



KLIIMAMINISTEERIUM



LIFE IP CleanEST projekti tegevus C10.1 veeuuringud

2022-2024 a. järelseire tulemuste kokkuvõte

Põhjaveeuuring:

Joonas Pärn, Indrek Tamm, Merle Truu

Eesti Geoloogiateenistus, Hüdrogeoloogia ja keskkonnageoloogia osakond, Eesti Keskkonnauuringute Keskus

Pinnaveeuuring:

Arvo Iital, Karin Pachel

Tallinna Tehnikaülikool

Pestitsiidijääkide uuring:

Vallo Kõrgmaa, Indrek Tamm

Eesti Keskkonnauuringute Keskus

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

Sisukord

Kokkuvõte	3
Summary	6
1. Sissejuhatus	9
2. Metoodika ja uuringualade kirjeldus	10
2.1. Pinnaveeseire metoodika	10
2.2. Põhjaveeseire metoodika ja andmed	12
2.3. Valglate maakate, maakasutus ja mullastik	15
3. Pinnavee kvaliteet ja toitainete äraanne	26
3.1. Lämmastiku sisaldus vooluveekogudes	26
3.2. Fosfori sisaldus vooluveekogudes	30
3.3. Muud kvaliteedinäitajad	33
3.4. Suundumused toitainete sisalduses ja äravoolus perioodil 2019-2024	35
3.5. Suundumused toitainete äraandes perioodil 2019-2024	36
4. Põhjavee seire tulemused uuringualadel	40
4.1. Toitainete sisaldus põhjavees ja selle seosed pinnavee toitainete sisaldustega	40
4.1.1. Väikevalglad	40
4.1.2. Sõmeru jõe valglad	48
4.3. Suundumused põhjavee toitainete sisaldustes perioodil 2019–2024	53
5. Toitainete sisaldust ja äraannet mõjutavad tegurid	58
6. Pestitsiidijäägid pinnavees	65
5.1. Saasteainete analüüsid ja tulemused	65
5.2. Keemilise seisundi kvaliteedielementide seisundi hinnang	67
5.3. Vesikonnaspetsiifiliste saasteainete hinnang	68
7. Pestitsiidijäägid põhjavees	69
8. Järeldused ja soovitused	76
9. Kasutatud kirjandus	81

Kokkuvõte

2022. aastal koostati LIFE IP CleanEST projekti tegevuse C10.1 veeuuringud lõpparuanne¹, mis kattis perioodi 2019 aprill kuni 2022 märts pinnaveele ja kuni 2022 mai põhjaveele. Aruanne ei sisaldanud hinnangut ainete sisalduses ja ärakandes aset leidvate suundumuste statistilise olulisuse kohta, kuna kasutatavad andmerekogumised olid selleks liiga lühikesed. Seetõttu ei olnud võimalik hinnata ka seni rakendatud põllumajanduslike veekaitse meetmete mõju veekvaliteedile ja toitainete ärakandele. Ka olid seire all suuremad valglad (Kunda ja Pada), kus punkt- ja hajureostuse koormusallikaid on palju ning põllumajanduspraktikate mõju veekvaliteedi formeerumisele ei tarvitse üheselt avalduda. Sellest tulenevalt jätkati tegevuse C10.1 veeuuringud raames põhja- ja pinnavee seirega 2022-2024 aastal väiksemal arvul esinduslikumates valglates (väiksem pindala, suurem põllumajandusmaa osakaal maakasutuses, vähene asulate heitvee mõju), kus põllumajandustootmise mõju saab paremini siduda muutustega veekvaliteedis ja ainete ärakandes.

Jätkuseire spetsiifilised eesmärgid olid järgmised:

1. Hinnata pinna- ja põhjavee kvaliteeti uuritud valglates ja suundumusi toitainete ja ohtlike ainete sisalduse alusel, kasutades pikemaajalisi andmeid;
2. täpsustada põhjavee kvaliteedi mõju uuritud valglate pinnavee kvaliteedile (lämmastiku ja fosfori ühendid), tuginedes pikemaajalistele aegridadele;
3. hinnata suundumusi toitainete ärakandes ja selle põhjuseid.

Pinnavee uuringud jätkusid nelja jõe valgla seitsmes lävendis: Vohnja oja (VEE1078600) ja Kihlevere peakraav (VEE1078500) Loobu jõe vesikonnas, Põdruse pkr. (Visuoja; VEE1075700) ning Sõmeru j. (VEE1075600) Selja j. vesikonnas. Sõmeru jõe jätkuseire toimus perioodil 2022-2024 projekti „Põllumajanduse veekaitse meetmete rakendamise tõhususe mõõtmine pilootpiirkonnas (Sõmeru jõe valgla)“ raames.

Põhjavee järelseiret jätkati kolmes väikevalglas, kus põhiseire käigus aastatel 2019–2022 leiti kõrgemaid toitainete (eelkõige N -ühendite) sisaldusi nii põhja- kui pinnavees ning põhjavee kvaliteedi mõju pinnavee kvaliteedile avaldub selgemalt. Põhjavee seirepunktid olid: puurkaev nr. 15247 (PRK0015247) ja Kolu allikad (SJB1034000) Vohnja valglas, puurkaev nr. 50635 (PRK0050635) Kihlevere valglas ning puurkaev nr. 24825 (PRK0024825) Põdruse valglas. Lisaks jätkati seirega Sõmeru valgla kolmes allikas projektis „Põllumajanduse veekaitse meetmete rakendamise tõhususe mõõtmine pilootpiirkonnas

¹LIFE IP, 2022. Iital, A., Pärn, J., Kõrgmaa, V., Hunt, M., Pachel, K., Osjamets, M., Koit, O., Roosalu, K., Jaaku, J., Leisk, Ü. LIFE IP CleanEst projekti tegevus C10.1 veeuuringud. 2019-2022 a. seiretulemuste kokkuvõte. Tallinna Tehnikaülikool, Eesti Keskkonnauuringute Keskus, Eesti Geoloogiateenistus.

(Sõmeru jõe valgla)²: Mõdriku Hiieallika väljavool (SJA7412000), Vetiku Sõeoru allikate väljavool (SJB3733000) ja Rägavere allikas (SJA8045000).

Üldlämmastiku ($N_{\text{üld}}$) aasta keskmine sisaldus ületab kehtestatud mittehea seisundi piiri 3 mgN/l kõigis uuritud pinnavee lävendites, ulatudes Kihlevere pkr. (SJB3496000) ja Sõmeru jõe Peterburi mnt. (SJA9092000) seirelävendites, vastavalt 8,4 ja 9,2 mgN/l. Samas on lämmastiku sisaldused statistiliselt olulises ($p \leq 0,05$) langustrendis Vohnja ojas ja Sõmeru jões. Üldfosfori aasta keskmine sisaldus on kõikides uuritud vooluveekogudes suhteliselt madal ning ei ületa vooluveekogudele kehtestatud mittehea seisundi piiri 0,08 mg P/l, olles enamasti isegi alla väga hea seisundi taset $\leq 0,05$ mgP/l. Vohnja oja ülemjooksul näitab PO_4 -P sisaldus samas statistiliselt olulist tõusvat trendi.

Üldlämmastiku seireperioodi 2019–2024 keskmine ärakanne valgla pindala hektari kohta on suur, seda eriti Sõmeru jões (59,7 kg/ha/a) ja Vohnja ojas (44,9 kg/ha/a), mida mõjutab vooluvee suhteliselt kõrge lämmastiku sisaldus ja vooluhulk. Mõlemale valglale on iseloomulik suur äravoolumoodul, mis oli Sõmeru valglas seireaastate keskmisena 16,8 l/s/km² ja Vohnja valglas 17,0 l/s/km². Äravoolumooduli kõrge tase viitab põhjaveelise toitumuse suurele osakaalule nimetatud valglates, tagades äravoolu ka kuival suveperioodil ja talve tingimustes. Kihlevere ja Põdruse peakraavis on lämmastiku ärakanne oluliselt madalam, vastavalt 12,9 ja 11,2 kg/ha/a. Ka äravoolumoodulid on väiksemad, vastavalt 6,9 l/s/km² Kihleveres ja 4,2 l/s/km² Põdruse valglas.

Tingimusliku Mann-Kendall (MK) testi tulemused, kus korrigeeriti äravoolu mõju toitainete ärakandele, näitas, et Sõmeru jões on $N_{\text{üld}}$ ärakanne olnud statistiliselt olulises ($p \leq 0,05$) langustrendis, kusjuures $N_{\text{üld}}$ sisalduse langus on samal perioodil olnud statistiliselt väheoluline ja äravool on isegi kasvanud. See tõttu saab N sisalduse langevat suundumust selgitada vähenenud reostuskoormusega valglas. Ka Kihlevere peakraavis on täheldatav statistiliselt üsna oluline ($p = 0,070$) $N_{\text{üld}}$ ärakande langustrend tingimustes, kus äravoolus olulist suundumust vähenemisele ei esine. Üheski uuritud vooluveekogus statistiliselt olulist ($p \leq 0,05$) alanevat ega tõusvat suundumust üldfosfori ärakandes perioodil 2019–2024 ei ole.

Põhjavee toitainete sisalduse aegridades nii selgeid trende ei esinenud. Ainus statistiliselt oluline ($p \leq 0,05$) trend oli $N_{\text{üld}}$ ja NO_3 -N tõusev suundumus kaevus nr. 24825 Põdruse valglas. See oli tõenäoliselt seotud lokaalsete muutustega seirekaevu lähiümbruses (nt muutused maakasutuses ja väetamises, mida käesolev uuring ei sisaldanud, v.a. Sõmeru jõe valglas projekti „Põllumajanduse veekaitse meetmete rakendamise tõhususe mõõtmine pilootpiirkonnas”²) või kaevu halvenenud tehniline seisukorraga, mis vajaks eraldi inventuuri. Need tõusutrendid ei ole ülekantavad kogu valgla põhjaveele.

² Iital, A., Pachel, K., Tamm, I., Kanger, J., 2024. Põllumajanduse veekaitse meetmete rakendamise tõhususe mõõtmine pilootpiirkonnas (Sõmeru jõe valgla) I etapp 2023–2025. 2024. a. tegevuste ja tulemuste kokkuvõte. Töövõtulepingu nr 4-1/22/140 aruanne, 72.lk.

Teistes põhjavee seirepunktides lämmastikuühendite sisaldustes 95% tõenäosuse juures statistiliselt olulisi trende ei esinenud. Mõdriku allikas olid sarnaselt Sõmeru jõeale kõik N-ühendid vaatlusperioodil languses, aga see langus oli statistiliselt väheoluline. Sesonseid trende põhjavee toitainete sisalduses polnud paljude seirepunktide (nt väikevalglad) puhul võimalik analüüsida, sest hoolimata pikendatud seireperioodist ja tihedamast seirest aastatel 2023-2024, oli andmeid selleks endiselt liiga vähe. Järeelseire tulemused kinnitavad varasemat arusaama (LIFE IP, 2022), et uuringualadel on olulisema teks põhjavee kaudu pinnavette jõudvateks toitaineteks lämmastikühendid, millest valdava osa moodustab nitraat-lämmastik ($\text{NO}_3\text{-N}$). Fosforiühendite sisaldused põhjavees olid üldiselt väga väikesed ja veidi suuremaid sisaldusi saab seletada reoveepuhasti heitveelaskude mõjuga (nt Mõdriku Hiieallika väljavoolu seirepunkt SJA7412000).

Ohtlike ainete analüüse tehti 2024. aastal 136 saasteaine sisalduse selgitamiseks pinnavees. Valdava osa (131) ohtlike ainete sisaldus ei ületanud labori määramispiiri. Keemilise seisundi hinnangu alusel on kõik uuritud vooluveekogud heas seisundis. Vesikonnaspetsiifilistest saasteainetest analüüsiti vaid pestitsiidide jääke. Selle alusel on Kihlevere peakraav heas seisundis ja ülehäänud kolm uuritud vooluveekogu halvas seisundis, kusjuures mittehea seisundi näitajaks on AMPA.

Põhjavees uuriti 2023-2024 aastal Eesti Keskkonnauuringute Keskuse laboris kokku 144 pestitsiidijäägi esinemist. Üheteistkümnes veeproovis (32 veeproovist) ületati labori analüüsimeetodi määramispiir ja üheksas veeproovis põhjavee kvaliteedi piirväärtust ja joogivee piirsisaldust $0,1 \mu\text{g/l}$. Põhjavee piirväärtust ületati 7 veeproovis (neist kuus kaevust PRK0050635) herbitsiid kloridasooni metaboliidi kloridasoon-desfenüüluga (metaboliit B) ja 2 veeproovis glüfosaadi laguainega AMPA. Eestis keelustatud kloridasooni toimeaine sisaldused jäid kõigis veeproovides alla labori määramispiiri $0,005 \mu\text{g/l}$.

Labori pestitsiidide analüüsimeetodi määramispiiri ületasid veel: propikonasool, boskaliid, 1,2,4-triklorobenseen (lisaaine herbitsiidides), tsüpermetriin, aklonifeen, tsübutriin, alfa-heksaklorotsükloheksaan ja gamma-heksaklorotsükloheksaan. Sisaldused jäid aga kümneid kordi alla põhjavee kvaliteedi piirväärtust $0,1 \mu\text{g/l}$.

Summary

In 2022, the final report of the LIFE IP CleanEST project activity C10.1 water studies was prepared, which covered the period from April 2019 to March 2022 for surface water and until May 2022 for groundwater (LIFE IP, 2022). The report did not include an assessment of the statistical significance of trends in the concentration and riverine load of substances, as the data series used were too short for this. Therefore, it was not possible to assess the impact of the agricultural water protection measures implemented so far on water quality and nutrient runoff. Larger catchments (Kunda and Pada) were also monitored, where there are many other point and diffuse sources of nutrients and the impact of agricultural practices on the formation of water quality may not be clearly manifested.

Accordingly, within the framework of activity C10.1 water studies, groundwater and surface water monitoring was continued in 2022-2024 in a smaller number of more representative catchments (smaller area, higher share of agricultural land in land use, low impact of wastewater from settlements), where the impact of agricultural production can be better linked to changes in water quality and nutrient load.

The specific objectives of the continued monitoring were as follows:

1. To assess the quality of surface and groundwater in the studied catchments and trends in the content of nutrients and hazardous substances, using longer data series;
2. To specify the impact of groundwater on the quality of surface water in the studied catchments (nitrogen and phosphorus compounds) based on longer time series;
3. To assess trends in nutrient load and its causes.

Surface water studies continued in seven monitoring stations of four river basins: Vohnja stream and Kihlevere main ditch in the Loobu river basin, Põdruse stream (Visuoja) and Sõmeru river in the Selja river basin. Continued monitoring of the Sõmeru river took place in the period 2022-2024 within the framework of the project “Measuring the effectiveness of the implementation of agricultural water protection measures in the pilot area (Sõmeru river basin)”.

Follow-up groundwater monitoring continued in three small catchments, where elevated concentrations of nutrients (N and P compounds) were found in surface water during the main monitoring in 2019–2022 and the impact of groundwater on surface water quality is more clearly manifested. The groundwater monitoring sites involved borehole no. 15247 and Kolu springs in the Vohnja catchment, borehole no. 50635 in the Kihlevere catchment and borehole no. 24825 in the Põdruse catchment. In addition, monitoring continued at three springs in the Sõmeru catchment in the project “Measuring the effectiveness of implementing agricultural water protection measures in the

pilot area (Sõmeru River catchment)”: the outflow of Mõdriku Hiieallikad the outflow of Vetiku Sõeoru springs and the Rägavere spring.

The annual average concentration of total nitrogen (TN) exceeds the established good status limit of 3 mgN/l in all studied surface water stations, reaching 8.4 and 9.2 mgN/l in the Kihlevere ditch and Sõmeru River Peterburi mnt. monitoring station, respectively. At the same time, nitrogen concentrations are in a statistically significant ($p \leq 0.05$) downward trend in the Vohnja stream and the Sõmeru River. The annual average concentration of total phosphorus is relatively low in all studied water bodies and does not exceed the non-good status limit of 0.08 mg P/l established for water bodies, being mostly even below the very good status level of ≤ 0.05 mgP/l. In the upper reaches of the Vohnja stream, the concentration of $\text{PO}_4\text{-P}$ shows a statistically significant upward trend.

The average total nitrogen discharge per hectare of catchment area during the 2019-2024 monitoring period is high, especially in the Sõmeru River (59.7 kg/ha/a) and the Vohnja stream (44.9 kg/ha/a), which is affected by the relatively high nitrogen content and flow rate of the watercourse. Both catchments are characterized by a high specific discharge, which was 16.8 l/s/km² in the Sõmeru catchment and 17.0 l/s/km² in the Vohnja catchment on average during the monitoring years. The high level of the specific discharge indicates a high baseflow component in these watercourses, ensuring runoff also in dry summer and winter conditions. In the Kihlevere and Põdruse main ditches, nitrogen runoff is significantly lower, 12.9 and 11.2 kg/ha/a, respectively. The specific discharges are also smaller, 6.9 l/s/km² in Kihlevere and 4.2 l/s/km² in the Põdruse catchment area, respectively.

The conditional Mann-Kendall (MK) test has been adopted to account for the influence of confounding (i.e. hydrological) variables for the effect of water discharge on nutrient load. The results of the conditional MK test showed that in the Sõmeru River, TN load has been in a statistically significant ($p \leq 0.05$) decreasing trend, whereas the decrease in TN content has been statistically insignificant during the same period and water runoff has even increased. Therefore, the decreasing trend in N content in the river water can be explained by a decreased pollution load in the catchment. A statistically less significant ($p = 0.070$) downward trend in TN load is also observed in the Kihlevere main ditch under conditions where there is no significant trend in water runoff. There is no statistically significant ($p \leq 0.05$) downward or upward trend in total phosphorus load in any of the studied water bodies in the period 2019-2024.

There were no such clear trends in the time series of groundwater nitrogen concentrations. The only statistically significant ($p \leq 0.05$) trend was the increasing trend of TN and $\text{NO}_3\text{-N}$ in well no. 24825 in the Põdruse catchment. This was probably related to local changes in land use and fertilization in the immediate vicinity of the monitoring well or the deteriorated technical condition of the well which was

not investigated in this study. These increasing trends are not transferable to the groundwater of the entire catchment. At other groundwater monitoring sites, there were no statistically significant trends in the concentrations of nitrogen compounds at a 95% probability. At the spring of Mõdriku, similarly to the Sõmeru River, concentrations of all N compounds decreased during the observation period, but this decrease was statistically insignificant. Seasonal trends in the concentration of groundwater nutrients could not be analyzed for many monitoring sites (e.g. in small catchments), because despite the extended monitoring period and more frequent monitoring in 2023-2024, there was still too little data for this.

The results of the follow-up monitoring confirm the previous understanding (LIFE IP, 2022) that the most important nutrients reaching surface water via groundwater in the study areas are nitrogen compounds, of which nitrate nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$) is the predominant component. The concentrations of phosphorus compounds in groundwater were generally very low and slightly higher concentrations in Mõdriku Hiieallika spring) can be explained by the impact of municipal wastewater discharges.

Analyses of hazardous substances were performed in 2024 to determine the concentration of 136 pollutants in surface water. The concentration of the majority (131) of hazardous substances did not exceed the laboratory detection limit. Based on the assessment of chemical status, all studied watercourses are in good status. Of the river basin-specific pollutants, only pesticide residues were analyzed. Based on this, the Kihlevere main ditch is in good status and the three upstream watercourses studied are in poor status, with AMPA being an indicator of poor status.

In 2023-2024, the laboratory of the Estonian Environmental Research Centre tested a total of 144 pesticide residues in groundwater. In eleven water samples (out of 32 water samples), the detection limit of the laboratory was exceeded, and in nine water samples, the groundwater quality limit value and the drinking water limit value of $0.1 \mu\text{g/l}$ were exceeded. The groundwater limit value was exceeded in 7 water samples by the herbicide chloridazone metabolite chloridazone-desphenyl (metabolite B) and in 2 water samples by the glyphosate degradation products AMPA. The concentrations of the active ingredient chloridazone, which is banned in Estonia, remained below the laboratory detection limit of $0.005 \mu\text{g/l}$ in all water samples.

The following also exceeded the detection limit of the laboratory's pesticide analysis method: propiconazole, boscalid, 1,2,4-trichlorobenzene (an additive in herbicides), cypermethrin, aclonifen, cybutrine, alpha-hexachlorocyclohexane and gamma-hexachlorocyclohexane. However, the contents were dozens of times below the groundwater quality limit of $0.1 \mu\text{g/l}$.

1. Sissejuhatus

LIFE IP CleanEST projekti tegevuse C10 („Põllumajandusettevõtete (põllumajandustootjate) kaasamine põllumajandusliku keskkonnavalase nõustamise meetmete rakendamiseks veemajanduskavades“) esimeseks alamtegevuseks (C10.1) on „Põllumajandusettevõtete uuring“. Selle tegevuse käigus uuriti 2019. aasta II kvartalist kuni 2022. aasta II kvartalini põllumajandustootmise mõju pinna- ja põhjavee kvaliteedile ning reostuskoormust kuuel valitud pilootalal Lääne-Viru maakonnas, Viru alamvesikonnas. Projekti viisid läbi TTÜ Vee- ja keskkonnatehnika uurimisrühm (pinnaveeseire, laboratoorsed analüüsid pinnaveest), Eesti Geoloogiateenistus (põhjaveeseire) ja Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ (EKUK, laboratoorsed analüüsid põhjaveest). Projekti tulemused avaldati lõpparuandena 2022. aastal.³ⁱ

Uuringu spetsiifilised eesmärgid olid järgmised:

1. Hinnata pinna- ja põhjaveekogumite seisundit ja muutusi seireperioodil toitainete ja ohtlike ainete jääkide sisalduse alusel;
2. selgitada põhjavee kvaliteedi mõju uuritavate valglate pinnavee kvaliteedile;
3. hinnata pinna- ja põhjavees levivate lämmastiku ja fosfori ühendite päritolu ja levikut põhjaveetoite olulisuse seisukohalt;
4. selgitada põhjavee üldkeemilist koostist ja põhjavee isotoopkoostist ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) ning nende seoseid toitainete sisaldusega;
5. hinnata toitainete ärakannet valglates.

Kuna suundumuste selgitamiseks ainete sisalduses ja ärakandes on vaja pikemat andmerida, jätkati pinna- ja põhjavee seirega mõnevõrra vähendatud mahus esinduslikumates väikevalglates ja seirelävendites/seirepunktides (väiksem pindala, suurem põllumajandusmaa osakaal maakasutuses, vähene asulate heitvee mõju), kus põllumajandustootmise võimaliku mõju hindamine veekvaliteedile on vähem mõjutatud teistest koormusallikatest. Seega sisaldab aruanne ülevaadet 2022-2024 pinna- ja põhjaveeseire tulemustest ja hinnangut seni rakendatud meetmete tõhususest tuginedes ka varasematele andmetele alates 2019. aasta kevadest.

³ LIFE IP, 2022. Iital, A., Pärn, J., Kõrgmaa, V., Hunt, M., Pachel, K., Osjamets, M., Koit, O., Roosalu, K., Jaaku, J., Leisk, Ü. LIFE IP CleanEst projekti tegevus C10.1 veeuuringud. 2019-2022 a. seiretulemuste kokkuvõte. Tallinna Tehnikaülikool, Eesti Keskkonnauuringute Keskus, Eesti Geoloogiateenistus.

2. Metoodika ja uuringualade kirjeldus

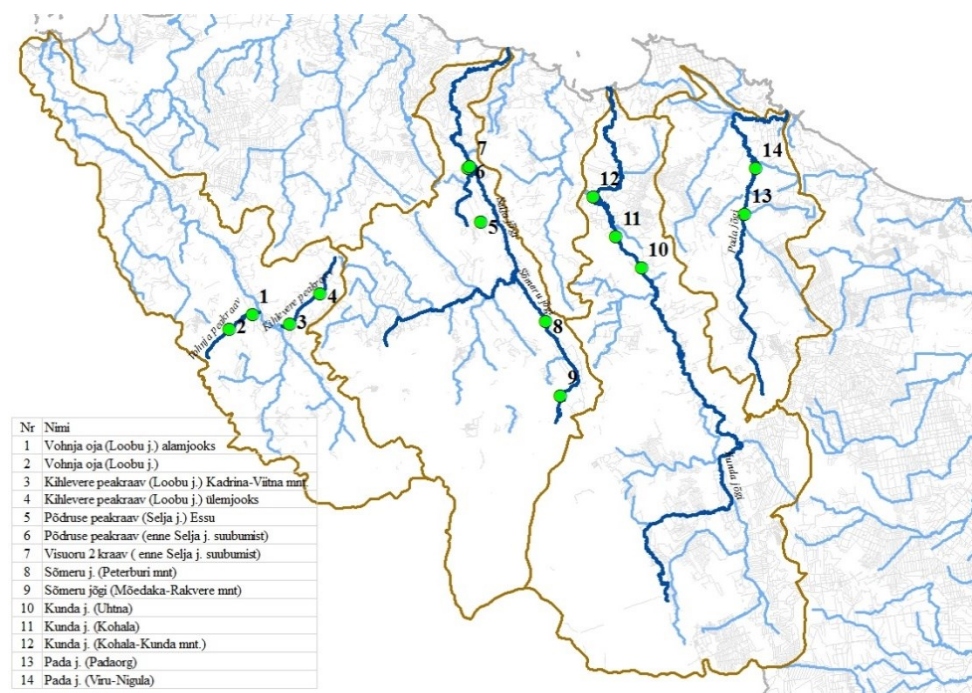
Projekti tegevuse C10 algse uurimisprogrammi eesmärgid said valdavalt täidetud. Samas ei sisaldanud perioodi 2019-2022 aruanne hinnangut ainete sisalduses ja nende ärakandes aset leidvate suundumuste statistilise olulisuse kohta, kuna kasutatavad andmerekad olid selleks liiga lühikesed. Seetõttu ei olnud võimalik hinnata ka seni rakendatud põllumajanduslike veekaitse meetmete mõju veekvaliteedile ja toitainete ärakandele. Ka olid seire all suuremad valglad (Kunda ja Pada), kus punkt- ja hajureostuse koormusallikaid on palju ning põllumajanduspraktikate mõju veekvaliteedi formeerumisele ei tarvitse üheselt avalduda. Sellest tulenevalt jätkati tegevuse C10.1 veeuuringud raames põhja- ja pinnavee seirega 2022-2024 aastal väiksemal arvul esinduslikumates valglates (väiksem pindala, suurem põllumajandusmaa osakaal maakasutuses, vähene asulate heitvee mõju), kus põllumajandustootmise mõju saab paremini siduda muutustega veekvaliteedis ja ainete ärakandes.

Jätkuseire spetsiifilised eesmärgid olid järgmised:

1. Hinnata pinna- ja põhjavee kvaliteeti uuritud valglates ja suundumusi toitainete ja ohtlike ainete sisalduse aluse, kasutades pikemaid andmeridasid ja sobivaid statistilisi meetodeid;
2. täpsustada põhjavee kvaliteedi mõju uuritud valglate pinnavee kvaliteedile (lämmastiku ja fosfori ühendid) tuginedes pikematele aegridadele;
3. hinnata toitainete ärakandes aset leidnud suundumusi, selle põhjuseid ja statistilist olulisust.

2.1. Pinnaveeseire metoodika

Projekti II ja III faasis, alates 2022 kevadest, jätkusid pinnavee uuringud nelja jõe valgla seitsmes lävendis, mis eelneva seire alusel hinnati esinduslikumateks (väiksem pindala ja suurem põllumajandusmaa osakaal maakattes) põllumajandustootmise mõju hindamiseks veekvaliteedile. Pinnaveeuuringu seirelävendite – Vohnja oja (VEE1078600) ja Kihlevere peakraav (VEE1078500) Loobu jõe vesikonnas, Põdruse pkr. (Visuoja; VEE1075700) ning Sõmeru j. (VEE1075600) Selja j. vesikonnas – andmed on toodud joonisel 2.1 ja tabelis 2.1 (numbrid 1, 2, 3, 5, 6, 8, 9). Uuritavad pilootalad ei sisaldanud enam suuremate jõgede Kunda ja Pada, suhteliselt väiksema põllumajandusmaa osakaaluga valglaid, mida seirati eelnevatel perioodidel. Kasutatav seirelävendite numeratsioon on samas muutmata, et võimaldada võrdlust projekti 2022. aasta lõpparuandes toodud tulemustega.



Joonis 2.1. Uuritavad valgjad ja pinnavee seirelävendid Viru alamvesikonnas.

Tabel 2.1. Pinnaveeuuringu seirelävendid. Tärniga tähistatud seirejaamade koordinaadid erinevad mõnevõrra seirelävendi koordinaatidest. Neid jaamu on kasutatud andmete Keskkonnaseire Infosüsteemi kandmiseks ning seejuures on andmete külge lisatud täpsed seirelävendi koordinaadid

Seirejaam	Seirelävend ja seirejaama kood	Veekogum	X	Y	Ohtlikud ained	Vooluhulga mõõtmine
1	Vohnja oja alamjooks (SJB3510000)	1077900_2	6 583 798	616 818	*	*
2	Vohnja oja ülemjooks (SJA2287000*)	1077900_2	6 582 688	615 101		
3	Kihlevere peakraav – Kadrina-Viitna mnt (SJB3496000)	1077900_2	6 583 050	619 629	*	*
5	Põdruse peakraav ülemjooks (SJB3501000)	1074600_4	6 590 706	633 917		
6	Põdruse pkr - Varangu (SJB3502000)	1074600_4	6 594 731	632 954	*	*
8	Sõmeru jõgi - Peterburi mnt (SJA9092000)	1075600_1	6 583 286	638 783		*
9	Sõmeru jõgi - Mõedaka-Rakvere mnt (SJA4081000)	1075600_1	6 577 736	639 875	*	

. Valitud lävendites koguti igakuised veeproovid füüsikalise-keemiliste põhinäitajate ($N_{\text{üld}}$, $P_{\text{üld}}$, PO_4 , NH_4 -N, NO_3 -N, BHT, KHT, pH, temperatuur, elektrijuhtivus ja hapnik) analüüsiks TalTech-i Veekeemia laboris.

Tabelis 2.2. on kirjeldatud kasutatud pinnaveeproovide analüüsimeetodeid.

Tabel 2.2. Pinnaveeproovide analüüsimeetodid.

Näitaja	AM nimetus/standard
Temperatuur	ISO 5667-6 (PHYS)
Lahustunud hapnik (proovivõtul)	EVS-EN 25814 (EC) (elektrokeemiline)
	ISO 17829 (optiline)
Hapniku küllastusaste (proovivõtul)	ISO 17829 (optiline)
pH (proovivõtul)	ISO 10523 (EC)
Elektrijuhtivus (proovivõtul)	EVS-EN 27888 (EC)
Biokeemiline hapnikutarve (BHT_5)	EVS-EN 1899-2 (EC)
Ammooniumlämmastik (NH_4 -N)	SFS 3032 (UV-VIS); ISO 23695
Nitraatlämmastik (NO_3 -N)	EVS-EN ISO 13395 (UV-VIS)
Üldlämmastik ($N_{\text{üld}}$)	EVS-EN ISO 11905-1 (UV-VIS)
Fosfaatfosfor (PO_4 -P)	EVS-EN ISO 6878, sec 4 (UV-VIS)
Üldfosfor ($P_{\text{üld}}$)	EVS-EN ISO 6878, sec 7 (UV-VIS)
Keemiline hapnikutarve (dikromaatne)	EVS-ISO 15705 (fotomeetria)

Kihlevere peakraavi, Vohnja oja ja Põdruse peakraavi vooluhulga mõõtmise toimus koos pinnaveeproovide kogumisega samades alamjooksu poolsetes lävendites. Sõmeru jõe vooluhulka mõõdeti igakuiselt alates 2021. a. märtsist ca 1 km ülesvoolu Sõmeru-Peterburi mnt. veeseirelävendist (XY: 6582303.68, 639157.28), kus selleks olid sobivamad tingimused.

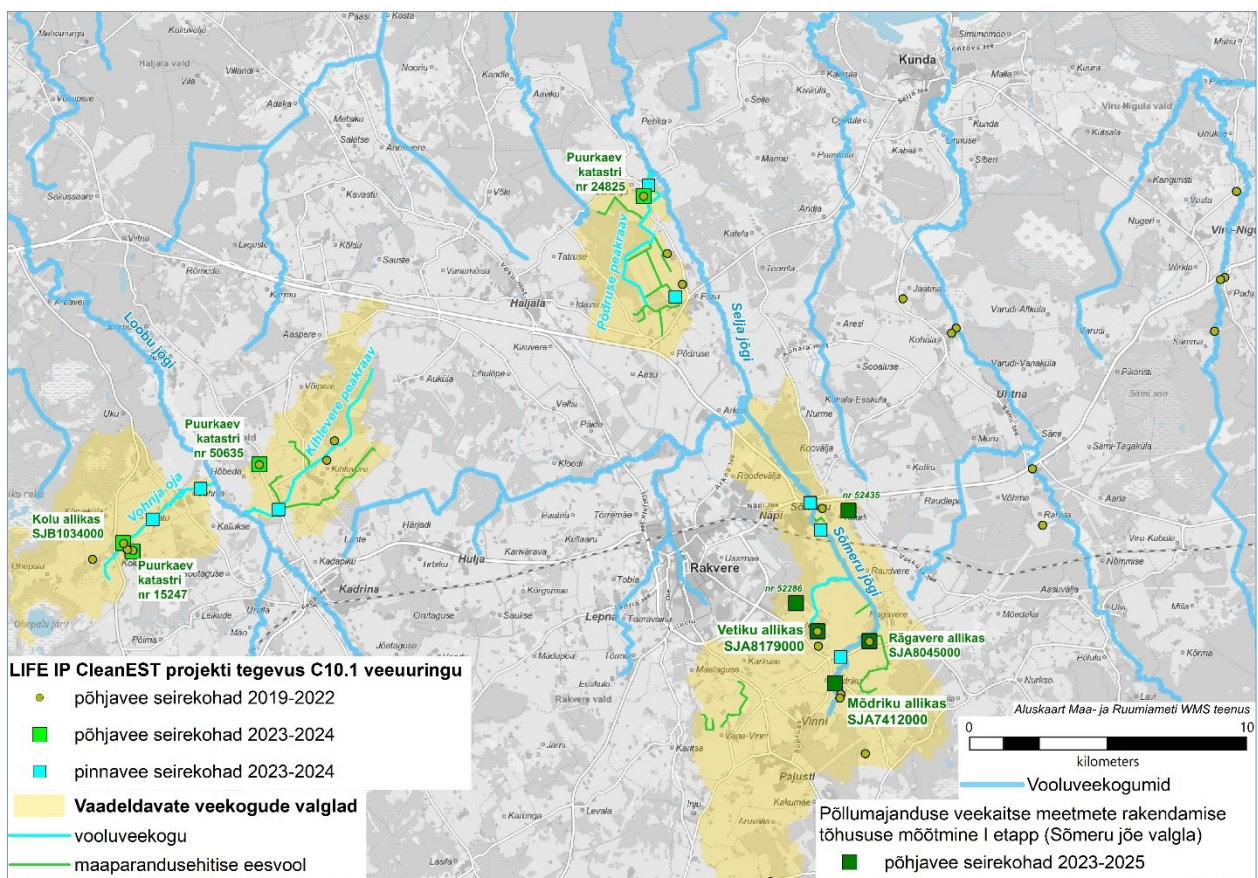
Suundumuste statistiliseks analüüsiks toitainete ja BHT_5 sisalduses ning ärakandes perioodil 2019–2024 kasutati Mann-Kendall MK testi (Mann, 1945 and Kendall, 1975), mis on rakendatav olukorras, kus veekvaliteedi näitajad (nt toitainete sisaldused) ei allu normaaljaotusele ning väljendavad sageli sesoonset muutlikkust mõjutatuna vooluhulgast (Gillion and Helsel, 1986). Seetõttu rakendati toitainete ärakande suundumuste statistilise olulisuse hindamiseks täiendavalt ka vooluhulgaga korrigeeritud MK testi (Libseller and Grimvall, 2002), mis võimaldab hinnata maakasutuse mõju muutustele ainete ärakandes.

2.2. Põhjaveeseire metoodika ja andmed

Põhjavee järeelseiret väikevalglates (Vohnja, Kihlevere ja Põdruse) jätkati seirepunktides, kus põhiseire käigus aastatel 2019–2022 leiti kõrgeenenud toitainete (peamiselt N-ühendite) sisaldusi ja kirjeldavad kõige paremini võimalikku põhjavee kvaliteedi mõju pinnavee kvaliteedile (joonis 2.2, tabel 2.3). Kokku seirati nelja põhjavee puurkaevu/allikat – puurkaev nr. 15247 (PRK0015247) ja Kolu allikad (SJB1034000) Vohnja valglas, puurkaev nr. 50635 (PRK0050635) Kihlevere valglas ning puurkaev nr. 24825 (PRK0024825) Põdruse valglas. Proove veekeemia kirjeldamiseks võeti sagedusega kord kuus ja

järeelseire viis läbi Eesti Keskkonnauuringute Keskus (EKUK). EKUKi laboris analüüsiti samu näitajaid, mis 2019–2022 toimunud põhiseire käigus (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Fe}_{\text{üld}}$, pH, PHT_{Mn} , SiO_2 , vaba CO_2 , PO_4^{3-} , üldkaredus, kuivjääk, värvus, läbipaistvus, Fe^{2+} , F^- , Mn^{2+} , $\text{N}_{\text{üld}}$, $\text{P}_{\text{üld}}$, hägusus, lõhn). Kord kvartalis võeti seirepunktidest proovid ka pestitsiidijääkide sisalduste analüüsiks. Vältitööde ajal mõõdeti vee väliparameetrid (pH, elektrijuhtivus, temperatuur ja lahustunud hapniku sisaldus).

Sõmeru valglas toimus seire teise paralleelse uuringu raames („Põllumajanduse veekaitse meetmete rakendamise tõhususe mõõtmine pilootpiirkonnas (Sõmeru jõe valgla)“), mis kestab 2023–2025. aastani. Selle raames seiratakse valglas kokku nelja allikat, millest tegevuse C10.1 põhiseire punktidega kattub kolm allikat – Mõdriku Hiieallika väljavool (SJA7412000), Vetiku Sõeoru allikate väljavool (SJB3733000) ja Rägavere allikas (SJA8045000). Aruandes keskendutakse just neile tulemustele, sest siin on sarnaselt väikevalglatele võimalik käsitleda pikemaajalisi muutusi perioodil 2019–2024. Sõmeru valgla allikates toimus proovide võtmine sagedusega kord kuus ja seire viisid läbi EKUKi töötajad.



Joonis 2.2. LIFE IP CleanEST projekti tegevus C10.1 veeuringu 2019-2022 ja selle jätkutöö 2023-2024 põhjaveeseire proovipunktid.

Proove analüüsiti EKUKi laboris, kuid kuna seire toimus paralleeluuringu eesmärkidest lähtuvalt, oli analüüsitud näitajate nimekiri väikevalglatest veidi erinev (NH_4^+ , NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Fe}_{\text{üld}}$, pH, PHT_{Mn} , PO_4^{3-} , üldkaredus, kuivjääk, $\text{N}_{\text{üld}}$). Suurima erinevusena ei analüüsitud Sõmeru valga põhjavees perioodil 2023–2024 üldfosfori ($\text{P}_{\text{üld}}$) sisaldusi, vaid ainult ortofosfaadi ($\text{PO}_4\text{-P}$) sisaldusi nagu nitraaditundliku ala põhjaveeseires. Kevadel ja sügisel võeti seirepunktidest proovid pestitsiidijääkide sisalduste analüüsiks ja kaks korda aastas vee isotoopkoostise selgitamiseks. Välitööde ajal mõõdeti vee väliparameetrid (pH, elektrijuhtivus, temperatuur ja lahustunud hapniku sisaldus).

Tabel 2.3. LIFE IP CleanEST projekti tegevus C10.1 veeuuringu 2019-2022 jätkutöö 2023-2024 põhjaveeseire proovipunkte kirjeldav info.

TÖÖ NIMI	SEIREPUNKTI NIMETUS	NH ₄ , Cl, SO ₄ , NO ₃ , HCO ₃ , Na, K, Ca, Mg, karedus, Fe _{üld} , KHT _{Mn} , kuivjääk, PO ₄ , N _{üld} , elektrijuhtivus, lahustunud hapnik, pH, T°C		Pestitsiidid, sh glüfosaat ja AMPA
		Lahustunud silikaadid, Mn, NO ₂ , Fe ₂ , fluoriid, P _{üld} , CO ₂ , värvus, läbipaistvus, hägusus, happesus.		
LIFE IP CleanEST projekti tegevus C10.1 veeuuringu jätkutöö 2023-2024	Katastri nr: 50635; puurkaev olmevee saamiseks	Proovid 2023-2024 iga kuu		Proovid kord kvartalis
	Katastri nr: 24825; puurkaev olmevee saamiseks	Proovid 2023-2024 iga kuu		Proovid kord kvartalis
	Katastri nr: 15247; puurkaev tootmisvee saamiseks	Proovid 2023-2024 iga kuu		Proovid kord kvartalis
	Kolu allikad SJB1034000	Proovid 2023-2024 iga kuu		Proovid kord kvartalis
Põllumajanduse veekaitse meetmete rakendamise tõhususe mõõtmine I etapp 2023-2025	Katastri nr: 52435; puurkaev olmevee saamiseks		Proovid 2023-2025 iga kuu	Proovid aprill ja september
	Rägavere allikas SJA8045000		Proovid 2023-2025 iga kuu	Proovid aprill ja september
	Mõdriku hiieallikad (vooluhulga lävend) SJA7412000		Proovid 2023-2025 iga kuu	Proovid aprill ja september
	Vetiku Sõeoru allikad (vooluhulga lävend) SJB3733000		Proovid 2023-2025 iga kuu	Proovid aprill ja september
	Katastri nr: 52286; puurkaev olmevee saamiseks		Proovid võeti vaid 2023 aastal.	

Suundumuste statistiliseks analüüsiks $\text{N}_{\text{üld}}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ ja $\text{NH}_4\text{-N}$ sisalduses perioodil 2019-2024 kasutati sarnaselt pinnaveega Mann-Kendall MK testi (Mann, 1945 and Kendall, 1975).

2.3. Valglate maakate, maakasutus ja mullastik

Uuritavaid valglaid iseloomustavad peamised näitajad on esitatud tabelis 2.4. Põllumajandusmaa osakaal kõigis uuritud valglates moodustab enam kui 50%, olles kõrgem Vohnja jõe valgla (tabel 2.4). Põllumajandusmaa osakaalud valglates ei ole otseselt võrreldavad, kuna on defineeritud mõnevõrra erinevalt ning iseloomustavad erineva suurusega territooriumi.

Tabel 2.4. Uuritavate valglate üldiseloomustus. Põllumajandusmaa osakaal on arvutatud PRIA (2020) järgi valgla suudmesse ning CORINE alusel vooluveekogu suudme poolse seirelävendi tagusele valgla.

Valgla nr.	Valgla	KKR kood	Pindala (km ²)		Põllumajandusmaa osakaal (%)		Seotud põhjavee-kogum	Seotud pinnavee-kogum
			Suudmes	Seire-lävendis	PRIA*	CORINE**		
1	Vohnja	VEE1078600	14,1	12,8	68	91	kogum nr. 13	Loobu_2
2	Kihlevere	VEE1078500	27,5	27,5	52	62,3	kogum nr. 13	Loobu_2
3	Põdruse (Visuoja)	VEE1075700	22,9	22,9	57	68	kogum nr. 13	Selja_4
4	Sõmeru	VEE1075600	85,7	56,8	58	71,2	kogum nr. 15	Sõmeru

* PRIA toetusõigusliku põllumajandusmaana käsitletakse kasutuses olevat põllumajanduskultuuride ning püsirohumaad või püsimajanduste all olevat maad.

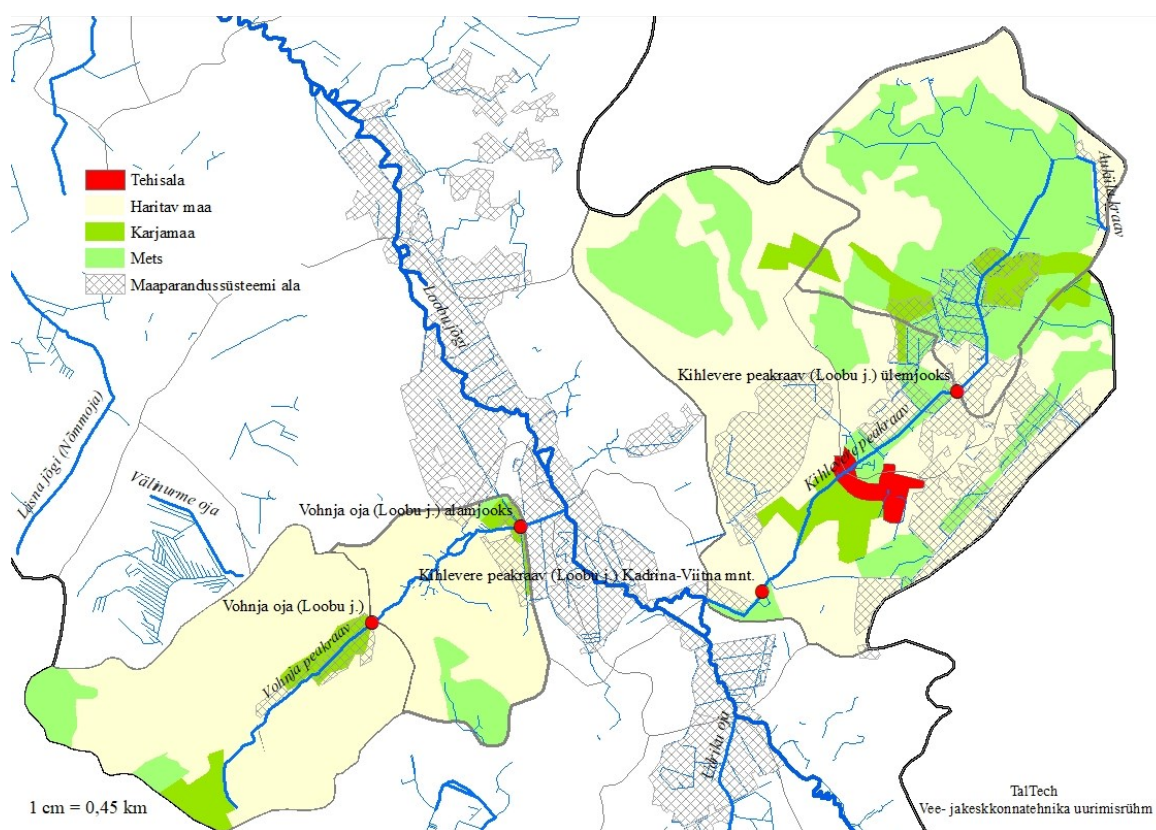
** CORINE põllumajandusmaa sisaldab haritavat maad (põllumaa, mitmeaastased istandikud, kultuurmaad, parandatud heina- ja karjamaad) ning looduslikku rohumaad.

Vohnja oja (VEE1078600)

Vohnja oja valgla pindala alamjooksu seirelävendis on 12,8 km² ning kahe seirelävendi vaheline valgla pindala vaid 4,3 km². 91 % valgla maakattest moodustab põllumajandusmaa ning metsa osakaal on vaid 9%. CORINE alusel arvutatud põllumajandusmaa osakaal valgla on oluliselt suurem võrreldes PRIA 2020 kasutuses oleva põllumajandusmaa andemetega (tabel 2.5), mis võib osaliselt olla tingitud ka sellest, et oja alamjooksu seirelävend ei paikne vooluveekogu suudmes. Vohnja oja valglast on maaparandussüsteemiga kaetud vaid väike osa (joonis 2.3).

Tabel 2.5. Vohnja oja seirelävendite taguse valgla CORINE maakate .

CORINE maakate	Vohnja oja (seirepunkt 2)		Vohnja oja (seirepunkt 1)	
	% valgla		% valgla	
	Pindala, km ²	pindalast	Pindala, km ²	pindalast
Haritav maa	7,2	84,0	10,7	83,5
Karjamaa	0,8	9,0	0,9	7,4
Mets	0,6	6,9	1,2	9,1
Kokku	8,5	100	12,8	100

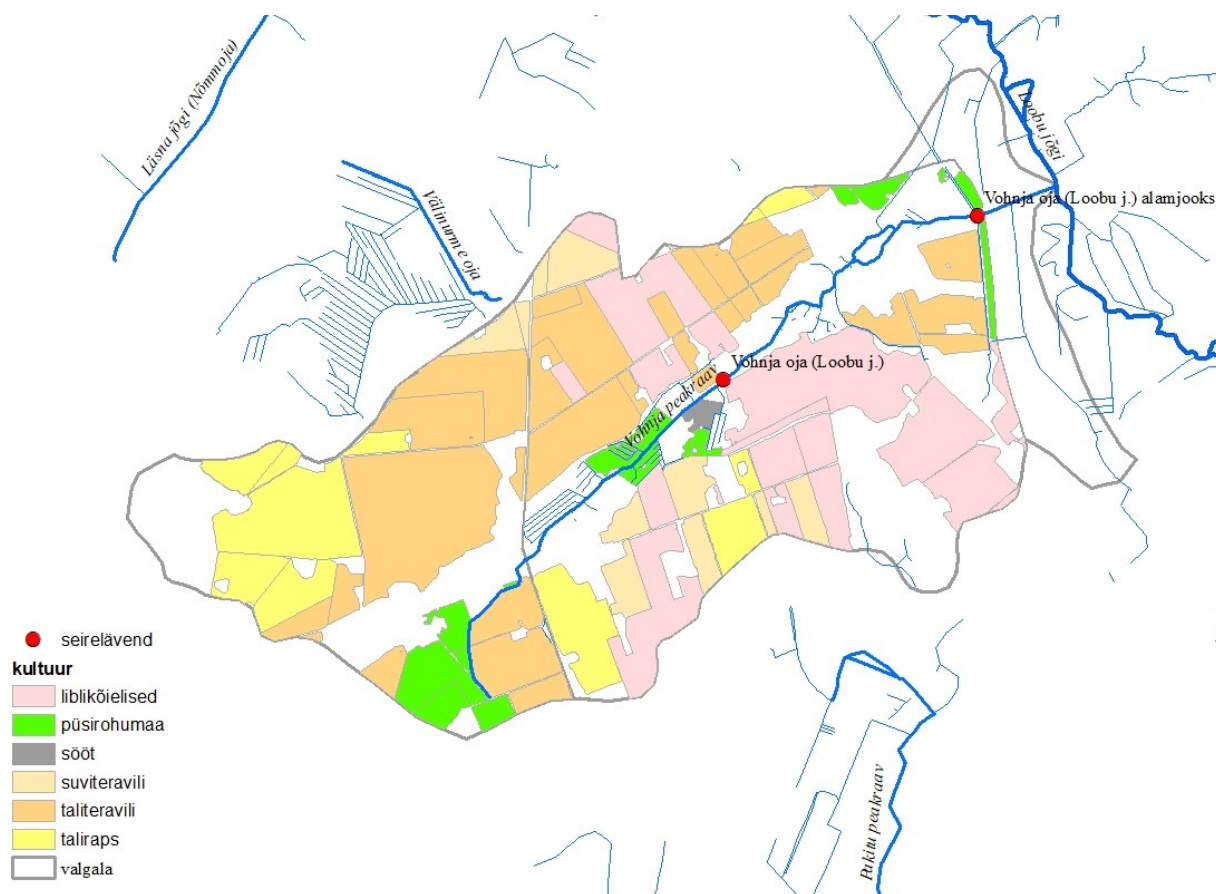


Joonis 2.3. Vohnja oja ja Kihlevere peakraavi CORINE maakate ja kuivendussüsteemid

Vohnja valgla maakasutuses domineerivad taliteravili (40% põllumajandusmaast, peamiselt oja vasakkaldal ja alamjooksul) ja taliraps (17% põllumajandusmaast, valdavalt ülemjooksul) (tabel 2.6, joonis 2.4). Talvise taimkatte osakaal koos püsirohumaaga moodustab 64% kasutatavast põllumajandusmaast. Liblikõielised (peamiselt põldhernes, vähem lutsern) hõlmavad 28% põllumajandusmaast.

Tabel 2.6. Maakasutus Vohnja oja valglas 2024. aastal.

Maakasutus	Pindala, ha
suviteravili	67.4
taliraps	142.2
sööt	3.6
taliteravili	341.9
püsirohuma	59.4
liblikõielised	242.6
KOKKU	857.1



Joonis 2.4. Maakasutus Vohnja oja valglas 2024. aastal

Kihlevere peakraav (VEE1078500)

Kihlevere peakraav ja Vohnja oja on Loobu harujõed. Kihlevere peakraavi valgla pindala suudme lähedases seirelävendis nr. 3 on 27,5 km². Sellest 62,3% moodustab CORINE alusel põllumajandusmaa (joonis 2.3, tabel 2.7). Metsamaana on CORINE alusel defineeritud 36,3% valgla pindalast. Suur osa valgla põllumajandusmaast on kuivendatud.

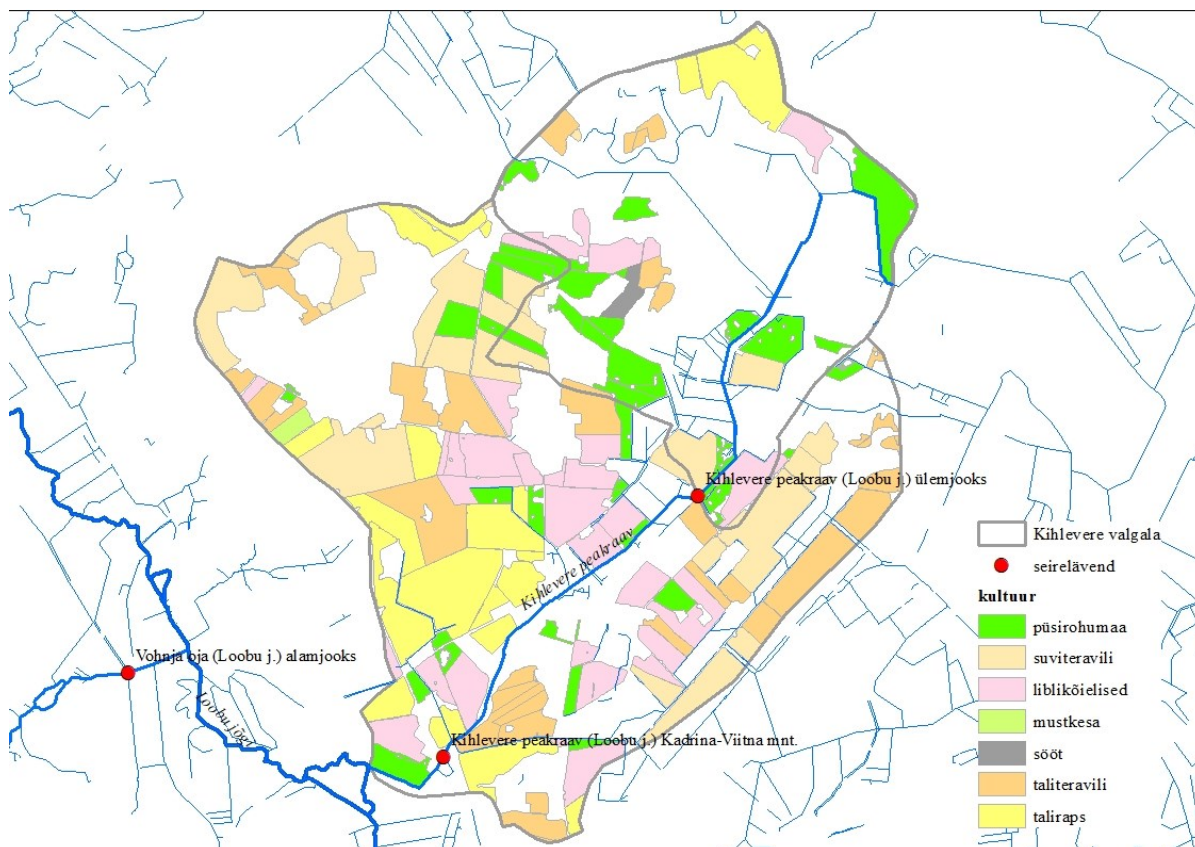
Tabel 2.7 Kihlevere peakraavi seirelävendite taguse valgla CORINE maakate.

CORINE maakate	Kihlevere (seirepunkt 4)		Kihlevere (seirepunkt 3)	
	Pindala, km ²	% valgla pindalast	Pindala, km ²	% valgla pindalast
Tehisala	-	-	0,4	1,3
Karjamaa	0,9	9,1	1,9	6,8
Haritav maa	3,4	34,5	15,3	55,5
Mets	5,5	56,4	10,0	36,3
Kokku	9.8	100	27.5	100

Kihlevere peakraavi põllumaa koondub valdavalt kesk- ja alamjooksule (joonis 2.5). Taliviljade all on 40 % põllumajandusmaast, sh 20% taliteravili (talisisu ja talioder) ning 20% taliraps (tabel 2.8). Liblikõielisi kasvatati 21% põllumajandusmaal, sh peamiselt põldhernes, vähem ristikut ja liblikõieliste ja kõrreliste segu.

Tabel 2.8. Maakasutus Kihlevere pkr. valglas 2024. aastal.

Maakasutus	Pindala, ha
taliteravili	263,7
suviteravili	309.0
taliraps	272.4
püsirohuma	199.6
liblikõielised	285.4
mustkesa	6.1
sööt	7.4
KOKKU	1343.6



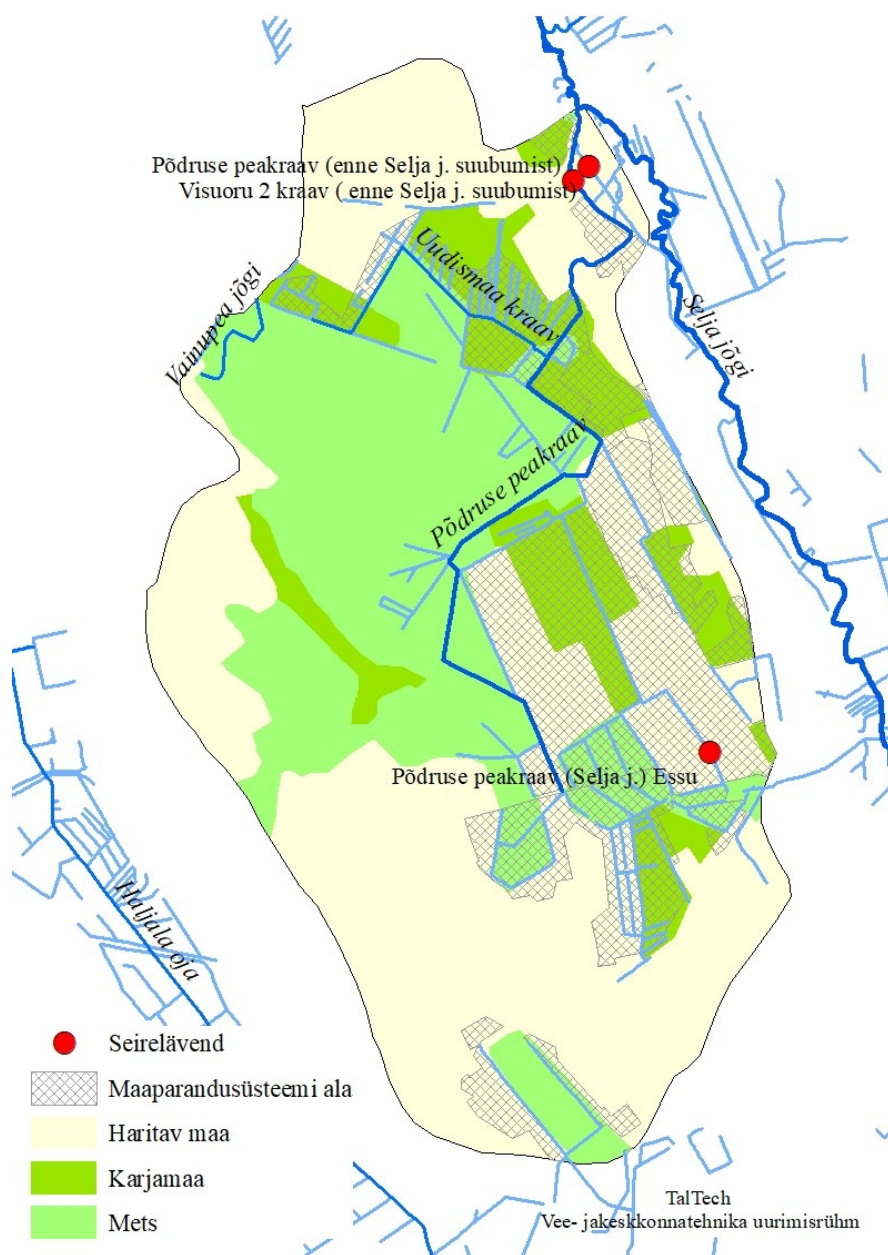
Joonis 2.5. Maakasutus Kihlevere pkr. valglas 2024. aastal.

Põdruse peakraav (Visuoja) (VEE1075700)

Põdruse peakraavi (Visuoja) valgla pindala suudme seirelävendis on 22,9 km², millest põllumajandusmaa all on CORINE alusel 15,6 km² (68%). Ülejäänud osa valglast on metsamaa, mis domineerib Põdruse valgla ülemjooksul (tabel 2.9). Suur osa põllumajandusmaast peakraavi lähises valgla osas on kuivendatud (joonis 2.6).

Tabel 2.9. Põdruse peakraavi (Visuoja) valgla CORINE maakate

CORINE maakate	Põdruse pkr. (Visuoja) (seirepunkt 6)	
	Pindala, km ²	% valgla pindalast
Haritav maa	12,3	53,8
Karjamaa	3,3	14,2
Mets	7,3	32,0
Kokku	22,9	100



Joonis 2.6. Põdruse peakraavi (Visuoja) CORINE maakate ja kuivendussüsteemid

Põdruse (Visuoja) peakraavi ülemjooksu seirelävend nr. 5 iseloomustab Essu peakraavi veekvaliteeti (joonis 2.7). Valgla pindala on 0,7 km², millest 77,1% on CORINE alusel põllumajandusmaa (tabel 2.5). Ülejäänud ala on defineeritud metsamaana. Maaparandussüsteemid paiknevad alamvalgla alamjooksu poolses osas. Valgla hõlmab ka tiike Essu mõisas, millest Essu kraav lähtub.



Joonis 2.7. Essu kraavi valgla CORINE maakate ja kuivendussüsteemid

Tabel 2.10. Essu kraavi valgla CORINE maakate

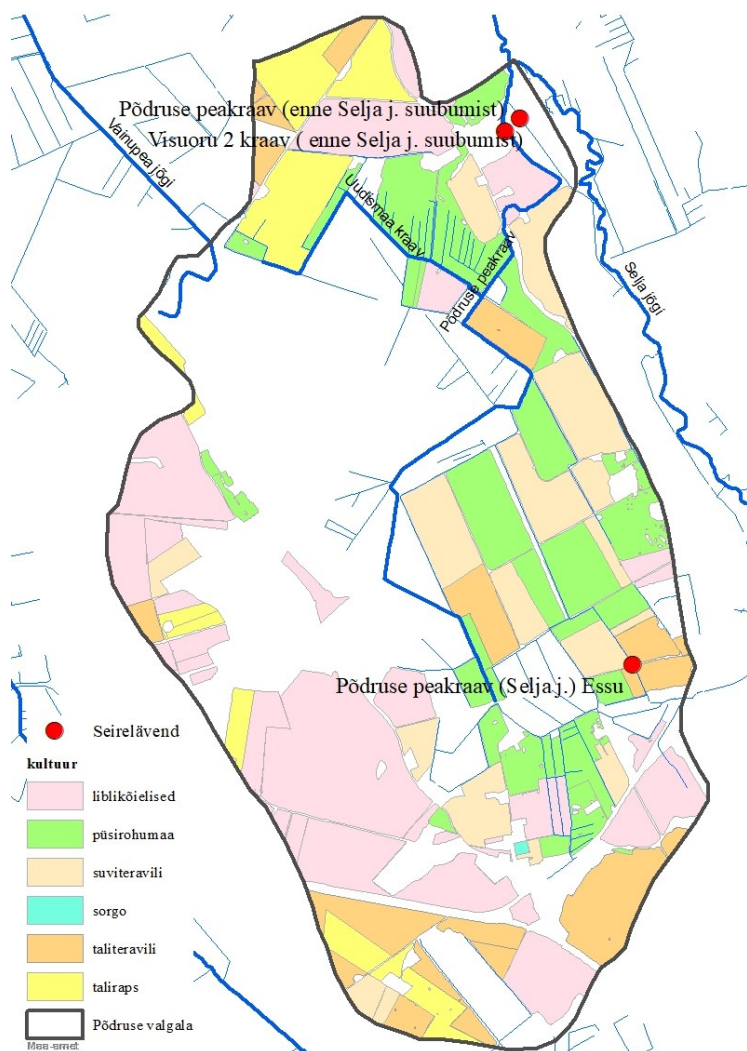
CORINE maakate	Põdruse-Essu pkr. (seirepunkt 5)	
	Pindala, km ²	% valgla pindalast
Haritav maa	0,5	69,5
Karjamaa	0,1	7,3
Mets	0,2	23,2
Kokku	0,7	100

Põdruse pkr. valglas oli taliviljade osakaal (25%) põllumajandusmaa kasutusest 2024. aastal suhteliselt väiksem kui Vohnja ja Kihlevere valglates. Suurem oli põllumajandusmaa osakaal valgla ülemjooksul ja peakraavi paremkaldal (joonis 2.8). 23% põllumajandusmaast on püsirohumaal (tabel 2.11).

Taliteraviljadest hõlmas suurema ala talinisu ja väiksemai talioder. Liblikõielisi (lutsern, põldhernes, põlduba, liblikõieliste ja kõrreliste segu) kasvatati 56%-l põllumajandusmaast.

Tabel 2.11. Maakasutus Põdruse pkr. valglas 2024. aastal.

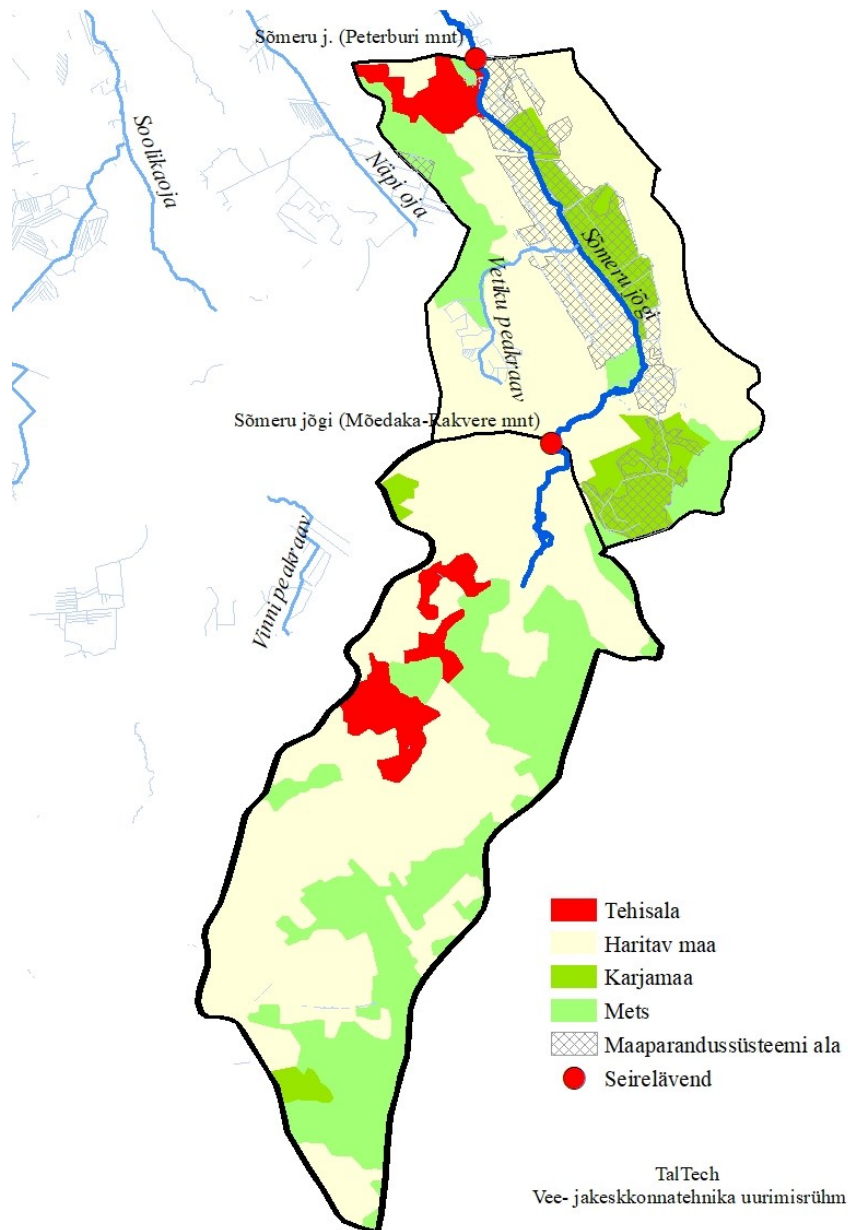
Maakasutus	Pindala, ha
liblikõielised	457.7
püsirohumaa	290.0
sorgo	1.0
suviteravili	217.3
taliraps	139.1
taliteravili	180.3
KOKKU	1285.3



Joonis 2.8. Maakasutus Põdruse pkr. valglas 2024. aastal.

Sõmeru jõgi (VEE1075600)

Sõmeru jõe valgla pindala suudmes on 85,7 km² ning Peterburi mnt. seirelävendi nr. 8 taguse valgla pindala 56,8 km² (joonis 2.9, tabel 2.12). Viimases on põllumajandusmaa osakaal valgla pindalast 71,2%, Peterburi mnt. lävendis on tähelepanuväärselt kõrge (5,1%) tehisalade osakaal valgla maakattes.



Joonis 2.9. Sõmeru jõe valgla CORINE maakate ja kuivendussüsteemid

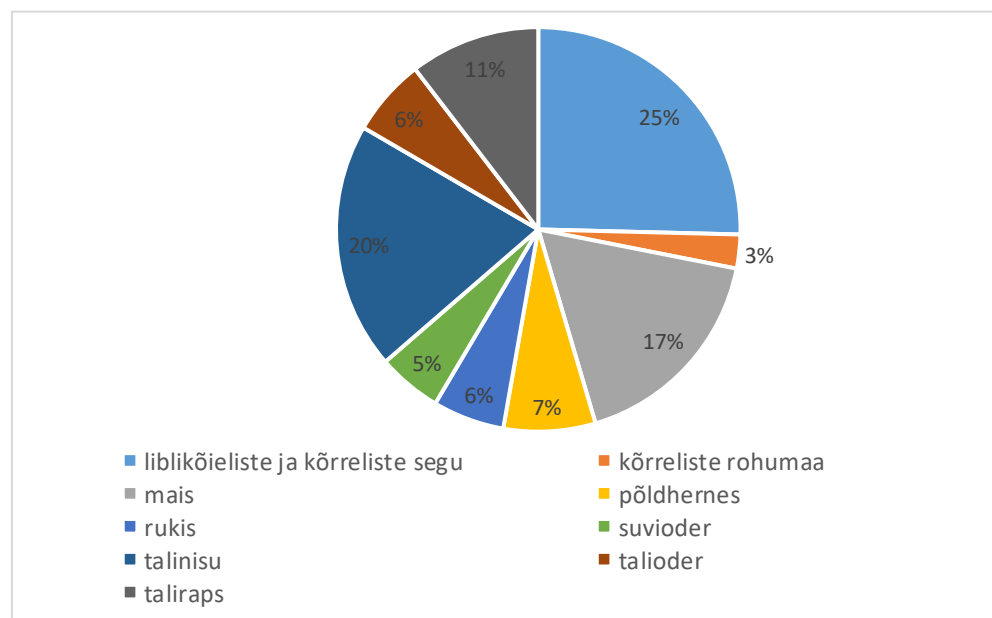
Tabel 2.12. Sõmeru jõe valgla CORINE maakate

CORINE maakate	Sõmeru-Mõedaka-Rakvere mnt _(seirepunkt 9)		Sõmeru-Peterburimnt (seirepunkt 8)	
	Pindala, km ²	% valgla pindalast	Pindala, km ²	% valgla pindalast
Tehisala	1,9	5,7	2,9	5,1
Karjamaa	0,5	1,6	4,4	7,8
Haritav maa	20,5	61,1	36,0	63,4
Mets	10,6	31,6	13,5	23,7
Kokku	33,5	100	56,8	100

Maakasutus

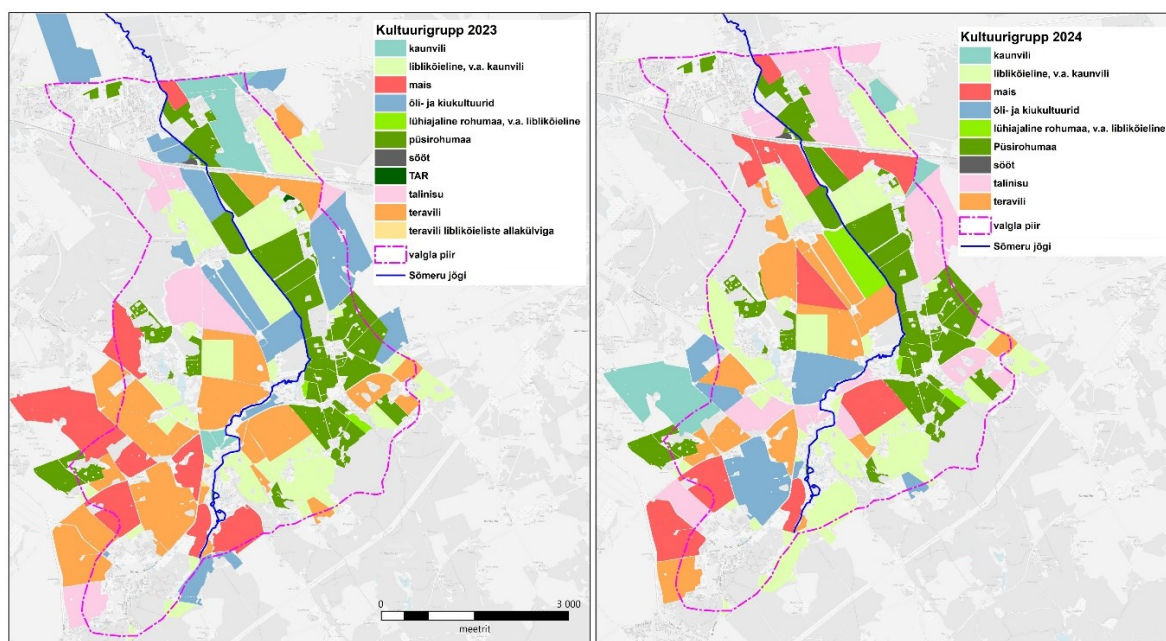
Sõmeru jõe maakasutuse andmed 2023. ja 2024. aastal koguti Maaelu Teadmuskeskuse (METK) poolt ja esitati projekti „Põllumajanduse veekaitse meetmete rakendamise tõhususe mõõtmine pilootpiirkonnas (Sõmeru jõe valgla)” vahearuandes⁴.

Valgla põllumaa külvipinna struktuur 2024. aastal on toodud joonisel 2.10. Liblikõieliste-kõrreliste ja kõrreliste rohumaa osakaal moodustas vastavalt 25% ja 3% põllumaast. Maisi kasvatati 17%-l ja põldhernest 7%-l põllumaast (joonised 2.10 ja 2.11). Söödatootmisega on seega seotud 52% põllumaast. Talinisu kasvupind moodustas 20% ja talirapsi kasvupind 11% põllumaast 2024. aastal. Püsirohumaad paiknevad valdavalt Sõmeru jõe paremkaldal jõe alamjooksu poolses valglas.



Joonis 2.10. Pilootala põllumaa külvipinna struktuur 2024. aastal. ²

⁴ Kanger, J, 2024. Valgla põllumajandustootjad, maakasutus ja toetused. *Põllumajanduse veekaitse meetmete rakendamise tõhususe mõõtmine pilootpiirkonnas I etapp 2023–2025. 2024. a. tegevuste ja tulemuste kokkuvõte*, 72 lk.



Joonis 2.11. Põllumajanduskultuuride paiknemine Sõmeru valgalal 2023. ja 2024. aastal.²

Muldade jaotuse leidmiseks valglates ja nendega seotud pinnaveekogumites kasutati Maa-ameti mullakaardi edasiarendust (Kmoht jt., 2021), mille kirjed klassifitseeriti mulla tüübi alusel kolme rühma (savirikkad mullad, liivarikkad mullad ja turvasmullad. Selle põhjal esinevad Sõmeru, Kihlevere ja Vohnja valglates valdavalt savirikkad mullad (66–82% valga pindalast; tabel 2.13) ning turvasmulade osakaal on 9–18% ja liivarikastel muldadel 0,2–18% valga pindalast. Mõnevõrra vähesemal määral esineb savirikkaid muldi Põdruse valglas (44%).

Tabel 2.13. Muldade ja kaitsmata põhjavee alade protsentuaalne jaotumine valglates ja nendega seotud pinnaveekogumites

Valgla	Turvasmullad		Savirikkad mullad		Liivmullad		Kaitsmata põhjavee ala	
	Pindala, km ²	% valga pindalast	Pindala, km ²	% valga pindalast	Pindala, km ²	% valga pindalast	Pindala, km ²	% valga pindalast
Vohnja	2,2	15,4	9,4	66,4	2,5	17,9	2,4	16,7
Kihlevere	4,9	17,9	22,5	81,8	0,1	0,2	2,7	9,8
Põdruse	4,7	20,5	10,1	44,4	7,4	32,5	16,9	73,9
Sõmeru	4,8	8,3	45,3	78,7	6,6	11,5	16,7	29,0

3. Pinnavee kvaliteet ja toitainete ärakanne

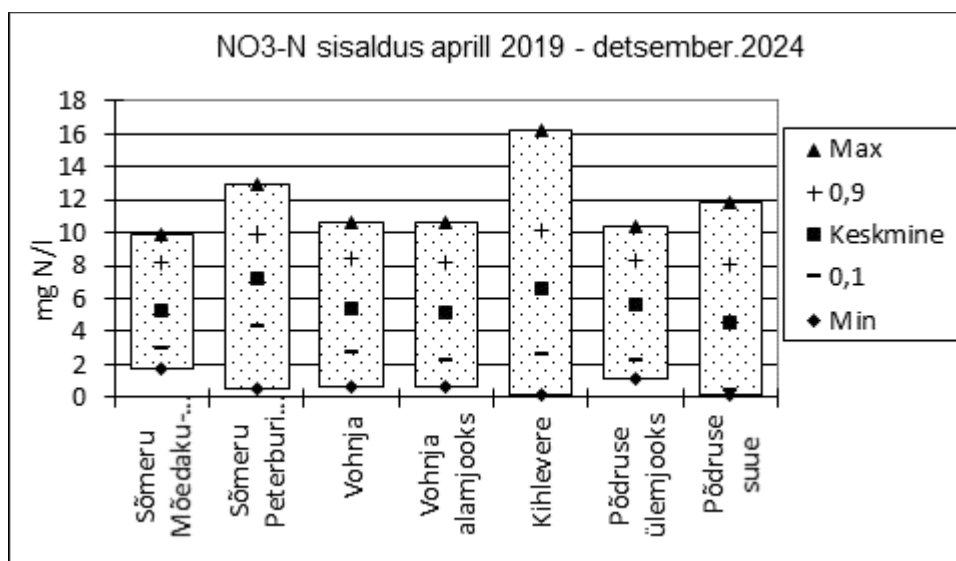
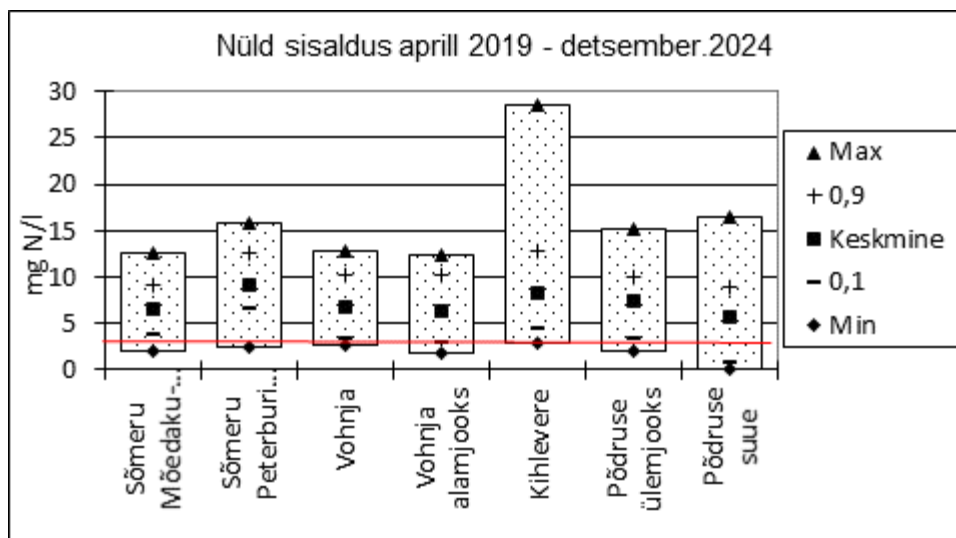
Jätkuseire üheks eesmärgiks oli hinnata pinna- ja põhjavee kvaliteeti uuritud valglates ja suundumusi toitainete ja ohtlike ainete sisalduse alusel, kasutades pikemaid andmeridasid. Samuti oli eesmärgiks hinnata suundumusi toitainete äraandes ja selle põhjuseid. Täiendavad seireandmed võimaldasid üldistusi pinnaveekvaliteedi kohta erinevates ilmastikulistest ja hüdroloogilistest tingimustes, Samuti oli võimalik kasutada statistika töövahendeid aset leidnud suundumuste kirjeldamiseks nii veekvaliteedis kui ka toitainete äraandes ning hinnata tegureid, mis toitainete sisaldust ja nende ärakannet mõjutavad.

3.1. Lämmastiku sisaldus vooluveekogudes

Vooluveekogude üldkeemia seireandmed perioodil 2019-aprill–2024 detsember on koondatud Lisas 2. $N_{\text{üld}}$ ja $NO_3\text{-N}$ minimaalsed, maksimaalsed, keskmised sisaldused ning 10% ja 90% tagatusega kontsentratsioonid vooluveekogude seirelävendites perioodil 04.2019 – 12.2024 on esitatud joonisel 3.1 ja tabelis 3.1. $N_{\text{üld}}$ keskmine sisaldus ületab vooluveekogudele kehtestatud mittehea seisundi piiri 3 mgN/L (Keskkonnaministri määrus 16.04.2020 nr. 19) kõigis uuritud lävendites. Lämmastiku sisaldus on kõrgem Kihlevere pkr. (SJB3496000) ja Sõmeru jõe Peterburi mnt. (SJA9092000) seirelävendites, vastavalt 8,4 ja 9,2 mgN/L. Lämmastiku sisalduse varieeruvus maksmaalse ja minimaalse kontsentratsioonide alusel on uuritud valglates suur, seda eriti Kihlevere peakraavis (joonis 3.1; tabelid 3.1 ja 3.2).

Ammooniumlämmastiku ($NH_4\text{-N}$) 90% tagatusega väärtus ületas perioodil 2019-2024 Keskkonnaministri määrusega nr. 19 vooluveekogudele kehtestatud hea seisundi piiri 0,3 mgN/L vaid Sõmeru jõe Rakvere-Mõedaka mnt. seirelävendis SJA0481000 (0,313 mgN/L), kus maksimaalne $NH_4\text{-N}$ sisaldus ulatus 1,11 mgN/L. Seda võib seostada põhjavee mõjuga, kuna nt. Mõdriku allika seirepunktidest (SJA7412000 ja SJB3732000) mõõdeti 2020. aasta sügisese madalveeperioodi miinimumis $NH_4\text{-N}$ väärtused kuni 0,74 mgN/L (Lisa 1). Väga hea seisundi taset ($\leq 0,10$) ületatakse ka Põdruse-Essu peakraavis (SJB3501000) ning Vohnja oja alamjooksu lävendis (SJB3510000). Valdavalt leiavad ületamised aset hilissuvel ja sügisperioodil. Kuna ka põhjavees on suurimad $NH_4\text{-N}$ sisaldused mõõdetud sügisperioodil (peatükk 4.1), siis võib pinnavee ammooniumlämmastik olla mõjutatud põhjavee vastavast näitajast. Samas võib mõlemal juhul olla tegemist ka heitvee mõjuga, sest nii Vohnja oja alamjooksul kui ka Sõmeru jõe ülemjooksul on hilissuvel/sügisel $P_{\text{üld}}$ sisaldused kõrgemad, mida saab seostada konkreetsete heitveelaskudega (vt täpsemalt peatükk 4.1).

Nitraatlämmastiku osakaal üldlämmastikust seirejõgedes varieerub seireperioodi keskmisena 78-82% piires, olles kõrgem Sõmeru ülemjooksu lävendis SJA4081000 ja Vohnja ülemjooksu lävendis SJA2287000, kus veerohked allikad toidavad jõge.



Joonis 3.1. Üldlämmastiku (ülemine) ja nitraatlämmastiku (alumine) sisaldus seirejõgedes 04.2019 – 12.2024. Punase joonega on tähistatud hea/kesise seisundi piir.

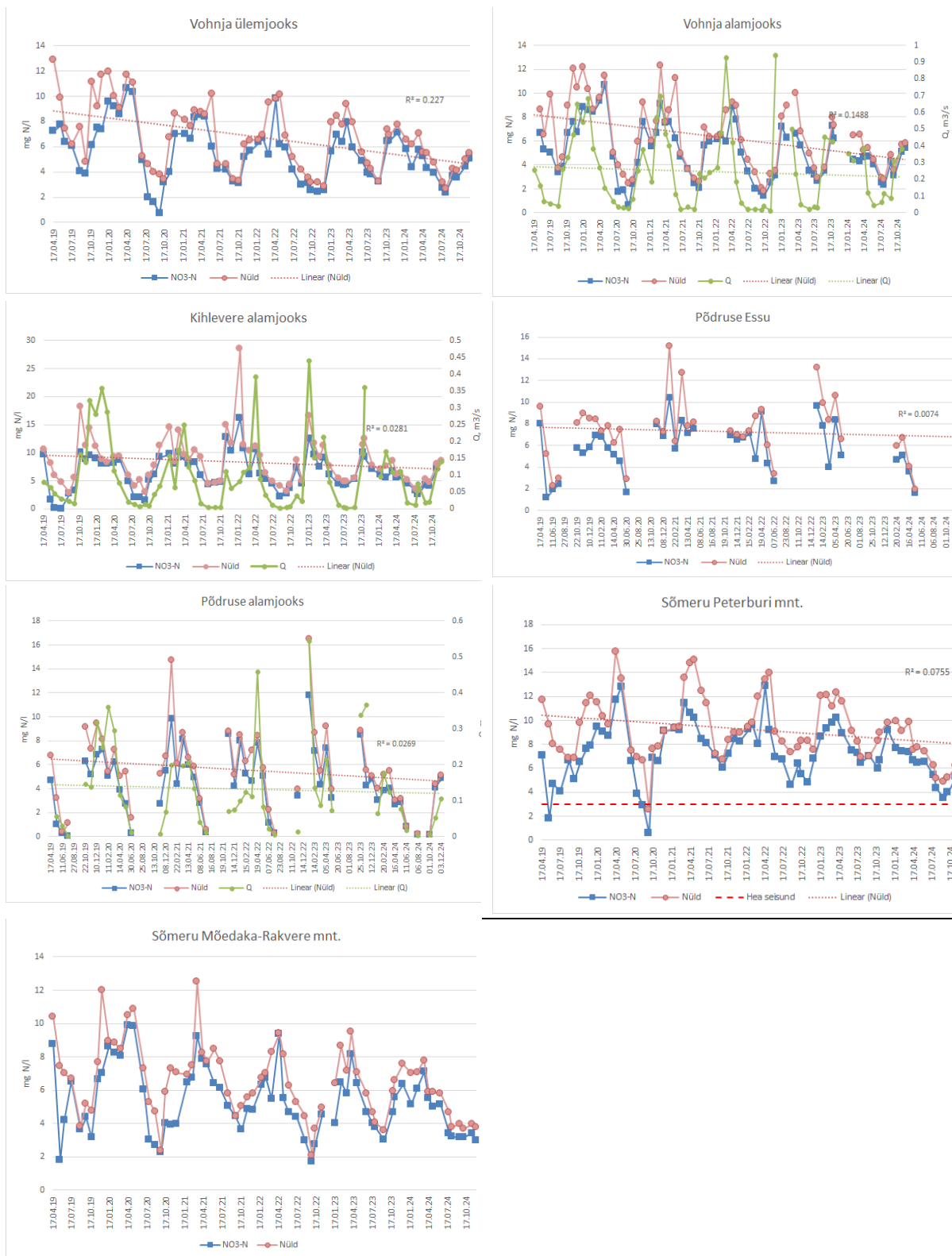
Tabel 3.1. Üldlämmastiku sisaldus (mgN/L) seirejõgedes perioodil 04.2019 – 12.2024.

Seire-lävendi nr.	Seirelävend	Max	0,9 protsentiil	Keskmine	0,1 protsentiil	Min	Mediaan
1	Vohnja oja	12,9	10,1	6,7	3,4	2,7	6,6
2	Vohnja oja suue	12,3	10,2	6,3	2,8	1,8	6,1
4	Kihlevere pkr. Kadrina-Viitna mnt	28,5	12,8	8,4	4,3	2,9	8,1
5	Põdruse-Essu	15,2	10,0	7,3	3,2	1,9	7,3
6	Põdruse alamjooks	16,5	8,9	5,6	0,8	0,1	5,5
8	Sõmeru Mõedaka-Rakvere mnt	12,5	9,1	6,5	3,8	2,1	6,6
9	Sõmeru Peterburi mnt.	15,8	12,6	9,2	6,6	2,5	9,0

Tabel 3.2. Nitraatlämmastiku sisaldus (mgN/L) seirejõgedes perioodil 04.2019 – 12.2024.

Seire-lävendi nr.	Seirelävend	Max	0,9 protsentiil	Keskmine	0,1 protsentiil	Min	Mediaan
1	Vohnja oja	10,6	8,4	5,4	2,7	0,7	5,6
2	Vohnja oja suue	10,7	8,2	5,1	2,2	0,6	5,0
4	Kihlevere pkr. Kadrina-Viitna mnt	16,2	10,1	6,6	2,6	0,12	6,2
5	Põdruse-Essu	10,4	8,3	5,7	2,2	1,2	5,7
6	Põdruse alamjooks	11,8	8,0	4,5	0,3	0,1	4,4
8	Sõmeru Mõedaka-Rakvere mnt	9,9	8,2	5,3	3,0	1,7	5,0
9	Sõmeru Peterburi mnt.	12,9	9,9	7,3	4,2	0,5	7,1

Üld- ja nitraatlämmastiku sisalduste käik seireperioodil on esitatud joonisel 3.2. Kõrgemad lämmastiku sisaldused analüüsi valdavalt kevadperioodil, aga ka soojal talvel 2019/2020, kui veebruaris oli õhutemperatuur pika perioodi vältel plussis. Põhjuseks oli kõrgenenud äravool, mis moodustas 2019/20 talvel ligi 50% aastasest äravoolust Vohnja ojas. Lämmastiku sisaldus Vohnja ojas ja Sõmeru jões on olnud alanevas suundumuses (vt. ptk. 3.4).

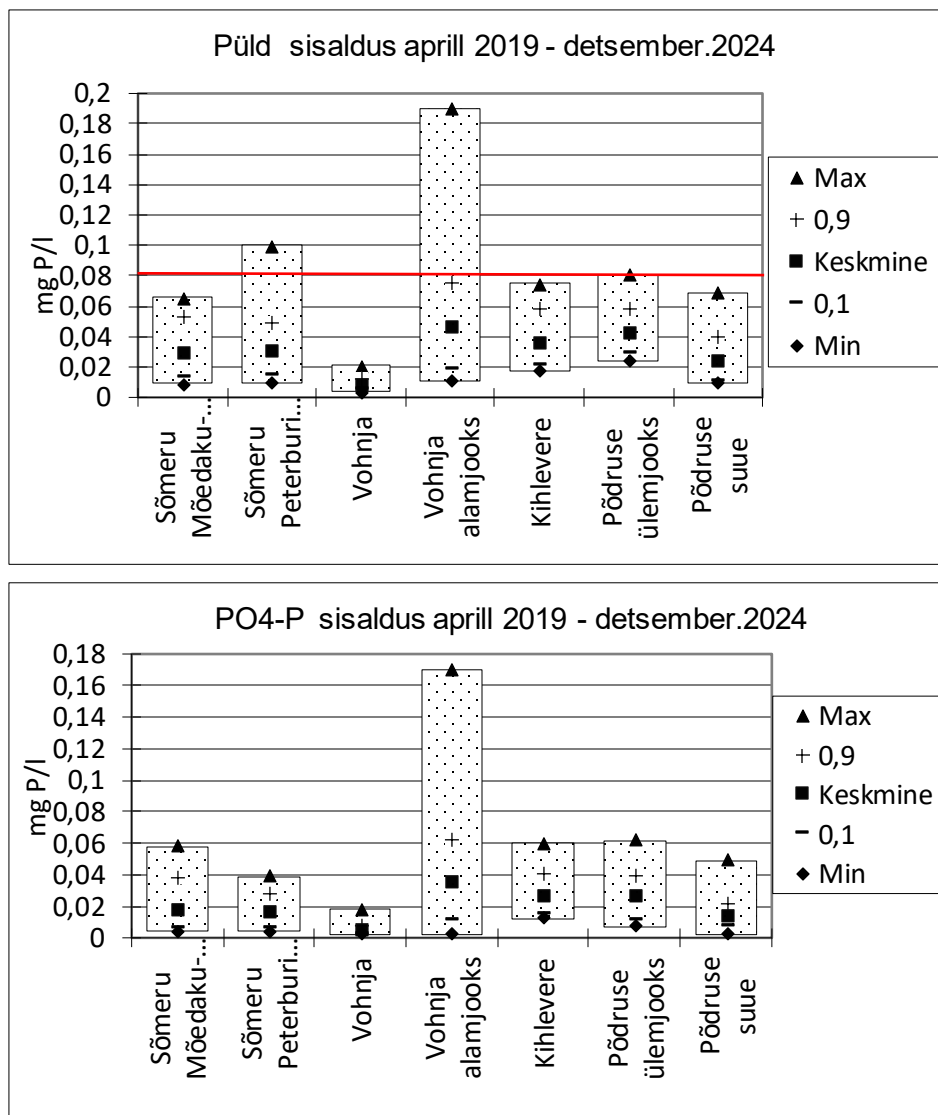


Joonis 3.2. Üld- ja nitraatlämmastiku sisaldus ja vooluhulk seirelävendites 04.2019 – 12.2024.

3.2. Fosfori sisaldus vooluveekogudes

Üldfosfori ja fosfaatfosfori minimaalsed, maksimaalsed ja keskmised sisaldused ning 10% ja 90% tagatusega väärtused vooluveekogude seirelävendites perioodil 04.2019–12.2024 on toodud joonisel 3.3 ja tabelites 3.3 ja 3.4. Üldfosfori keskmine sisaldus on kõikides uuritud vooluveekogudes suhteliselt madal ning ei ületa vooluveekogudele kehtestatud mitte-hea seisundi piiri 0,08 mg P/l selle keskmise väärtuse alusel (Keskkonnaministri määrus nr. 19). Valdavas osas seirelävenditest jääb keskmine $P_{\text{üld}}$ sisaldus väga hea seisundi ($\leq 0,05$ mgP/l) klassi. Maksimaalsed väärtused ulatuvad Vohnja oja alamjooksul, Kihlevere ülemjooksu, Sõmeru jõe alamjooksu ja Kunda-Kohala ning Pada Padaorulävendis üle 0,1 mg P/l. Vohnja oja suudmelävendis on $P_{\text{üld}}$ sisaldus oluliselt kõrgem võrreldes ülemjooksu seirelävendiga, kus põhjaveeline toitumine on rohkete allikate tõttu suur (vt ka peatükk. 4.1.1). Samas täpsemad andmed põhjavee osakaalu kohta oja toitumuses puuduvad. Fosfori sisaldus on kõrge eelkõige madalveeperioodil hilissuvel-sügisel (joonis 3.4). Vohnja oja alamjooksu lävendis, mida heitvesi mõjutab, on hilissuvised/varasügisese fosfori sisaldused oluliselt kõrgemad võrreldes vaid ca 2 kilomeetri kaugusel paikneva ülemjooksu seirelävendiga. Ülemjooksul toitub oja valdavalt rohketest allikatest. Sügisperioodil on allikate vooluhulk miinimumis ja heitveelaskude mõju oja veekvaliteedile saab selgemalt avalduda, sest allika valgalt pärineva vee lahjendav mõju on väiksem (Pärn jt., 2024). Vohnja ojas avaldub kõrgeenenud P sisaldus ka suhteliselt suurema osakaaluga fosfori sesoonses ärakandes, kus suvise P ärakande osakaal on võrreldes teiste uuritud väikevalglatega (Kihlevere, Põdruse) suurem (vt ka tabel 3.14).

$PO_4/P_{\text{üld}}$ suhe jäi uuritud jõgedes vahemikku 0,51 (Sõmeru Peterburi mnt ja Põdruse suudmeläendid) kuni 0,79 (Vohnja oja suue).



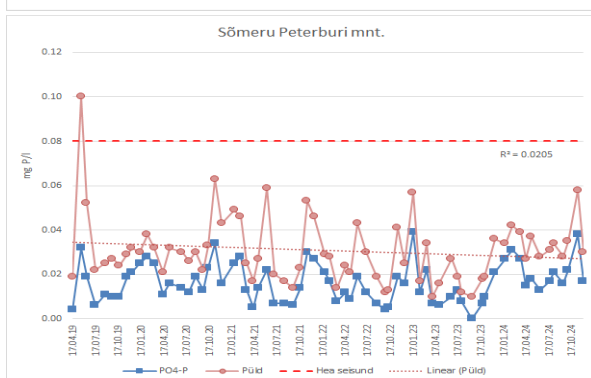
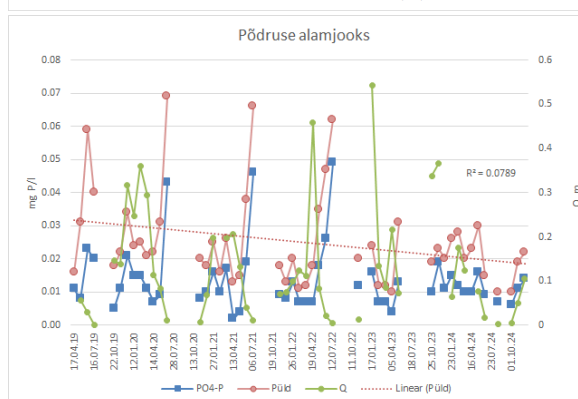
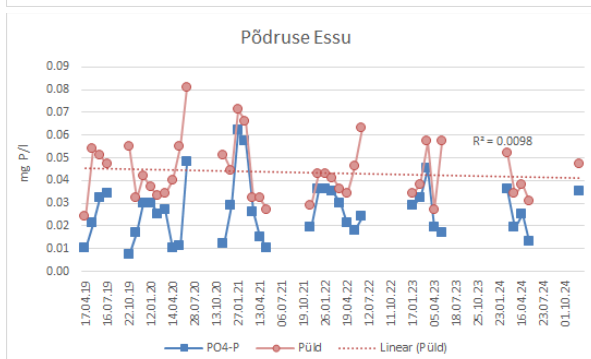
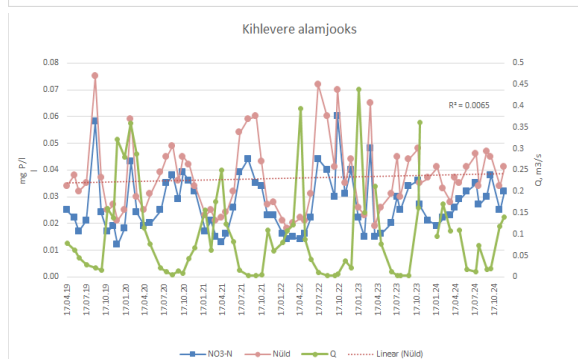
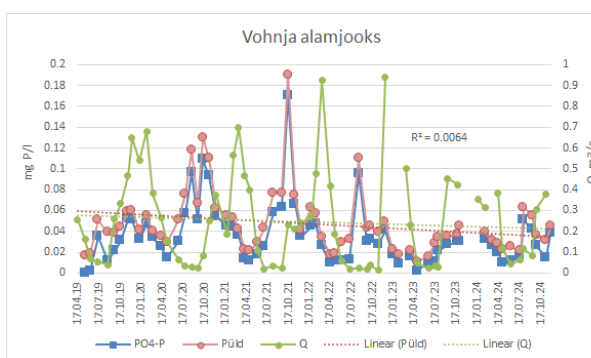
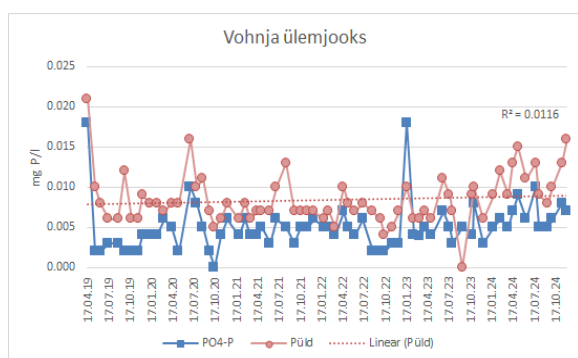
Joonis 3.3. Üldfosfori (ülemine) ja fosfaatfosfori (alumine) sisaldus seirejõgedes 04.2019 – 12.2024. Punase joonega on tähistatud hea/kesise seisundi piir.

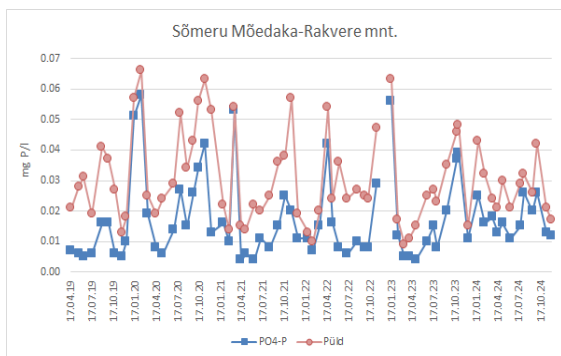
Tabel 3.3. Üldfosfori sisaldus (mgP/l) seirejõgedes perioodil 04.2019 – 12.2024.

Seire-lävendi nr.	Seirelävend	Max	0,9 protsentiil	Keskmine	0,1 protsentiil	Min	Mediaan
1	Vohnja oja	0,021	0,013	0,009	0,006	0,004	0,008
2	Vohnja oja suue	0,190	0,077	0,047	0,020	0,011	0,040
4	Kihlevere pkr. Kadrina-Viitna mnt	0,075	0,059	0,037	0,022	0,018	0,035
5	Põdruse-Essu	0,081	0,059	0,044	0,030	0,024	0,042
6	Põdruse alamjooks	0,069	0,041	0,025	0,012	0,011	0,022
8	Sõmeru Mõedaka-Rakvere mnt	0,066	0,054	0,031	0,016	0,01	0,026
9	Sõmeru Peterburi mnt.	0,1	0,050	0,033	0,018	0,014	0,028

Tabel 3.4. Fosfaatfosfori sisaldus (mgP/l) seirejõgedes perioodil 04.2019 – 12.2024.

Seire-lävendi nr.	Seirelävend	Max	0,9 protsentiil	Keskmine	0,1 protsentiil	Min	Mediaan
1	Vohnja oja	0,018	0,008	0,005	0,002	0,002	0,005
2	Vohnja oja suue	0,170	0,062	0,036	0,011	0,002	0,030
4	Kihlevere pkr. Kadrina-Viitna mnt	0,060	0,040	0,027	0,015	0,012	0,025
5	Põdruse-Essu	0,062	0,039	0,026	0,011	0,007	0,026
6	Põdruse alamjooks	0,049	0,021	0,014	0,007	0,002	0,011
8	Sõmeru Mõedaka-Rakvere mnt	0,058	0,038	0,017	0,006	0,004	0,013
9	Sõmeru Peterburi mnt.	0,039	0,028	0,017	0,007	0,004	0,016





Joonis 3.4. Üld- ja fosfaatfosfori sisalduse ning vooluhulga muutus seirejõgedes 04.2019 – 12.2024.

$N_{\text{üld}}$ ja $P_{\text{üld}}$ seireperioodi keskmise sisalduse suhe oli kõikides seirelävendites üle 100. Sõmeru jõe ja Kihlevere pkr. valglas ning Põdruse alamjooksul ulatus N/P suhe üle 200 ja oli Vohnja oja ülemjooksul isegi 786-ni (alamjooksul vaid 134), osutades kõrgele N sisaldusele ja põhjavee suurele mõjule veekvaliteedi formeerumisel (vt ka peatükk 4.1) ning fosforile kui limiteerivale toiteelemendile.

3.3. Muud kvaliteedinäitajad

Lahustunud hapniku küllastusaste vooluveekogudes 10% tagatusega oli valdavalt väga hea seisundiklassi (> 61%) tasemel (tabel 3.5). Heas seisundis (O_2 küllastusaste 50–60%) on selle indikaatori alusel vaid Vohnja ülemjooksu ja Kihlevere pkr. lävend. Keskmine hapnikusisaldus varieerus vahemikus 8,4-9,5 mg O_2 /l (Tabel 3.6).

BHT₅ seireperioodi seirelävendite keskmised jäid vahemikku 1,3–1,7mg O_2 /l ning kõikide vooluveekogude seisund on selle näitaja alusel väga hea (tabel 3.7).

Tabel 3.5. Hapniku küllastusprotsent seirejõgedes perioodil 04.2019 – 12.2024.

Seire-lävendi nr.	Seirelävend	Max	0,9 protsentiil	Keskmine	0,1 protsentiil	Min
1	Vohnja oja	87	81	69	52	18
2	Vohnja oja suue	116	101	86	75	49
4	Kihlevere pkr. Kadrina-Viitna mnt	106	95	83	72	50
5	Põdruse-Essu	100	91	77	64	61
6	Põdruse alamjooks	126	95	82	68	61
8	Sõmeru Mõedaka-Rakvere mnt	126	107	94	82	31
9	Sõmeru Peterburi mnt.	129	100	90	80	49

Tabel 3.6. Hapnikusisaldus (mg O_2 /L) seirejõgedes perioodil 04.2019 – 12.2024.

Seire-lävendi nr.	Seirelävend	Max	0,9 protsentiil	Keskmine	0,1 protsentiil	Min
1	Vohnja oja	10,7	9,9	8,4	6,2	2,2
2	Vohnja oja suue	14,6	11,9	10,3	8,7	5,6
4	Kihlevere pkr. Kadrina-Viitna mnt	12,5	11,6	10,1	8,2	5,6
5	Põdruse-Essu	11,8	11,1	9,7	7,9	7,1
6	Põdruse alamjooks	14,6	12,0	10,3	7,8	6,1
8	Sõmeru Mõedaka-Rakvere mnt	14,8	12,8	11,1	9,5	3,1
9	Sõmeru Peterburi mnt.	14,6	12,2	10,8	9,0	6,9

Tabel 3.7. BHT₅ sisaldus (mgO₂/L) seirejõgedes perioodil 04.2019 – 12.2024.

Seire-lävendi nr.	Seirelävend	Max	0,9 protsentiil	Keskmine	0,1 protsentiil	Min
1	Vohnja oja	1,6	1,6	1,3	1,0	1,0
2	Vohnja oja suue	5,0	2,8	1,7	1,1	1,0
4	Kihlevere pkr. Kadrina-Viitna mnt	2,8	2,0	1,5	1,1	1,0
5	Põdruse-Essu	2,6	2,3	1,5	1,0	1,0
6	Põdruse alamjooks	2,6	1,6	1,3	1,0	1,0
8	Sõmeru Mõedaka-Rakvere mnt	2,5	2,2	1,6	1,1	1,0
9	Sõmeru Peterburi mnt.	2,6	2,0	1,5	1,1	1,0

Seireperioodi keskmine pH oli uuritud vooluveekogudes 7,7 7,8, indikeerides suhteliselt soodsat olukorda isepuhastuseks ja fosfori sadestumiseks nagu Eesti vooluveekogudele omane.

3.4. Suundumused toitainete sisalduses ja äravoolus perioodil 2019-2024

Lämmastiku ja BHT₅ sisalduse suundumused on mõlemis Vohnja oja lävendis (SJB3510000 ja SJA2287000) ja Sõmeru Mõedaka tee lävendis (SJA4081000) perioodil aprill 2019 kuni detsember 2024 statistiliselt oluliselt kahanevad (tabel 3.8). Ülejäänud vooluveekogudes statistiliselt olulist muutust N_{üld} ja NO₃-N sisalduses seireperioodil ei esine. 2023 ja 2024. aastal on varieeruvus N_{üld} ja NO₃-N sisalduses Vohnja oja ja Sõmeru jõe lävendites oluliselt väiksem, seda eriti maksimumkontsentratsioonide alanemise tõttu. Ammooniumlämmastiku sisaldus on olnud statistiliselt olulises (p≤0,05) kasvavas suundumuses Kihlevere pkr. (SJB3496000) ja Põdruse pkr ülemjooksu (SJB3501000) lävendites (tabel 3.8).

Üld- ja fosfaatfosfori sisalduses olulist muutust seireperioodil ei esinenud, v.a. statistiliselt oluline PO₄-P kasvav suundumus Vohnja pkr. ülemjooksu lävendis (SJA2287000) perioodil 2019-2024 (tabel 3.8). Vohnja pkr, Põdruse pkr. ja Sõmeru jõe alamjooksul on siiski statistiliselt väheoluline suundumus P_{üld} sisalduse langusele.

Tabel 3.8. Suundumused lämmastiku, fosfori ja BHT₅ sisalduses ja äravoolus 2019 aprill – 2024 detsember.

Näitaja	Vohnja (SJA2287000)		Vohnja alamjooks (SJB3510000)		Kihlevere pkr. (SJB3496000)		Põdruse-Essu (SJB3501000)		Põdruseuue (SJB3502000)		Sõmeru Mõedaka (SJA4081000)		Sõmeru- Peterburi mnt. (SJA9092000)	
	MK- test	p- value	MK- test	p- value	MK- test	p- value	MK- test	p- value	MK- test	p- value	MK- test	p- value	MK- test	p- value
NH ₄ -N	1.41	0.079	-1.42	0.079	1.81	0.035	1.90	0.029	0.58	0.281	-1.60	0.055	-1.58	0.057
NO ₃ -N	-2.16	0.015	-2.14	0.016	-0.78	0.219	1.27	0.102	-0.25	0.399	-1.56	0.059	-0.77	0.221
N _{üld}	-2.32	0.010	-2.17	0.015	-0.88	0.190	1.08	0.139	-1.05	0.146	-2.01	0.022	-0.98	0.165
PO ₄ -P	1.85	0.032	-1.15	0.125	0.79	0.214	0.66	0.255	0.56	0.287	0.51	0.306	0.34	0.367
P _{üld}	0.49	0.313	-1.37	0.085	0.91	0.181	1.15	0.125	-0.80	0.213	-1.06	0.144	-0.44	0.329
BHT ₅	-2.02	0.022	-1.99	0.023	0.32	0.375	0.09	0.466	-0.79	0.216	-2.08	0.019	-1.59	0.056
Q			-1.02	0.154	-0.75	0.227			-0.74	0.228			0.34*	0.367*

Ühepoole test. Statistiliselt oluline kui p≤0,05 (rasvasena).

* Vooluhulga seire andmed perioodi 2021 märts - 2024 detsember kohta.

3.5. Suundumused toitainete ärakandes perioodil 2019-2024

Üldlämmastiku ja üldfosfori aasta summaarne ärakanne ja valgla pinna ühikkoormus perioodil 2019 – 2024 Vohnja ojas, Kihlevere pkr., Põdruse pkr ja Sõmeru jões, kus on igakuiselt mõõdetud vooluhulka, on esitatud tabelites 3.9 ja 3.10.

Tabel 3.9. Üldlämmastiku ärakanne seireperioodidel 04. 2019 – 03. 2020, 04.2020 – 03.2021, 04.2021 – 03.2022, 04.2022-03.2023 ning 04.2023-03.2024. (Sõmeru jõgi 2021-2024).

Läveni nr.	Seirelävend	N _{üld} , tonni/a kg/ha/a		N _{üld} , tonni/a kg/ha/a		N _{üld} , tonni/a kg/ha/a		N _{üld} , tonni/a kg/ha/a		N _{üld} , tonni/a kg/ha/a	
		2019 – 2020		2020 – 2021		2021-2022		2022-2023		2023-2024	
2	Vohnja oja suue	91,3	64,7	56,6	40,1	65,1	46,2	54,9	38,9	48,5	34,4
4	Kihlevere pkr. Kadrina-Viitna mnt	51,6	18,8	22,4	8,2	30,7	11,2	39,8	14,5	33,1	12,0
6	Põdruse alamjooks	31,2	13,6	16,5	7,2	15,2	6,7	40,2	17,6	14,5	10,7
9	Sõmeru Peterburi mnt	-	-	-	-	338,9	59,7	367,1	64,6	310,9	54,7

Tabel 3.10. Üldfosfori ärakanne seireperioodidel 04. 2019 – 03. 2020, 04.2020-05.2021, 04.2021-03.2022, 04.2022-03.2023 ning 04.2023-03.2024. Sõmeru jõgi 2021-2024).

Läveni nr.	Seirelävend	P _{üld} , tonni/a kg/ha/a		P _{üld} , tonni/a kg/ha/a		P _{üld} , tonni/a kg/ha/a		P _{üld} , tonni/a kg/ha/a		P _{üld} , tonni/a kg/ha/a	
		2019 – 2020		2020 – 2021		2021-2022		2022-2023		2023-2024	
2	Vohnja oja suue	0,42	0,30	0,32	0,23	0,32	0,23	0,15	0,11	0,20	0,14
4	Kihlevere pkr. Kadrina-Viitna mnt	0,16	0,06	0,05	0,02	0,06	0,02	0,08	0,03	0,11	0,04
6	Põdruse alamjooks	0,11	0,05	0,05	0,02	0,04	0,02	0,08	0,03	0,08	0,03
9	Sõmeru Peterburi mnt	-	-	-	-	0,76	0,13	0,90	0,16	0,75	0,13

Arvutuslik üldlämmastiku seireperioodi keskmine äraanne valgla pindala hektari kohta oli kõrgem Sõmeru jões (59,7 kg/ha/a, kolme aasta andmed) ja on väga kõrge ka Vohnja ojas (44,9 kg/ha/a). Sõmeru ja Vohnja valglatele on iseloomulik ka suhteliselt suur äravoolumoodul, mis varieerus seireaastatel vahemikus 15,6-17,5 l/s/km² Sõmeru valglas ja 14,5-21,1 l/s/km² Vohnja valglas (tabel 3.11). Kihlevere ja Põdruse peakraavis on lämmastiku äraanne oluliselt vähesem, vastavalt 12,9 ja 11,2 kg/ha/a. Ka seireaastate äravoolumoodulid on väiksemad, vastavalt 4,4-10,5 l/s/km² Kihleveres ja 2,4-5,7 l/s/km² Põdruse valglas.

Tabel 3.11. Seireaastate keskmised äravoolumoodulid (l/s/km²) uuritud valglates.

Seireperiood	2. Vohnja oja suue	4. Kihlevere pkr. Kadrina-Viitna mnt	6. Põdruse alamjooks	9. Sõmeru Peterburi mnt
2019-2020	21,1	10.5	5,7	-
2020-2021	14,5	4.4	2,4	-
2021-2022	19,1	5.6	3,1	15,6
2022-2023	15,9	7.0	4,8	17,5
2023-2024	14,5	7.0	4,9	17,3

Tingimuslik MK test, kus korrigeeritakse äravoolu mõju ainete ärakandele näitab, et Sõmeru jões on $N_{\text{üld}}$ äraanne olnud statistiliselt olulises ($p \leq 0,05$) langustrendis (tabel 3.12), kusjuures $N_{\text{üld}}$ sisalduse langus on samal perioodil olnud statistiliselt väheoluline ja äravool on isegi kasvanud. See osutab olukorrale, kus lämmastiku äraanne väheneb maakasutusest pärit koormuse alanemise tõttu. Ka Kihlevere peakraavis on täheldatav statistiliselt üsna oluline ($p=0,070$) $N_{\text{üld}}$ ärakande langustrend tingimustes, kus äravoolus olulist suundumust vähenemisele ei esine.

Tabel 3.12. Tingimuslik $N_{\text{üld}}$ ärakande suundumus vooluveekogude suudmelävendites perioodil aprill 2019 – detsember 2024 (Sõmeru jões märts 2021 – detsember 2024).

$N_{\text{üld}}$	Vohnja-Peterburi	Kihlevere	Põdruse	Sõmeru
Tingimuslik MK Stat.	-1,12	-1,48	-0,24	-1,76
p-väärtus	0,132	0,070	0,405	0,039

Ühepoolne test. Statistiliselt oluline kui $p \leq 0,05$ (rasvasena).

Arvutuslik seireperioodi üldfosfori äraanne pinnaühiku kohta on kõrgem Vohnja oja valglas (0,22 kg/ha/a) ja Sõmeru jõe valglas (0,14 kg/ha/a). Kihlevere ja Põdruse peakraavis on see isegi väiksem, kui suublaks olevates suuremates jõgedes, kus see ulatus 2014-2019 keskmisena 0,15 kgP/ha/a Loobu jões ja 0,18 kgP/ha/a Selja jões ja (tabel 3.13),

Tabel 3.13. Vooluhulgaga keskmistatud lämmastiku ja fosfori pinna ühikkoormus jõgede püsiseirejaamades 2014-2019.

Jõgi/seirejaam/kogumi kood		Pinna ühikkoormus veekeemia seirelävendis
		kg/ha/a
Selja	N _{üld}	21,3
SJA3956000	P _{üld}	0,18
1074600_4		
Loobu	N _{üld}	12,8
SJA5258000	P _{üld}	0,15
1077900_2		

Suurem osa, keskmiselt vastavalt 47% (varieeruvusaastate lõikes 32-68%) ja 50% (31-65%) lämmastikust kantakse Vohnja ja Sõmeru valglas minema kevadperioodil (märts-mai). Talvine (detsember-veebuar), ärakanne seireperioodil 2019-2024 (Sõmeru jões 2021-2024) nendes valglates moodustab keskmiselt vastavalt 30% ja 26% aastasest koormusest (tabel 3.14). Kihlevere ja Põdruse peakraavis moodustas suurema osa (42% ja 44%) talvine N ärakanne ning kevadel lisandus veel vastavalt 33% ja 35%. Varieeruvus erinevate aastate lõikes on samas suur.

Tabel 3.14. N_{üld} ja P_{üld} keskmine ärakanne seireperioodi 2019-2024 (Sõmeru 2021-2024) erinevatel sesoonidel.

Sesoon	Vohnja		Kihlevere		Põdruse		Sõmeru	
	N %	P %	N %	P %	N %	P %	N %	P %
Kevad	47	31	33	33	35	38	50	39
Suvi	8	11	3	8	0,5	5	14	20
Sügis	15	22	21	20	20	16	9	9
Talv	30	36	42	39	44	42	26	26

Ka fosfori koormusest moodustab kõigis valglates suure osa kevadine ja talvine ärakanne. Sõmeru jões on ka suveperioodil N ja P ärakanne üsna oluline, moodustades seireperioodi keskmisena vastavalt 14% ja 20% kogu aastasest koormusest. Ka Vohnja ojas on suvise P ärakande osakaal suurem (11%), võrreldes Kihlevere ja Põdruse peakraavidega. Sõmeru jões ja Vohnja ojas oli teiste seirejõgedega võrreldes suurusjärgu võrra kõrgem ka fosfori ärakanne pinnaühiku kohta.

Tingimuslik MK-test, kus korrigeeritakse äravoolu mõju toitainete ärakandele näitab, et ühegi uuritud vooluveekogu suudmelävendis, kus mõõdetakse vooluhulka, statistiliselt olulist ($p \leq 0,05$) alanevat ega tõusvat suundumust üldfosfori koormuses perioodil 2019-2024 ei ole (tabel 3.15), ehkki Põdruse

peakraavis on see üsna oluline ($p=0.052$). Seega ei ole seireperioodil aset leidnud muutused maakasutuses mõjutanud fosfori ärakannet ei alanemise ega ka kasvamise suunas.

Tabel 3.15. Tingimuslik $P_{\text{üld}}$ ärakande suundumus vooluveekogude suudmelävendites perioodil aprill 2019 – detsember 2024 (Sõmeru jões märst 2021 – detsember 2024).

$P_{\text{üld}}$	Vohnja-Peterburi	Kihlevere	Põdruse	Sõmeru
Tingimuslik MK Stat.	-1,10	0,19	-1,63	0,65
p-väärtus	0,135	0,425	0,052	0,258

Ühepoolne test. Statistiliselt oluline kui $p \leq 0,05$ (rasvasena).

4. Põhjavee seiretulemused uuringualadel

Jätkuseire eesmärkide seas oli hinnang põhjavee kvaliteedi ja suundumuste kohta uuritud valgate toitainete ja ohtlike ainete sisalduse alusel, tuginedes pikematele andmeridadele. Lisaks oli eesmärgiks täpsustada põhjavee kvaliteedi mõju uuritud valgate pinnavee kvaliteedile (lämmastiku ja fosfori ühendid), kasutades jätkuseire raames kogutud täiendavaid andmeid.

LIFE C10.1 veeuuringute aruandes perioodi 2019–2022 kohta (LIFE IP, 2022) käsitleti põhjalikult uuringualade põhjavee üldist keemilist ja isotoopkoostist selgitamaks selle kvaliteedi kujunemise ja päritolu küsimusi. Tehtud järeldused kehtivad endiselt ka järelseire tulemuste kohta. Seepärast analüüsitakse antud töös vaid põhja- ja pinnavee vastastikmõju üldisi seaduspärasusi ja toitainete sisaldustega seotud muutusi perioodil 2019–2024, kus pikemad aegread aitavad mitmeid varasemaid järeldusi täpsustada.

4.1 Toitainete sisaldus põhjavees ja selle seosed pinnavee toitainete sisaldustega

4.1.1 Väikevalglad

Väikevalglates (Vohnja, Kihlevere ja Põdruse) toimunud järelseire võimaldas pikendada perioodil 2019–2022 mõõdetud põhja- ja pinnavee toitainete sisaldused aegridasid (LIFE IP, 2022) kuni 2024. aasta lõpuni. Tänu pikemale seireperioodile ilmes selgemalt, millistes väikevalglates on seos pinnavee ja kohaliku põhjavee vahel tugevam ja millistes nõrgem.

Põhjavee kvaliteedi üldised näitajad võrrelduna pinnaveega on toodud tabelis 4.1.

Seiratud vooluveekogude (Vohnja oja, Kihlevere peakraav ja Põdruse peakraav) põhjavee toitainete sisaldus väljendub kõige üldisemalt nende voolurežiimis. Vohnja ojas ja Kihlevere peakraavis esineb vett terve aasta jooksul. Kumbki veekogu ei olnud seireperioodil oma alamjooksul kordagi kuiv. Tõenäoliselt ei lange maapinnalähedase põhjavee tase Vohnja valglas kordagi oja tasemest madalamale ning põhjavee toide ei katke siin ka madalveeperioodil (juunist oktoobrini), kui pindmine äravool on väike või puudub. Seevastu Põdruse peakraavi voolurežiim näitab nõrgemat seost põhjaveega. Kraav oli madalveeperioodil enamasti kuiv ja vett esines siin vaid hilissügisest varasuveni (novembrist juunini). Erandiks oli 2024. aasta sademete rohke suvi, mil peakraavis esines vool veel ka augustis. Põhjavesi ei toida seega seda kraavi aastaringelt, vaid ainult sügis-talvise ja kevadise suurvee ajal kui kohalik põhjaveetase tõuseb oja tasemest kõrgele. Kuna suurvee ajal on ka pindmise äravoolu osakaal suur, siis voolab kraavis suurveeperioodil põhjavee ja maapinnalähedase äravoolu kaudu kraavi jõudnud vee segu.

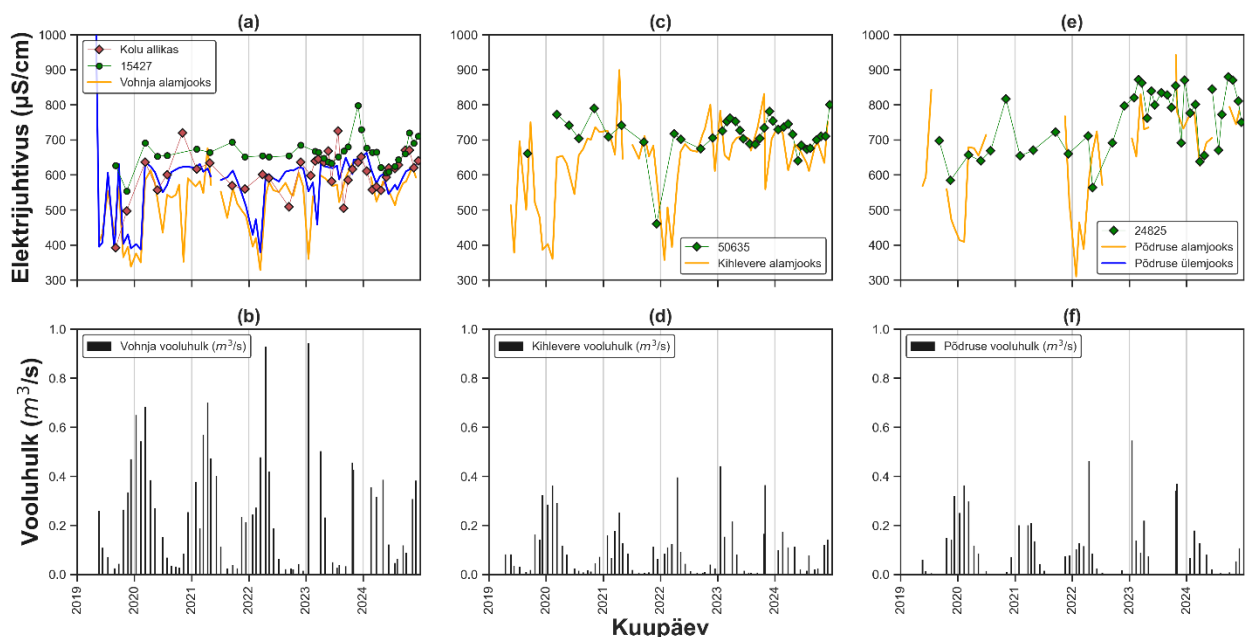
Tabel 4.1. Üldised näitajad elektrijuhtivuse, üld-lämmastiku ($N_{\text{üld}}$), nitraat-lämmastiku ($NO_3\text{-N}$), üld-fosfori ($P_{\text{üld}}$) ja ortofosfaadi ($PO_4\text{-P}$) sisalduste kohta seiratud väikevalglate (Vohnja, Kihlevere ja Põdruse) pinna- ja põhjavees perioodil 2019–2024.

Valgla		Vohnja				Kihlevere		Põdruse	
Seirepunkt		Vohnja oja (alamjooks)	Vohnja oja (ülemjooks)	Kolu allikas	Kaev nr. 15247	Kihlevere peakraav (alamjooks)	Kaev nr. 50635	Põdruse peakraav (alamjooks)	Kaev nr. 24825
Elektri- juhtivus ($\mu\text{S/cm}$)	n	64	67	38	35	67	37	48	37
	Max	676	663	725	798	899	800	955	880
	0,9 protsentiil	597	631	669	703	737	766	844	865
	Keskmine	526	569	604	662	643	712	671	752
	0,1 protsentiil	381	405	542	622	491	674	454	648
	Min	328	379	392	553	357	460	310	564
	Mediaan	552	602	616	660	669	710	698	772
$N_{\text{üld}}$ (mgN/l)	n	65	69	38	35	69	38	49	38
	Max	12,3	12,9	11,0	12,0	28,5	17,0	16,5	28,0
	0,9 protsentiil	10,2	10,1	9,1	7,9	12,8	15,0	8,9	25,0
	Keskmine	6,3	6,7	5,6	5,5	8,4	12,6	5,6	12,8
	0,1 protsentiil	2,9	3,4	2,2	2,9	4,3	9,9	0,8	1,6
	Min	1,8	2,7	0,9	1,8	2,9	5,3	0,1	0,5
	Mediaan	6,1	6,6	5,6	5,1	8,1	13,0	5,4	12,0
$NO_3\text{-N}^*$ (mgN/l ; mg/l)	n	65	69	38	35	69	38	49	38
	Max	10,7	10,6	10,8 (48)	11,7 (52)	16,2	17,7 (69)	11,8	29,4 (130)
	0,9 protsentiil	8,2	8,4	8,2 (36)	6,8 (30)	10,1	17,1 (67)	8,0	24,8 (110)
	Keskmine	5,1	5,4	5,3 (24)	5,2 (23)	6,5	13,3 (54)	4,4	12,7 (58)
	0,1 protsentiil	2,2	2,7	1,6 (7)	2,9 (13)	2,5	9,4 (41)	0,3	1,6 (7,6)
	Min	0,6	0,7	0,05 (0,2)	1,9 (8,3)	0,1	3,2 (14)	0,1	0,02 (0,1)
	Mediaan	5,0	5,6	5,4 (24)	5,1 (23)	6,2	13,8 (55)	4,3	12,3 (56)
$P_{\text{üld}}$ (mgP/l)	n	65	68	10	5	69	6	49	23
	Max	0,19	0,02	0,10	0,03	0,08	0,02	0,07	0,20
	0,9 protsentiil	0,08	0,01	0,05	0,03	0,06	0,02	0,04	0,05
	Keskmine	0,05	0,01	0,03	0,02	0,04	0,01	0,03	0,03
	0,1 protsentiil	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
	Min	0,011	0,004	0,009	<0,008	0,018	<0,007	0,010	0,010
	Mediaan	0,04	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02
$PO_4\text{-P}$ (mgP/l)	n	65	68	6	5	69	5	49	23
	Max	0,17	0,04	0,02	0,01	0,06	0,02	0,05	0,05
	0,9 protsentiil	0,06	0,01	0,02	0,01	0,04	0,02	0,02	0,04
	Keskmine	0,04	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02

0,1 protsentiil	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01
Min	0,002	0,002	<0,002	<0,002	0,012	<0,002	0,002	<0,007
Mediaan	0,03	0,01	0,01	0,005	0,03	0,01	0,01	0,01

* põhjavee seirepunktide juures on sulgudes esitatud NO_3^- sisaldused ka ühikutes mg/l

Põhja- ja pinnavee vastastikmõju ilmestab ka vee elektrijuhtivus (tabel 4.1, joonis 4.1). Joonisel 4.1 on esitatud põhja- ja pinnavee elektrijuhtivuse aegread perioodil 2019-2024 koos vastava vooluveekogu vooluhulgaga selle alamjooksul.

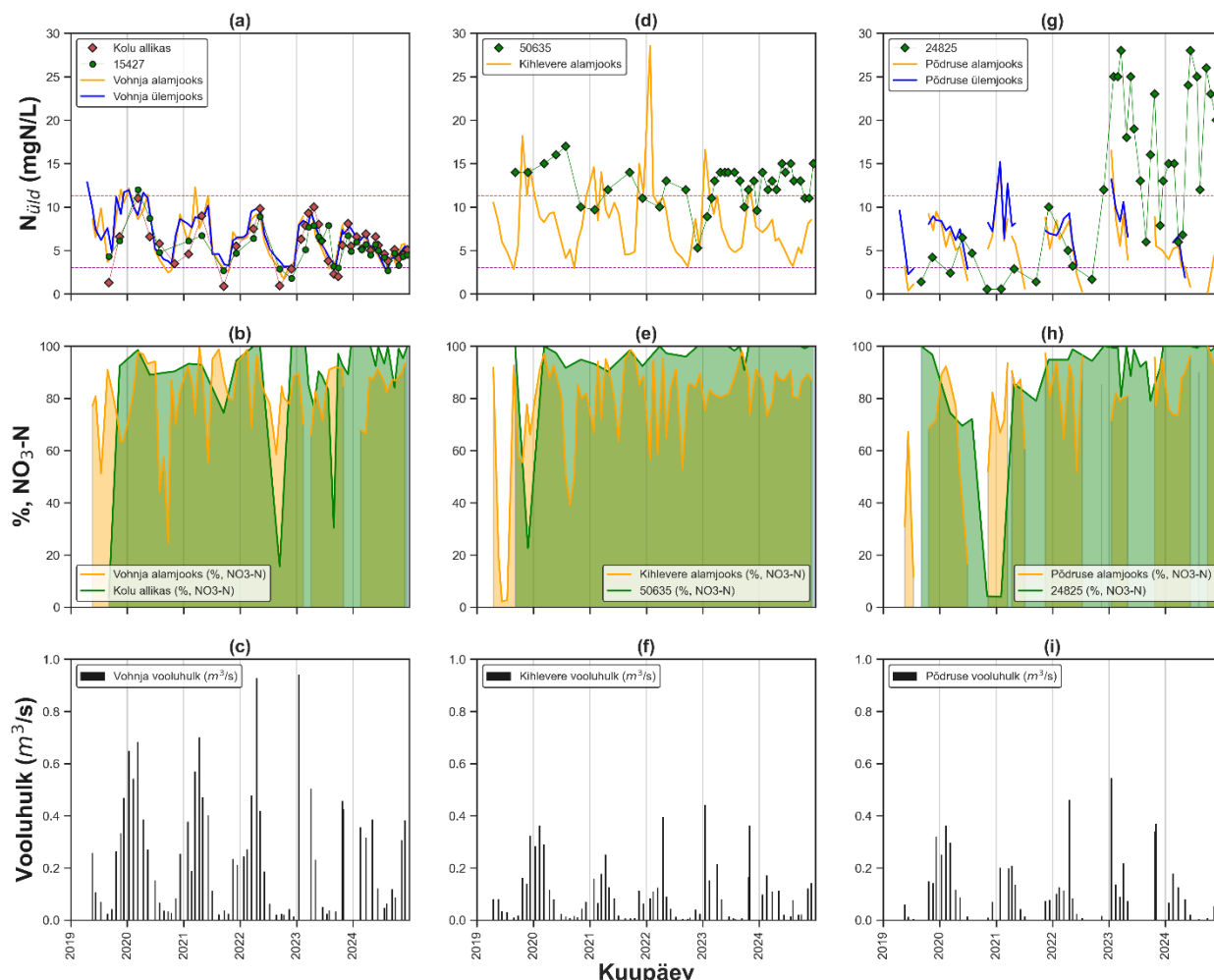


Joonis 4.1. Vee elektrijuhtivus ning vooluhulk vooluveekogude alamjooksul uuritud väikevalglates perioodil 2019-2024 – Vohnja (a, b); Kihlevere (c, d) ja Põdruse (e, f).

Põhja- ja pinnavee elektrijuhtivus on uuringualadel üsna sarnane. Põhjavee keskmine elektrijuhtivus on pinnaveest mõnevõrra suurem (tabel 4.1). See kinnitab, et kõik uuritud vooluveekogud on vähemalt teatud ulatuses põhjavee-toitelised. Iseloomulik on pinnavee elektrijuhtivuse suurem varieeruvus, mis tuleneb maapinnalähedase äravoolu mõjust (vt tabel 4.1. elektrijuhtivuse 0,9 ja 0,1 protsentiili väärtused). See on kõige selgemini nähtav suurveeperioodil, mil pinnavee elektrijuhtivus on põhjavee omast oluliselt väiksem valglalt kiiresti vooluvette valguva sademete või lumesulavee tõttu. Kõige suuremad erinevused esinesid pinna ja põhjavee elektrijuhtivuse vahel 2022. aasta kevadel ja 2023. aasta jaanuaris, mil ka vooluveekogude vooluhulk oli vaatlusperioodi suurim.

Toitainetest olid väikevalglate põhjavees enamlevinumaks lämmastikuühendid. Viimastest olid olulisemad üld-lämmastiku näitaja ($\text{N}_{\text{üld}}$) ja nitraat (NO_3^-). Teiste lämmastikuühendite sisaldus oli väike ja nii ammoniumi (NH_4^+) kui ka nitriti (NO_2^-) sisaldused jäid kas alla määramispiiri (vastavalt 0,01 mg/l

ja 0,015 mg/l) võiselle lähistele. Väikevalglate pinna- ja põhjavee $N_{\text{üld}}$ sisalduste muutus perioodil 2019 – 2024 on esitatud joonisel 4.2.



Joonis 4.2. Üld-lämmastiku ($N_{\text{üld}}$) sesoonne muutlikkus, $\text{NO}_3\text{-N}$ osakaal üld-lämmastikust ja vooluhulk vooluveekogu alamjooksul uuritud väikevalglates perioodil 2023-2024 – Vohnja (a, b, c); Kihlevere (d, e, f) ja Põdruse (g, h, i). Punane katkendjoon kirjeldab vooluveekogude (V1A, V1A-KaVo, V2A ja V3A) mitteametliku seisundi piiri $N_{\text{üld}}$ suhtes (3 mgN/L; Keskkonnaministri 16. aprilli 2020. a määrus nr. 19, Lisa 4). Lilla katkendjoon kirjeldab põhjavee kvaliteedi piirväärtust NO_3^- suhtes juhul kui kogu $N_{\text{üld}}$ esineks vees $\text{NO}_3\text{-N}$ kujul (50 mg/l ehk 11.3 mgN/L; Keskkonnaministri 1. oktoober 2019. a määrus nr. 48).

Vohnja valglas on põhja- ja pinnavee $N_{\text{üld}}$ sisaldus ja selle sesoonne muutlikkus vägasarnased (keskmised sisaldused oja alamjooksul ja põhjavees vastavalt 6,3 mgN/l ja 5,5 mg/l; tabel 4.1). Seda kinnitab ka statistiliselt oluline positiivne korrelatsioon pinna- ja põhjavee $N_{\text{üld}}$ sisalduste vahel (joonis 4.3a; $r^2=0,81$, $p<0,001$). Suurimad $N_{\text{üld}}$ ja $\text{NO}_3\text{-N}$ sisaldused esinevad Vohnja valglas kevadel suurveeperioodil ja väiksemad madalveeperioodi miinimumis (august-september). Taoline muutlikkus on seletatav lämmastikühendite leostumisega mullast või põhjaveekihte katvatest setetest põhjavee toitumise käigus. Madalveeperioodil on Vohnja valga põhjavees täheldatav KHT sisalduse suurenemine, mis viitab põhjavee toite osakaalu vähenemisele ja maapinnalähedase äravoolu mõjule (nt kraavitus), kus leidub enam lahustunud orgaanilist ainet. Madalveeperioodil on nii oja kui ka põhjavee $\text{NO}_3\text{-N}$ osakaal $N_{\text{üld}}$ -ist

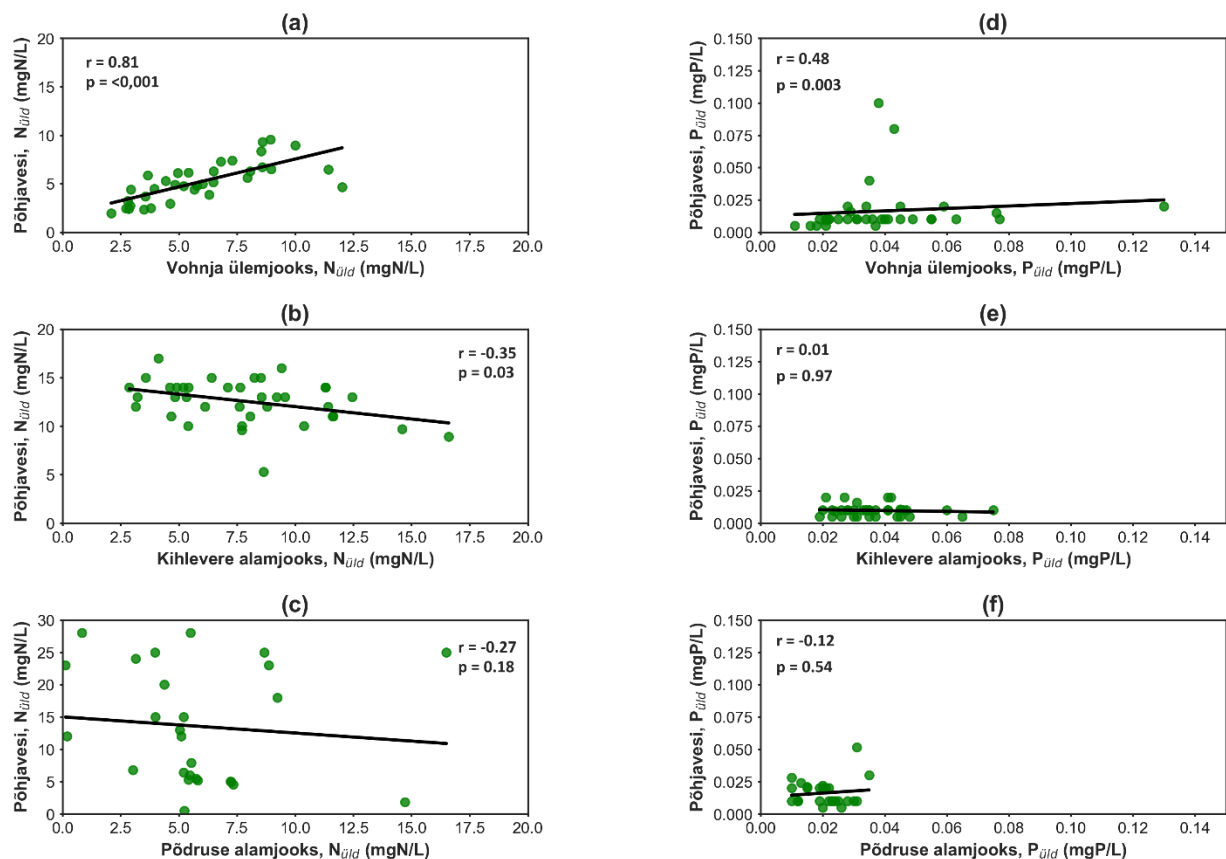
kõige väiksem langedes kohati alla 50% (nt 2022 ja 2023. aasta suvi; joonis 4.2b). Suurveeperioodil sügistalvel ja kevadel oli $\text{NO}_3\text{-N}$ osakaal $N_{\text{üld}}$ -ist >90%. Erandiks on suhteliselt sooja talve ja sademeterohke suvega 2024. aasta, mil $\text{NO}_3\text{-N}$ osakaal üld-lämmastikust oli >90% kogu aasta vältel. See viitab põhjavee toitumise pikemale kestusele sel aastal. 2024. aastal esinesid Vohnja valglas ka kogu vaatlusperioodi väikseimad $N_{\text{üld}}$ maksimumväärtused suurveeperioodil, mis oli tõenäoliselt tingitud ebastabiilsest lumikattest ja lumesulavee lahjendavast mõjust 2024. aasta talvel ja kevadel. Vohnja valglas oli NO_3^- sisaldus põhjavees üldjuhul väiksem põhjavee kvaliteedi piirväärtusest 50 mg/l (Keskkonnaministri 1. oktoober 2019. a määrus nr. 48; tabel 4.1), kuid ojas endas ületas see enamikel juhtudel vooluveekogude (V1A, V1A-KaVo, V2A ja V3A) mittehea seisundi piiri $N_{\text{üld}}$ suhtes (3 mgN/l; Keskkonnaministri 16. aprilli 2020. a määrus nr. 19, Lisa 4) ja oja $N_{\text{üld}}$ 0,1 protsentiili väärtus ülem- ja alamjooksul oli vastavalt 3,4 mgN/l ja 2,9 mgN/l.

Kihlevere ja Põdruse valglates ei olnud seosed põhja- ja pinnavee $N_{\text{üld}}$ näitaja vahel nii selged. Kihlevere valglas esineb nõrk, aga statistiliselt oluline negatiivne korrelatsioon põhjavee (puurkaev nr. 50635) ja peakraavi alamjooksu $N_{\text{üld}}$ sisalduste vahel (joonis 4.3b; $r^2=-0,35$, $p=0,03$). Põhjavees on NO_3^- ja $N_{\text{üld}}$ sisaldused suur terve aasta vältel (0,1 ja 0,9 protsentiilide vahemik vastavalt 41–67 mg/l ja 9,9–17 mgN/l; tabel 4.1). Peakraavis varieeruvad $N_{\text{üld}}$ sisaldused aga sesoonselt, olles suuremad suurveeperioodidel (kuni 28 mgN/l) ja väiksemad madalveeperioodil (2,9 mgN/l, keskmine 8,4 mgN/l; tabel 4.1). Põhjavees on N-ühendite sesoonne muutlikkus pinnavee omast oluliselt väiksem (joonis 4.2d). Nagu eelmises aruandes sedastatud (LIFE IP, 2022), on taoline olukord tõenäoliselt kujunenud seetõttu, et põhjaveekihi, mida seiratud põhjavee puurkaev avab (sügavusel 9–25 m maapinnast), ei ole läbi aasta peakraaviga seotud. Ilmselt avaldavad need Kihlevere peakraavi vee kvaliteedile mõju vaid kõrgemate põhjaveetasemete esinemise korral, mil ka $N_{\text{üld}}$ sisaldus pinnavees on suurem. $\text{NO}_3\text{-N}$ osakaal üld-lämmastikust oli Kihlevere valgla põhjavees sarnaselt Vohnja valglaga suur, olles põhjavees enamasti >90% (joonis 4.2e). Pinnavees oli see osakaal varieeruv, jäädes vahemikku 40–100%. Suurem $\text{NO}_3\text{-N}$ osakaal iseloomustas suurveeperioode ja väiksem osakaal madalveeperioode nagu Vohnja valglaski. Puurkaev nr. 50635 oli NO_3^- sisaldus põhjavees üldjuhul suurem põhjavee kvaliteedi piirväärtusest 50 mg/l (Keskkonnaministri 1. oktoober 2019. a määrus nr. 48; keskmine sisaldus 54 mg/l, tabel 4.1). Peakraavis ületas $N_{\text{üld}}$ sisaldus vooluveekogude (V1A, V1A-KaVo, V2A ja V3A) mittehea seisundi piiri (3 mgN/L; Keskkonnaministri 16. aprilli 2020. a määrus nr. 19, Lisa 4; joonis 4.2) enamikel juhtudel ($N_{\text{üld}}$ 0,1 protsentiili väärtus 4,3 mgN/l, tabel 4.1).

Põdruse valglas ei esinenud statistiliselt olulist seost põhjavee (puurkaev nr. 24825) ja peakraavi $N_{\text{üld}}$ sisalduste vahel (joonis 4.3c; $r^2=-0,27$, $p=0,17$). Sealjuures suurenesid $N_{\text{üld}}$ ja NO_3^- sisaldused puurkaevus märgatavalt alates 2022. aasta sügisest, mis tõttu olid põhjavee N-ühendite sisaldused vaatlusperioodi esimesel poolel (2019–2022) märgatavalt väiksemad kui selle teisel poolel (2023–2024; joonis 4.2g).

Viimasel kahel aastal oli põhjavee $N_{\text{üld}}$ sisaldus märgatavalt suurem kui pinnavees, kuid enne seda oli olukord vastupidine. Pinnavees kattusid suurimad $N_{\text{üld}}$ sisaldused suurema äravooluga ja vähenesid kraavi vooluhulga vähenedes. Ka põhjavees olid $N_{\text{üld}}$ sisaldused madalveeperioodil väiksemad. Põdruse valgla põhjavees oli $\text{NO}_3\text{-N}$ osakaal üld-lämmastikust üldiselt >80% (joonis 4.2h). Pinnavees muutus see vahemikus 20-100% olles suurem kõrgveeperioodil ja väiksem madalveeperioodil. Puurkaevus PRK0024825 oli NO_3^- sisaldus põhjavees uuringuperioodi esimesel poole väiksem ja aastatel 2023-2024 suurem põhjavee kvaliteedi piirväärtusest 50 mg/l (Keskkonnaministri 1. oktoober 2019. a määrus nr. 48; keskmine sisaldus vaatlusperioodil 58 mg/l, tabel 4.1). Põdruse peakraavi alamjooksul ületas $N_{\text{üld}}$ sisaldus vooluveekogude (V1A, V1A-KaVo, V2A ja V3A) mittehea seisundi piiri (3 mgN/l; Keskkonnaministri 16. aprilli 2020. a määrus nr. 19, Lisa 4; joonis 4.2) kõrgveeperioodil ja oli sellest väiksem madalveeperioodi alguses vahetult enne peakraavi kuivaks jäämist ($N_{\text{üld}}$ 0,1 ja 0,9 protsentiili väärtused vahemikus 0,8–8,9 mgN/l, keskmine 5,6 mgN/l; tabel 4.1).

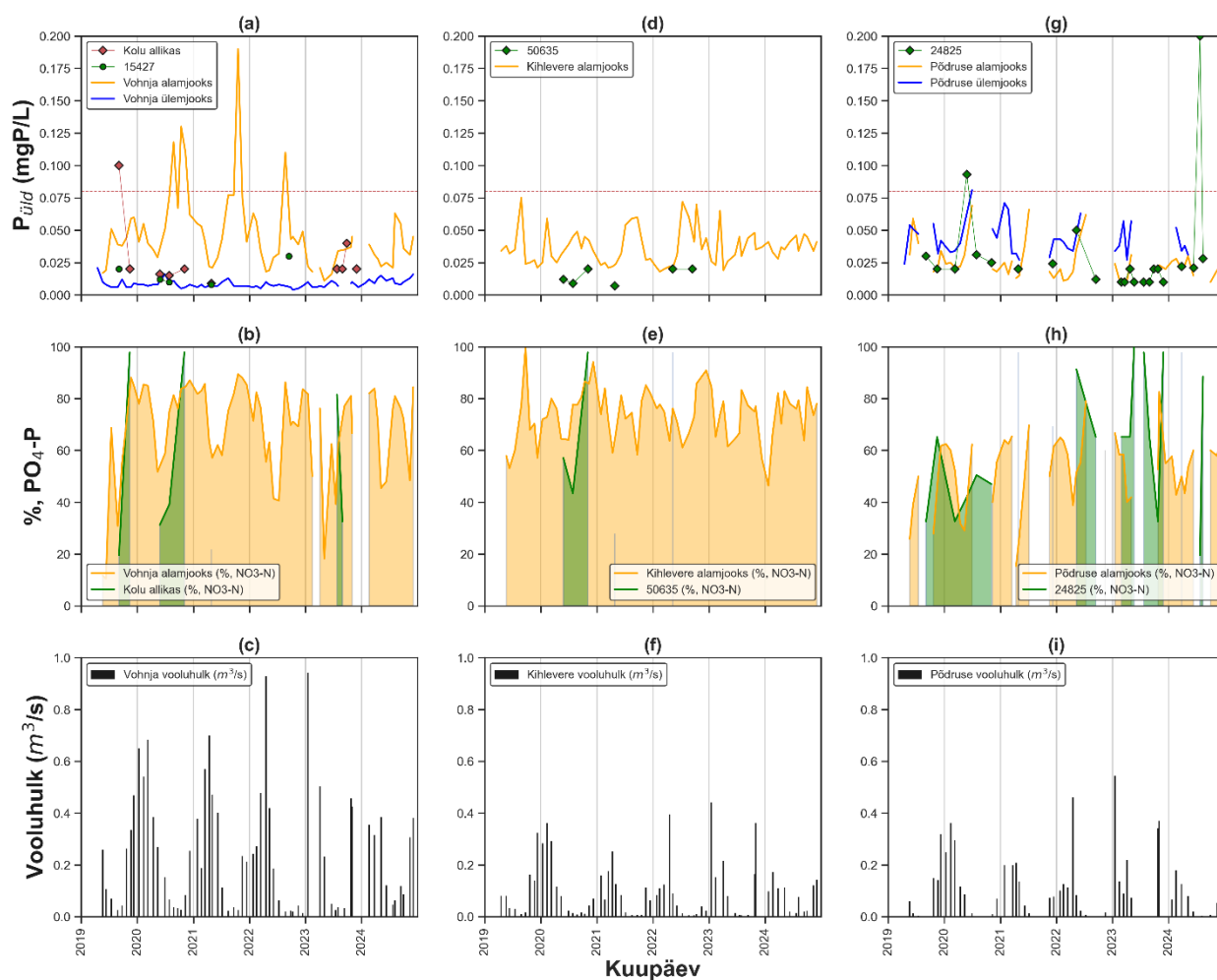
Kokkuvõtvalt näitavad pinna- ja põhjavee kvaliteedi seosed Vohnja valgla ning Kihlevere ja Põdruse valglate vahel seda, et Vohnja valglas kujunevad pinnavee $N_{\text{üld}}$ sisaldused otseselt põhjaveetoite mõjul, samal ajal kui Kihlevere ja Põdruse valgla pinnavee kvaliteedi kujunemisel olulist rolli ka pindmine äravool ja/või sademete infiltreerumisel pinnakattesse kujunevad ajutised põhjaveekihi, mida antud uuringus ei seiratud (LIFE IP, 2022). Samason Kihlevere ja Põdruse valgla aluspõhjaliste põhjaveekihtide NO_3^- sisaldused kohati väga suured ja tõenäoliselt mõjutavad nende valglate pinnavee N-ühendite sisaldust suurveeperioodidel, mil kõrgemad põhjaveetasemed suurendavad nende vooluveekogude põhjaveetoite osakaalu.



Joonis 4.3. $N_{\text{üld}}$ ja $P_{\text{üld}}$ sisalduste seosed väikevalglate vooluveekogude pinnavees ja põhjavees perioodil 2019–2024. Joonisel esitatud r -väärtus on Spearman’i korrelatsioonikordaja ja p -väärtus kirjeldab korrelatsiooni statistilist olulisust (p -väärtus $<0,05$).

$P_{\text{üld}}$ ja $PO_4\text{-P}$ sisaldused väikevalglate pinna- ja põhjavees erinevad suurel määral. Põhjavees esineb väga palju proove, kus nii $P_{\text{üld}}$ ja $PO_4\text{-P}$ olid alla labori määramispiiri ja nende sisaldused olid pinnavees esinenud sisaldustest oluliselt väiksemad (joonis 4.4; tabel 4.1). Mõnel juhul (Vohnja valgla) olid $P_{\text{üld}}$ maksimaalsed sisaldused siiski suuremad, kui vooluveekogude (V1A-V3B) mittehea seisundi piir $P_{\text{üld}}$ alusel (0,08 mgP/L; Keskkonnaministri 16. aprilli 2020. a määrus nr. 19, Lisa 4). Seega kinnitavad järeelseire andmed varasemaid tulemusi, et seiratud väikevalglates ei ole põhjavesi enamasti oluline pinnavee $P_{\text{üld}}$ allikas (LIFE IP, 2022). Seda ilmestab kõige selgemalt $P_{\text{üld}}$ sisalduse erinevus Vohnja oja ülem- ja alamjooksul (joonis 4.4a). Ülemjooksu $P_{\text{üld}}$ sisaldused on väga sarnased põhjaveest mõõdetud väikestele sisaldustele, samas kui alamjooksul on $P_{\text{üld}}$ sisaldused kohati kuni 10 korda suuremad. $N_{\text{üld}}$ sisaldused oja ülem- ja alamjooksul olid teatavasti väga sarnased (joonis 4.2a; tabel 4.1). Seega viitab $P_{\text{üld}}$ suurenemine alamjooksul fosfori pärinemisele pindmisest äravoolust või Vohnja asula heitveest, sest Vohnja oja jõuab Vohnja reoveepuhastist (PUH0591840) heitvee väljalask (HVL0591840). Seda seletust toetab asjaolu, et Vohnja oja ülem- ja alamjooksu seirelävendi vaheline valgla pindala on vaid 4,3 km² (vt peatükk 2.3), kuid kahe seirepunkti $P_{\text{üld}}$ sisaldused on märkimisväärselt erinevad (joonis 4.4a).

Kõike eelnevat kinnitab ka korrelatsioonianalüüs pinna- ja põhjavee $P_{\text{üld}}$ sisalduste vahel. Joonistelt 4.3d-f nähtub, et seos pinna- ja põhjavee $P_{\text{üld}}$ sisalduste vahel Kihlevere ja Põdruse peakraavi valglates on väga nõrk, sarnaselt põhja- ja pinnavee $N_{\text{üld}}$ sisalduste nõrgale seotusele nendes valglates. Vohnja valgla alamjooksu lävendis on pinna- ja põhjavee $P_{\text{üld}}$ sisalduste vahel aga üsna hea ($r^2=0,48$) ja statistiliselt oluline ($p=0,003$) seos (joonis 4.3d), mis viitab olukorrale, kus pinnavee $P_{\text{üld}}$ sisaldused võivad teatud määral olla mõjutatud põhjavee $P_{\text{üld}}$ sisalduste poolt. Samas on erinevus $P_{\text{üld}}$ sisaldustes Vohnja oja ülem- ja alamjooksul (joonis 4.4a) suur. Ülemjooksul on $P_{\text{üld}}$ sisaldused vooluvees ja põhjavees sarnaselt madalal tasemel. Alamjooksul on aga iseloomulik $P_{\text{üld}}$ sisalduse suur varieeruvus tingituna tõenäoliselt heitvee mõjust veekvaliteedile erinevatel sesoonidel.



Joonis 4.4. Üld-fosfori ($P_{\text{üld}}$) sesoonne muutlikkus, $\text{PO}_4\text{-P}$ osakaal $P_{\text{üld}}$ -ist ja vooluhulk vooluveekogu alamjooksul uuritud väikevalglates perioodil 2023-2024 – Vohnja (a, b, c); Kihlevere (d, e, f) ja Põdruse (g, h, i). Punane katkendjoon kirjeldab vooluveekogude (V1A, V1A-KaVo, V2A ja V3A) mittehea seisundi piiri $P_{\text{üld}}$ suhtes (0,08 mgP/L; Keskkonnaministri 16. aprilli 2020. a määrus nr. 19, Lisa 4).

4.1.2 Sõmeru jõe valgla

Sõmeru jõe valgla seirati tegevuse C10.1 seirepunktidest järelseire käigus vee kvaliteeti Mõdriku Hiieallikate (Mõdriku mõisa allikad) ja Vetiku allikate väljavoolus ning Rägevere allikas. Viimane kuulub suuremasse Mõdriku Vanaküla (Veskijärve) allikate gruppi. Mõdriku Hiieallikate vesi on seotud Sõmeru jõe ülemjooksu seirepunktiga, mis asub Vetiku ojust ja Mõdriku Veskijärve allikatest ülesvoolu. Tänu suuremale vooluhulgale mõjutavad Sõmeru jõe alamjooksu seirepunkti enam just Vetiku allikate väljavool ja Mõdriku Veskijärve allikate grupp, mida esindab Rägaveere allika seirepunkt. Vastavalt sellele on põhja- ja pinnavee aegread grupeeritud ka järgnevatel joonistel ja tabelis 4.2, et pinna- ja põhjavee seoseid valgla paremini võrrelda. Lisaks tegevuse C.10 raames läbiviidud põhiseire (LIFE IP, 2022) ning järelseire käigus kogutud andmetele, on aegride koostamisel ja andmeanalüüsis kasutatud ka perioodil 2020–2022 Sõmeru valgla allikates läbiviidud teadusuuringute tulemusi (Pärn jt., 2024).

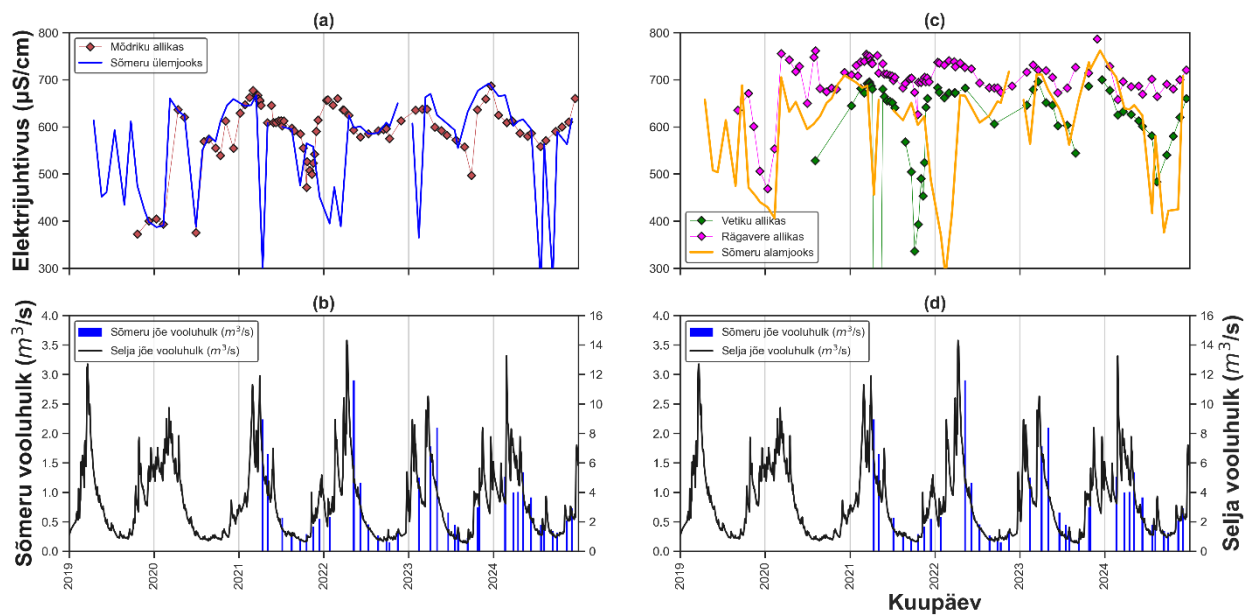
Tabelis 4.2 on esitatud kokkuvõtte vee elektrijuhtivuse andmetest perioodil 2019–2024 Sõmeru jões ja selle valgla seiratud allikates. Elektrijuhtivuse muutus ajas on esitatud joonisel 4.5. Jõe elektrijuhtivus on pinnavee kohta suur (vahemikus 300–750 $\mu\text{S}/\text{cm}$; tabel 4.2), mis viitab suurele põhjavee osakaalule. Sarnasus pinna- ja põhjavee vahel on suurem jõe ülemjooksul, kus pinnavee elektrijuhtivus on väga sarnane Mõdriku allikate elektrijuhtivusega (keskmiselt vastavalt 557 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ja 592 $\mu\text{S}/\text{cm}$; tabel 4.2, joonis 4.5a). Vaid kevadisel suurveeperioodil on jõe elektrijuhtivus allikate omast selgelt väiksem. Selle põhjuseks on tõenäoliselt väikese elektrijuhtivusega pindmise äravoolu suurem osakaal jões, mis enamikel aastatel moodustub hilistalvisest ja kevadisest lumesulaveest.

Alamjooksul on erinevused jõe ja allikate elektrijuhtivuse vahel suuremad, mida saab samuti seletada pindmise äravoolu mõjuga (keskmised väärtused jões 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ja allikates 620–700 $\mu\text{S}/\text{cm}$; tabel 4.2, joonis 4.5c). Suurimad erinevused pinna- ja põhjavee vahel esinevad kevadisel suurveeperioodil, mis tuleneb pinnavee elektrijuhtivuse oluliselt suuremast varieeruvusest põhjaveega võrreldes (indikaatoriks 0,9 ja 0,1 protsentiilide väärtused tabelis 4.2).

Tabel 4.2. Üldised näitajad elektrijuhtivuse ning üld-lämmastiku ($N_{\text{üld}}$), nitraat-lämmastiku ($NO_3\text{-N}$), üld-fosfori ($P_{\text{üld}}$) ja ortofosfaadi ($PO_4\text{-P}$) sisalduste kohta Sõmeru jõe valgla pinna- ja põhjavees perioodil 2019–2024.

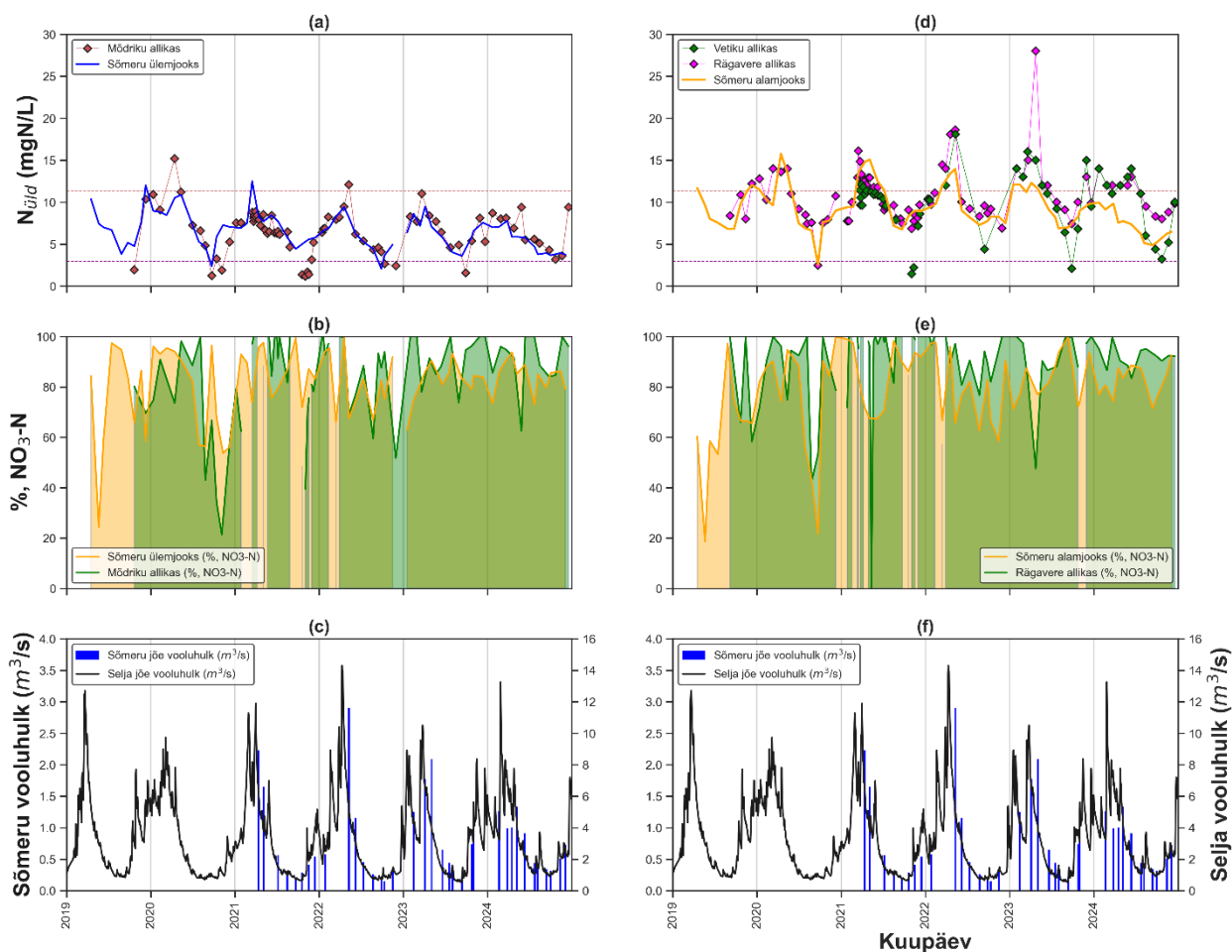
Valgla		Sõmeru				
Seirepunkt		Sõmeru jõgi (ülemjooks)	Mõdriku allikas	Sõmeru jõgi (alamjooks)	Rägavere allikas	Vetiku allikas
Elektri- juhtivus ($\mu\text{S/cm}$)	n	67	84	67	89	57
	Max	692	687	762	786	700
	0,9 protsentiil	664	659	710	743	689
	Keskmine	557	592	599	701	624
	0,1 protsentiil	390	512	424	668	516
	Min	264	372	284	469	336
	Mediaan	597	605	636	705	651
$N_{\text{üld}}$ (mgN/l)	n	68	81	69	91	50
	Max	12,5	15,2	15,8	28,0	18,1
	0,9 protsentiil	9,1	9,4	12,6	14,0	14,0
	Keskmine	6,5	6,5	9,2	10,9	10,1
	0,1 protsentiil	3,8	2,4	6,6	7,8	4,4
	Min	2,1	1,2	2,5	2,5	1,5
	Mediaan	6,6	6,6	9,0	10,4	10,8
$NO_3\text{-N}^*$ (mgN/l; mg/l)	n	68	86	69	94	61
	Max	9,9	11,2 (50)	12,9	18,1 (80)	15,6 (69)
	0,9 protsentiil	8,2	9,5 (42)	9,9	15,7 (70)	14,2 (63)
	Keskmine	5,3	5,9 (26)	7,3	10,5 (47)	9,8 (43)
	0,1 protsentiil	3,0	1,3 (6,0)	4,2	7,5 (33)	1,7 (7,4)
	Min	1,7	0,4 (1,8)	0,5	1,3 (5,8)	0,2 (1,1)
	Mediaan	5,0	6,4 (28)	7,1	9,7 (43)	10,6 (47)
$P_{\text{üld}}$ (mgP/l)	n	68	33	69	38	2
	Max	0,07	0,09	0,10	0,08	0,04
	0,9 protsentiil	0,05	0,06	0,05	0,02	0,04
	Keskmine	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03
	0,1 protsentiil	0,01	0,01	0,02	0,01	0,017
	Min	0,009	0,004	0,010	0,010	<0,02
	Mediaan	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03
$PO_4\text{-P}$ (mgP/l)	n	68	38	69	57	3
	Max	0,06	0,07	0,04	0,05	0,02
	0,9 protsentiil	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02
	Keskmine	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
	0,1 protsentiil	0,01	0,00	0,01	0,01	0,005
	Min	0,004	0,002	0,004	0,007	<0,005
	Mediaan	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01

* põhjavee seirepunktide juures on sulgudes esitatud NO_3^- sisaldused ka ühikutes mg/l.



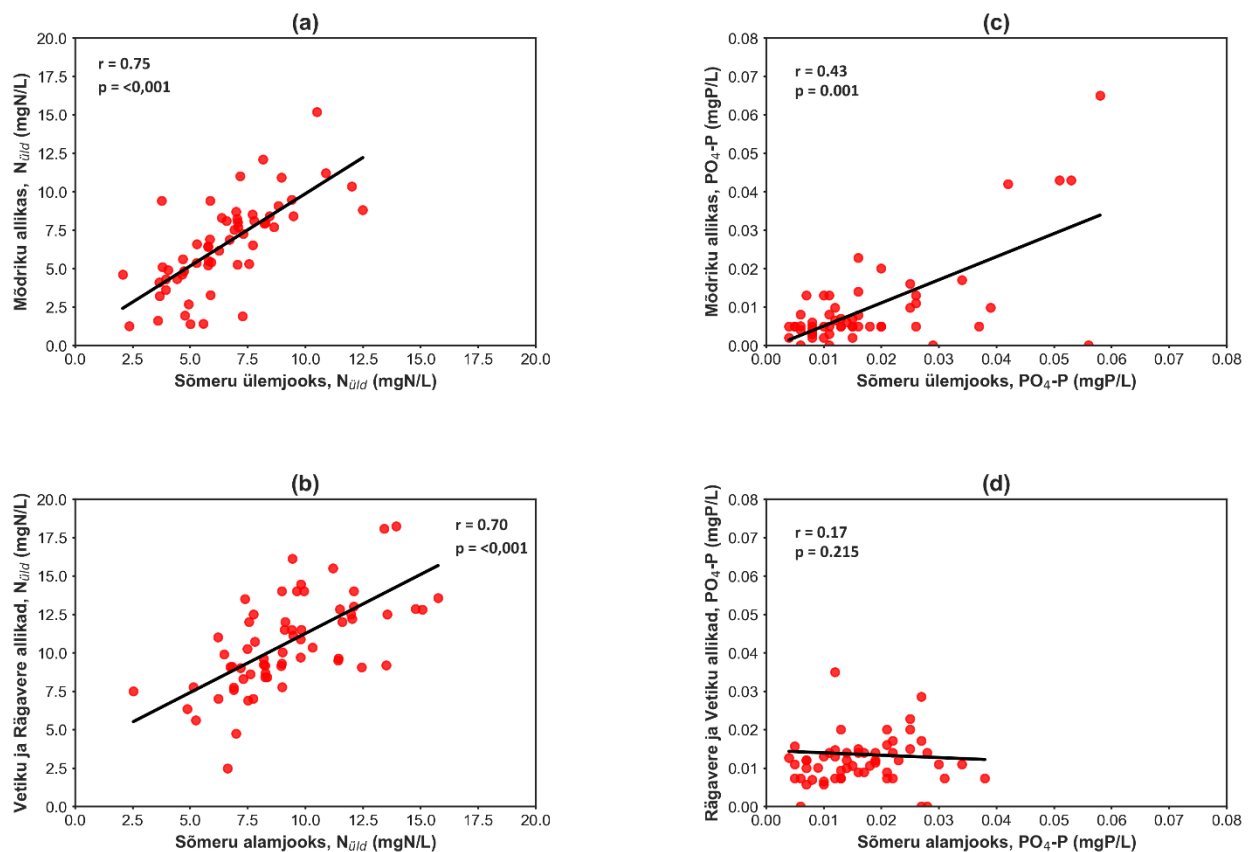
Joonis 4.5. Põhja- ja pinnavee elektrijuhtivus Sõmeru jõe ülemjooksul (a) ja alamjooksul (c) koos Selja jõe vooluhulgaga Varangu hüdromeetriaajas ja vooluhulga üksikmõõtmistega Sõmeru jões perioodil 2021–2024 (b ja d).

Sarnaselt elektrijuhtivusega on ka Sõmeru valgla pinna- ja põhjavee $N_{\text{üld}}$ ja $NO_3\text{-N}$ sisalduste sesoonne varieeruvus üsna lähedane (joonis 4.6; tabel 4.2). Sisaldused allikates on läbivalt veidi suuremad kui jões (nt $N_{\text{üld}}$ keskmised sisaldused jõe alamjooksul 9,2 mgN/l ja allikates 10–11 mgN/l; tabel 4.2). See võib osutada sellele, et pindmisel äravoolul on toitainete sisaldusele jões pigem lahjendav mõju. Jõe $N_{\text{üld}}$ sisaldus on aga pinnavee kohta väga suur, olles seireperioodi keskmisena alamjooksul 9,1 mgN/l (tabel 4.2), mis vastab pinnavee $N_{\text{üld}}$ väga halvale klassile ($>8,1$ mgN/l; Keskkonnaministri 16. aprilli 2020. a määrus nr. 19, Lisa 4). See on otseselt seostatav kõrge lämmastikühendite sisaldusega põhjavees. Nii jõe ülem- kui ka alamjooksul on lämmastikuühendite sisalduse sesoonne dünaamika sarnane põhjaveega ning esineb tugev positiivne ja statistiliselt oluline korrelatsioon pinna- ja põhjavee $N_{\text{üld}}$ sisalduste vahel (ülemjooksul $r^2=0,75$ ja $p<0,001$ ning alamjooksul $r^2=0,70$ ja $p<0,001$; joonis 4.7a,b). $NO_3\text{-N}$ osakaal $N_{\text{üld}}$ -ist on nii valgla pinna- kui põhjavees valdavalt $>80\%$ (joonis 4.6b,d). Kuna $NH_4\text{-N}$ ja $NO_2\text{-N}$ sisaldused olid valgla põhjavees pigem väikesed, moodustab ülejäänud osa üldlämmastikust orgaaniline lämmastik. Viimase osakaal oli suurem madalveeperioodil ja sügisese suurvee alguses (joonis 4.7). Suuremaid $NH_4\text{-N}$ sisaldusi esines ainult jõe ülemjooksul ja Mõdriku Hiieallikas (maksimaalsed sisaldused kuni 1,1 mgN/l), mida on varasemates uuringutes seostatud heitvee mõjuga (Pärn jt., 2024). Mõdriku Hiieallikaga on seotud nii Vinni kui Vinni-Pajusti heitveelaskmed (HVL7960039 ja HVL0592110). Jõe alamjooksul ei ületanud $NH_4\text{-N}$ sisaldused väärtust 0,14 mgN/l.



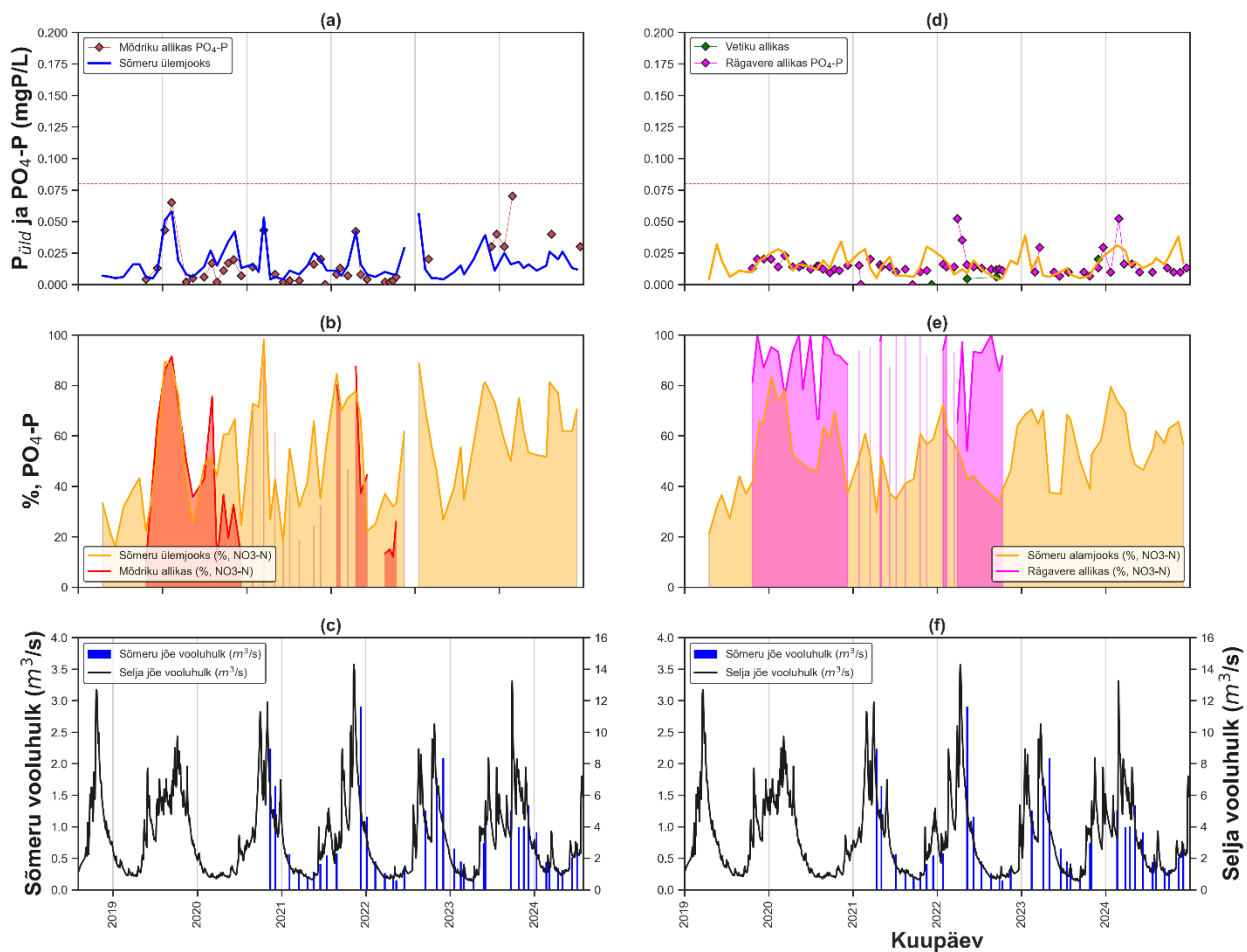
Joonis 4.6. Üld-lämmastiku ($N_{\text{üld}}$) sesoonne muutlikkus (a ja d), $\text{NO}_3\text{-N}$ osakaal üld-lämmastikust (b ja e) ja vooluhulgad Sõmeru ja Selja jõgedes (c ja f) perioodil 2023-2024. Punane katkendjoon kirjeldab vooluveekogude (V1A, V1A-KaVo, V2A ja V3A) mitteametliku seisundi piiri $N_{\text{üld}}$ suhtes (3 mgN/l; Keskkonnaministri 16. aprilli 2020. a määrus nr. 19, Lisa 4). Lilla katkendjoon kirjeldab põhjavee kvaliteedi piirväärtust NO_3 suhtes juhul kui kogu $N_{\text{üld}}$ esineks vees $\text{NO}_3\text{-N}$ -ina (50 mg/l ehk 11.3 mgN/l; Keskkonnaministri 1. oktoober 2019. a määrus nr. 48).

Fosforiühendite sisaldused olid Sõmeru valglas valdavalt väikesed (joonis 4.8; tabel 4.2). Terve vaatlusperioodi ulatuses (2019–2024), sai pinna- ja põhjavees võrrelda $\text{PO}_4\text{-P}$ väärtusi, sest $P_{\text{üld}}$ sisaldust põhjavees teise 2023. aastal alanud uuringu käigus enam ei määrata.



Joonis 4.7. $N_{\text{üld}}$ ja $PO_4\text{-P}$ sisalduste seosed Sõmeru jõe ülem- ja alamjooksul pinnavees ja allikates perioodil 2019–2024. Joonisel esitatud r -väärtus on Spearman'i korrelatsioonikordaja ja p -väärtus kirjeldab korrelatsiooni statistilist olulisust (p -väärtus $< 0,05$).

Põhiseire tulemused näitasid, et $PO_4\text{-P}$ moodustas jõe alamjooksul pinna- ja põhjavee $P_{\text{üld}}$ -ist vastavalt 20-60% ja 60-100% (joonis 4.8b,e). See näitab, et valdava osa $P_{\text{üld}}$ moodustas põhjavees $PO_4\text{-P}$, aga pinnavees oli olulisem osa ka orgaanilisel fosforil. Jõe ülemjooksul olid $PO_4\text{-P}$ osakaal $P_{\text{üld}}$ -ist põhjavees väiksem ja sarnane pinnaveele (20-80%; joonis 4.8b). Mõlemal juhul oli suurem $PO_4\text{-P}$ osakaal iseloomulik kevadisele kõrgveeperioodile ja väiksem osakaal esines suvisel ja varasügisel madalveeperioodil (joonis 4.8). $P_{\text{üld}}$ sisaldused jäid jões allapoole hea seisundi piirväärtust 0,08 mgP/L. Suurimad $P_{\text{üld}}$ ja $PO_4\text{-P}$ sisaldused esinesid jõe ülemjooksul, kus need küündisid jões ja Mõdriku allikas vastavalt sisaldusteni 0,07 ja 0,09 mgP/l ($P_{\text{üld}}$) ning 0,06 ja 0,08 mgP/l ($PO_4\text{-P}$; tabel 4.2). Fosforiühendite suuremaid sisaldusi Sõmeru jõe ülemjooksul võrreldes alamjooksuga on seostatud Vinni reoveepuhasti heitveelasu (HVL7960039) mõjuga, mille vesi juhitakse Mõdriku Hiieallikate kaudu Sõmeru jõkke (Pärm jt., 2024).



Joonis 4.8. Üld-fosfori ($P_{\text{üld}}$) sesoonne muutlikkus ja $PO_4\text{-P}$ osakaal $P_{\text{üld}}$ -ist Sõmeru jõe ülemjooksul (a ja b) ja alamjooksul (d ja e) ning vooluhulk Selja ja Sõmeru jões (c ja f) perioodil 2019–2024. Punane katkendjoon kirjeldab vooluveekogude (V1A, V1A-KaVo, V2A ja V3A) mittehea seisundi piiri $P_{\text{üld}}$ suhtes (0,08 mgP/l; Keskkonnaministri 16. aprilli 2020. a määrus nr. 19, Lisa 4).

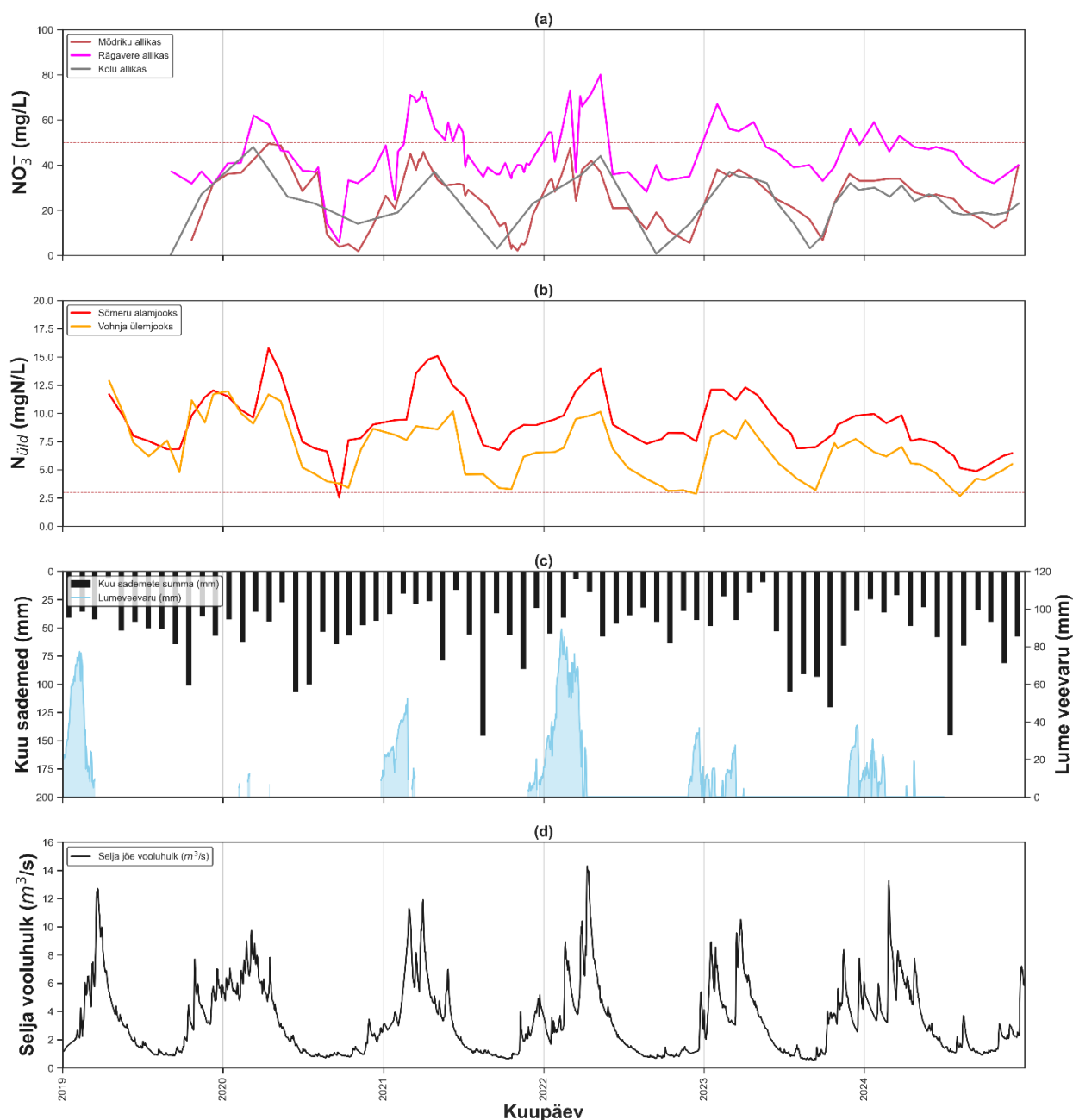
4.2 Suundumused põhjavee toitainete sisaldustes perioodil 2019–2024

Järeleire tulemused kinnitavad varasemat arusaama (LIFE IP, 2022), et uuringualadel on olulisemad põhjavee kaudu pinnavette jõudvad toitained lämmastikühendid, millest valdava osa moodustas nitraat-lämmastik ($NO_3\text{-N}$). Näitajate $N_{\text{üld}}$, $NO_3\text{-N}$ ja $NH_4\text{-N}$ võimalike trendide esinemist põhjavees vaatlusperioodil uuriti Mann-Kendalli testi abil. Ainus statistiliselt oluline ($p \leq 0,05$) trend oli $N_{\text{üld}}$ ja $NO_3\text{-N}$ tõusev suundumus kaevus nr. 24825 Põdruse valglas. Teistes põhjavee seirepunktides lämmastikuühendite sisaldustes 95% tõenäosuse juures statistiliselt olulisi trende ei esinenud. Mõdriku allikas olid kõik N-ühendid vaatlusperioodil languses, aga see langus oli statistiliselt väheoluline. Sesooneid trende polnud paljude seirepunktide puhul võimalik analüüsida (nt väikevalglad), sest hoolimata pikendatud seireperioodist ja tihedamast seirest aastatel 2023–2024 oli andmeid selleks endiselt liiga vähe.

Kaevu nr. 24825 puhul on NO_3^- suurenemine seotud lokaalsete teguritega ega peegelda laiemaid muutusi. Nitraatide sisaldus kaevus suurenes järsult 2022. aasta sügisel ja oli perioodil 2023–2024 peaaegu kaks korda suurem kui aastatel 2019–2022 (vastavalt 14 mg/l ja 79 mg/l; joonis 4.2). Sealjuures küündisid viimastel aastatel sealse põhjavee maksimaalsed NO_3^- väärtused kuni 130 mg/l, mis on üle kahe korra rohkem joogiveele kehtestatud piirsaldusest 50 mg/l (Sotsiaalministri 24. septembri 2019. a määrus nr 61). Põdruse peakraavi alamjooksul antud perioodil statistiliselt olulist $\text{N}_{\text{üld}}$ või NO_3^- -N kasvusuundumust ei esinenud (joonis 4.2). Lokaalsed tegurid, mis võisid tarbekaevu NO_3^- sisalduse suurenemist põhjustada, on väetamise suurenemine puurkaevu kinnistuga piirnevatel põldudel, kaevu tehnilise seisundi halvenemine (nt manteltoru korrodeerumine ja lekked) või vee tarbimise suurenemine. Projekti raames ei kogutud väetiste kasutamise andmeid pilootvalgates, v.a. Sõmeru jõe valgla, kus seda tehti uuringu „*Põllumajanduse veekaitse meetmete rakendamise tõhususe mõõtmise pilootpiirkonnas (Sõmeru jõe valgla)*“ raames. Puurkaevu tehnilist seisundit ei ole samuti hinnatud. Seetõttu on eelpool esitatud tegurid, mis põhjustasid NO_3^- sisalduse suurenemist Põdruse pkr. valgla puurkaevu vees eelduslikud. Kaevu seisundi hindamine vajaks sellekohast inventuuri.

Hoolimata statistiliselt olustest trendidest puudumisest enamikus põhjavee vaatluspunktides, esines aastate lõikes erinevusi pinna- ja põhjavee N-ühendite maksimaalsetes ja keskmistes sisaldustes. Need ei pruugi väljenda ainult muutusi väetiste kasutamises või rakendatud veekaitsemeetmete tõhusust. Teatud määral võivad need olla seotud ka erinevustega ilmastikus ja äravoolurežiimis, mis kas suurendavad või vähendavad N-ühendite leostumist ja vee imbumist maapinda ehk netoinfiltratsiooni (de Wit jt., 2007; Stålnacke jt., 2014). Joonisel 4.9 on kujutatud valitud põhja- ja pinnavee seirepunktide NO_3^- ja $\text{N}_{\text{üld}}$ aegread Vohnja ja Sõmeru valglast, kus esinesid kõige tugevamad seosed pinna- ja põhjavee kvaliteedi vahel. Lisaks on joonisel kujutatud Väike-Maarja meteoroloogiajaamas mõõdetud kuiste sademete summad, päevase lume veevaru muutus ning Selja jõe vooluhulk. Viimane iseloomustab madal- ja kõrgveeperioodide üldist esinemist uuringualal.

Uuringuperioodi keskmine aastane sademete hulk oli Väike-Maarja meteoroloogiajaama andmetel 620 mm/aastas. Jaam kirjeldab paremini sademete hulka Sõmeru valgla ülemjooksul, Pandivere platool. Väiksema sademete hulgaga olid aastad 2019 ja 2022 (580 ja 479 mm/a) ja enim sademeid esines 2020. ja 2023. aastal (680 ja 703 mm/a). Suurim maksimaalne lume veevaru esines 2018/2019 ja 2021/2022 aasta talvel (vastavalt 77 ja 89 mm; joonis 4.9c). 2019/2020 aasta talvel püsivat lumikatet ei moodustunud (maksimaalne lume veevaru 14 mm). Ka viimasel kahel vaatlusaastal (2023–2024) oli maksimaalne lumeveevaru väike (vastavalt 38 ja 30 mm). Suurim äravool Selja jões esines kevadel, mis järgnesid paksema ja püsivama lumikattega talvedele (2019, 2021 ja 2022. aasta kevad).



Joonis 4.9. Valitud põhja- ja pinnavee seirepunktide NO_3^- ja N_{uid} (a ja b) aegread Vohnja ja Sõmeru valglates koos Väike-Maarja meteoroloogiajaamas mõõdetud kuiste sademete summade ja päevase lumeveearu muutuse ning Selja jõe vooluhulgaga perioodil 2019–2024.

Lämmastikuühendite seost ilmastikuga väljendab kõige selgemalt kahe valgla N_{uid} ja NO_3^- -N sisalduste sarnane sesoonne muutlikkus. Teineteisega kattuvad ajaliselt nii pinna-, kui põhjavee lämmastikuühendite sisalduste suurenemine sügisel, maksimaalsed sisaldused talvel ja kevadel ning sisalduste vähenemine varasuvel. Suurimad NO_3^- sisaldused esinevad põhjavees nendel kevadel, millele eelnes paksema lumikattega talv (2021. ja 2022. aasta; joonis 4.9a) ja esines suurim kevadine jõgede äravoolu maksimum (joonis 4.9d). Väiksemad maksimumsisaldused esinesid aastatel, mil püsiv lumikate puudus või oli ebaühtlane ja mil põhjavee toitumine sai toimuda ka talvel, sest pikki

külmaperioode ei esinenud (2020., 2023. ja 2024. aasta). Sarnane muster esines ka pinnavee N_{üd} sisaldustes (joonis 4.9b) Kõigil aastail esinesid suuremad lämmastikuühendite sisaldused suurveeperioodide alguses.

Taoline olukord on seletatav lämmastikuühendite akumulumisega mullas, pinnakattes (nt moreenis) või põhjaveekihi ning nende järk-järgulise leostumisega selleks soodsate ilmastikutingimuste esinedes (Metsur ja Tamm, 1994). Varasematest uuringutest (Maastik jt., 1993; Metsur & Tamm, 1994) on teada, et lämmastikuühendite (s.h nitraadi) suuremad sesoonsed muutused leiavad aset karstialadel ja põhjavee maapinnalähedases osas intensiivselt haritaval põllumaal. Sealjuures on vee kvaliteet suure väetatava põllumajandusmaa osakaaluga aladel halvem lumesulamise perioodidel ja suurte vihmasadude järel, mil mullast uhutakse välja lämmastikujäägid (Metsur & Tamm, 1994). Parimad tingimused leostumiseks esinevad Eestis varakevadeti ja lumevaestel talvedel, mil taimekasvu ei esine ja mulla bakteriaalne tegevus on pärsitud. Nitraatide leostumise seost lumikatte ja talvise õhutemperatuuriga on täheldatud ka varasemates uuringutes (Metsur & Tamm, 1994; George jt., 2004; de Wit jt., 2007). Varasem lumesula võib kaasa tuua nii maksimaalsete lämmastikuühendite sisalduste suurenemist kui ka vähenemist vastavalt sellele, kas lumesulavee infiltreerumine toob kaasa varem pinnakattes ladestunud lämmastiku mobiliseerumise või N-ühendite sisalduse lahjendumise pinna- ja põhjavees. Käesoleva uuringu andmetest nähtub, et N-ühendite sisalduste suurenemine pinna- ja põhjavees leiab aset pikaajalise ja paksu lumikattega talvedele järgneval kevadel. Nitraatide sisalduse suurenemist kevadel võib põhjustada ka sellele eelnenud põuane suvi ja sügis, mil lämmastik on saanud mulda ja pinnakattes akumulieruda (Raij-Hoffman jt., 2024). Samas näib, et mitu järjestikust sooja ja ebapüsiva lumikattega talve võivad kaasa tuua N-ühendite sisalduse vähenemise pinna- ja põhjavees (nt periood 2023–2024; de Wit jt., 2007). Läbi mitme talve toimuv netoinfiltratsioon võib vähendada mullas akumulierunud lämmastikuühendite sisaldust ja seeläbi ka pinna- ja põhjavee toitainete sisaldusi.

Lämmastikuühendite sisaldused, mis uuringualadelt leiti, iseloomustavad tõenäoliselt suuremas osas tänapäevase põllumajandustegevuse mõju. Pandivere kõrgustikul ja selle lähiümbruses, kus antud uuring (Metsur & Tamm, 1994) läbi viidi, on netoinfiltratsioon suur ja seepärast on ka põhjaveekihtide veevahetus kiirem, mis ei lase nitraadisaldustel väga suurteks kasvada. Seda näitab ka asjaolu, et Pandivere kõrgustiku allikates on nitraatide sisaldus reageerinud kiiresti (1-2 aastaga) suurtele sotsiaalmajanduslikele muutustele nagu kollektiivse põllumajanduse kokkuvarisemine 1990date aastate alguses ja Eesti liitumine Euroopa Liiduga ja sealsete põllumajandustoetuste kättesaadavaks muutumine Eesti põllumeestele 2000date aastate keskel (Pärn jt., 2024; Vainu jt., 2024). Antud järeldused lämmastiku leostumise ja ilmastiku seostest uuritud valglates on esialgsed ja vajaksid tulevikus täpsemat uurimist. Selle eelduseks on piisava pikkuse ja seiresagedusega pinna- ja põhjavee aegridade olemasolu. Eesti alale koostatud kliimaprojektsioonid ennustavad lumikatte kestuse vähenemist ja sademete hulga

suurenemist külmal poolaastal kõrgema aasta keskmise temperatuuri taustal (Jaagus & Mändla, 2014; Ruosteenoja & Jylhä, 2021). Sellised muutused hakkavad mõjutama ka toitainete ärakannet. Ilmastiku ja üldisemalt kliimamuutuste mõju toitainete ärakandele ja pinna-põhjavee vastastikmõjule Pandivere kõrgustikul uuritakse täpsemalt LIFE integreeritud projekt „Kliimamuutustega kohanemise tegevuste elluviimine Eestis“ (LIFE21-IPC-EE-LIFE-SIP AdaptEst/101069566) raames⁵, kus muuhulgas luuakse pinna-ja põhjavee mudelid viiele pilootalale Eestis. Üheks projekti pilootalaks on Sõmeru jõe valgla. Mudelite abil uuritakse pinna- ja põhjavee vastastikmõjus ja põhjavee toitumises toimuda võivad muutusi tulevikus kasutades selleks Eesti kohta täpsustatud kliimaprojektisoone.

⁵ LIFE SIP AdaptEst. Tööpakett nr 3. Kliimamuutustest mõjutatud veekogude kaardistamine ja meetmete väljatöötamine <https://lifeadapttest.ee/et/t%C3%B6paketid/kliimamuutustest-m%C3%B5jutatud-veekogude-kaardistamine-ja-meetmete-v%C3%A4ljat%C3%B5tamine> (viimati vaadatud 08.06.2025)

5. Toitainete sisaldust ja ärakannet mõjutavad tegurid

Kuna uuritud valglates, v.a. Sõmeru valgla, ei kogutud väetise kasutuse andmeid, ei ole võimalik seda siduda ka toitainete sisaldusega vooluvees. Sõmeru valgla viis Maaelu Teadmuskeskus projekti „Põllumajanduse veekaitse meetmete rakendamise tõhususe mõõtmine pilootpiirkonnas (Sõmeru jõe valgla) raames läbi ka drenivee seiret valitud põldudel ning koguti maakasutuse (väetised, põllukultuurid, saagikus) ja leostunud taimetoitainete ärakande andmeid 2023 - 2024 aastal (väetisekasutuse kohta 2019-2024). Põllu ja katselapi tasandi uuringud on hinnangu andmisel maakasutuse mõjust dreni- ja pinnavee kvaliteedile ja toitainete leostumisele kõige sobivamad, kuna suuremas jõgede valgla mõjutab tulemusi nii varieeruv maakate, maakasutus ja mullastik kui ka mullas ja veesüsteemis aset leidvad isepuhastusprotsessid.

Sõmeru valgla kahel pilootpõllul oli sarnane väetamise skeem ja kasvatatavad kultuurid. Talinisule anti 2023. aasta sügisel külvi eelselt 30 tonni veise vedelsõnnikut ($N_{\text{üld}} 142 \text{ kg/ha}$, $N_{\text{omast}} 71 \text{ kg/ha}$) ning 2024. aasta vegetatsiooniperioodil mineraalväetistega 148 kg lämmastikku, lisaks sõnnikuga 71 kg/ha⁶. Saagikuseks planeeriti 5,0 t/ha. Seirepõldude tegelik saagikus oli mõnevõrra kõrgem: 7,74 t/ha ja 8,21 t/ha. Seire näitas nitraatiooni kontsentratsiooni kiiret suurenemist väetamise järgselt, kui maksimumid ulatusid 61,2 ja 83,2 mg/l. Erinevust nitraadi sisalduses kahel põllul põhjendati erinevustega mulla lõimises ja selle orgaanilise aine sisalduses. Sõmeru jões täheldati 2023/24 talvel samuti nitraatlämmastiku sisalduse suurenemist. Põllukultuuride intensiivse kasvu faasis ja vahekultuuri herne külvi järgselt nitraatiooni kontsentratsioon drenivees 2024 vaasta suvel ja selle järgselt langes. Ka Sõmeru jões langes lämmastikusisaldus 2024. a. kevadise suurvee järgselt püsisel madalal tasemel (ca 5 mg N/l) kuni detsembrini. Ka üldfosfori sisaldus nii kevadisel kui sügisperioodil oli drenivees küllaltki kõrge ning 71% ja 60% kõigist kogutud veeproovidest kahel seirepõllul jäid halba ja väga halba kvaliteediklassi. Sõmeru jões püsis Püld sisaldus samas madalal, viidates lokaalsetele põhjustele (seirepõllu mulla lõimis), mis kergitasid P sisaldust drenivees, aga mitte oluliselt jõevees.

Taimetoitelementide, eriti lämmastiku leostumine sõltub nii kontsentratsioonist kui filtratsioonist. 2023/2024 aastal leostus Sõmeru pilootpõldudelt, kus kasvatati talinisu, suur osa nitraatlämmastikust, sügisel ja kevadel kui maksimumi saavutasid nii filtratsioon kui kontsentratsioon. Talinisu väetatakse üldiselt intensiivselt nii mineraal- kui orgaaniliste väetistega. Kuna sügisel väetati põlde orgaanilise väetisega, siis oli ka üldlämmastiku leostumine suurim just sügistalvisel perioodil. Kõrgenenud N

⁶ Kanger, J., 2024. Drenaažisüsteemi veekvaliteet. Põllumajanduse veekaitse meetmete rakendamise tõhususe mõõtmine pilootpiirkonnas (Sõmeru jõe valgla). I etapp 2023–2025”, 2024. a. tegevuste ja tulemuste kokkuvõte. Töövõtulepingu nr 4-1/22/140 aruanne, 72 lk.

ärakanne dreniveega avaldus sel perioodil ka Sõmeru jõe Nüld ärakandes. 2023-24 talvine N ärakanne moodustas 37% Nüld ja 42% Püld aastasest ärakandest. Kokku leostus üldlämmastikku seirepõldudel 47,5 kg/ha ja 49,0 kg/ha. See tase on isegi madalam võrreldes kogu jõe valgla arvutusliku Nüld koormusega mis oli 2023/24 aastal 54,7 kg N/ha/a. Selle üheks põhjuseks on ilmselt kogu valgla keskmine mineraal ja orgaanilise lämmastikvæetise kasutamine, mis on küll valgalal prevaleeriva tootmissuuna, loomakasvatuse, tõttu Eesti keskmisest ca 2 korda kõrgem, kuid siiski oluliselt madalam võrreldes pilootpõldudega (124 kgN/ha *versus* 219 kgN/ha). Eesti keskmised näitajad olid ligikaudu 2 korda väiksemad. Samas on jõe hinnanguline baasäravool kõrge (vt allpool), viidates põhjavee olulisele mõjule lämmastiku sisaldusele jões ja selle sesoonsele muutlikkusele. Toitainete ärakannet valgla mõjutab ka talvise taimkatte all oleva põllumajandusmaa osakaal. Eeldusel, et liblikõielisi segus kõrreliste heintaimedega kasvatatakse mitu aastat järjest on talvise taimkatte all pilootala põllumajandusmaast 76%. See sisaldab Sõmeru valgla loomakasvatusele suunatud tootmisviisi korral ka ulatuslikke püsirohumaids, mida väetatakse tagasihoidlikult.

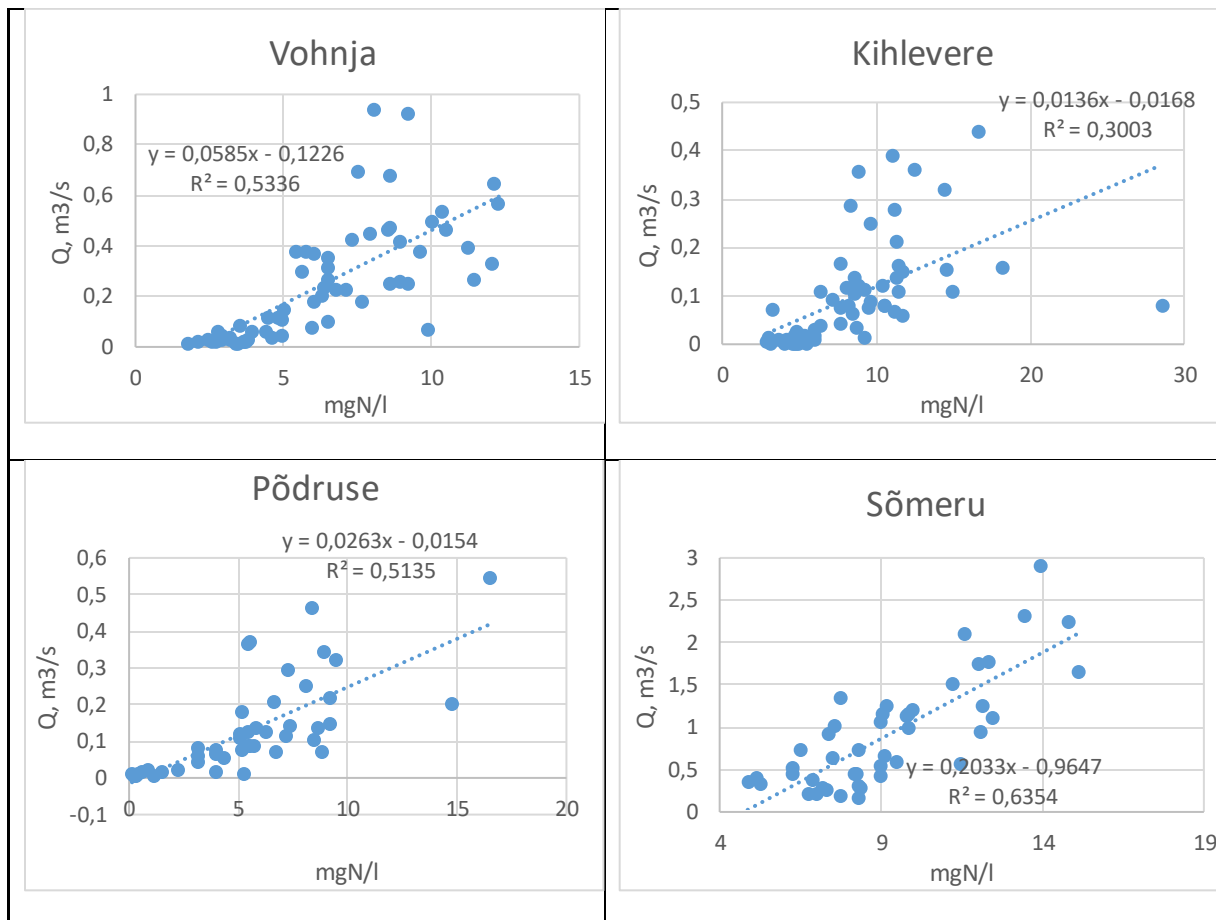
Fosforit leostus seirepõldudel 0,34 kg/ha ja 0,17 kg/ha. Suurt erinevust selgitati varieeruvusega mulla erimis ja lõimises. Põllul kus raske lõimisega mulla osakaal on suurem oli fosfori leostumine suurem. Sügistalvise perioodi mulla külmumise ja sulamise tsüklite vaheldumine tekitab saviosakeste külge kinnitunud fosforit sisaldavate mullakolloidide leostumist mulla makropooride kaudu.

Lämmastiku bilanss omastatava lämmastiku sisalduse järgi oli seirepõldudel 66 kg/ha ja 57 kg/ha Lämmastiku üldbilanss ulatus aga 137 ja 128 kg/ha ning vedelsõnniku või mineraalse N kasutamisel peab järgima taime vajadusi, et ei tekiks leostumise suurenemise ohtu. Fosfori bilanssi hindas kalkulaator suure P-sisaldusega mullal tasakaaluliseks, mis suudab hoida mulla head seisundit.

Sõmeru valgala pilootpõldude näiteid üldistades on oluline koguda ja üldistada andmeid uuritavate valglate põldudel kasutatavate mineraal- ja orgaaniliste väetiste ning saakidega ära viidud toitainete koguste kohta, et hinnata põllukultuuride poolt omastamata toitainete koormust veekeskkonnale ja selle vähendamise võimalusi. Täpsemad maakasutuse andmed põllumassiivide kaupa võimaldavad välja pakkuda aja- ja kohapõhisemaid ning seega kulutõhusamaid meetmeid toitainete koormuse vähendamiseks põhja- ja pinnaveele igalt konkreetselt põllult.

Toitainete sisaldust vooluvees mõjutab ka vee viibeag jõesüsteemis. Kihlevere pkr, Sõmeru jõe ja Põdruse pkr. valgaltes on tegemist üsna tasase reljeefiga ning kõrguste erinevus vooluveekogu lähte ja suudme vahel on väike (Kihlevere ja Põdruse lang 1 m/km, Sõmeru 1,4 m/km). Selline olukord soodustab pikemat vee viibeaga ning denitrifikatsiooni ja lämmastiku lendumist atmosfääri, samuti lämmastiku omastamist veetaimede poolt. Vohnja oja lang on suurem (2,3 m/km), samas läbib oja mitmeid tiigisüsteeme, mis pikendab vee viibeaga. Seda isepuhastusprotsessi soodustab ka vee kõrge pH tase (uuritud pilootvalglates keskmisena 7,7-7,8), mis aitab kaasa fosfori sadestumisele koos kaltsiumiga.

Lämmastiku sisaldus on kõigis uuritud vooluveekogudes heas sõltuvuses vooluhulgast (joonis 5.1). Vooluhulga ja fosfori sisalduse vahel seos aga puudub. Seetõttu suureneb lämmastiku ärakanne lisaks suuremale äravoolule ka sellest tingitud sisalduse suurenemise tõttu. Äravool omakorda sõltub sademete hulgast, mulla lõimisest, põhjveelise toitumuse osakaalust ja temperatuurist, ning äravoolurežiim valgla reljeefist ja kuivendussüsteemide olemasolust valgla.



Joonis 5.1. Üldlämmastiku sisaldus ja veeproovide kogumise päeval mõõdetud vooluhulk Vohnja, Kihlevere ja Põdruse valgla 2019-2024 andmetel ja Sõmeru jões 2021-2024 andmetel.

Pilootvalglate piiresse ei jää ühtegi meteojaama. Seetõttu kasutati uuringuperioodil valglate lähemate sademetemõõturite andmeid Vanaküla, Sämi ja Väike-Maarja meteojaamades. Keskkonnaagentuuri arvutatud kuude ja aasta sademete summad perioodil 2020-2024. on toodud tabelis 5.1. Sämi jaam on lähemal ja seega ilmselt iseloomulik Sõmeru jõe põhjapoolsemale osale ning Põdruse peakraavi valgla, Väike-Maarja jaam aga Sõmeru valgla lõunapoolsemale osale Pandivere nõlval. Vanaküla on lähim meteojaam Vohnja ja Kihlevere pilootvalglatele, paiknedes neist siiski ca 15 km kaugusel. Kuna ruumiline varieeruvus temperatuurides ja sademetes võib olla üsna suur, on ühe konkreetse meteojaama sademete andmete sidumine äravooluga uuritud valglates küsitav. Sellele viitab ka seose puudumine kuu sademete summa ja kuu äravoolu vahel uuritud valglates. See ei tähenda, et suurema

saju järgselt äravool ei suureneks. Hinnang sademete mõjust äravoolule vajab detailsemat (pidevat) vooluhulga mõõtmist, mida käesoleva töö raames ei rakendatud.

2020-2024 keskmine sademete hulk Väike-Maarja jaamas 626 mm jäi alla eelmise dekaadi keskmisele, mis oli 684 mm (tabel 5.1). Sämi jaamas oli 2020-2024 aasta keskmine sademete hulk 629 mm ja Vanaküla jaamas 658 mm.

Tabel 5.1. Kuu ja aasta sademete summad (mm) Väike-Maarja, Sämi ja Vanaküla meteojaamas 2020 – 2024 (andmed: Keskkonnaagentuur).

Aasta	Kuu	Meteojaam			Aasta	Kuu	Meteojaam		
		Väike-Maarja	Sämi	Vanaküla			Väike-Maarja	Sämi	Vanaküla
2020	1	44	36	38	2023	1	47	62	64
	2	63	52	59		2	22	31	32
	3	36	31	36		3	44	45	43
	4	44	57	51		4	18	23	18
	5	27	33	42		5	9	8	15
	6	107	91	32		6	53	27	15
	7	100	90	96		7	107	92	90
	8	53	78	50		8	91	54	122
	9	64	53	57		9	94	85	74
	10	56	54	63		10	123	114	114
	11	48	44	51		11	62	99	116
	12	51	53	39		12	34	49	52
Summa		693	672	614	Summa		704	689	755
2021	1	37	60	66	2024	1	25	29	27
	2	19	37	29		2	36	35	28
	3	29	45	44		3	21	18	20
	4	20	29	31		4	48	51	62
	5	79	84	74		5	32	6	8
	6	16	8	14		6	58	94	83
	7	47	52	47		7	145	119	81
	8	146	104	122		8	65	68	138
	9	37	32	38		9	34	46	80
	10	56	54	72		10	44	54	51
	11	86	94	81		11	81	57	73
	12	32	49	36		12	59	52	69
Summa		604	648	654	Summa		648	629	720
2022	1	56	76	66					
	2	41	52	42					
	3	6	12	9					
	4	18	23	18					
	5	56	45	34					
	6	46	28	65					
	7	38	82	104					
	8	31	42	16					

9	45	92	43
10	63	72	63
11	35	46	44
12	50	43	42
Summa	485	613	546

Temperatuuride mõju toitainete ärakandele avaldub eelkõige talveperioodil. Külmutumise/sulamise tsüklid tekitavad lumesulavee, aga ka vihma näol ja külmunud pinnase korral suurenenud pindmist äravoolu aga ka fosforit sisaldavate mullakolloidide leostumist mulla makropooride kaudu. Kui pinnas ei ole läbikülmunud, suureneb sobiva mulla lõimise korral leostumine põhjavekke. Nii pindmine äravool kui leostumine panustab omakorda toitainete ärakandesse jõevette. Uuritud valglate lähiste meteojaamade andmete alusel olid näiteks 2019-2020 aasta talvel (veebruaries) õhutemperatuur üsna pikalt plussis, mille tagajärjel suurenes talveperioodi (detsember-vebruar) summaarne äravool valglates ja toitainete ärakanne, moodustades Vohnja, Kihlevere ja Põdruse valglates vastavalt 46%, 54% ja 56% aastasest Nüld koormusest ning 48%, 56% ja 58% aastasest Püld koormusest. Sarnane oli olukord ka talvel 2022-2023, kui jaanuari teisel poolel püsis temperatuur plussis. Talvine Nüld ärakanne moodustas siis vastavalt 46%, 71% ja 78% kogu aastasest koormusest ja 43%, 61% ja 68% fosfori ärakandest. Nimetatud talveperioodidel oli ka üldlämmastiku sisaldus vooluvees kõrge, ulatudes 2019-2020 ja 2022-2023 talvedel Vohnja ojas 11,6 ja 6,8 mgN/l, Kihlevere peakraavis 11,5 ja 11,1 mgN/l ning Põdruse peakraavis 7,7 ja 12,6 mgN/l. See panustas omakorda Nüld talvise ärakande kõrgesse tasemesse. Kliimamuutustega seoses on soojemad talved ilmselt sagenemas, mistõttu ainete ärakande kontrolliks on vaja rakendada või käigus hoida erinevaid sel perioodil aravoolu maksimume vähendavaid meetmeid, nt talvine taimkate.

Keskmiselt suurem taimetoitainete ärakanne Sõmeru jõe ja Vohnja oja valglas võrreldes teiste seire all olevate vooluveekogudega on peamiselt tingitud suuremast äravoolust, mille põhjuseks on põhjaveelise toitelisuse (baasäravoolu) suurem osakaal. Vohnja oja ja Sõmeru j. valglates, nii nagu ka Kihlevere valglas, domineerivad savirikkamad mullad (tabel 2.13), mis soodustab pindmist äravoolu kõrgvee perioodil. Samas on sealne pinnakate õhuke (enamasti kuni 5 m) ning valglates on palju kaitsmata põhjaveega alasid (kuni 29% Sõmeru valglas; tabel 2.13), mis soodustab põhjavee toitumist.

Pandivere kõrgustiku võlvialal puuduvad pinnaveekogud ja kogu evapotranspiratsioonist ülejääv sademevesi infiltreerub, kandes lämmastikuühendeid põhjavekke. Põhjavee suur osakaal kõrgustiku äärealadel ja jalamil algavates vooluveekogudes määrab suuresti pinnaveekogude ülemjooksude veekvaliteedi. Viimaste aastate keskmine nitraatide sisaldus NTA Pandivere põhjaveekogumite maapinnalähedases veekihi on 32-34 mg/l, mistõttu on lämmastiku sisaldus kõrge ka kõrgustikult algavates vooluveekogudes.

Uuritud väikevalglate baasäravoolu ei olnud võimalik hinnata, kuna puudusid päevase äravoolu andmed. Seetõttu saab Loobu jõe vesikonnas paiknevate Vohnja oja ja Kihlevere peakraavi ning Selja lisajõe Sõmeru baasäravoolu (iseloomustab põhjaveelise toitumuse, aga ka soodes pärineva äravoolu osakaalu kogu äravoolust) hinnata vaid kaudselt. Selleks kasutati Loobu jõe Arbavere ja Selja jõe Varangu hüdromeetriaamade andmeid, kus on olemas pikad päevase äravoolu andmerekad. Kuna märgalad moodustavad vaid väikese osa (<5%) uuritud valglate maakattest, iseloomustab Kihlevere, Vohnja ja Sõmeru baasäravool eelkõige põhjavee osakaalu vooluveekogude toitumuses.

Perioodil 2011–2022 moodustas Selja jõe baasäravool keskmiselt 70–78% ja Loobu jõe baasäravool 63–77% kogu aastasest äravoolust (LIFE IP, 2022). Baasäravool üldiselt järgib vooluhulga muutlikkust, kuid selle suhteline osakaal kogu äravoolust kõrgveeperioodidel väheneb, kuigi absoluutväärtus kasvab. Kui baasäravool (põhjavesi) on rikas toitainete poolest, siis mõjutab see otseselt ka jõgede vee kvaliteeti ning eriti toitainete ärakannet kõrgveeperioodil. Kõrge baasäravoolu tase mõjutab oluliselt vooluveekogude aasta keskmist äravoolu. Nii oli Vohnja oja keskmine äravoolumoodul viieaastaselt seireperioodil (2019 kevad - 2024 kevad) 17,2 l/s/km² ja Sõmeru jõel 16,8 l/s/km². Kihlevere pkr. ja Põdruse ojas, kus põhjaveelise toitumuse osakaal on väiksem oli seireperioodi äravoolumoodul 4–5 korda väiksem, kui Vohnja ja Sõmeru valgla, vastavalt 3,5 ja 4,2 l/s/km². Sellest tingituna on ka N ja P ärakanne valgla pinna ühiku kohta Kihlevere pkr. ja Põdruse oja valgla oluliselt väiksem.

Baasäravoolu mõju veekvaliteedile ja toitainete ärakandele on suurem lumevaesel aastal, nagu see oli talvel 2019/2020. Talveperioodi (detsember-veebuar) äravool ja ka N ning P ärakanne Vohnja, Kihlevere, ja Põdruse valglates oli oluliselt suurem kui kevadel. Põhjaveelise toitumuse olulisusele Vohnja oja ja Sõmeru jõe valgla viitab ka suveperioodi $N_{\text{üld}}$ ja $P_{\text{üld}}$ keskmine ärakanne, mis moodutab oluliselt suurema osa aastasest ärakandest võrreldes teiste uuritud vooluveekogudega (tabel 3.13).

Suure baasäravooluga vooluveekogude vooluhulk ei sõltu mitte ainult konkreetse kuu sademete hulgast, vaid põhjavee toitumise ehk netoinfiltratsiooni sesoonsetest muutustest. Kõige intensiivsem põhjavee toitumine leiab aset kevadisel lumesulaperioodil või soojadel ebastabiilse lumikatteta talvedel, mil pinnas ei ole külmunud. Neid perioode iseloomustab väike evapotranspiratsioon, mis seevastu suvekuudel, mil sademete hulgad võivad olla suuremadki kui kevadel ja talvel, on oluliselt suurem. Seega on suvel ka netoinfiltratsiooniks ülejääva vee hulk väiksem. Tulevastes uuringutes peaks seostama toitainete sisaldusi suure põhjavee osakaaluga vooluveekogudes enam põhjavee netoinfiltratsiooniga. Pärn jt (2024) uurisid Sõmeru valgla allikate (Mõdriku hiieallikad, Vetiku Sõeoru allikad ja Rägavere allikas) nitraadisalduse seoseid modelleeritud põhjavee toitumisega. Uuringus järeldati, et valdav osa hilissügisest varakevadeni jõe ülemjooksule allikate kaudu jõudvast nitraadist on pärit aluspõhjalistest põhjaveekihtides, mis on sinna leostunud varasematel aastatel ja liigub allikatesse koos hilissügisel algava suurenenud põhjavee toitumise perioodiga. Seevastu kevadise kõrgvee

maksimumis jõuab allikatesse nitraat mullast ja pinnakattest, mis on seotud lumikatte lagunemisel tekkinud sulavee imbumisega maapinda. See tähendab, et lisaks sademete hulgale mõjutab toitainete dünaamikat ka lumikatte kestus ja paksus ning evapotranspiratsiooni sesoonne muutlikkus.

Sellistes ilmastikutingimustes on toitainete ärakannet keeruline kontrollida ning isegi rakendatud meetmed maakasutuses (sh väetamine, talvine taimkate, viljavaheldus) ei tarvitse soovitud tulemusi anda. Baasäravooluga seonduva toitainete ärakande vähendamine eeldab pikemaajaliste meetmete rakendamist kogu vooluveekogu põhjaveevalgla piires (sh tehnoloogiad, agrotehnilised võtted). Sõmeru jõe näitel on jõevee lämmastiku sisalduse ja ärakande vähendamiseks vajalikke meetmeid vaja rakendada nii alamjooksu valgla, kus lisaks põhjaveele omab veekvaliteedi kujunemisel olulist osa ka pindmine ja drenide kaudu aset leidv äravool jõkke kui ka alale valgla ülemjooksul, kus vooluveed puuduvad ja põllumajandustegevus mõjutab pinnavee kvaliteeti vaid põhjavee kaudu.

6. Pestitsiidijägid pinnavees

6.1. Saasteainete analüüsid ja tulemused

2024.a. viidi läbi seired KESE ja SPETS kvaliteedielementide osas. Töö käigus koguti uuringukava alusel 15 pinnavee proovi, millest määrati pestitsiidide jääke. Visuojust (SJB3502000) ei olnud võimalik septembris proovi võtta, sest veevool puudus.

Kokku analüüsiti Eesti Keskkonnauuringute Keskuse laboris 136 saasteaine sisaldust, sealhulgas SPETS (vesikonnaspetiifilised saasteained) ja KESE (keemilise seisundi) hinnangusse kuuluvad ained. Uuritud saasteainetest 131 puhul ei ületanud tulemused pinnavees labori määramispiiri (tabel 6.1). Tabelis 6.2 on toodud saasteained, mille sisaldused ületasid määramispiiri, punasel taustal on aga toodud need sisaldused, mis ületasid keskkonnaministri 24.07.2019 määruses nr 28 „Prioriteetsete ainete ja prioriteetsete ohtlike ainete nimekiri, prioriteetsete ainete, prioriteetsete ohtlike ainete ja teatavate muude saasteainete keskkonna kvaliteedi piirväärtused ning nende kohaldamise meetodid, vesikonnaspetiifiliste saasteainete keskkonna kvaliteedi piirväärtused, ainete jälgimisnimekirjaga seotud tegevused“ toodud keskkonnakvaliteedi piirväärtusi.

Keemilise seisundi näitajate tulemused ja hinnangud näitajate kaupa saab vaadata Veebitööriistast „LIFE CleanEST - Ohtlikud ained veekogumites“ https://vvhs.shinyapps.io/Life_CleanEST_KESE/ ja KESE andmebaasist <https://kese.envir.ee/>. Kokkuvõtted saasteainetest, mis põhjustavad keskkonnahäiringut on toodud peatükis 6.2 ja 6.3.

Tabel 6.1.. Analüüsitud näitajad, mille tulemused ei ületanud 2024.a. pinnavees labori määramispiiri (LOQ).

Määratud näitaja	Ühik	LOQ	Määratud näitaja	Ühik	LOQ
1,2,3,4-Tetraklorobenseen	µg/l	< 0,005	Klotianidiin	µg/l	< 0,005
1,2,3,5-/1,2,4,5-Tetraklorobenseen	µg/l	< 0,005	Kvintoseen	µg/l	< 0,005
1,2,3-Triklorobenseen	µg/l	< 0,005	Linuroon	µg/l	< 0,005
1,2,4-Triklorobenseen	µg/l	< 0,005	MCPA	µg/l	< 0,02
1,3,5-Triklorobenseen	µg/l	< 0,005	Malatioon	µg/l	< 0,005
2,4-D 2-EHE	µg/l	< 0,005	Mepikvaat kloriid	µg/l	< 0,002
2,4-D	µg/l	< 0,05	Metabenstiasuroon	µg/l	< 0,001
Aklonifeen	µg/l	< 0,001	Metakrifoss	µg/l	< 0,01
Alakloor	µg/l	< 0,01	Metamitroon	µg/l	< 0,01
Aldriin	µg/l	< 0,001	Metiokarb	µg/l	< 0,002
Ametrüün	µg/l	< 0,01	Metobromuroon	µg/l	< 0,01
Amidosulfuroon	µg/l	< 0,01	Metoksuroon	µg/l	< 0,001
Atrasiin	µg/l	< 0,01	Metoksükloor	µg/l	< 0,005
Atseetamipriid	µg/l	< 0,001	Metolakloor	µg/l	< 0,005
Bifenoks	µg/l	< 0,001	Mireks	µg/l	< 0,01
Bifentriin	µg/l	< 0,01	Monolinuroon	µg/l	< 0,005
Boskaliid	µg/l	< 0,001	Napropamiid	µg/l	< 0,001
Deltametriin	µg/l	< 0,02	Nikosulfuroon	µg/l	< 0,005
Desetüül-atrasiin	µg/l	< 0,004	Oksüklordaan	µg/l	< 0,005
Diasinoon	µg/l	< 0,005	Ometoaat	µg/l	< 0,001
Dieldriin	µg/l	< 0,001	Pentaklorobenseen	µg/l	< 0,0001
Diflubensuroon	µg/l	< 0,01	Permetriin	µg/l	< 0,01
Diflufenikaan	µg/l	< 0,005	Pinoksadeen	µg/l	< 0,005
Diklobeniil	µg/l	< 0,005	Prometriin	µg/l	< 0,005
Diklorofoss	µg/l	< 0,0003	Propaam	µg/l	< 0,03
Dikloroprop-P	µg/l	< 0,02	Propakvisaafop	µg/l	< 0,005
Dikofool	µg/l	< 0,001	Propamokarb-hüdrokloriid	µg/l	< 0,001
Dimetakloor	µg/l	< 0,005	Propasiin	µg/l	< 0,01
Dimeteenamiid-P	µg/l	< 0,005	Propikonasool	µg/l	< 0,01
Dimetootat	µg/l	< 0,003	Protiokonasool-destio	µg/l	< 0,01
Dimoksüstrobiin	µg/l	< 0,001	Püridabeen	µg/l	< 0,005
Diuroon	µg/l	< 0,01	Sebutüülasiin	µg/l	< 0,02
Endosulfaansulfaat_	µg/l	< 0,001	Simasiin	µg/l	< 0,003
Endriin	µg/l	< 0,001	Spiroksamiin	µg/l	< 0,003
Epoksikonasool	µg/l	< 0,01	Tebukonasool	µg/l	< 0,002
Esfenvaleraat	µg/l	< 0,01	Teflubensuroon	µg/l	< 0,003
Ethopropos	µg/l	< 0,01	Terbutriin	µg/l	< 0,005
Etofeenproks	µg/l	< 0,005	Terbutüülasiin	µg/l	< 0,01
Fenitrotioon	µg/l	< 0,01	Tiaklopriid	µg/l	< 0,001
Fenpropatriin	µg/l	< 0,005	Tiametoksaam	µg/l	< 0,003
Fenpropidiin	µg/l	< 0,003	Triadimenool	µg/l	< 0,005
Fenpropimorf	µg/l	< 0,02	Triallaat	µg/l	< 0,005
Fenpüroksimaat	µg/l	< 0,01	Trifluralin	µg/l	< 0,005
Fenvaleraat	µg/l	< 0,01	Tsüaanasiin	µg/l	< 0,02
Fluroksüüpüür	µg/l	< 0,02	Tsübutriin	µg/l	< 0,0001
Flutsütrinaat	µg/l	< 0,01	Tsüflutriin	µg/l	< 0,02

Määratud näitaja	Ühik	LOQ	Määratud näitaja	Ühik	LOQ
Fosfamidoon	µg/l	< 0,01	Tsüpermetriin (isomeeride segu)	µg/l	< 0,0004
Glüfosaat	µg/l	< 0,05	alfa-Endosulfaan	µg/l	< 0,0003
Heksaklorobenseen	µg/l	< 0,005	alfa-Heksaklorotsükloheksaan	µg/l	< 0,0001
Heksaklorobutadien	µg/l	< 0,005	alfa-Klordaan	µg/l	< 0,01
Heptakloor-eksoepoksiid	µg/l	< 0,0001	beeta-Endosulfaan	µg/l	< 0,001
Heptakloor-endoepoksiid	µg/l	< 0,0004	beeta-Heksaklorotsükloheksaan	µg/l	< 0,0005
Heptakloor	µg/l	< 0,0001	delta-Heksaklorotsükloheksaan	µg/l	< 0,0001
Imidaklopriid	µg/l	< 0,01	epsilon-Heksaklorotsükloheksaan	µg/l	< 0,001
Isobensaen	µg/l	< 0,005	gamma-Heksaklorotsükloheksaan	µg/l	< 0,0001
Isodriin	µg/l	< 0,001	gamma-Klordaan	µg/l	< 0,005
Isoprokarb	µg/l	< 0,001	lambda-Tsühalotriin	µg/l	< 0,01
Isoproturoon	µg/l	< 0,001	metüül-Kloropüriifoss	µg/l	< 0,01
Kinoksüfeen	µg/l	< 0,001	metüül-Pirimifoss	µg/l	< 0,005
Kloormekvaat kloriid	µg/l	< 0,002	o,p'-DDD	µg/l	< 0,005
Klopüraliid	µg/l	< 0,02	o,p'-DDE	µg/l	< 0,005
Kloridasoon	µg/l	< 0,005	o,p'-DDT	µg/l	< 0,0025
Klorofenvinfoss	µg/l	< 0,03	p,p'-DDD	µg/l	< 0,0025
Kloroksuroon	µg/l	< 0,001	p,p'-DDE	µg/l	< 0,001
Kloropüriifoss	µg/l	< 0,001	p,p'-DDT	µg/l	< 0,0025
Klorotoluroon	µg/l	< 0,001			

Tabel 6.2. Määratud näitajate aastakeskmised sisaldused. Punasega on tähistatud sisaldused, mis ületasid keskkonnaministri 24.07.2019 määruses nr 28 toodud keskkonnakvaliteedi piirväärtusi.

Määratud näitaja	Ühik	Vohnja oja: alamjooks	Sõmeru jõgi: Vetiku-Mõedaku tee	Kihlevere peakraav: Kadrina-Viitna mnt	Visuoja: Varangu
		SJB3510000	SJA4081000	SJB3496000	SJB3502000
AMPA	µg/l	0,116	0,144	0,054	0,445
Bentagoon	µg/l	< 0,02	0,058	< 0,02	0,010
Kloridasoon-desfenüül	µg/l	< 0,04	0,027	< 0,04	< 0,04
Metasakloor	µg/l	< 0,002	0,003	< 0,002	< 0,002
Tritosulfuroon	µg/l	0,014	0,045	0,086	< 0,01

6.2. Keemilise seisundi kvaliteedielementide seisundi hinnang

Keemiline seisundi hinnang on antud analüüsitud kvaliteedielementide alusel. Rakendatud on tavapäraselt üks halb kõik halb põhimõtet. Hinnangud seirepunktide lõikes on toodud tabelis 6.3, kus on ära näidatud ka halba seisundit põhjustanud näitaja, kui selline oli. Hea seisund üldises seisundi hinnangus vastab „hea osaline“ määratlusele, sest kõiki keemilise seisundi kvaliteedielemente töös ei mõõdetata ja ei hinnata.

Tabel 6.3. Keemilise seisundi hinnangud 2024 tulemuste põhjal.

Seirekoha nimi	KKR kood /EELIS id	Keemilise seisundi hinnang	Mitte head seisundit põhjustavad näitajad pinnavees	Mitte head seisundit põhjustavad näitajad põhjasettes
Vohnja oja: alamjooks	SJB3510000	Hea	Puudub	Ei analüüsitud
Sõmeru jõgi: Vetiku-Mõedaku tee	SJA4081000	Hea	Puudub	Ei analüüsitud
Kihlevere peakraav: Kadrina-Viitna mnt	SJB3496000	Hea	Puudub	Ei analüüsitud
Visuoja: Varangu	SJB3502000	Hea	Puudub	Ei analüüsitud

6.3. Vesikonnaspetsiifiliste saasteainete hinnang

Ökoloogilise seisundi vesikonnaspetsiifiliste saasteainete SPETS näitajate seisundi hinnangud kogumites on toodud tabelis 6.4. Näidatud on piirväärtusega reguleeritud SPETS ainete hinnangud pinnavees. Keskkonnaministri 24.07.2019 määruses nr 28 toodud vesikonnaspetsiifilistest saasteainetest analüüsi käesoleva uuringu raames vaid pestitsiidide jääke.

Tabel 6.4. Saasteainete surve 2024 aasta tulemuste alusel.

Seirekoha nimi	KKR kood /EELIS id	SPETS seisundi hinnang	Mitte head seisundit põhjustavad näitajad pinnavees	Saasteainete survet põhjustavad näitajad põhjasettes
Vohnja oja: alamjooks	SJB3510000	Halb	AMPA	Ei analüüsitud
Sõmeru jõgi: Vetiku-Mõedaku tee	SJA4081000	Halb	AMPA	Ei analüüsitud
Kihlevere peakraav: Kadrina-Viitna mnt	SJB3496000	Hea	Puudub	Ei analüüsitud
Visuoja: Varangu	SJB3502000	Halb	AMPA	Ei analüüsitud

7. Pestitsiidijäägid põhjavees

Pestitsiidijääkide leidude tulemuste analüüsimisel lähtuti keskkonnaministri 1. oktoobri 2019. a määrusest nr 48. Määrus reguleerib põhjavee seisundi hindamist ning selle eesmärgiks on tagada põhjavee seisundi kaitse inimtekkeliste mõjude eest. Määruses on üksikühenditele sätestatud põhjavee kvaliteedi piirväärtus 0,1 µg/l ning pestitsiididele kokku 0,5 µg/l.

Pestitsiidid keskkonnaministri määruse nr 48 tähenduses on taimekaitsevahendid ja biotsiidid Euroopa Parlamendi ja nõukogu (EÜ) määruse nr 1107/2009 ja Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiivi 98/8/EÜ artiklis 2 määratletu kohaselt, mis käsitleb biotsiidide turuleviimist (EÜT L 123, 24.4.1998, lk 1–63),. Kogusisaldus (summaarne) tähendab kõigi seire käigus tuvastatud ja kvantifitseeritud pestitsiidide, sealhulgas nende asjakohaste metaboliitide lagunemis- ja reaktsioonisaaduste koguste summat.

Aastate 2023-2024 proovid pestitsiidijääkide sisalduste analüüsiks (Kolu allikad, kaevud katastri nr 15247, nr 24825, nr 50635) võeti 2023. aasta märtsis, juunis, septembris ja detsembris ning 2024. aasta aprillis, juunis, septembris ja oktoobris. Kokku uuriti Eesti Keskkonnauuringute Keskuse laboris 144 pestitsiidijäägi esinemist.

Üheteistkümnes veeproovis (32 veeproovist) oli ületatud labori analüüsimeetodi määramispiir ja üheksas veeproovis põhjavee kvaliteedi piirväärtus ja joogivee piirsisaldus 0,1 µg/l. Põhjavee piirväärtust ületasid järgmised pestitsiidijäägid: 7 ületamist oli herbitsiid kloridasooni metaboliidi kloridasoon-desfenüüluga (metaboliit B) ja 2 ületamist oli Eestis enimkasutatud pestitsiidiglüfosaadi laguainega AMPA (tabel 7.1).

Labori pestitsiidide analüüsimeetodi määramispiiri ületasid veel: propikonasool, boskaliid, 1,2,4-triklorobenseen (lisaaine herbitsiidides), tsüpermetriin, aklonifeen, tsübutriin, alfa-heksaklorotsükloheksaan ja gamma-heksaklorotsükloheksaan. Nende ainete analüüsitud sisaldused jäid kümneid kordi alla põhjavee kvaliteedi piirväärtust 0,1 µg/l. Eestis keelustatud kloridasooni toimeaine sisaldused jäid kõigis veeproovides alla labori määramispiiri 0,005 µg/l.

Põhjavee kvaliteedi piirväärtus ja joogivee piirsisaldus 0,1 µg/l oli ületatud kaevudes: nr 15247 ühel korral AMPA, nr 24825 kord AMPA ja kord kloridasoon-desfenüül ning nr 50635 kuus korda kloridasoon-desfenüül.

Sõmeru valglast on kasutada ka aastatel 2023-2024 uuringu „Põllumajanduse veekaitse meetmete rakendamise tõhususe mõõtmise pilotpiirkonnas (Sõmeru jõe valgla)“ raames võetud pestitsiidide

analüüsid: Mõdriku Hiieallika väljavool (SJA7412000), Vetiku Sõeoru allikate väljavool (SJB3733000), Rägavere allikas (SJA8045000) ning kaevud katastrinr 52435 ja nr 52435.

Sõmeru valgla uuringu kaheksas veeproovis (18 veeproovist) oli ületatud labori analüüsimeetodi määramispiir. Põhjavee kvaliteedi piirväärtus ja joogivee piirsisaldus 0,1 µg/l oli ületatud Vetiku allika vooluhulga lävendis (kord AMPA ja kord kloridasoon-desfenüül) ning Mõdriku Hiieallika väljavoolus (kord AMPA). Labori pestitsiidide analüüsimeetodi määramispiiri ületasid veel: kloroksuroon ja bentasoon ning ravimijääd asitromütsiin ja klaritromütsiin (tabel 7.1).

Tabel 7.1. Pestitsiidijääkide leiud põhjavees 2023-2024.

Aine nimetus	LIFE C10 jätkutöö 2023-2024	Sõmeru valgala uuring 2023-2024
Kloridasoon-desfenüül	7 analüüsi >0.1 µg/l	1 analüüs >0.1 µg/l
AMPA	2 analüüsi >0.1 µg/l	2 analüüsi >0.1 µg/l
Propikonasool	1 analüüs üle määramispiiri	
Boskaliid	1 analüüs üle määramispiiri	
1,2,4-triklorobenseen	1 analüüs üle määramispiiri	
Tsüpermetriin	1 analüüs üle määramispiiri	
Aklonifeen	1 analüüs üle määramispiiri	
Tsübutriin	1 analüüs üle määramispiiri	
alfa-Heksaklorotsükloheksaan	1 analüüs üle määramispiiri	
gamma-Heksaklorotsükloheksaan	1 analüüs üle määramispiiri	
Kloroksuroon		1 analüüs üle määramispiiri
Bentasoon		1 analüüs üle määramispiiri
Ravimijääk asitromütsiin		1 analüüs üle määramispiiri
Ravimijääk klaritromütsiin		1 analüüs üle määramispiiri

Oranžides lahtrites on Eestis kasutada keelatud pestitsiidide toimeained.

LIFE IP CleanEST projekti tegevuse C10.1 raames 2021.a kevadel ja sügisel võetud pestitsiidiproovides oli põhjavee kvaliteedi piirväärtus ja joogivee piirsisaldus 0,1 µg/l ületatud vaid Eestis keelustatud toimeaine kloridasooni laguprodukti kloridasoon-desfenüülga.

Tabel 7.2. Pestitsiidijääkide sisaldused põhjavees 2023-2024.

	Seirekoht	Pestitsiidijäägid üle labori analüüsimeetodi määramispiiri	Pestitsiidide summa µg/l	NO ₃ mg/l	Kuupäev
Kolu mõis, Vohnja oja valgla	PRK0015247	15 erinevat pestitsiidijääki üle määramispiiri	0,0143	27	27.04.2021
	PRK0015247	11 erinevat pestitsiidijääki üle määramispiiri	0,0118	11	15.09.2021
	PRK0015247		<	32	22.03.2023
	PRK0015247		<	22	13.06.2023
	PRK0015247	Tsüpermetriin 0,0028 µg/l, aklonifeen 0,001 µg/l, tsübutriin 0,0001 µg/l, alfa-Heksaklorotsükloheksaan 0,0002 µg/l, gamma-Heksaklorotsükloheksaan 0,0001 µg/l	0,0045	13	27.09.2023
	PRK0015247	AMPA 0,23 µg/l	0,23	26	21.12.2023
	PRK0015247		<	21	24.04.2024
	PRK0015247		<	23	13.06.2024
	PRK0015247	1,2,4-triklorobenseen 0,008 µg/l	0,008	15	26.09.2024
	PRK0015247		<	20	18.12.2024
Kolu allikad, Vohnja oja valgla	SJB1034000		<	37	27.04.2021
	SJB1034000		<	3	16.09.2021
	SJB1034000		<	35	20.03.2023
	SJB1034000		<	24	13.06.2023
	SJB1034000		<	9	27.09.2023
	SJB1034000		<	29	19.12.2023
	SJB1034000		<	24	24.04.2024
	SJB1034000		<	26	13.06.2024
	SJB1034000		<	19	26.09.2024
	SJB1034000		<	23	18.12.2024
Varangu seltsimaja Visuoja valgla	PRK0024825		<	11	27.04.2021
	PRK0024825		<	5	16.09.2021
	PRK0024825		<	100	21.03.2023
	PRK0024825		<	83	12.06.2023
	PRK0024825		<	56	27.09.2023
	PRK0024825	AMPA 0,5 µg/l	0,5	78	19.12.2023
	PRK0024825		<	34	23.04.2024
	PRK0024825		<	130	12.06.2024
	PRK0024825		<	120	23.09.2024
	PRK0024825	Kloridasoon-desfenüül 0,55 µg/l, propikonasool 0,02 µg/l	0,57	49	17.12.2024
Kihlevere peakraavi valgla	PRK0050635	Kloridasoon-desfenüül 1,2 µg/l	1,2	48	27.04.2021
	PRK0050635	Kloridasoon-desfenüül 0,81 µg/l	0,81	61	15.09.2021
	PRK0050635	Kloridasoon-desfenüül 1,0 µg/l	1,0	51	20.03.2023
	PRK0050635		<	58	14.06.2023
	PRK0050635	Kloridasoon-desfenüül 0,88 µg/l	0,88	35	27.09.2023
	PRK0050635	Kloridasoon-desfenüül 0,27 µg/l, boskaliid 0,001 µg/l	0,271	51	19.12.2023
	PRK0050635	Kloridasoon-desfenüül 0,18 µg/l	0,18	61	23.04.2024

	Seirekoht	Pestitsiidijäägid üle labori analüüsimeetodi määramispiiri	Pestitsiidide summa µg/l	NO ₃ mg/l	Kuupäev
	PRK0050635	Kloridasoon-desfenüül 0,49 µg/l	0,49	61	18.06.2024
	PRK0050635	Kloridasoon-desfenüül 0,42 µg/l	0,42	54	24.09.2024
	PRK0050635		<	68	17.12.2024
Mõdriku Sõmeru valgia	SJB3732000	9 erinevat pestitsiidijääki üle määramispiiri	0,065	33	27.04.2021
	SJB3732000	1,3,5-triklorobenseen 0,006 µg/l	0,006	30	15.09.2021
	SJA7412000	Ravimijäägid asitromütsiin 0,009 µg/l, klaritromütsiin 0,007 µg/l	0,016	38	21.03.2023
	SJA7412000		<	7	28.09.2023
	SJA7412000	AMPA 0,52 µg/l, kloroksuroon 0,004 µg/l	0,524	28	24.04.2024
	SJA7412000		<	16	24.09.2024
Rägavere allikas Sõmeru valgia	SJA8045000	Kloridasoon-desfenüül 0,15 µg/l, metasakloor 0,012 µg/l, boskaliid 0,002 µg/l, heptakloor 0,0001µg/l, tsübutriin 0,0001 µg/l, ravimijääk karbamasepiin 0,01 µg/l	0,174	56	28.04.2021
	SJA8045000	Kloridasoon-desfenüül 0,05 µg/l, boskaliid 0,001 µg/l	0,051	36	15.09.2021
	SJA8045000	Kloridasoon-desfenüül 0,09 µg/l	0,09	55	21.03.2023
	SJA8045000		<	33	28.09.2023
	SJA8045000		<	48	24.04.2024
	SJA8045000	Kloridasoon-desfenüül 0,057 µg/l, bentasoon 0,03 µg/l	0,087	34	24.09.2024
Vetiku allikad Sõmeru valgia	SJB3733000	Kloridasoon-desfenüül 0,23 µg/l	0,23	63	20.03.2023
	SJB3733000		<	12	28.09.2023
	SJB3733000	AMPA 0,15 µg/l	0,15	47	24.04.2024
	SJB3733000	Kloridasoon-desfenüül 0,05 µg/l	0,05	6	24.09.2024
	SJA8179000	Kloridasoon-desfenüül 0,11 µg/l, tritosulfuroon 0,03 µg/l, metasakloor 0,056 µg/l	0,196	54	27.04.2021
	SJA8179000	Kloridasoon-desfenüül 0,061 µg/l, boskaliid 0,002 µg/l, tsübutriin 0,0002 µg/l	0,062	46	15.09.2021
Sõmeru valgia	PRK0052286	Kloridasoon-desfenüül 0,06 µg/l	0,06	41	25.04.2023
	PRK0052286		<	37	28.09.2023
	PRK0052435		<	35	25.04.2023
	PRK0052435		<	12	27.09.2023
	PRK0052435		<	11	23.04.2024
	PRK0052435		<	15	24.09.2024

Enim oli pestitsiidijääke Kihlevere peakraavi valglal paikneva kaevu nr 50635 vees (tabel 7.2). Aastate 2021-2024 kümnest veeproovist kaheksas oli kloridasoon-desfenüüli sisaldus üle 0,1 µg/l (keskmine 0,656 µg/l). Kihlevere peakraavi vees jäi aastal 2024 keskmine pestitsiidijääkide sisaldus alla 0,1 µg/l, labori analüüsimeetodi määramispiiri ületasid AMPA ja tritosulfuroon.

Eestis kasutada lubatud pestitsiidide jääkide leidumine põhjavees üle 0,1 µg/l (tabelid 7.1 ja 7.2) on tõenäoliselt tingitud pestitsiidi toimeaine mullakihist sademetega väljauhtumisest. Kui intensiivsed

sademed (sademevee infiltreerumisega põhjavette) kannavad pestitsiidi toimeaja perioodil põllult või põldudelt aine põhjavette enne selle täielikku lagunemist.

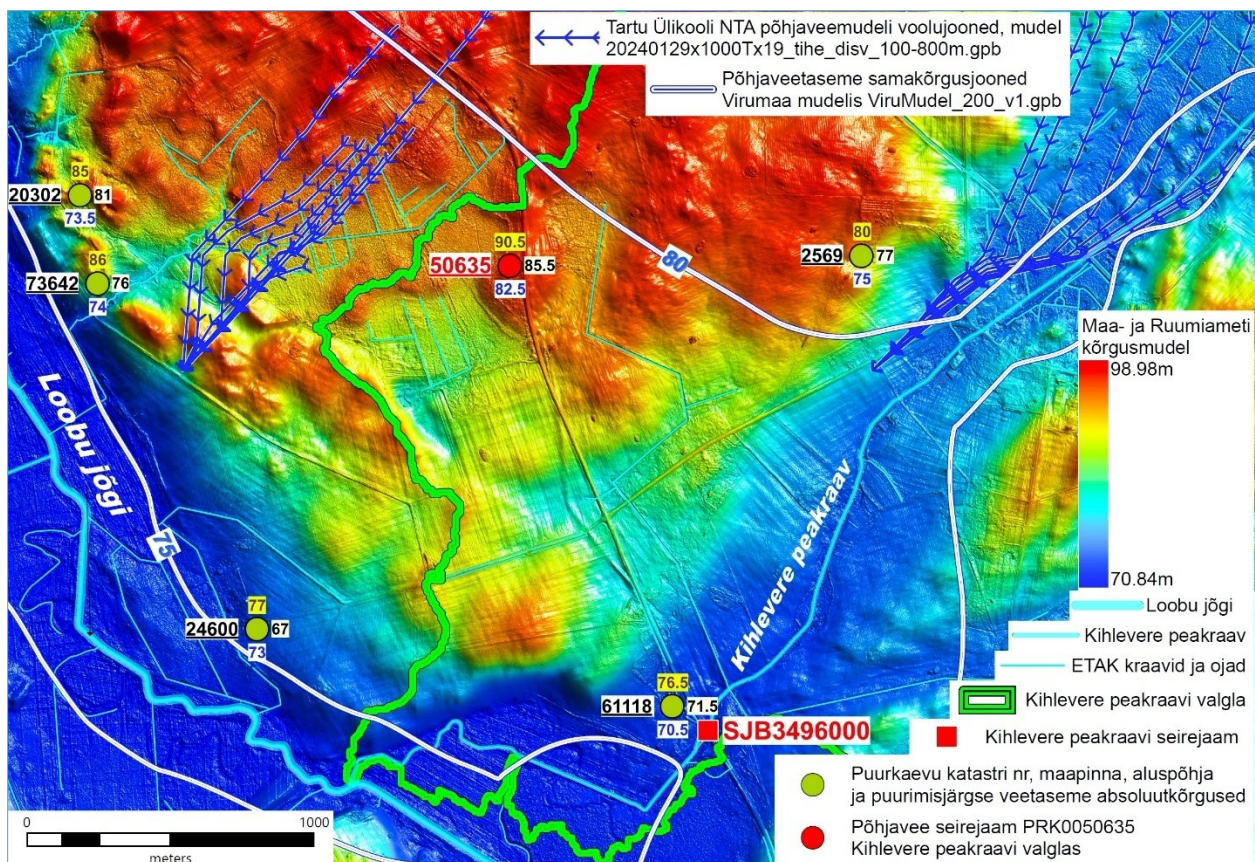
Kui taimekaitsevahendite mullakihist väljauhtumise põllud on alal, kus maapinnalähedane põhjavesi liigub lõhelistes aluspõhjakihtides kiiresti, järgneb taolisele ühekordsele põhjaveele löökkkoormusele pestitsiidijääkide sisalduse langus, johtuvalt lahjenemisest (vee liikumisel lisanduvast põhjaveest ja infiltatsioonist põhjavette). Tulenevalt põhjavee liikumisest võivad taimekaitsevahendite jääkide sisaldused põhjavees kanduda ka aladele, kus taimekaitsevahendeid ei kasutatud ja sügavamale põhjaveekihti.

Kihlevere peakraavi vees üle 0.1 µg/l on aastatel 2020-2024 leitud peamiselt Eestis kasutada lubatud taimekaitsevahendite jääke (tritosulfuroon 3 proovi ja AMPA 2 proovi). Eestis kasutada mittelubatud herbitsiidi kloridasooni laguprodukti kloridasoon-desfenüüli oli 0.12 µg/l pinnavees 14.12.2022. Kihlevere peakraavi vees leitud pestitsiidijäägid, välja arvatud 2022 detsembri veeproov, kajastavad seega praegust põllumajanduslikku tegevust.

Eestis kasutamiseks mittelubatud (Euroopa Liidus oli heakskiidetud kuni 31. detsembrini 2018)⁷ herbitsiid kloridasooni toimeaine laguprodukti kloridasoon-desfenüüli (metaboliit B) leidumine puurkaevu PRK0050635 seitsmes veesproovis üheksast viitab võimalusele, et PRK0050635 põhjavesi pole sageli iseloomulik Kihlevere peakraavi toitvale põhjaveele. See puurauk PRK0050635 paikneb maapinnamudeli järgi koostatud Kihlevere peakraavi valgla servas (vaata joonis 7.1) reljeefis poolsaart meenutaval kõrgendikul (võib olla lokaalne väike paekõrgendik mis on jälgitav ka aluspõhja pealispinnas), ligikaudu võrdsel kaugusel nii Loobu jõest kui Kihlevere peakraavist.

Ala kohta olemasolevate põhjaveemudelite järgi on põhjavee liikumissuund Ordoviitsiumi veekihis PRK0050635 juures Loobu jõe suunas (joonis 7.1). Välistada ei saa pinnakattes tugevate sademete ja lumesulamise järgselt moodustuva ajutise ülavee voolusuunda lõunasse Kihlevere peakraavi poole.

⁷ Kloridasooni ja selle laguprodukti, kloridasoon-desfenüüli, levikupõhjuste väljaselgitamine. Eesti Maaülikool, Tartu 2022.



Joonis 7.1. Puurkaev PRK0050635 paikneb Kihlevere peakraavi valgla servas ja põhjaveemudelite järgi liigub Ordoviitsiumi veekihi põhjavesi seal Loobu jõe valglasse.

Tõenäoliselt on peetud, et maapinnalähedase põhjaveekihi puurkaevu vesi on sageli segu erinevatel kaugustel infiltreerunud sademevee ja sügavama põhjavee komponentidest, seega ka erineval ajal põhjavette infiltreerunud vetest⁸.

Puurkaevu PRK0050635 vesi on 2023-2024 veeproovide järgi aeroobne (lahustunud hapniku sisaldus keskmiselt 7.4 mg/l, NO₃ 56 mg/l) ja taolistes aeroobsetes tingimustes peaks kloridasooni ja kloridasoon-desfenüüli lagunemisnäitaja DT50 jääma vahemikku 40-200 päeva.

Olemasolevate põhjaveemudelite järgi jõuab põhjavesi puurkaevu PRK0050635 ka kaugemalt kirde-põhja suunast, kus pinnases ja põhjavees võib esineda anaeroobseid tingimusi. Mõningase osa anaeroobse vee puurkaevu jõudmisele viitab ka aastate 2023-2024 veeproovide Fe⁺² ja Fe⁺³ sisalduste analüüs.

⁸ Hüdrogeoloogiline uuring Pandivere ja Adavere-Põltsamaa nitraaditundlikul alal põhjavee ning saasteainete liikumise ja veehaarete toitealade määramiseks modelleerimise meetodil. TÜ Ökoloogia ja Maateaduste Instituudi Geoloogia Osakond. Tartu 2024.

Anaeroobsetes pinnase ja põhjavee tingimustes laguneb kloridasoon väga aeglaselt ja kuna kloridasoon-desfenüüli lagunemisinäitaja DT50 on mitmeid kordi pikem, on see põhjavees püsiv ning seetõttu sageli põhjaveeproovidest leitav (kloridasooni leiud on vähesed).

Kui eeldada, et alates käesolevast aastakümnest pole kloridasooni taimekaitseks kasutatud ning arvestades Eestis läbiviidud seiretööde ja Eesti ja Euroopa uuringute tulemustega, võib kloridasoon-desfenüüli veekeskkonnas leidumise osas järeldada, et:

- Maapinnalähedase S-O põhjaveekihi puurkaevus on vesi sageli segu erinevatel kaugustel infiltreerunud sademevee ja sügavama põhjavee komponentidest, seega erineval ajal põhjavette infiltreerunud vetest.
- Kloridasoon-desfenüüli laialdane esinemine põhjavees pole tõenäoliselt seotud konkreetse reostuskoldega, vaid asjaoluga, et anaeroobsetes pinnase ja põhjavee tingimustes on kloridasoon-desfenüül püsiv ning sisalduste vähenemisel on oluline lahjenemine põhjavee liikumisest.
- Kaevuvee kloridasoon-desfenüüli sisaldustel üle 0.1 µg/l on tõenäoline, et kaevu jõuab ka anaeroobset või anaeroobsetes tingimuses moodustunud põhjavett (aeroobses veekeskkonnas püsivaid kõrgeid sisaldusi olla ei saaks).
- Arvestades kloridasoon-desfenüüli püsivust anaeroobsetes tingimustes, võis kloridasooni kasutamisel suurema paksusega pinnakattega aladel (kus on pinnases aeglase veeliikumise anaeroobsed vööndid), kloridasoon-desfenüül talletuda ja sealt aastaid edasi kanduda põhjavette.

Kuna Eestis pole kloridasooni kasutamine lubatud (Euroopa Liidus oli kasutus heakskiidetud kuni 31. detsembrini 2018), pole kloridasoon-desfenüüli sisalduste vähendamiseks veekeskkonnas täiendavaid meetmeid vaja rakendada. Vajalik on kloridasoon-desfenüüli leviku ulatuse kindlakstegemine veekeskkonnas ja piirväärtust ületavate sisalduste seire. Piirväärtust ületavate kloridasoon-desfenüüli sisaldusega joogivee kasutatavuse osas on otsustajaks Terviseamet.

8. Järeldused ja soovitused

Jätkuseire eesmärgiks oli:

1. Hinnata pinna- ja põhjavee kvaliteeti uuritud valglates ja suundumusi toitainete ja ohtlike ainete sisalduse alusel, kasutades pikemaajandandmeid;
2. Täpsustada põhjavee kvaliteedi mõju uuritud valglate pinnavee kvaliteedile (lämmastiku ja fosfori ühendid) tuginedes pikemaajandandmetele;
3. Hinnata suundumusi toitainete äraandmisel ja selle põhjuseid.

Sellest lähtuvalt saab välja tuua järgmised järeldused ja soovitused:

Pinna- ja põhjavee kvaliteet ja suundumused uuritud valglates

- Lämmastikuühendite (sh nitraadi) sisaldus uuritud valglate pinna- ja põhjavees on endiselt kõrge. Samas on Vohnja ojas ja Sõmeru jõe ülejooksu poolsemas seirelävendis see langevas suundumuses, ja seda tingimustes, kus N sisaldust mõjutavas äravoolus statistiliselt olulist muutust ei täheldatud. Ka ei ole statistiliselt olulist muutust uuritud põhjavee lämmastikusisalduses⁹. Seega võib eeldada, et N sisalduse langeva suundumuse põhjuseks Vohnja ojas ja Sõmeru jõe on vähenenud põllumajanduslik surve valglates, kus langus leiab aset üsna kõrgelt N sisalduse tasemelt.
- Fosforiühendite (sh fosfaadi) sisaldus nii põhja- kui pinnavees on madal. Kuna osades valglates on vooluveekogu põhjaveelise toitumuse osakaal suur, kinnitavad järeleire andmed varasemaid tulemusi, et seiratud väikevalglates ei ole põhjavesi enamasti oluline pinnavee P_{üld} allikas. Fosfori sisalduse varieerumine pinnavees on tõenäoliselt seotud pindmise äravooluga või Vohnja ojas ka heitvee mõjuga hilissuvisel madalvee perioodil.
- Töö käigus ei kogutud uuritud valglate väetise ja sõnniku kasutamise andmeid, välja arvatud Sõmeru valga pilootpõldudel. Seetõttu ei olnud võimalik hinnata väetisekasutuse mõju pinna- ja põhjavee kvaliteedile. Sobivate koha-spetsiifiliste meetmete valik eelkõige lämmastiku äraandmise vähendamiseks valglates vajab täpsemaid põllumassivi põhiseid andmeid tegeliku maakasutuse kohta.
- Põllu drenivee kvaliteedis avalduvad spetsiifilise maakasutuse mõjud enamasti üsna kiiresti, veel sama kalendriaasta sees, võimaldades tootjal korrigeerida maakasutusega seotud survet

⁹ Ainus statistiliselt oluline ($p \leq 0,05$) trend oli N_{üld} ja NO₃-N tõusev suundumus kaevus nr. 24825 Põdruse valglas. See oli tõenäoliselt seotud lokaalsete muutustega seirekaevu lähiümbruses (nt muutused maakasutuses ja väetamises jne.).

veekvaliteedile. Uuringu tulemused kahel pilootpõllul Sõmeru valglas (Kanger, 2024) näitavad, et ca 80% põllule laotatud ja põllukultuuride poolt omastamata väetise lämmastikust võib leostuda drenivette, millega kantakse minema 48-49 kg N/ha aastas. Seega on lämmastiku koormuse vähendamiseks vaja optimaalsemat orgaaniliste väetiste kasutust ja suuremat lämmastiku omastamise tõhusust põllukultuuride poolt, sh suurema saagikuse kaudu, aga ka spetsiifilisi meetmeid vee viibeaja pikendamiseks drenisüsteemis.

- Keemilise seisundi hinnangu alusel on kõik uuritud vooluveekogud heas seisundis. Pinnavee pestitsiidijääkide analüüs näitas enamuse analüüsitud pestitsiidide sisaldusi alla labori määramispiiri. Analüüsitud vesikonnaspetsiifiliste saasteainete sisalduse (pestitsiidijäägid) alusel on Kihlevere peakraav heas seisundis ja ülejäänud uuritud vooluveekogud halvas seisundis. Mitthea seisundi põhjuseks on Eestis enimkasutatud pestitsiidi glüfosaadi laguaine AMPA. Samas on tegelike (tipu) sisalduste mõõtmine, eelkõige vooluveekogudes, suureks väljakutseks nii taimekaitsevahendite kui ka ravimijääkide seire korraldamisel. Suure tõenäosusega ei ole võimalik kirjeldada kogu varieeruvust nende sisaldustes ning tabada maksimaalseid sisaldusi, kui seire sageduseks on vaid 4 korda (või 2 korda ravimijääkidel) aastas.
- Põhjavees on probleemiks eeskätt pestitsiidide laguproduktide esinemine üle põhjavee piirväärtuse ja joogivee piirsisalduse. Võrreldes allikatega iseloomustavad puuraugud ja väikese veevõtuga kaevud (nt puurkaev nr 50635) sageli väikese ala põhjavett ning üksiku põhjavee seirekoha analüüsitulemuse seos pinnaveega võib osutuda nõrgaks. Maapinnalähedase veekihi puurkaevude ja allikate vesi võib olla segu erinevatelt sügavustelt (aeroobsest ja anaeroobsest veekihist) ja seega erineval ajal infiltreerunud vetest ning analüüs kajastab eri kaugustel infiltreerunud sademevee ja sügavama põhjavee komponente. Uuringu seirekohtade vee pestitsiidijääkide leiud on pea eranditult aeroobsest nitraati sisaldavast veekihist. Võrreldes nitraadiga, mille denitrifitseerumiseks on eeldused anaeroobses veekihis, võivad põhjavette jõudnud pestitsiidijäägid püsida vees kauem, liikuda veekihis sügavamale ning kasutusalt kaugemale.
- Eestis kasutada lubatud pestitsiidid ei tohiks lubatud koguste ja sobivate ilmaolude puhul mullakihist allapoole pinnasesse ja põhjavette jõudagi. Nende leidumine põhjavees võib olla tingitud näiteks mullakihist sademetega väljauhtumisest juhul, kui intensiivsed sademed langevad pestitsiidi toimeaja perioodil enne aine täielikku lagunemist. Kaudselt viitab sellisele võimalusele Eestis enimkasutatud pestitsiidi glüfosaadi laguaine AMPA ebakorrapärased leiud nii ajas kui

ruumis. Arvestades sademete intensiivsuse ja sügis-talvise perioodi sademete hulga suurenemist Eestis, ei saa tulevikus välistada kasutada lubatud pestitsiidide leidude kasvu põhjavees.

Eestis keelustatud herbitsiid kloridasooni toimeaine sisaldused jäid kõigis veeproovides alla labori määramispiiri. Selle metaboliidi kloridasoon-desfenüüli (metaboliit B) laialdane esinemine põhjavees näitab aga, et kloridasooni kasutamisest tekkinud laguaine võib pinnases ja põhjavees olla püsiv ja piisavalt mobiilne. Viimastel aastatel kloridasoon-desfenüüli sisalduste suurenemist põhjavees üldreeglina siiski ei täheldata ning sisalduse vähendamiseks veekeskkonnas ei ole täiendavaid meetmeid vaja rakendada. Vajalik on siiski selle leviku täpsustamine ja piirväärtust ületavate sisalduste seire.

Põhjavee kvaliteedi mõju uuritud valgate pinnavee kvaliteedile

- Põllumajandustootmise mõju hindamiseks valgla tasandil on sobivamad suhteliselt väikese pindalaga (enamasti <25 km²) ja suure põllumajandusmaa osakaaluga (>50%) valglad, kus muude koormusallikate (nt. asulate heitvesi, looduskooormus) on väiksem. Sellistes valglates on suurema usaldusväärsusega võimalik seostada põllumajanduslikku maakasutust pinna- ja põhjavee kvaliteediga. Olukorras kus pinnavee kvaliteet on aga tugevasti mõjutatud põhjaveest (nt Sõmeru ja Vohnja valglad), muutub see taas keerulisemaks, kuna põhjaveekogumid, valglad ja vooluteed ei lange tavaliselt kokku pinnavee omadega ning põhjaveekvaliteedi formeerumisel võivad olulist rolli mängida erinevad koormusallikad väljaspool vooluveekogu valgla piiri, mille kohta ei tarvitse teave aga olla kättesaadav.
- Tänu pikemale seireperioodile ilmes selgemalt, et põhjavesi mõjutab pinnavee toitainete (eriti lämmastikuühendite) sisaldusi enam Sõmeru jõe ja Vohnja oja valglates, kus pinnaveekogude põhjaveelise (allikalise) toitumise osakaal, ehk baasäravool, on suur. Tuleb silmas pidada, et allikate valglad võivad olla mitmekümne ruutkilomeetri suurused ja iseloomustada oluliselt suuremat osa pinnaveekoguga seotud põhjaveevalglast.
- Hinnangut pinna- ja põhjavee vastastikmõjust veekvaliteedi kujunemisel on keerulisem anda väikevalglates (nt Põdruse ja Kihlevere peakraavid), kus suuremad allikad puuduvad, põhjaveetoide on väiksem või olemasolevate puurkaevude andmed ei paku selleks piisavalt infot. Kuna puuraugu/puurkaevu poolt iseloomustatav põhjaveekihi osa on väike, on üksiku puuraugu N-ühendite sisalduse seostamine pinnavee kvaliteediga keeruline. Seetõttu vajab põhjavee/pinnavee kvaliteedi seose tõestamine valgalal suuremat arvu põhjavee seirepunkte. Sealjuures tuleb tähele

panna, et seirataivate puurkaevude avatud (manteldamata) osad ei pakneks vooluveekogu põhjaga võrreldes liiga sügaval.

- Puurkaevud avavad tihti sügavamaid põhjaveekihte, mis kraavide veekvaliteeti mõjutama ei ulatu. Tulevikus võiks sellistel aladel katsetada madalate vaatluspuuraukude rajamist pinnakattesse vooluveekogude lähedale, mis võimaldaksid uurida, kas ja millise kvaliteediga vesi jõuab kraavidesse läbi pinnakatte.

Suundumused toitainete ärakandes ja selle põhjused

- Üldlämmastiku ja üldfosfori seireperioodi keskmine ärakanne valgla pindala hektari kohta oli kõrgem Sõmeru jões ja Vohnja ojas. Mõlemale vooluveekogule on iseloomulik suhteliselt suur äravoolumoodul võrreldes Kihlevere ja Põdruse peakraaviga, mis suuresti selgitab toitainete ärakande erinevusi uuritud valglates.
- Tingimuslik MK test näitas, et Sõmeru jões on $N_{\text{üld}}$ ärakanne olnud statistiliselt olulises ($p \leq 0,05$) langustrendis olukorras, kus $N_{\text{üld}}$ sisalduse langus on statistiliselt väheoluline ja äravool on isegi kasvanud. See osutab olukorrale, kus lämmastiku ärakanne väheneb maakasutusest pärit koormuse alanemise tõttu. Ka Kihlevere peakraavis on täheldatav statistiliselt üsna oluline ($p=0,070$) $N_{\text{üld}}$ ärakande langustrend tingimustes, kus äravoolus olulist suundumust vähenemisele ei esine. Üldfosfori koormuses ei näidanud tingimuslik MK-test ei alanevat ega tõusvat suundumust perioodil 2019-2024.
- Suurem osa, keskmiselt vastavalt 47% ja 50% lämmastikust, kantakse Vohnja ja Sõmeru valglas minema kevadperioodil (märts-mai). Kihlevere ja Põdruse peakraavis moodustas suurema osa (42% ja 44%) talvine N ärakanne ning kevadel lisandus veel vastavalt 33% ja 35%. Varieeruvus erinevate aastate lõikes on samas suur. Ka fosfori koormusest moodustab kõigis valglates suure osa kevadine ja talvine ärakanne. Sõmeru jões ja Vohnja ojas on suveperioodi N ja P ärakanne üsna oluline, võrreldes Kihlevere ja Põdruse peakraavidega, viidates baasäravoolu tähtsusele toitainete ärakandel sel perioodil.
- Isegi 5-aastane periood on liiga lühike toitainete sisalduste dünaamika ja trendide hindamiseks, mis väljendaksid muutusi väetiste kasutamises või seni rakendatud põllumajanduslike veekaitse meetmete tõhusust. Muutused pinna- ja põhjavees on oluliselt mõjutatud ilmastikust erinevatel aastatel. Seetõttu on suundumuste selgitamiseks vaja pikemaid aegridu, mis katavad mitukümmend aastat. Toitainete hajukoormuse täpsemaks hindamiseks valglates, kus domineerib põllumajanduslik maakasutus, on vaja täpsemalt hinnata äravoolu. Igakuised vooluhulga

mõõtmised samaaegselt veeproovide kogumisega ei anna selleks piisavalt head alust, kuna suure tõenäosusega ei kirjeldata nii kõiki hüdroloogilisi perioode (sh madalvee-kõrgvee perioodid). Seetõttu on paremaks lahenduseks hajureostuse mõju hindamisel vooluhulga (veetaseme) pidev (automaatne) mõõtmine ning vooluhulgaga või ajas keskmistatud veeproovide kogumine. Osade kvaliteedielementide (nt nitraat) seireks on ka pinnavees võimalik kasutada sensortehnoloogiat. Ka allikate seirel võib täpsemaid tulemusi anda vooluhulkade ja nitraatide automaatseire;

- Pilootvalglate piiresse ei jää ühtegi meteojaama. Valglatele lähemate meteojaamade sademete andmed ei tarvitse aga olla esinduslikud 15-20 km kaugusel paiknevates valglates, sest ruumiline varieeruvus temperatuurides ja sademetes võib olla suur. Seetõttu ei leitud uuritud valglates ka seost kuu sademete summa ja kuu äravoolu vahel, mis ei tähenda, et suurema saju järgselt äravool ei suureneks. Vooluhulga mõõtmine üks kord kuus ei anna head ülevaadet selle varieeruvusest ja sademete mõjust äravoolule ning vajab detailsemat (pidevat) vooluhulga mõõtmist, mida saaks rakendada vaid püsiseirejaamas. Parema kvaliteediga vooluhulga andmed võimaldavad täpsemalt hinnata ka ainete ärakannet, selle varieeruvust ja suundumusi ning selle võimalikke põhjuseid.

6. Kasutatud kirjandus

- George, D. G., Järvinen, M., Arvola, L., 2004. The influence of the North Atlantic Oscillation on the winter characteristics of Windermere (UK) and Paajarvi (Finland), *Boreal Environ. Res.*, 9, 389–399.
- Gilliom, R.J., Helsel, D.R., 1986. Estimation of Distributional Parameters for Censored Trace Level Water Quality Data: 1. Estimation Techniques. *Water Resources Research* 22, 135-146.
- Iital, A., Pachel, K., Tamm, I., Kanger, J. 2024. Põllumajanduse veekaitse meetmete rakendamise tõhususe mõõtmine pilootpiirkonnas (Sõmeru jõe valgla) I etapp 2023–2025. 2024. a. tegevuste ja tulemuste kokkuvõte. *Töövõtulepingu nr 4-1/22/140 aruanne*, 72 lk.
- Jaagus, J., Sepp, M., Tamm, T., Järvet, A., & Mõisja, K., 2017. Trends and regime shifts in climatic conditions and river runoff in Estonia during 1951-2015. *Earth System Dynamics*, 8, 963–976. <https://doi.org/10.5194/esd-8-963-2017>.
- Kanger, J., 2024. Drenaažisüsteemi veekvaliteet. Põllumajanduse veekaitse meetmete rakendamise tõhususe mõõtmine pilootpiirkonnas (Sõmeru jõe valgla). I etapp 2023–2025”, 2024. a. tegevuste ja tulemuste kokkuvõte. *Töövõtulepingu nr 4-1/22/140 aruanne*, 72 lk.
- Kendall, M.G. 1975. Rank Correlation Methods, 4th edition, Charles Griffin, London.
- Keskkonnaministri 1. oktoobri 2019. a määrus nr 48 „Põhjaveekogumite nimekiri ja nende eristamise kord, seisundiklassid ja nende määramise kord, seisundiklassidele vastavad keemilise seisundi määramiseks kasutatavate kvaliteedinäitajate väärtused ja koguselise seisundi määramiseks kasutatavate näitajate tingimused, põhjavett ohustavate saasteainete nimekiri, nende sisalduse läviväärtused põhjaveekogumite kaupa ja kvaliteedi piirväärtused põhjavees ning taustataseme määramise põhimõtted“
- Keskkonnaministri 16. aprilli 2020. a määrus nr 19 „Pinnaveekogumite nimekiri, pinnaveekogumite ja territoriaalmeri seisundiklasside määramise kord, pinnaveekogumite ökoloogiliste seisundiklasside kvaliteedinäitajate väärtused ja pinnaveekogumiga hõlmamata veekogude kvaliteedinäitajate väärtused“.
- Kmoch, A., Kanal, A., Astover, A., Kull, A., Virro, H., Helm, A., Pärtel, M., Ostonen, I., and Uuemaa, E., 2021. EstSoil-EH: a high-resolution eco-hydrological modelling parameters dataset for Estonia, *Earth Syst. Sci. Data*, 13, 83–97, <https://doi.org/10.5194/essd-13-83-2021>
- Libiseller, C., Grimvall, A., 2002. Performance of partial Mann–Kendall tests for trend detection in the presence of covariates. *Environmetrics: The official journal of the International Environmetrics Society* 13: 71-84.
- LIFE IP, 2022. Iital, A., Kõrgmaa, V., Pachel, K., Roosalu, K., Jaaku, J., Leisk, Ü., Pärn, J., Hunt, M., Osjamets, M., Koit, O. LIFE IP CleanEST projekti tegevus C10.1 veeuuringud 2019-2022 a. Seiretulemuste kokkuvõte. LIFE IP CleanEst Projekt, Tallinn. https://lifecleanest.ee/sites/cleanest/files/202210/LIFE_IP_CleanEst_tegevus_C10_%C3%B5pparuanne%2027.09.2022.docx.pdf
- Maastik, A., Oraspõld, A., Raukas, A., Kaljumäe, H., Karukäpp, R., Tavast, E., Teedumäe, A., Heinsalu, Ü., Metslang, T., Tamm, I., Metsur, M., Kink, H., 1993. *Pandivere riiklik veekaitseala*. AS Maves, Jyväskylä.
- Mann, H.B., 1945. Non-parametric tests against trend, *Econometrica* 13:163-171.

Metsur, M., Tamm, I., 1994. Põllumajanduslik hajureostus lämmastikühenditega Eestis. Keski-Suomen vesi- ja ympäristöpiiri, AS Maves, Järva maavalitsuse keskkonnauuringud, Jyväskylä.

Pärn, J., Walraevens, K., Hunt, M., Koit, O., van Camp, M., Ivask, J., Raidla, V., Iital, A., Kõrgmaa, V., Osjamets, M., Babre, A., van Reybrouck, J., Vaikmäe, R., 2024. Unveiling the hydrological response of NO₃-rich springs to seasonal snowmelt in a karstic carbonate upland. *Journal of Hydrology*, 131724. 10.1016/j.jhydrol.2024.131724.

Raij-Hoffman, I., Dahan, O., Dahlke, H. E., Harter, T., Kisekka, I., 2024. Assessing nitrate leaching during drought and extreme precipitation: Exploring deep vadose-zone monitoring, groundwater observations, and field mass balance. *Water Resources Research*, 60, e2024WR037973. <https://doi.org/10.1029/2024WR037973>

Ruosteenoja, K., & Jylhä, K., 2021. Projected climate change in Finland during the 21st century calculated from CMIP6 model simulations. *Geophysica*, 56, 39–69.

Sotsiaalministri 24. septembri 2019. a määrus nr 61 „Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ja analüüsimeetodid ning tarbijale teabe esitamise nõuded“

Stålnacke, P., Aakerøy, P. A., Blicher-Mathiesen, G., Iital, A., Jansson, V., Koskiahio, J., Kyllmar, K., Lagzdins, A., Pengerud, A., Povilaitis, A., 2014. Temporal trends in nitrogen concentrations and losses from agricultural catchments in the Nordic and Baltic countries. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 198, 94–103. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.028>.

Vainu, M., Viira, A.-H., Rooma, L., Kikas, T., Matveev, E., Naarits, A., Tiirats, K., Vaarmari, K., Palts, M., 2024. Nitraaditundlike alade nimistu läbivaatamine, vajadusel nimistu muutmise või täiendamise ettepanekute esitamine koos mõjuanalüüsiga. TLÜ Ökoloogia Instituut, Maaelu teadmuskeskus, Keskkonnaõiguse keskus, Tallinn.

de Wit, H.A., Hindar, H., Hole, L., 2008. Winter climate affects long-term trends in stream water nitrate in acid-sensitive catchments in southern Norway. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 4, 3055–3085.

LISAD

Lisa 1. Põhjavee seireandmed

Lisa 2. Pinnavee seireandmed