.28	0.14	33.0	33.6	0.6



Joonis 35 Seos sademete hulga ja veetasemete vahel

Mõõdetud veetasemete kõrvutamine sademete hulgaga näitab, et:

- Veetase lõunakarjääris ja ka kaevanduses ei sõltu sademetest eriti palju, mis tähendab, et äravool neist on suhteliselt hea.
- Veetaseme tõus oli märgatav vaid 2012. a kevadel, pärast lumerikast talve.
- Maardu järve veetase on veidi, keskmiselt 0,36 m madalam kui lõunakarjääris. Kuna pole märgata vee liikumist karjääri ja järve ühendavas kraavis, tuleb eeldada, et suurem osa lõunakarjääri veest liigub karjäärist kaevandusse ja sealt Kroodi ojja.
- Kõige rohkem kõigub vee tase põhjakarjääri veokaevikus.
- Pika kuivaperioodi (sügis 2012...suvi 2013) jooksul vee tase langes kõigis veekogudes paarikümne sentimeetri võrra, välja arvatud põhjakarjääri veokaevik.
- Põhjakarjääri kaevikud (tranšeed) on hüdrauliliselt seotud.

4.5. Vooluvee koguse sõltuvus sademetest

Paljude küsimuste lahendamiseks on kasulik teada, kui suur osa kaevandusveest moodustub otseselt sademetest ja kui suur osa tekib maapõues akumulatsioonist või kaevandatud alal retsirkuleerivast veest. Selle analüüsiks on TTÜ Mäeinstituudis koostatud analüütiline mudel mida kasutati Eesti Põlevkivi kaevandustest ja karjäärdest välja pumbatud vee päritolu hindamiseks. [10, 33]. Kasutasime seda mudelit ka käesoleva töö raames (Tabel 18)

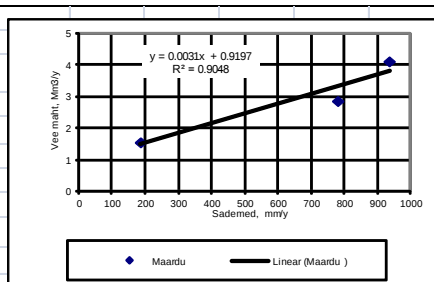
Tabel 8 andusvee teke otsestest sademetest ja põhjavee sissevoolust

KAEVANDUSVEE MOODUSTUMISE ANALÜÜS				
Kaevandus	Maardu			
Trendi võrrand		Q=a X+ b ehk Q= a W + b		
Empiirilised tegurid		a	b	
Korrelatsioonitegur	R ²	mln m ³ /mm	mln m ³	
Periood:			"Põhjavesi"	
2011...2013 6 kuud	0.86	0.0031	0.92	
"Põhjavesi"	Q _o	Q _o = R + G		
Retsirkulatsioon, mln m ³ /y	R			
Põhjavee eritumus, mln m ³ /y	G			
Aurumine, mm/y	E	E = z · W		2011...2013 6 kuud
Aurumistegur	z	0,6...0,8	z =	0.6 0.7 0.8
Empiiriline tegur a' sõltuvalt aurumisest z:			a' =	0.0078 0.0103 0.0155
Keskmine veeärastus, mln m ³ /y	Q _{avg}			2.87 2.87 2.87
Keskmine sademete hulk, mm/y	W _{avg}			635 635 635
Põhjaveekomponendi osalus	q	b / Q _{avg}		0.32 0.32 0.32
Järeldus:				
Kroodi oja vesi moodustub infiltratsiooniala pindala on, km ²	F	32 % ulatuses põhjaveest	Sademed tulevad alalt, mille	
ja selle arvutuslik raadius		R = (F / π) ^{0.5}		7.7 10.3 15.4

Y-axis: Vee maht, m³/y
X-axis: Sademed, mm/y

Equation: $y = 0.0031x + 0.9197$
R² = 0.9048

Legend: ◆ Maardu — Linear (Maardu)



Metoodika kohaselt leitakse lineaarne seos mingil ajavahemikul, soovitatavalt aasta jooksul ja sadanud ja kaevandeist välja pumbatud, antud juhul voolanud vee koguse vahel. Seose graafik on joonise paremas ülemises nurgas. Lineaarvõrrandi konstant (antud juhul 0,93 mln m³/a) on Kroodi oja mere voolav aastane vee kogus, mis ei sõltu sademest. Tegur 0,0031 mln m³/mm näitab, mitu miljonit kuupmeetrit voolavast veest tekkis sademete ühest millimeetrist. Antud juhul 3,1 tuh m³/mm.

4.6. Vee liikumissunad ja veetasemed

Uuringu piirkonnas on seis- ja vooluvesi. Seisev vesi on vaatluspunktides 8, 9, 10, 21, 22. Vooluvesi on mõõtmispunktides 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 (Joonis 20, Tabel 9).

Tabel 9 Vooluhulk, m³/päevas

Kuupäev	Punkt 1	Punkt 2	Punkt 3	Punkt 4	Punkt 5	Punkt 6	Punkt 7
27.12.2011	vesi liiga madal	11845,44	5918,4	8406,72	8026,56	45852,48	34,56
15.05.2012	1036,8	vesi seisis	2773,44	8510,4	13677,12	46310,4	51,84
23.07.2012	vesi liiga madal	vesi seisis	vesi liiga madal	12191,04	9348,48	23371,2	25,92
20.12.2012	vesi seisis	vesi seisis	vesi seisis	22109,76	11482,56	42577,92	34,56
28.05.2013	vesi liiga madal	vesi seisis	2160	14247,36	9875,52	32883,84	51,84
8.07.2013	vesi liiga madal	vesi seisis	69,12	7248,96	7732,8	20450,88	43,2
Keskmine	1036,8	11845,44	2730,24	12119,04	10023,84	35241,12	40,32

Veetasemete mõõtmiseks paigaldati kindelpunktid, mille kõrgused mõõdeti ja lähtuvalt neist määrati veetaseme absoluutkõrgus (Tabel 10).

Tabel 10 Mõõtmispunktide veetasemete absoluutkõrgus

Punkti nr	15.12.2011	27.12.2011	8.03.2012	15.05.2012	23.07.2012	20.12.2012	28.05.2013	8.07.2013
1 p			33,32	33,40	33,18	33,43	33,29	33,06
1.1 p		32,26	32,08	32,12	ei voola	32,17	32,12	ei voola
2 p	33,78		33,65	33,80	33,66	33,83	33,62	33,48
3. p		33,66	33,31	33,45	33,43	33,49	33,40	33,35
4. p		28,82	28,83	29,47	28,93	29,04	28,92	28,85
5. p	28,32	28,30	28,24	28,41	28,31	28,32	28,27	27,23
6.1. p		5,59		5,62	5,53	5,57	5,53	5,53
6.2. p		5,63		5,68	5,54	5,62	5,57	5,54
6.3. p		5,64		5,71	5,53	5,65	5,61	5,58
7. p								
8. p		30,77	30,39	31,27	30,89	31,06	30,95	30,79
9. p			30,49		30,97	30,97	31,13	31,69
10. p			33,29	33,85	33,67	33,82	33,67	33,51

4.7. Vee kvaliteet

Maardu piirkonna uuringu vaadeldav vesi jaguneb seis- ja vooluveeks. Vee kvaliteedi seisundi hindamises kasutame Keskkonnaministri määruse nr 44 “Pinnaveekogumite moodustamise kord ja nende pinnaveekogumite nimestik, mille seisundiklass tuleb määrata, pinnaveekogumite seisundiklassid ja seisundiklassidele vastavad kvaliteedinäitajate väärtused ning seisundiklasside määramise kord” lisasid 2, 4 ja 5 (Tabel 11, Tabel 12). Lisas 2 antakse pinnaveekogumid Lääne-Eestis, mille seisundiklass tuleb määrata. Nende hulgas on Maardu järv, see on kantud **II tüübi** alla: vee keskmise karedusega madal järv (seisund määratakse analüüsi tulemuste aritmeetilise keskmisena). Kroodi oja ei ole kantud nimistusse, kuid põhimõtteliselt vastab **tüübile I B**, heledaveelised ja vähese orgaanilise aine sisaldusega (KHT_{Mn} 90%-ne väärtus alla 25 mgO/l), jõed valgala suurusega 10-100 km². Karjääri transeede vett saab ainult võrrelda Maardu järve ja Kroodi oja seisundi ja seisundinäitajatega. Lisa 4 hõlmab vooluvee nõudeid ja lisa 5 seisuveekogusid.

Tabel 11 Maismaa seisuveekogude pinnaveekogumite ökoloogiliste seisundiklasside piirid [48]

Kvaliteedinäitaja	Ühik	Väga hea klass		Hea klass		Keskmine klass		Halb klass		Väga halb klass	
pH	pH ühik	7	8	> 8	8,3	> 8,3	8,8	> 8,8	9	< 6	> 9
Fosforisisaldus (Püld)	mg/l	< 30		30	60	> 60	80	> 80	100	> 100	
Lämmastikuisaldus (Nüld)	mg/l	< 500		500	1000	> 1000	1500	> 1500	2000	> 2000	

Tüüp II: vee keskmise karedusega madal järv (analüüsitulemuste aritmeetiline keskmine)

Tabel 12 Vooluveekogude pinnaveekogumite ökoloogiliste seisundiklasside piirid [49]

Kvaliteedinäitaja	Ühik	Väga hea klass		Hea klass		Keskmine klass		Halb klass		Väga halb klass	
Biokeemiline hapnikutarve (BHT5)	Aritmeetiline keskmine mg O ₂ /l	< 1,8		1,8	3	> 3	4	> 4	5	> 5	
Lämmastikuisaldus (Nüld)	Aritmeetiline keskmine mg N/l	< 1,5		1,5	3	> 3	6	> 6	8	> 8	
Fosforisisaldus (Püld)	Aritmeetiline keskmine mg P/l	< 0,05		0,05	0,08	> 0,08	0,1	> 0,1	0,12	> 0,12	
NH ₄	90 % tagatusega väärtus mg N/l	< 0,1		0,1	0,3	0,3	0,45	0,45	0,6	> 0,6	
pH	10 % tagatusega väärtus pH ühik	6	9	6	9	6	9	6	9	< 6	9 >

Tüüp I B, II B ja III B

Tabel 13 Vee keemia analüüside tulemused (vt. 8.1, 8.2, 8.3 Graafilised lisad)

Kuupäev	Temperatuur, °C	pH	Elektrijuhtivus, µS/cm	Püld, mg/l	Nüld, mg/l	SO ₄ , mg/l	NH ₄ , mg/l	Hõljuvaine, mg/l	BHT7, mgO ₂ /l	KHT Mn, mgO/l
Maardu järve väljavool Kroodi oja, punkt 1										
27.12.2011	-	-	-	-	-	-	-	18	4,4	7,8
15.05.2012	13,8	8,85	646	0,043	1,64	-	0,026	7	8,1	12
23.07.2012	18,9	8,8	583	0,036	1,7	149	0,002	2	3	9,1
20.12.2012	0,6	8,07	667	0,005	1,66	239	0,092	4	3	9,8
28.05.2013	17,7	8,41	621	0,035	0,53	188	0,073	12	3,1	9,4
8.07.2013	22,9	8,85	567	0,033	0,969	192	0,138	6	2	9,6
Keskmine	14,8	8,60	617	0,030	1,300	192	0,066	8	3,933	9,617
Lõuna karjäärast väljavool Maardu järve, punkt 2										
27.12.2011	-	-	-	-	-	-	-	7	3,3	5
15.05.2012	12	8,43	1406	0,039	0,541	-	0,028	2	2,3	3,8
23.07.2012	15,3	7,65	1453	0,068	0,636	378	-	2	3	4,3
20.12.2012	0,3	7,9	1170	0,02	0,109	371	0,038	2	3	4,8
28.05.2013	16,6	7,85	1240	0,078	0,668	333	0,106	14	1,8	6,2
8.07.2013	19,6	8,16	1317	0,054	0,463	625	0,096	2	1,3	5,1
Keskmine	12,8	8,00	1317	0,052	0,483	427	0,067	5	2,450	4,867
Sissevool Maardu järve lõuna poolt, punkt 3										
27.12.2011	-	-	-	-	-	-	-	7	2,5	12
15.05.2012	7,2	8,04	644	0,064	5,52	-	0,545	7	3,8	13
23.07.2012	10,8	8,09	789	0,144	3,28	81	0,332	2	3,1	6,6
20.12.2012	0,1	7,93	696	0,062	1,71	60	0,03	6	3	6,7
28.05.2013	10	8,02	712	0,109	6,51	75	0,616	20	1,1	7
8.07.2013	19,9	8,24	776	0,125	6,22	145	0,194	2	1,9	3,7
Keskmine	9,6	8,06	723	0,101	4,648	90	0,343	7	2,567	8,167
Maardu kaevanduse väljavool, punkt 4										
27.12.2011	-	-	-	-	-	-	-	9	1	2,2
15.05.2012	9,7	7,07	3120	0,012	0,84	-	0,039	6	1,1	2,4
23.07.2012	11,5	7,06	3230	0,058	0,886	497	0,047	3	3	1,7
20.12.2012	5,2	7,21	2950	0,012	0,341	-	0,038	5	3	2,7
28.05.2013	9,8	7,03	3030	0,027	1,02	1664	0,062	18	1	2,5
8.07.2013	11,2	7,06	3120	0,041	0,547	2139	0,113	3	1	1,9
Keskmine	9,5	7,09	3090	0,030	0,727	1433	0,060	7	1,683	2,233
Maardu kaevandusest väljavoolav vesi teisel pool teed, punkt 5										
27.12.2011	-	-	-	-	-	-	-	11	1	2,2
15.05.2012	10,5	7,04	3040	0,035	1,68	-	0,073	6	1	1,5
23.07.2012	12,2	7,23	3210	0,043	0,652	-	0,053	2	3	1,3
20.12.2012	6,5	7,13	2900	-	1,03	1083	0,053	6	3	2,9
28.05.2013	11	7,03	2980	0,033	1,13	1351	0,067	12	1	2,6
8.07.2013	12,4	7,08	3090	0,024	0,624	2107	0,106	2	1	2,2
Keskmine	10,5	7,10	3044	0,034	1,023	1514	0,070	7	1,667	2,117
Kroodi oja enne merre suubumist, punkt 6										
27.12.2011	10	-	-	-	-	-	-	10	3,8	5
15.05.2012	10,3	7,93	2030	0,039	2,32	-	0,617	15	5,6	5,6
23.07.2012	13,5	7,93	2470	0,067	3,57	497	0,283	9	4	4,7
20.12.2012	2	7,94	2120	0,066	1,95	475	0,07	9	3	5,2
28.05.2013	12,4	7,93	2190	0,086	3,03	888	0,537	52	2,3	7,4
8.07.2013	16,6	8,1	2110	0,095	2,13	1361	0,296	4	2,7	6,2
Keskmine	10,8	7,97	2184	0,071	2,600	805	0,361	17	3,567	5,683
Ülgase kaevanduse väljavool, punkt 7										
27.12.2011	-	-	-	-	-	-	-	2	1,6	3,2
15.05.2012	6,5	7,33	1468	0,025	0,414	-	0,156	7	1,3	1,6
23.07.2012	6,9	7,16	1524	0,026	0,595	402	0,087	2	3	2,6
20.12.2012	0,9	7,9	1357	-	1,03	428	0,209	49	3	2,6
28.05.2013	6,7	8	1431	0,009	7,01	532	0,175	14	1	2
8.07.2013	7,7	8,11	1448	0,016	1,2	797	0,174	2	1	2,4
Keskmine	5,7	7,70	1446	0,019	2,050	540	0,160	13	1,817	2,400

Põhja karjääri tranšee, punkt 8										
27.12.2011	-	-	-	-	-	-	-	22	3,8	5,2
15.05.2012	15,8	7,95	1858	0,038	0,414	-	0,065	8	3,6	5,9
23.07.2012	18,7	7,85	2660	0,04	0,16	-	0,038	2	3	3,1
20.12.2012	1	7,27	2060	0,005	1,04	474	0,063	8	3	3,7
28.05.2013	15,2	7,3	1969	0,067	0,815	832	0,071	10	3	4,7
8.07.2013	23	8,12	2280	0,021	0,76	1660	0,076	2	1,6	3,4
Keskmine	14,7	7,70	2165	0,034	0,638	989	0,063	9	3,000	4,333
Põhja karjääri tranšee, punkt 9										
27.12.2011	-	-	-	-	-	-	-	9	3	3,2
15.05.2012	16,3	7,58	3710	0,023	1,2	-	0,016	22	2,6	4,9
23.07.2012	18,5	7,65	3800	0,038	0,233	-	0,019	21	3	3,4
20.12.2012	1,4	8,03	3720	-	0,967	1126	0,08	27	3	5,3
28.05.2013	17,9	7,32	3600	0,177	1,46	1263	0,039	32	4,8	5,4
8.07.2013	22,7	7,84	3760	0,007	1	3761	0,078	14	2,5	2,9
Keskmine	15,4	7,68	3718	0,061	0,972	2050	0,046	21	3,150	4,183
Lõuna karjääri tranšee, punkt 10										
27.12.2011	-	-	-	-	-	-	-	3	2,1	3,8
15.05.2012	15,4	8,53	1432	0,033	0,666	-	0,028	15	3,3	4,2
23.07.2012	19,6	8,38	1413	0,04	0,278	590	0,036	13	3	4,5
20.12.2012	0	7,69	1403	0,01	2,24	347	0,074	3	3	3
28.05.2013	18,6	8,46	1274	0,031	0,472	494	0,125	4	3,3	4,5
8.07.2013	22,8	8,51	1297	0,021	0,387	376	0,094	4	2,5	3,2
Keskmine	15,3	8,31	1364	0,027	0,809	452	0,071	7	2,867	3,867
Põhja karjääri tranšee, punkt 21										
27.12.2011										
15.05.2012	14,1	7,71	2720							
23.07.2012	16	7,05	2760							
20.12.2012										
28.05.2013	14,9	7,07	2250							
8.07.2013	26,3	7,5	2890							
Keskmine	17,8	7,3325	2655							
Ülgase savikarjäär, punkt 22										
27.12.2011										
15.05.2012	14,7	8,62	334							
23.07.2012										
20.12.2012										
28.05.2013										
8.07.2013	25,3	9	301							
Keskmine	20,0	8,81	318							

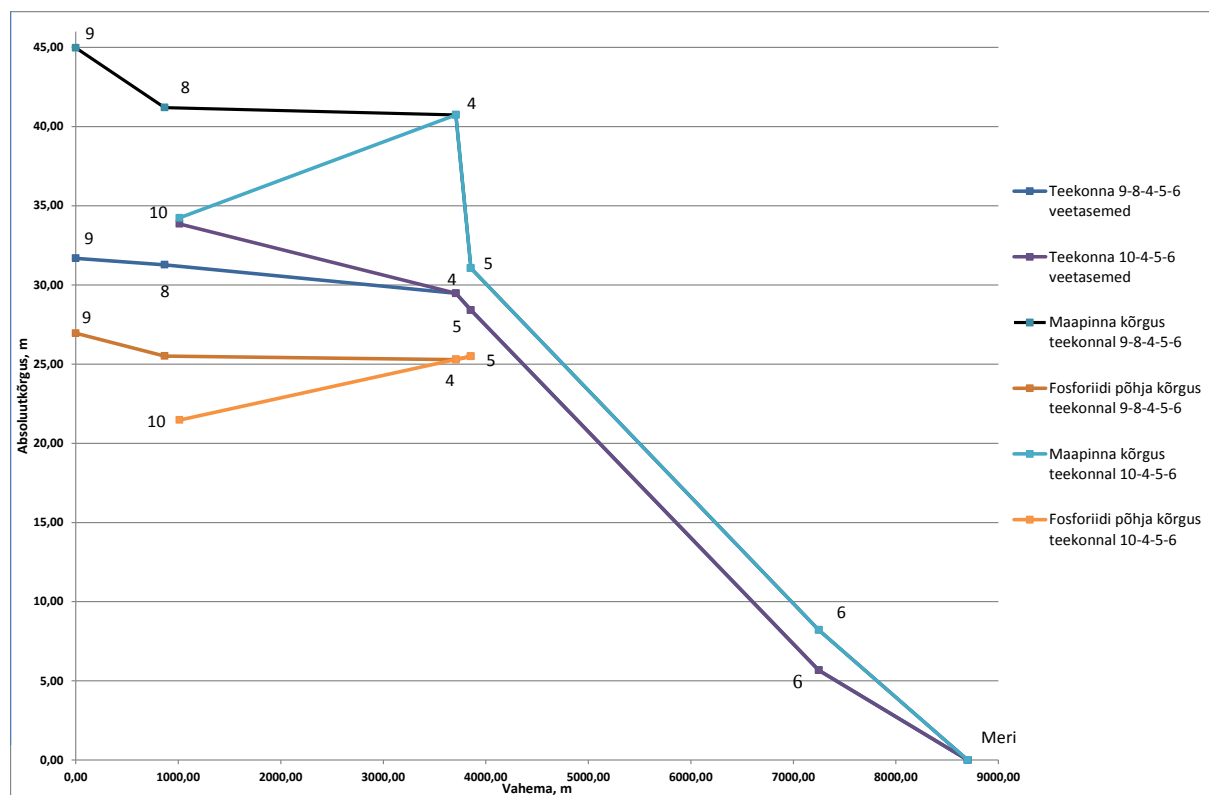
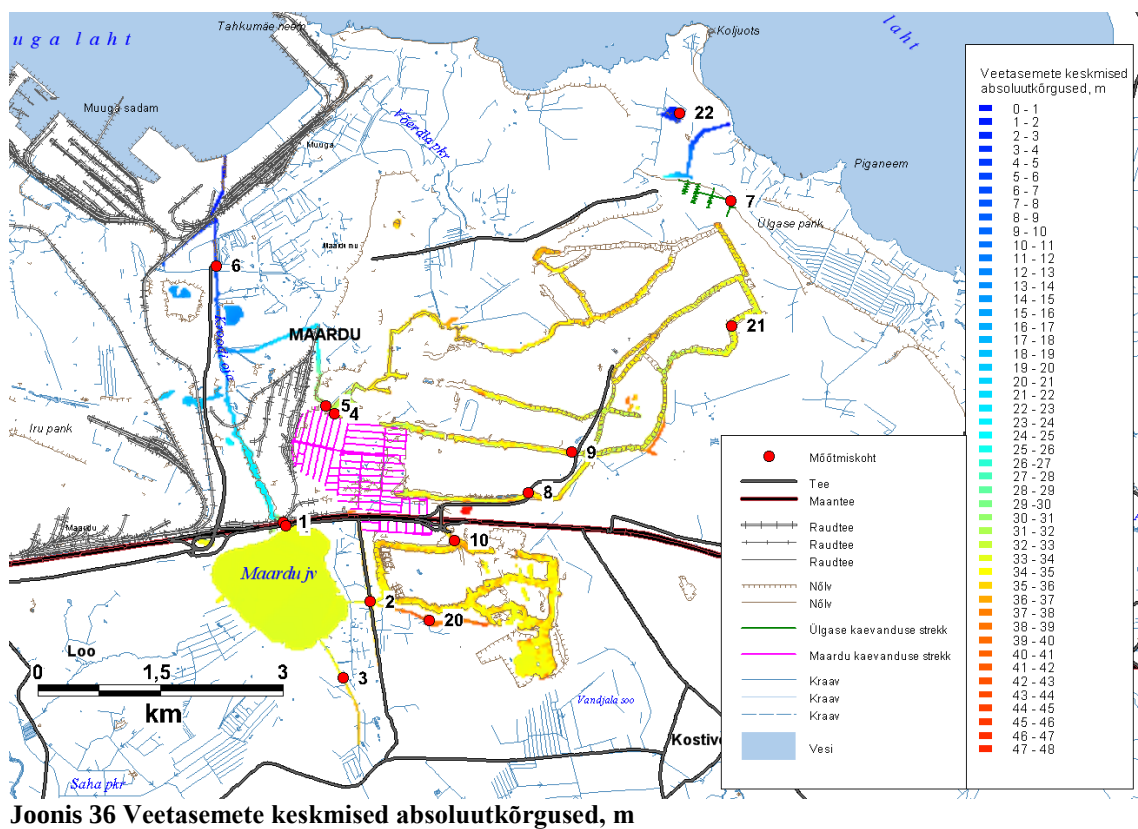
5. Uuringutulemused ja arutelu

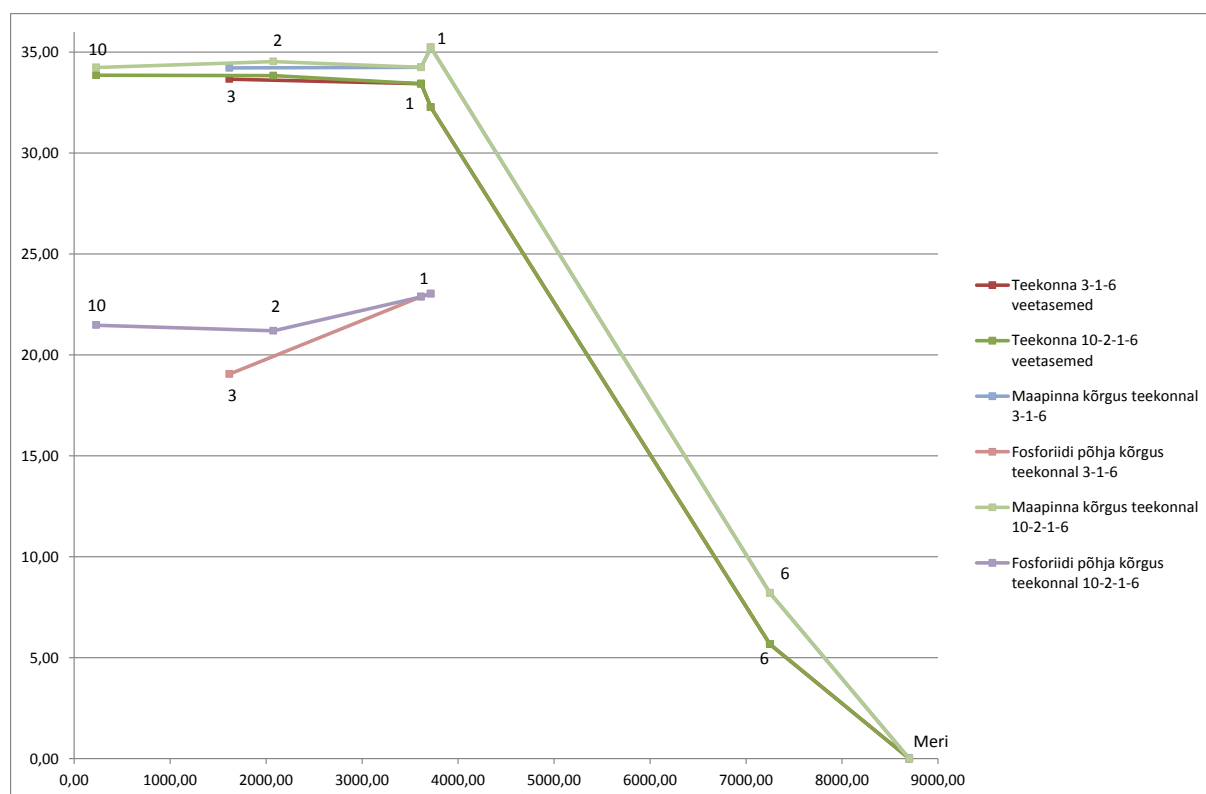
Uuringu tulemusena koguti hulgaliselt andmeid Maardu fosforiidilevila tehnogeense ala kohta, mille järgi on võimalik teha järgnevad järeldused.

5.1. Vee liikumissuundade veetasemete kaart Maardu uuringualal

Lähtudes mõõdetud veetasemete keskmistest absoluutkõrgustest on võimalik järeldada, et vee liikumise teid on 4 (Joonis 36). Esime teekond algab Maardu järve lõunast suubuva ojaga, siis edasi Maardu järvest väljavool Kroodi oja ja sealt edasi mere poole (teekond 3-1-6) (Joonis 38). Teine teekond saab alguse lõunakarjäärist, voolates mööda karjääri ja järve ühendavat kraavi järve poole ja sealt edasi läbi Kroodi oja mere poole (teekond 10-2-1-6) (Joonis 38). Kolmas teekond algab lõunakarjäärist ja liigub läbi kaevanduse ja põhjakarjääri tranšeede Maardu kaevanduse väljavoolu suunas tee alt läbi ja mööda kraave mere poole (teekond 10-4-

5-6) (Joonis 37). Neljas vooluteekond alguse põhjakarjääri tranšeedest liikudes edasi Maardu kaevanduse väljavoolu suunas, sealt Keemikute tee alt läbi ja mööda kraave mere poole (teekond 9-8-4-5-6) (Joonis 37).





Joonis 38 Teekondade 3-1-6 ja 10-2-1-6 veetasemed

5.2. Veekvaliteet ja vooluhulgad Maardu uuringualal

Vee seisundit hinnatakse eelpool toodud Keskkonnaministri määruse nr 44 selle lisade 4,5 järgi (Tabel 11, Tabel 12). Vastavalt sellele antakse hinnangud uuritavatele vee objektidele, neist suurim on Maardu järv, seepärast kõigepealt antakse iseloomustus seisuveekogudele, mida piirkonnas on kokku 5. Nende alla kuuluvad karjäärade trannšeed, mis nüüd on muutunud veekogudeks, neist võib vee pindmine väljavool toimuda vaid suurvee ajal. Maardu fosforiidi piirkonna vee füüsikalised ja keemilised omadused, mille põhjal määratakse vee seisundi ökoloogiline hinnang kõigis vaatluspunktides (Tabel 14).

Tabel 14 Maardu järve ja kaevandatud alade tehnoloogiliste veekogude (kraavide) vee ökoloogiline seisund füüsikaliste ja keemiliste näitajate järgi (aritmeetilised keskmised kõigist vaatlusandmetest aastatel 2011-2013).

Nr, Koht	pH ühik	P _{Üld} , µg/l	N _{Üld} , µg/l	Üldinnang	Elektrijuhtivus, µS/cm	SO ₄ ²⁻ , mg/l	Hõljuvaine, mg/l	BHT ₇ , mgO ₂ /l	KHT _{Mn} , mgO ₂ /l
1. Maardu järve seisund	8,59	30,4	1299	—	617	192	8,2	3,77	9,6
	Kesine	Hea	Kesine	Kesine	—	—	—	—	—
2. Lõunakarjääri seisund	8,00	52	483	—	1317	427	4,8	2,45	4,9
	Hea	Hea	Väga hea	Hea	—	—	—	—	—
8. Põhja karjääri seisund	7,7	34	638	—	2165	988	8,7	3,00	4,33
	Väga hea	Hea	Hea	Kesine¹	—	—	—	—	—
9. Põhja karjääri seisund	7,7	61	972	—	3718	2050	21	3,15	4,19
	Väga hea	Kesine klass	Hea	Kesine²	—	—	—	—	—
10. Lõuna karjääri seisund	8,31	27	809	—	1364	452	5,3	5,80	3,87
	Kesine	Väga hea	Hea	Kesine	—	—	—	—	—

Märkus: ^{1, 2} – Kaalutud ekspertarvamus, seletused tekstis. Boldis on näidatud kõige halvem klass iga vaatluspunkti kohta.

Maardu järve (punkt 1) ökoloogiline seisund füüsikalise-keemiliste näitajate järgi

Maardu järve pH ja N_{Üld} näitajate poolest kesise ökoloogilise seisundiga, keskmine pH väärtus läheneb veevaesel ajal, kesktalvel ja kesksuvel, 9-le ja üldlammastik (N_{Üld}) ületab keskmise aritmeetilise väärtusena 1200 µg/l. Mõnevõrra kõrgem looduslikust on vees sulfaatiooni (SO₄²⁻) sisaldus, kuni 239 mg/l, keskmiselt 192 mg/l ning keemiline hapnikutarvidus (KHT_{Mn} mgO/l), vahemikus 7,8-12 mgO/l, keskmiselt 9,6 mgO/l. Kokkuvõtteks: üldiste füüsikalise-keemiliste näitajate järgi on vee seisund viimase 2 aasta jooksul olnud kesine. Osaliselt on selles süüdi põllumajanduselt tulenev lammastiku ja fosfori reostus, leelisuse kasv võib olla seotud ka Maardu leiukoha Lõuna karjääriga.

Maardu karjäärides paiknevate seisuveekogude ökoloogiline seisund keskmiste aritmeetiliste näitajate järgi. Karjäärides puistangute vahel on moodustunud seisuveekogud (vaatluspunktid 2, 8, 9, 10), nende ökoloogilist seisundit saab hinnata keskkonnaministri 28.07.2009.a määruse nr 44 lisa 5 järgi (Tabel 11).

Vaatluspunkt 2 Lõunakarjääri lääneservas. Keskmine pH punktis 2 on 8,0, mis on täpselt hea ja väga hea ökoloogilise seisundi piiril, üldfosfori (P_{Üld}) sisaldus ületab 2 mikrogrammiga väga hea ökoloogilise seisundi piiri, aga üldlammastiku (N_{Üld}) kontsentratsioon jääb juba väga hea ökoloogilise näitaja piiridesse. Põhimõtteliselt võib lugeda vee seisundit füüsikaliste ja keemiliste näitajate järgi heaks, kuigi kõrge elektrijuhtivus (1317 µS/cm) ja sulfaatiooni (SO₄²⁻) sisaldus (427 mg/l) viitab püriidi leostusele Maardu järve idakalda puistangutest, reostunud vee sattumine järve võib toimuda otse läbi puistangute. Võrreldes lõuna poolt Maardu järve voolava veega on viimase elektrijuhtivus (723,4 µS/cm) ja sulfaatiooni sisaldus (90 mg/l) hoopis väiksem (Tabel 14, Tabel 15).

Vaatluspunkt 8 on Maardu Põhjakarjääri lõunaosas. Vooluta veekogu puistangute vahel. Aritmeetilise keskmise järgi on pH, üldfosfori ja üldlammastiku näitajad head ja üldhinnangu võib lugeda heaks, kui ei oleks jälle väga kõrget sulfaatide sisaldust (keskmiselt 989 mg/l) ja kõrget elektrijuhtivust (2165 µS/cm), mis viitavad vee kõrgele mineraalsusele ning olulisele metallide leostusele puistangutest. Nende hulgas võivad olla mitmeid ohtlikke elemente, mis ei võimalda vee ökoloogilist seisundit ekspertarvamusena lugeda heaks, vaid ainult **kesiseks**.

Vaatluspunkt 9 on eelmisest umbes 650-700 m kaugusel kirde suunas. Vee ökoloogiline seisund ja koostise aritmeetilised keskmised on võrdlemisi sarnased eelmisega punktiga: pH = 7,68, üldfosfor – 61 µg/l, üldlämmastik – 972 µg/l, kuid oluliselt kõrgemad näitajad olid elektrijuhtivusel - 3718 µS/cm, sulfaatioonil (SO_4^{2-}) – 2050 mg/l, ka hädusus – 12,7 mg/l, bioloogiline hapnikutarvidus (BHT_7) oli kõrge – 3,00 mgO₂/l ja keemiline hapnikutarve – 4,18 mgO₂/l. Kuigi vooluvee jaoks loetakse NH_4^+ oluliseks näitajaks, kus alla 0,1 mg/l loetakse seda vee väga hea kvaliteedi näitajaks, siis antud punktis oli ammoniumi (NH_4^+) sisaldus ainult 0,046 mg/l. Vee ökoloogilist seisundit ei saa lugeda heaks, sest väga kõrged sulfaatiooni sisalduse ja elektrijuhtivuse väärtused näitavad, et keskmiselt ainult sulfaatiooni on ühes liitris vees 2 grammi, kindlasti on vees lahustunud rida ohtlikke mikroelemente, mida pole määratud. Joogiks vesi ei kõlba, nagu ka tehnoloogiliseks, seepärast tuleb sellist vett lugeda **kesiseks**.

Vaatluspunkt 10 paikneb Lõunakarjääri põhjaservas. See piirkond kaevandati 1980ndate aastate jooksul ja puistangud ei ole veel murenenud. Püriit laguneb praegugi ja seepärast on vees küllalt kõrge sulfaatiooni sisaldus – 452 mg/l, Suhteliselt kõrge on pH = keskmiselt 8,31, mis viitab suurele Ca^{2+} ja Mg^{2+} leostumisele sulfaatide mõjul. Kuna pH sisaldus vastab ainult kesisele ökoloogilisele klassile, siis vee üldine ökoloogiline klass on samuti **kesine**. Vee koostis on väga sarnane vaatluspunkti 2 vee koostisega. See on loomulik, sest mõlemad punktid 2 ja 10 on ju Lõunakarjääris moodustunud seisuveekogumis.

Maardu fosforiidimaardla piirkonna vooluveekogude pinnaveekogumite ökoloogilised seisundiklassid füüsikalise-keemiliste kvaliteedielementide ning kvaliteedinäitajate järgi

Vooluveelised pinnaveekogumid Maardu piirkonnas on: punkt 3, sissevool lõuna suunast põllumajandusega piirkondadest, Maardu kaevandusest väljavool punkti 4 juures ja punkti 5 juures, Kroodi oja alamjooksul punkt 6 ja väljavool Ülgase kaevandusest punkt 7 (Joonis 20).

Tabel 15 Maardu piirkonna vooluvee pinnaveekogumite ökoloogiliste seisundi määramine füüsikaliskemiliste klasside kvaliteedinäitajate ja üldtingimuste järgi vastavalt lisale 4 keskkonnaministri määrusele nr 44 (jõustunud 28.11.2010.a).

Nr, koht	BHT ₇ , mgO ₂ /l	N _{üld} , µg/l	P _{üld} , µg/l	NH ₄ ⁺ mg N/l	pH ühik	SO ₄ ²⁻ , mg/l	Elektrijuhtivus, µS/cm	Hõljuvaine, mg/l
3. Maardu järve sissevool lõunast, vee seisund	2,57	4,648	0,101	0,343	8,06	90	723	7,3
	Hea klass	Kesine klass	Halb klass	Kesine klass	Väga hea	—	—	—
4. Väljavool fosforiidi kaevandusest, vee seisund	2,02	0,723	0,030	0,060	7,09	1433	3090	7,3
	Hea klass	Väga hea	Väga hea	Väga hea	Väga hea	—	—	—
5. Väljavool kaevandusest teisel pool teed, vee seisund	1,67	1,02	0,027	0,07	7,09	1514	2184	6,5
	Väga hea	Väga hea	Väga hea	Väga hea	Väga hea	—	—	—
6. Kroodi oja enne suubumist merre, vee seisund	3,57	2,60	0,071	0,361	7,97	805	2184	16,5
	Kesine klass	Hea klass	Hea klass	Kesine klass	Väga hea	—	—	—
7. Ülgase kaevanduse väljavool, vee seisund	1,82	2,049	0,019	0,16	7,7	540	1446	5,1
	Hea klass	Hea klass	Väga hea	Hea klass	Väga hea	—	—	—

Vooluveekogude pinnaveekogumite seisundiklasside määramisel oli kõige otstarbekam lähtuda Keskkonnaministri 28.juuli 2009.a määruse nr 44 lisa 4 järgi, tüüpide I B, II B ja III B järgi, mis vastavad kõige paremini antud tingimustele ja teostatud vee analüüsidele (Tabel 12, Tabel 15).

Vaatluspunkt 3. Sissevool Maardu järve lõunapoolsest kanalist. Varem varustas see kanal tööstuskoondise „Eesti fosforiit” rikastusvabrikut Jõelähtme jõe veega. Nüüd veepumpamist kanalisse ei toimu, seepärast on veehulgad endises kanalijärges väikesed, mõnest liitrist sekundis kuni 70 l/s. Füüsikaliskemiliste klasside kvaliteedinäitajatest ainult kaks, BHT₇ ja pH näit vastavad väga heale klassile. Üldlammastiku (N_{üld}) ja ammooniumi (NH₄⁺) sisaldused jäävad väärtustega vastavalt 4,648 mg/l ja 0,343 mg/l kesise klassi piiridesse. Üldfosfori (P_{üld}) sisalduse järgi (0,101 mg/l) aga satub vesi üldse halba klassi. Sulfaatide sisaldus on siin kõige väiksem kogu uuritud piirkonna kohta, vee elektrijuhtivus suhteliselt madal, hõljuvaint vähe. **Halvast klassist** paremat hinnangut ei võimalda anda lammastiku ja fosfori kõrge sisaldus.

Vaatluspunkt 4. Väljavool Maardu kaevandusest. Iseloomulik on vee madal temperatuur, talvel ca 5° C ja suvel 11,2-11,5° C. Ainult bioloogilise hapnikutarviduse järgi (BHT₇) kuulub vesi heasse kvaliteediklassi, kõigi teiste füüsikaliskemiliste näitajate poolest kuulub vesi väga heasse klassi. Kuid liiga kõrge elektrijuhtivus 3070 µS/cm ja sulfaatide sisaldus 1433 mg/l viitab suurele mineraalainete sisaldusele vees, mis ei luba vee klassiks nimetada

eksperthinnangu alusel kõrgemaks kui **kesine**. Veehulgad väljavoolul on küllalt suured, aritmeetiline keskmine 6 mõõtmiskorra järgi on – 140,3 l/s.

Vaatluspunkt 5. Teine väljavool kaevandusest. On oma koostiselt sarnane 4.-ga, kõik näitajad on **väga heal** tasemel, kuid jälle on kõrge sulfaatiooni sisaldus – 1514 mg/l ja kõrge elektrijuhtivus – 2184 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mis ei luba tõsta klassi kõrgemale, kui **kesine**. Keskmine vooluhulk väljavoolul oli 116 l/s. Vee temperatuur suvel on 12-12,5° C vahel, talvel sageli alla 7° C. See näitab, et suur osa vett pärineb maa-alustest kaevanduskäikudest.

Vaatluspunkt 6. Kroodi oja keskjooksul. Selles piirkonnas paiknesid varem mitmesugused kombinaadi „Eesti Fosforiit” tootmisettevõtted ja toimus kaevisest toodangu valmistamine. Siia voolavad kokku kõigist karjääridest ja Maardu järve vesi, mis edasi voolab merre. Töötava kombinaadi juures oli vee mineraalsus erakordselt kõrge; kuivjääk ulatus 7,5-9,2 g/l [60, 61]. Ega nüüdki vee seisund hea ole, sest bioloogilise hapnikutarviduse järgi 3,57 mgO₂/l kuulub see näitaja **kesisesse klassi** (Tabel 15). Mõnevõrra väiksem on sulfaatiooni sisaldus, kui kaevanduste väljavoolul, aritmeetiline keskmine on võrdne 805 mg/l. 1987.a saadi 12 vaatluskorra aritmeetiliseks keskmiseks 1734 mg/l (58) SO₄²⁻ ja B. Naumov mõõtis puistangu allikast isegi 4600 mg/l sulfaate [60, 61]. Vooluhulk ojas on küllalt suur, suvisel ajal 230-270 l/s, kevadel-sügisel ja talvel 380-540 l/s. Vee temperatuur kõigub 2 ja 16,6° C vahel, tavaliselt isegi suvel jääb 13-16° C vahele, mis näitab küllalt olulise lisana kaevanduste vett ojas. Üldlämmastiku, üldfosfori ja pH väärtuse järgi võiks vesi olla väga heast kvaliteediklassist, kuid teised näitajad ei võimalda hinnata Kroodi oja vett heasse klassi. Suur elektrijuhtivus (2184 $\mu\text{S}/\text{cm}$), kõrge hõljuvaine (keskmiselt 14,8 mg/l) ja sulfaatide sisaldus **määrab vee seisundiks kesise füüsikalis-keemilise klassi**, seejuures ei arvestata võimalike vees leiduvate ohtlike mikroelementidega.

Vaatluspunkt 7. Ülgase kaevanduse väljavool. On võetud võrdlusmaterjaliks Maardu piirkonnale, väljavoolava vee kogus on väike, keskmiselt 0,3-0,6 l/s. Vee temperatuur on suvel 6,9-7,7°, talvel +1° C. Füüsikalis-keemiliste klasside näitajate poolest vastab vesi heale ökoloogilisele seisundiklassile bioloogilise hapnikutarviduse (2,57 mgO/l), üldlämmastiku (2,049 mg/l) ja ammooniumi (0,169 mg N/l) sisalduse järgi. Üldfosfori ja pH näitajate poolest vastab vesi väga heale ökoloogilisele klassile, P_{Üld} on 0,019 mg/l (kogu piirkonna kõige madalam sisaldus) ja pH = 7,7. Hea vee jaoks on kõrge sulfaatide sisaldus, keskmiselt 540 mg/l ja elektrijuhtivus – 1446 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabel 15).

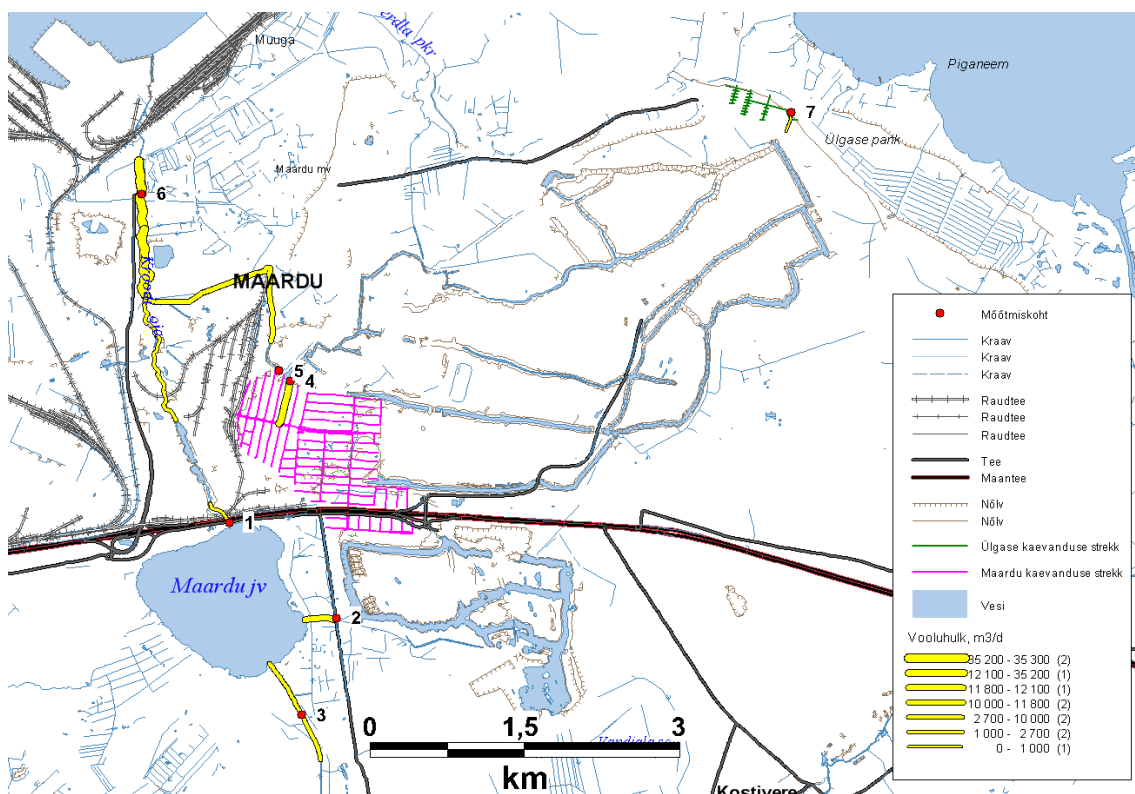
Saasteainete kogused, mis uuritava piirkonna kollektorisse, Kroodi ojja ja sealt mere jõuavad, sõltuvad nende sisaldusest (kontsentratsioonist) vees ja voolava vee kogusest (Tabel 16, Joonis 39).

Valdav osa Kroodi oja veest ja saastest pärineb väljaspoolt kaevandatud ala. Eandiks on sulfaadid, mille kindlalt annab kaevandatud ala keskmiselt 53%. Üld fosforiit (P_{Üld}) tuleb kaevandatud alalt keskmiselt 13%, üld lämmastiku (N_{Üld}) 14%, ammooniumit (NH₄) 6%, hõljuvainet 13%, biokeemiline hapnikutarve (BHT) 18% ja keemiline hapnikutarve (KHT) 16% (Tabel 16).

Orgaanilise päritoluga saastet lisavad kindlasti aiandusasum kaevanduse peal, kus vastavalt tavale lastakse maha, maa sisse ja otse kaevandusse igasugust reovett, fekaalid kaasa arvatud. Teiste saasteallikate osa, mille suublaks on Kroodi oja käesolevas töös, kooskõlas seatud ülesandega, ei käsitletud.

Tabel 16 Saasteainete absoluutkõrgused ja nende päritolu Kroodi oja vees (suures paksus kirjas on kaevandatud alalt, st lõunakarjäärist kaevanduste pärinevate saasteainete maksimaalsed osalused)

Proovikoht		Mõõtmis-päev	Vooluhulk	Pild	Nüld (TNb)	NH4	SO4	Hõljuvaine		(BHT7)		(KHTmn)					
Nr	Tingimetus		m³/d	mg/l	kg/d	mg/l	t/d	mg/l	t/d	mg/l	t/d	mgO2/l	t/d	mgO/l	t/d		
2	karjäär-järv	27.12.11	11843								7	0,08	3,3	0,039	5,0	0,06	
5	kaevandus-oja	27.12.11	8024								11	0,09	1,0	0,008	2,2	0,02	
6	oja-meri	27.12.11	45855								10	0,46	3,8	0,174	5,0	0,23	
Kaevandatud alalt talvel			19867									0,17		0,05		0,08	
			43%									37%		27%		34%	
5	kaevandus-oja	20.12.12	11482	0	0,0	1,03	0,01	0,053	0,6	1083	12	6	0,07	3	0,034	2,9	0,03
6	oja-meri	20.12.12	42581	0,066	2,8	1,95	0,08	0,07	3,0	475	20	9	0,38	3	0,128	5,2	0,22
Kaevandatud alalt talvel			11482		0,00		0,01		0,61		12,43		0,07		0,03		0,03
			27%		0%		14%		20%		61%		18%		27%		15%
5	kaevandus-oja	15.05.12	13680	0,035	0,5	1,68	0,02	0,074	1,0			6	0,08	1	0,014	1,5	0,02
6	oja-meri	15.05.12	46313	0,039	1,8	2,32	0,11	0,617	28,6			15	0,69	5,6	0,259	5,6	0,26
Kaevandatud alalt kevadel			13680		0,48		0,02		1,01				0,08		0,01		0,02
			30%		27%		21%		4%			12%		5%		8%	
5	kaevandus-oja	28.05.13	9873	0,033	0,3	1,13	0,01	0,067	0,7	1351	13	12	0,12	1	0,010	2,6	0,03
6	oja-meri	28.05.13	32880	0,086	2,8	3,03	0,10	0,537	17,7	888	29	52	1,71	2,3	0,076	7,4	0,24
Kaevandatud alalt kevadel			9873		0,33		0,01		0,66		13,34		0,12		0,01		0,03
			30%		12%		11%		4%		46%		7%		13%		11%
5	kaevandus-oja	23.07.12	9347	0,043	0,4	0,652	0,01	0,053	0,5	497	5	2	0,02	3	0,028	1,3	0,01
6	oja-meri	23.07.12	23370	0,067	1,6	3,57	0,08	0,283	6,6	497	12	9	0,21	4	0,093	4,7	0,11
Kaevandatud alalt suvel			9347		0,40		0,01		0,50		4,65		0,02		0,03		0,01
			40%		26%		7%		7%		40%		9%		30%		11%
5	kaevandus-oja	08.07.13	7731	0,024	0,19	0,624	0,00	0,106	0,82	2107	16,29	2	0,02	1	0,01	2,2	0,02
6	oja-meri	08.07.13	20453	0,095	1,94	2,13	0,04	0,296	6,05	1361	27,84	4	0,08	2,7	0,06	6,2	0,13
Kaevandatud alalt suvel			7731		0,19		0,00		0,82		16,29		0,02		0,01		0,02
			38%		10%		11%		14%		59%		19%		14%		13%
Kokku kaevandatud alalt			71981		1,4		0,1		3,6		46,7		0,5		0,1		0,2
			34%		13%		14%		6%		53%		13%		18%		16%
Ojast merre			211452		11		0,4		62		89		3,5		0,8		1,2

**Joonis 39 Vooluhulkade kaart****Mõned märkused piirkonna geokeemilise jaotuse kohta**

1. Kõige kõrgemad aritmeetilised sulfaatiooni sisaldused ja vee elektrijuhtivus iseloomustavad Maardu fosforiidimaardla maanteest põhja poole jäävat osa, kus SO₄²⁻ sisaldus jääb 989- 2050 mg/l vahele ja elektrijuhtivus ulatub 3718 µS/cm, ega lange allapoole

2165 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ilmselt sellel alal jätkub kõige intensiivsemalt püriidi oksüdeerumise protsess. Lõunakarjääris ei tõuse SO_4^{2-} sisaldus üle 452 mg/l ja elektrijuhtivus – üle 1364 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

2. Üldfosforist on kõige puhtam ala Lõunakarjääri põhjaosa, vaatluspunkt 10 ja väljavool Maardu järvest ja Põhjakarjääri lõunaosa koos kaevandustega, kus üldfosfori $\text{P}_{\text{Üld}}$ sisaldus jääb vahemikku 27-34 $\mu\text{g}/\text{l}$. Veelgi väiksem on $\text{P}_{\text{Üld}}$ sisaldus Ülgase kaevanduse väljavoolul 19 $\mu\text{g}/\text{l}$.

Selle ala ümber on keskmise üldfosfori sisaldusega (52-71 $\mu\text{g}/\text{l}$) vöönd. Kõige suurem on $\text{P}_{\text{Üld}}$ sisaldus Maardu järve sissevoolul – 101 $\mu\text{g}/\text{l}$.

3. Üldiselt on Maardu fosforiidimaardla kaevandatud ala enam püsiva keemilise koostisega, kui süsteem Maardu järv - Kroodi oja, kuhu vesi koguneb kõigist allikatest ja seguneb juba enne merre jõudmist.

5.3. Vee kvaliteedi, vee liikumissuundade, veetasemete ja vooluhulkade koondtabel

Koondtabel mõõtmisandmete kohta: mõõtmise aeg, vooluhulgad, keemiliste analüüside vastused, veetasemed (Tabel 17).

Tabel 17 Koondtabel mõõtmise andmetest (vt. 8.4 andmete koondtabel)

Kuupäev	Vooluhulk, l/s	Veetasemed, m	Temperatuur, °C	pH	Elektrijuhtivus, $\mu\text{S}/\text{cm}$	Püld, P_{04} , mg/l	Nüld, TNb, mg/l	SO_4 , mg/l	NH_4 , mg/l	Hõljuvaine, mg/l	BHT7, mgO_2/l	KHT Mn, mgO/l
Maardu järve väljavool Kroodi oja, punkt 1												
27.12.2011	vesi liiga madal	-	-	-	-	-	-	-	-	18	4,4	7,8
15.05.2012	12	33,4	13,8	8,85	646	0,043	1,64	-	0,026	7	8,1	12
23.07.2012	vesi liiga madal	33,18	18,9	8,8	583	0,036	1,7	149	0,002	2	3	9,1
20.12.2012	vesi seisis	33,43	0,6	8,07	667	0,005	1,66	239	0,092	4	3	9,8
28.05.2013	vesi liiga madal	33,29	17,7	8,41	621	0,035	0,53	188	0,073	12	3,1	9,4
8.07.2013	vesi liiga madal	33,06	22,9	8,85	567	0,033	0,969	192	0,138	6	2	9,6
Keskmine	12,0	33,27	14,8	8,60	617	0,030	1,300	192	0,066	8	3,933	9,617
Lõuna karjäärist väljavool Maardu järve, punkt 2												
27.12.2011	137,1	-	-	-	-	-	-	-	-	7	3,3	5
15.05.2012	vesi seisis	33,8	12	8,43	1406	0,039	0,541	-	0,028	2	2,3	3,8
23.07.2012	vesi seisis	33,66	15,3	7,65	1453	0,068	0,636	378	-	2	3	4,3
20.12.2012	vesi seisis	33,83	0,3	7,9	1170	0,02	0,109	371	0,038	2	3	4,8
28.05.2013	vesi seisis	33,62	16,6	7,85	1240	0,078	0,668	333	0,106	14	1,8	6,2
8.07.2013	vesi seisis	33,48	19,6	8,16	1317	0,054	0,463	625	0,096	2	1,3	5,1
Keskmine	137,1	33,68	12,8	8,00	1317	0,052	0,483	427	0,067	5	2,450	4,867
Sissevool Maardu järve lõuna poolt, punkt 3												
27.12.2011	68,5	33,66	-	-	-	-	-	-	-	7	2,5	12
15.05.2012	32,1	33,45	7,2	8,04	644	0,064	5,52	-	0,545	7	3,8	13
23.07.2012	vesi liiga madal	33,43	10,8	8,09	789	0,144	3,28	81	0,332	2	3,1	6,6
20.12.2012	vesi seisis	33,49	0,1	7,93	696	0,062	1,71	60	0,03	6	3	6,7
28.05.2013	25	33,4	10	8,02	712	0,109	6,51	75	0,616	20	1,1	7
8.07.2013	0,8	33,4	19,9	8,24	776	0,125	6,22	145	0,194	2	1,9	3,7
Keskmine	31,6	33,46	9,6	8,06	723	0,101	4,648	90	0,343	7	2,567	8,167
Maardu kaevanduse väljavool, punkt 4												
27.12.2011	97,3	28,82	-	-	-	-	-	-	-	9	1	2,2
15.05.2012	98,5	29,47	9,7	7,07	3120	0,012	0,84	-	0,039	6	1,1	2,4
23.07.2012	141,1	28,93	11,5	7,06	3230	0,058	0,886	497	0,047	3	3	1,7
20.12.2012	255,9	29,04	5,2	7,21	2950	0,012	0,341	-	0,038	5	3	2,7
28.05.2013	164,9	28,92	9,8	7,03	3030	0,027	1,02	1664	0,062	18	1	2,5
8.07.2013	83,9	28,85	11,2	7,06	3120	0,041	0,547	2139	0,113	3	1	1,9
Keskmine	140,3	29,01	9,5	7,09	3090	0,030	0,727	1433	0,060	7	1,683	2,233
Maardu kaevandusest väljavoolav vesi teisel pool teed, punkt 5												
27.12.2011	92,9	28,3	-	-	-	-	-	-	-	11	1	2,2
15.05.2012	158,3	28,41	10,5	7,04	3040	0,035	1,68	-	0,073	6	1	1,5
23.07.2012	108,2	28,31	12,2	7,23	3210	0,043	0,652	-	0,053	2	3	1,3
20.12.2012	132,9	28,32	6,5	7,13	2900	-	1,03	1083	0,053	6	3	2,9
28.05.2013	114,3	28,27	11	7,03	2980	0,033	1,13	1351	0,067	12	1	2,6
8.07.2013	89,5	27,23	12,4	7,08	3090	0,024	0,624	2107	0,106	2	1	2,2
Keskmine	116,0	28,14	10,5	7,10	3044	0,034	1,023	1514	0,070	7	1,667	2,117

Kroodi oja enne merre suubumist, punkt 6												
27.12.2011	530,7	5,63	10	-	-	-	-	-	10	3,8	5	
15.05.2012	536	5,68	10,3	7,93	2030	0,039	2,32	-	0,617	15	5,6	5,6
23.07.2012	270,5	5,54	13,5	7,93	2470	0,067	3,57	497	0,283	9	4	4,7
20.12.2012	492,8	5,62	2	7,94	2120	0,066	1,95	475	0,07	9	3	5,2
28.05.2013	380,6	5,57	12,4	7,93	2190	0,086	3,03	888	0,537	52	2,3	7,4
8.07.2013	236,7	5,54	16,6	8,1	2110	0,095	2,13	1361	0,296	4	2,7	6,2
Keskmine	407,9	5,60	10,8	7,97	2184	0,071	2,600	805	0,361	17	3,567	5,683
Ülgase kaevanduse väljavool, punkt 7												
27.12.2011	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1,6	3,2
15.05.2012	0,6	-	6,5	7,33	1468	0,025	0,414	-	0,156	7	1,3	1,6
23.07.2012	0,3	-	6,9	7,16	1524	0,026	0,595	402	0,087	2	3	2,6
20.12.2012	0,4	-	0,9	7,9	1357	-	1,03	428	0,209	49	3	2,6
28.05.2013	0,6	-	6,7	8	1431	0,009	7,01	532	0,175	14	1	2
8.07.2013	0,5	-	7,7	8,11	1448	0,016	1,2	797	0,174	2	1	2,4
Keskmine	0,5	-	5,7	7,70	1446	0,019	2,050	540	0,160	13	1,817	2,400
Põhja karjääri tranšee, punkt 8												
27.12.2011	vesi seis	30,77	-	-	-	-	-	-	-	22	3,8	5,2
15.05.2012	vesi seis	31,27	15,8	7,95	1858	0,038	0,414	-	0,065	8	3,6	5,9
23.07.2012	vesi seis	30,89	18,7	7,85	2660	0,04	0,16	-	0,038	2	3	3,1
20.12.2012	vesi seis	31,06	1	7,27	2060	0,005	1,04	474	0,063	8	3	3,7
28.05.2013	vesi seis	30,95	15,2	7,3	1969	0,067	0,815	832	0,071	10	3	4,7
8.07.2013	vesi seis	30,79	23	8,12	2280	0,021	0,76	1660	0,076	2	1,6	3,4
Keskmine	-	30,96	14,7	7,70	2165	0,034	0,638	989	0,063	9	3,000	4,333
Põhja karjääri tranšee, punkt 9												
27.12.2011	vesi seis	-	-	-	-	-	-	-	-	9	3	3,2
15.05.2012	vesi seis	-	16,3	7,58	3710	0,023	1,2	-	0,016	22	2,6	4,9
23.07.2012	vesi seis	30,97	18,5	7,65	3800	0,038	0,233	-	0,019	21	3	3,4
20.12.2012	vesi seis	30,97	1,4	8,03	3720	-	0,967	1126	0,08	27	3	5,3
28.05.2013	vesi seis	31,13	17,9	7,32	3600	0,177	1,46	1263	0,039	32	4,8	5,4
8.07.2013	vesi seis	31,69	22,7	7,84	3760	0,007	1	3761	0,078	14	2,5	2,9
Keskmine	-	31,19	15,4	7,68	3718	0,061	0,972	2050	0,046	21	3,150	4,183
Lõuna karjääri tranšee, punkt 10												
27.12.2011	vesi seis	-	-	-	-	-	-	-	-	3	2,1	3,8
15.05.2012	vesi seis	33,85	15,4	8,53	1432	0,033	0,666	-	0,028	15	3,3	4,2
23.07.2012	vesi seis	33,67	19,6	8,38	1413	0,04	0,278	590	0,036	13	3	4,5
20.12.2012	vesi seis	33,82	0	7,69	1403	0,01	2,24	347	0,074	3	3	3
28.05.2013	vesi seis	33,67	18,6	8,46	1274	0,031	0,472	494	0,125	4	3,3	4,5
8.07.2013	vesi seis	33,51	22,8	8,51	1297	0,021	0,387	376	0,094	4	2,5	3,2
Keskmine	-	33,70	15,3	8,31	1364	0,027	0,809	452	0,071	7	2,867	3,867
Põhja karjääri tranšee, punkt 21												
27.12.2011												
15.05.2012	vesi seis	-	14,1	7,71	2720							
23.07.2012	vesi seis	-	16	7,05	2760							
20.12.2012												
28.05.2013	vesi seis	-	14,9	7,07	2250							
8.07.2013	vesi seis	-	26,3	7,5	2890							
Keskmine	-	-	17,8	7,3325	2655							
Ülgase savikarjäär, punkt 22												
27.12.2011												
15.05.2012	vesi seis	-	14,7	8,62	334							
23.07.2012												
20.12.2012												
28.05.2013												
8.07.2013	vesi seis	-	25,3	9	301							
Keskmine	-	-	20,0	8,81	318							

5.4. Saadud tulemuste publitseerimine

Avalikkuse teabe tõstmiseks on tehtud infleht aadressil <http://mi.ttu.ee/maardu/>.

Samuti on välja antud kogumik “Kaevandamine ja keskkond”, milles on avaldatud antud projektiga seotud artikleid:

Sõstra, Ü.; Kolats, M. (2012). Kunda piirkonna karjääride heitvee mõju Toolse jõevee koostisele ja seisundile. Valgma, I.; Väizene, V.; Kolats, M.; Karu, V. (Toim.). Kaevandamine ja keskkond (125 - 134). Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli mäeinstituut

Kolats, M.; Valgma, I.; Väizene, V.; Reinsalu, E.; Otsmaa, M.; Orru, M. (2012). Maardu vee dünaamika. Valgma, I.; Väizene, V.; Kolats, M.; Karu, V. (Toim.). Kaevandamine ja keskkond (135 - 142). Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli mäeinstituut

Kolats, M. (2012). Veeseire. Valgma, I.; Väizene, V.; Kolats, M.; Karu, V. (Toim.). Kaevandamine ja keskkond (143 - 152). Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli mäeinstituut

Teised artiklid:

Reinsalu, E.; Karu, V.; Kolats, M. (2013). Tehnogeoloogia. Suuroja, K. (Toim.). XXI Aprillikonverents, Rakendusgeoloogiliste uuringutest Eestis. Tallinn: Eesti Geoloogiakeskus.

Kolats, M.; Valgma, I.; Robam, K. (2013). Poster of Mine water and dewatering of oil shale, limestone and phosphate rock mining in Estonia. In: International Oil Shale Symposium Tallinn, Estonia, 10.-13.06.2013: International Oil Shale Symposium Tallinn, Estonia, 10.-13.06.2013. Tallinn: Enefit, 2013, 1.

Karu, V.; Valgma, I.; Kolats, M. (2013). Mine water as a potential source of energy from underground mined areas in Estonian oil shale deposit. Oil Shale, 30(2S), 336 - 362.

Kolats, M.; Valgma, I. (2011). Vesi allmaarajatistes. Valgma, I. (Toim.). Kaevandamine ja vesi (56 - 69). Tallinn: TTÜ mäeinstituut

Karu, V. (2012). Kaevandusvee mahud põlevkivimaardla keskosas. Valgma, I.; Väizene, V.; Kolats, M.; Karu, V. (Toim.). Kaevandamine ja keskkond (119 - 124). Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli mäeinstituut

Karu, V.; Pavlenkova, J. (2012). Water filled underground oil shale mines as a heat source. The 70th Scientific Conference of the University of Latvia, Session of Geology, Section "Groundwater in Sedimentary Basin" (19 - 21). Riga, Latvia: University of Latvia

Karu, V. (2012). Potential Usage of Underground Mined Areas in Estonian Oil Shale Deposit. (Doktoritöö, Tallinna Tehnikaülikool, Energeetikateaduskond, Mäeinstituut)Tallinn University of Technology Press

5.5. Avalikkuse teabe tõstmine

Esinemine suulise ettekandega Poolas konverentsil "Rational use of water and mineral resources – good practice in Poland and Europe" teemal "Kaevandusvee kasutamine"

Esinemine suulise ettekandega Aprillikonverentsil 2013 teemal "Tehnogeoloogia".

Esinemine suulise ettekandega Lätis konverentsil "Groundwater in Sedimentary Basin" teemal "Water filled underground oil shale mines as a heat source"

Posterettekanne konverentsil International Oil Shale Symposium teemal "Poster of Mine water and dewatering of oil shale, limestone and phosphate rock mining in Estonia".

5.6. Võrdlus Maardu, Ubja ja Ahtme väljavoolude näitel

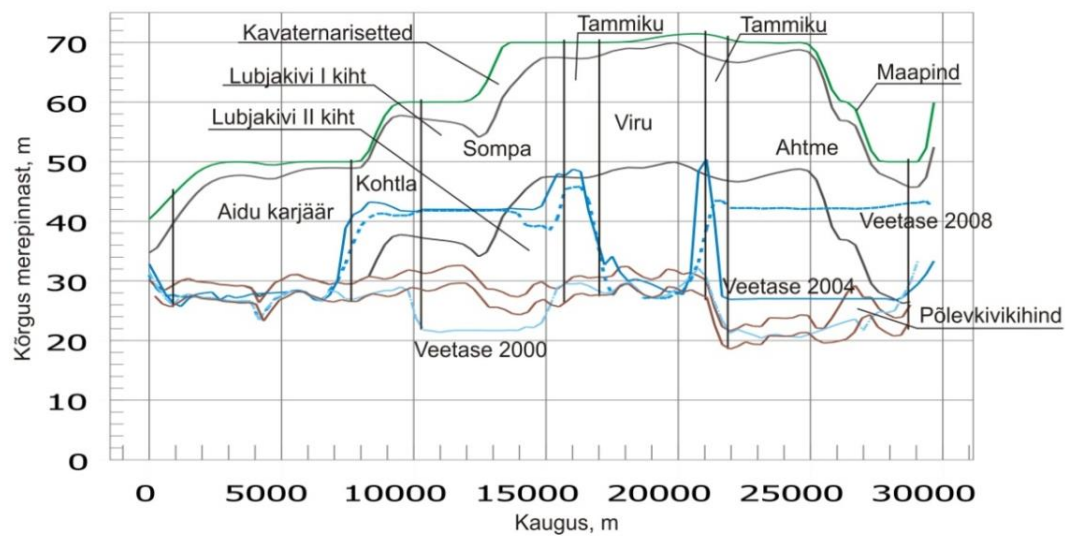
Maardu fosforiidikaevanduse, Ubja põlevkivikaevanduse ja Ahtme põlevkivikaevanduse väljavoolude võrdlus. Maardu kaevandusest voolab vesi välja Maardu läänetranshee poolt avatud strekist, kogunedes tranšeesse ja voolates seejärel läbi teealuse truubi Kroodi oja suunas (Joonis 44, Joonis 45, Joonis 3, Joonis 46, Joonis 47, Joonis 48). Veetase tranšees, kaevanduses, teistes ühendatud tranšeedes ja puistangutes sõltub truubi läbilaskvusest. Truubi sulgumise korral on veetase tõusnud 2 meetrit. Uuringu teostamise ajal veetase truubi tõttu ei ole tõusnud.

Eesti põlevkivimaardlas on suletud tänaseks maardla keskosas kümme kaevandust, viimased neist suleti 1999...2002 (Sompa, Tammiku, Ahtme ja Kohtla kaevandus). Viru kaevanduse sulgemist on alustatud, kuid pumpamine jätkub veel 2013. aastal. Kaevandamise lõppedes kaevandusest ja karjäärist vee välja pumpamine lõpetatakse ja põhjaveetase hakkab taastuma kaevandamise eelsele tasemele. Nii täituvadki suletud kaevandused ja karjäärid veega. Eesti põlevkivimaardlas on suletud kaevandustest veega täielikult täitunud (veetase stabiliseerunud) Ahtme, Tammiku, Sompa ning osaliselt täitunud kaevandus nr 4, kaevandus nr 2, Käva, Käva 2, Kohtla, Kiviõli ning Kukruse [20, 26, 28].

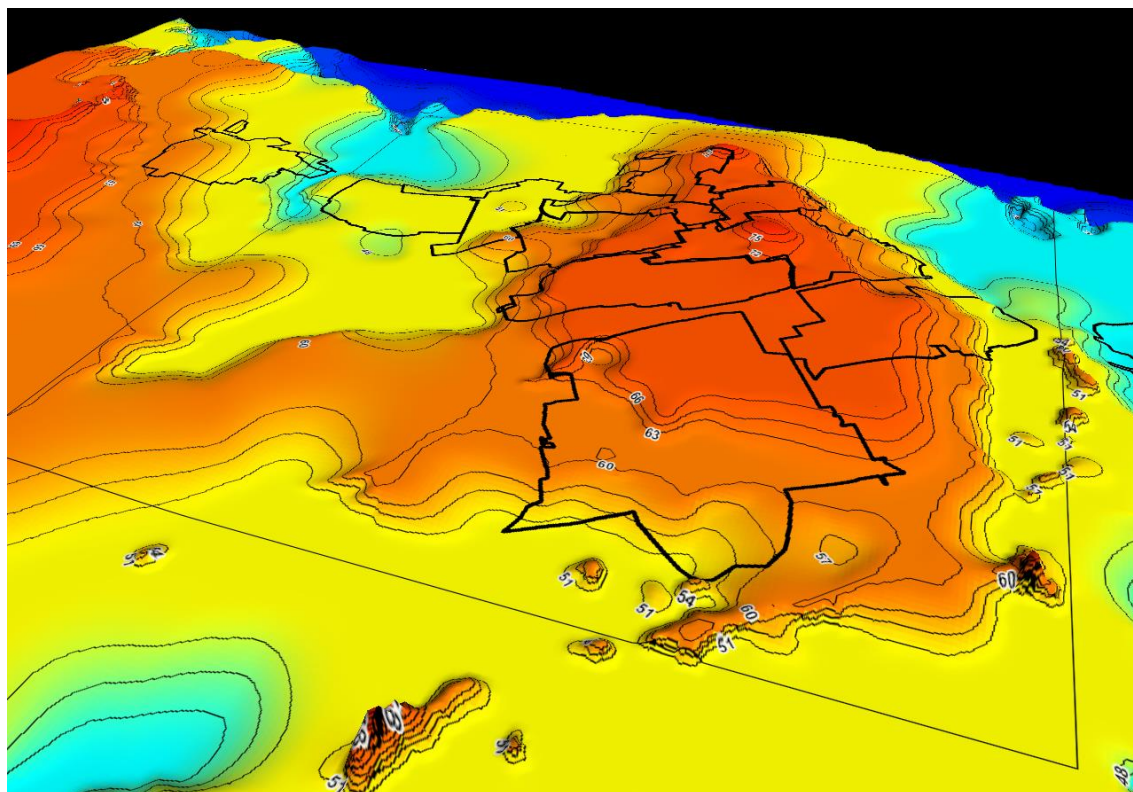
Ubja kaevanduse käikudes kogunenud vesi voolab välja veekõrvaldusstolli kaudu 9158 m³/d (Joonis 49).

Suletud kaevanduste veetaseme stabiliseerimiseks on rajatud mitu väljavoolu. Neist suurimas Ahtme väljavoolus voolab kaevandusvesi aastaringselt Sanniku oja. Suuruselt järgmine on Tammiku väljavool Rausvere oja. Kaevandusvee maht on suurem aladel, kus on paksemad kattekivimid ja väljavooluhulk väiksem. Klindilähedaste kaevanduste aladel on vett vähem (Joonis 43, Tabel 18) [29, 31, 32].

Ahtme kaevanduse vesi voolab välja selleks otsarbeks puuritud puuraukude kaudu (Joonis 42). Ahtme kaevanduse käigu ja katendikivimid on väljavooluni veega täitunud, seega erineb Ahtme kaevanduse olukord eelnimetatutest. Maardu kaevandusega sarnasteks võib lugeda ka teised kaevandused, kust toimub väljavool, need on Ülgase, Küttejõu, Käva ja Teine kaevandus. Sarnasusi on ka allmaarajatiste väljavooludes või seisuvetes [62, 33]. Ahtme kaevanduse olukorraga on sarnased Tammiku, Kohtla, Teine ja tulevikus Viru, Sompa, Neljas ja Estonia kaevandus. Eraldi rühma moodustavad põhjapoolsed, kuivaksjäänud või hästi drenivad kaevandused, millel puudub väljavool. Need on Kukruse ja osa Teisest kaevandusest. Labi karjääride või kaevanduste drenitakse Kiviõli, Viivikonna ja Neljandat kaevandust [34, 35, 36].



Joonis 40 Põlevkivi altkaevandatud ala läbilõige



Joonis 41 Põlevkivikaevanduste maapinna kõrgusmudel

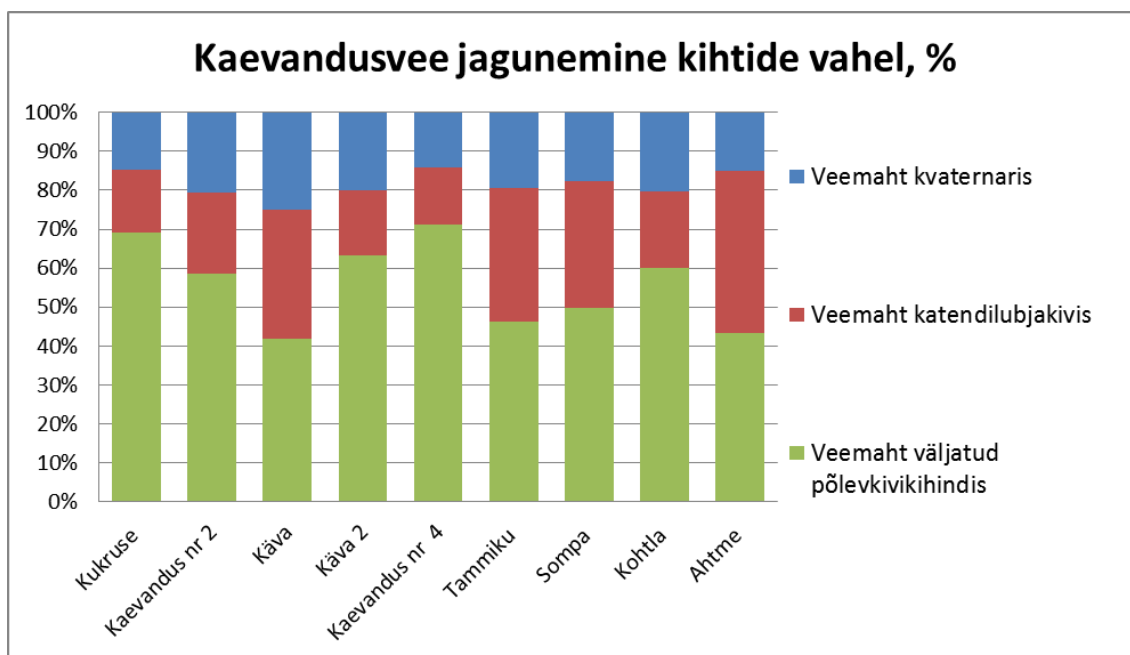


Joonis 42 Projektipõhiselt korrastatud kaevandusvee väljaool Ahtme kaevandusest

Tabelis on näidatud kaevanduste opereerimisinformatsioon; kasutatud tehnoloogiat iseloomustavad väärtused; kaevandusvee mahud. Suletud kaevanduste piirkonnas oleva vee võib lüüa kolmeks: Kvaternaarikihtides olev vesi; lubjakivis olev vesi; väljatud põlevkivikihtis olev vesi (Joonis 43), jooniselt järeldub, et piirkonnas olevast veest esineb väljatud põlevkivikihtis (Tabel 18).

Tabel 18 Kaevandusvee mahtude arvutusmodel

Omadused	Kukruse	Kaevandus nr 2	Käva	Käva 2	Kaevandus nr 4	Tammiku	Sompa	Kohtla	Ahtme
Kaevanduse avamine	1921	1949	1924	1924	1953	1951	1948	1937	1948
Kaevanduse sulgemine	1967	1973	1972	1972	1975	1999	1999	2001	2001
Kaevandamise kestus, a	46	24	48	48	22	48	51	64	53
Kaevvälja pindala, km ²	13.20	12.30	3.47	14.05	12.70	40.00	33.60	18.30	43.30
Kaevandatud ala, km ²	15.13	8.57	1.84	11.72	10.43	19.26	18.14	12.14	26.36
Kaevandamata ala, km ²	-1.93	3.73	1.63	2.33	2.27	20.74	15.46	6.16	16.94
Katendi paksus, m	11	13	21	10	12	23	23	15	37
Põlevikivi kihindi paksus, m	2.83	2.81	2.83	2.82	2.8	2.8	2.77	2.76	2.79
Tühja ruumi maht, kui väljata kogu tootluskihind, mln m³	42.82	24.08	5.22	33.05	29.20	53.92	50.24	33.52	73.53
Väljatud põlevikivikihi paksused, m									
Käsilaa	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
Käsi	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
Kamberkaevandamine	2.83	2.81	2.83	2.82	2.8	2.8	2.77	2.76	2.79
Strekid	2.83	2.81	2.83	2.82	2.8	2.8	2.77	2.76	2.79
Kombainila	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Kaevandatud maa-ala, km²									
Käsilaa	11.28	6.87		9.16	7.71	4.36	12.70	3.80	6.33
Käsi	3.50	0.00	1.84	1.73	0	0	0.06	1.36	0.05
Kamberkaevandamine	0.29	1.70		0.79	1.08	11.81	1.86	0.55	19.22
Strekid	0.06	0.00	0.00	0.04	0.69	0.36	0.00	0.02	0.30
Kombainila	0	0		0	0.95	2.74	3.52	6.41	0.46
Kaevandatud ala, km²	15.13	8.57	1.84	11.72	10.43	19.26	18.14	12.14	26.36
Kaevandusvee maht kihtides, mln m³									
Veemaht kvaternaris	3.66	3.37	1.04	4.19	3.34	9.94	7.76	5.48	9.96
Veemaht katendilubjakivis	3.94	3.40	1.37	3.56	3.47	17.32	14.46	5.30	27.61
Veemaht väljatud põlevikivikihtis	17.05	9.54	1.74	13.29	16.92	23.51	21.93	16.14	28.75
Kokku	24.65	16.30	4.14	21.04	23.74	50.77	44.15	26.91	66.32

**Joonis 43 Kaevanduste piirkonnas oleva vee jagunemine**

Ubja suletud kaevandusest väljavoolav vesi vastab oma koostiselt Ordoviitsiumi põhjaveekompleksi Keila–Kukruse veekihi põhjaveele [30].

Mõõdetud vooluhulgad kaevandusest jäid vahemikku 17-360 l/s, keskmiselt 123 l/s, hõljuvaine on tavaliselt 2-4 mg/l vahel, kuivjääk muutub suhteliselt vähe ja väheneb pärast vihasid suvel kuni 564 mg/l, keskmine on 640 mg/l, maksimaalne talvel – 706 mg/l, BHT₇ ei ületanud 1,4 mgO₂/l, see näitaja vastab väga heale vee kvaliteediklassile. N_{üld} on muutlik, alates 0,91 mg/l kuni 7,6 mg/l, mis näitab, et vesi võib kuuluda kõigisse kvaliteediklassidesse, alates väga heast ja lõpetades halvaga. P_{üld} oli alla 0,02 mg/l või võrdne sellega, kuid ühel korral (22.12.2011.a) oli 0,07 mg/l, mis vastab heale vee kvaliteediklassile, samal päeval määrati vees suurem NH₄⁺ sisaldus – 0,16 mg/l, mis alandas selle näitaja kvaliteediklassi heale. Ca²⁺ sisaldus oli keskmiselt 145 mg/l, mis on oluliselt kõrgem kui Ordoviitsiumi veekompleksis keskmiselt – 69,14 mg/l, Mg²⁺ sisaldus oli keskmiselt 27,5 mg/l, mis on lähedane Ordoviitsiumi veekompleksi keskmisele – 26,29 mg/l [24, 37, 38, 39], pH jääb 7,0 ja 8,0 vahele. Huvitav on märkida, et koos kuivjäägi vähenemisega vähenes sulfaatiooni SO₄²⁻ sisaldus, mis alati ületab kalakasvatusele soovitatud piirnormi – 100 mg/l, mõõdetud sisaldus jäi vahemikku 129-187 mg/l. Kloriidiooni Cl⁻ ja Na⁺ sisaldused suletud on Ubja suletud kaevanduse vees vastavalt 13,6 ja 6,5 mg/l, mis on madalamad keskmistest Ordoviitsiumi veekompleksi näitajatest, vastavalt 45,75 ja 19,79 mg/l, K⁺ kontsentratsioon – 8,5 mg/l on peaaegu võrdne keskmisega – 9,67 [40, 43, 42].



Joonis 44 Maardu fosforiidikarjääri tranšeed kuhu vesi siseneb kaevanduse strekist



Joonis 45 Maardu fosforiidikaevanduse streki suue



Joonis 46 Varing Maardu kaevanduse alal



Joonis 47 Varing Maardu kaevanduse alal



Joonis 48 Fosforiidi rikastusvabriku punker

Kaevanduste veekõrvaldusstollid töötavad kogu maailmas drenidena. Nii ka meil Ubja kaevanduses, kogudes läbi õhukese kattekivimi sademevett, põhjavett ja reovett, juhtides selle väljavoolustolli kaudu vooluveekogusse. Sellise vee sulfaatsus on suhteliselt kõrge (Joonis 49) [12].



Joonis 49 Vee väljavool Ubja põlevkivikaevanduse veekõrvaldusstollist

Ülgase, Maardu, Ubja ja Ahtme kaevanduse kvaliteedi näitajate võrdlus on toodud järgnevalt (Tabel 19):

Tabel 19 Ülgase, Maardu, Ubja ja Ahtme kaevanduse väljavoolude võrdlus

			Ülgase	Maardu	Ubja	Ahtme
Vooluhulk	Keskmine	l/sek	0,5	140	106	1044
Vooluhulk		M3/d	46	14142	9158	
..						
Käikude kõrgus, m			1,8-2	1,3-1,6		2,8
Katendi paksus, m						37
Vee maht alal, Mm3						66
Kaevandatud ala pindala						26
Alustati pumpamist		a	1926	1940	1926	1948
Lõpetati pumpamine		a	1938	1965	1960	2002
Pumpamise kestus		a	12	25	34	54
Hõljum	Minimaalne	mg/l	2	3	2	
Hõljum	Keskmine	mg/l	13	7	6	
Hõljum	Maksimaalne	mg/l	49	18	19	
Kuivjääk	Minimaalne	mg/l			564	
Kuivjääk	Keskmine	mg/l			639	845,5
Kuivjääk	Maksimaalne	mg/l			706	
BHT7	Maksimaalne	mgO2/l	3	3	1,4	
Nüld	Minimaalne	mg/l	0,414	0,341	0,91	
Nüld	Keskmine	mg/l	2,05	0,727	2,89	
Nüld	Maksimaalne	mg/l	7,01	1,02	4,8	
NO2	Keskmine	mg/l			0,03	0,015
NO3	Keskmine	mg/l			2,69	11,7
Fe	Keskmine				0,11	0,69
Püld	Minimaalne	mg/l	0,009	0,012	0,02	
Püld	Keskmine	mg/l	0,019	0,03	0,04	
Püld	Maksimaalne	mg/l	0,026	0,058	0,07	
NH4+	Maksimaalne	mg/l	0,209	0,113	0,16	0,017
Ca2+	Keskmine	mg/l			135	174,5
Ca2+	Ordoviitsiumi veekompleksis keskmiselt	mg/l			69	
Mg2+	Keskmine	mg/l			30	51,6
Mg2+	Ordoviitsiumi veekompleksis keskmiselt	mg/l			26,29	
pH	Minimaalne	mg/l	7,27	7,03	7	
pH	Keskmine	mg/l	7,7	7,09	7,6	7,1
pH	Maksimaalne	mg/l	8,12	7,21	8	
SO42 ⁻	Minimaalne	mg/l	402	497	129	
SO42 ⁻	Keskmine	mg/l	540	1433	156	342,4
SO42 ⁻	Maksimaalne	mg/l	797	2139	187	
SO42 ⁻	kalakasvatusele soovitatud piinorm	mg/l	100	100	100	100
Kloriidiooni Cl-	Keskmine	mg/l			13	
Kloriidiooni Cl-	Ordoviitsiumi veekompleksis keskmiselt	mg/l			45,75	
Na+	Keskmine	mg/l			6,62	10,4
Na+	Ordoviitsiumi veekompleksis keskmiselt	mg/l			19,79	
K+	Keskmine	mg/l			8,39	12,9
K+	Ordoviitsiumi veekompleksis keskmiselt	mg/l			9,67	

6. Kokkuvõte – järeldused ja soovitused

Veereostuse tekke ja leviku suurim mõjur Maardu tehnogeenses veekogumis on asumite, tööstuse ja kohalike inimeste mõju, mäetööde järelmõju on kõrvalise tähtsusega.

Maardu fosforiidi leiukoha pinnavee ökoloogilise seisundi üldhinnang

Seisuveekogude ökoloogilist seisundit määravad järgmised füüsikalised ja keemilised näitajad: pH ühik, üldfosfori ja üldlämmastiku sisaldus.

Maardu järv kuulub vee keskmise karedusega madalate järvede sekka, Üldine veekogu seisund on praegusel ajal kesine. Kahe olulise seisundi näitaja aritmeetilise keskmise järgi on vesi kesises klassis **pH = 8,6 ja $N_{\text{Üld}} = 1299 \mu\text{g/l}$** ja ühe näitaja järgi **$P_{\text{Üld}} = 30,4 \mu\text{g/l}$** (heas klassis).

Lõunakarjääri punktis nr 2 on näitajad **pH (8.0)** ja **$P_{\text{Üld}} = 52 \mu\text{g/l}$** heast klassist ja **$N_{\text{Üld}} = 483 \text{ mg/l}$** väga heast klassist, mõnevõrra suurem on sulfaatide sisaldus, mis ilmselt on seotud püriidi oksüdeerimisega Lõunakarjääri puistangutes.

Lõunakarjääri vaatluspunktis nr 10 langeb vee ökoloogiline seisund kõrge keskmise pH (8,31) tõttu kesisesse klassi. Kuigi üldfosfori (**$27 \mu\text{g/l}$**) ja üldlämmastiku (**$809 \mu\text{g/l}$**) võiks kuuluda väga heasse või heasse klassi. Tavalisest suurem on sulfaatide sisaldus – 452 mg/l.

Põhjakarjääri vaatluspunkti nr 8 juures vastab vesi pH = 7.7 järgi (väga heale klassile), **$P_{\text{Üld}} = 34 \mu\text{g/l}$** (hea klass), **$N_{\text{Üld}} = 638 \mu\text{g/l}$** (hea klass).

Põhjakarjääri vaatluspunkti nr 9 juures on vee pH = 7,7 (väga hea klass), üldfosfor **$P_{\text{Üld}} = 61 \mu\text{g/l}$** (hea klass) ja **$N_{\text{Üld}} = 972 \mu\text{g/l}$** (hea klass).

Sulfaatide sisaldus **nr 8** juures 989 mg/l ja **nr 9** juures 2050 mg/l ei luba anda sellisele veele kõrgemat klassi, kui **kesine**.

Maardu fosforiidimaardla piirkonna vooluveekogude pinnaveekogumite ökoloogilisi seisundiklasse määratakse füüsikalise-keemiliste kvaliteedielementide ja näitajate järgi. Kuna tegemist on kaevandatud alaga, siis bioloogilisi uuringuid ei teostatud, sest füüsikalise-keemilised näitajad annavad küllalt selge ettekujutuse maardla puistangute vahelise ja äravoolu vee seisundist ning võimalikust koostisest. Komponentidest on väga oluline sulfaatiooni esinemine ja kontsentratsioon, sest üldiselt on see ioon suhteliselt väikese kontsentratsiooniga looduslikus vees. Analüüs tehakse 5 komponendi järgi. Peamisteks näitajateks on: lahustunud hapnik (ei määratud, sest määrati nii BHT₇ kui ka KHT_{Mn}), biokeemiline hapnikutarve, üldlämmastiku ja üldfosfori sisaldused, ammoonium ja pH.

Sissevool Maardu järve lõunast, vaatluspunkt nr 3. Keskmise vooluhulk 31,6 l/s. Kvaliteedi elementide väärtused ja klass: BHT₇ = 2,57 mgO₂/l (hea klass), **$N_{\text{Üld}} = 4,648 \text{ mg/l}$** (kesine klass), **$P_{\text{Üld}} = 0,101 \text{ mg/l}$** (halb klass), **$\text{NH}_4^+ = 0,343 \text{ mg/l}$** (kesine klass) ja pH = 8,06 (väga hea klass). Lämmastiku ja fosfori tõttu võib vett lugeda kuuluvaks **kesisesse klassi**, vaatamata sellele, et üldfosfori sisaldus ületas ühe $\mu\text{g/l}$ kesise klassi piiri, sest see on mõõtmise täpsuse küsimus. Üld-lämmastiku sisaldus on selles vaatluspunktis kuni 4,5 korda suurem, kui kaevandatud alal. Suure tõenäosusega pärineb see reostus põllumajandusest.

Väljavool fosforiidi kaevandusest, vaatluspunkt nr 4. Komponent ja ökoloogiline klass väärtuste järgi: BHT₇ = 2,02 mgO₂/l (hea klass), **$N_{\text{Üld}} = 0,723 \text{ mg/l}$** (väga hea klass), **$P_{\text{Üld}} = 0.030 \text{ mg/l}$** (väga hea klass), ammoonium **$\text{NH}_4^+ = 0,060 \text{ mg/l}$** (väga hea klass), pH = 7,09. Vaatamata kõigi komponentide kõrgele klassile, ei saa hinnata ökoloogilist seisundit paremini kui **kesine klass**, sest vesi sisaldab lubatust palju kordi kõrgemaid sulfaatiooni kontsentratsioone. On seotud püriidi oksüdeerimisega. Millised võivad olla lahustunud mikroelemendid, eriti ohtlikud?

Väljavool kaevandusest teiselpool teed, vaatluspunkt nr 5. Kõik kvaliteedinäitajad: BHT₇ = 1,67 mgO₂/l, **$N_{\text{Üld}} = 1,02 \text{ mg/l}$** , **$P_{\text{Üld}} = 0,027 \text{ mg/l}$** , **$\text{NH}_4^+ = 0,070 \text{ mg/l}$** ja pH = 7,09 vastavad väga heale ökoloogilisele kvaliteediklassile. Kuid eksperdi üldhinnang ei saa olla parem, kui

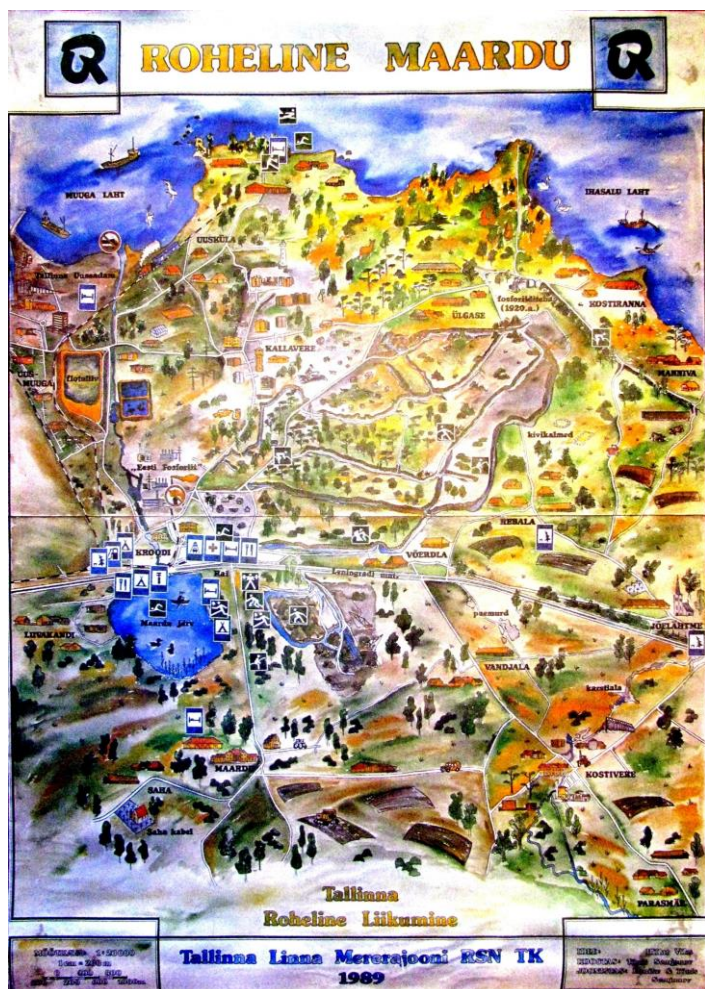
kesine klass, sest sulfaatide keskmine sisaldus on 1514 mg/l, mis ületab mitmekordselt kõik lubatud piirväärtused. Põhjused on samad, mis vaatluspunktis nr 4.

Kroodi oja alamjooksul, enne suubumist merre, vaatluspunkt nr 6. See on koht, kus kõik reoained, ohtlikud tahked ja lahustunud ained kantakse merre. Vooluvee füüsikaliskemilisest ja ökoloogilisest seisundist annavad ettekujutuse konkreetsete arvud: $BHT_7 = 3,57 \text{ mgO}_2/\text{l}$ (kesine klass), $N_{\text{Üld}} = 2,60 \text{ mg/l}$ (hea klass), $P_{\text{Üld}} = 0,071 \text{ mg/l}$ (hea klass), $NH_4^+ = 0,361 \text{ mg/l}$ (kesine klass), $pH = 7,97$ (väga hea). Kuid kõrge on sulfaatide sisaldus – 805 mg/l, mis ületab lubatud piire. Üldine **ökoloogiline seisund on kesine**, mikroelementide pärast isegi madalam.

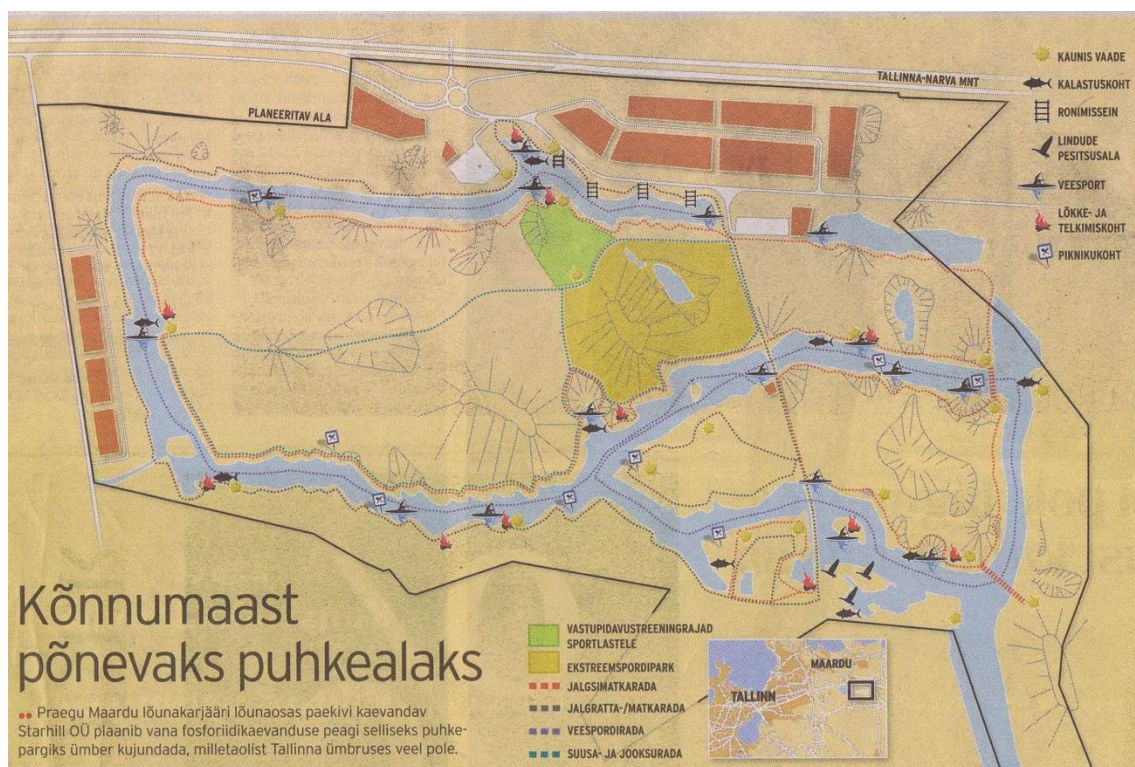
Ülgase kaevanduse väljavool, vaatluspunkt nr 7. On võetud võrdluseks Maardu kaevandatud alale. Komponentide väärtused ja klass: $BHT_7 = 1,82 \text{ mgO}_2/\text{l}$ (hea klass), $N_{\text{Üld}} = 2,049 \text{ mg/l}$ (hea klass), $P_{\text{Üld}} = 0,019 \text{ mg/l}$ (väga hea klass), $NH_4^+ = 0,160 \text{ mg/l}$ (hea klass), $pH = 7,7$ (väga hea). Nende andmete järgi oleks võinud vee ökoloogilise seisundi määrata kui hea, aga liiga kõrge on selleks sulfaatide sisaldus, seepärast on otstarbekas määrata seisund **kesiseks**.

Maardu fosforiidilevila alale on juba aastal 1989 mõeldud rajada Maardu järve ja lõunakarjääri puhkeala (Joonis 50). Uuesti tuli kõne alla puhkeala rajamine 2009. aastal, hõlmates lõunakarjääri (Joonis 51). Aastal 2009 koostas Mäeinstituut eskiisprojekti “Maardu fosforiidikarjääri geoloogiline õpperada” (Joonis 52) [18, 21, 22, 23, 46, 64].

Puhkeala või õpperaja tegemine on otstarbekas, et kasutada tekkinud maastikku ja veekogusid vaba aja veetmiseks ja harival otstarbel. Vee kvaliteet on vastavalt kehtivatele seadustele hea (Tabel 14, Tabel 15).



Joonis 50 Roheline Maardu [2]



Joonis 51 Maardu lõunakarjääri puhkeala



Joonis 52 Maardu fosforiidikarjääri geoloogiline õpperada

7. Viitematerjal

1. Heinsalu, A., 1996. Sediment stratigraphy and chemistry of Lake Maardu, Northern Estonia, Coastal Estonia: Recent Advances in Environmental and Cultural History. Strasbourg : Council of Europe ; Rixensart : PACT Belgium, 1996. (Pact ; 51). pp 163...173.
2. Roheline Maardu, 1981, 1991, Tallinna Roheline Liikumise, Kaart 1:20000. kaart
3. Puura, E., Pihlak, A. 1998. Oxidation of Dictyonema shale in Maardu mining waste dumps. Oil Shale, vol. 15, No. 3, pp. 239–267.
4. Puura, E., Neretnieks, I., Kirsimäe, K. 1999. Atmospheric oxidation of the pyritic waste rock in Maardu, Estonia. 1 field study and modelling. Environmental Geology, vol. 39, No. 1, pp. 1-19.
5. Puura, E. 1999. Technogenic minerals in the waste rock heaps of Estonian oil shale mines and their use to predict the environmental impact of the waste. Oil Shale, vol. 16, No. 2, pp. 99-107. <http://www.tlulib.ee/vana/teadlased/puurae.htm>
6. Saarse L., Heinsalu, A. and Veski, S. 1995. STOP 40. Maardu - geological history of Lake Maardu, Kroodi Bay mouth bar, phosphorite mining problems. In: W. Schirmer (Ed.),
7. Metsur, M. Tamm, I, 2009. Maardu II graniidikaevanduse kaevandamise loa taotlus. Keskkonnamõju hindamise aruanne. AS Maves.
8. Александров, И., Наумов, Б., 1988. Эндогенная пожароопасность диктионемового сланца в отвалах Маардуского месторождения фосфоритов. Химия твердого топлива. 4, Академия Наук СССР, Москва, 53...62.
9. Певзнер, М., Наумов, Б., Пуура, В., Беленький, П., 1982. Распределение диктионемового сланца и температурный режим его самонагрева в отвалах Маардуского фосфоритного карьера. Изв АН ЭССР, т 31. Геология № 4. 131...131.
10. Reinsalu, E., 2005. Changes in mine dewatering after the closure of exhausted oil shale mines. Oil Shale, Vol. 22. No 3, pp 261...273.
11. Keskkonnaagenduur - Eesti riiklik keskkonnaseire programm - Meteoroloogiline ja hüdrogeoloogiline seire - http://194.126.105.145/index.php?option=com_content&view=article&id=637&Itemid=176 – 28.07.2013
12. Kolats, M.; Valgma, I. (2011). Vesi allmaarajatistes. Valgma, I. (Toim.). Kaevandamine ja vesi (56 - 69). Tallinn: TTÜ mäeinstituut
13. Maardu Põhjakarjääri sulgemise projekt. Mäekateeder. Tallinna Tehnikaülikool. 1991
14. Reinsalu, E., Toomik, A., Valgma, I. 2002. Kaevandatud maa, TTÜ Mäeinstituut
15. Valgma, I.jt (2008-2012). Mäendusõpik [Võrguteavik] : veebiõpik kaevandamisest, rakendusgeoloogiast ja geotehnoloogiast. [Tallinn: TTÜ mäeinstituut]
16. Veski, Siim (1989). Maardu järve geoloogiast ja nüüdisseisundist. TRÜ Geoloogiaosakonna diplomitöö. Tartu, 1989. 106 lk. (in Estonian).
17. Väizene, V. (2009). Maardu graniidikaevanduse rajamise ja kaeveõõnte teisese kasutamise võimalused. Kadri Runnel (Toim.). TalveAkadeemia 2009 : uute ideede kohtumispaid : üliõpilaste teadusartiklite konkursi kogumik (-). Harjumaa: Talveakadeemia

18. Västriku, A.; Anepaio, A.; Kolats, M. (2009). Innovaatiline teadus- ja õppekeskuse muuseum Tallinnas. Valgma, I.; Önnis, A.; Reinsalu, E.; Sõstra, Ü.; Uibopuu, L.; Västriku, A.; Robam, K.; Vesiloo, P.; T (Toim.). Mäenduse maine (69 - 72). Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus
19. Karu, V.; Kolats, M.; Väizene, V.; Anepaio, A.; Valgma, I. (2008). Field work in the role of teaching and research of rock properties. In: 5th International Symposium "Topical problems in the field of electrical and power engineering". Doctoral school of energy and geotechnology: (Toim.) Lahtmet, R.. Tallinn: Tallinn University of Technology, 2008, 66 - 70.
20. Karu, V.; Valgma, I.; Robam, K. (2011). Kaevandusvee kasutamise potentsiaal sooja tootmiseks. Valgma, I. (Toim.). Kaevandamine ja vesi (84 - 94). Tallinn: TTÜ Mäeinstituut
21. Kolats, M. (2009). Spatial models in mining. Valgma, I. (Toim.). Resource Reproducing, Low-wasted and Environmentally Protecting Technologies of Development of the Earth Interior (2 pp.). Tallinn: Department of Mining TUT; Russian University of People Friendship
22. Kolats, M.; Anepaio, A. (2009). Kolmedimensiooniliste mudelite loomine. Valgma, I.; Önnis, A.; Reinsalu, E.; Sõstra, Ü.; Uibopuu, L.; Västriku, A.; Robam, K.; Vesiloo, P.; T (Toim.). Mäenduse maine (60 - 63). Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus
23. Kolats, M.; Anepaio, A.; Valgma, I. (2008). Ruumimudelid mäenduses. Valgma, I. (Toim.). Maavarade kaevandamise ja kasutamise protsessid (-). Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituut
24. Robam, K.; Valgma, I.; Iskül, R. (2011). Influence of water discharging on water balance and quality in the Toolse river in Ubja oil shale mining region. Oil Shale, 28(3), 447 - 463.
25. Robam, K.; Väizene, V.; Anepaio, A.; Kolats, M.; Valgma, I. (2008). Measuring mining influence in the form of students practice in opposition to the emotional environmental impact assessment . In: 5th International Symposium "Topical problems in the field of electrical and power engineering". Doctoral school of energy and geotechnology: (Toim.) Lahtmet, R.. Tallinna Tehnikaülikool, 2008, 62 - 65.
26. Valgma, I.; Robam, K.; Karu, V.; Kolats, M.; Väizene, V.; Otsmaa, M. (2010). Potential of underground minewater in Estonian oil shale mining region. Lahtmet, R (Toim.). 9th International Symposium Pärnu 2010 "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering" and "Doctoral School of Energy and Geotechnology II", Pärnu, Estonia, June 14 - 19, 2010 (63 - 68). Tallinn: Estonian Society of Moritz Hermann Jacobi
27. Kolats, M. (2012). Veeseire. Valgma, I.; Väizene, V.; Kolats, M.; Karu, V. (Toim.). Kaevandamine ja keskkond (143 - 152). Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli mäeinstituut
28. Valgma, I. (2009). Oil Shale mining-related research in Estonia. Oil Shale, Volume 26(4), p. 145-150.
29. Lind, H.; Robam, K.; Valgma, I.; Sokman, K. (2008). Developing computational groundwater monitoring and management system for Estonian oil shale deposit.

- Geoenvironment&Geotechnics (GEOENV08) Agioutantis, Z.; Komnitsas, K. (Ed.), Heliotos Conferences, p. 137-140.
30. Karu, V. (2009). Modelling oil shale mining space and processes. Book of abstracts: International Oil Shale Symposium, Tallinn, Estonia, p. 96.
31. Reinsalu, E.; Valgma, I. (2003). Geotechnical processes in closed oil shale mines. Oil Shale, Volume 20, No. 3 Special, p. 396-403.
32. Erg, K.; Reinsalu, E.; Valgma, I. (2003). Geotechnical Processes and Soil-Water Movement with Transport of Pollutants in the Estonian Oil Shale Mining Area. Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference on Environment. Technology. 26-28. June 2003, Rezekene, p. 79-84.
33. Reinsalu, E., Valgma, I., Lind, H., and Sokman, K. (2006) Technogenic water in closed oil shale mines. Oil Shale, Volume 23, No.1, p. 15-28.
34. Karu, V. (2010). Amount of water in abandoned oil shale mines depending on mining technology in Estonia. 9th International Symposium Pärnu 2010 "Topical Problems In The Field Of Electrical And Power Engineering" and "Doctoral School of Energy and Geotechnology II", Pärnu, Estonia, June 14-19, 2010 Lahtmets, R (Ed.). Tallinn: Estonian Society of Moritz Hermann Jacob, p. 83-85.
35. Karu, V. (2011). Underground water pools as heat source for heat pumps in abandoned oil shale mines. 10th International Symposium "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering", Doctoral School of Energy and Geotechnology, Pärnu, Estonia, 10-15.01.2011, Estonian Society of Moritz Hermann Jacobi, p. 130-134.
36. Erg, K.; Karu, V.; Lind, H.; Torn, H. (2007). Mine pool water and energy production. 4th International Symposium "Topical problems of education in the field of electrical and power engineering" : doctoral school of energy and geotechnology, Kuressaare, 15-20.01.2007., Lahtmets, R. (Ed). Tallinn: Tallinn University of Technology Faculty of Power Engineering, p. 108-111.
37. Iskül, R. 2007. Kunda ümbruse karjäärade teine elu. Reinsalu, E.; Önnis, A.; Sokman, K.; Valgma, I.; Viilup, H. (Toim.). Kaevandamine parandab maad. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, 14 – 17.
38. Iskül, R.; Kaeval, E.; Robam, K.; Sõstra, Ü.; Valgma, I. (2009). The Origin and Amounts of Removal Water in the Ubja Oil Shale Opencast Mine and its influence to the Toolse River. In: Book of abstracts: International Oil Shale Symposium, Tallinn, Estonia, 8-11 June 2009: (Toim.) Hrenko, R. jt.. Tallinn:, 2009, 83.
39. Iskül, R.; Kaeval, E.; Robam, K.; Sõstra, Ü.; Valgma, I. (2009). Ubja põlevkivikarjääri ärastusvee päritolu ja koguse määramine. Keskkonnatehnika, 3, 34 - 36.
40. Perens, R. 2005. Põhjavee seisund 1999.-2003.aastal. Tallinn: Eesti Geoloogiakeskus. 100 lk.
41. Pirrus, E.; Reinsalu, E.; Sõstra, Ü.; Robam, K. (2011). Eesti maapõuekasutus ja energeetika : intensiivkursus : Tallinn, 02-03.03.2011. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituut
42. Robam, K., Valgma, I., Iskül, R. 2011. Influence of water discharging on the water balance and quaklity in the Toolse River in Ubja oil shale mining region. – Oil Shale 28, 3, 447-463.
43. Robam, K. 2009. Kaevandamise mõju veerežiimile Kunda piirkonnas. magistritöö. TTÜ Mäeinstituudi Fond.
44. Государственный водный кадастр, 1988. Раздел 1. Поверхностные воды. Серия 2. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши, 1987. Часть I. Реки. Т.XV (14) Эстонская ССР, Бассейны рек Эстонской ССР. Таллин, 1988. 136 с.

45. Государственный водный кадастр, 1989. Раздел 1. Поверхностные воды. Серия 2. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши, 1988. Часть I. Реки. Т.XV (14) Эстонская ССР, Бассейны рек Эстонской ССР. Таллин, 1989. 136 с.
46. Valgma, I.; Karu, V.; Reinsalu, E.; Anepaio, A.; Robam, K.; Väizene, V.; Kolats, M. (2010). Peeter Suure Merekindluse laskemoonalaod teadus- ja õppekeskuse muuseumi projekti ettevalmistamine. Mäeinstituut.
47. Masing, M.; Lutsar, L. 2008. Nahkhiirte talvituspaikade inventuur Humalas veebruaris 2008. Sicista Arenduskeskus. Tartu. 1. osa (tekst ja joonised 1-14): 21 lk. (Masing-Lutsar2008-0320-Humala1.pdf)
48. Pinnaveekogumite moodustamise kord ja nende pinnaveekogumite nimestik, mille seisundiklass tuleb määrata, pinnaveekogumite seisundiklassid ja seisundiklassidele vastavad kvaliteedinäitajate väärtused ning seisundiklasside määramise kord, Lisa 5 - <https://www.riigiteataja.ee/akt/125112010015?leiaKehtiv;>
https://www.riigiteataja.ee/akt/125112010015/KKM59_lisa5.pdf – 02.08.2013
49. Pinnaveekogumite moodustamise kord ja nende pinnaveekogumite nimestik, mille seisundiklass tuleb määrata, pinnaveekogumite seisundiklassid ja seisundiklassidele vastavad kvaliteedinäitajate väärtused ning seisundiklasside määramise kord, Lisa 4 - <https://www.riigiteataja.ee/akt/125112010015?leiaKehtiv;>
https://www.riigiteataja.ee/akt/125112010015/KKM59_lisa4.pdf# – 02.08.2013
50. Maa-ameti geoportaal - <http://geoportaal.maaamet.ee/> - 01.08.2013
51. Kolats, M.; Valgma, I.; Väizene, V.; Reinsalu, E.; Otsmaa, M.; Orru, M. (2012). Maardu vee dünaamika. Valgma, I.; Väizene, V.; Kolats, M.; Karu, V. (Toim.). Kaevandamine ja keskkond (135 - 142). Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli mäeinstituut
52. Müürisepp, K. (1954), Geoloogiline ülevaade Maardu varapaigast, väljudes tema kompleksse kasutamise seisukohast. (Esitatud ENSV TA Presiidiumile, 5,06.1954.a). Eesti Geoloogia Fond No 839 (eesti ja vene keeles).
53. Keskkonnaagentuur, Keskkonnainfo, Järvekogumid - http://www.keskkonnainfo.ee/main/index.php?option=com_content&view=article&id=38&Itemid=71 – 06.08.2013
54. Ülgase looduskaitseala kaitse-eeskiri - <https://www.riigiteataja.ee/akt/13295112> - 07.08.2013
55. Keskkonnaagentuur, Keskkonnainfo, Nahkhiirte seire - http://seire.keskkonnainfo.ee/index.php?option=com_content&view=article&id=2041&Itemid=354 – 07.08.2013
56. Järvet, A. 1983. Pinnaveekogude laboratoorse kontrolli korraldamisest Tartu Maaparanduse Valitsuses. – Keskkonnatehnika 1, 1-4.
57. Pihlak, A., Maremäe, E., Pikkov, V., Lippmaa, E. 1984. Maardu fosforiidikarjääri puistangute saastav mõju veele. – Eesti NSV TA Toimetised. Bioloogia 33, 3, 166-170.
58. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши 1987. Раздел 1. Поверхностные воды. Серия 2. Ежегодные данные.

- Часть 1. Реки. Часть 2. Озера и водохранилища. Том XV (14) Эстонская ССР. Бассейны рек Эстонской ССР. Таллин, 1988. 136 с.
59. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши 1988. Раздел 1. Поверхностные воды. Серия 2. Ежегодные данные. Часть 1. Реки. Часть 2. Озера и водохранилища. Том XV (14) Эстонская ССР. Бассейны рек Эстонской ССР. Таллинн, 1989. 136 с.
60. Наумов, Б., Каризе, В. 1991. Вынос минеральных веществ в Финский залив из фосфоритового карьера Маарду. – Изв. АН ЭССР. Геология 40, 4, 165-172.
61. Наумов, Б.Е. 1991. Загрязнение гидросферы при выщелачивании диктионемовых аргиллитов в отвалах Маардуских фосфоритовых карьеров. – Oil Shale 8, 3, 266-274.
62. Keskkonnaagentuur, Ohtlike ainete seire veekogudes - http://seire.keskkonnainfo.ee/index.php?option=com_content&view=article&id=2109&Itemid=422 – 16.08.2013
63. Иоаннес, Э.Я., Каризе, В.Ю. 1979. Формирование качества вод при открытом способе добычи фосфоритов в Маарду (ЭССР). – В кн.: Материалы VI Всесоюзного симпозиума по современным проблемам самоочищения водоемов и регулирования качества воды. Таллин, 16-18 апреля 1979 г. II секция. Гидрохимические и санитарно-биологические аспекты самоочищения (Часть I). Таллин. С.66-67.
64. Mäendusuuritud - <http://mi.ttu.ee/projektid/> - 01.08.2013
65. Kivimägi, E. 1974. Eesti senikasutamata maavara 1. – Eesti Loodus 4, 199-202. Eesti senikasutamata maavara 2. – Eesti Loodus 5, 295-297.
66. Уров, К., Высоцкая, В. 1981. О смоле самовозгорания диктионемового сланца. – Изв. АН ЭССР. Химия 30, 101-105.
67. Tamm, I.; Osjamets, M. 2009. Kroodi oja ehitusgeoloogiline- ja reostusuuring. Lõpparuanne. As maves.
68. Lauringson, V., Reier, A. (1981). Eesti NSV maapõuevarad ja nende kaevandamine. Perioodika. Tallinn

8. Lisad

- 8.1. Lisa 1. pH ja SO₄ mõõdetud väärtused välitööde ja aastaegade kaupa**
- 8.2. Lisa 2. BHT7 ja KHT Mn mõõdetud väärtused välitööde ja aastaegade kaupa**
- 8.3. Lisa 3. Nüld ja Püld mõõdetud väärtused välitööde ja aastaegade kaupa**
- 8.4. Lisa 4. Mõõdetud andmete koondtabel**