



KLIIMAMINISTEERIUM



Kaevandamisest mõjutatud pinnaveekogumite ohtlike ainete surve välja selgitamine (C.4)

Tallinn 2025

Töö nimetus: Kaevandamisest mõjutatud veekogumite ohtlike ainete surve välja selgitamine (C.4)

Töö koostajad: Vallo Kõrgmaa, Greta Nurk, Indrek Tamm, Mailis Laht

Aruanne on valminud LIFE IP CleanEST projekti raames, mida rahastavad Euroopa Komisjoni LIFE programm ja Eesti riik. LIFE programmi rahastusleping nr LIFE17 IPE/EE/000007. Aruanne kajastab autori seisukohti ja Euroopa Komisjon ei vastuta sisu kasutamise eest.

Sisukord

Summary	5
Kokkuvõte	9
Sissejuhatus	15
1 Kaevandamise mõju pinnaveekogumitele	16
1.1 Kaevandamise mõju pinnaveekogumite hüdroloogilisele režiimile	16
1.2 Kaevandamise mõju pinna- ja põhjavee keemilisele koostisele	18
1.3 Püriidi oksüdeerimine põhjustab veekeemia muutusi kaevandustega seotud veekogudes	20
1.3.1 Püriidi teke ja leidumine	20
1.3.2 Püriidi oksüdeerimine	21
1.3.3 Raskemetallide vabanemine sulfiidsete mineraalide sh püriidi oksüdeerimisel	24
1.4 Kaevanduste mõju vee-elustikule	26
1.4.1 Veerežiimi muutuse mõjud elustikule	26
1.4.2 Vee-keemia muutuste mõjud elustikule	26
1.4.3 Saasteainete hulga suurenemine ja toksiline mõju elustikule	27
2 Kaevanduste mõju analüüsitud pinnaveekogude seisundile	29
2.1 Purtse jõgi (kogum 1068200_2) ja selle valgala	30
2.1.1 Hirmuse jõgi (kogum 1069700_1)	32
2.1.2 Kiviõli kaevanduse kraav (kogum 1070100_1)	33
2.1.3 Küttejõu kraav	34
2.1.4 Ojamaa jõgi (kogum 1068700_1)	35
2.1.5 Erra jõgi (kogum 1070200_1)	38
2.1.6 Kohtla jõgi (kogum 1070700_1)	39
2.2 Pühajõgi (kogumid 1067000_1 ja 1067000_2) ja selle valgala	40
2.2.1 Kose (Rausvere) jõgi (kogum 1067300_1)	42
2.2.2 Vasavere jõgi (kogum 106770_1)	44
2.3 Rannapungerja jõgi (kogumid 1058700_1, 1058700_2 ja 1058700_3) ning selle valgala	45

2.3.1	Mäetaguse jõgi (kogum 1059200_1)	48
2.4	Mustajõgi (kogum 1063800_1)	49
2.4.1	Konsu järv (kogum 2027900_1)	52
2.4.2	Kurtna Nõmmejärv	53
2.5	Alajõgi (kogumid 1061300_1 ja 1061300_2)	53
2.6	Narva lähtest Narva veehoidlani (kogum 1062200_1)	54
	Toolse jõgi (kogum 1074100_1)	56
2.7	Kroodi oja (kogum 1089100_1)	57
2.7.1	Maardu järv (kogum 2005910_1)	60
2.8	Meriküla oja (kogum 1071600_1)	62
2.9	Sõreda oja (kogum 1071500_1)	62
3	Soovitused ja tähelepanekud	63

Summary

Mining has a significant impact on both surface and groundwater bodies, causing changes in water regimes, chemical composition, and ecosystems. Oil shale and phosphorite mining in northeastern Estonia and the Maardu area have had particularly strong effects. In surface water bodies affected by mining, changes in pH and increased concentrations of heavy metals and sulphates are caused by the influence of mine water. The environmental impacts associated with the discharge of mine water need to be better mapped and considered in status assessments. Environmental permits should ensure improvements in environmental conditions. Mining permits must be aligned with actual impacts by including requirements for monitoring heavy metals in mine water and implementing measures to reduce alterations in the water regime.

This literature-based meta-analysis examined the pressures caused by major mining operations in Estonia and their effects on the status of surface water bodies. A summary of the impacts of mining on the analysed water bodies is presented in Table 1. The table shows that the primary effects of mining on surface waters manifest as changes in water regime and/or chemical composition.

- **Hydromorphological changes**

During mining, a large amount of groundwater is pumped out of the mining area to keep the mine workings dry. As a result, the groundwater level drops significantly, which can lead to the partial or complete drying up of surface water bodies. For example, the tributaries of the Purtse River — Hirmuse Stream and the Kiviõli mine ditch — are periodically dry. On the other hand, the discharge of mine water into receiving bodies increases the volume of water in the surface water body, which is generally beneficial for aquatic life. However, under certain conditions, it may cause bank erosion and an associated increase in sediment load, resulting in the degradation of aquatic habitats. This has happened, for example, in the Kose River, where the construction of gravity-flow discharges from the Tammiku and Ahtme mines significantly increased water volume, leading to erosion-induced habitat loss.

Discharging mine water into surface water bodies also causes elevated levels of sulfates and heavy metals in the receiving waters. Artificial lakes often form in closed quarry areas, but their morphology — especially steep banks — does not support the development of species-rich ecosystems. To improve the situation, a guideline for the rehabilitation of oil shale quarries will be developed by the end of 2026 as part of activity C.8 of the LIFE IP CleanEST project.

- **Changes in water chemistry**

Mining activity leads to increased concentrations of suspended solids, sulfates, and heavy metals in surface waters. These changes in water chemistry are primarily caused by the exposure of rock layers—particularly those containing pyrite—that were previously in anaerobic conditions. Once exposed to oxygen due to mining, environmental conditions shift to aerobic, triggering oxidation reactions. As a result, sulfates and heavy metals (such as nickel, chromium, lead, and mercury) are released from pyrite and other sulfide minerals.

Analyses of various water bodies have shown that rivers affected by mining exhibit significantly higher sulfate concentrations compared to unaffected rivers. For example, the average sulfate concentration in the Purtse River is 268 mg/L, while in natural water bodies it is typically below 30 mg/L.

Periodic increases in heavy metal concentrations were observed in eight analyzed water bodies (the Purtse, Ojamaa, Erra, and Kohtla Rivers, Pühajõgi, Alajõgi, Mustajõgi, and Kroodi Stream), which were linked to the effects of oil shale or phosphorite mining. The most common issue was elevated **nickel** concentrations — in the Purtse, Kohtla, Erra, and Ojamaa Rivers, as well as Mustajõgi and Kroodi Stream, nickel levels exceeded the **AA-EQS** (Annual Average Environmental Quality Standard) of 4 µg/L. In Kroodi Stream, **MAC-EQS** (Maximum Allowable Concentration) of 34 µg/L was exceeded in two years (2003 and 2010).

In addition, during the period 1991–2024, the following heavy metal concentrations were observed to exceed environmental quality standards:

- **Mercury** exceeded the MAC-EQS (0.07 µg/L) in the Purtse and Ojamaa Rivers, Pühajõgi, and Alajõgi;
- **Lead** exceeded the AA-EQS (1.2 µg/L) in the Purtse River, Pühajõgi, Mustajõgi, and Kroodi Stream. In the Purtse River, the MAC-EQS (14 µg/L) was exceeded twice, and once in Mustajõgi;
- **Copper** exceeded the AA-EQS (7.8 µg/L) in the Kohtla and Erra Rivers, Pühajõgi, Mustajõgi, and Kroodi Stream;
- **Zinc** exceeded the AA-EQS (10.9 µg/L) in the Kohtla River, Pühajõgi, Mustajõgi, Alajõgi, and Kroodi Stream;
- **Barium** exceeded the AA-EQS (115 µg/L) in Pühajõgi and Alajõgi;
- **Cadmium** exceeded the AA-EQS (ranging from 0.08 to 0.25 µg/L depending on water hardness) in Mustajõgi and Kroodi Stream;

- In **Kroodi Stream**, annual average environmental quality standards were also exceeded for **arsenic** and **chromium**.

Among the analyzed water bodies, the impacts of mining could not be identified in two cases: the Narva River and Alajõgi. Although mine water is discharged into the Narva_1 body, the volume is very small in relation to the total water volume. In the case of Alajõgi, slight increases in heavy metal concentrations were observed, but these cannot be conclusively attributed to mining activities. For two other streams (Meriküla Stream and Sõreda Stream), mine water constitutes only a minor part of the total water volume, and the impact cannot be assessed due to the lack of water quality (chemical composition) data.

- **Impact on aquatic life**

Mining activities lead to habitat loss, deterioration of water quality, and hydromorphological changes that affect the living conditions of aquatic organisms. When river water levels drop or rivers periodically dry up, fish and invertebrate populations may decline or disappear entirely. Mining also increases the concentration of total suspended solids (TSS), sulphates, and heavy metals in surface waters. Elevated levels of TSS inhibit the growth of algae and microorganisms, thereby reducing the food availability for macroinvertebrates and fish.

When the concentration of toxic substances exceeds the tolerance limits of aquatic organisms, survival in the water is no longer possible. The impact of heavy metals depends on their bioavailability, which is influenced by other water chemistry parameters. For example, metals are less bioavailable—and thus less toxic—in harder water.

Sulphate is another pollutant that affects aquatic ecosystems. Its direct toxicity varies depending on the water chemistry of the specific water body (e.g., hardness, pH, temperature, organic matter content), as chemical reactions in water are condition dependent. In addition, sulphate has a significant indirect effect on aquatic life: during its reduction by sulphate-reducing bacteria, toxic sulfide and methylmercury are produced. Methylmercury is a highly toxic environmental contaminant that accumulates in the food chain and damages the nervous systems of living organisms, particularly in aquatic ecosystems.

Recommendations:

- Sulphates and sulfides should be added to the list of water body-specific pollutants and their concentrations should be monitored in water bodies affected by mining.

- Environmental permits for mining operations should include monitoring requirements for heavy metals in mine water.
- In surface water bodies affected by mine water, heavy metals, pH, and sulphate concentrations should continue to be monitored even after the closure of mines.

Kokkuvõte

Kaevandamine mõjutab oluliselt nii pinna- kui ka põhjaveekogusid, põhjustades muutusi veerežiimis, vee keemilises koostises ja ökosüsteemides. Eriti tugevat mõju on avaldanud põlevkivi- ja fosforiidikaevandamine Kirde-Eestis ning Maardu piirkonnas. Kaevandamisest mõjutatud veega pinnaveekogudes on pH muutused, raskemetallide ja sulfaatide suurenenud sisaldused põhjustatud kaevandusvee mõjudest. Kaevandusvee juhtimisel tekkivad keskkonnamõjud on vaja paremini kaardistada ja seisundihinnangutes arvestada. Keskkonnalubade abil on vaja tagada keskkonnaseisundi paranemine. Kaevanduste keskkonnaloa peab viima tegelike mõjudega vastavusse lisades keskkonnalubadesse kaevandusvee raskemetallide seireandmed kui ka veerežiimi mõjutamist vähendavad meetmed.

Käesoleva kirjandusliku metanalüüsi käigus analüüsiti Eesti suuremate kaevanduste poolt põhjustatavaid surveid ja nende mõju pinnaveekogumite seisundile. Kaevandamise mõjud analüüsitud veekogudele on kokkuvõtlikult toodud tabelis 1. Tabelist on näha, et kaevandamise peamised mõjud pinnaveekogudele avalduvad muutusena veerežiimis ja/või vee keemilises koostises.

- **Hüdromorfoloogilised muutused**

Kaevandamise käigus pumbatakse kaevandusalalt välja suur hulk põhjavett, et hoida kaevanduskäigud kuivana. Selle tulemusena langeb põhjavee tase märgatavalt ning see võib põhjustada pinnaveekogude osalist või täielikku kuivamist. Näiteks on perioodiliselt kuivad Purtse jõe lisajõed Hirmuse jõgi ja Kiviõli kaevanduse kraav. Kaevandusvee juhtimine suublasse suurendab aga suublaks olevas pinnaveekogus vee hulka. Viimane on üldiselt positiivse mõjuga vee-elustiku seisukohast, kuid võib teatud tingimustel põhjustada kaldaerosiooni ja sellest tulenevat settekoormuse suurenemist, mille tagajärjel hävivad vee-elustiku elupaigad. Nii on juhtunud näiteks Kose jões, kus peale Tammiku ning Ahtme kaevanduste iseoolsete väljalaskude rajamist suurenes oluliselt vee hulk, mis omakorda põhjustab erosioonist tulenevat elupaikade hävimist. Kaevandusvee juhtimine pinnaveekogudesse toob kaasa ka sulfaadi ning raskemetallide sisalduste suurenemise suublaks olevates pinnaveekogudes.

Suletud karjäärade aladele tekivad tehisjärved, mille morfoloogia (eelkõige järsud kaldad) ei soosi liigirikaste ökosüsteemide väljakujunemist. Olukorra parendamiseks töötatakse LIFE IP CleanEST projekti tegevuse C.8 raames 2026.a. lõpuks välja juhend põlevkivikarjäärade korrastamiseks.

- **Veekemia muutused**

Kaevandamise mõjul suurenevad hõljuvaine, sulfaadi ning raskemetallide sisaldused pinnavees. Veekemia muutuste põhjuseks on see, et kivimid, eriti püriiti sisaldavad kihid, mis varasemalt paiknesid anaeroobsetes tingimustes, puutuvad kaevandamise mõjul kokku hapnikuga ning keskkonnatingimused muutuvad aeroobseks. Käivituvate oksüdatsioonireaktsioonide tulemusel vabanevad püriidist ja teiste sulfiidsete mineraalidest sulfaadid ja raskemetallid (näiteks nikkel, kroom, plii ja elavhõbe). Erinevate veekogude analüüsid on näidanud, et kaevanduste veega seotud jõgedes on sulfaatide sisaldus märgatavalt kõrgem võrreldes kaevanduste mõjuta jõgedega. Näiteks Purtse jões on sulfaatide keskmine sisaldus 268 mg/l, samas kui looduslikus veekogus on see tavaliselt alla 30 mg/l. Kaheksa analüüsitud veekogu (Purtse, Ojamaa, Erra ja Kohtla jõed, Pühajõgi, Alajõgi, Mustajõgi ning Kroodi oja) puhul täheldati perioodilisi raskemetallide sisalduste suurenemisi, mis olid seostatavad põlevkivi või fosforiidi kaevandamise mõjudega. Kõige sagedamin tekitas probleeme nikli sisalduse suurenemine – Purtse, Kohtla, Erra ja Ojamaa jõgedes ning Mustajões ja Kroodi ojas ületasid nikli sisaldused aasta keskmist keskkonnakvaliteedi piirväärtust (AA-EQS), mis nikli jaoks on 4 µg/l. Kroodi ojas ületasid nikli sisaldused ka suurimat lubatud keskkonnakvaliteedi piirväärtust – MAC-EQS-i (34 µg/l) kahel aastal (2003 ja 2010). Samuti täheldati raskemetallide sisalduste suurenemist perioodil 1991-2024 järgnevalt:

- Elavhõbeda sisaldused ületasid keskkonna kvaliteedistandardeid (MAC-EQS – 0,07 µg/l) Purtse ja Ojamaa jõgedes, Pühajões ning Alajões;
- Plii sisaldused ületasid keskkonna kvaliteedistandardeid (AA-EQS 1,2 µg/l) Purtse jões, Pühajões, Mustajões ja Kroodi ojas. Purtse jões ületati kahel korral ka MAC-EQS-i (14 µg/l), Mustajões aga ühel korral;
- Vase sisaldused ületasid aasta keskmisi keskkonna kvaliteedistandardeid (7,8 µg/l) Kohtla ja Erra jõgedes, Pühajões, Mustajões ning Kroodi ojas;
- Tsingi sisaldused ületasid aasta keskmisi keskkonna kvaliteedistandardeid (10,9 µg/l) Kohtla jões, Pühajões, Mustajões, Alajões ja Kroodi ojas;
- Baariumi sisaldused ületasid aasta keskmisi keskkonna kvaliteedistandardeid (115 µg/l) Pühajões ja Alajões;
- Kaadmiumi sisaldused ületasid keskkonna kvaliteedistandardeid (AA-EQS vahemikus 0,08...0,25 µg/l sõltuvalt vee karedusest) Mustajões ja Kroodi ojas;
- Kroodi ojas sisaldused ületasid aasta keskmisi keskkonna kvaliteedistandardeid ka arseeni ning kroomi sisaldused.

Analüüsitud kogumitest kahe puhul (Narva jõgi ja Alajõgi) ei olnud võimalik kaevandamise mõjusid tuvastada. Narva_1 kogumisse juhitakse küll kaevanduste vett, kuid selle hulk on (võrreldes muu vee kogusega) väga väike. Alajõe puhul oli märgata küll mõningate raskemetallide sisalduste suurenemist, kuid selle põhjused ei ole seletatavad kaevandustegevusega. Kahe veekogu puhul (Meriküla oja ja Sõreda oja) ei moodusta kaevandusvee hulk olulist osa kogumi veehulgast, kuid mõju pole võimalik hinnata, sest puuduvad veekvaliteedi (keemilise koostise) analüüsid.

- **Mõju vee-elustikule**

Kaevandustegevus põhjustab elupaikade kadu, vee kvaliteedi halvenemist ja hüdro-morfoloogilisi muutusi, mis mõjutavad veeorganismide elutingimusi. Kui jõgede veetasemed langevad või need perioodiliselt kuivavad, kaovad või vähenevad seal elavad kalad ja selgrootud. Kaevandamise mõjul suurenevad hõljuvaine, sulfaadi ning raskemetallide sisaldused pinnavees. Suurenenud hõljuvainesisaldus pärsib vetikate või mikroorganismide kasvu ja nii suurselgrootute või kalade toitumist. Mürgiste ainete organismide taluvuspiiride ületamisel ei ole elu vees enam võimalik. Raskemetallide mõju organismidele sõltub nende biosaadavusest, mis omakorda on mõjutatud teistest veekeemia protsessidest vees. Näiteks on karedamas vees metallid vähem biosaadavad ning seetõttu nende toksilisus vee-elustikule väheneb. Sulfaat on saasteaine, mille sisaldus mõjutab samuti vee-elustikku. Sõltuvalt konkreetse veekogu veekeemiast (nt, karedus, pH, temperatuur, orgaaniliste ainete sisaldus) võib otsene toksiline toime erineda, sest veekogus toimuvad reaktsioonid sõltuvad sellest, millised tingimused veekogus parajasti valitsevad. Sulfaadil on ka oluline kaudne mõju elustikule – sulfaadi redutseerimisel toodetakse sulfaati redutseerivate bakterite poolt mürgist sulfiidi ning metüüelavhõbedat. Metüüelavhõbe on väga mürgine keskkonasaasteaine, mis akumulēerub toiduahelas ja kahjustab elusorganismide närvisüsteemi, eriti veeökosüsteemides.

Soovitused:

- Sulfaadid ning sulfiidid tuleb lisada vesikonnaspetsiifiliste saasteainete nimekirja ning nende sisaldusi seirata kaevandustest mõjutatud veekogudes.
- Kaevanduste keskkonnalubadesse tuleb lisada kaevandusvee raskemetallide seirenõuded.
- Kaevandamisest mõjutatud veega pinnaveekogudes tuleb raskemetalle, pH-d ja sulfaate seirata ka peale kaevanduste sulgemist

Tabel 1. Analüüsitud veekogude kaevandusmõjude kokkuvõte

Veekogu	Veekogu valgalal paiknevad aktiivsed kaevandused	Veekogu valgalal paiknevad suletud kaevandused	Kaevandatud maavara	Kaevanduste mõju	Muutused veerežiimis	Muutused veekeemias	Märkused
Purtse jõgi	Viru põlevkivi kaevandus, Põhja-Kiviõli II põlevkivikarjäär	Kiviõli kaevandus, Aidu karjäär, Kohtla karjäär, Kohtla kaevandus, Sompka kaevandus, Käva kaevandus, Käva 2 kaevandus, Kaevandus 4	Põlevkivi	Jah	Q↑	Hg↑, Ni↑, Pb↑, SO ₄ ↑	Kaevandusvee osakaal hinnanguliselt 36-43% jõe keskmisest vooluhulgast. Lisaks mõjutab jõe seisundit põlevkivitööstuse jääkreostus.
Hirmuse jõgi	Puuduvad	Kiviõli kaevandus	Põlevkivi	Jah	Q↓	Ei	Perioodiliselt kuiv muutunud veerežiimi tõttu.
Kiviõli kaevanduse kraav	Puuduvad	Kiviõli kaevandus	Põlevkivi	Jah	Q↓	Ei	Perioodiliselt kuiv muutunud veerežiimi tõttu.
Küttejõu kraav	Puuduvad	Kiviõli kaevandus	Põlevkivi	Jah	Q↑	Hg↑, Ni↑, SO ₄ ↑	Ei ole veekoguna arvel.
Ojamaa jõgi	Viru kaevandus	Aidu karjäär, Kohtla kaevandus, Sompka kaevandus	Põlevkivi	Jah	Ulatuslikud muutused	Ni↑, SO ₄ ↑	Keskjooksul perioodiliselt kuiv, alamjooksul moodustab 50-70% vooluhulgast kaevandusvesi.
Erra jõgi	Põhja-Kiviõli II põlevkivikarjäär	Kiviõli kaevandus	Põlevkivi	Jah	Ei	Ni↑, Cu↑	Varasemalt juhiti Erra jõkke kaevandusvett väljalasut HVL0441480 kaudu, kuid vajaduse puudumisel veejuhtimine lõpetati. 2025.a. juhiti taas sademete rohke suve tõttu kaevandusest vett välja, kuid aruande koostamise ajal koguste kohta täpsemad andmed puuduvad. Lisaks mõjutab jõe seisundit põlevkivitööstuse jääkreostus.

Veekogu	Veekogu valgalal paiknevad aktiivsed kaevandused	Veekogu valgalal paiknevad suletud kaevandused	Kaevandatud maavara	Kaevanduste mõju	Muutused veerežiimis	Muutused veekeemias	Märkused
Kohtla jõgi	Puuduvad	Aidu karjäär, Kohtla karjäär, Kohtla kaevandus, Sompka kaevandus, Käva kaevandus, Käva 2 kaevandus, Kaevandus 4	Põlevkivi	Jah	Q↑ + ülemjooks kuiv	Ni↑, Cu↑, Zn↑, SO ₄ ↑	Ülemjooksul ajalooline säng kuiv, Käva kaevanduse iseoolne väljalask moodustab ca 30% jõe vooluhulgast. Lisaks mõjutas jõe seisundit jääkreostus, mis likvideeriti 2022.a.
Pühajõgi	Puuduvad	Kukuruse kaevandus, Kaevandus 2, Tammiku kaevandus, Ahtme kaevandus	Põlevkivi	Jah	Q↑	Ba↑, Hg↑, Cu↑, Pb↑, Zn, ↑ SO ₄ ↑	Kaevandusvee osakaal alamjooksul ca 26%. Kaevandusvesi juhatakse Pühajõkke Kose jõe kaudu. Lisaks mõjutab jõe seisundit jääkreostus.
Kose jõgi	Puuduvad	Tammiku ja Ahtme kaevandused	Põlevkivi	Jah	Q↑	SO ₄ ↑	Ligi 90% jõe vooluhulgast moodustab kaevandusvesi. Vooluhulkade suurenemise tõttu kaldad erodeerivad.
Vasavere jõgi	Puuduvad	Ahtme kaevandus	Põlevkivi	Jah	Q↓	Andmed puuduvad	Perioodiliselt kuiv muutunud veerežiimi tõttu.
Rannapungerja jõgi	Estonia kaevandus	Puuduvad	Põlevkivi	Jah	Q↑	Ba↑, Zn↑, SO ₄ ↑	Kaevandusvee osakaal alamjooksul 32-39%.
Mäetaguse jõgi	Estonia kaevandus	Puuduvad	Põlevkivi	Jah	Q↓	Ei	Perioodiliselt kuiv ülemjooksul
Mustajõgi	Viru ja Estonia kaevandused, Sirgala ja Narva karjäärid	Tranžee 13, Viivikonna karjäär	Põlevkivi	Jah	Q↑	Cd↑, Cu↑, Ni↑, Pb↑, Zn↑, SO ₄ ↑	Kaevandusvesi moodustab Mustajõe alamjooksul 47-56% jõe keskmisest vooluhulgast.
Konsu järv	Estonia kaevandus	Puuduvad	Põlevkivi	Jah	Q↑	SO ₄ ↑	Konsu järve juhatakse Raudi kanali kaudu Estonia kaevanduse vett. Konsu järvest võtab OÜ VKG Energia ka tootmis- ning jahutusvett (L.KKL.IV-204118).
Kurtna Nõmmejärv	Estonia kaevandus	Puuduvad	Põlevkivi	Jah	Q↑	Andmed puuduvad	Kurtna Nõmmjärve läbib Raudi kanal, mille kaudu juhatakse Estonia kaevanduse vett Mustajõkke.

Veekogu	Veekogu valgalal paiknevad aktiivsed kaevandused	Veekogu valgalal paiknevad suletud kaevandused	Kaevandatud maavara	Kaevanduste mõju	Muutused veerežiimis	Muutused veekeemias	Märkused
Alajõgi	Puuduvad	Puuduvad	-	Ei	Ei	Ba↑, Hg↑, Zn↑	Muutused veekeemias ei ole seletatavad kaevanduse mõjudega.
Narva jõgi	Viru ja Estonia kaevandused, Sirgala ja Narva karjäärid	Tranžee 13, Viivikonna karjäär	Põlevkivi	Ei	Ei	Ei	Kaevandusvee osakaal ca 1%.
Toolse jõgi	Ubja karjäär, Aru-Lõuna karjääri	Puuduvad	Põlevkivi, lubjakivi	Jah	Q↑	SO ₄ ↑	Ubja põlevkivikarjäär ei tööta pidevalt, töötab kui on nõudlust põlevkivile.
Kroodi oja	Puuduvad	Maardu fosforiidikaevandus ja -karjäär	Fosforiit	Jah	Q↑	As↑, Cd↑, Cr↑, Cu↑, Ni↑, Pb↑, Zn↑, SO ₄ ↑	Lisaks mõjutas veekogu seisundit jääkreostus, mis likvideeriti 2015.a.
Maardu järv	Puuduvad	Maardu fosforiidikaevandus ja -karjäär	Fosforiit	Jah	Q↑	SO ₄ ↑	
Meriküla oja	Aseri I savikarjäär	Puuduvad	Savi	Jah/Ei	Q↑?	Andmed puuduvad	Mõjud ebaselged
Sõreda oja	Suurkõrtsi paekivikarjäär	Puuduvad	Paekivi	Jah/Ei	Q↑?	Andmed puuduvad	Mõjud ebaselged

Sissejuhatus

Eestis moodustas 2023.a. kaevandustest suublasse juhitud vete summaarne osakaal ligi 20% kogu veeheitest (kokku juhiti 2023.a. veelubade alusel karjäärdest ja kaevandustest suublasse ca 174 mln m³/a) [1]. Valdav osa kaevandamisega seotud veekasutusest toimub Ida-Virumaal – 100% suublasse juhitud kaevandusveest ning ligi 80% karjääriveest pärineb sellest maakonnast ning on peamiselt seotud põlevkivi kaevandamisega. Tegelikult on kaevandusvete osakaal oluliselt suurem, sest arvesse tuleb võtta ka juba suletud kaevandustest isevoolselt suublasse juhivat vett (Ida-Virumaa suletud põlevkivi karjäärdest ja kaevandustest ca 120 mln m³/a [2]).

Põlevkivitööstuse mõju all olevad pinnaveekogumid on Ida-Eesti veemajanduskava [3] järgi valdavalt kesises või halvas seisundis. Põlevkivitööstusega seotud kaevandamine mõjutab otseselt pinna- ja põhjaveevaru kogust ja selle kvaliteeti [2]. Kaevandusvee väljapumpamise ja selle ärajuhtimise tagajärjel on oluliselt muutunud piirkonna looduslik veerežiim ning mitmed veekogud jäänud osaliselt või täiesti kuivaks. Kaevandamisest põhjustatud põhjavee režiimi muutustega kaasnevad nii põhja- kui ka pinnavee kvaliteedi muutused (suurenenud sulfaatide sisaldus, karedus ning heljum). Kaevandatud aladel kanduvad saasteained põhjavees kiiremini laiali. Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumi keemiline seisund on halb, põhjaveekogumi koguseline seisund ei parane. Kaevandatud aladel on selle veekogumi Lasnamäe-Kunda veekihi sulfaatide sisaldus (ka karedus) kaevandamise lõpetamise järel oluliselt suurenenud ja ei sobi enam kasutamiseks joogiveeallikana [4].

Töö eesmärgiks oli analüüsida kaevandusvee mõjusid nende suublaks olevatele pinnaveekogudele. Ühtlasi aitab aruanne täita Veemajanduskavade 2022-2027 meetmeprogrammis plaanitud meetme VMK05 - Ohtlike ainete heite, keskkonda laskmise ja kadude ülevaate koostamine eesmärgi ja tuvastada ohtlike ainete liikumisteid ning heiteid. Uuringusse on kaasatud 9 kogumit: Alajõgi_2; Pühajõgi_1; Kose; Meriküla; Rannapungerja_1; Rannapungerja_2; Narva_1; Sõreda; Toolse. Töö katab meetmeprogrammi meetmed: tabel3meede0939, tabel3meede1133, tabel3meede1150, tabel3meede1307, tabel3meede0787, tabel3meede0806, tabel3meede0950, tabel3meede1280, tabel3meede1406, mille rakendajaks on meetmetabelis märgitud LIFE IP CleanEST projekt.

Kaevandamise mõju pinnaveekogumitele

Eestis kaevandatakse täna põhiliselt põlevkivi, turvast ja looduslikke ehitusmaterjale nagu liiv, kruus, lubja- ja dolokivi ning savi [5]. Kaevandamine muudab sageli redutseeriva keskkonna, kus mineraalid olid termodünaamiliselt stabiilsed, oksüdeerivaks ja kokkupuutes vee, hapniku ja mikroorganismidega vallanduvad nii keemilised kui ka mikrobioloogilised reaktsioonid [6]. Mida kõrgem on kivimite väävlisaldus, seda suuremad on võimalike saasteainete (nagu sulfaadi, raua ja raskemetallide) sisaldused kaevandamisest mõjutatud vees [6] sulfiidsete mineraalide oksüdeerimise tõttu hapnikurikkas keskkonnas (vt jaotist 1.2).

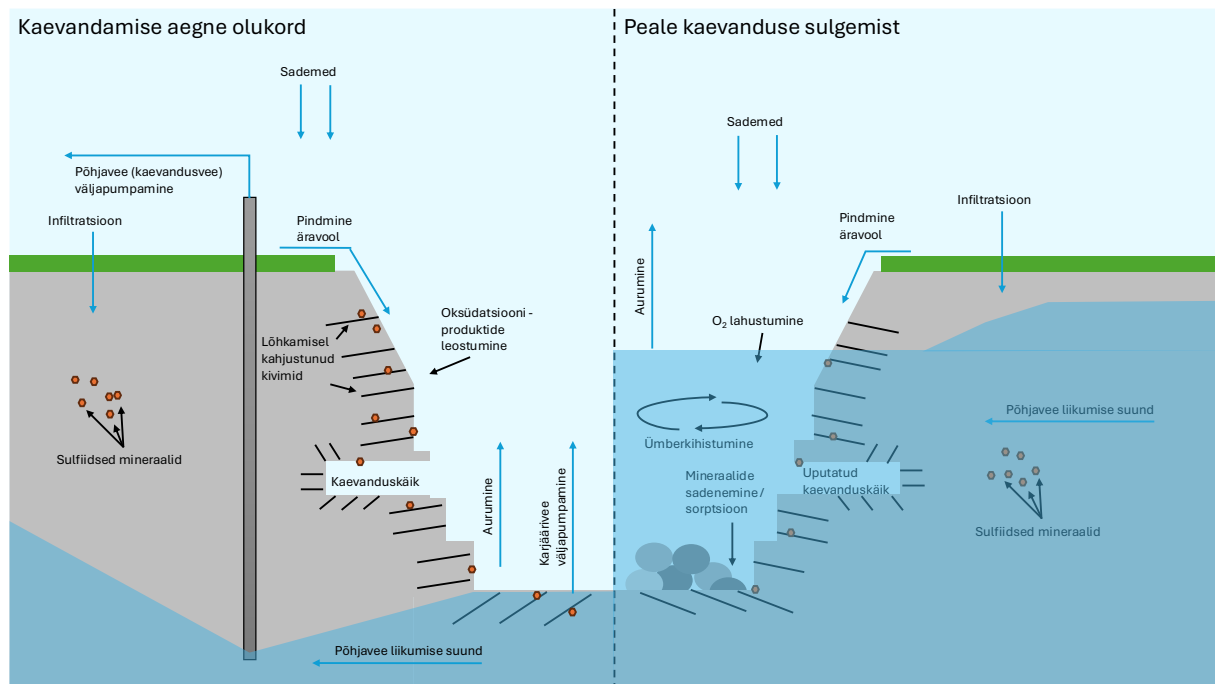
Kuna looduslike ehitusmaterjalide kaevandamine on rohkem hajutatud ja peamised mõjud avalduvad eelkõige hõljuvaine lisandumise ja veerežiimi muutuse kaudu [6], keskendutakse käesolevas aruandes eelkõige põlevkivi ning fosforiidi kaevandamisega kaasnenud mõjudele. Veemajanduskavade 2022-2027 meetmeprogrammist johtuvalt on analüüsitud ka kahe Viru alamvesikonna ehitusmaterjalide kaevandamisest mõjutatud veekogu (Sõreda oja, Meriküla oja) võimalikke mõjutusi kaevandamisest.

1.1 Kaevandamise mõju pinnaveekogumite hüdroloogilisele režiimile

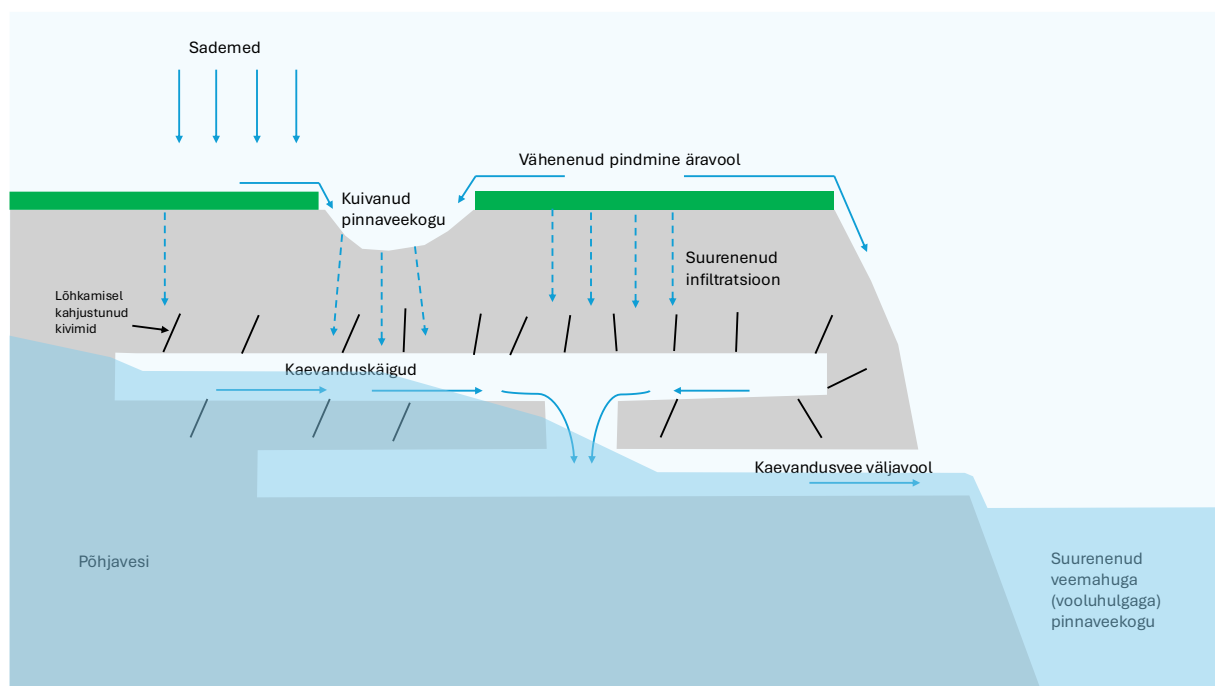
Kaevandamise käigus muutub veerežiim nii kaevandatud alal kui ka selle lähiümbruses (joonis 1). Selleks, et kaevurid töötada saaksid, tuleb tööala kuivendada ja põhjaveetase langeb kaevandatud alal ja selle ümbruses märgatavalt.

Ulatusliku kuivendamise ja vee väljapumpamise tulemusena muutub kogu piirkonna veerežiim – põhjavee taseme alandamine võib kaasa tuua pinnaveekogude (perioodilise) kuivamise kogumites, mis olid sellest põhjaveest sõltuvad. Veehulgad suurenevad aga pinnaveekogudes, kuhu väljapumbatav vesi juhitakse. Kui allmaakaevanduste piirkonna põhjavesi on kaitsmata või nõrgalt kaitstud, infiltreerub suurem osa sademeveest alanduspiirkonnas otse kaevandusse ja see võidakse välja pumbata hoopis teise piirkonna veekogusse (joonis 2). Peale kaevanduse sulgemist vett enam välja ei pumbata ning põhjaveetase tõuseb. Endiste karjäärade aladele tekivad tehisjärved, millel on enamasti järsud loodusliku varikaldega kaldanõlvad (joonis 1) ning seetõttu ka vähe taimestikku. Suletud kaevanduste veetase sõltub sademete hulgast ning töötavate kaevanduste mõjust ja võib olla reguleeritud isevoolse väljavooluga veega täitunud kaevandustest.

Kuna kaevanduskäike peale kavandamise lõppemist kivimitega uuesti ei täideta, moodustuvad maa-
lused tühimikud (kanalid), kus vesi saab takistamatult liikuda ka peale kaevanduse sulgemist.



Joonis 1. Veerežiim kaevandatud alal.



Joonis 2. Pinnaveekogude vooluhulkade muutused suletud allmaakaevanduste alal.

Suletud kaevanduste mõju pinnaveekogudele ja -kogumitele avaldub muutustena veekogu hüdro-morfoloogias, eelkõige veerežiimis:

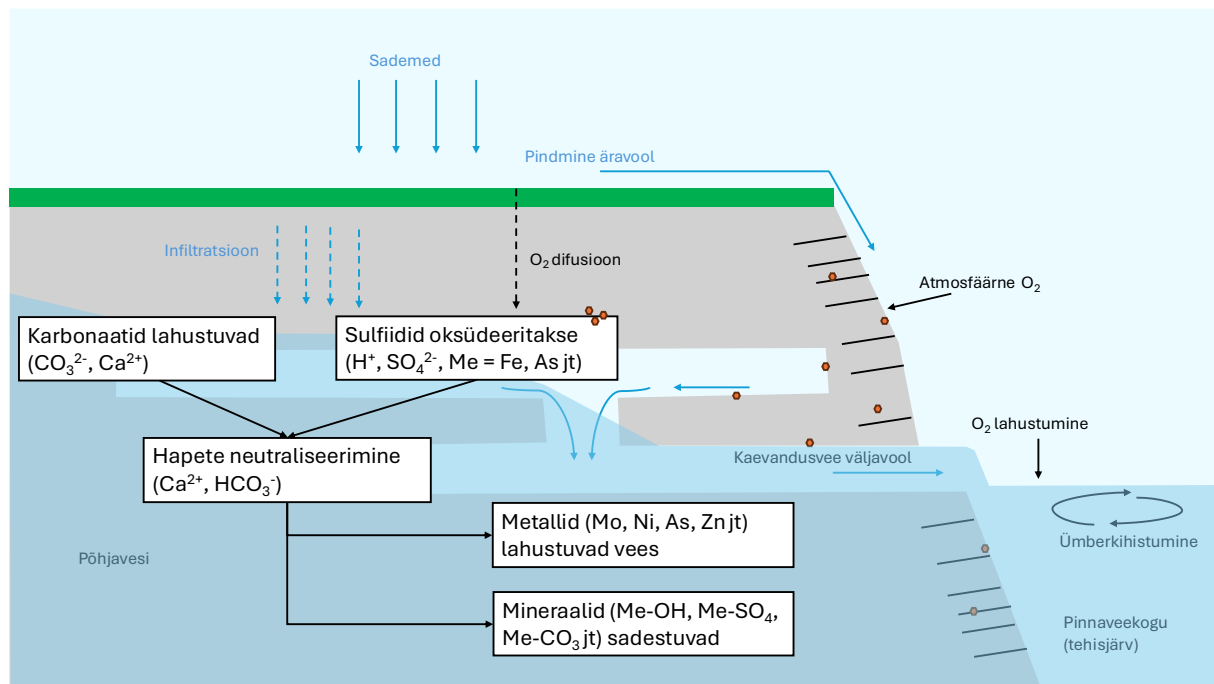
- Karjäärid – kaevandustegevuse lõppedes ala enam ei kuivendata ning endise kaevanduse alale tekivad **tehisjärved** (joonis 1). Sellistes tehisveekogudes (nt Aidu karjäär ja Narva karjäär), on põhja- ja pinnavesi omavahel hüdrauliselt seotud, kaevandatud alal puuduvad pinna- ja põhjavett eristavad vettpidavad pinnasekihid [2]. Väljavoolu olemasolul toimub see isevoolselt

pinnaveena, kuid selle veehulga ja veekvaliteedi määrab suur põhjavee osakaal, moodustades väljavoolu veest enamuse [2]. Karjääri külgnemisel veega täitunud allmaakaevandusega, lisandub veega täitunud kaevanduste põhjavesi [2].

- Allmaakaevandused – allmaakaevandamise järel suurenevad kaevanduse peal olevate lubjakivide vertikaalsuunaline veejuhtivus ja veeand, paremini on see jälgitav maapinnalähedaste kaevanduste alal [2]. Pea kogu aurumisest üle jääv sademevesi infiltreerub kiiresti põhjavette (joonis 2) ja tekivad uued pinnaveekogud allmaakaevanduse vee väljavoolul [2]. Võrreldes kaevandamiseelse situatsiooniga jääb kaevandamisjärgselt allmaakaevanduste alal põhjaveetase reeglina madalamale [2]. Veetase on kaevandamiseelisel kõrgusel (ja mõnikord ka kõrgemal) vaid kaevandatud ala maapinnareljeefi kõige madalamates kohtades [2]. Sellistesse madalatesse kohtadesse on tänaseks rajatud veega täitunud allmaakaevanduste põhjavee- taseme reguleerimiseks isevoolised väljalaskmed. Allmaakaevandatud aladel toimub põhjavee väljavool isevoolsetes väljalaskmetes „toruallikatest“ (Ahtme ja Viru kaevandustes), kaevanduskäigu varinguaugust (Tammiku kaevandus) või suletud kaevandusstollidest ja pindalaliste allikavöönditena kunagiste väljaveotranšeede servades (Kiviõli, Ubja ja Käva kaevandused) [2]. Allmaakaevandatud ala isevoolse väljalaskme vesi iseloomustab lähima kaevanduse territooriumi ülemise põhjaveekihi vett ja veega täitunud naaberkaevandustest lisanduvat põhjavett [2].

1.2 Kaevandamise mõju pinna- ja põhjavee keemilisele koostisele

Kaevandamise käigus paigutatakse suur osa kivimeid ümber ning selle tulemusena muutuvad ka kaevandatud alade vee- ja gaasirežiimid. Kaevandamisega seotud maapõue keskkonnatingimuste muutumine käivitab mitmeid protsesse, mis omakorda mõjutavad nii põhjavee kui ka pinnavee kvaliteeti. Kivimid ja mineraalid hakkavad kas õhus või aeroobses vees sisalduva hapniku toimel porsuma, lagunema, oksüdeeruma ja vees lahustuma (joonis 3).



Joonis 3. Kaevandamise tulemusena toimuvad muutused vee keemilises koostises (Me – metallid).

Muutused toimuvad lihtsustatult järgnevalt:

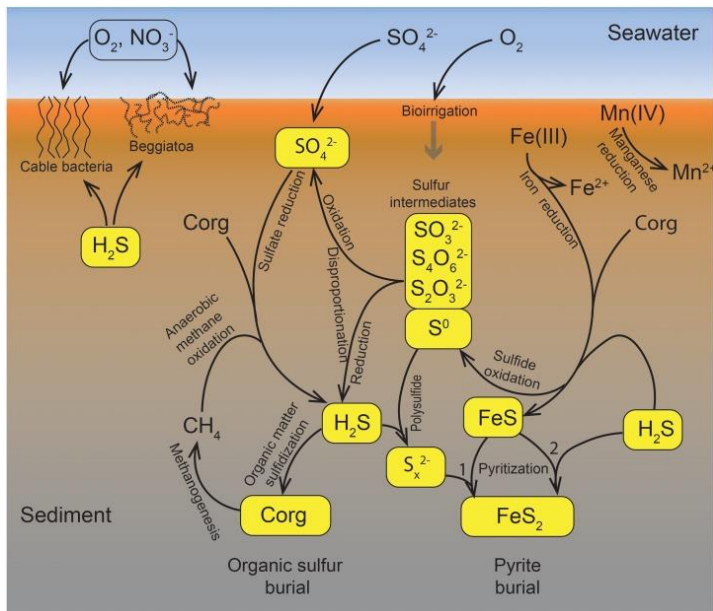
- Kui maapõues asuvad kivimid olid enne kaevandamist (küllaltki) hästi atmosfäärsetest gaasidest (eelkõige hapniku suhtes) isoleeritud (aeroobse veekihi paksus on enamasti <10m), siis kaevandamisel avatakse maapõues asunud kivimid atmosfääris olevatele gaasidele kuivendamise läbi ning põhjavesi pumbatakse mujale.
- Hapnikuolude muutuse kõige märgatavam tulemus on sulfaataniioonide järsk tõus kaevandamisest mõjutatud vees. SO_4^{2-} looduslik foon on vahemikus 0–490 mg/l, keskmiselt 23 mg/l. Looduslikult on suurema sulfaadi sisaldusega mõningad Hiiumaa ja Saaremaa järved ja nendega seotud vooluveekogud (nt, Kirikulaht, Mullutu laht, Nasva jõgi). Sulfaadi sisalduse suurenemine kaevandamisest mõjutatud vees on põhjustatud sulfaatsete mineraalide (eelkõige püriidi) oksüdeerumisest aeroobses vees [7]. Mineraalide lagunemisel suureneb lahustunud raskemetallide sisaldus vees, kuid tekivad ka uued mineraalid (nt, kips), mis küllastumuse tingimustes sadenevad veekogu põhja.
- Kaevandustegevuse lõppedes aga vett enam minema ei juhita ja põhjaveetasemete taastudes täitub kaevandus kas osaliselt või täielikult veega. Tulenevalt orgaanilise aine oksüdeerimisest lahustunud hapniku sisaldus põhjavees väheneb ning keskkonnatingimused muutuvad ajapikku anaeroobseks. See omakorda mõjutab teisi oksüdeerimis- ning lahustumisprotsesse ning lõpuks kaevandamisest tulenevad keemilised ja bioloogilised reaktsioonid pidurduvad ning saavutatakse uus tasakaaluolek.

- Pinnavees leidub alati lahustunud hapnikku (seda nii hapniku difusiooni kui ka fotosünteesi tõttu) ning keemiliste ja bioloogiliste protsesside pidurdumine sõltub kaevandamisjärgselt tekkinud tehisjärvedes pigem oksüdeeritavate mineraalide sisaldusest ja sellest, kui hästi need on oksüdeerijatele kättesaadavad. Kuna lahustunud hapniku sisaldus pinnaveekogudes on sageli varieeruv nii aastaajaliselt kui ka vee sügavusest johtuvalt, võivad seal soodsates oludes samaaegselt toimuda nii püriidi lagunemine oksüdeerumisel kui ka sulfaadi redutseerumine ja uute sulfiidsete mineraalide moodustumine.

1.3 Püriidi oksüdeerimine põhjustab veekeemia muutusi kaevandustega seotud veekogudes

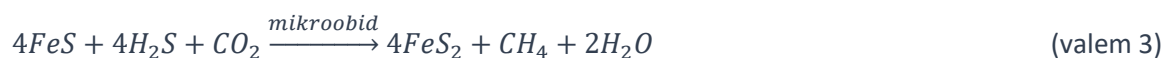
1.3.1 Püriidi teke ja leidumine

Püriit (FeS_2) on kõige tavalisem sulfiidne mineraal, mida esineb väga paljudes kivimites ja setendites, sealhulgas Eesti lubjakivis, dolomiidis, põlevkivides ja fosforiidis [8]. Püriit tekib osana looduslikust raua ning väävli ringest – sulfaati redutseerivad bakterid redutseerivad anaeroobsetes tingimustes sulfaadi sulfiidiks, mis omakorda rauaga reageerides moodustab soola – raud(II)disulfiidi ehk püriidi (joonis 4).



Joonis 4. Püriidi teke meresetetes [11].

Püriit võib moodustuda väga laias temperatuuride vahemikus, alates settekeskkonna temperatuuridest kuni kõrgete ($>500\text{ }^\circ\text{C}$) temperatuurideni [9]. Püriidi teke võib toimuda abiootiliselt (valem 1) või raudsulfidi tekke (abiootiline, valem 2) ning selle edasise biotilise oksüdeerimise käigus (valem 3) [10].



Püriiti leidub Eestis laialdaselt [7] ning selle sisaldused on erinevad:

- Põlevkivi mineraalosas on püriidi sisaldus väga varieeruv vahemikus 0,1 kuni 5% kristallilistest faasidest ja selle jaotumine kivimis võib olla väga varieeruv ning on peamiselt seotud dolomiidistunud intervallidega [12]. [15]
- Graptoliitargilliidi püriidi sisaldus on väga varieeruv – valdavalt 2,4–6%, kohati isegi 8–9% [13];
- Fosforiidis jääb püriidisaldus 0,2 ja 1,3% vahele, kohati tõustes 2%-ni [7], [14].
- Soome lahe põhjasetetes on püriidi sisaldus keskmiselt 1% ümbruses, moodustades kogu väävli sisaldusest ca 70% [15];
- Savis võib püriiti leiduda ca 1,8% [7].

1.3.2 Püriidi oksüdeerimine

Kaevandamise tulemusena muutuvad maapõues oleva püriidi keskkonnatingimused – varem hapnikuta keskkonnas olnud püriit hakkab (õhus oleva või vees lahustunud) hapniku toimel oksüdeeruma. Püriidi oksüdatsioon toimub siis, kui mineraal puutub kokku õhu ja veega [16], [17]. Protsess on keeruline, kuna see hõlmab keemilisi, bioloogilisi ja elektrokeemilisi reaktsioone ning varieerub sõltuvalt keskkonnatingimustest [16]. Lähtuvalt redoksredelist¹ oksüdeerub kõigepealt vees olev orgaaniline aine:



Kui vees on hapnikku rohkem, kui seda kulub orgaanilise aine oksüdeerimiseks, hakkavad oksüdeeruma püriit ja teised ühendid (nt NH_4^+). Kui põhjavee puhul võib teatud tingimustes eeldada, et lahustunud hapnik saab ühel hetkel otsa ning reaktsioonid pidurduvad [8], siis pinnavee puhul see reeglina nii ei ole ning hapnikku võib vette hoopis lisanduda tulenevalt veekogu füüsikalise-keemilistest ning hüdrogeoloogilistest tingimustest (nt vee liikumine õhustab vett) ja seal kulgevatest

¹ Redoksredel näitab redoksreaktsioonide toimumise järjekorda, tuginedes redokspaaridest saadud vabale energiale. Need redoksgradiendid moodustuvad nii ruumiliselt kui ka ajaliselt mikroobsete protsesside, keskkonna keemilise koostise ja oksüdatiivse potentsiaali erinevuste tulemusena. Redoksredeli kohaselt on oksüdeerimisprotsesside läbiviimisel elektronide akseptorite eelistatud järjekord $O_2 \rightarrow NO_3^- \rightarrow MnO_2 \rightarrow Fe(OH)_3 \rightarrow SO_4^{2-} \rightarrow CO_2 \rightarrow H_2O$. Seetõttu on nt nitraadi kasutamine e-akseptorina on energeetiliselt kasulik alles siis, kui O_2 varud on ammendunud.

bioloogilistest protsessidest (fotosünteesi käigus toodetakse hapnikku). Püriidi oksüdeerumist neutraalilähedase pH juures saab kirjeldada summaarse reaktsioonina järgnevalt:

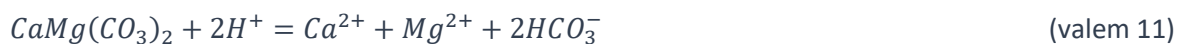


Valemist 5 on näha, et oksüdeerimise tagajärjel vabanevad H^+ ioonid, mis on maailmas põhjustanud kaevandamisega kaasneva keskkonnaprobleemi – tekivad happelised kaevandusveed [8], mis omakorda sisaldavad suurtes kogustes erinevaid raskemetalle [13], [16]. Happelises keskkonnas toimub valemis 5 kirjeldatud reaktsioon kolmeastmelisena (happelises keskkonnas raud(III)hüdroksiidi ei teki, raud jääb Fe^{3+} ioonina vette), kus püriidi reageerimisel hapnikuga tekivad esmalt Fe^{2+} ja sulfaat (valem 6). Edasi oksüdeeritakse Fe^{2+} ja tekib Fe^{3+} (valem 7), mis omakorda hakkab püriiti oksüdeerima (valem 8):



Oksüdatsioonikiiruse määravad nt pH, (lahustunud) hapniku sisaldus, püriidi eripind, bakterite ja savimineraalide olemasolu või hoopis puudumine [16]. Madala pH (<4,5) korral oksüdeerib Fe^{3+} püriiti palju kiiremini kui O_2 , samuti on see reaktsioon kiirem kui Fe^{2+} oksüdeerimine O_2 abil lahustunud Fe^{3+} -ks [18]. Happelises keskkonnas on abiootiliste reaktsioonide puhul reaktsiooni kiirust piiravaks astmeks Fe^{2+} oksüdeerimine (valem 7), kuid teatud mikroobide (nt *Thiobacillus ferrooxidans*) kaasabil on võimalik seda reaktsiooni ligi miljon korda kiiremini läbi viia ja sel juhul toimub püriidi lagunemine valemites 6 ja 8 kirjeldatud viisidel [18].

Kaevandused, millel on kõige suurem negatiivne mõju pinna- ja põhjaveele, on Eestis põlevkivikaevandused ja suletud fosforiidikaevandus Maardus. Nii pinna- kui ka põhjavesi on kaevandusest mõjutatud piirkonnas saastunud sulfaatidega, kuid reeglina neutraalse pH-ga. Üldiselt on kaevandamise mõjuks happevee teke. Kaevanduse happevesi on kaevandusalal tekkiv happeline vesi, mis moodustub maapõues olevate mineraalide (näiteks püriidi) kokkupuutel õhu ja veega ning võib reostada loodust ja ohustada elusorganisme. **Eesti tingimustes happevett ei teki**, sest see neutraliseeritakse kaltsiidi või dolomiidi lahustumisel (valemid 10 ja 11) [19]:



Neutraalse kuni leeliselise pH juures tõuseb püriidi oksüdeerimisel Fe^{2+} oksüdatsiooni abiootiline kiirus oluliselt, kuid Fe^{3+} (mis happelises keskkonnas püsib veelahuses) sisaldus väheneb raudhüdroksiidi sadenemise tõttu [18]:



Kui pikka aega arvati, et raudhüdroksiidi sadenemise tõttu toimub neutraalses veekeskkonnas püriidi oksüdeerimine ainult hapniku toimel [8], [18], siis praeguseks on teada, et:

- Anoksilistes tingimustes võivad denitrifitseerivad ja mangaani redutseerivad mikroorganismid kasutada elektronide doonorina püriiti [20] ning püriit oksüdeeritakse.
- Kahevalentse raua oksüdeerimine (valem 7) võib neutraalses keskkonnas toimuda mineraali pinnal üle kolmevalentse raua tekke – lahustunud hapnik ei reageeri otseselt püriidiga, kuid tema redutseerumine käivitab püriidi oksüdeerumise, luues püriidi pinnale reaktiivse $Fe(III)$. Elektronid, mis kantakse püriidilt adsorbeerunud $Fe(III)$ -le, kantakse lõpuks üle lahustunud hapnikule, kui adsorbeerunud $Fe(II)$ uuesti oksüdeerub [21]. Moses ja Herman [21] loodud mudeli kohaselt toimub neutraalses keskkonnas püriidi pinnaga seotud raua tsükliline oksüdatsioon ja redutseerimine kanalina elektronide ülekandmiseks püriidiga seotud väävlilt lahustunud O_2 -le. Püriidi hapnikuga lagunemisel tekkinud Fe^{2+} (valem 6) adsorbeerub püriidi mineraali pinnale, misjärel Fe^{2+} loovutab elektronid O_2 -le (tekib vesi) ning moodustub mineraali pinnaga seotud Fe^{3+} . Viimane võtab omakorda kiiresti elektrone vastu redutseeritud väävlilt püriidi mineraalis. Hapnikumolekulid kantakse adsorbeeritud raua hüdratatsioonisfäärist püriidi väävlisse ja hapniku järjestikune lisamine jätkub, kuni stabiilne sulfaat dissotsieerub. Neutraalse pH juures on see ülekandemehhanism püriidi oksüdeerimise kiirust piirav (adsorbeerunud Fe^{2+} piirab valemite 6 ja 8 toodud reaktsioonide läbiviimist, sest blokeerib püriidi pinna). Teatud mikroorganismide (nt *Bradyrhizobium sp.* ja *Mesorhizobium sp.*) abil võib reaktsioonikiirus suureneda aga ca 10 korda [22].

Kuigi püriidi oksüdeerimise kiirust on püütud katseliselt määrata [17], [22], [23], [24], [25], ei ole paraku siiani leitud ühtset lähenemist, mis kirjeldaks püriidi oksüdatsiooni üldist kineetikat viisil, mis oleks lihtsalt ülekantav eri tingimustesse. Neutraalses keskkonnas on püriidi oksüdeerimise kiirus siiski väiksem kui happelises [8] ning protsessid võtavad kauem aega. Võib eeldada, et püriidi oksüdeerumine võib pidurduda ka mineraali pinnale adsorbeerunud rauaühendite (nt hematiit, raudhüdroksiid, jarosiit) [26], [27] või kipsi tõttu.

Püriidi oksüdatsioonist vabanenud sulfaatioonid reageerivad üleküllastumise korral vabade Ca^{2+} ionidega, mis põhjustab kipsitumist² (valem 13) ning vähendab vees sisalduvate sulfaatide hulka [19].



Tekkinud kips võib sadestuda püriidi pinnale, moodustades passiivse katte, mis omakorda aeglustab hapniku ja vee juurdepääsu mineraali pinnale ja pidurdada või aeglustada edasist oksüdatsiooni.

1.3.3 Raskemetallide vabanemine sulfiidsete mineraalide sh püriidi oksüdeerimisel

Püriit võib sisaldada lisandina mitmesuguseid raskemetalle, sealhulgas arseeni (As), kaadmiumi (Cd), koobaltit (Co), niklit (Ni), pliid (Pb), vaske (Cu) ja tsinki (Zn). Püriidi oksüdatsiooni või lagunemise käigus võivad need raskemetallid vabaneda keskkonda. Püriidi mineraalid sisaldavad lisaks eelpool nimetatule ka teisi elemente – Ti, V, Cr, Mn, Ga, Ge, Se, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, Te, Sb, Ba, Ce, La, Hg ja Bi [28], [29], kusjuures mõningad elemendid võivad asendada püriidi kristallstruktuuris kas rauda (nt Co ja Ni) või väävlit (nt Se ja As) [9]. Katseliselt on tõestatud, et mõningad elemendid võivad kiirendada püriidi kristallide teket [30], [31], [32].

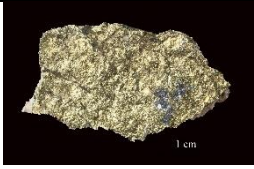
Eesti tingimustes on teadaolevalt analüüsitud püriidi jälgelementide sisaldust Otisaare (Kalana) karjääri püriidist [9], kus tuvastati suuremad Mn, Mo ja As sisaldusi (joonis 5). Sarnast raskemetallide sisalduse mustrit näitavad ka graptoliitargilliidiga tehtud leostumiskatsed [13]. Saadud tulemused näitasid, et anaeroobsete leostamiskatsete põhjal on võimalik mobiliseerida (viia vesilahustuvaks) Mo, Co, Ni, As, U, kusjuures uuritud metallide lahusesse viimine anaeroobsetes tingimustes (pH=7 juures) toimus abiootiliselt [13]. Mikroobikoosluse juuresolekul metalliühendite leostumine ajas pigem vähenes, abiootilises proovides mõnevõrra suurenes [13]. Aeroobsete leostamiskatsete põhjal leostusid kõige enam arseen (saagised 20-40%) ja molübdeen (saagised 60-80%), järgnesid liitium, vanaadium ja nikkel 10% saagisega [13]. Vähem leostus antud tingimustel uraan ja koobalt ei leostunudki. Mikroobikoosluste lisamine suurendas leostunud metalli saagist ligikaudu 20% arseeni ja molübdeeni puhul [13].

Lisaks püriidile leidub kivimites ka teisi sulfiidseid mineraale (tabel 2), mille oksüdeerimise tulemusena küllastub vesi sulfaatide ning metallidega.

² Kips on mõõdukalt vees lahustuv mineraal, mille lahustuvus 20°C juures on 2–2,5 g/l – seega kui kipsi sisaldus on vees suurem, siis ülejäänu sadeneb. Külmemas vees kipsi lahustuvus väheneb.

Tabel 2. Mõningate sulfiididsete mineraalide kirjeldused [33]

Mineraali nimetus	Keemiline valem	Pilt	Kirjeldus
Püriit/markasiit	FeS_2		Püriit on kuubiline, tahkudel võib olla viirutus. Levib ka massivsete või radiaaalkiireliste konkretsioonide ja väikeste kristalligruppidega. Peenekristallilise erimina on püriit Eesti settekivimites laialt levinud mineraal. Sageli annab just püriit lubjakividele halli tooni. Suuremad kuubikujulisi kristalle võib leida Alam-Ordoviitsiumi ja Siluri savikatest kivimitest. Püriidiga on väliselt sarnane samasuguse keemilise koostisega markasiit, mis esineb enamasti konkretsioonide ehk mugulatena settekivimites. Väike erinevus on kahel mineraalil värvuses - markasiit on nagu püriitki kuldkollane, kuid nõrga roheka varjundiga. Leidub nt Põhja-Kiviõli karjääris ja Sompka kaevanduses.
Pürrotiit	Fe_{1-x}S		Pürrotiin (Fe_7S_8) on pronkskollase kuni roosakaskollase värvusega mineraal, kristallid on tahveljad või plaatjad. Kõige sagedamini esineb massiivsete või teraliste agregaatidena.
Borniit	Cu_5FeS_4		Borniit ehk kirju vasemaak on metallilise pruunikaspunse värvusega, oksüdeerumisel tekib küütlev lilla kilevärvus.
Arsenopüriit	FeAsS		Rombilise läbilõikega kristallid, monokliinne süngoonia, tinavalge või kollakas värvus, metalne läige. Eraldatakse arsenopüriidis leiduvaid lisandeid (Co, Ni, Mn, Zn, Sb, Se) ja suletisi (Au). Kulda sisaldav arsenopüriit on arvestatav kullamaak. Arsenopüriidi lagunemist ja selle mõju põhjavee kvaliteedile on kirjeldatud täpsemalt EGT uuringus [34].
Sfaleriit	$(\text{Zn},\text{Fe})\text{S}$		Esineb tetraeedriliste kristallidena või tihedate peitkristalsete agregaatidena. Värvus valdavalt pruun kuni must. Lõhenevus täiuslik rombdodekaeedri pinna järgi. Võib sisaldada lisandina kaadmiumi. Leidub nt Sirgala karjääris.

Mineraali nimetus	Keemiline valem	Pilt	Kirjeldus
Galeniiit	PbS		Galeniiit ehk tinaläik esineb kuubiliste kristallidena või tiheda teralise massina. Värvus seatinahall, metalse läikega. Lõhenevus täiuslik kuubi tahkude järgi. Leidub nt Viivikonna, Sirgala ja Kunda-Aru karjäärides.
Kalkopüriit	CuFeS ₂		Kalkopüriit esineb metalliläikeliste pronks- kuni kuldkollaste korrapäratute terade või tiheda teralise massina, harva kristallidena. Iseloomulik on sinakas või mitmevärviline helk. Kalkopüriit on levinum vasemaak. Maagikehad esinevad Eestis põhiliselt eraldi paiknevate kihtidena ja on tootmiseks ebaökonoomsed.

1.4 Kaevanduste mõju vee-elustikule

1.4.1 Veerežiimi muutuse mõjud elustikule

Muutused veerežiimis võivad kaasa tuua olulisi negatiivseid mõjusid vee-elustikule. Eelkõige avalduvad need veekogude perioodilise kuivamisena või suurenenud vooluhulkadena. Esimesel juhul kaovad vee-elustikule sobivad elupaigad ning liigid kas lahkuvad veekogust või selle kuivaks jäänud osast või kaovad rändevõimalused, sest kuival perioodil kaob ühendus jõe eri osade vahel (nt, Ojamaa jões). Vooluhulkade suurenemine reeglina suuri probleeme ei tekita, kui sellega ei kaasne erosiooni (nt, Kose jões) ja kaevandusvee hõljuvaint.

1.4.2 Vee-keemia muutuste mõjud elustikule

Peamine muutus looduslike tingimustega võrreldes on kaevandamisel väljapumbatavas vees suurenevad **hõljuvaine** (nt savi, muda või liiv) sisaldused, mille tõttu suureneb hägusus, mis vähendab valguse läbitungimist vette ja seetõttu vähendab fotosünteesi. Otsest on mõjutatud taimed ja vetikad [6]. Mõju kaladele on kaudsem ja võib varieeruda sõltuvalt isendi vanusest – noorkalad võivad sellist hägust vett vältida, samas kui täiskasvanud kalad taluvad neid tingimusi paremini [6]. Kalade lõpused võivad ummistuda või kalamari lämbuda hõljuvaine tõttu [6]. Suurenenud hõljuvainesisaldus pärsib ka vetikate või mikroorganismide kasvu ja pärsib nii suurselgrootute või kalade toitumist. Negatiivsed muutused hapnikurežiimis avaldavad mõju vee-elustikule. Kui veekeskkonnas on häiritud ainete tasakaal, suureneb mikroorganismide hapnikutarve redutseeritud ühendite ja orgaanilise aine

oksüdeerimiseks, mis vähendab vee lahustunud hapniku sisaldust ning avaldab seeläbi negatiivset mõju kõrgematele troofilistele tasemetele [6].

1.4.3 Saasteainete hulga suurenemine ja toksiline mõju elustikule

Mineraalide oksüdeerimisel või lahustumisel vabanenud **raskemetallid** võivad vee-elustikule olla kas akuutselt või krooniliselt mürgised. Seetõttu on neist mitmed arvatud kas prioriteetsete (ohtlike) ainete (Hg, Cd, Ni, Pb) või vesikonnaspetsiifiliste ainete (As, Ba, Cr, Zn, Cu) hulka ning nende sisaldused on pinnavees limiteeritud keskkonnaministri 24.07.2019 määrusega nr 28. Raskemetallide puhul tuleb mõjude hindamisel arvesse võtta ka vee karedust (kuid ka teisi tegureid, nt DOC, pH), mis on kaevandusest mõjutatud veekogudes suurenenud tänu kaltsiidi jt sarnaste karbonaatsete mineraalide lahustumisele. Vee karedus mõjutab raskemetallide biosaadavust vee-elustikule peamiselt kaltsiumi (Ca^{2+}) ja magneesiumi (Mg^{2+}) ionide ning karbonaatsüsteemi kaudu. Kõrgema karedusega vesi võib vähendada raskemetallide toksilisust ja biosaadavust – kõrgema karedusega vees on kalade ja teiste veeorganismide rakumembraanidel vähem vabu sidumiskohti raskemetallide jaoks, mistõttu nende toksiline mõju väheneb [35]. Samuti moodustavad raskemetallid (nt Pb, Cd, Cu, Zn) karedas vees komplekse karbonaatide ja hüdroksiididega, mis võivad vähenenud lahustuvuse tõttu sadeneda, muutes need vähem biosaadavaks [36], [37]. Nikliga seoses on seda teemat täpsemalt analüüsitud LIFE IP CleanEST raames [38]. Käesolevas aruandes biosaadavust eraldi ei hinnatud, kuid võrreldi raskemetallide sisaldusi keskkonnaministri 24.07.2019 määruses nr 28 toodud kvaliteedistandarditega.

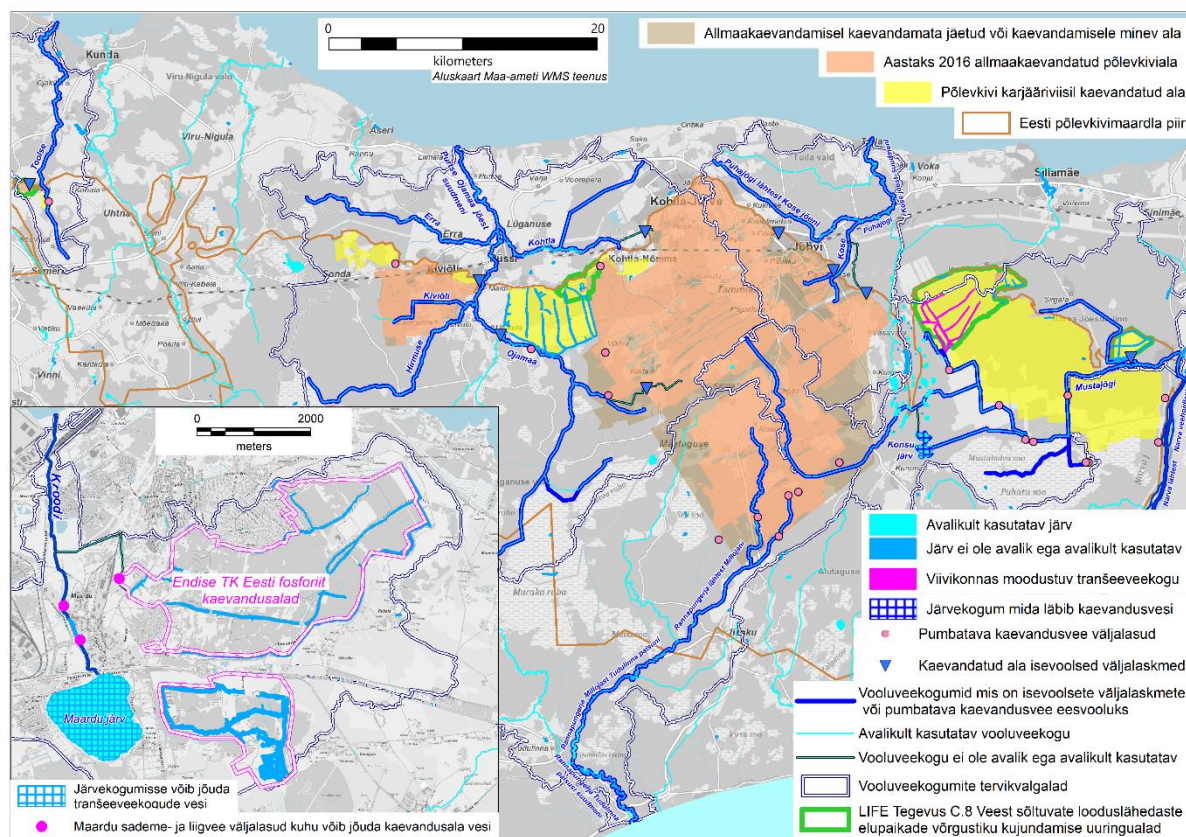
Keerulisem lugu on aga sulfaadiga, mille sisaldused on küll limiteeritud inimese tarbeks (joogivees on lubatud suurim sulfaadi sisaldus 250 mg/l), kuid pinnavees ei ole sellele keskkonnakvaliteedi standardeid Eestis kehtestatud. Veeorganismid (eriti magevee liigid) on tundlikud suurenenud sulfaadisisalduse suhtes, kuna see võib häirida nende osmootset tasakaalu [39]. Sarnaselt raskemetallidele sõltub sulfaadi mõju vee karedusest ja seetõttu on välja pakutud ka karedusest sõltuvaid sulfaadi piirnorme – vahemikus 10–2000 mg/l [39], [40].

Lisaks sulfaadi otsastele mõjudele peab arvestama ka selle võimalikke sekundaarseid mõjusid – anaeroobsetes tingimustes sulfaat redutseeritakse sulfaati redutseerivate bakterite poolt, kes toodavad lisaks sulfiidile (reaktsiooni produkt) kõrvalsaadusena metüüelavhõbedat [41], [42], mis on bioakumuleeruv ohtlik aine. Metüüelavhõbe on kõige toksilisem ja bioloogiliselt aktiivne vorm elavhõbedast. Redutseerimise tulemusel tekkiv sulfiid on mürgine vee-elustikule [43].

Heledaveeliste pinnaveekogude ökoloogilise seisundi ja sulfaadi sisalduste dispersioonianalüüs (ANOVA) näitas, et sulfaadi sisaldus (100 mg/l) mõjutas küll seisundihindamise kvaliteedi allelemendi fütobentose ränivetikate troofsusindeksit TDI ja kalastiku indeksit JKI ($F > F_{crit}$ ja p -väärtus $> 0,05$) halvemuse suunas, kuid kalastiku hinnangusse tuleb suhtuda teatava ettevaatusega, sest andmetes peegelduvad ka Püssi paisu (nt Savala seirepunktis paranes JKI väärtus peale paisu eemaldamist -0,25-lt 2019.a. $\rightarrow$ 0,3-le 2023.a.) ja jääkreostuse eemaldamise mõjud.

Kaevanduste mõju analüüsitud pinnaveekogude seisundile

Peamised põlevkivikaevandamisest mõjutatud pinnaveekogud paiknevad põlevkivikaevanduste piirkonnas Kirde-Eestis, kuid mõjudelt samaväärne on ka Maardu külje all paikneva fosforiidikaevanduste mõju Kroodi oja ja Maardu järvele (joonis 5).



Joonis 5. Kaevandustest mõjutatud pinnaveekogud.

Mõju pinnavee kvaliteedile avaldub aga peamiselt püriidi oksüdeerimisel vabanevate raskemetallide ning sulfaatide sisalduste suurenemise kaudu (tabel 3). Tabelis 3 esitatud analüüsi aluseks on Keskkonnaseire infosüsteemi KESE väljavõtte aastatest 1992–2024 pinnaveest analüüsitud näitajate baasil. Mõningaid analüüsitud näitajate (nt Co, Mo, U ja V) väärtusi ei olnud võimalik statistilises analüüsis kasutada nende vähese hulga tõttu. ANOVA analüüsist järeldub (p -väärtus $> 0,05$; $F > F_{crit}$), et võrreldes kaevandusest mõjutamata kogumitega **on kaevandustest mõjutatud pinnaveekogudes suuremad kroomi, mangaani, nikli ja sulfaadi sisaldused**. Baariumi suurimad sisaldused ($< 200 \mu\text{g/l}$) olid Sõtke, Räpu, Piusa, Tănassilma, Halliste, Elva ja Rannapungerja jõgedes, Pühjaões, Porijões, Alajões, Kuke peakraavis ning Kariste, Kaiu ja Keeri järvedes. Baariumi leidub Eesti settekivimites barüüdina (BaSO_4), mis omakorda lahustub neutraalse pH juures vees osaliselt [52].

Tabel 3. Pinnaveekogumite raskemetallide ja sulfaadi sisalduse võrdlus ANOVA abil (n – analüüside arv, keskm. – keskmine väärtus, stdev – standardviga). Raskemetallide ühik on µg/l, sulfaadil mg/l

	Ilma kaevanduse mõjuta			Kaevanduse mõjuga			P-		F
	n	Keskm.	Stdev	n	Keskm.	Stdev	F	väärtus	
As	1916	0.83	17.00	548	0.71	4.76	0.45	0.5002	3.85
Ba	2346	67.30	2271.80	608	58.37	2591.18	16.47	5E-05	3.84
Cd	2486	0.37	24.87	810	0.11	0.44	2.23	0.1352	3.84
Cu	2491	8.81	5743.06	791	7.94	2118.74	0.09	0.7607	3.84
Cr	2481	0.49	0.13	584	8.97	16161.33	11.05	0.0009	3.84
Hg	2481	0.41	40.45	741	0.09	1.13	1.88	0.1709	3.84
Mn	518	43.53	1886.79	194	108.29	42121.41	46.15	2E-11	3.85
Ni	2481	0.80	8.42	721	33.23	161989.31	16.12	6E-05	3.84
Pb	2488	3.33	2418.24	804	1.55	209.37	1.03	0.3111	3.84
Sn	1237	0.51	0.08	187	0.51	0.01	0.00	0.9984	3.85
Zn	2489	14.20	28902.94	805	29.69	101705.21	3.13	0.0771	3.84
SO ₄	2499	27.14	236.11	1789	233.71	45129.84	2345.87	0	3.84

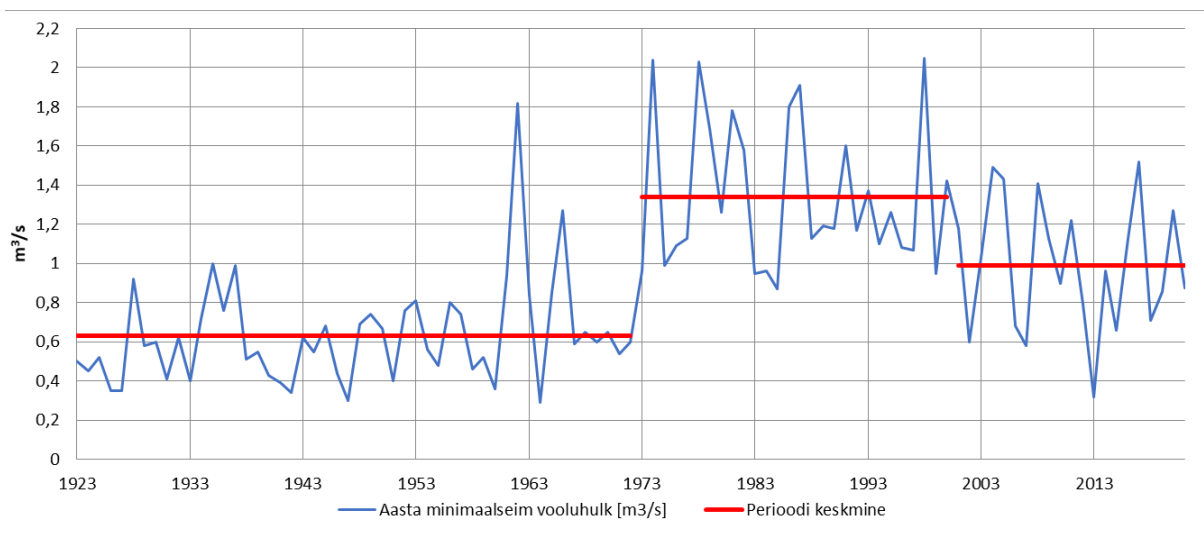
1.5 Purtse jõgi (kogum 1068200_2) ja selle valgala

Purtse jõgi (VEE1068200) saab alguse Punasoo idaservast Lääne-Virumaal ja suubub Soome lahte. Jõe pikkus on 51 km ja valgla 811,9 km². Purtse jõgi on looduslik heledaveeline veekogu. Purtse jõgi on üks Eesti kärestikurikkamaid jõgesid. Purtse jõe valglat katab 15% soo, 35% mets, 30% põllumajandusmaa ning 20% valgalast hõlmavad kaevandused või altkaevandatud alad, mis on suuremalt osalt kaetud samuti metsaga [53]. Jõgi on jagatud kaheks kogumiks: Purtse lähtest Ojamaa jõeni (1068200_1) ja Purtse Ojamaa jõest suudmeni (1068200_2). Kumbki kogum ei kuulu keskkonnaministri 15.06.2004 määrusega nr 73 kehtestatud lõhe, jõforelli, meriforelli ja harjuse kudemis- ja elupaikade nimistusse.

Purtse jõkke suubub EELIS-e andmetel 11 veekogu, milledest on kaevandamisest mõjutatud neli lisajõe: Erra jõgi, Hirmuse jõgi (koos Kiviõli kaevanduse kraaviga), Ojamaa jõgi ja Kohtla jõgi (koos Vahtsepa peakraaviga).

Põlevkivi kaevandamine Purtse jõe valgalas sai alguse enne II maailmasõda. Põlevkivitoodang kasvas jõudsalt kuni 1980. a, mil avati Sosnovi Bori AEJ. Seejärel vajadus põlevkivist elektrit toota vähenes [53]. Vaatamata põlevkivi aastatoodangu langusele, ei langenud sama kiiresti kaevandusvee hulk, sest kaevandusest vee väljapumpamise vajadus püsis sõltumata kaevandusmahtudest [53]. Ajavahemikus 1973–1999 oli Purtse jõe keskmine minimaalne vooluhulk 1,35 m³/s, mis on üle kahe korra suurem kui perioodil 1923–1972 – 0,66 m³/s [53]. Aastal 1974-avati Aidu karjäär, Kiviõli kaevandus suleti aastal 1989 laienesid Kohtla ja Sompka kaevandused[58]. Purtse jõe keskmine minimaalne vooluhulk langes 1-ni m³/s pärast Sompka ja Kohtla kaevanduste sulgemist [53]. Aidu karjääri (2012) ja Viru kaevanduse

sulgumine 2013. aastal peegeldus jõe miinimumvooluhulga muutuses, kuid see kadus pärast Aidu karjääri veega täitumist ning karjäärist väljavoolu taastumist (joonis 6) [53]. Samal ajal jätkus Ojamaa kaevanduse ja Põhja-Kiviõli karjääri laienemine, millega kaasneb samuti suurenev välja pumbatav vee hulk [53]. Purtse jõe valgala veebilansi seisukohast suurenes kaevanduste kohal sademete netoinfiltratsioon, millega vähendati looduslikku äravoolu jõgedesse ja kraavidesse [53]. Infiltratsioon sademevesi jõuab läbi kaevanduste Purtse jõkke viibega, mis omakorda tingis ka jõe minimaalsete vooluhulkade suurenemise madalveeperioodil [53].



Joonis 6. Purtse jõe aasta minimaalne vooluhulk ja perioodi keskmine minimaalne vooluhulk perioodil 1923–2023 [53].

Erinevalt Ojamaa ning Kohtla jõgedest kaevandusveest Purtse jõkke otse ei pumbata, kuid sõltuvalt aastast moodustab lisajõgede kaudu veelubade alusel väljapumbatava kaevandusvee osakaal jõe alajooksul 11–17% keskmisest vooluhulgast. Kuigi isevoolsete väljalaskmete (Küttejõu peakraav, Aidu karjäär, Ratva toruallikad jt) kohta pidevat mõõtmisinfot ei ole, võib siiski eeldada, et keskmiselt moodustab nende osakaal Purtse alamjooksu vooluhulgast ligikaudu 25%. Kokku moodustab Purtse alamjooksul kaevandusvee osakaal seega hinnanguliselt 36–43% jõe keskmisest vooluhulgast.

Purtse jõest on KESE andmetel raskemetalle ning sulfaate varasemalt analüüsitud alates 1992.a (tabel 4). Selle aja jooksul on elavhõbeda sisaldus ületanud EQS-MAC-i ($0,07 \mu\text{g/l}$) 16 korral, viimati 03.12.2018, mil Hg sisaldus oli $0,083 \mu\text{g/l}$ (maksimaalne sisaldus oli 16.03.1994 – $1,9 \mu\text{g/l}$). Nikli sisaldused on AA-EQS-i ($4 \mu\text{g/l}$) ületanud kolmel korral (2021 – $4,4 \mu\text{g/l}$, 2016 – $4,1 \mu\text{g/l}$ ja 2017 – $4,3 \mu\text{g/l}$). Plii AA-EQS-i ($1,2 \mu\text{g/l}$) on ületatud kolmel korral: 1993 – $7,7 \mu\text{g/l}$, 1997 – $112,3 \mu\text{g/l}$, 2006 – $1,7 \mu\text{g/l}$, kusjuures MAC-EQS-i ($14 \mu\text{g/l}$) sisaldusi ületati kahel korral (03.08.1993 proovis oli Pb sisaldus $18 \mu\text{g/l}$ ja 27.01.1997 proovis oli Pb sisaldus $330 \mu\text{g/l}$). Ajavahemikul 1993–2024 oli sulfaadi keskmine sisaldus 268 mg/l . Kaadmiumi sisaldused ületasid AA-EQS-i (sõltuvalt vee karedusest kas $0,15 \mu\text{g/l}$ või $0,25 \mu\text{g/l}$) ajavahemikul 1992–1998 kõigis analüüsitud proovides.

Tabel 4. Raskemetallide ja sulfaadi aasta keskmised sisaldused Purtse jões (SIA9900000)

	As	Ba	Hg	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Sn	Zn	SO ₄
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
1992				0.56		15.5		1.63		8.8	149
1993			0.05	0.625				6.1		7.1	211
1994			0.66	0.2				1.4		13	291
1995			0.44	1.4				1.5		8.5	270
1996			0.04	0.48		4.3		1.2			336
1997			0.18	2		2.7		112		13	292
1998				7.9							206
2000			0.07	0.03		1.5		0.16		3.6	248
2006			0.04	0.01		14.4		1.7		10.6	325
2010			0.08								242
2011						2		0.3		2.46	218
2012			0.01	0.02	0.04	5.3	4.4	0.4		7.9	169
2013	0.9	41.3	0.01	0.03	0.04	7.5	2.8	0.3		4.3	109
2014			0.01	0.02	0.04	1	2.9	1.6		2.1	179
2015			0.007	0.01	0.04	1.2	3.1	0.1		4	246
2016		42.8	0.008	0.02	0.04	1.3	4.1	0.1		2.4	212
2017		43.3	0.006	0.04	0.04	1	4.3	0.1		2.3	275
2018	0.4	59.2	0.01	0.01	0.04	0.9	3.7	0.1	0.4	1.48	296
2019		56.6	0.004	0.02	0.04	1	3.6	0.1	0.4	2	281
2020	0.55	51.7	0.004	0.01	0.04	1	3.4	0.1	0.4	2.3	282
2021	0.4	55.1	0.004	0.01	0.18	1.2	2.8	0.1	0.4	6.4	288
2022	0.4	48.2	0.004	0.01	0.15	1.4	2.9	0.1	0.4	4.1	308
2023	0.4	50.4	0.004	0.01	0.19	0.98	2.8	0.1		3.9	341
2024	0.4	51.3	0.004	0.01	0.17	1.2	2.7	0.1		7.7	228

1.5.1 Hirmuse jõgi (kogum 1069700_1)

Hirmuse jõgi (VEE1069700) on 21,9 km pikkune tugevasti muudetud veekogu tüübiga 1A-KaVo, mis suubub Purtse jõkke. Valgala on 110,6 km². Kogum ei kuulu keskkonnaministri määrusega 15.06.2004 nr 73 kehtestatud lõhe, jõeforelli, meriforelli ja harjuse kudemis- ja elupaikade nimistusse. Looklevustegur on 1,21 (möödukalt mõjutatud, looklev) ja põllumajandusliku maa osakaal veekaitsevööndis 4,41% (PRIA), st vähe mõjutatud.

Jõkke suubuvad: Kiviõli kaevanduse kraav (Puisma jõgi) VEE1070100; Sirtsu peakraav VEE1069800; Hirmuse peakraav (Soonurme kraav) VEE1070000 ja Raiendiku kraav VEE1069900. Hirmuse jõgi piirneb alamjooksul veega täitunud Kiviõli kaevanduse alaga, mille veetase on 41,4 m ü.m.p, mis on madalam kui Hirmuse jõe põhi, seetõttu neeldub osa jõe veest Kiviõli kaevandusse [53]. Üksikmõõtmiste põhjal on suveperioodil jõevee neeldumise hulga hinnatud 6600 m³/ööpäevas [53].

Hirmuse jõe maapealne valgala ei peegelda vee liikumist allmaakaevandatud aladel. Hirmuse jõe alamjooks piirneb põhjast suletud Kiviõli kaevandusega, mis alandab siin jätkuvalt põhjavee taset ja kuivendab madalveega Hirmuse jõge [54]. Soonurme külas ulatuvad mõned strekid jõeni. Vesi liigub siit kaevanduse kaudu kirde suunas, suurem nähtav vee väljavool on Kiviõli lõunapiiril Purtse jõkke [54]. [56]

Põlevkivi kaevandamine jätkub praeguste kavade kohaselt lõuna pool Hirmuse jõge Uus-Kiviõli kaevanduses.

Hirmuse jõest on raskemetalle ning sulfaate varasemalt analüüsitud 2021.a. LIFE IP CleanEST projekti raames. Tabelist 5 on näha, et raskemetallide ja sulfaadi sisaldused sarnanevad kaevandusest mõjutamata pinnaveekogumite sisaldustele. Kuna Küttejõu kraav (jaotis 3.1.3) drenib Kiviõli kaevandust, siis ei jõua kaevanduste poolt mõjutatud põhjavesi ka Hirmuse jõkke.

Tabel 5. Raskemetallide ja sulfaadi aasta keskmised sisaldused Hirmuse jões (Hirmuse jõgi: Sillaotsa)

	As	Ba	Hg	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	SO ₄
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
2021	1.6	20	0.007	0.018	0.62	1	0.9	0.3	5.4	14

1.5.2 Kiviõli kaevanduse kraav (kogum 1070100_1)

Kiviõli kaevanduse kraav (VEE1070100), mis on tuntud ka Puisma jõe nime all, asub Ida-Virumaal Lüganuse vallas. Kuna Kiviõli kaevandust ümbritsesid vesised heinamaad, rajati kõnealune kraav liigvee eemale juhtimiseks 1955.a. [55]. Kiviõli kaevanduse kraav on 6,67 km pikk. Kraav on tehisveekogu (TV) ja tüüp V1B, mille valgala on 44,9 km². Kiviõli kaevanduse kraav suubub Hirmuse jõkke (VEE1069700) 1,1 km enne selle suubumist Purtse jõkke (VEE1068200). Kraavi valgala maapealne osa on ligi 92% ulatuses kaetud metsaga, ülejäänud ala moodustavad põllumajandusmaad. Kogum ei kuulu keskkonnaministri 15.06.2004 määrusega nr 73 kehtestatud lõhe, jõeforelli, meriforelli ja harjuse kudemis- ja elupaikade nimistusse.

Kraav on sirgendatud kogu ulatuses ning perioodiliselt kuiv (Foto 1)[56]. Kiviõli kaevanduse kraavi juhatakse vett maaparandussüsteemidest NÜRI/PÜ-140 SONDA ja TURBAMÄE 1/PÜ-140 ULJASTE. Kraav ise on maaparanduse eesvooluna (NÜRI/PÜ-140 SONDA) arvele võetud ca 600 m ulatuses ülemjooksul.

Kiviõli kaevanduse kraav on tehisveekogu (TV), mis jääb perioodiliselt kuivaks.



Foto 1. Kiviõli kaevanduse kraav enne Hirmuse jõkke suubumist (EKUK, 2022).

Kiviõli kaevanduse kraavist on raskemetalle ning sulfaate varasemalt analüüsitud 2008.a. siseveekogude uuringute ja 2021.a. LIFE IP CleanEST projekti raames [56]. Tabelist 6 on näha, et analoogselt Hirmuse jõega sarnanevad raskemetallide ja sulfaadi sisaldused kaevandusest mõjutamata pinnaveekogumite sisaldustele. Kuna Küttejõu kraav (jaotis 3.1.3) drenib Kiviõli kaevandust, siis ei jõua kaevanduste poolt mõjutatud põhjavesi ka Kiviõli kaevanduse kraavi.

Tabel 6. Raskemetallide ja sulfaadi sisaldused Kiviõli kaevanduse kraavis (SJA9627000)

	As	Ba	Hg	Cd	Cr	Mo	Ni	Pb	SO₄*
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
2008	0.55		<0.2	<0.3	<1	<1		<1	
2020	0.56	67					0.9		12.3

*aasta keskmine sisaldus.

1.5.3 Küttejõu kraav

Peale Kiviõli kaevanduse sulgemist hakati kartma, et kui põhjavesi saavutab kaevanduseelse taseme, siis tekivad uuesti liigvee naabruskonnas probleemid ning vee sattumisel õlitehase alustesse käikudesse võib sealt liikuma hakata pinnasesse imbunud reostus. Viimane oleks reostanud põhjavee aga suurel alal, mistõttu otsustati tamponeerida kõik Tallinn-Narva raudtee alt kulgenud kaevanduskäigud [55]. Põhjavee taseme kontrolli all hoidmiseks süvendati 1988.a. kunagisest Küttejõu karjäärast välja voolanud kraavi ning avati kaevanduskäik [55], mille tulemusena drenib Küttejõu kraav

endist Küttejõu karjääri ja veega täitunud Kiviõli kaevandust. Kraav (pole kogum) suubub Purtse jõkke. Aastatel 1990–2002 varieerus keskmine äravool 370 – 650 l/s [53]. Hilisemast ajast on teada Kiviõli-Küttejõu väljalaskme vooluhulgad: 200 l/s (27.02.2009); 2199 l/s (08.04.2009) ja 396 l/s (15.05.2009). Mõõtmistulemused kajastavad vooluhulga suurt ebaühtlust kevadise suurvee ajal [2]. Küttejõu karjäär töötas aastatel 1922–1947. Aastal 1930 avati Kiviõli kaevandus ja 1933 Küttejõu kaevandus, mis aastal 1951 ühendati Kiviõli kaevandusega [2]. Kiviõli kaevandus suleti aastal 1989. Karjäärivisiil kaevandatud ala suuruseks on ca 1,2 km² ja allmaakaevandatud ala ca 26,7 km² [2]. Kiviõli kaevanduse töö lõppedes täitusid kaevanduskäigud veega ja vesi voolab suletud kaevandusstollidest endisesse Küttejõu karjääri. Tõenäoliselt on peetud ka osa Kiviõli kaevanduse vee väljumist Purtse jões allikatena [2]. Kiviõli kaevanduse allmaakaevandatud ala põhjapoolne on isoleeriti Tallinn - Peterburi raudtee all lõunapoolsest osast [2] ning käesoleval ajal on see pinnase- ning põhjaveereostuse tõttu arvele võetud jääkreostusobjektina Kiviõli keemiatööstus (JRA0000117).

Küttejõu kraavi seirejaamast (SJB3497000) on raskemetalle ning sulfaate varasemalt analüüsitud LIFE IP CleanEST projekti raames. Tabelist 7 on näha, et nikli sisaldused Küttejõu kraavis ületasid AA-EQS-i (4 µg/l). Samuti ületas novembris 2021.a. elavhõbeda sisaldus (0,079 µg/l) MAC-EQS-i (0,07 µg/l).

Tabel 7. Küttejõu kraavi (SJB3497000) raskemetallide ja sulfaadi aasta keskmised sisaldused

	As	Ba	Hg	Cd	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn	SO ₄
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
2019	0.24	56.3	<0.015	<0.02	<0.25	<1		2.2	4.1	<0.05	1	247
2020	0.2	56.5	<0.015	<0.02	<0.25	1.1		2	4.3	<0.05	1.7	248
2021	0.21	59.25	0.07	0.02	<0.25	0.74	10.3		4.6	0.25	1.9	243

1.5.4 Ojamaa jõgi (kogum 1068700_1)

Ojamaa jõgi (tüüp V1A), Purtse jõe parempoolne lisajõgi, algab Kaukvere küla juurest, on keskjooksul Muraka raba loodepiiriks, läbib alamjooksul Ojamaa küla ja suubub Maidlast ülemal paremalt Purtse jõkke; pikkus 43 km, valgala 233 km², alamkategoria tugevasti muudetud veekogum. Suurimad lisajõed on Leppoja ja Ratva oja. Ojamaa jõgi ei kuulu keskkonnaministri 15.06.2004 määruses nr 73 “Lõhe, jõeforelli, meriforelli ja harjuse kudemis- ja elupaikade nimistu” toodud nimekirja (RTL 2004, 87, 1362; RT I 09.07.2016 1). Ojamaa jõgi on 56% ulatuses arvel eesvooluna (OJAMAA/TP-719 MÄETAGUSE).

Ojamaa kaevanduse veed suunatakse käesoleval ajal Ojamaa jõkke läbi Võrnu kraavi ja Ratva oja. Ojamaa jõkke suunatakse ka Ratva toruallikate veed, mis drenivad lumesulaperioodil Viru kaevandust. Aastatel 1975–2002 juhiti Ojamaa jõkke ka Sompä ja Kohtla kaevanduse veest ning

hiljem ka Viru kaevanduste 3 pumpla vesi [53]. Ojamaa jõkke suubub Aidu karjääri väljavool. Hinnanguliselt moodustab Ojamaa kaevandusest (KMIN-055) välja pumbatav vesi ca 23% jõe vooluhulgast. Kokku moodustab isevoolsetest väljalaskmetest ja keskkonnaloaga reguleeritud kaevandusvee väljalaskudest (vt detailsemalt tabel 8) pärinev vesi 50–70% jõe vooluhulgast (sh, Aidu karjääri keskmine väljavool 2021.a. oli 799 l/s ehk ca 35% vooluhulgast) – TTÜ (2014) hindamismetoodikast lähtudes on veeheitest tulenev mõjuhinnaang – väga palju mõjutatud (vee lisamine veekogumisse on üle 50% veekogumi looduslikust vee hulgast). Ojamaa jõe looklevustegur on 1,04 (väga palju mõjutatud, sirge). Põllumajanduslik maa (PRIA) veekaitsevööndis 2,09%, st vähe mõjutatud.

Tabel 8. Ojamaa jõkke veelubade alusel juhitava kaevandusvee osakaal jõe alamjooksul

Aasta	Veelase KKR kood	Kaevandusvee vooluhulk (m³/a)	Keskmine vooluhulk (m³/d)	Summaarne lisanduv keskmine vooluhulk (m³/d)	Jõe keskmine vooluhulk (m³/d)	Osakaal jõe vooluhulgast alamjooksul
2019	HVL0441990	16 792 800	46 008	69 511	177 206	39%
	HVL0442140	0	0			
	HVL0441820	6 651 098	18 222			
	HVL0452240	963 829	2 641			
	HVL0452240	963 829	2 641			
2020	HVL0441990	19 209 505	52 629	65 317	164 333	40%
	HVL0441820	4 205 145	11 521			
	HVL0452240	425 966	1 167			
2021	HVL0441990	19 830 045	54 329	73 314	177 638	41%
	HVL0441820	2 373 125	6 502			
	HVL0452240	4 556 384	12 483			
2022	HVL0441990	20 065 611	54 974	95 980	164 419	58%
	HVL0441820	3 692 209	10 116			
	HVL0452240	11 275 027	30 890			
2023	HVL0441990	18 541 319	50 798	64 277	170 899	38%
	HVL7960098	117 720	323			
	HVL0441820	3 261 318	8 935			
	HVL0452240	1 540 612	4 221			

2023.a. augusti keskel teostas EGT pinnakatte geoloogilise kaardistamisi piki Ojamaa jõge, mille käigus kaardistati lubjakivi avamusala jõe kaldas ning koguti infot jõe põhjasetete kohta. Kaardistamise käigus (15.08.2023) ilmnes, et jõgi on **kolme kilomeetri pikkusel lõigul täiesti kuiv** (joonis 7) [53]. Ratva oja suubumiskohast 700 m üles voolu tekib nn tagurpidi vool. Selle jõelõigu vee elektrijuhtivus oli iseloomulik kaevandusveele [53].

Kaevandusvete juurdevoolu üheks oluliseks mõjaks on **kogumi tunnuste muutmine**. Kui võrrelda 2021.a. LIFE IP CleanEST ning jõgede hüdrokeemiline ülevaateseire käigus kogutud KHTMn 90%-ne väärtusi, selgub, et kaevandustest ülesvoolu asuva Tarumaa (SJA0498000) KHTMn 90%-ne väärtus on 18,7 mgO/l ning Aidu karjääri väljavoolust ülesvoolu paikneva Aidu (SJA0571000) seirejaama KHTMn

90%-ne väärtus on 59,0 mgO/l. Ehk, enne kaevandusvete lisamist on kogum tumedaveeline ja humiinaineterikas (V1A), kuid alamjooksul kaevandusvee lisandumisel heledaveelised ja vähese orgaanilise aine sisaldusega (V1B).



Joonis 7. Ojamaa jõgi oli 2023 a. augustis 3 km pikkusel lõigul (punane) kuiv. Jõe läänekaldas ja kohati ka jõe põhjas paljandus lubjakivi (must) [53].

Ojamaa jõest on alamjooksul raskemetalle ning sulfaate varasemalt analüüsitud nii LIFE IP CleanEST projekti kui ka riikliku seire raames kahest seirepunktist – Ojamaalt (SJA4961000) ja enne Aidu väljavoolu (SJA0571000) [56]. Tabelist 9 on näha, et nikli sisaldused Ojamaa jõe Aidu seirejaamas ületasid 2015.a. AA-EQS-i (4 µg/l).

Tabel 9. Ojamaa jõe alamjooksu raskemetallide ja sulfaadi aastakeskmised sisaldused

		As	Ba	Hg	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	SO ₄
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
SJA0571000	2015	0.4	65.3	<0.005	<0.02		0.93		4.1	0.11	3.9	258
SJA4961000	2021	0.5	53.3	0.006	0.015	0.25	0.83	26.3	2.9	0.25	2.9	239

1.5.5 Erra jõgi (kogum 1070200_1)

Erra jõgi on 21,2 km pikkune tugevasti muudetud avalikult kasutatav vooluveekogum (tüüp V1B), mis kuulub kas osaliste lõikudena või tervikuna riigi poolt korrashoitavate ühiseesvoolude loetellu (RTL 2006, 7, 133; RT III, 18.12.2012, 4). Erra jõgi suubub Purtse jõkke vasakust kaldast 8,8 km suudmest. Erra jõe valgala on 97,4 km². Erra jõgi ei kuulu lõhe, jõeforelli, meriforelli ja harjuse kudemis- ja elupaikade nimistusse.

Erra jõgi saab alguse Pada Kuresoost ning enne suubumist voolab läbi Uhaku karstiaala, kus jõgi kaob läbi karstilehtrite maa alla ja ilmub maapinnale uuesti Purtse jõe kaldal ning tõusuallikatena Purtse jõe põhjas. Erra jõkke suunati Põhja-Kiviõli karjäärist välja pumbatud vesi, [55] kuid perioodil 2019–2023.a. sinna väljalasust VEE1070600 vett juhitud ei ole.

Jõgi on 63% ulatuses arvel (riigi poolt korrastatava) eesvooluna (ERRA JÕGI, ULJASTE 2/PÜ-114) ja õgvendatud ca 40% ulatuses. Alamjooksul voolab kohati maa all (Uhaku karstiaalal) ning maapealses lõigus on vool ajutise iseloomuga. Looklevustegur on 1,20 (ulatuslikult mõjutatud, vähe looklev). Põllumajanduslik maa (PRIA) veekaitsevööndis 3,87% (vähe mõjutatud).

Erra jõgi oli pikalt reostunud Kiviõli keemiatööstusest pärinevate põlevkiviõlidega. 2023.a. eemaldati suurem osa reostunud põhjasetetest – seoses puhastustööde suurenenud maksumusega jäi reostus eemaldamata ca 1,5 km lõigul Erra küla piires.

Erra jõest on raskemetalle ning sulfaate varasemalt analüüsitud küll Lüganuse tee seirejaamast (SJA2145000), kuid kuna Erra jõe alamjooksul asub karstiaala ja suurel osal aastast maapealset veevoolu ei ole (Erra jõgi suubub Purtse jõkke Uhaku karstiaala allikate kaudu), siis on käesolevas töös valitud esinduslikuks seirejaamaks Erra jõgi Erra külas (SJA2741000. Analüüsitulemustest (tabel 10) on näha, et vase aastakeskmist piirväärtust (7,8 µg/l) ületati kahel korral ja nikli AA-EQS-i samuti ühel korral. Kuigi sulfaadi sisaldused on kaevanduste mõjudeta pinnaveekogumitest suuremad, ei saa raskemetallide suuremate sisalduste puhul välistada ka jääkreostuse mõju.

Tabel 10. Erra jõe Erra seirejaama (SJA2741000) raskemetallide ja sulfaadi aastakeskmised sisaldused

Aasta	As µg/l	Ba µg/l	Cd µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Hg µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Sn µg/l	Zn µg/l	SO4 mg/l
2008	<0.0005		0.000	<0.001		<0.0002		0.001			
2012	0.440	23.0	0.030	0.530	16.0	<0.015	11.0	0.750		17.0	19
2013	0.603	59.0	<0.02	<0.5	0.8	<0.015	0.7	0.073		1.1	41
2019	0.460	54.0	<0.02	<0.5	<1	<0.015	0.7	0.050	<0.45	0.5	57
2020	0.537	75.7	<0.02	<0.5	<1	<0.015	1.1	0.070	<0.5	2.1	57
2021	0.463	77.7	0.082	0.175	0.7	<0.015	0.9	0.212	0.960	2.2	53

1.5.6 Kohtla jõgi (kogum 1070700_1)

Kohtla jõgi on 31,3 km pikkune tugevasti muudetud avalikult kasutatav vooluveekogum (tüüp V2B), mis suubub Purtse jõkke paremast kaldast 8,4 km suudmest). Kohtla jõe valgala pindala on ca 186 km², kuid see on tegelikkuses väiksem (orienteeruvalt 150 km²) johtuvalt veega täitunud allmaakaevanduste ja karjäärade mõjust. Kohtla jõgi ei kuulu keskkonnaministri 15.06.2004 määruses nr 73 “Lõhe, jõforelli, meriforelli ja harjuse kudemis- ja elupaikade nimistu” toodud nimekirja (RTL 2004, 87, 1362; RT I 09.07.2016 1).

Kohtla jõkke suubuvad Varja oja (Naisteoja) VEE1071400, Varbe peakraav (Varbe oja) VEE1071100 ja Hiiesoo peakraav (Külmoja) VEE1071300 ning Vahtsepa kraav VEE1071000. Kohtla jõe ülemjooks kuni Vahtsepa kraavini on kuiv. Ülemjooksu kuivamine on seotud põlevkivi kaevandamise mõjul alanenud põhjaveetaseme ja muutunud voolusuunaga. Käesoleval ajal juhitakse suletud allmaakaevanduste (Käva, Käva 2 ja Kukruse) vesi isevoollalt Vahtsepa kraavi kaudu (<90% põhjavesi) Kohtla jõkke. Väljavool Vahtsepa kraavi toimub pindalalise väljavooluna Käva kaevanduse stollidest ja väljaveostrekkidest. Käva isevoolne väljavool iseloomustab seega mitme kaevanduse alal kaevanduskäikudes moodustunud põhjavett. Perioodil 2019–2023.a. pumbati Kohtla jõkke väljalaskme HVL0441540 kaudu 9,8–24,2 l/s kaevandusvett Kaevandusmuuseumi territooriumilt (0,6–1,5% jõe keskmisest vooluhulgast). Suubumisel Purtse jõkke moodustab Kohtla jõe veest Käva väljalaskmest pärinev põhjavesi ca 30%.

Looklevustegur on 1,10 (ulatuslikult mõjutatud, vähe looklev) ja põllumajandusliku maa osakaal veekaitsevööndis on 2,91% (PRIA), st vähe mõjutatud. Kogum ei kuulu riigieesvoolu hulka ja teadaolevalt ei ole seal hoiutöid tehtud ega planeeritud.

Kohtla jõest on raskemetalle ning sulfaate varasemalt analüüsitud Kohtla jõe Lüganuse seirejaamast (SJA8702000). Analüüsitulemustest (tabel 11) on näha, et vase aastakeskmist piirväärtust (7,8 µg/l) ületati kahel korral tsiingi aastakeskmist piirväärtust (10,9 µg/l) ja nikli AA-EQS-i samuti ühel korral. Kohtla jõe jääkreostust eemaldati 2022.a. kuid sulfaadi sisaldus püsib kõrge, sest Kohtla jõe ülemjooksul pärineb vesi valdavalt suletud Käva kaevandusest, mis voolab Kohtla jõkke mööda Vahtsepa peakraavi (tabel 12) ja Põlevkivimuuseumi poolt Kohtla kaevandusest Põhja pumbajaamas väljapumbatavast veest.

Tabel 11. Kohtla jõe Lüganuse seirejaama (SJA8702000) raskemetallide ja sulfaadi aastakeskmised sisaldused

Aasta	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	SO ₄
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
2012	1,5	28,0	0,030	1,0	11,0	<0,015	5,5	0,8	11,00	66
2013	2,0	52,7	0,027	0,5	11,2	<0,015	2,3	0,4	7,37	188
2019	0,7	70,0	0,010	0,3	0,5	<0,015	1,2	0,1	1,80	370
2020	0,7	110,0				<0,015	0,9			
2021	0,6	94,9	0,010	0,2	1,1	0,005	1,5	0,2	2,76	446
2022	0,7	94,0	0,005	0,1	0,7	<0,005	1,3	0,0	3,60	
2023	0,4	69,3	0,009	0,1	1,2	<0,005	1,6	0,0	3,39	540

Tabel 12. Vahtsepa peakraavi (SJB3348000) raskemetallide ja sulfaadi aastakeskmised sisaldused

Aasta	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	SO ₄
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
2019	0,1	22	0,013	0,3	0,5	<0,015	2,2	0,1	1,8	335
2020	0,1	20	0,010	0,3	0,5	<0,015	2,1	0,1	1,7	320
2021	0,1	22	0,022	0,2	2,9	<0,015	2,2	0,3	3,4	293
2022	0,1	18	0,012	0,1	5,2	<0,05	1,9	0,1	7,8	
2023	0,1	22	0,014	0,0	0,5	<0,05	2,3	0,0	7,0	

1.6 Pühajõgi (kogumid 1067000_1 ja 1067000_2) ja selle valgala

Pühajõgi (VEE1067000, ka Ädise ja Edise jõgi) on avalikult kasutatav veekogu, mis asub Ida-Virumaal. Jõe pikkus on 32,8 km, valgala 215,4 km². Lähe paikneb Järve külast 1 km kirde ja Kukruse mõisast 3,3 km põhjaloode pool, voolab läbi Jõhvi kirdeserva, viimased 4 km voolab tugevasti loogeldes sügavas, järskude nõlvadega kaunis paekallast läbivas orus, ilmestades Toila Oru parki (Oru pargi maastikukaitseala); suubub pargi kohal Narva lahte. Pühajõel on ka Pühajõe hoiuala ja loodusala. Ülemjooksul kuulub 6,56 km pikkusel lõigul riigi poolt korras hoitavate ühiseesvoolude hulka

(Pühajõgi). Pühajõgi kuulub Voka teeristi juures asuvast Tallinn–Narva maantee sillast suubumiseni merre lõhe, jõeforelli, meriforelli ja harjuse kudemis- ja elupaikade nimistusse.

Peamised parempoolsed lisajõed on Kose ja Vasavere jõed, suurim vasakpoolne lisajõgi on Mägara oja (14 km, 5,8 m kõrgune Aluoja joastik). Pühajõkke suunatakse kaevandusvett isevooolsete Jõhvi kaevandus 2, Tammiku ja Ahtme Sanniku väljalaskmete kaudu (viimased kaks annavad olulise osa Kose jõe vooluhulgast). Alamjooksul moodustub kaevandusvee osakaal hinnanguliselt 26% jõe keskmisest vooluhulgast, kusjuures veeloa alusel juhitava vee osakaal moodustab 12–24%.

Pühajões on raskemetalle ning sulfaate kõige rohkem analüüsitud seirejaamast SJA1934000 (Pühajõgi: suue). Analüüsitulemustest (tabel 13) on näha, et plii sisaldus ületas AA-EQS-i (1,2 µg/l) üheteistkümnel korral, elavhõbeda sisaldused aga (MAC-EQS – 0,07 µg/l) koguni kümnel aastal. Vesikonnaspetsiifilistest saasteainetest ületas tsingi sisaldus aasta keskmist keskkonna kvaliteedi piirväärtust (10,9 µg/l) kahel korral, vase puhul on aasta keskmise keskkonnakvaliteedi piirväärtuse (7,8 µg/l) ületamisi ette tulnud seitsmel aastal. Baariumi sisaldusi on analüüsitud vähem, kuid ajavahemikus 2016–2020 ületati aasta keskmist keskkonnakvaliteedi piirväärtust 115 µg/l) kõigil aastatel. Sulfaadi sisaldused (keskmiselt 168 mg/l) on iseloomulikud kaevandusest mõjutatud veekogule.

Tabel 13. Pühajõe suudmepiirkonna (SJA1934000) raskemetallide ja sulfaadi aastakeskmised sisaldused

Aasta	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	SO ₄
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
1992			3.16		19.8				3.10		5.7	130
1993												147
1994			0.17		<40	0.46			1.33		<10	164
1995			1.43		<40	0.23			1.00		<10	158
1996			0.83		10.7	0.15			0.67		<10	161
1997			0.06		18.5	0.13			3.00		8.8	175
1998			<0.1		4.0	0.34			<2		10.0	161
1999			<0.1		6.2	0.05			2.00		10.0	160
2000			0.04		2.0	<0.1			<0.2		4.0	102
2001			<0.02		0.5	<0.1			<0.2		<2	98
2002			0.08		12.0	0.13			4.00		<10	180
2003			0.30		2.0	0.10			2.00		<10	172
2004			0.40		2.5	0.45			1.30		14.0	143
2005			<0.1		14.6	<0.05			1.30		46.0	224
2006			<0.1		22.6	0.04			1.77		9.5	281
2007			<0.1		4.6	<0.05			5.30		<10	323
2008			<0.1		42.8	<0.05			3.10		<10	288
2009			<0.1		1.7	<0.05			<1		<10	218
2010			<0.02		17.6	<0.05			0.32		2.0	167

Aasta	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	SO ₄
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
2011	0.3		<0.02	0.8	1.2	<0.015		1.7	0.26		1.4	163
2012			0.02	0.4	6.9	0.02	17	2.6	0.77		5.0	182
2013			<0.02	0.4	1.2		10	1.8	0.08		1.8	136
2014			<0.02	0.3	0.5	<0.015	9.9	1.6	0.10		0.9	123
2015			<0.02	<0.5	<1	<0.005	14	1.4	<0.1		2.8	124
2016		136	<0.02	<0.5	2.0	<0.005	15	2.2	<0.1		2.7	155
2017		130	0.06	<0.5	0.9	<0.005		2.2	<0.1		1.6	166
2018		138	<0.02	<0.5	<1	<0.005		1.7	<0.1		1.2	163
2019		128	<0.02	<0.5	0.7	<0.005		1.9	<0.1	<0.5	1.9	151
2020	0.3	121	<0.02	<0.5	<1	<0.005		1.9	<0.1	<0.5	2.3	153
2021	0.3	106	0.01	0.2	1.3	<0.005		1.9	0.08	<0.5	3.6	141
2022	0.3	116	<0.01	0.2	0.9	0.01		2.0	0.04	<0.5	3.1	148
2023	0.3	108	0.01	0.4	1.4	<0.005		1.9	0.04		3.5	158
2024	0.3	110	0.01	0.3	1.2	<0.005		2.2	0.04		5.1	146

1.6.1 Kose (Rausvere) jõgi (kogum 1067300_1)

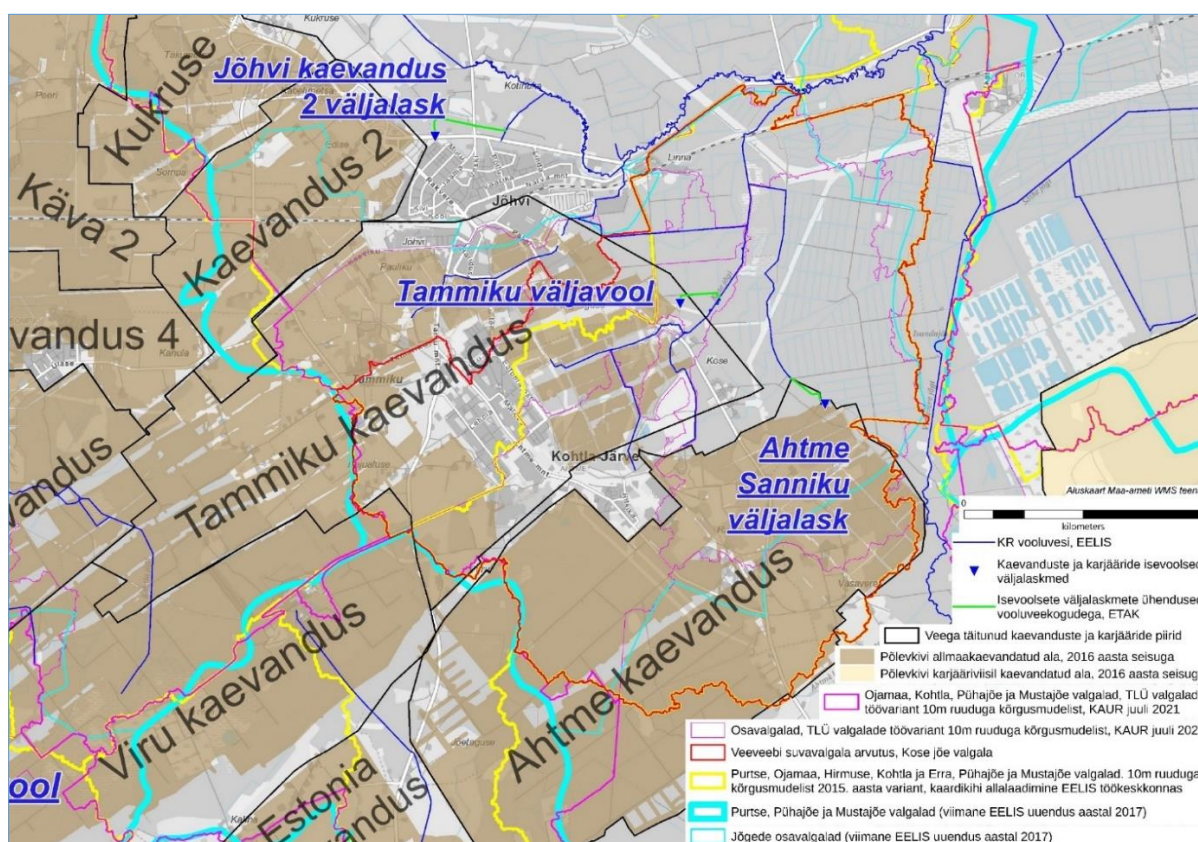
Kose (Rausvere, VEE1067300) jõgi on 7,7 km pikkune looduslik avalikult kasutatav vooluveekogu tüübiga V1B, mis suubub Pühajõkke paremast kaldast 11,9 km kaugusel suudmest (Joonis 8). Kogum ei kuulu keskkonnaministri 15.06.2004 määrusega nr 73 kehtestatud lõhe, jõforelli, meriforelli ja harjuse kudemis- ja elupaikade nimistusse. Kogumi valgalale ei jää kaitstavaid alasid.

Kose jõgi on alamjooksul 1,6 km ulatuses võetud arvele maaparandussüsteemi eesvooluna (VÄRAVSAARE/TTP-517 ja LINNAKÜLA/ TTP-495 KOSE). Lisaks on eesvooluna arvel ka Kose jõkke suubuv Sanniku jõgi (VÄRAVSAARE/TTP-517). Kose jõe looklevustegur on 1,13 (ulatuslikult mõjutatud, vähe looklev). Põllumajandusliku maa osakaal veekaitsevööndis on 0,10% (PRIA), st vähe mõjutatud.

Kose jõe valgala veerežiimi on tänaseks inimese poolt oluliselt muudetud ning see sõltub eelkõige põhjavee tasemest allmaakaevandatud aladel [57]. Põlevkivi allmaakaevandatud alal on põhjavesi ja pinnavesi omavahel hüdrauiliselt seotud, sest allmaakaevandamise järel kaevanduse peal olevate lubjakivide vertikaalsuunaline veejuhtivus ja ka veeand suurenevad. Võrreldes kaevandamiseelse situatsiooniga jääb põhjaveetase kaevandamisjärgselt madalamale, olles kaevandamiseelsel kõrgusel maapinnareljeefi kõige madalamates kohtades isevoolsete väljalaskmete juures. Käesoleval ajal ei ole valga piirid täpselt teada veerežiimi muutuste tõttu ning valgala (hinnanguline) suurus jääb vahemikku 56–71 km² (joonis 8) [57].

Allmaakaevandatud alade mõjul on Kose jõgi ülemjooksul (kuni Tammiku kaevanduse väljavooluni) suurema osa aastast kuiv ning suubumisel Pühajõkke koosneb Kose jõe vesi vähemalt 90% ulatuses Tammiku ja Ahtme iseoolsete väljalaskmete põhjaveest [2], [58].

Kose jõgi on valdavalt sirgendatud ja vesi on iseoolsetele väljalaskmete tõttu aastaringselt külm. Kaevandustest pärineva vee mõju Pühajõeale on varem hinnatud positiivselt, sest tagab madalveeperioodidel minimaalse vooluhulga (Kose jõe suudmest ülesvoolu jääb Pühajõgi madalvee ajal liiga veevaeseks) ning alandab Pühajõe alamjooksul veetemperatuuri, mis omakorda loob eeldused selleks, et Pühajõe alamjooks võiks olla heaks elu- ning sigimispaiaks lõhelastele (meriforell, jõforell, lõhe, harjus) ning hapnikunõudlikele liikidele (võldas) [57].



Joonis 8. Kose jõe valga erinevate valgalapindade järgi [2].

Sirgendamisest ning muutused veerežiimis (vooluhulk on oluliselt suurenenud peale iseoolsete väljalaskmete avamist) on kaasa toonud ka olukorra, kus kiire veevool põhjustab kallaste erodeerumist ning veekogu põhja setetega täitumist. Kose jõe algust (allmaakaevandatud aladel paiknevat osa) ei ole võimalik enam mõistlike kuludega taastada. Tänapäevaks on maapealne vee äravool asendunud põhjavee toite ning iseoolsete väljavoolude kaudu vee ärajuhtimisega, mida muuta ei ole aga otstarbekas ega sotsiaal-majanduslikult põhjendatud [57].

Kose jõest on raskemetalle ning sulfaate varasemalt analüüsitud 2021.a. LIFE IP CleanEST projekti raames [57]. Tabelist 14 on näha, et raskemetallide ja sulfaadi sisaldused sarnanevad kaevandusest mõjutatud pinnaveekogumite veele.

Tabel 14. Raskemetallide ja sulfaadi aasta keskmised sisaldused Kose jões (SJA3731000)

	As	Ba	Hg	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	SO ₄
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
2021	0,2	61	<0,05	0,06	0,1	0,7	3,5	0,04	6,4	218

1.6.2 Vasavere jõgi (kogum 106770_1)

Vasavere jõgi (1067700) on 15,7 km pikkune looduslik avalikult kasutatav vooluveekogu (V1B-KaVo), mis suubub Pühajõkke paremast kaldast 8,5 km kaugusel suudmest (joonis 10). Vasavere jõe valgala on 51,6 km². Algab Kurtna Suurjärvest ja alamjooksul on kraaviühendus Voka ja Sõtke jõega, suubub Orul³ Pühajõkke. Vasavere jõgi ei kuulu keskkonnaministri 15.06.2004 määruses nr 73 “Lõhe, jõeforelli, meriforelli ja harjuse kudemis- ja elupaikade nimistu” toodud nimekirja (RTL 2004, 87, 1362; RT I 09.07.2016 1). Valgalal asub kaitsealune Kurtna mõisa park (KLO1200446), Alutaguse rahvusparki looduskaitseala (KLO1000669) ja Natura aladest Kurtna loodusala (RAH0000168).

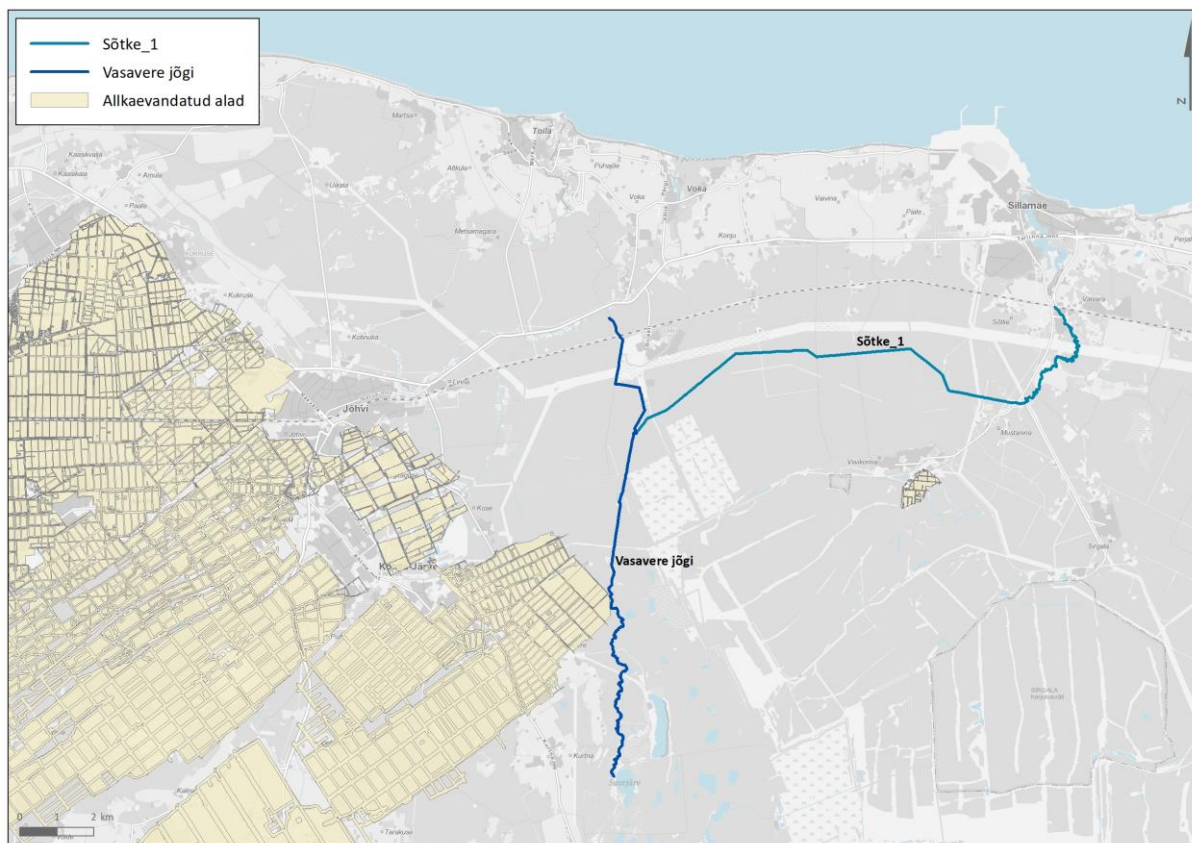
Vasavere jõgi on 28% ulatuses arvel eesvooluna (ISANDJÄRVE/TTP-517, PIISNA/TTP-517) ning õgvendatud 6,7 km ulatuses (õgvendatud 43% kogumist). Looklevustegur on 1,18 (ulatuslikult mõjutatud, vähe looklev) ja Põllumajandusliku maa osakaal veekaitsevööndis on 0,00% (PRIA), st looduslähedane. Jõgi läbib looduslikke järvi Islandijärv (VEE2014800; 4 ha) ja Peenjärv (VEE2014700; 0,5 ha). Vasavere jõkke suubub Ahu oja (VEE1067701, alla 10 km² valgala, ei ole avalikult kasutatav).

Jõe ülemjooks suunati ümber 1960. aastate lõpus⁴ Sõtke jõkke seoses Sillamäe tehase veevajaduse suurenemisega, mille tulemusena vähenes Pühajõkke jõe veehulk. Jooniselt 9 on näha, et Vasavere jõe ning Sõtke_1 vahel on olemas ühendus Oru linnaosa lähedal soisel alal.

Jõe ülemjooks piirneb suletud Ahtme allmaakaevandusega, mille vesi voolab isevoolsena Sanniku oja kaudu Kose jõkke. On võimalik, et Ahtme allmaakaevandus drenib Vasavere jõe ülemjooksu. Varasematel aegadel suunati Vasavere jõkke Ahtme kaevandusest väljapumbatav vesi. **Vee ümberjuhtimise tõttu Vasavere jõgi kuivab perioodiliselt.**

³ http://entsyklopeedia.ee/artikkel/vasavere_j%C3%B5gi

⁴ https://et.wikipedia.org/wiki/Vasavere_j%C3%B5gi

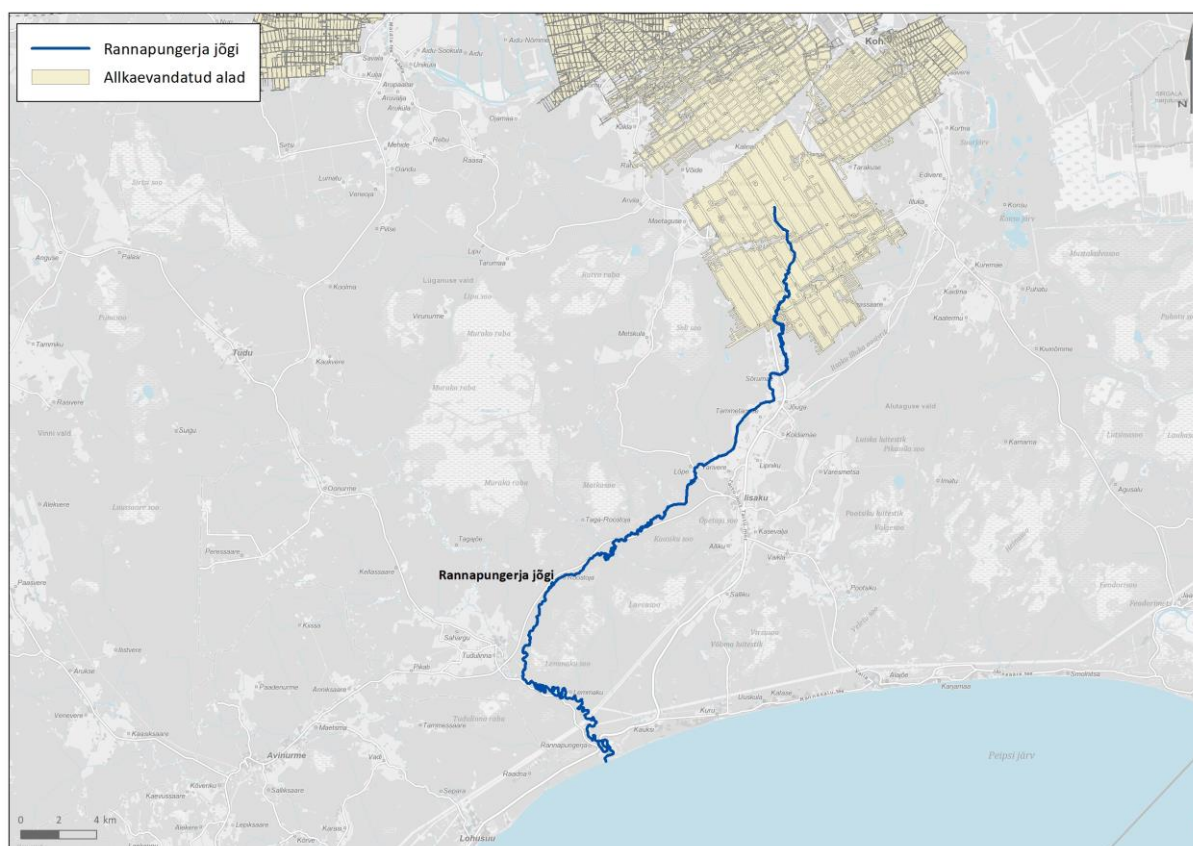


Joonis 9. Vasavere jõgi ning Sõtke_1 on omavahel ühenduses kraavühenduse kaudu, ülemjooksul külgneb jõgi aga suletud Ahtme kaevanduse alaga.

Vasavere jõest KESE andmetel raskemetalle ning sulfaate varasemalt analüüsitud ei ole.

1.7 Rannapungerja jõgi (kogumid 1058700_1, 1058700_2 ja 1058700_3) ning selle valgala

Rannapungerja jõgi (VEE1058700), ülem- ja keskjooksul ka Roostoja, alamjooksul Pungerja jõgi, asub Alutagusel. Rannapungerja jõgi on 63 km pikk, valgala pindala 594,6 km². Ei kuulu keskkonnaministri 15.06.2004 määruses nr 73 toodud lõhe, jõeforelli, meriforelli ja harjuse kudemis- ja elupaikade nimistusse. Algab Jõhvi kõrgustikult Atsalama küla lähedalt, suubub Rannapungerjal Peipsisse. Rannapungerja jõe ülemjooksul paikneb Estonia kaevandus (joonis 10). Keskkonnaagentuuri andmetel [59] moodustab enam kui poole kogumi Rannapungerja_1 vooluhulgast Estonia kaevandusest ärajuhitav põhjavesi.



Joonis 10. Rannapungerja jõe ülemjooksul paikneb Estonia kaevandus.

Rannapungerja_1 kogumi pikkus on 26 km, tüüp V1A ja alamkategoria tugevasti muudetud veekogum. Valgalasse jäävad Muraka loodusala (RAH0000158) ja linnuala (RAH0000075), Selisoo loodusala (RAH0000543), Jõuga loodusala (RAH0000167), Mäetaguse loodusala (RAH0000166), Atsalama loodusala (RAH0000165), kuid kõik need kaitsealad asuvad kogumi vahetust ümbrusest eemal. Kogum on 42% ulatuses arvel eesvooluna (RANNAPUNGERJA JÕGI) ning õgvendatud samas ulatuses. 2010–2021 ei ole maaparanduslikke hoiutöid kogumil tehtud, ning neid ei ole ka planeeritud 2022–2027. aastateks. Kogumisse juhitakse Estonia kaevanduse vett väljalaskmete IV016, IV220, IV091, IV018 ja IV015 kaudu. Keskkonnaagentuuri andmetel [59] moodustab enam kui poole kogumi vooluhulgast Estonia kaevandusest ärajuhitav põhjavesi. Kaevandusvee osakaal jõe alamjooksul moodustab 32–39% jõe vooluhulgast alamjooksul (tabel 15)

Tabel 15. Veeloa alusel Rannapungerja jõkke juhitava kaevandusvee osakaal

Aasta	Veelase KKR kood	Kaevandusvee vooluhulk (m ³ /a)	Keskmine vooluhulk (m ³ /d)	Summaarne lisanduv keskmine vooluhulk (m ³ /d)	Jõe keskmine vooluhulk (m ³ /d)	Osakaal jõe vooluhulgast alamjooksul
2019	HVL0440152	3 759 897	10 301	154 380	434 245	36%
	HVL0442200	33 016 996	90 458			
	HVL0440180	785 257	2 151			
	HVL0440180	11 201 453	30 689			
	HVL0440160	6 439 141	17 641			

	HVL0440910	1 145 959	3 140			
2020	HVL0440152	1 222 418	3 349	156 752	431 482	36%
	HVL0442200	46 510 341	127 426			
	HVL0440180	3 547 592	9 719			
	HVL0440160	5 616 831	15 389			
	HVL0440910	317 190	869			
2021	HVL0440152	2 144 392	5 875	158 199	458 698	34%
	HVL0442200	46 597 136	127 663			
	HVL0440180	1 756 287	4 812			
	HVL0440160	6 618 575	18 133			
	HVL0440910	626 353	1 716			
2022	HVL0440152	1 460 392	4 001	154 398	400 982	39%
	HVL0442200	46 403 108	127 132			
	HVL0440180	940 209	2 576			
	HVL0440160	6 794 886	18 616			
	HVL0440910	756 750	2 073			
2023	HVL0440152	1 495 099	4 096	154 057	476 755	32%
	HVL0442200	46 129 893	126 383			
	HVL0440180	1 747 604	4 788			
	HVL0440160	6 225 066	17 055			
	HVL0440910	633 173	1 735			

Rannapungerja jõest on raskemetalle ning sulfaate kõige rohkem analüüsitud seirejaamast SJA1361000 (Rannapungerja jõgi: Mustvee mnt sild). Analüüsitulemustest (tabel 16) on näha, et vesikonnaspetsiifilise saasteaine baariumi sisaldused on ületanud aasta keskmist piirväärtust (115 µg/l) viiel korral, samuti ületas tsiingi sisaldus 2011.a. aasta keskmist keskkonna kvaliteedi piirväärtust (10,9 µg/l). Sulfaadi sisaldused (keskmine 109 mg/l) on iseloomulikud kaevandusest mõjutatud veekogule.

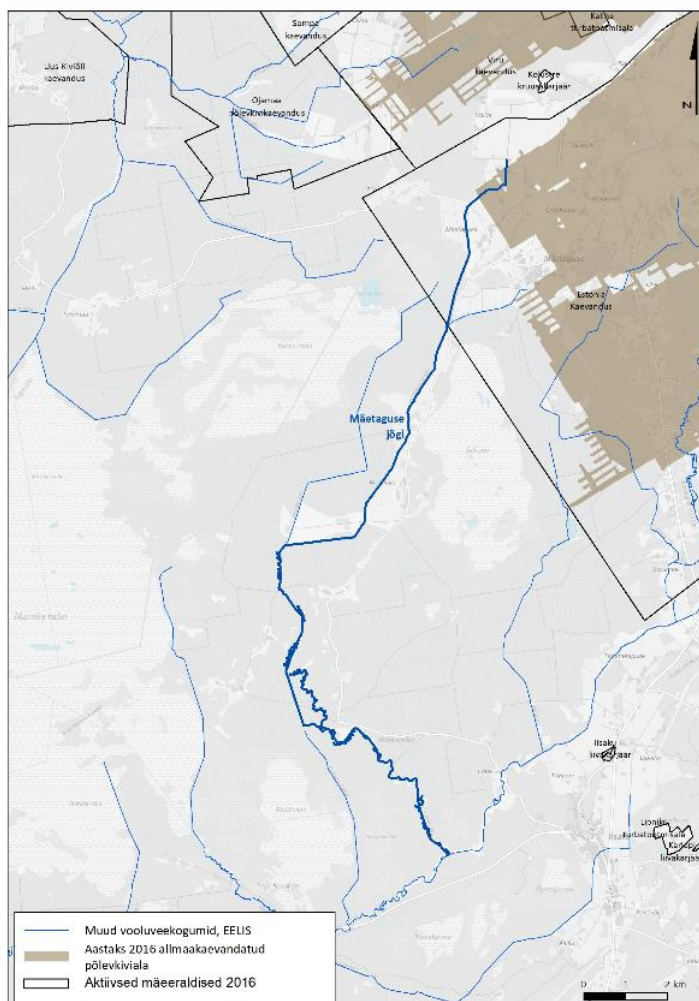
Tabel 16. Rannapungerja jõe (SJA1361000) raskemetallide ja sulfaatide aastakeskmised sisaldused

Aasta	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	SO4
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
2011			<0,02	1,0	1,1	<0,015	1,2	0,9	15,0	125
2012			<0,02	<0,5	1,0	<0,015	1,0	0,2	1,3	105
2013			0,02	<0,5	0,9		1,0	0,2	3,2	92
2014			0,03	0,3	0,8	<0,015	1,2	0,2	2,0	90
2015	0,4	275	0,04	0,3	0,8	<0,015	1,1	0,2	7,8	107
2016	0,9	127	0,07	0,3	1,8	0,007	1,4	0,2	2,7	86
2017	0,9	91		0,5	2,1		1,4	0,4	4,1	96
2018	0,4	195	<0,02	0,5	<1	0,050	1,2	0,1	2,3	112
2019										112
2020										110
2021	0,4	130	0,01	0,2	0,7	0,003	1,2	0,1	9,0	117
2022										129
2023	0,4	121	0,01	0,3	1,1	0,004	1,1	0,2	3,1	152
2024	0,4	108	0,01	0,3	0,9	0,004	1,2	0,1	3,2	99

1.7.1 Mäetaguse jõgi (kogum 1059200_1)

Mäetaguse jõgi on 23 km pikkune avalikult kasutatav looduslik (V1A-KaVo), mis kuulub riigi poolt korrashoitavate ühisesvoolude loetellu. Jõe valgala on 90,3 km². Jökke suubub Tammikmäe peakraav (VEE1059300). Mäetaguse jõgi suubub Rannapungerja jõkke. Mäetaguse jõgi ei kuulu keskkonnaministri 15.06.2004 määruses nr 73 "Lõhe, jõeforelli, meriforelli ja harjuse kudemis- ja elupaikade nimistu" toodud nimekirja (RTL 2004, 87, 1362; RT I 09.07.2016 1). Jõgi külgneb Muraka linnuala (KLO1101908, KLO1101934, KLO1101896 ja KLO1101932), mis on ka NATURA 2000 ala (RAH0000075) ning mille kaitse eesmärkideks on koosluste arengu tagamine üksnes loodusliku protsessina, vajaduse korral inimtegevusest rikutud koosluste looduslikkuse eelnev taastamine, elustiku mitmekesisuse säilitamine ning kaitsealuste liikide ja nende elupaikade kaitse.

Jõgi piirneb ülemjooksul Estonia allmaakaevandusega (joonis 11), kus põhjavee taset alandatakse kaevandamise tarbeks (väljastatud keskkonnaluba KMIN-054). Kaevanduse dreniv mõju ulatub allmaakaevanduse alalt kaugemale ning soodustab Mäetaguse jõe ülemjooksu perioodilist kuivamist.



Joonis 11. Mäetaguse jõgi piirneb ülemjooksul Estonia allmaakaevandusega.

Mäetaguse jõest on raskemetalle ja sulfaate analüüsitud Metsaküla seirejaamast (SJA0572000). Analüüsitulemuste kohaselt (tabel 17) kaevandustest mõjutatud põhjavesi Mäetaguse jõe veekvaliteeti ei mõjuta, sest see suunatakse väljalaskude kaudu Rannapungerja jõkke.

Tabel 17. Mäetaguse jõe (SJA0572000) raskemetallide ja sulfaadi aastakeskmised sisaldused

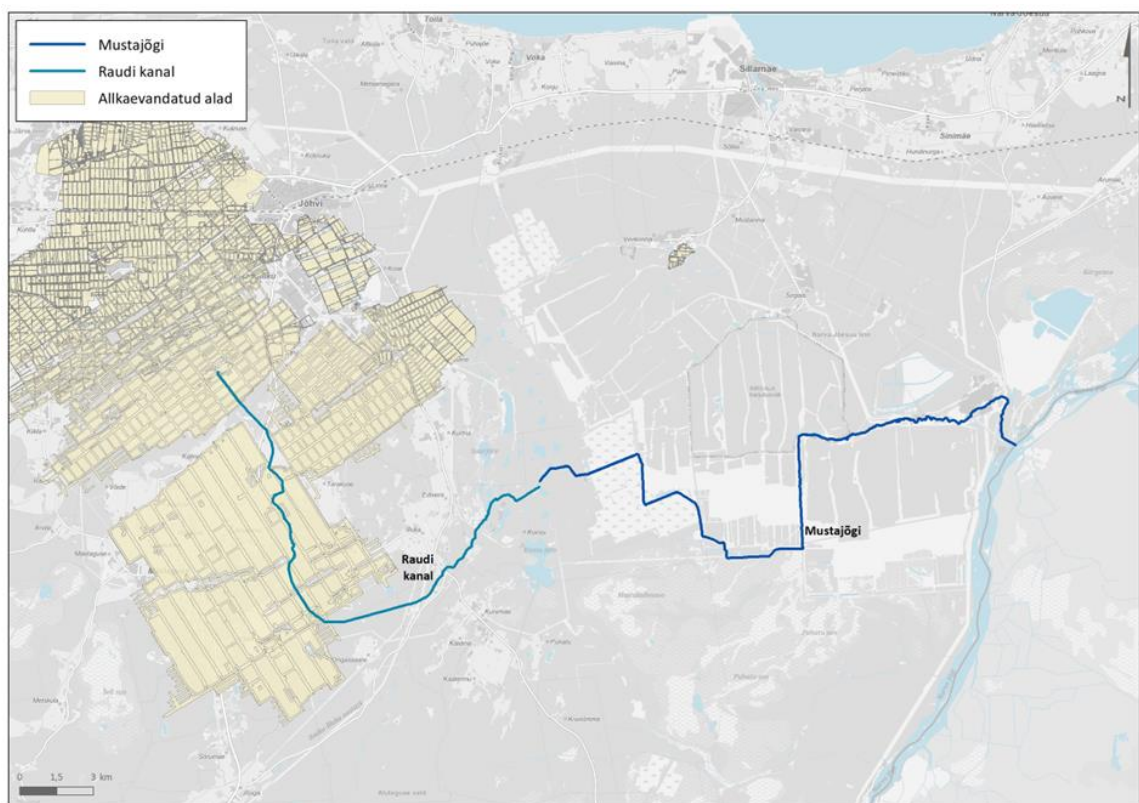
Aasta	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	SO ₄
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
2015	1,3	81	0,016		1,3	0,0032	1,0	0,2	4,2	12,9
2017	1,9	58		1,1	1,6		2,5	0,7	7,6	
2019	1,0	53	0,070	1	1,3	<0,015	1,5	0,5	6,5	
2021										31,5

1.8 Mustajõgi (kogum 1063800_1)

Mustajõgi (VEE1063800) algab Peen-Kirjakjärvest ja suubub Narva jõkke. Mustajõgi (V1B-KaVo) on 32,1 km pikkune avalikult kasutatav veekogu valgalaga 378,3 km². Mustajõgi ei kuulu keskkonnaministri 15.06.2004 määruses nr 73 "Lõhe, jõeforelli, meriforelli ja harjuse kudemis- ja elupaikade nimistu" toodud nimekirja (RTL 2004, 87, 1362; RT I 09.07.2016 1). Looklevustegur on 1,06 (ulatuslikult mõjutatud, vähe looklev). Ei ole arvel eesvooluna.

Ülemjooksul läbib jõgi Alutaguse rahvusparki Kurtina loodusala (RAH0000168), keskjooksul külgneb aga Puhatu loodusala (RAH0000545). Mõlemad on NATURA 2000 alad, mille kaitse eesmärkideks on koosluste arengu tagamine üksnes loodusliku protsessina, vajaduse korral inimtegevusest rikutud koosluste looduslikkuse eelnev taastamine, elustiku mitmekesisuse säilitamine ning kaitsealuste liikide ja nende elupaikade kaitse.

Peen-Kirjakjärve juhitakse Raudi kanali (VEE1063600) kaudu Estonia kaevanduse vett (joonis 12), lisaks juhitakse Mustajõkke kaheksa väljalasu kaudu Narva karjääride kaevandusvett (tabel 18). Mustajõkke suubub Narva karjääri suletud tranžee 13 vesi (keskmiselt 91 l/s [58]). Mustajõe vett kasutatakse ka Eesti SEJ-s jahutusveeks. Kaevandusvesi (nii isevoolselt kui ka veelubade alusel juhitav) moodustab Mustajõe alamjooksul 47-56% jõe keskmisest vooluhulgast.



Joonis 12. Mustajõgi ja Raudi kanal. Raudi kanalisse juhitakse Estonia kaevanduse vett, Mustajõkke aga Narva karjääride vett.

Tabel 18. Mustajõkke veelubade alusel juhitava kaevandusvee osakaal jõe alamjooksul

Aasta	Veelase KKR kood	Kaevandusvee vooluhulk (m³/a)	Keskmine vooluhulk (m³/d)	Summaarne lisanduv keskmine vooluhulk (m³/d)	Jõe keskmine vooluhulk (m³/d)	Osakaal jõe vooluhulgast alamjooksul
2019	HVL0442160	7 923 495	21 708	158 614	319 680	50%
	HVL0440280	7 652 496	20 966			
	HVL0441330	7 251 469	19 867			
	HVL0442060	9 256 675	25 361			
	HVL0452250	0	0			
	HVL7959867	0	0			
	HVL7959871	1 626 789	4 457			
	HVL0440170	8 441 936	23 129			
2020	HVL0440310	15 741 215	43 127	153 935	284 170	54%
	HVL0442160	7 198 361	19 722			
	HVL0440280	6 517 608	17 856			
	HVL0441330	6 835 959	18 729			
	HVL0442060	8 976 272	24 593			
	HVL0452250	0	0			
	HVL7959867	0	0			
	HVL7959871	5 049 781	13 835			
2021	HVL0440170	6 966 294	19 086	172 523	325 469	53%
	HVL0440310	14 641 992	40 115			
	HVL0442160	7 725 331	21 165			
	HVL0440280	6 962 964	19 077			
	HVL0441330	6 585 449	18 042			
	HVL0442060	10 253 077	28 091			
	HVL7959867	844 316	2 313			
	HVL7959871	5 650 355	15 480			
	HVL0440170	9 448 432	25 886			

Aasta	Veelase KKR kood	Kaevandusvee vooluhulk (m³/a)	Keskmine vooluhulk (m³/d)	Summaarne lisanduv keskmine vooluhulk (m³/d)	Jõe keskmine vooluhulk (m³/d)	Osakaal jõe vooluhulgast alamjooksul
	HVL0440310	15 501 068	42 469			
2022	HVL0442160	7 336 593	20 100	163 899	350 525	47%
	HVL0440280	7 120 550	19 508			
	HVL0441330	5 366 883	14 704			
	HVL0442060	9 455 055	25 904			
	HVL7959867	1 652 482	4 527			
	HVL7959871	5 541 845	15 183			
	HVL0440170	8 284 061	22 696			
	HVL0440310	15 065 820	41 276			
2023	HVL0442160	6 578 734	18 024	145 405	321 062	45%
	HVL0440280	6 187 134	16 951			
	HVL0441330	4 956 351	13 579			
	HVL0442060	8 310 785	22 769			
	HVL7959867	1 638 581	4 489			
	HVL7959871	4 870 002	13 342			
	HVL0440170	8 188 058	22 433			
	HVL0440310	12 343 224	33 817			

Mustajõest on raskemetalle ning sulfaate kõige rohkem analüüsitud seirejaamast SJA1361000 (Mustajõgi: Mustajõe). Analüüsitulemustest (tabel 19) on näha, et kaadmiumi sisaldus ületas AA-EQS-i (0,25 µg/l) ühel korral, plii sisaldused aga (AA-EQS – 1,2 µg/l) koguni viiel korral. Nikli sisaldus ületas AA-EQS-i (4 µg/l) ühel korral. Vesikonnaspetsiifilistest saasteainetest ületas tsiingi sisaldus aasta keskmist keskkonna kvaliteedi piirväärtust (10,9 µg/l) kahel korral, vase puhul on aasta keskmise keskkonnakvaliteedi piirväärtuse (7,8 µg/l) ületamisi ette tulnud aga enamikel aastatel. Sulfaadi sisaldused (keskmiselt 333 mg/l) on iseloomulikud kaevandusest mõjutatud veekogule.

Lisaks, elavhõbeda sisaldused on ületanud MAC-EQS-i (0,07 µg/l) 2002. ja 2003.a. Maksimaalne sisaldus oli 08.05.2003.a. proovis, mil Hg sisaldus oli 1,73 µg/l. Samuti ületas plii sisaldus 08.05.2003.a. MAC-EQS-i (14 µg/l) ulatudes sel päeval 52,3 µg/l.

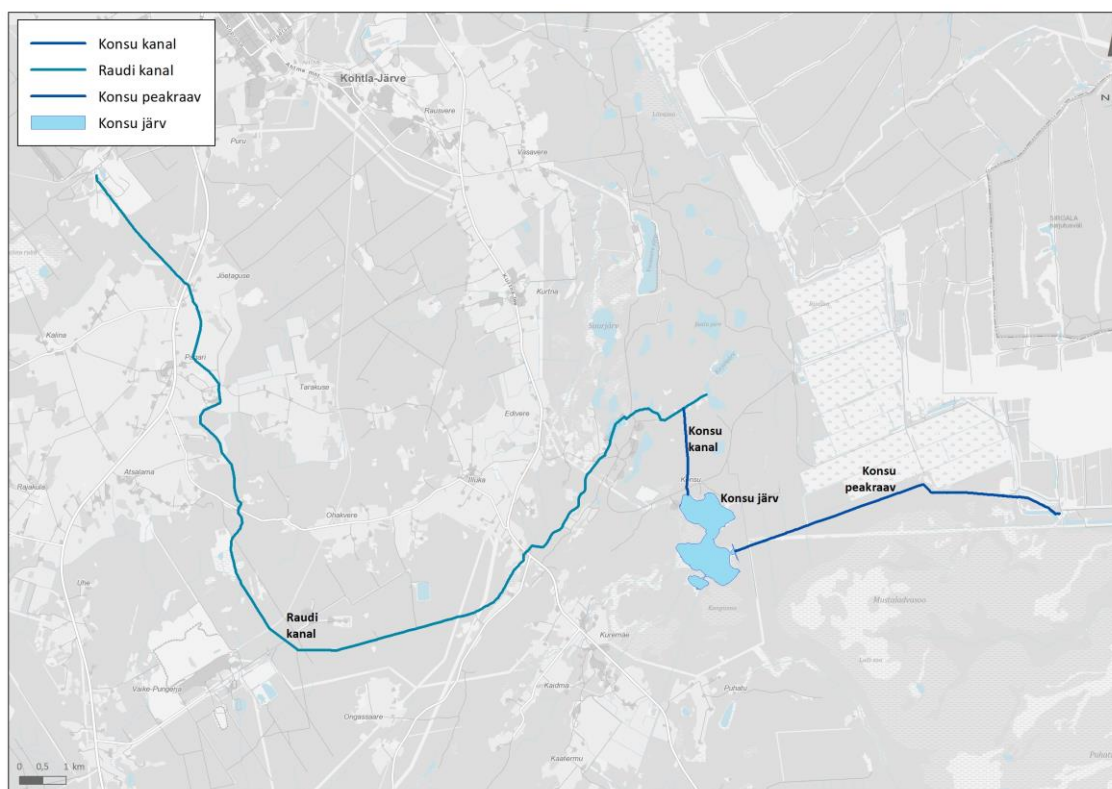
Tabel 19. Mustajõe (SJA1361000) raskemetallide ning sulfaadi aastakeskmised sisaldused

Aasta	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	SO ₄
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
2002			0.16		14	0.22		3.33	<10	245
2003			0.11		19	0.43		2.42	<10	301
2004			0.05		20	<0.05		0.50	<10	292
2005			0.78		45	<0.05		9.28	25.2	238
2006			0.10		14	0.03		2.68	9.2	334
2007			0.10		21	<0.05		2.00	15.0	386
2008			0.05		6	<0.05		2.20	<10	345
2010			0.04	<0.5	10	<0.05	1.3	0.23	3.8	379
2015			0.04	<0.5	<1	<0.05	3.05	<0.1	3.1	250

Aasta	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	SO ₄
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
2021	0.4	69.8	0.02		1		4.18	0.06	3.5	560

1.8.1 Konsu järv (kogum 2027900_1)

Konsu järv (VEE2027900) on Kurtna järvestiku suurim järv, asub Ida-Virumaal. Järve pindala on 1,36 km², suurim sügavus 10,2 m. Järv on kolmeosaline (Ees-, Kesk- ja Peenjärv), kaldajoon sopiline. Konsu järve juhitakse Raudi kanalist Konsu kanalit mööda Estonia kaevandusvett ja mitme teise Kurtna järve vett (joonis 13). Konsu järvest võtab OÜ VKG Energia jahutusvett (keskkonnaloa L.KKL.IV-204118 alusel on lubatud kuni 22 000 m³/d, 2023.a. aastaaruande kohaselt võeti 19 407 m³/d). Kuna järvest võetakse vett, on selle veetase reguleeritud paisülevooluga.



Joonis 13. Konsu järve juhitakse Raudi kanalist kaevandusvett.

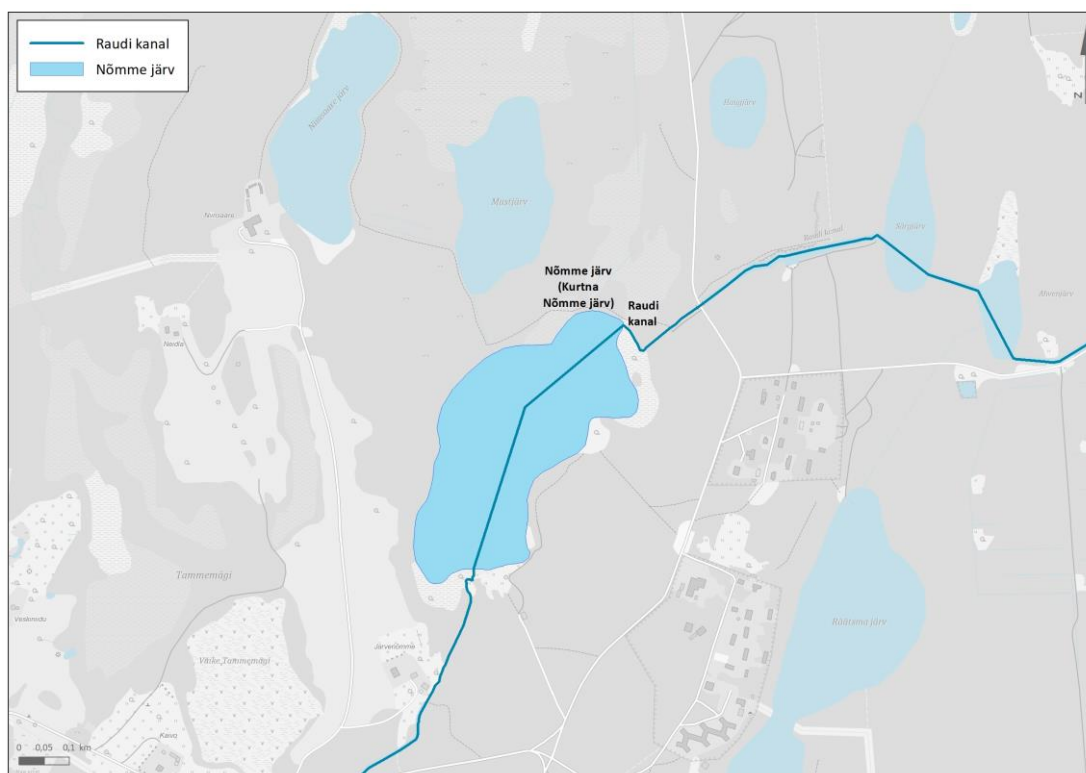
Konsu järvest on raskemetalle analüüsitud 2020.a. seirejaamast Konsu järve FYKE, FYPLA, ZOOPLA mõõtekoht (SJA1683004). Tabelist 20 on näha, et raskemetallide sisaldused järves ei ületa keskkonnakvaliteedi piirväärtusi, kuid sulfaadi sisaldus on iseloomulik kaevandusveele. Lisaks on sulfaadi sisaldusi pikema aja jooksul mõõdetud seirejaamast Konsu järv (koos Peenjärvega), kus keskmine sulfaadi sisaldus on mõõteperioodil olnud 167 mg/l.

Tabel 20. Konsu järve (SJA1683004) raskemetallide ja sulfaadi aastakeskmised sisaldused

Aasta	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	SO ₄
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
2020	0.3	107	<0.02	<0.5	<1	<0.015	0.7	0.08	0.5	105

1.8.2 Kurtna Nõmmejärv

Kurtna Nõmmejärv (VEE2027400, ka: Nõmmjärv, Nõmmejärv, Kurtna Nõmme järv) asub Ida-Virumaal Alutaguse vallas Konsu külas. Järv kuulub Kurtna järvestikku. Kurtna Nõmmejärve pindala on 12,9 ha, suurim sügavus 5,7 m. Kurtna Nõmmjärve läbib Raudi kanal (joonis 14), mille kaudu juhatakse Estonia kaevanduse vett Mustajõkke. Selle tulemusena on Kurtna Nõmmejärve sulfaadi aastakeskmiseks sisalduseks 2005.a. mõõdetud (seirejaamas SJA9056002) 343 mg/l (kaevandusest mõjutatud). Raskemetalle KESE andmetel seal analüüsitud ei ole.



Joonis 14. Raudi kanal läbib Nõmmjärve.

1.9 Alajõgi (kogumid 1061300_1 ja 1061300_2)

Alajõgi (VEE1061300) on avalikult kasutatav vooluveekogu Alutaguse vallas, mis saab alguse Pikkjärvest (Kõnnu Pikkjärvest) ja suubub Peipsi järve. Jõe kogupikkus on 28,8 km, sellest 13,51 km

ulatuses on arvel maaparandussüsteemina (Alajõgi ja Ongassaare1/PÜ-131 Pagari). Jõe valgala 151,1 km². Valgalasse jääb ka Estonia kaevandus, mille lähim punkt on jõest ca 4 km kaugusel.

Alajõest on raskemetalle ja sulfaate analüüsitud Griini seirejaamas (SJA8127000). Analüüsitulemustest (tabel 21) on näha, et kuigi elavhõbeda sisaldused jões on ületanud MAC-EQS-i (0,07 µg/l) neljal aastal ning vesikonnaspetsiifiliste saasteainete tsingi ja baariumi sisaldused on ületanud aasta keskmisi piirväärtusi, on sulfaadi sisaldused jões olnud keskmiselt 20 mg/l, mis on iseloomulik kaevandusest mõjutamata veekogudele. Kuigi Estonia kaevandus on jõele lähedal, juhitakse piirkonna kaevandusvesi kas Jõuga peakraavi mööda või otse Rannapungerja jõkke. Kaevanduste seost ja mõju Alajõeale ei olnud olemas olevate andmete põhjal võimalik kindlaks teha.

Tabel 21. Alajõe (SJA8127000) raskemetallide ja sulfaadi aastakeskmised sisaldused

Aasta	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sn	U	Zn	SO ₄
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
1992			0.62		4.1			0.6			4.9	42
1993			0.55		<40	0.105		3.5			29.5	33
1994			<0.2		<40	0.3675		4.8			25.3	20
1995			<0.1		<40	0.06		<1			<10	20
1996			<0.1		15.5	<0.05		<1			<10	25
1997			<0.1		4.5	0.12		7			<10	23
1998			<0.1		1.0	0.12		<1			<10	16
2020	0.7	173	<0.02	<0.5	<1	<0.015	0.7	0.2	<0.5		1.8	16
2023	0.6	125	0.01	0.3	1.3	<0.005	0.8	0.2	<0.5	0.3	2.3	21

1.10 Narva lähtest Narva veehoidlani (kogum 1062200_1)

Narva_1 kogumisse juhitakse Narva karjääri kaevandusvett (keskkonnakaitse luba nr KMIN-073) ning Mustajõe kaudu Estonia kaevanduse ning Narva karjääride kaevandusveed. Samuti jõuavad Peipsi järve kaudu sinna Rannapungerja jõkke juhitud kaevandusveed. Siiski – kaevandusvee osakaal Narva jõe vooluhulkade kontekstis on väga väike (ca 1%).

Narva_1 kogumis on analüüsitud raskemetalle ning sulfaate seirejaamas Narva veehoidla: seirepunkt 4 - Eesti SEJ jahutusvee suue (SJA5484000). Analüüsitulemuste (tabel 22) kohaselt ei ületa ühegi raskemetalli sisaldused keskkonnaministri 24.07.2019 määruses nr 28 toodud piirväärtusi. Sulfaadi sisaldus on iseloomulik pigem kaevanduse mõjudeta veekogule.

Tabel 22. Narva_1 kogumi (SJA5484000) raskemetallide ja sulfaadi aastakeskmised sisaldused

Aasta	As	Ba	Cd	Co	Cu	Hg	Ni	Pb	Sn	Zn	SO ₄
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
2001			<0.0001		0.001	<0.001		<0.001		7	20

Aasta	As	Ba	Cd	Co	Cu	Hg	Ni	Pb	Sn	Zn	SO₄
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
2003			<0.1		1.502	<0.001		<0.001		<0.02	47
2007			<0.0001		0.004	<0.001		<0.001		<0.02	13
2008			<0.0001		0.003	<0.001		<0.001		<0.02	18
2009											36
2010			<0.0001		0.002	<0.001		<0.001		<0.02	23
2018	0.61	72.25	<0.02		1.625		0.57	<0.001	<0.5	1.3	20
2020											34
2021				0.11							58

Toolse jõgi (VEE1074100) on avalikult kasutatav veekogu Lääne-Virumaal, mille lähe asub Sõmerust 2 km kirdes ja see suubub Kunda lahte. Jõe pikkus on 24 km ja valgala 90,4 km². Kuulub 8,6 km ulatuses

riigi poolt korrashoitavate ühiseesvoolude loetellu. Samuti kuulub Ubja–Kohala maantee sillast suubumiseni merre lõhe, jõeforelli, meriforelli ja harjuse kudemis- ja elupaikade nimistusse.

Toolse jõe vesikonnas paikneb Ubja põlevkivikaevanduse iseoolne väljavool (joonis 15). Ubja kaevandus (pindalaga ca 1 km²) töötas aastatel 1926–1959 [58]. Peale kaevanduse täitumist veega hakkas toimuma põhjavee iseoolne väljavool stollist [58]. Ubja kaevanduse iseoolse väljalaskme vesi on põhjavesi, vooluhulgad on 19–85 l/s, keskmiselt 61 l/s mis jõuab maaparandussüsteemi Kaevanduse 4 (1107410020040, rajati 1981) eesvooluks olevasse 0.8 km pikkusesse kraavi ja sealt edasi Toolse jõkke (VEE1074100, vooluveekogum Toolse 1074100_1, vooluveekogu tüüp 1B) [58]. Ubja kaevanduse iseoolse väljalaskme vesi (seirejaam SJB3506000) Toolse jõkke on suurekaredusega (10–11 mg-ekv/l), elektrijuhtivusega (987–1041 µS/cm) ja sulfaatide sisaldusega (200–240 mg/l) põhjavesi, mille pH on 7.1–7.3 [58].

Ubja põlevkivikarjääri töötamise ajal (karjäär ei tööta pidevalt, töötab kui on nõudlust põlevkivile) lisandub kaevandusvesi väljalasust HVL0593180 (2023 aastakeskmise 97 l/s). Toolse jõkke juhitakse ka Aru-Lõuna karjääri (lubjakivikarjäär) kaevandusvett väljalastust HVL0593120 (2023 aastakeskmise 283 l/s).

Toolse jõest on raskemetalle ja sulfaate analüüsitud Kaliküla seirejaamast (SJA6276000) 2015.a. jõgede ohtlike ainete seire raames. Analüüsitulemustest (tabel 23) on näha, et raskemetallide sisaldused ei ületa keskkonnaministri 24.07.2019 määruse nr 28 kvaliteedistandardeid, kuid sulfaadi sisaldus iseloomustab pigem kaevandusest mõjutatud veekogusid.

Tabel 23. Toolse jõe (SJA6276000) raskemetallide ja sulfaadi aastakeskmised sisaldused

Aasta	As	Ba	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	SO ₄
2015	0.48	92.75	<0.02	1	<0.05	3.5	<0.1	3.1	108

1.11 Kroodi oja (kogum 1089100_1)

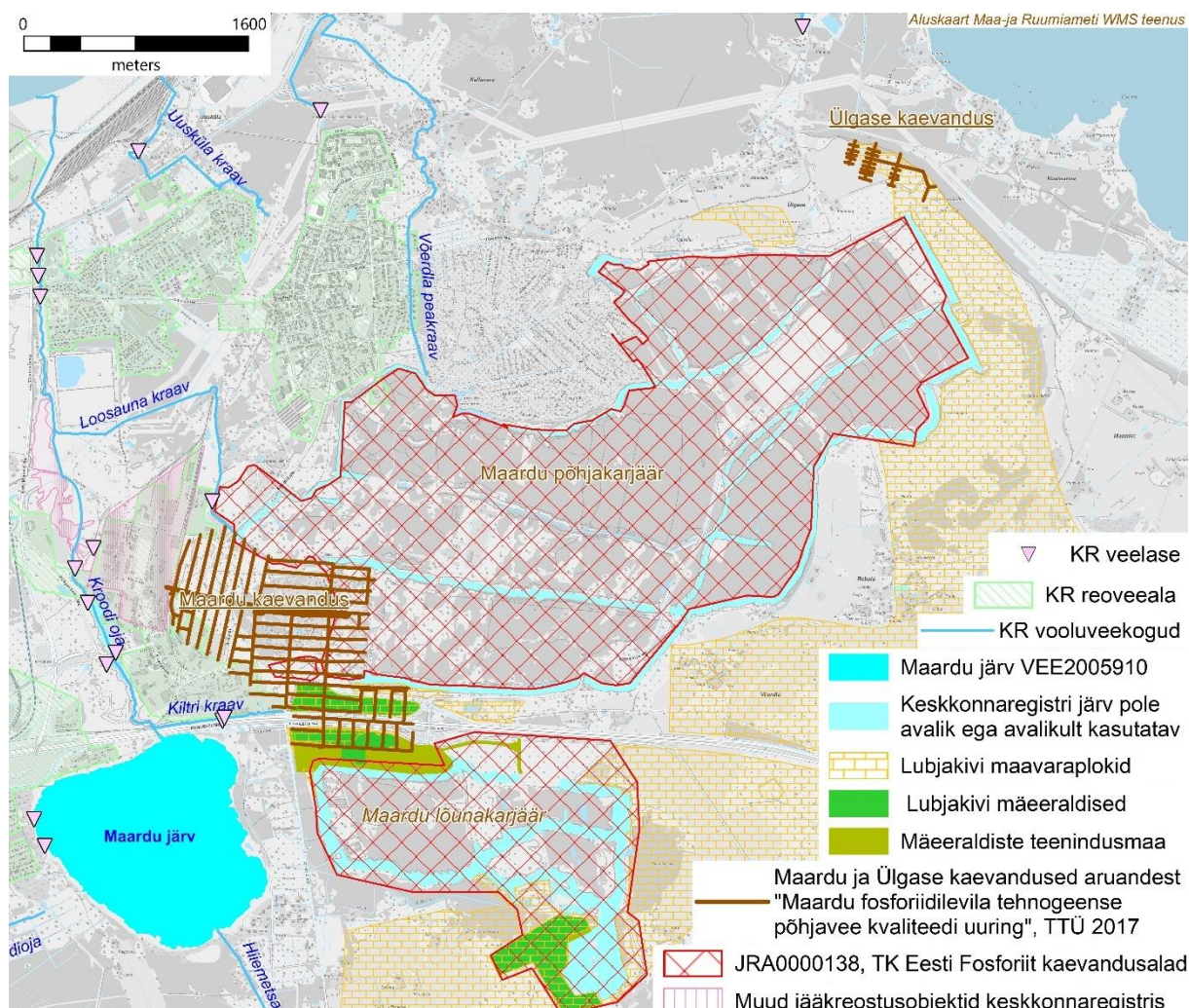
Kroodi oja (VEE1089100) on 5,2 km pikkune oja Jõelähtme vallas, mis saab algab Maardu järvest (või Kiltri kraavist, vt ka [60]) ja suubub merre. Oja valgala on 42,2 km². Kroodi oja ei ole avalikult kasutatav veekogu ning ei kuulu keskkonnaministri 15.06.2004 määruses nr 73 “Lõhe, jõeforelli, meriforelli ja harjuse kudemis- ja elupaikade nimistu” toodud nimekirja (RTL 2004, 87, 1362; RT I 09.07.2016 1).

Kroodi praegune voolusäng kaevati Maardu järve ja Muuga lahe vahele 1893. aastal ning tema kaldaid on pikaajaliselt asustanud suured tööstusalad – vasakkaldal asub Maardu tööstusrajoon ning paremal

endise AS Eesti Fosforiit territoorium [61]. Kroodi oja vee kvaliteedi ja kvantiteedi kujundamisel on suurim tähtsus olnud AS Eesti Fosforiit väljalaskudel. Kaheksakümnendatel aastatel pärines selle kanalisatsioonist kuni 68% ojas voolanud veest, üheksakümnendate aastate alguses 60% ja kümnendi keskel ca 1/3. AS Eesti Fosforiit heit-, sademe- ja kaevandusvee väljalaskude arv ja asukoht on aastate jooksul muutunud [61]. Kroodi oja vee kvaliteet oli halvim 1960. ja 1970. aastatel, mil Maardu keemiakombinaadis toodeti väävelhapet ja superfosfaati [62]. Sellal ei rakendatud vee kaitseks vajalikke meetmeid ja reostus jõudis ojja, sealt edasi Muuga lahte. Oja kallastel asuvad tööstused suunasid oma heitveed ojja ning selle tulemusena reostusid oja põhjasetted. Veekvaliteet hakkas paranema möödunud sajandi lõpus, kui fosforiiditootmine Maardus lõppes ning ettevõtted hakkasid pöörama tähelepanu ka keskkonnale [62]. Reostunud põhjasetted eemaldati 2021.aastal kuieemaldati 51 700 m³ muda [62]. Lisaks pinnase puhastamisele rajati oja keskjooksule uus säng tootmisjäätmete ladestusalast mööda. Kroodi oja alamjooks puhastati 1,4 km ulatuses saastunud pinnase väljakaevamise teel [62].

Kroodi oja valgatal asuvad endise TK Eesti Fosforiit kaevandusalad (joonis 16) on arvel jääkreostusobjektina. Kuna graptoliitagriliit lasub fosforiidi peal, avati kaevandamise ajal ka see kivimikiht. Graptoliitargilliidi püriidi sisaldus on väga varieeruv – valdavalt 2,4–6%, kohati isegi 8-9% [13]. Fosforiidis jääb püriidi sisaldus 0,2 ja 1,3% vahele, kohati tõustes 2%-ni [7], [14]. Fosforiidikaevandamise aladel jätkub püriidi oksüdeerimine veel pikka aega (hinnanguliselt mitusada aastat) ning selle tulemusena vabanevad raskemetallid ja tekib sulfaat [63], [64]. Maardu lõunakarjääri mõju Maardu järvele on hinnatud väikeseks, sest väga lauge loodusliku hüdraulilise gradiendi tingimustes on lõunakarjääri ja järve vahel liikuva vee vooluhulgad väga väikesed [65]. Maardu järve veetase on keskmiselt 0,36 m madalam kui lõunakarjääris [65]. Kuna pole märgata vee liikumist karjääri ja järve ühendavas kraavis, tuleb eeldada, et suur osa lõunakarjääri veest liigub kaevandusse ja sealt Kroodi ojja [65].

Puura jt [63] on järeldanud, et kõige mustema stsenaariumi järgi võib Maardu karjääride aherainemägede nõrgvesi muutuda 100–200 aasta pärast happeliseks, mis omakorda toob kaasa suuri keskkonnaprobleeme.



Joonis 16. Kroodi oja valgatal asuvad endised fosforiidikarjäärid ja -kaevandus ja väiksemad töötavad lubjakivikarjäärid.

Kroodi ojust on raskemetalle ja sulfaati analüüsitud eri piirkondadest, kuid tabelis 24 on välja toodud oja alamjooksu kahe lähestikku asuva seirejaama (SJA4466000 Kroodi oja allpool reostusallikaid ja SJA5567000 Kroodi oja: alamjooks Maardus vahekaugus on 300 m) andmed. Tulemustest on näha, et kaadmiumi sisaldused ületasid AA-EQS-i (0,25 µg/l) ühel korral, plii sisaldused aga kahel korral (AA-EQS – 1,2 µg/l). Kõik nikli sisaldused on ületanud AA-EQS-i (4 µg/l), kusjuures 2003.a. mõlemad proovid ning 06.09.2010.a. proovid ületasid ka MAC-EQS-i (34 µg/l). Vesikonnaspetsiifiliste saasteainete arseeni aastakeskmist piirväärtust (10 µg/l) ületati kolmel korral, krooni aastakeskmist piirväärtust (4,7 µg/l) ületati ühel, tsingi puhul (piirväärtus – 10,9 µg/l) neljal ning vase puhul (piirväärtus – 7,8 µg/l) kolmel korral.

Tabel 24. Kroodi oja alamjooksu seirejaamade SJA4466000 ja SJA5567000 raskemetallide ja sulfaadi aastakeskmised sisaldused

Aasta	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Zn	SO ₄
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
2003	28	46.5	8	8.5	6.5	13	<0.05	20.5	101	5.0	195	1275
2010			<0.1				<0.1		33	1.8		

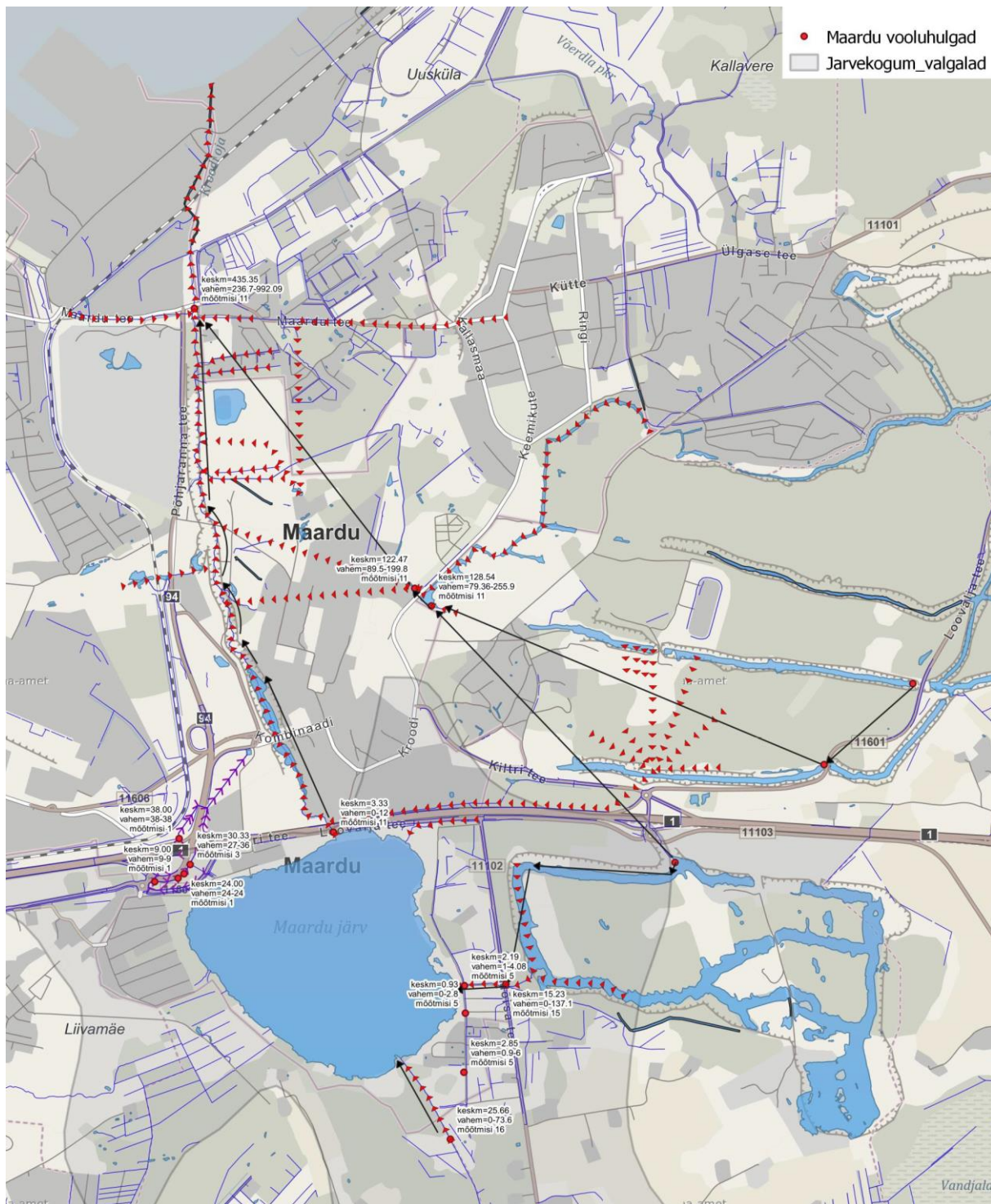
Aasta	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Zn	SO ₄
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
2012	11	24	0.04		0.65	29	<0.015		23	0.5	41	627
2013	20	22	0.04		2.63	2.5	<0.015		28	0.2	93	1057
2021	4.4		0.02			7.9			7.6	<0.1	20	
2023	3.8		<0.01			2.1			8.5	<0.05	7	

1.11.1 Maardu järv (kogum 2005910_1)

Maardu järv (VEE2005910) asub Maardu linna lõunaosas. Järv paikneb 15 – 20 m sügavuselt aluspõhja kivimitesse lõikunud ja osaliselt pinnakatte setetega täitunud orus, tema veepeegli pindala on 160 ha ning valgala pindala on 13,4 km² [65]. Suurim sügavus on 3,7 m, keskmine sügavus 1,5 m. Maardu järv kuulub Lääne-Eesti vesikonda ja Harju alamvesikonda ning tegemist on avalikult kasutatava veekoguga. Järve väljavool on ette nähtud toimuma läbi Tallinn – Narva maantee all oleva truubi [65]. Truubi suudme juures asub ka paisjärve vana regulaator [65]. Järv suubub Kroodi oja, mis omakorda suubub Muuga lahte.

Järve veetaseme reguleerimiseks ehitati 1893. aastal pais, kuid 1894. aastal see purunes ning järv voolas tühjaks [65]. Järv taastati 1939. aastal, misjärel kasutati seda AS Eesti Fosforiit rikastusvabriku veereservuaarina. Peterburi maantee rekonstrueerimise käigus ehitati Maardu järvele uus liigveelask,. Järve sissevool toimub Hiimetsa kraavist (VEE1089101) ja mitmest väikesest kraavist ning väljavool Kroodi oja kaudu, vesi vahetub korra aasta jooksul [65].

Maardu järv oli pikka aega tööstuse tugeva surve all, mille pidevad ümberkorraldused peegeldusid järve veetasemes ja veekvaliteedis [65]. Inimtegevus hakkas Maardu järve mõjutama viiekümnnendatel aastatel, mil TK Eesti Fosforiidis hakati maagi rikastamisel senise kuivkäitluse asemel kasutama flotatsiooni [65]. Seetõttu suurenes ettevõtte veevajadus ja tehnoloogilistel eesmärkidel hakati kasutama Maardu järve vett [65]. Veevarude suurendamiseks juhiti alates 1964. aastast järve Jõelähtme jõe vett [65]. 1972. aastast lisandus osaliselt ja alates 1984. aastast kogu Maardu lõunakarjäärast väljapumbatud vesi [65]. [65]2019.a. uuringust [65] tuli välja, et kaevandusveed jõuavad nii Kroodi oja kui ka Maardu järve (joonis 17).



Joonis 17. Järve varasem hüdroloogiline režiim ning teadaolevad vooluhulgad l/s (punaste nooltega vee liikumissuunad) [65].

Maardu järvest on raskemetalle ja sulfaati analüüsitud eri piirkondadest, kuid tabelis 25 on välja toodud seirejaama SJA7954000 Maardu järv andmed. Kuigi raskemetallide sisaldused aastal 2021 ei ületanud keskkonnaministri 24.07.2019 määruses nr 28 toodud piirnorme ka teistes uuringupunktides [65], on sulfaadi sisaldused võrreldes kaevandamisest mõjutamata pinnaveekogudega siin suuremad.

Tabel 25. Maardu järve (SJA7954000) raskemetallide ja sulfaadi aastakeskmised sisaldused.

Aasta	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sn	Zn	SO ₄
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
2021	0.5	22.3	<0.02	<0.5	0.6	<0.015	3.6	0.15	<0.5	0.95	70

1.12 Meriküla oja (kogum 1071600_1)

Meriküla oja (VEE1071600) on avalikult kasutatav veekogu, mis asub Lääne-Virumaal. Oja pikkus on 6,9 km ja valgala 26,5 km². Oja saab alguse Kestla küla lähedal ja suubub Aseris Soome lahte. Meriküla oja ei kuulu keskkonnaministri 15.06.2004 määruses nr 73 “Lõhe, jõeforelli, meriforelli ja harjuse kudemis- ja elupaikade nimistu” toodud nimekirja (RTL 2004, 87, 1362; RT I 09.07.2016 1).

Meriküla ojja suubub Aseri I savikarjääri väljalase IV093 (loa nr L.VV/324594). Aastaruannete kohaselt juhitakse väljalasu kaudu Meriküla ojja aastas keskmiselt 0,6 l/s kaevandusvett, mille sulfaadi sisaldus on vahemikus 205-450 mg/l. EstModeli hinnangul on Meriküla oja keskmine vooluhulk vahemikus 218-238 l/s, seega karjääri väljalask moodustab ca 0,2% kogumi veehulgast.

Meriküla ojust ei ole KESE andmetel raskemetalle ega sulfaate analüüsitud.

1.13 Sõreda oja (kogum 1071500_1)

Sõreda oja (VEE1071500) on veekogu Ida-Virumaal, mille lähe asub Kestla küla ligidal ning suubub Soome lahte Liimla külas. Sõreda oja ei ole avalikult kasutatav veekogu ega kuulu keskkonnaministri 15.06.2004 määruses nr 73 “Lõhe, jõeforelli, meriforelli ja harjuse kudemis- ja elupaikade nimistu” toodud nimekirja (RTL 2004, 87, 1362; RT I 09.07.2016 1). Sõreda oja pikkuseks on 8,5 km ning valgala 9,7 km². Sõreda oja on ligi 1,7 km ulatuses maaparandussüsteemi eesvooluks (Purtse-Kestla).

Sõreda ojja juhitakse Suurkõrtsi paekivikarjääri kaevandusvett 1,3–1,7 l/s. Keskkonnaloa KL-508031 kohaselt ei ole sulfaatide ega raskemetallide seire loa valdajale kohustuslik. EstModeli hinnangul on Sõreda oja keskmine vooluhulk vahemikus 80-87 l/s, seega karjääri väljalask moodustab ca 2% kogumi veehulgast.

Sõreda ojust ei ole KESE andmetel raskemetalle analüüsitud, kuid LIFE IP CleanESTi raames on sealt võetud üks proov (15.07.2020.a.) sulfaadi sisalduse määramiseks, mille väärtuseks oli 19 mg/l.

Soovitused ja tähelepanekud

- **Sulfaadid ning sulfiidid tuleb lisada vesikonnaspetsiifiliste saasteainete nimekirja ning nende sisaldusi seirata kaevandustest mõjutatud veekogudes.**

Kaevandusveele on iseloomulik suurem sulfaadi sisaldus. Sulfaat on samasugune saasteaine nagu nt BHT, KHT või hõljuvaine ning selle suur sisaldus võib avaldada negatiivset mõju vee-elustikule. Käesoleval ajal maksavad kaevandajad küll saastetasu sulfaadi keskkonda juhtimise eest, kuid puuduvad keskkonna kvaliteedi standardid pinnavee jaoks, mille kaudu oleks võimalik hinnata võimalikku negatiivset mõju vee-elustikule. Sulfaadi ohtlikkus sõltub vee omadustest (nt karedus) ning mõjutab vee-elustikku eelkõige osmoregulatsiooni kaudu või põhjustades vee-elustiku stressi ning suremust. Toksiline toime sõltub suuresti ka vee pH-st, voolutingimustest, orgaanilise aine sisaldusest jne. Oluline on märkida, et sulfaadi anaeroobsel redutseerimisel tekkiv sulfiid on mürgine juba väikestes kogustes (US EPA soovitatav EQS on 2 µg/l [66]). Samuti tekib sulfaadi redutseerimisel metüüelavhõbe, mis on elavhõbeda kõige mürgisem bioakumuleeruv vorm. Piirväärtuse sätestamine tuleb teha tuginedes kaevandusvee eesvooluks olevate jõgede vee-elustiku detailsele hinnangule.

- **Kaevanduste keskkonnalubadesse tuleb lisada kaevandusvee raskemetallide seirenõuded**

Kuigi sulfaadi seirenõue on juba praegusel ajal kaevanduste keskkonnalubades, ei ole seal nõudeid raskemetallide (As, Ba, Ni, Cu, Cr, Cd, Pb, Hg, ja Zn) sisalduse seiramiseks. Seirenõude lisamine aitab riigil saada ülevaadet kaevandusveest keskkonda juhivate raskemetallide sisaldustest ning nende mõjust.

- **Kaevandamisest mõjutatud veega pinnaveekogudes tuleb raskemetalle, pH-d ja sulfaate seirata ka peale kaevanduste sulgemist**

Tänu paekivis leiduvatele karbonaatsetele ühenditele ei ole Eestis siiani tekkinud veel suuri probleeme seoses happevee ja raskemetallide sisaldustega vees. Samas võib teatud tingimustel endistes fosforiidikarjäärides tekkida olukord, kus kivimites olevad karbonaadid ei ole enam võimelised sulfaatsete mineraalide oksüdeerimisel tekkivat hapet neutraliseerima ning kaevandusveed võivad happeliseks muutuda [64]. Kuna kaevandustest mõjutatud piirkondades jätkub sulfiidsete mineraalide oksüdeerimine ja mõningate raskemetallide lisandumine vette veel pikka aega, tuleb neil mõjudel järjepidevalt silma peal hoida.

Raskemetallide ohtlikkus sõltub enamasti nende biosaadavusest, mida mõjutavad näiteks vee karedus ja orgaanilise aine sisaldus. Ka keskkonnaministri 24.07.2019 määruses nr 28 lubab seisundi hindamisel

aluseks võtta metallide biosaadavust. Paraku vajavad eri mudelid sageli sisenditena näitajaid, mida tavapäraselt pinnaveest seirete käigus ei ole samaaegselt analüüsitud (nt, Bio-Met v5.1 abil saab hinnata Cu, Ni, Pb ja Co biosaadavust, kuid need arvutatakse pH, DOC ja Ca sisalduste abil).

- [1] KAUR, "Veekasutuse aastaaruanne 2023," 2024. Accessed: Feb. 27, 2025. [Online]. Available: https://keskkonnaportaal.ee/sites/default/files/Teemad/VESI/Veekasutuse_aasta_aruanne_2023_upload.xlsx
- [2] EKUK OÜ, "Põlevkivi kaevandatud ala iseveolsete väljalaskmete vee- keemia ja veekoguste uuring ning mõju hinnang pinnaveekogumitele," 2021. Accessed: Nov. 22, 2023. [Online]. Available: <https://lifecleanest.ee/sites/cleanest/files/2022-03/Põlevkivi%20kaevandatud%20ala%20iseveolsete%20väljalaskmete%20veekeemia%20ja%20veekoguste%20uuring%20ning%20mõju%20hinnang%20pinnaveekogumitele%20%28C.8%29.pdf>
- [3] Keskkonnaministeerium, "Ida-Eesti vesikonna veemajanduskava 2022-2027," 2022, Accessed: May 22, 2023. [Online]. Available: <https://envir.ee/media/7658/download>
- [4] V. Kõrgmaa *et al.*, "Hajaasustuspriirkondade joogivee kvaliteedi ja -süsteemide uuring," 2020.
- [5] Kliimaministeerium, "Maavarad." Accessed: Feb. 11, 2025. [Online]. Available: <https://kliimaministeerium.ee/maavarad>
- [6] C. Wolkersdorfer and E. Mugova, "Effects of Mining on Surface Water," in *Encyclopedia of Inland Waters*, Second., vol. 4, T. Mehner and K. Tockner, Eds., Elsevier Inc., 2022.
- [7] A. Raukas and A. Teedumäe, Eds., *Geology and Mineral Resources of Estonia*. Tallinn: Estonian Academy Publishers, 1997.
- [8] A. Marandi, E. Puura, and E. Karro, "Virumaa maavarade võimaliku kaevandamise keskkõnnamõjud põhja ja pinnaveele ning maastikule keskkonnageoloogiliste mudelitega analüüsituna koos alternatiivsete leevendusmeetmetega. Kõide 6. Geokeemilised tingimused." Accessed: Oct. 14, 2024. [Online]. Available: https://virumudel.ut.ee/wp-content/uploads/sites/179/k6_geokeemia.pdf
- [9] E. Täär, "Püriidi mineralisatsioon Otisaare (Kalana) karjääri karbonaatide lõhesüsteemides ja karstikoobastes: iseloom, koostis ja genees," Tartu Ülikool, Tartu, 2024.
- [10] A. Kappler, C. Bryce, M. Mansor, U. Lueder, J. M. Byrne, and E. D. Swanner, "An evolving view on biogeochemical cycling of iron," *Nat Rev Microbiol*, vol. 19, no. 6, pp. 360–374, Jun. 2021, doi: 10.1038/s41579-020-00502-7.
- [11] B. B. Jørgensen, A. J. Findlay, and A. Pellerin, "The Biogeochemical Sulfur Cycle of Marine Sediments," *Front Microbiol*, vol. 10, Apr. 2019, doi: 10.3389/fmicb.2019.00849.
- [12] Tallinna Tehnikaülikool and Tartu Ülikool, "Innovaatiliste ja keskkonnasõbralike põlevkivi või selle saaduste töötlemise tehnoloogiate arendamine," 2021. Accessed: Nov. 08, 2024. [Online]. Available: https://www.etag.ee/wp-content/uploads/2021/10/RITA1_01_6-lõpparuanne_30_09_21.pdf
- [13] S. Sipp Kulli, A. Menert, I. Kameneva, E. Reinsalu, T. Maidre, and BiotaP OÜ, "Eesti agrilliidist metaangaasi eraldamise majanduslike mõjude eelhindamine," 2016. Accessed: Nov. 08, 2024. [Online]. Available: <https://kliimaministeerium.ee/sites/default/files/documents/2021-10/Aruanne.pdf>
- [14] L.-M. Nurk, "Ordoviitsium-Kambriumi põhjaveekihi kontseptuaalsed mudelid fosforiidi kaevandamise tingimustes," 2019. Accessed: Nov. 08, 2024. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/210512668.pdf>
- [15] OÜ Eesti Geoloogiakeskus, TTÜ Geoloogia Instituut, Norra Geoloogiateenistus, TLÜ Ökoloogia Keskus, and TTÜ Meresüsteemide Instituut, "Hinnangu andmine merekeskkonna ökosüsteemipõhiseks korraldamiseks Soome lahe merepõhja setete näitel (SedGoF)," 2016. Accessed: Nov. 08, 2024. [Online]. Available: https://geoportaal.maaamet.ee/docs/geoloogia/andmed/Aruanne_SedGof_2016.pdf
- [16] V. P. (Bill) Evangelou and Y. L. Zhang, "A review: Pyrite oxidation mechanisms and acid mine drainage prevention," *Crit Rev Environ Sci Technol*, vol. 25, no. 2, pp. 141–199, May 1995, doi: 10.1080/10643389509388477.

- [17] J. K. Jerz and J. D. Rimstidt, "Pyrite oxidation in moist air," *Geochim Cosmochim Acta*, vol. 68, no. 4, pp. 701–714, Feb. 2004, doi: 10.1016/S0016-7037(03)00499-X.
- [18] V. P. (Bill) Evangelou and Y. L. Zhang, "A review: Pyrite oxidation mechanisms and acid mine drainage prevention," *Crit Rev Environ Sci Technol*, vol. 25, no. 2, pp. 141–199, May 1995, doi: 10.1080/10643389509388477.
- [19] V. Raidla and M. Truu, "Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumi hüdrogeoloogilised uuringud (I etapp) ," Rakvere, 2021. Accessed: Nov. 14, 2024. [Online]. Available: <https://lifecleanest.ee/sites/cleanest/files/2022-05/Ordoviitsiumi%20Ida-Viru%20põlevkivibasseini%20põhjaveekogumi%20hüdrogeoloogilised%20uuringud%20%28I%20etapp%29%20%28C.9%20vahearuanne%29.pdf>
- [20] O. Karikari-Yeboah, W. Skinner, and J. Addai-Mensah, "Anaerobic pyrite oxidation in a naturally occurring pyrite-rich sediment under preload surcharge," *Environ Monit Assess*, vol. 191, no. 4, p. 216, Apr. 2019, doi: 10.1007/s10661-019-7289-3.
- [21] C. O. Moses and J. S. Herman, "Pyrite oxidation at circumneutral pH," *Geochim Cosmochim Acta*, vol. 55, no. 2, pp. 471–482, Feb. 1991, doi: 10.1016/0016-7037(91)90005-P.
- [22] E. Percak-Dennett *et al.*, "Microbial acceleration of aerobic pyrite oxidation at circumneutral pH," *Geobiology*, vol. 15, no. 5, pp. 690–703, Sep. 2017, doi: 10.1111/gbi.12241.
- [23] H. Wang, P. A. Dowd, and C. Xu, "A reaction rate model for pyrite oxidation considering the influence of water content and temperature," *Miner Eng*, vol. 134, pp. 345–355, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.mineng.2019.02.002.
- [24] J. Poot *et al.*, "Experimental timing of pyrite oxidation under various leaching conditions: consequences for rates of weathering in geological profiles," *Environ Earth Sci*, vol. 83, no. 1, p. 9, Jan. 2024, doi: 10.1007/s12665-023-11325-z.
- [25] P. R. Holmes and F. K. Crundwell, "The kinetics of the oxidation of pyrite by ferric ions and dissolved oxygen: an electrochemical study," *Geochim Cosmochim Acta*, vol. 64, no. 2, pp. 263–274, Jan. 2000, doi: 10.1016/S0016-7037(99)00296-3.
- [26] Q. Li, B. Zhu, and J. Li, "A comparative study on the micro-surface characteristics at black shale initial oxidation stage," *Sci Rep*, vol. 10, no. 1, p. 10406, Jun. 2020, doi: 10.1038/s41598-020-67268-z.
- [27] S. Wang *et al.*, "Effect of natural pyrite oxidation on the U(VI) adsorption under the acidic and neutral conditions," *J Radioanal Nucl Chem*, vol. 329, no. 2, pp. 839–848, Aug. 2021, doi: 10.1007/s10967-021-07857-y.
- [28] Roger H. Mitchell, "A semiquantitative study of trace elements in pyrite by spark source mass spectrography," *Norwegian Journal of Geology*, vol. 48, no. 1,2, pp. 65–80, 1968.
- [29] S. Ma, M. Shi, C. Zhang, and Q. Cao, "Mineralogical Characteristics and Genetic Types of Pyrite with Different Occurrence: Constraints from Spectroscopy, Geochemistry and $\delta^{34}\text{S}$ Stable Isotopes," *Minerals*, vol. 14, no. 1, p. 52, Dec. 2023, doi: 10.3390/min14010052.
- [30] G. Morin *et al.*, "Nickel accelerates pyrite nucleation at ambient temperature," *Geochem Perspect Lett*, pp. 6–11, Oct. 2017, doi: 10.7185/geochemlet.1738.
- [31] C. Baya *et al.*, "A methodological framework to study the behavior and kinetic influence of V, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se and Mo during pyrite formation via the polysulfide pathway at ambient temperature," *Chem Geol*, vol. 613, p. 121139, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.chemgeo.2022.121139.
- [32] T. P. Vorlicek, M. D. Kahn, Y. Kasuya, and G. R. Helz, "Capture of molybdenum in pyrite-forming sediments: role of ligand-induced reduction by polysulfides," *Geochim Cosmochim Acta*, vol. 68, no. 3, pp. 547–556, Feb. 2004, doi: 10.1016/S0016-7037(03)00444-7.
- [33] "eMaapõu." Accessed: Nov. 15, 2024. [Online]. Available: <https://geoloogia.info/>
- [34] EGT, "Ordoviitsiumi Ida-Viru põhjavee- kogumi hüdrogeoloogilised uuringud," 2023. Accessed: Mar. 08, 2024. [Online]. Available: <https://lifecleanest.ee/sites/cleanest/files/2023-11/Ordoviitsiumi%20Ida-Viru%20p%C3%B5hjaveekogumi%20h%C3%BCdrogeoloogilised%20uuringud%2031.05.2023%20aruanne%20%28C.9%29.pdf>

- [35] D. A. Wright, "Trace metal and major ion interactions in aquatic animals," *Mar Pollut Bull*, vol. 31, no. 1–3, pp. 8–18, Jan. 1995, doi: 10.1016/0025-326X(95)00036-M.
- [36] P. R. Paquin *et al.*, "The biotic ligand model: a historical overview," *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, vol. 133, no. 1–2, pp. 3–35, Sep. 2002, doi: 10.1016/S1532-0456(02)00112-6.
- [37] D. M. Di Toro, H. E. Allen, H. L. Bergman, J. S. Meyer, P. R. Paquin, and R. C. Santore, "Biotic ligand model of the acute toxicity of metals. 1. Technical Basis," *Environ Toxicol Chem*, vol. 20, no. 10, pp. 2383–2396, Oct. 2001, doi: 10.1002/etc.5620201034.
- [38] EKUK OÜ, "Nikli uuring pinnavees Ida-Virumaal Purtse valgalas 2021," 2022. Accessed: Mar. 08, 2024. [Online]. Available: <https://lifecleanest.ee/sites/cleanest/files/2022-10/Nikli%20uuring%20pinnavees%20Ida-Virumaal%20Purtse%20valgalas%202021%20%28C.8%29.pdf>
- [39] J. R. Elphick, M. Davies, G. Gilron, E. C. Canaria, B. Lo, and H. C. Bailey, "An aquatic toxicological evaluation of sulfate: The case for considering hardness as a modifying factor in setting water quality guidelines," *Environ Toxicol Chem*, vol. 30, no. 1, pp. 247–253, Jan. 2011, doi: 10.1002/etc.363.
- [40] A. Steinmetz, "Translation and Guidance on Application of the Montana Narrative Water Quality Criterion for Sulfate," 2014.
- [41] J. K. King, J. E. Kostka, M. E. Frischer, and F. M. Saunders, "Sulfate-Reducing Bacteria Methylate Mercury at Variable Rates in Pure Culture and in Marine Sediments," *Appl Environ Microbiol*, vol. 66, no. 6, pp. 2430–2437, Jun. 2000, doi: 10.1128/AEM.66.6.2430-2437.2000.
- [42] D. Shao, Y. Kang, S. Wu, and M. H. Wong, "Effects of sulfate reducing bacteria and sulfate concentrations on mercury methylation in freshwater sediments," *Science of The Total Environment*, vol. 424, pp. 331–336, May 2012, doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.09.042.
- [43] T. Bagarinao, "Sulfide as an environmental factor and toxicant: tolerance and adaptations in aquatic organisms," *Aquatic Toxicology*, vol. 24, no. 1–2, pp. 21–62, Nov. 1992, doi: 10.1016/0166-445X(92)90015-F.
- [44] J. Karjalainen *et al.*, "Sulfate sensitivity of aquatic organism in soft freshwaters explored by toxicity tests and species sensitivity distribution," *Ecotoxicol Environ Saf*, vol. 258, p. 114984, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.ecoenv.2023.114984.
- [45] EKUK OÜ, "Põlevkivitööstusest tulevate veekeskkonnale ohtlike ainete mõju uuring," Tallinn, 2017. Accessed: Feb. 14, 2024. [Online]. Available: <https://kliimaministeerium.ee/media/1723/download>
- [46] EKUK OÜ and Eesti Loodushoiu Keskus, "Kaevandatud aladel tekkinud tehisveekogude inventuuri aruanne," 2021. Accessed: Oct. 15, 2024. [Online]. Available: <https://lifecleanest.ee/sites/cleanest/files/2022-03/Kaevandatud%20aladel%20tekkinud%20tehisveekogude%20inventuuri%20aruanne%20%28C.8%29.pdf>
- [47] EGT, "Lüganuse valda planeeritava biotoodete tehase tootmisvee allikate alternatiivid," 2024. Accessed: Oct. 15, 2024. [Online]. Available: https://www.lyganuse.ee/documents/18275789/39345028/BTT_tootmisvee+alternatiivid_EGT_hydrogeoloogia+lopparuanne_2023-24.pdf/d1a9fe73-3807-47fe-b70c-b1363f080544
- [48] V. Kõrgmaa, Ü. Leisk, and S. Ruberg, "Tugevasti muudetud veekogumite määramine Lisa 2 Ida-Eesti vesikond (C.1)," 2022. Accessed: Jan. 06, 2023. [Online]. Available: <https://envir.ee/media/7677/download>
- [49] "Maardu fosforiidileiukoht." Accessed: Nov. 27, 2024. [Online]. Available: <http://www.ene.ttu.ee/Maeinstituut/labor/teaduskubi/maardu/MAARDUFOSFORIIDILEIUKOHT.pdf>
- [50] J. Pärn, J. Ivask, H. Tõnisson, E. Kaup, K. Urtson, and A. Heinsalu, "Maardu fosforiidileviala tehnogeense põhjavee kvaliteedi uuring," Tallinn, 2017.

- [51] Kliimaministeerium, "Eesti kõige saastatum veekogu Kroodi oja sai puhtaks." Accessed: Nov. 27, 2024. [Online]. Available: <https://kliimaministeerium.ee/uudised/video-eesti-koige-saastatum-veekogu-kroodi-oja-sai-puhtaks>
- [52] F. S. Al-Kaabi, R. A. Hussein, and M. A. Abdulkareem, "Dissolution of barite using coordination chemistry: Optimization and characterization," *Results Chem*, vol. 5, p. 100791, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.rechem.2023.100791.
- [53] EGT, "Lüganuse valda planeeritava biotoodete tehase tootmisvee allikate alternatiivid," 2024.
- [54] Maves AS, "Eksperthinnang Hirmuse ja Pirita_1 pinnaveekogumite hüdro-morfoloogiliste tingimuste parandamise lahenduste leidmiseks ja elupaikade taastamiseks," 2017. Accessed: Jan. 21, 2025. [Online]. Available: https://keskkonnaamet.ee/sites/default/files/documents/2021-08/Eksperthinnang%20Hirmuse%20ja%20Pirita_1%20pinnaveekogumite%20hüdro-morfoloogi-liste%20tingimuste%20parandamise%20lahenduste%20leidmiseks%20ja%20elupaikade%20taastamiseks.pdf
- [55] M. Sepp, "Ida-Virumaa kaevandusala tehisallikad," *Eesti Loodus*, pp. 18–23, 2017, Accessed: Jun. 30, 2025. [Online]. Available: <https://dea.digar.ee/article/AKeestiloodus/2017/01/0/11.1>
- [56] "Keskkonnaseire infosüsteem." Accessed: Jan. 21, 2025. [Online]. Available: <https://kese.envir.ee/kese/welcome>
- [57] EKUK OÜ, "Kiviõli kaevanduse kraavi ning Kose jõe koormuste uuring," 2021. Accessed: Nov. 15, 2023. [Online]. Available: <https://lifecleanest.ee/sites/cleanest/files/2022-03/Kiviõli%20kaevanduse%20kraavi%20ning%20Kose%20jõe%20koormuste%20uuring%20%28C.7.2%29.pdf>
- [58] EKUK OÜ, "Põlevkivi kaevandatud ala isevoolsete väljalaskmete veekeemia ja veekoguste uuring ning mõju hinnang pinnaveekogumite seisundile," 2021. Accessed: Mar. 08, 2024. [Online]. Available: <https://lifecleanest.ee/sites/cleanest/files/2022-03/P%C3%B5levkivi%20kaevandatud%20ala%20isevoolsete%20v%C3%A4ljalaskmete%20veek-eemia%20ja%20veekoguste%20uuring%20ning%20m%C3%B5ju%20hinnang%20pinnaveekog-umite%20%28C.8%29.pdf>
- [59] Keskkonnaagentuur, "Vooluveekogude hüdro-morfoloogilise seisundi analüüs," 2019. Accessed: Oct. 17, 2023. [Online]. Available: <https://keskkonnaagentuur.ee/media/303/download>
- [60] M. Vainu, "Kiltri kraavi ja Kroodi oja vaatlus," 2023. Accessed: Feb. 04, 2025. [Online]. Available: <https://registerdok.keskkonnaportaali.ee/getdok/-1168317204>
- [61] E. Kõnd, T. Mägi, M. Võru, and U. Uri, "Jätkereostusobjektide inventariseerimine 2014-2015. Kroodi oja reostunud põhjasete reostusuuringu aruanne," 2015. Accessed: Feb. 03, 2025. [Online]. Available: <https://registerdok.keskkonnaportaali.ee/getdok/1234642200>
- [62] Kliimaministeerium, "Eesti kõige saastatum veekogu Kroodi oja sai puhtaks," 2021, Accessed: Feb. 03, 2025. [Online]. Available: <https://kliimaministeerium.ee/uudised/video-eesti-koige-saastatum-veekogu-kroodi-oja-sai-puhtaks>
- [63] E. Puura and A. Pihlak, "OXIDATION OF DICTIONEMA SHALE IN MAARDU MINING WASTE DUMPS," *Oil Shale*, vol. 15, no. 3, p. 239, 1998, doi: 10.3176/oil.1998.3.03.
- [64] E. Puura, I. Neretnieks, and K. Kirsimäe, "Atmospheric oxidation of the pyritic waste rock in Maardu, Estonia. 1 field study and modelling," *Environmental Geology*, vol. 39, no. 1, pp. 1–19, Nov. 1999, doi: 10.1007/s002540050432.
- [65] Maves OÜ and Eesti Maaülikool, "Maardu järve koormuse uuring ja meetmed seisundi parandamiseks," 2019. Accessed: Feb. 04, 2025. [Online]. Available: <https://maardu.ee/documents/820601/1225905/Maardu+järve+koormuse+uuring+ja+meetm-ed+seisundi+parandamiseks.pdf>
- [66] US EPA, "National Recommended Water Quality Criteria - Aquatic Life Criteria Table." Accessed: Apr. 07, 2025. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/wqc/national-recommended-water-quality-criteria-aquatic-life-criteria-table>