

Aruanne

Riikliku keskkonnaseire programmi
kompleksseire allprogrammi seiretöö

KOMPLEKSSEIRE SAAREJÄRVEL JA
VILSANDIL 2022



Riikliku keskkonnaseire programmi
kompleksseire allprogrammi seiretöö

Kompleksseire Saarejärvel ja Vilsandil 2022. a

Lõpparuanne

Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ 2023

Kinnitas:

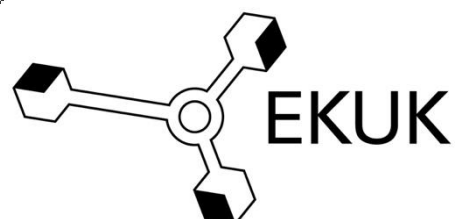
Erik Teinemaa

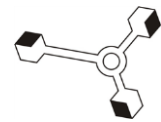
Õhukvaliteedi juhtimise osakonna juhataja

Aruande koostaja:

Kairi Lõhmus

Tartu osakonna spetsialist





2022. aasta seiretööd kompleksseires viidi läbi järgmise lepingu raames: halduslepingu nr 1-6/19/5 eraldise kasutamise lepingu nr 4-4/22/9 Lisa 10 alusel.

Seiret läbiviiv organisatsioon: OÜ Eesti Keskkonnauuringute Keskus (EKUK)

Vastutav täitja: Rita Annus

E-mail: rita.annus@klab.ee



Sisukord

Tabelid.....	3
Joonised	4
1 Sissejuhatus.....	6
2 Metoodika.....	9
3 Aasta meteoroloogiline iseloomustus ja sademete keemia	10
3.1 Meteoroloogiline iseloomustus	10
3.2 Avamaa sademed.....	12
3.3 Võravoolu keemia	18
3.4 Tüvevoolu keemia.....	27
3.5 Mullavee keemia.....	33
3.6 Vooluvee keemia.....	43
4 Bioindikatsioon – Bioloogilised allprogrammid	46
4.1 Okkakeemia.....	46
4.2 Varise keemia.....	49
4.3 Taimkate intensiivaladel	50
4.4 Mikroobne lagunemine.....	51
5 Kokkuvõte	53
Lisa 1 Saarejärve taimkatte analüüs (VG) 2022	55



Tabelid

Tabel 1. Põhjus-tagajärg seosed, mille kohta kompleksseire programm andmeid kogub.	7
Tabel 2. Kompleksseire alad.	8
Tabel 3. Kompleksseire programmid (kursiivis täiendavad allprogrammid) ja allprogrammide täitmine Saarejärve ja Vilsandi seirealadel 2022. aastal.	9
Tabel 4. Saarejärve avamaa sademetes määratavate näitajate sisaldused, aasta keskmised ja depositsioon.	12
Tabel 5. Saarejärve avamaa sademete üldfosfori (P-üld), üldlämmastiku (N-üld), lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) ning raskmetallide sisaldused.	13
Tabel 6. Vilsandi avamaa sademetes määratavate näitajate sisaldused, aasta keskmised ja depositsiooni kogus.	13
Tabel 7. Vilsandi avamaa sademete üldfosfori (P-üld), üldlämmastiku (N-üld), lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) ning raskmetallide sisaldused.	14
Tabel 8. Saarejärve ja Vilsandi avamaa sademete olulisemad trendid aastatel 2013-2022.	17
Tabel 9. Saarejärve võravee analüüsitulemused 2022. aastal.	19
Tabel 10. Saarejärve võravee üldfosfori (P-üld), -lämmastiku (N-üld), lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) ning raskmetallide sisaldused 2022. aastal.	20
Tabel 11. Vilsandi võravee analüüsitulemused 2022. aastal.	21
Tabel 12. Vilsandi võravee üldfosfori (P-üld), -lämmastiku (N-üld), lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) ja raskmetallide sisaldused 2022. aastal.	22
Tabel 13. Saarejärve ja Vilsandi võravee olulisemad trendid aastatel 2013-2022.	25
Tabel 14. Saarejärve tüvevees analüüsitud ühendite kontsentratsioonid 2022. aastal.	28
Tabel 15. Saarejärve tüvevees analüüsitud metallide, lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) ja üldfosfori kontsentratsioonid 2022. aastal.	28
Tabel 16. Vilsandi tüvevees analüüsitud ühendite kontsentratsioonid 2022. aastal.	29
Tabel 18. Vilsandi tüvevees analüüsitud metallide, lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) ja üldfosfori kontsentratsioonid 2022. aastal.	30
Tabel 19. Saarejärve ja Vilsandi võravee olulisemad trendid aastatel 2013-2022.	32
Tabel 20. Saarejärve 10 cm sügavusel mullavees analüüsitud ainete kontsentratsioonid 2022. aastal.	33
Tabel 21. Metallide, üldlämmastiku ja -fosfori sisaldused Saarejärvel 10 cm sügavusel mullavees.	34
Tabel 22. Saarejärve 40 cm sügavusel mullavees analüüsitud ainete kontsentratsioonid 2022. aastal.	35
Tabel 23. Metallide, üldlämmastiku ja -fosfori sisaldused Saarejärvel 40 cm sügavusel mullavees.	35
Tabel 24. Vilsandi 17 cm sügavusel mullavees analüüsitud ainete kontsentratsioonid 2022. aastal.	36
Tabel 25. Metallide, üldlämmastiku ja üldfosfori sisaldused Vilsandil 17 cm sügavusel mullavees.	37
Tabel 26. Vilsandi 35 cm sügavusel mullavees analüüsitud näitajate kontsentratsioonid 2022. aastal.	38



Tabel 27. Metallide, üldlämmastiku ja üldfosfori sisaldused Vilsandil 35 cm sügavusel mullavees.	39
Tabel 28. Saarejärve ja Vilsandi mullavee olulisemad trendid aastatel 2013-2022.	41
Tabel 29. Saare järve sissevoolu analüsitavate näitajate kontsentratsioonid 2022. aastal.	44
Tabel 30. Saare järve sissevoolu füüsikalised näitajad ja lahustunud silikaadid (SiO ₂) ning üldalumiiniumi sisaldused 2022. aastal.....	44
Tabel 31. Saare järve sissevoolu raskmetallide sisaldused 2022. aastal µg/l. Kaalutud keskmine on arvutatud vastavalt vooluhulgale.....	45
Tabel 32. 1-aastaste ja 2-aastaste männiokaste elementide sisaldus (mg/kg) Saarejärvel.	47
Tabel 33. 1-aastaste ning 2-3-aastaste männiokaste elementide sisaldus (mg/kg) Vilsandil.	47
Tabel 34. Vilsandi ja Saarejärve varise määratud näitajate sisaldused (mg/kg) 2022. aastal.....	50
Tabel 35. Taimestiku katvus (%) Saarejärve männiku seirealal 2022. aastal.....	51
Tabel 36. Varise okaste ja α-tselluloosiribade massikao % Saarejärve ja Vilsandi kompleksseire aladel 1, 2 ja 3 aasta jooksul.	52

Joonised

Joonis 1. Kompleksseire peamised uurimisvaldkonnad ja nende vahelised seosed.	8
Joonis 2. Saarejärve, Jõgeva ja Vilsandi sademete kogused (mm) 2022. aastal.	11
Joonis 3. Saarejärve ja Vilsandi õhu- ja pinnasetemperatuurid ning Saarejärve sissevoolu temperatuur 2022. aastal.	11
Joonis 4. Üldlämmastiku sisaldused avamaa sademetes 2022. aastal.	16
Joonis 5. Üldfosfori sisaldused avamaa sademetes 2021. ja 2022. aastal.	16
Joonis 6. NO ₃ -N sisaldused (mgN/l) aastatel 2013-2022 Saarejärve avamaa sademetes koos trendijooniga.	17
Joonis 7. NO ₃ -N (mgN/l) ja Mg (mg/l) sisaldused aastatel 2013-2022 Vilsandi avamaa sademetes koos trendijooniga.	18
Joonis 8. Võravee ja avamaa sademete kogused kuude kaupa 2022. aastal.....	19
Joonis 9. Kloriidiooni sisaldused võraves ja avamaa sademetes 2022. aastal.....	23
Joonis 10. Kaadmiumi sisaldused avamaa ja võrasademetes 2022. aastal.	23
Joonis 11. Plii sisaldused avamaa ja võrasademetes 2022. aastal.	24
Joonis 12. Nikli sisaldused avamaa ja võrasademetes 2022. aastal.....	24
Joonis 13. Mangaani sisaldus võraves 2022. aastal.	24
Joonis 14. pH väärtuste muutused Saarejärve võraves aastatel 2013-2022.....	26
Joonis 15. Olulisemad trendid Saarejärve võraves.	26
Joonis 16. Olulisemad trendid Vilsandi võraves.	27
Joonis 17. Kaltsiumi, magneesiumi, naatriumi ja kaaliumi sisaldused tüveves 2022. aastal.	31
Joonis 18. Olulisemad trendid Saarejärve tüveves viimastel aastatel.	32
Joonis 19. Mullavee kogus (mm) Saarejärvel ja Vilsandil 2022. aastal.	33



Joonis 20. Kaadmiumi sisaldused mullavees 2022. aastal.....	40
Joonis 21. Nikli sisaldused mullavees 2022. aastal.	40
Joonis 22. Olulisemad trendid Saarejärve mullavees.	42
Joonis 23. Olulisemad trendid Vilsandi mullavees.....	42
Joonis 24. Nikli kontsentratsioonid Vilsandi mullavees (17 cm sügavusel) aastatel 2012-2022.....	43
Joonis 25. Kaaliumi kontsentratsioonide muutused Saarejärve sissevoolus.....	46
Joonis 26. Lämmastiku ja kaltsiumi suhtarvu trend Vilsandi 1-aastastes okastes.	48
Joonis 27. Lämmastiku ja kaaliumi suhtarvu trend Saarejärve 1-aastastes okastes.	49



1 Sissejuhatus

Kompleksseire eesmärk on jälgida looduslike ökosüsteemide seisundit ja selle pikaajalisi muutusi, arvestades regionaalset varieeruvust ja õhusaastet, eelkõige väävli- ja lämmastikuühendite ning osooni, aga ka püsivate orgaaniliste saasteainete (POS) ja raskmetallide mõju. Tulemusi võrreldakse teiste Euroopa riikide seirejaamade näitajatega, mis võimaldab erinevate riikide seiretulemuste laiemat üldistamist ning sarnaste trendide väljaselgitamist.

Rahvusvaheline kompleksseire programm (*International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems*) algatati Põhjamaade initsiatiivil 1988. aastal piiriülese õhusaaste kauglevi uurimiseks Genfi konventsiooni raames. Eesti ühines Piiriülese õhusaaste kauglevi konventsiooni ning selle protokollidega 19. jaanuaril 2000. aastal (RT II 2000, 4, 25). Nimetatud konventsiooni artikkel 7 raames tehakse koostööd järgmistes valdkondades:

- a. täiustatud mudelid õhusaasteainete piiriülese kauglevi paremaks mõistmiseks;
- b. väävliühendite ja muude õhusaasteainete toime mõju inimese tervisele ja keskkonnale, sealhulgas põllumajandusele, metsandusele, vee- ja muudele looduslikele ökosüsteemidele;
- c. keskkonnakaitse eesmärkide saavutamine, sealhulgas piiriülese õhusaaste kauglevi vähendamise meetmete majanduslik, sotsiaalne ja ökoloogiline hindamine.

Ülaltoodud eesmärkide saavutamiseks tehakse õhusaaste mõju uurimiseks keskkonnale koostööd järgmiste programmide raames:

- ICP Forests – rahvusvaheline programm õhusaaste mõju uurimiseks metsadele, alates 1985. aastast (ECE/EB, AIR/7, para. 54 (c)).
- ICP Waters – jõgede ja järvede hapestumise uurimise programm, alates 1985. aastast (ECE/EB, AIR/7, para. 54 (d)).
- ICP Vegetation – õhusaaste mõju looduslikule taimkattele ja põllukultuuridele, alates 1985. aastast (ECE/EB, AIR/16, para. 32 (c)).
- ICP Materials – õhusaaste mõju materjalidele, sh. ajaloo- ja kultuurimälestistele, alates 1985. aastast (ECE/EB, AIR/7, para 54. (e)).
- ICP Integrated Monitoring – rahvusvaheline kompleksseire programm, pilootprogrammiga alustati 1987. aastal (ECE/EB, AIR/16, para. 25 (d)) ning jätkuprogrammiga 1992 (ECE/EB, AIR/33, para. 37 (d)).

Kompleksseire eesmärgiks seati informatsiooni kogumine väikeste terviklike maismaaökosüsteemide seisundist ja prognoosida neis aja jooksul aset leidvaid muutusi, arvestades eeskätt lämmastiku- ja väävlisaaste mõju. Pikaajaliselt kogutud komplekssete andmete alusel on võimalik selgitada ökosüsteemis toimuvate muutuste põhjuslikke seoseid keskkonnateguritega, tagades adekvaatse teadusliku aluse saastekontrollile, määratlada ja modelleerida ökosüsteemide seisundit tegelike ja prognoositavate saastekoormuste hindamiseks ning prognoosida õhusaaste kaugkande mõju ökosüsteemidele, arvestades regionaalset varieeruvust.

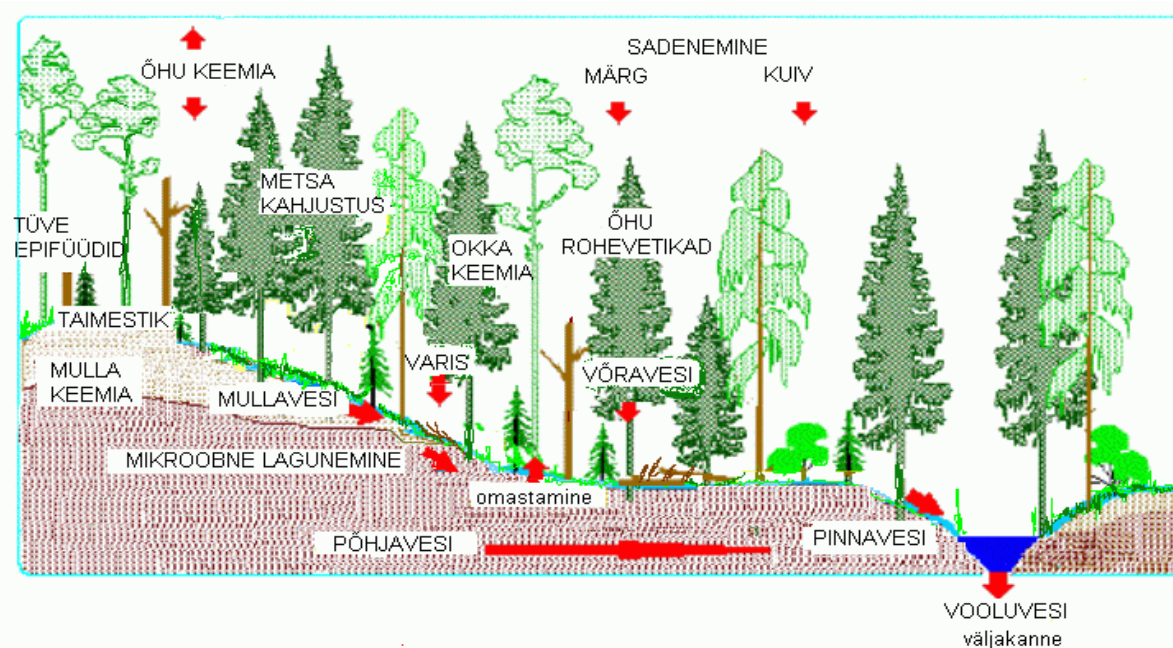
Väävli- ja lämmastikusaaste mõju uurimise kõrval on kompleksseire allprogrammide hulka laiendatud nii, et oleks võimalik hinnata ka osooni, raskmetallide ja püsivate orgaaniliste saasteainete (POP) ökoloogilist mõju (**Tabel 1**). Kompleksseire oli esimene üleeuroopaline seireprogramm, mis mõõtis ökosüsteemi eri osade füüsikalisi, keemilisi ja bioloogilisi parameetreid integreeritult ühel proovialal ja võimaldas sellele toetudes luua rahvusvahelise andmebaasi. Arvestades ökosüsteemis asetleidvate



protsesside ruumilist ja ajalist varieeruvust, peaks iga seires osalev riik tagama programmi pikaajalise järjepidevuse. Pikaajalise uuringu all mõistetakse enam kui 10-aastast uurimisperioodi (*Manual for Integrated Monitoring, Helsinki 1988*, viimati uuendatud 2022). Kuna kompleksseire allprogrammide hulk on suur, on tegemist töömahuka, aga ka mitmekülgset informatsiooni pakkuva seireprogrammiga. Seosed erinevate osade vahel metsaökosüsteemis on välja toodud alloleval joonisel (**Joonis 1**). Kompleksseire eelarve otstarbekamaks kasutamiseks on seire käsiraamatus välja pakutud seire prioriteedid ja miinimumprogramm rahvusvahelises koostöös osalemiseks. Koostöö eesmärgiks on usaldusväärsete andmete kogumine modelleerimiseks ning poliitiliste otsuste põhjendamiseks.

Tabel 1. Põhjus-tagajärg seosed, mille kohta kompleksseire programm andmeid kogub.

Tegur (põhjus)	Seotud allprogrammid	Spetsiifiline indikaator koos allprogrammiga	Üldine indikaatornäitaja
Lämmastik, väävel	PC, TF, SF, RW/SW, SC, AM, LC (AC, LF, GW)	Taimestiku lämmastiku ja väävli nõudluse indeks (VG, EP) Lehtede/okaste keemiline koostis (FC)	Biomassi muutus Liigiline koosseis Metsakahjustused Mikroobne lagunemine
Osoon	AM, AC, SW	Lehtede/okaste kahjustused (FD)	Biomassi muutus Liigiline koosseis Fenoloogia
Püsivad orgaanilised saasteained (POS)	PC, RW/SW, FC (GW)	Bioakumulatsioon	Biomassi muutus Liigiline koosseis
Raskmetallid	MC, FC, PC, RW/SW (GW)	Bioakumulatsioon Mikroobne lagunemine	Biomassi muutus Liigiline koosseis
Kliimamuutus	AM, AC		Biomassi muutus Bioloogiline mitmekesisus Mikroobne lagunemine



Joonis 1. Kompleksseire peamised uurimisvaldkonnad ja nende vahelised seosed.

Eestis on kompleksseiret läbi viidud alates 1994. aastast kahel seirealal – Vilsandi saarel (biomonitoringu ala) ja Saarejärvel (intensiivseireala Jõgevamaal) (Tabel 2). Vilsandil on kompleksseiret alates 1994. aastast teostanud Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Saarejärvel viis aastatel 1994-2015 seiret läbi IM Saare, alates 2016. aastast teostab Saarejärvel kompleksseiret Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ (EKUK).

Tabel 2. Kompleksseire alad.

Kood	Ala	Koordinaadid		Pindala	Asukoht
		PL	IP	ha	
SJA2858000	Saarejärve intensiivseireala	583926	264532	430	Ida-Eesti
SJA5876000	Vilsandi biomonitoringu seireala	582303	215101	0,77	Vilsandi saar

Vilsandi seirealal teostatakse järgmisi allprogramme (sulgudes vastavate programmide ingliskeelsed lühendid): meteoroloogia (AM), õhukeemia (AC), avamaa sademed (PC), võravoolu keemia (TF), mullavee keemia (SW), mullakeemia (SC), okkakeemia (FC), varise keemia (LF), taimkate intensiivaladel (VG), tüve epifüüdid (EP), tüvevoolu keemia (SF), sammalde keemia (MC) ja mikroobne lagunemine (MB). Saarejärve seirealal teostatavad allprogrammid on järgmised: meteoroloogia, õhukeemia, avamaa sademed, võravoolu keemia, mullavee keemia, mullakeemia, vooluvee keemia (RW), okkakeemia, varise keemia, taimkate intensiivaladel, tüve epifüüdid, tüvevoolu keemia, põhjavee keemia (GW), sammalde keemia, mikroobne lagunemine ja toksilisuse hindamine (TA).



2 Metoodika

Allprogrammid, nende proovivõtu- ja analüüsimetoodikad on kindlaks määratud osalevate maade ekspertide poolt kooskõlastatud kompleksseire käsiraamatus (*Manual for Integrated Monitoring, Helsinki 1988*, viimati uuendatud 2022), arvestades ka teiste sama konventsiooni raames toimuvate koostööprogrammidega.

Täidetavate allprogrammide hulk kompleksseires oleneb seireala tüübist. Saarejärvel on rajatud seire A-kategooria intensiivala, kus piisavate rahaliste vahendite korral oleks võimalik täita kõiki kompleksseire käsiraamatus toodud allprogramme ökosüsteemi seisundi hindamiseks. Vilsandi puhul on tegemist B-kategooria biomonitooringualaga, mis tähendab, et seal puudub valgala. 2022. aastal täideti Saarejärvel ja Vilsandil kompleksseire allprogramme tabelis 3 (**Tabel 3**) toodud mahus.

Tabel 3. Kompleksseire programmid (kursiivis täiendavad allprogrammid) ja allprogrammide täitmine Saarejärve ja Vilsandi seirealadel 2022. aastal.

Kompleksseire allprogramm	Programmi läbi viimise sagedus Saarejärvel ja Vilsandil	Proovide arv keemilisteks analüüsideks
7.1. Meteoroloogia (AM)	Pidevmõõtmised Jõgeva (Saarejärve) ja Vilsandi meteoroloogiajaamades	
7.2. Õhu keemia (AC)	Pidevmõõtmised Saarejärve ja Vilsandi õhuseire automaatjaamades	
7.3. Avamaa sademed (PC)	Igapäevane kogumine, kuu keskmiste proovide analüüs	Saarejärvel 12 proovi, Vilsandil 12 proovi
7.5. Võravoolu keemia (TF)	Kuu keskmiste proovide analüüs	Saarejärvel 12 proovi, Vilsandil 12 proovi
7.6. Tüvevoolu keemia (SF)	Kuu keskmiste proovide analüüs	Saarejärvel 12 proovi, Vilsandil 8 proovi
7.8. Mullavee keemia (SW)	Kuu keskmiste proovide analüüs	Saarejärvel 7 + 7 proovi, Vilsandil 10 + 10 proovi
7.10. Vooluvee keemia (RW)	Saarejärvel proovivõtt ja analüüsid 1 kord kuus	Saarejärvel 10 proovi
7.12. Okkakeemia (FC)	Proovivõtt ja analüüs kord aastas (1 aastased männi okkad)	Saarejärvel 1 proov Vilsandil 1 proov <i>Lisaks 1 proov 2-aasta vanuseid okkaid kummaltki seirealalt</i>
7.13. Varise keemia (LF)	Proovide kogumine lumeval perioodil, okaste ja muu osa analüüs 1 kord aastas	Saarejärvel 2 keskmistatud proovi (varise okkad + muu osa); Vilsandil 2 keskmistatud proovi (varise okkad + muu osa)
7.17 Taimkatte intensiivaladel (VG)	Detailne taimkatte analüüs kord aastas iga 5 aasta tagant	Saarejärvel sel aastal, järgmine kord 2027; Vilsandil viimati 2021, järgmine kord 2026
7.22. Mikroobne lagunemine (MB)	Igal seireplatsil 12 alfatselluloosiriba ja 3*4g varise okkaid Vilsandil augustis, Saarejärvel oktoobris	



Kõik töös kirjeldatud mõõtmised ja analüüsid on teostatud Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ (EKUK) poolt, kasutades akrediteeritud analüüsimeetodeid. EKUK on Eesti Akrediteerimiskeskuse (EAK) poolt akrediteeritud katselabor registreerimisnumbriga nr L008 ning vastavad akrediteerimisulatus kirjeldavad akrediteerimistunnistused on leitavad EAK kodulehelt¹.

Kõikide allprogrammide kuu ja aasta keskmised tulemused 2022. aasta kohta on toodud käesoleva aruande tabelites. Samuti on kõik analüüsitulemused välja toodud aastaaruandega koos esitatavates andmetabelites, mis on üles laetud Keskkonnaseire andmebaasi KESE. Kõik 2022. aasta jooksul Saarejärve ja Vilsandi seirealalt kogutud proovide analüüsitulemused esitatakse 1. detsembriks 2023.a. rahvusvahelisse kompleksseire andmebaasi eraldi formaadis andmetabelitena. Vilsandi avamaa sademete ja õhu keemia 2022. aasta tulemused esitatakse 31. juuliks 2023.a. EMEP andmebaasi. 2021. aasta Vilsandi avamaa sademete ja õhu keemia analüüsitulemused esitati 31. juuliks 2022.a. EMEP andmebaasi. 2021. aasta kõik kompleksseire tulemused esitati vastavalt 2022. aasta mais toimunud ICP IM töögrupi koosolekul vastu võetud otsusele 1. detsembriks 2022 rahvusvahelisse kompleksseire andmebaasi, mis alates 2021. aastast on Rootsi Põllumajandusteaduste Ülikooli hallata (*Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala*).

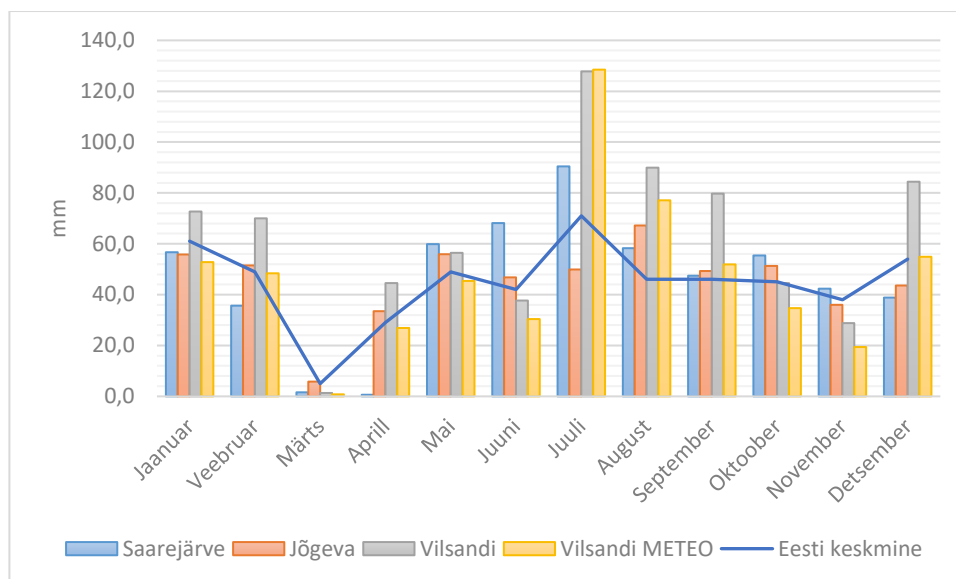
3 Aasta meteoroloogiline iseloomustus ja sademete keemia

3.1 Meteoroloogiline iseloomustus

2022. aasta oli Keskkonnaagentuuri andmetel normist soojem ja päikesepaistelisem, sademeid esines Eesti keskmisena 530 mm (norm 662 mm) ja keskmine õhutemperatuur oli 7,1 °C (norm 6,4 °C). Kõige soojem kuu oli august (keskmine õhutemperatuur 19,5 °C) ja kõige külmem kuu detsember (-2,6 °C). Sademeid esines kõige rohkem juulis (keskmiselt 71 mm, norm 67 mm) ja kõige vähem märtsis (keskmiselt vaid 4 mm, norm 35 mm).

Saarejärvel mõõdeti 2022. aastal avamaa sademete hulgaks 555 mm. Kõige sademeterohkem oli Saarejärve seirealal juuli, kui kuu sademete koguseks mõõdeti 90 mm, vähim kogunenud sademete kogus mõõdeti aprillis (vaid 0,64 mm). Võrdluseks Jõgeval (Saarejärvele kõige lähemal asuv METEO mõõtejaam) mõõdeti sademete aastaseks koguseks 547 mm. Vilsandi rannikujaamas mõõdeti 2021. aasta sademete hulgaks 571 mm, Vilsandi avamaa mõõtepunktis aga 738 mm. Märtsis mõõdeti avamaa sademete summaks 1,3 mm ja juulis 128 mm (**Joonis 2**).

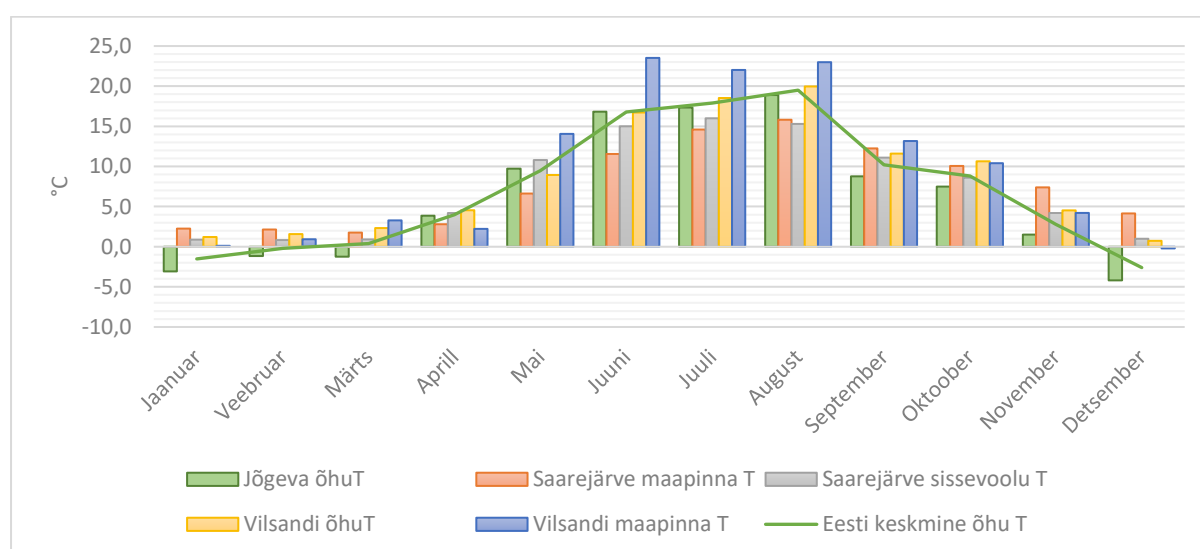
¹ <https://klab.ee/wp-content/uploads/2020/08/L008-EKUK-01.06.2020.pdf>



Joonis 2. Saarejärve, Jõgeva ja Vilsandi sademete kogused (mm) 2022. aastal.

Vilsandi seireala on ümbritsetud merega, seega on talvised kuukeskmised õhutemperatuurid Vilsandil kõrgemad kui Saarejärve seirealal. Kõige soojemaks kuuks Vilsandil ja Saarejärvel oli 2022. aastal august, mil kuu keskmiseks õhutemperatuuriks mõõdeti Vilsandil 20,0 °C ning Saarejärvel 18,9 °C. Kõige külmem kuu oli nii Vilsandil kui ka Saarejärvel detsember (vastavalt 0,7 °C ja -4,2 °C). Aasta keskmine temperatuur oli Vilsandil 8,5 °C, Saarejärvel 6,3 °C. Vilsandil puhusid valdavalt edela tuuled keskmise kiirusega 5,4 m/s, keskmine õhuniiskus oli 83%. Saarejärvel puhusid 2022. aastal peamiselt lõuna-edela tuuled keskmise kiirusega 2,5 m/s, keskmine õhuniiskus oli 81%.

Mullatemperatuur oli Saarejärvel männikus kuu keskmisena kõrgeim augustis (15,8 °C) ja madalaim märtsis (1,8 °C). Vilsandi seireala iseloomustamiseks on aruandes kasutatud Vilsandi rannikujaamas mõõdetud maapinna temperatuuride andmeid, mille põhjal oli maapind kõige jahedam detsembris (-0,2 °C) ja kõige soojem juunis (23,5 °C) (Joonis 3).



Joonis 3. Saarejärve ja Vilsandi õhu- ja pinnasetemperatuurid ning Saarejärve sissevoolu temperatuur 2022. aastal.



3.2 Avamaa sademed

Avamaa sademete proovide kogumiseks on Vilsandi seirealale paigaldatud kaks standardset EMEP sademete kogumise seadet ja Saarejärvele üks koguja, diameetriga 20 cm. Sademeid koguti sarnaselt eelnevate aastatega ööpäevasel põhimõttel, laboratoorseks analüüsiks moodustati mõlemal seirealal kuu keskmised koondproovid.

Mõlemalt seirealalt koguti vaatlusperioodi jooksul 12 sademete proovi. Vastavalt kompleksseire raames kogutud avamaa sademete proovidele oli Saarejärvel aasta jooksul 555 mm sademeid ja Vilsandil 738 mm sademeid, pikaajaline Eesti keskmine EMHI andmetel on 661 mm sademeid aastas. Kõige sademeterohkem kuu Saarejärvel oli juuli (90 mm) ja Vilsandil samuti juuli (128 mm), sademetevaesemad kuud olid Saarejärvel aprill (0,64 mm) ning Vilsandil märts (1,3 mm).

2022. aastal oli Saarejärve avamaa sademete kaalutud keskmiseks pH 5,7 (**Tabel 4**) ning Vilsandil pH 5,2 (**Tabel 6**), kusjuures Vilsandi seirealal jäi pH alla 5,0 kolmel korral ning oli üle 6,0 kahel korral. Väga väikese sademete koguse tõttu jäid Saarejärvel märtsis ja aprillis ning Vilsandil märtsis mitmed näitajad analüüsimata.

Tabel 4. Saarejärve avamaa sademetes määratavate näitajate sisaldused, aasta keskmised ja depositsioon.

	Sademete kogus (mm)*	pH	Elektri-juhtivus (mS/m)	SO ₄ -S (mgS/l)	NO ₃ -N (mgN/l)	NH ₄ -N (mgN/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	HCO ₃ (μekv/l)
Jaanuar	57	5,3	0,63	0,12	0,23	0,17	0,38	0,21	0,061	0,16	0,022	11
Veebruar	36	6,0	1,1	0,23	0,39	0,46	0,82	0,42	0,10	0,34	0,062	44
Märts	1,6	vv	vv	1,4	1,1	vv	5,7	3,3	3,0	6,0	1,2	vv
Aprill	0,64	vv	vv	1,1	1,3	vv	1,8	vv	vv	vv	vv	vv
Mai	60	6,6	1,2	0,21	0,21	0,42	0,34	0,15	0,41	0,79	0,13	73
Juuni	68	5,7	0,56	0,051	<0,020	<0,010	0,23	0,10	0,24	0,62	0,10	59
Juuli	90	6,1	0,43	0,11	<0,020	0,019	0,22	0,056	0,076	0,38	0,069	37
August	58	6,5	0,80	0,13	<0,020	<0,010	0,16	0,066	0,057	1,1	0,13	64
September	47	5,8	0,36	0,10	<0,020	<0,010	0,28	0,16	0,065	0,30	0,069	29
Oktoober	55	6,0	1,0	0,19	0,16	<0,010	0,52	0,23	1,8	0,34	0,046	36
November	42	5,4	0,77	0,19	0,26	0,22	0,33	0,21	0,13	0,27	0,045	<10
Detsember	39	5,4	1,1	0,24	0,36	0,16	0,77	0,38	0,080	0,59	0,094	16
2022 kaalutud keskmine	555*	5,7	0,75	0,15	0,14	0,13	0,38	0,18	0,31	0,52	0,081	39
Depositsioon (kg/ha)				0,84	0,79	0,70	2,1	1,0	1,7	2,9	0,45	13
2021 kaalutud keskmine	557*	6,0	2,5	0,20	0,16	0,16	0,46	0,22	4,2	2,2	0,61	154



	Sademetekogus (mm)*	pH	Elektrijuhtivus (mS/m)	SO ₄ -S (mgS/l)	NO ₃ -N (mgN/l)	NH ₄ -N (mgN/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	HCO ₃ (µekv/l)
2021 depositsioon (kg/ha)				1,1	0,87	0,87	2,5	1,2	23	12	3,4	52

vv – vähe vett; *Sademetekoguse puhul toodud summa aasta keskmise asemel.

Tabel 5. Saarejärve avamaa sademete üldfosfori (P-üld), üldlämmastiku (N-üld), lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) ning raskmetallide sisaldused.

	P-üld (mg/l)	N-üld (mg/l)	DOC (mg/l)	Mn (µg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)
Jaanuar	0,016	0,54	1,8	1,1	<0,010	1,0	0,16	0,31	4,1
Veebruar	0,039	1,2	2,2	2,3	0,020	1,3	0,19	2,3	10
Märts	vv	7,6	vv	72	0,12	9,5	1,1	1,7	49
Aprill	vv	1,9	vv	vv	vv	vv	vv	vv	vv
Mai	0,048	0,94	1,7	0,24	<0,010	1,3	0,12	0,11	1,9
Juuni	0,069	0,38	4,4	0,54	<0,010	0,91	0,13	0,065	2,1
Juuli	0,043	0,89	1,5	<0,10	<0,010	0,17	<0,050	<0,060	<1,0
August	0,020	0,26	2,0	0,37	<0,010	0,31	0,066	<0,060	<1,0
September	0,010	0,24	2,4	0,72	<0,010	0,32	0,18	<0,060	1,7
Oktoober	0,16	0,47	4,5	1,2	<0,010	1,3	0,093	0,20	5,2
November	0,019	0,63	4,2	3,2	0,017	0,67	0,095	0,20	4,3
Detsember	0,013	0,81	2,2	1,1	0,014	0,85	0,12	0,14	5,8
2022 kaalutud keskmine	0,046	0,65	2,6	1,1	0,0078	0,79	0,11	0,26	3,2
Depositsioon (kg/ha)	0,25	3,6	15	0,0062	0,000044	0,0044	0,00062	0,0014	0,018
2021 kaalutud keskmine	0,68	0,67	8,6	35	0,017	1,4	0,27	0,18	6,6
2021 depositsioon (kg/ha)	3,8	3,7	48	0,19	0,000096	0,0078	0,0015	0,0010	0,036

vv – vähe vett

Tabel 6. Vilsandi avamaa sademetes määratavate näitajate sisaldused, aasta keskmised ja depositsiooni kogus.

	Sademetekogus (mm)*	pH	Elektrijuhtivus (mS/m)	SO ₄ -S (mgS/l)	NO ₃ -N (mgN/l)	NH ₄ -N (mgN/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	HCO ₃ (µekv/l)
Jaanuar	73	5,0	2,3	0,28	0,28	0,10	4,2	2,3	0,11	0,18	0,29	50
Veebruar	70	5,0	1,0	0,12	0,22	0,11	1,0	0,56	0,040	0,090	0,080	50



	Sademetekogus (mm)*	pH	Elektrijuhtivus (mS/m)	SO ₄ -S (mgS/l)	NO ₃ -N (mgN/l)	NH ₄ -N (mgN/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	HCO ₃ (µekv/l)
Märts	1,3	6,9	4,9	0,87	0,59	0,35	8,8	5,0	1,2	2,6	0,90	vv
Aprill	45	6,4	1,9	0,33	0,37	0,59	2,0	1,1	0,15	0,54	0,18	90
Mai	56	6,0	2,1	0,30	0,38	0,62	0,71	0,43	0,17	0,43	0,11	180
Juuni	38	5,8	1,5	0,20	0,090	0,29	0,70	0,44	0,84	0,57	0,24	140
Juuli	128	5,6	1,0	0,23	0,18	0,18	0,99	0,68	0,10	0,28	0,080	80
August	90	6,0	0,89	0,25	0,16	0,19	0,65	0,45	0,11	0,39	0,13	90
September	80	5,7	0,68	0,13	0,050	0,10	0,78	0,49	0,040	0,19	0,060	80
Oktoober	45	4,9	2,2	0,33	0,60	0,37	1,6	1,1	0,13	0,26	0,15	60
November	29	4,8	1,5	0,33	0,40	0,24	1,2	0,74	0,070	0,24	0,10	20
Detsember	84	4,9	2,4	1,3	0,37	0,17	1,7	2,5	0,12	0,23	0,15	50
2022 kaalutud keskmine	738*	5,2	1,5	0,36	0,26	0,24	1,4	1,0	0,14	0,29	0,14	80
Depositsioon (kg/ha)				2,7	1,9	1,7	10	7,5	1,0	2,2	1,0	36
2021 kaalutud keskmine	709*	5,3	1,4	0,21	0,21	0,16	0,97	0,54	0,098	0,26	0,11	56
2021 depositsioon (kg/ha)				1,5	1,5	1,1	6,8	3,9	0,70	1,9	0,81	24

vv – vähe vett; *Sademetekoguse puhul toodud summa aasta keskmise asemel.

Tabel 7. Vilsandi avamaa sademete üldfosfori (P-üld), üldlämmastiku (N-üld), lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) ning raskmetallide sisaldused.

	P-üld (mg/l)	N-üld (mg/l)	DOC (mg/l)	Mn (µg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)
Jaanuar	<0,020	0,49	1,3	0,59	<0,020	<1,0	<0,10	0,12	1,7
Veebruar	<0,020	0,35	1,5	0,45	<0,020	<1,0	<0,10	0,18	<1,0
Märts	vv	2,2	vv	8,3	<0,020	3,2	0,96	0,76	8,4
Aprill	0,030	1,3	1,3	2,6	<0,020	1,7	0,17	<0,10	8,6
Mai	0,050	1,4	2,6	1,4	<0,020	1,3	<0,10	<0,10	8,0
Juuni	0,17	1,3	5,2	1,1	0,020	<1,0	4,2	0,25	13
Juuli	0,030	0,44	2,1	2,0	<0,020	<1,0	<0,10	<0,10	4,1
August	0,050	0,53	2,4	2,5	0,060	2,3	<0,10	0,88	2,3
September	<0,020	0,30	1,4	0,80	0,020	<1,0	<0,10	0,11	2,8



	P-üld (mg/l)	N-üld (mg/l)	DOC (mg/l)	Mn (µg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)
Oktoober	0,020	1,1	1,8	5,8	0,040	1,5	<0,10	0,41	7,3
November	0,020	0,71	2,2	1,2	0,040	<1,0	<0,10	0,54	5,4
Detsember	<0,020	0,72	2,0	0,58	<0,020	<1,0	0,12	0,26	3,3
2022 kaalutud keskmine	0,032	0,69	2,0	1,6	0,021	0,92	0,28	0,25	4,3
Depositsioon (kg/ha)	0,23	5,1	15	0,012	0,00015	0,0068	0,0021	0,0019	0,032
2021 kaalutud keskmine	0,022	0,61	2,1	1,7	0,019	0,64	0,48	0,25	3,4
2021 depositsioon (kg/ha)	0,15	4,3	15	0,012	0,00014	0,0045	0,0034	0,0018	0,024

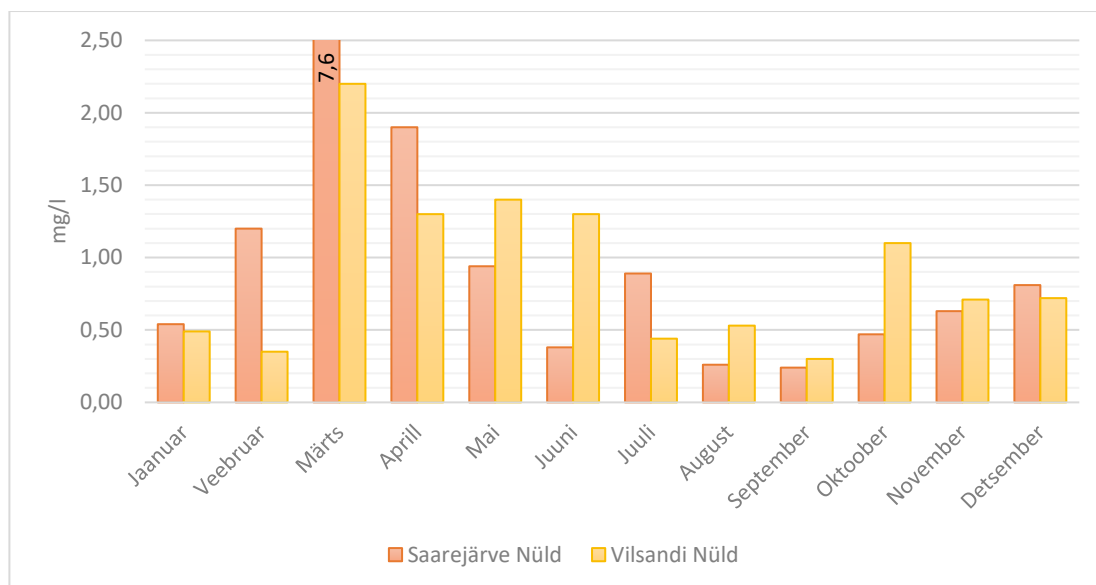
vv – vähe vett

Saarejärvel saadi 2022. aastal avamaal keskmiseks elektrijuhtivuseks 0,75 mS/m, olles kõrgeim mais 1,2 mS/m. Vilsandi avamaa sademete keskmiseks elektrijuhtivuseks mõõdeti 2022. aastal 1,5 mS/m. Tabelitest (**Tabel 4** ja **Tabel 5**) on näha, et kaaliumi, kaltsiumi, üldfosfori ja lahustunud orgaanilise süsiniku kontsentratsioonid olid Saarejärvel avamaa sademete proovides 2021. aastal väga kõrged sarnaselt paarile eelnevale aastale, mis oli põhjustatud ilmselt sademete koguja asukohast suurte puude läheduses. 2022. aastal selliseid suuri tulemusi enam ei esinenud. Kokkuleppel Keskkonnaministeeriumi poolse esindajaga muudeti avamaa sademetekoguja asukohta 2021. aasta oktoobriks selliselt, et see ei oleks liiga kaugel eelmisest kohast ning vastaks avamaa sademete kogumise nõuetele ja juhendile.

Saarejärvel sisaldasid avamaa sademed 2022. aastal sulfaati keskmiselt 0,15 mgS/l, hektari kohta sadenes 0,84 kg ja Vilsandil 0,36 mgS/l, hektari kohta sadenes 2,7 kg. Kloriidioone oli Saarejärvel keskmiselt 0,38 mg/l ja sadenes 2,1 kg/ha/a, Vilsandil olid vastavad näitajad 1,4 mg/l ja 10 kg/ha/a. Erinevus tuleneb sellest, et Vilsandi on merelise kliimaga ja kloriidioone kandub maismaale sademetega rohkem just mere läheduse tõttu.²

Saarejärvel olid NH₄-N ja NO₃-N sisaldused vastavalt 0,13 mgN/l ja 0,14 mgN/l ning aastased sadenenud kogused vastavalt 0,70 kg/ha ja 0,79 kg/ha/a. Vilsandil määrati 2022. aastal avamaa sademetest NH₄-N ja NO₃-N kontsentratsioonideks vastavalt 0,24 mgN/l ja 0,26 mgN/l, aasta jooksul sadenenud kogusteks saadi vastavalt 1,7 kg/ha ja 1,9 kg/ha, mis on rohkem kui eelneval aastal. Osalt on see ilmselt tingitud suuremast aastasest sademete hulgast. Üldlämmastiku kontsentratsiooniks Saarejärvel saadi 0,65 mg/l ja deponeerunud koguseks 3,6 kg/ha, Vilsandil aga 0,69 mg/l ja sadenenud koguseks 5,1 kg/ha (**Joonis 4**).

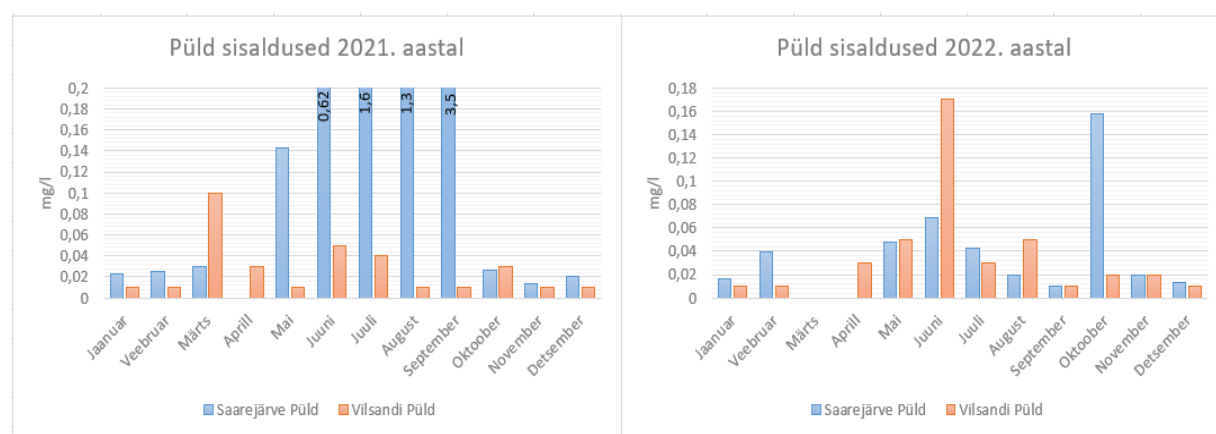
² Möller, D. 1990. The Na/Cl ratio in rainwater and the seasalt chloride cycle. <https://doi.org/10.3402/tellusb.v42i3.15216>



Joonis 4. Üldlämmastiku sisaldused avamaa sademetes 2022. aastal.

Katioonidest sadenes 2022. aastal Saarejärvel Ca 2,9 kg/ha, Mg 0,45 kg/ha, Na 1,0 kg/ha ja K 1,7 kg/ha (kontsentratsioonid vastavalt Ca 0,52 mg/l, Mg 0,081 mg/l, Na 0,18 mg/l, K 0,31 mg/l). Vilsandil sadenes 2022. aasta jooksul Ca 2,2 kg/ha, Mg 1,0 kg/ha, Na 7,5 kg/ha ja K 1,0 kg/ha (kontsentratsioonid Ca 0,29 mg/l, Mg 0,14 mg/l, Na 1,0 mg/l, K 0,14 mg/l).

Üldfosfori sisaldused Saarejärve avamaa sademetes olid võrreldes varasemate aastatega oluliselt madalamad (**Joonis 5**), aasta keskmine sisaldus oli 0,046 mg/l ning sadenemine 0,25 kg/ha. Vilsandil jäid tulemused mitmel korral alla määramispiiri (0,020 mg/l), keskmine üldfosfori sisaldus oli 0,032 mg/l ja depositsioon 0,23 kg/ha. Muutused Saarejärvel on tingitud avamaa sademete koguja sobivamast asukohast, st. koguja on puudest eemal avamaal, mis tõttu ei lange kogujasse puulehti ega oksid.



Joonis 5. Üldfosfori sisaldused avamaa sademetes 2021. ja 2022. aastal.

Lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) sisaldus Saarejärve avamaal oli 2,6 mg/l ja sadenemine 15 kg/ha, erinevalt varasematest aastatest kõrgeid sisaldusi enam ei esinenud (näiteks septembris 2021. aastal 35 mg/l). Üheks põhjuseks on kindlasti avamaa sademetekoguja ümber paigutamine sobivamasse kohta 2021. aasta oktoobris. Vilsandil oli lahustunud orgaanilist süsinikku avamaa sademetes keskmiselt 2,0 mg/l, aasta jooksul sadenes 15 kg/ha.



2018. aastal alustati Saarejärvel avamaa sademete ja männikus kogutud veeproovide raskmetallide analüüsimisega (Cd, Cu, Pb, Zn, Ni, Mn), millega jätkati ka 2022. aastal.

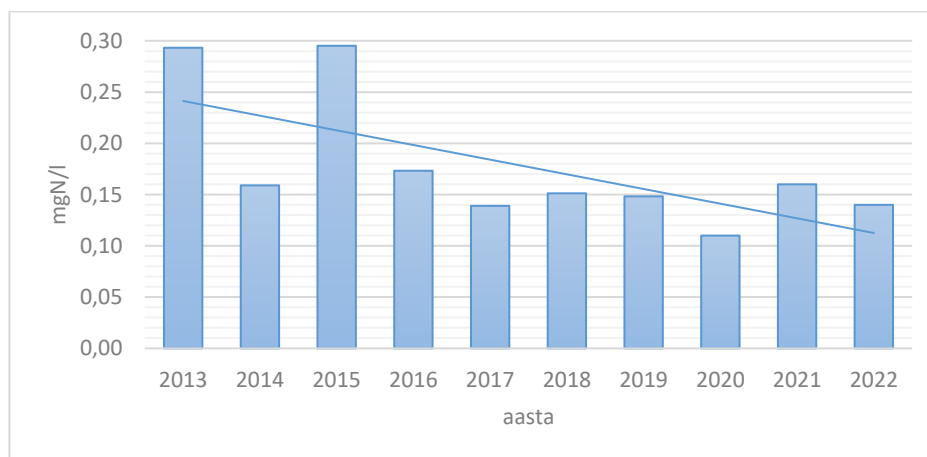
Mõlema seireala avamaa sademete proovides jäid mitmetel kuudel läbi aasta Cd, Cu, Pb ja Ni sisaldused alla metoodika määramispiiri. Saarejärve avamaa sademetega sisenes ökosüsteemi 2022. aasta jooksul Cd 0,044 g/ha, Cu 4,4 g/ha, Pb 1,4 g/ha, Zn 18 g/ha, Ni 0,62 g/ha ja Mn 6,2 g/ha. Vilsandil sadenes 2022. aasta jooksul Cd 0,15 g/ha, Cu 6,8 g/ha, Pb 1,9 g/ha, Zn 32 g/ha, Ni 2,1 g/ha ja Mn 12 g/ha.

Sarnaselt mitmele eelnevale aastale on mõlema seireala avamaa sademete aasta kaalutud keskmiste kontsentratsioonide põhjal arvatud trendid (aastad 2013-2022), kasutades selleks Mann-Kendalli mitteparameetrilist trendianalüüsi. Trendianalüüsi põhjal on Saarejärve avamaa sademetes viimase kümne seireaasta jooksul jätkuvalt langustrendis NO₃-N (**Joonis 6**) ja SO₄-S kontsentratsioonid. Vilsandil on vähenenud NH₄-N, NO₃-N, Ca ja Mg (**Joonis 7**) sisaldused, kuid tõusnud pH ja suurenenud sademete kogus (**Tabel 8**).

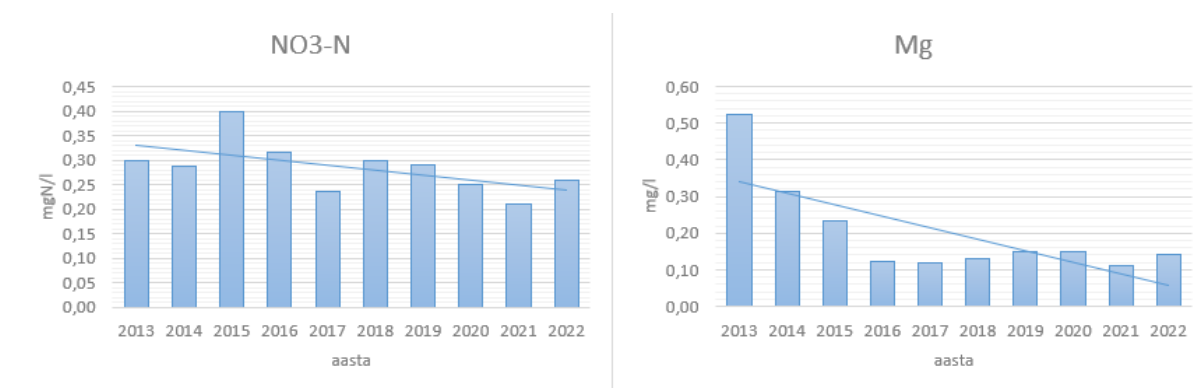
Tabel 8. Saarejärve ja Vilsandi avamaa sademete olulisemad trendid aastatel 2013-2022.

Muutus “↓” vähenemine ja “↑” suurenemine. Olulisustõenäosuse (p) tasemed ***0,001; **0,01; *0,05 ja +0,1.

Seirejaam	Maatriks	Näitaja	Algusaasta	Lõppaasta	Muutus	Trend
Saarejärve	avamaa	NO ₃ -N	2013	2022	↓	+
Saarejärve	avamaa	SO ₄ -S	2013	2022	↓	***
Vilsandi	avamaa	mm	2013	2022	↑	*
Vilsandi	avamaa	pH	2013	2022	↑	*
Vilsandi	avamaa	NH ₄ -N	2013	2022	↓	**
Vilsandi	avamaa	NO ₃ -N	2013	2022	↓	+
Vilsandi	avamaa	Ca	2013	2022	↓	*
Vilsandi	avamaa	Mg	2013	2022	↓	+



Joonis 6. NO₃-N sisaldused (mgN/l) aastatel 2013-2022 Saarejärve avamaa sademetes koos trendijoonega.



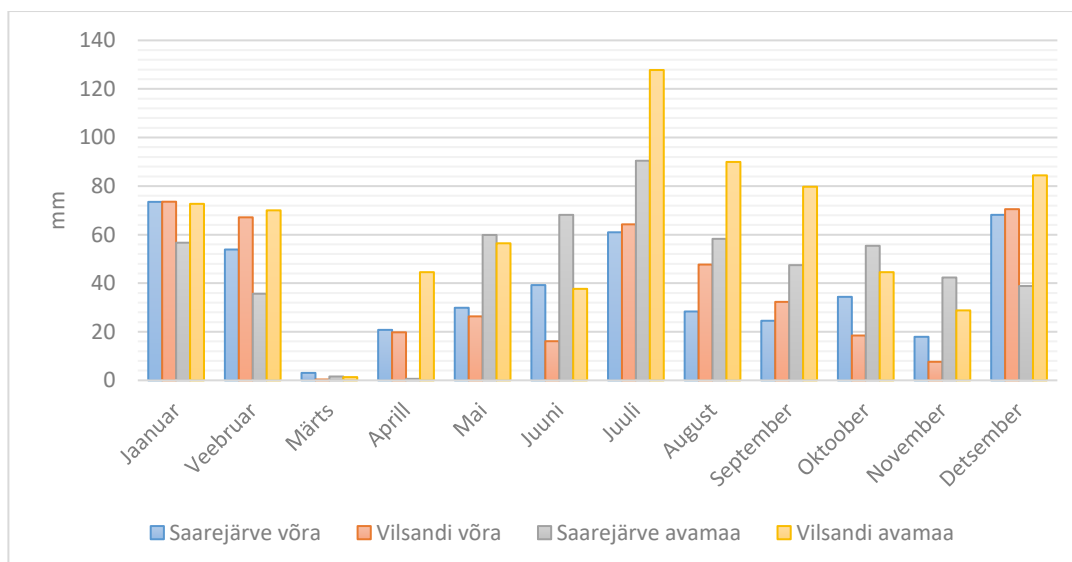
Joonis 7. NO₃-N (mgN/l) ja Mg (mg/l) sisaldused aastatel 2013-2022 Vilsandi avamaa sademetes koos trendijoonega.

3.3 Võravoolu keemia

Võravoolu peamiseks eesmärgiks on koguda informatsiooni nii märg- kui ka kuivdepositsiooni osas. Läbi võra voolav vihmavesi peseb osaliselt maha ka sinna kuivsadenedemise käigus langenud ühendid. Koos tüvevooluga annab võravesi võimaluse hinnata nii metsa aluspinnale langevat toitainete kui ka saasteainete koormust.

2022. aastal koguti Vilsandi kompleksseirealalt talvekuudel võravett 5 lumekogujaga (20 liitrilised plastämbrid), suvisel perioodil 10 võravee kogujaga. Saarejärvel koguti võravee proove talvel 3 lumekogujaga (10 liitrilised plastämbrid) ja suvel 5 võraveekogujaga.

Saarejärve männikus mõõdeti 2022. aastal võravee aastaseks koguseks 455 mm, mis moodustab avamaa sademetest 82%. Vilsandil saadi 2022. aastal võravee koguseks 444 mm, mis moodustab 60% avamaa sademete kogusest (Joonis 8).



Joonis 8. Võraee ja avamaa sademete kogused kuude kaupa 2022. aastal.

2021. aastaga võrreldes on Saarejärve võraee proovides suurenenud kloriidioonide, naatriumi ja üldlammastiku sisaldused (**Tabel 9**, **Tabel 10**). Saarejärve männiku võraee kaalutud keskmine pH oli 5,2, pH jäi 2022. aasta lõikes 4,9 ja 5,3 vahele (v.a. märtsis ja novembris) erinevalt paarist eelnevast aastast, mil pH väärtused olid veidi kõrgemad.

2021. aastaga võrreldes on Vilsandi võraee proovides enamike analüüsitud näitajate sisaldused jäänud samale tasemele, kuid suurenenud on kloriidioonide ja naatriumi ning raskmetallide (Cu, Ni, Pb) sisaldused. Kõikide ainete sadenemishulgad mõlemal seirealal on välja toodud tabelites (**Tabel 9**, **Tabel 10**, **Tabel 11** ja **Tabel 12**). 2022. aastal oli Vilsandi võraee keskmine pH 5,1, happelisemad (pH<5,0) olid proovid aasta alguses.

Talvised kõrgemad mineraalse lammastiku sisaldused on seotud külmaperioodil võrastiku epifüütide lammastiku tarbimise vähenemisega. Epifüüdid (samblikud ja vetikad) tarbivad lammastiku oma tallusega otse sademetest, kuid talvisel perioodil on taimed puhkeseisundis ja tarbimist ei toimu. Talveperioodi kõrgemad sulfaatse väevli sisaldused on tõenäoliselt seotud kütteperioodiga.

Tabel 9. Saarejärve võraee analüüsitulemused 2022. aastal.

	Võraee kogus (mm)*	pH	Elektri-juhtivus (mS/m)	SO ₄ -S (mgS/l)	NO ₃ -N (mgN/l)	NH ₄ -N (mgN/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	HCO ₃ (µekv/l)
Jaauar	74	5,3	0,93	0,15	0,24	0,22	0,59	0,29	0,18	0,30	0,061	16
Veebruar	54	5,0	1,2	0,17	0,25	0,10	1,0	0,53	0,38	0,44	0,092	28
Märts	3,1	5,5	5,6	0,75	1,7	3,6	4,7	2,3	2,1	1,9	0,59	171
Aprill	21	5,3	3,4	0,44	0,42	0,44	3,3	1,2	3,9	1,5	0,37	37
Mai	30	5,2	1,4	0,12	<0,020	<0,010	0,79	0,39	0,75	1,2	0,24	28
Juuni	39	5,2	1,8	<0,040	<0,020	<0,010	0,86	0,33	3,1	0,82	0,18	61



	Võra- vee kogus (mm)*	pH	Elektri- juhtivus (mS/m)	SO ₄ -S (mgS/l)	NO ₃ -N (mgN/l)	NH ₄ -N (mgN/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	HCO ₃ (µekv/l)
Juuli	61	5,2	1,1	0,043	<0,020	<0,010	0,40	0,23	0,94	0,59	0,15	27
August	28	5,3	1,4	0,066	<0,020	<0,010	0,41	0,19	1,5	1,1	0,18	39
September	25	4,9	1,2	<0,040	<0,020	<0,010	0,53	0,27	0,74	0,93	0,14	15
Oktoober	34	5,3	2,5	0,048	<0,020	<0,010	2,0	0,97	2,9	1,4	0,40	61
November	18	6,2	2,1	0,20	0,10	0,48	1,8	1,0	1,5	1,0	0,19	72
Detsember	68	5,0	2,3	0,48	0,75	0,22	1,6	0,78	0,81	2,1	0,34	<10
2022 kaalutud keskmise	455*	5,2	1,6	0,17	0,22	0,15	1,1	0,52	1,2	0,99	0,20	31
Depositsioon (kg/ha)				0,79	1,0	0,66	5,0	2,4	5,7	4,5	0,91	8,6
2021 kaalutud keskmise	435*	5,3	1,7	0,20	0,20	0,14	0,90	0,46	1,4	1,0	0,22	40
Depositsioon 2021 aastal (kg/ha)				0,88	0,88	0,60	3,9	2,0	6,2	4,5	0,94	11

*Võra-vee koguse puhul on toodud summa aasta keskmise asemel.

Tabel 10. Saarejärve võra-vee üldfosfori (P-üld), -lämmastiku (N-üld), lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) ning raskmetallide sisaldused 2022. aastal.

	P-üld (mg/l)	N-üld (mg/l)	DOC (mg/l)	Mn (µg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)
Jaanuar	0,016	0,59	3,4	16	0,011	0,25	0,099	0,22	2,1
Veebruar	0,031	0,65	6,0	23	0,015	0,74	<0,050	0,43	3,1
Märts	0,073	7,0	25	160	0,11	2,4	0,37	0,74	17
Aprill	0,366	1,9	22	69	0,028	1,5	0,21	0,56	17
Mai	0,044	0,89	19	44	0,034	1,2	0,22	0,31	8,8
Juuni	0,063	0,24	19	35	0,015	0,97	0,28	0,20	6,2
Juuli	0,027	0,36	15	22	0,019	0,56	<0,050	0,12	4,6
August	0,19	0,93	20	45	0,033	1,7	0,25	0,31	13
September	0,032	0,61	18	35	0,019	0,69	0,23	0,12	7,0
Oktoober	0,030	0,57	36	290	0,035	0,91	0,15	0,23	17
November	0,11	1,2	11	84	0,022	1,1	0,27	0,21	13
Detsember	0,035	1,3	11	72	0,040	0,96	0,16	0,45	10



	P-üld (mg/l)	N-üld (mg/l)	DOC (mg/l)	Mn (µg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)
2022 kaalutud keskmine	0,061	0,81	14	59	0,024	0,85	0,15	0,29	7,8
Depositsioon (kg/ha)	0,28	3,7	65	0,27	0,00011	0,0039	0,00067	0,0013	0,036
2021 kaalutud keskmine	0,087	0,73	14	59	0,034	1,1	0,19	0,53	9,6
Depositsioon 2021. aastal	0,38	3,2	63	0,26	0,00015	0,0049	0,00081	0,0023	0,042

Tabel 11. Vilsandi võravee analüüsitulemused 2022. aastal.

	Võravee kogus (mm)*	pH	Elektri- juhtivus (mS/m)	SO ₄ -S (mgS/l)	NO ₃ -N (mgN/l)	NH ₄ -N (mgN/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	HCO ₃ (µekv/l)
Jaanuar	74	4,7	8,9	0,97	0,36	<0,016	18	9,2	2,3	1,3	1,3	60
Veebruar	67	4,6	6,3	0,73	0,67	0,030	11	6,4	1,3	0,77	0,82	40
Märts	0,35	5,7	12	2,2	1,2	0,61	25	14	2,9	3,0	2,1	vv
Aprill	20	5,6	10	1,3	0,94	0,74	21	11	2,0	2,0	1,7	110
Mai	26	5,5	1,4	0,90	1,8	1,2	8,0	5,2	2,4	1,9	1,3	90
Juuni	16	6,1	8,0	0,57	0,040	1,1	5,2	2,5	13	0,85	0,54	390
Juuli	64	6,2	5,1	0,50	0,15	1,3	4,2	2,5	4,1	1,1	0,56	240
August	48	6,2	4,2	0,50	0,44	0,91	3,5	2,3	3,6	1,4	0,74	190
September	32	6,4	4,2	0,26	0,090	1,7	2,8	1,7	3,2	0,83	0,56	260
Oktoober	18	5,5	11	1,0	0,34	0,67	19	9,4	7,1	2,5	2,1	220
November	7,6	5,8	7,3	1,0	0,57	1,1	11	5,3	4,4	1,7	1,2	140
Detsember	70	5,3	4,2	0,53	0,57	<0,016	7,1	3,6	2,0	1,6	0,65	80
2022 kaalutud keskmine	444*	5,1	6,0	0,70	0,50	0,61	9,6	5,2	3,2	1,3	0,93	139
Depositsioon (kg/ha)				3,1	2,2	2,7	42	23	14	5,9	4,1	38
2021 kaalutud keskmine	418*	5,0	5,1	0,60	0,48	0,61	6,0	3,5	2,8	1,1	0,80	128
Depositsioon 2021 aastal (kg/ha)				2,5	2,0	2,6	25	15	12	4,4	3,4	33

vv – vähe vett; *Võravee koguse puhul on toodud summa aasta keskmise asemel.

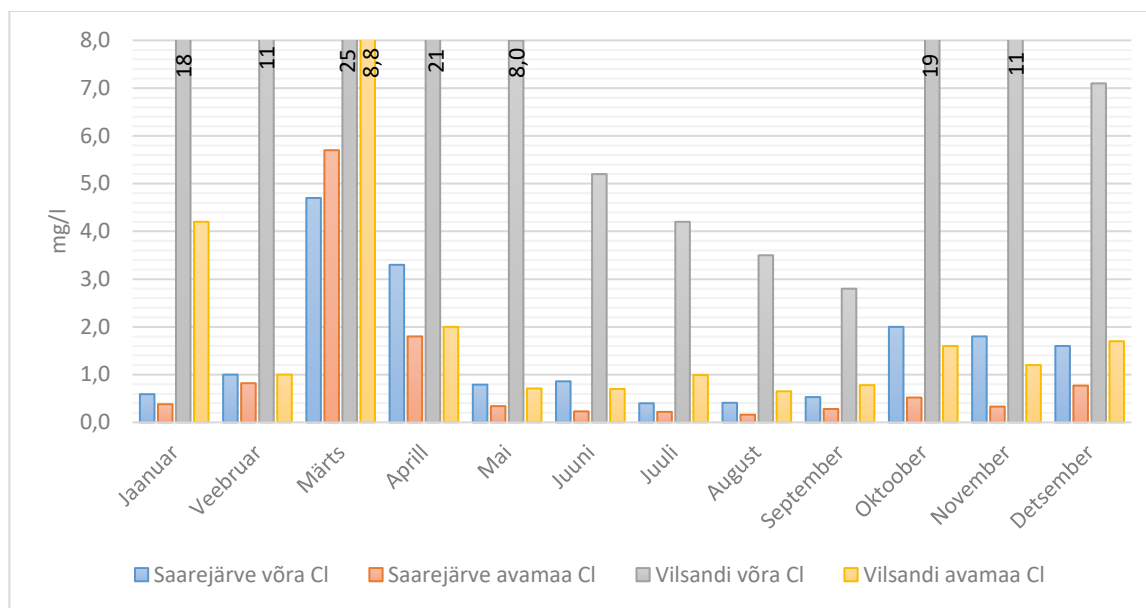


Tabel 12. Vilsandi võravee üldfosfori (P-üld), -lämmastiku (N-üld), lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) ja raskmetallide sisaldused 2022. aastal.

	P-üld (mg/l)	N-üld (mg/l)	DOC (mg/l)	Mn (µg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)
Jaanuar	0,050	0,88	13	38	0,080	2,7	1,6	1,7	9,4
Veebruar	0,030	0,97	12	17	0,050	2,2	1,0	1,5	10
Märts	0,70	4,9	vv	33	<0,020	4,4	1,4	1,7	13
Aprill	0,20	3,1	14	46	0,13	2,3	0,19	0,47	19
Mai	0,32	5,4	22	22	0,060	5,0	0,90	1,8	8,1
Juuni	0,71	3,8	23	4,3	<0,020	4,2	1,7	0,80	26
Juuli	0,42	2,3	16	9,1	0,020	11	1,6	0,88	13
August	0,23	1,9	19	36	0,070	2,5	0,14	0,85	6,4
September	0,14	2,7	21	54	0,040	1,3	<0,10	0,26	9,2
Oktoober	0,15	3,1	30	140	0,050	4,4	1,9	1,0	23
November	0,16	2,3	17	46	0,060	5,4	1,8	1,2	16
Detsember	0,040	1,0	15	51	0,050	<1,0	0,15	0,39	7,4
2022 kaalutud keskmine	0,18	2,0	17	36	0,055	3,6	0,92	1,0	11
Depositsioon (kg/ha)	0,79	8,7	73	0,16	0,00024	0,016	0,0041	0,0046	0,049
2021 kaalutud keskmine	0,16	2,0	16	34	0,047	2,1	0,53	0,54	8,1
Depositsioon 2021 aastal	0,66	8,5	66	0,14	0,00020	0,0086	0,0022	0,0023	0,034

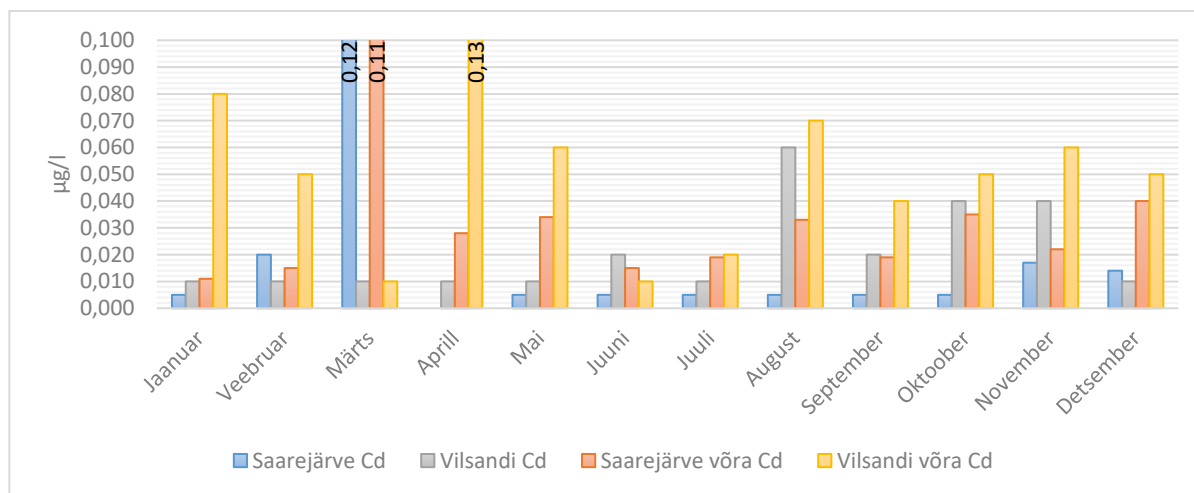
Vilsandi võravees on mitmete näitajate kuu keskmised kontsentratsioonid kõrgemad Saarejärve männiku võravee proovide vastavate näitajate sisaldustest. Erandiks on mangaani sisaldused, mis on Saarejärvel enamasti kõrgemad (**Joonis 13**). Sarnaselt eelnevale aastale jäid 2022. aasta suvekuudel Saarejärvel NO₃-N ja NH₄-N sisaldused mitmel korral alla meetoodika määramispiiri (<0,020 mg/l ja <0,010 mg/l). Vilsandi võravee kõrgemad näitajate kontsentratsioonid on seletatavad Vilsandi seireala ümbritseva mere mõjuga, teiselt poolt aga väiksema võravee kogusega, mistõttu olid proovid kontsentreeritumad. Mere lähedus mõjutab kõige enam kloriidiooni sisaldusi sademetes³(**Joonis 9**).

³ Möller, D. 1990. The Na/Cl ratio in rainwater and the seasalt chloride cycle. <https://doi.org/10.3402/tellusb.v42i3.15216>

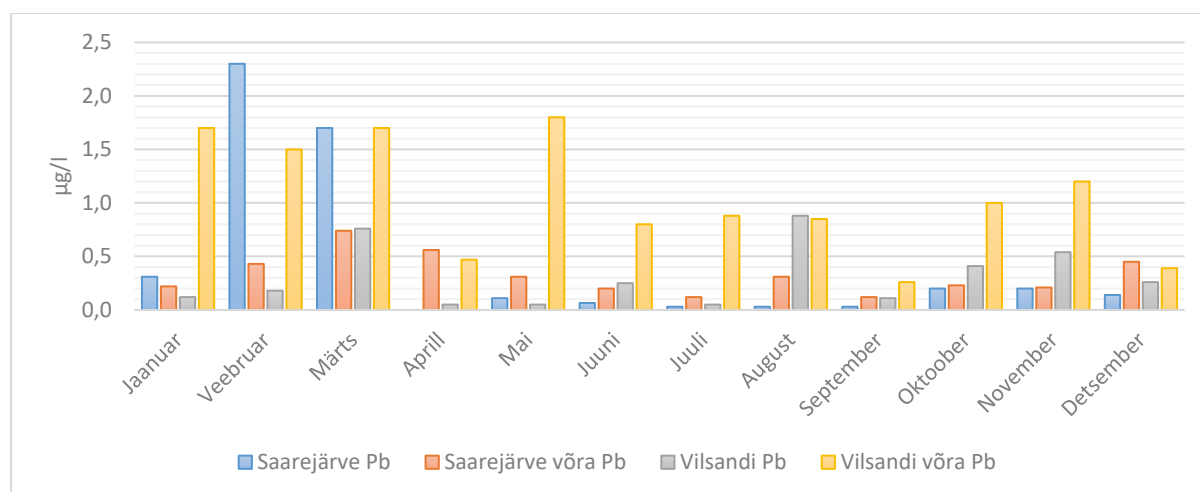


Joonis 9. Kloriidiooni sisaldused võraves ja avamaa sademetes 2022. aastal.

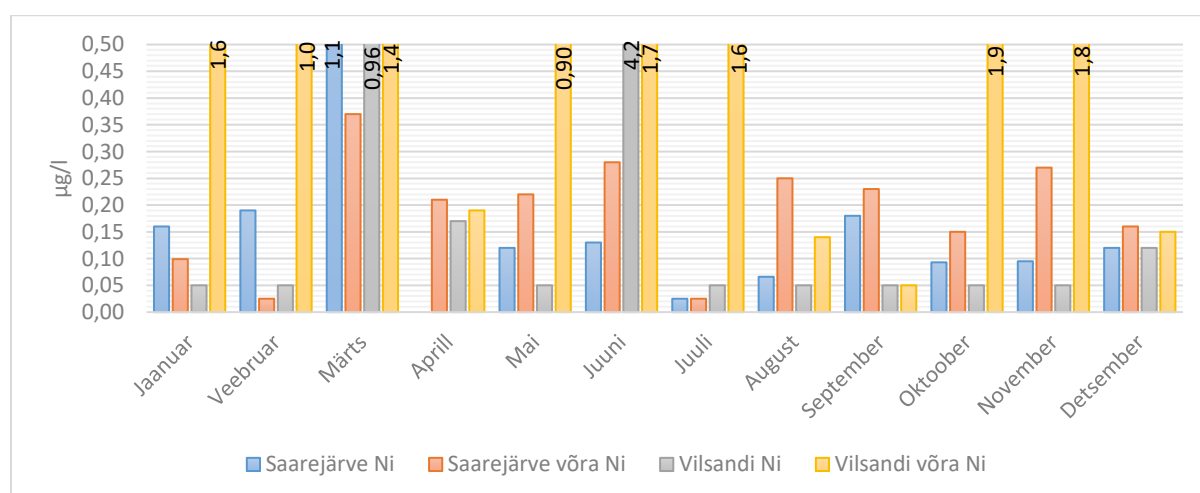
Järgnevatel joonistel on näidatud Saarejärve ja Vilsandi avamaa sademete ja võraves 2022. aasta Cd (Joonis 10), Pb (Joonis 11), Ni (Joonis 12) ja Mn (Joonis 13) kontsentratsioonid kuude kaupa. Raskmetallide sisaldused avamaa sademetes olid enamasti madalamad kui võraves proovides ja kõrgemad aasta esimeses pooles. Sarnaselt eelneva aasta tulemustele on märgatav, et Saarejärve männiku võraves esinesid väga kõrged Mn sisaldused. Lisaks on erinevalt varasemast Vilsandi sademetes nikli tulemused kõrged (üksikute eranditega) läbi aasta, põhjus ei ole seni teada.



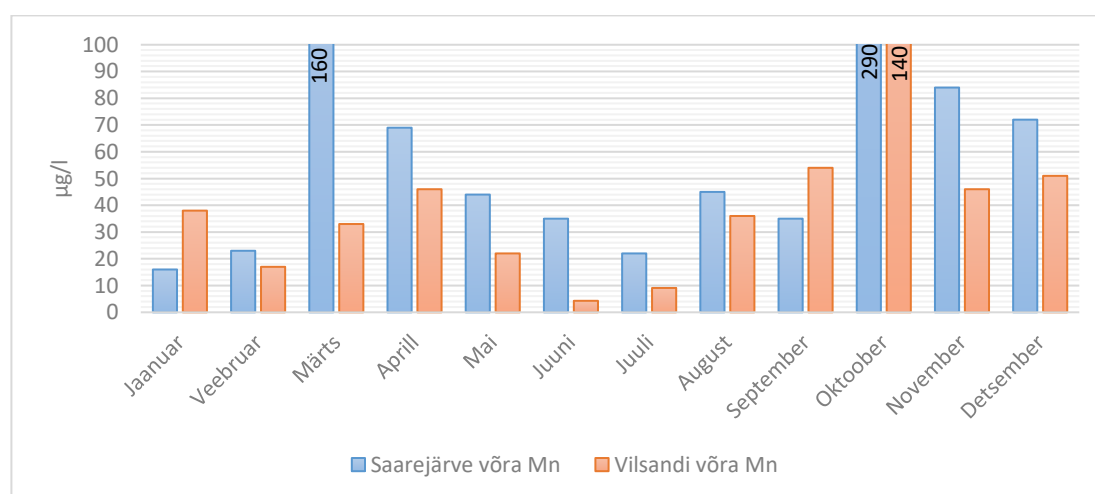
Joonis 10. Kaadmiumi sisaldused avamaa ja võrasademetes 2022. aastal.



Joonis 11. Plii sisaldused avamaa ja vōrasademetes 2022. aastal.



Joonis 12. Nikli sisaldused avamaa ja vōrasademetes 2022. aastal.



Joonis 13. Mangaani sisaldus vōravees 2022. aastal.

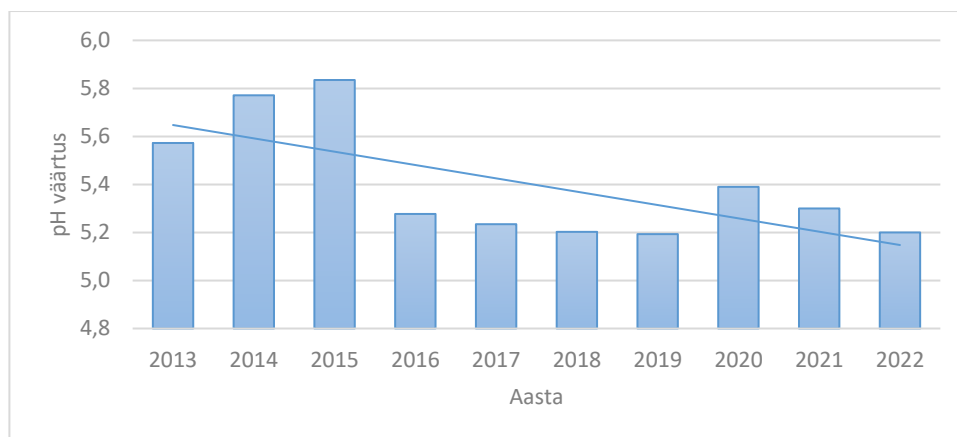


Trendide analüüsi põhjal on Saarejärve männiku võraveses (aastatel 2013 - 2022) vähenenud $\text{SO}_4\text{-S}$, Mg^{2+} sisaldused ja elektrijuhtivus ning pH (Joonis 14). Vilsandi võraveses on märgatav kaltsiumi, kaaliumi, vase ja üldfosfori sisalduste vähenemine ning pH suurenemine viimase kümne seireaasta jooksul (Tabel 13). Nii Saarejärvel kui Vilsandil näitavad trendid $\text{NO}_3\text{-N}$, üldlämmastiku, lahustunud orgaanilise süsiniku ja kaadmiumi sisalduste vähenemist võraveses (Joonis 15, Joonis 16).

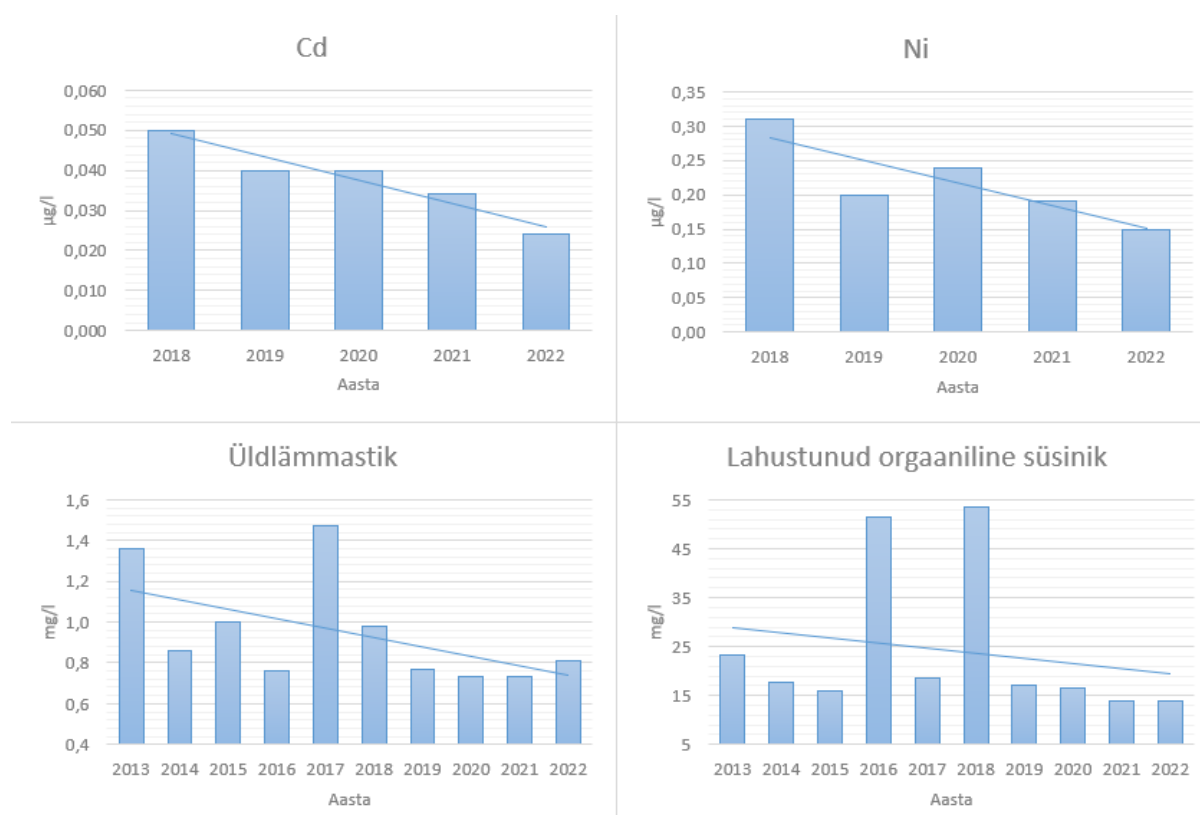
Tabel 13. Saarejärve ja Vilsandi võravee olulisemad trendid aastatel 2013-2022.

Muutus “↓” vähenemine ja “↑” suurenemine. Olulisustõenäosuse (p) tasemed ***0,001; **0,01; *0,05 ja +0,1.

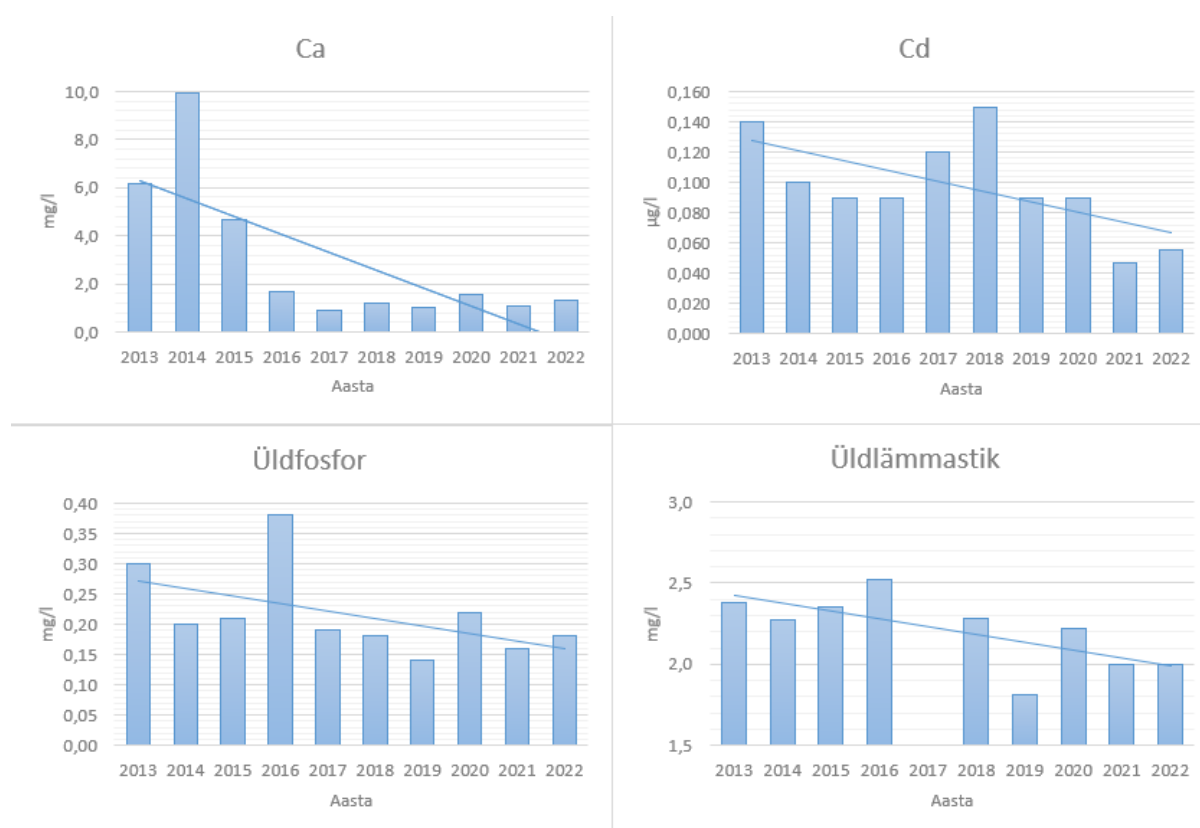
Seirejaam	Maatriks	Näitaja	Algusaasta	Lõppaasta	Muutus	Trend
Saarejärve	võravesi	pH	2013	2022	↓	+
Saarejärve	võravesi	$\text{NO}_3\text{-N}$	2013	2022	↓	*
Saarejärve	võravesi	$\text{SO}_4\text{-S}$	2013	2022	↓	**
Saarejärve	võravesi	Mg	2013	2022	↓	**
Saarejärve	võravesi	Cd	2013	2022	↓	+
Saarejärve	võravesi	Ni	2013	2022	↓	+
Saarejärve	võravesi	el. Juht.	2013	2022	↓	**
Saarejärve	võravesi	N-üld	2013	2022	↓	+
Saarejärve	võravesi	DOC	2013	2022	↓	+
Vilsandi	võravesi	pH	2013	2022	↑	**
Vilsandi	võravesi	$\text{NO}_3\text{-N}$	2013	2022	↓	*
Vilsandi	võravesi	Ca	2013	2022	↓	+
Vilsandi	võravesi	K	2013	2022	↓	*
Vilsandi	võravesi	Cd	2013	2022	↓	+
Vilsandi	võravesi	Cu	2013	2022	↓	*
Vilsandi	võravesi	P-üld	2013	2022	↓	+
Vilsandi	võravesi	N-üld	2013	2022	↓	+
Vilsandi	võravesi	DOC	2013	2022	↓	*



Joonis 14. pH väärtuste muutused Saarejärve vōravees aastatel 2013-2022.



Joonis 15. Olulisemad trendid Saarejärve vōravees.



Joonis 16. Olulisemad trendid Vilsandi võraveses.

3.4 Tüvevoolu keemia

Tüvevoolu analüüsi peamiseks eesmärgiks on koguda informatsiooni nii märg- kui ka kuivdepositsiooni osas. Mööda tüvesid voolav vihmavesi peseb osaliselt maha ka sinna kuivsadenedemise käigus langenud ühendid. Samuti sisaldab tüvevesi puude enda koorest väljapestud aineid.

Saarejärvel kogutakse tüvevett männiku seirealal kolme puutüve ümber spiraalselt asuva voolikuga ja 10-liitriste kanistritega. Tüvevee kogumiseks on Vilsandi seirealal voolikud asetatud spiraalselt ümber 10 männi tüve. Tüvevee kogumiseks kasutatakse 20-liitriseid kaanega plastämbreid.

Saarejärve männikus koguti 2022. aastal tüvevee proove jaanuarist detsembrini (**Tabel 14** ja **Tabel 15**), Vilsandil aprillist novembrini (**Tabel 16** ja **Tabel 17**). Tüvevee kogused pinnaühiku kohta on võrree ja avamaa sademetega võrreldes väikesed, kuid mööda tüvesid kogujatesse voolava vee ionide ja muude elementide sisaldused on reeglina mitmeid kordi kõrgemad. Enamikes kuu keskmistes tüvevee proovides jäid Saarejärvel NO₃-N ja NH₄-N sisaldused alla analüüsimeetoodika määramispiiri (vastavalt <0,020 mgN/l ja <0,010 mgN/l).

Mändide tüved on sademetele üsna hästi avatud, sest puu võrad pole nii tihedad ning seeläbi jõuavad tüvevooluga maapinnani üsna hästi sademetes sisalduvad ühendid. Lisaks on männi tüvekoor looduslikult happelise reaktsiooniga, mille tõttu on hüdrokarbonaatide sisaldus madal või ei esine



anorgaaniline süsinik hüdrosüsiidina. Antud tendents on hästi nähtav just Saarejärvel (vt. HCO₃ sisaldusi Tabel 14).

Tabel 14. Saarejärve tüvevees analüüsitud ühendite kontsentratsioonid 2022. aastal.

	Tüve- vee kogus (mm)*	pH	Elektri- juhtivus (mS/m)	SO ₄ -S (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	NH ₄ -N (mg/l)	Nüüd (mg/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	HCO ₃ (µekv/l)
Jaauar	3,7	4,4	2,9	0,33	<0,020	0,014	0,43	1,6	0,44	1,6	0,46	0,052	pH<4,5
Veebruar	6,5	4,3	4,2	0,30	<0,020	0,027	0,66	2,6	0,83	2,2	1,5	0,15	pH<4,5
Märts	0,043	4,2	vv	0,63	0,31	0,38	1,6	4,2	1,7	3,1	2,4	0,43	pH<4,5
Aprill	0,57	4,0	8,6	0,61	<0,020	<0,010	1,2	6,0	1,8	4,4	4,4	0,88	pH<4,5
Mai	0,50	4,6	3,7	0,28	<0,020	0,17	0,85	2,4	1,0	2,6	2,6	0,48	<10
Juuni	1,4	3,9	7,7	0,27	<0,020	<0,010	1,6	4,4	1,6	7,4	5,2	0,82	pH<4,5
Juuli	3,1	4,3	5,1	0,25	<0,020	<0,010	0,76	2,0	0,96	4,2	2,2	0,37	pH<4,5
August	0,42	4,6	3,5	0,14	<0,020	0,11	1,7	1,4	0,73	2,9	3,6	0,52	<10
September	1,0	4,2	6,0	0,12	<0,020	<0,010	2,3	2,1	1,2	3,8	2,7	0,39	pH<4,5
Oktoober	1,1	4,1	7,2	0,10	<0,020	<0,010	1,8	3,0	1,5	4,7	3,7	0,65	pH<4,5
November	0,38	4,4	6,0	0,23	<0,020	1,6	7,0	3,1	1,7	4,2	5,0	0,56	pH<4,5
Detsember	3,3	4,5	5,8	0,29	0,21	0,093	1,2	4,2	1,2	3,2	5,0	0,41	<10
2022 kaalutud keskmine	22*	4,3	4,9	0,28	0,041	0,061	1,1	2,8	0,98	3,2	2,3	0,32	
Depositsioon (kg/ha)				0,062	0,0090	0,013	0,23	0,61	0,22	0,70	0,49	0,071	0,013
2021 kaalutud keskmine	18*	4,3	5,5	0,44	0,026	0,053	0,95	2,2	1,2	3,9	2,7	0,41	<10
Depositsioon 2021. aastal (kg/ha)				0,081	0,0049	0,0097	0,18	0,41	0,22	0,71	0,50	0,076	0,058

vv – vähe vett; *Tüvevee koguse puhul on toodud aasta keskmise asemel summa.

Tabel 15. Saarejärve tüvevees analüüsitud metallide, lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) ja üldfosfori kontsentratsioonid 2022. aastal.

	DOC (mg/l)	Al (µg/l)	Mn (µg/l)	Fe (mg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)	Püld (mg/l)
Jaauar	15	62	24	<0,020	0,020	0,64	<0,050	0,15	9,3	0,028
Veebruar	26	110	63	0,022	0,050	0,95	<0,050	0,30	20	0,021
Märts	vv	74	97	0,050	0,093	1,8	0,26	0,76	33	vv



	DOC (mg/l)	Al (µg/l)	Mn (µg/l)	Fe (mg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)	Püld (mg/l)
Aprill	70	380	310	0,075	0,27	2,5	0,43	0,84	91	0,050
Mai	38	170	150	0,041	0,13	3,6	0,27	0,73	76	0,086
Juuni	93	680	260	0,077	0,24	3,8	0,71	0,77	120	0,066
Juuli	54	210	120	0,042	0,12	1,7	0,22	0,49	49	0,029
August	43	140	130	0,034	0,093	2,1	0,25	0,49	91	0,11
September	68	310	170	0,039	0,14	2,3	0,35	0,44	93	0,18
Oktoober	98	320	250	0,061	0,20	2,6	0,36	0,51	190	0,12
November	59	260	210	0,059	0,22	5,0	0,35	0,62	220	0,52
Detsember	47	170	120	0,033	0,10	1,6	0,18	0,46	45	0,034
2022 kaalutud keskmine	43	192	112	0,033	0,097	1,6	0,18	0,41	52	0,053
Depositsioon (kg/ha)	9,5	0,042	0,025	0,0073	0,000021	0,00036	0,000039	0,000089	0,011	0,012
2021 kaalutud keskmine	52	250	141	0,045	0,11	1,7	0,26	0,56	65	0,067
Depositsioon 2021. aastal (kg/ha)	9,7	0,046	0,026	0,0082	0,000021	0,00031	0,000047	0,00010	0,012	0,012

vv – vähe vett

Tabel 16. Vilsandi tüvevees analüüsitud ühendite kontsentratsioonid 2022. aastal.

	Tüvevee kogus (mm)*	pH	Elektri- juhtivus (mS/m)	SO ₄ -S (mg/l)	NO ₃ -N (mgN/l)	NH ₄ -N (mgN/l)	Nüld (mg/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	HCO ₃ (µekv/l)
Aprill	0,050	3,8	30	3,1	0,13	0,070	1,7	59	27	8,7	5,4	3,9	pH<4,5
Mai	0,075	4,0	7,2	1,3	0,55	0,14	3,4	32	18	7,9	4,9	2,7	pH<4,5
Juuni	0,065	4,1	15	0,40	<0,020	0,080	2,0	21	14	6,1	2,7	1,2	pH<4,5
Juuli	0,093	4,4	12	0,57	<0,020	0,12	2,3	15	13	6,6	4,8	1,6	pH<4,5
August	0,062	4,4	15	0,87	0,51	1,0	4,3	18	15	8,0	5,1	1,8	pH<4,5
September	0,036	5,1	15	0,50	0,050	1,5	4,0	19	14	7,0	8,3	1,6	260
Oktoober	0,0056	5,1	27	1,4	0,15	3,2	5,9	49	24	13	9,6	4,3	290
November	0,0014	7,0	vv	2,0	0,030	8,0	12	27	13	13	6,5	2,1	vv
2022 kaalutud keskmine	0,39*	4,2	15	1,1	0,22	0,45	3,0	26	17	7,4	5,0	2,1	77
Depositsioon (kg/ha)				0,0041	0,00084	0,0018	0,011	0,10	0,064	0,029	0,019	0,0082	0,018



	Tüvevee kogus (mm)*	pH	Elektri-juhtivus (mS/m)	SO ₄ -S (mg/l)	NO ₃ -N (mgN/l)	NH ₄ -N (mgN/l)	Nüld (mg/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	HCO ₃ (µekv/l)
2021 kaalutud keskmine	0,93*	4,1	18	1,0	0,075	0,22	2,7	26	18	8,1	3,7	1,9	30
Depositsioon 2021. aastal (kg/ha)				0,0094	0,00070	0,0020	0,025	0,24	0,16	0,075	0,035	0,018	0,017

vv – vähe vett; *Tüvevee koguse puhul on toodud aasta keskmise asemel summa.

Tabel 17. Vilsandi tüvevees analüüsitud metallide, lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) ja üldfosfori kontsentratsioonid 2022. aastal.

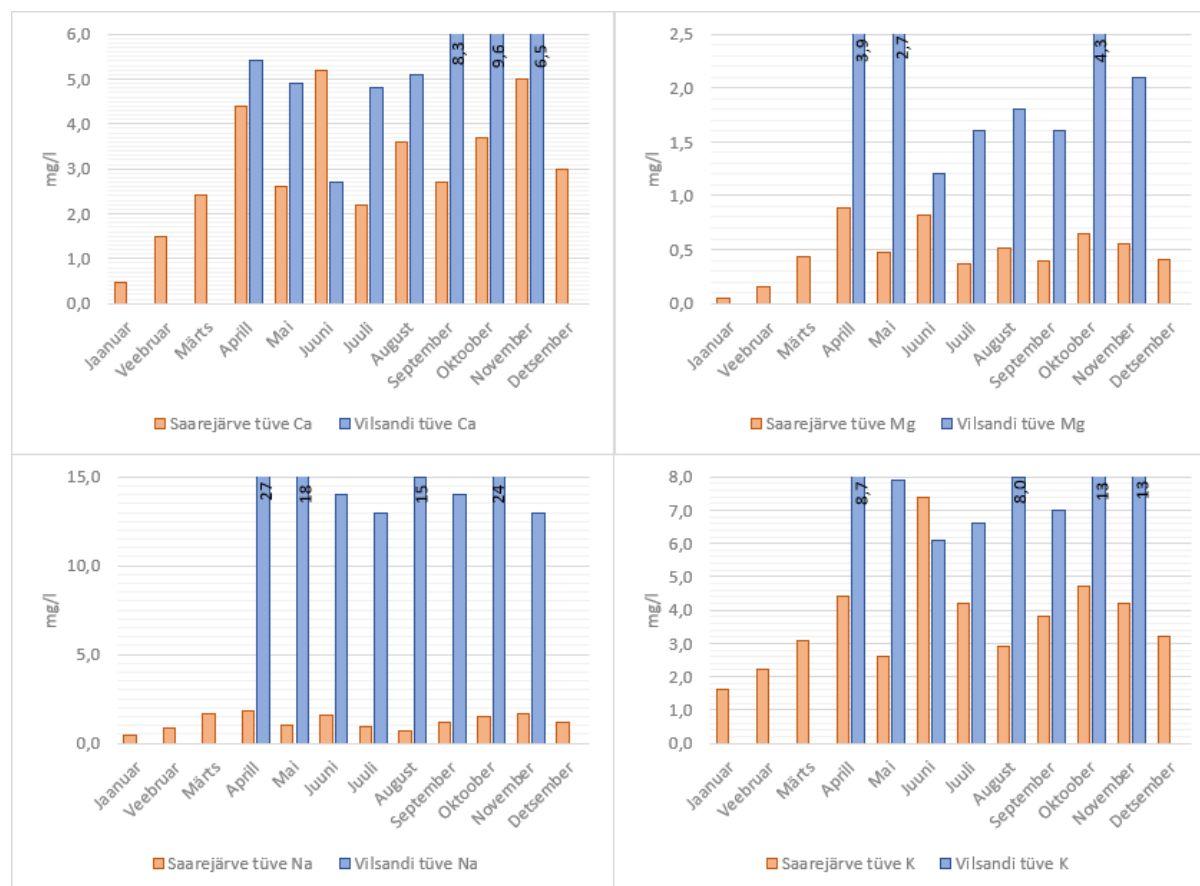
	DOC (mg/l)	Al (µg/l)	Mn (µg/l)	Fe (mg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)	Püld (mg/l)
Aprill	68	100	120	0,081	0,28	2,6	0,62	0,82	51	0,040
Mai	120	240	93	0,11	0,23	7,6	1,4	3,7	29	0,11
Juuni	47	91	27	0,079	0,13	6,0	2,1	1,7	64	0,10
Juuli	98	120	41	0,085	0,13	9,7	1,8	2,2	34	0,13
August	130	150	67	0,12	0,43	21	2,4	5,0	66	0,23
September	120	94	53	0,099	0,17	5,8	1,7	1,3	39	0,25
Oktoober	140	140	140	0,11	0,26	9,5	2,0	1,6	110	0,43
November	64	28	3,9	0,073	0,21	19	2,5	2,4	38	1,4
2022 kaalutud keskmine	98	138	65	0,096	0,22	9,2	1,7	2,6	47	0,15
Depositsioon (kg/ha)	0,38	0,00054	0,00025	0,00037	0,00000087	0,000036	0,0000067	0,000010	0,00018	0,00057
2021 kaalutud keskmine	84	130	73	0,075	0,15	4,3	1,0	1,4	53	0,12
Depositsioon 2021. aastal (kg/ha)	0,78	0,0012	0,00068	0,00069	0,0000014	0,000040	0,0000094	0,000013	0,00049	0,0011

Saarejärve männikus kogunes tüvevett 2022. aasta jooksul kokku 22 mm (Tabel 14), mis moodustab vaid 4,0% avamaa sademete hulgast. Kõige suuremal hulgal liikus vett mööda männi tüvesid kogujasse veebruaris (6,5 mm) ja kõige vähem märtsis (0,043 mm). Männiku tüvevee pH jäi kõikidel kuudel alla pH 4,7. Tüvevee sulfaatse väävlis sisaldused Saarejärve männikus olid aasta alguses keskmisest kõrgemad, üldlammastiku sisaldused aasta teises pooles ning üldfosfori sisaldused alates suvekuudest kuni novembrini. 2022. aasta jooksul jõudis Saarejärve männikus tüveveega maapinnani lahustunud orgaanilist süsinikku 9,5 kg/ha, sulfaatset väävlit 0,062 kg/ha, lämmastikku 0,23 kg/ha, üldfosforit 0,012 kg/ha, Al 42 g/ha, Mn 25 g/ha, Fe 7,3 g/ha ja Zn 11 g/ha.



2022. aastal õnnestus Vilsandil tüvevee proove koguda 0,39 mm (**Tabel 16**), mis moodustab vaid 0,053% avamaa sademete hulgast. Kui 2021. aastal varieerus tüvevee pH enamasti vahemikus 3,9-4,3, siis 2022. aastal jäi pH vahemikku 3,8-5,1 (vaid novembris oli pH 7,0). 2022. aastal jõudis Vilsandi seirealal tüveveega maapinnani lahustunud orgaanilist süsinikku 0,38 kg/ha, Na 0,064 kg/ha, Cl 0,10 kg/ha, K 0,029 kg/ha, Al 0,54 g/ha, Fe 0,37 g/ha, Mn 0,25 g/ha. 2022. aasta keskmine tüvevee pH Vilsandil oli 4,2 ja elektrijuhtivus 15 mS/m. Sulfaatse väevli sisaldused olid kõrgeimad aprillis (3,1 mgS/l) ja madalamad suvel (juunis 0,40 mgS/l).

Igakused anioonide ja katioonide kontsentratsioonid on Vilsandi tüvevee proovides kõrgemad kui Saarejärvel ning kohati ka suurema varieeruvusega (vt. Na sisaldusi) (**Joonis 17**). Sarnaselt eelmise aasta tulemustele on ka seekord Saarejärve tüvevee proovides Mn ja Zn sisaldused kõrgemad kui Vilsandil. Vilsandi tüvevees on vase, plii ja nikli sisaldused oluliselt kõrgemad kui Saarejärve tüvevees.



Joonis 17. Kaltsiumi, magneesiumi, naatriumi ja kaaliumi sisaldused tüvevees 2022. aastal.

Saarejärve männiku seireala tüvevees on aastatel 2013-2022 vähenenud $\text{SO}_4\text{-S}$, Na^+ , K^+ , Mn, Cd, Cu, Ni, Fe (**Joonis 18**) ja lahustunud orgaanilise süsiniku kontsentratsioonid ning elektrijuhtivus. Trendianalüüsi põhjal on Vilsandi seirealal tüvevees (aastatel 2013-2022) vähenenud $\text{SO}_4\text{-S}$ sisaldused (**Tabel 18**).


Tabel 18. Saarejärve ja Vilsandi võrreev olulisemad trendid aastatel 2013-2022.

Muutus “↓” vähenemine ja “↑” suurenemine. Olulisustõenäosuse (p) tasemed ***0,001; **0,01; *0,05 ja +0,1.

Seirejaam	Maatriks	Näitaja	Algusaasta	Lõppaasta	Muutus	Trend
Saarejärve	tüvevesi	SO4-S	2013	2022	↓	**
Saarejärve	tüvevesi	Na	2013	2022	↓	*
Saarejärve	tüvevesi	K	2013	2022	↓	+
Saarejärve	tüvevesi	Mn	2018	2022	↓	+
Saarejärve	tüvevesi	Cd	2018	2022	↓	+
Saarejärve	tüvevesi	Cu	2018	2022	↓	+
Saarejärve	tüvevesi	Ni	2018	2022	↓	+
Saarejärve	tüvevesi	el. Juht.	2013	2022	↓	*
Saarejärve	tüvevesi	DOC	2013	2022	↓	**
Saarejärve	tüvevesi	Fe	2018	2022	↓	+
Vilsandi	tüvevesi	SO4-S	2013	2022	↓	**


Joonis 18. Olulisemad trendid Saarejärve tüvevees viimastel aastatel.

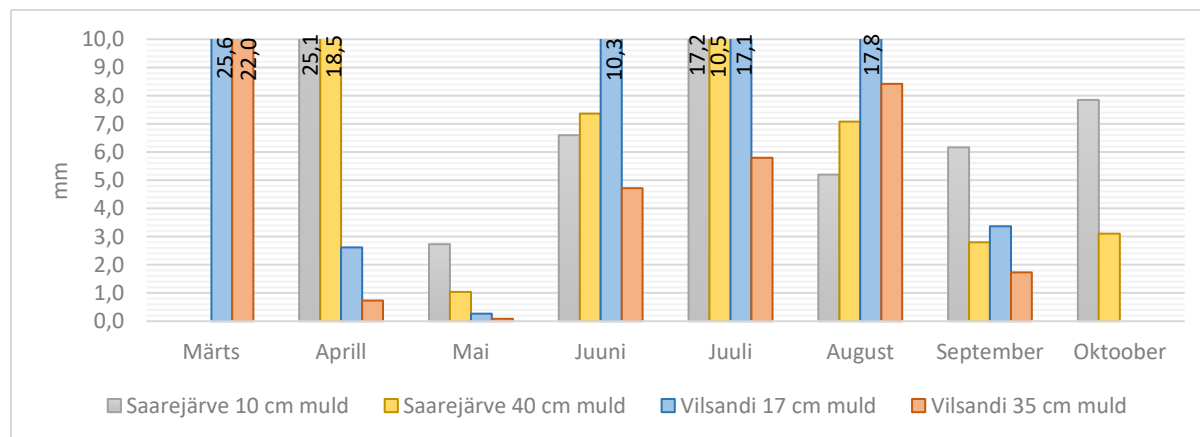


3.5 Mullavee keemia

Mullavesi on oluliseks lüliks ökosüsteemi ainevoogudes. Ainete sisaldused on seotud nii läbi võra tulevate sademetega, sealhulgas võrast vihmaveega välja pestavate ainete ning samuti läbi pinnase filtreerumisel mullast välja uhtuvate elementide sisaldustega.

Mullavett kogutakse 12 plaatlüsimeetriga ($S = 0,1 \text{ m}^2$), mis on Saarejärvel asetatud paralleelselt maapinnaga 10 ja 40 cm sügavusele. Vilsandil on lüsimeetrid asetatud 17 ja 35 cm sügavusele.

Lüsimeetriga kogutud mulla nõrgvesi moodustas Saarejärvel 16% ja Vilsandil 25% võravee aastasest kogusest (**Joonis 19**). Saarejärvelt koguti mullavett aprillist oktoobrini, Vilsandil märtsist aasta lõpuni.



Joonis 19. Mullavee kogus (mm) Saarejärvel ja Vilsandil 2022. aastal.

Saarejärve männikus mõõdeti 2022. aasta jooksul 10 cm sügavusel mullavee koguseks 71 mm (**Tabel 19** ja **Tabel 20**). Aasta keskmine mullavee pH oli 4,0, jäädes kõikidel kuudel alla 4,5. Vooluhulga ehk läbi pinnase nõrguv sademete kogus sõltub sademete hulgast. Juunis ja augustis jõudis sügavamatesse kihtidesse rohkem vett, mis on tõenäoliselt tingitud sellest, et väga kuiva perioodi tõttu olid pindmised pinnase kihid kuivad ja sademed lihtsalt imbusid ülemistest kihtidest kiiresti läbi. 2022. aasta jooksul deponeerus Saarejärve männikus mullaveega 10 sentimeetri sügavuselt sügavamatesse mullakihtidesse lahustunud orgaanilist süsinikku 35 kg/ha, K 1,5 kg/ha, Ca 1,3 kg/ha, Cl 1,2 kg/ha, üldN 0,88 kg/ha, SiO₂ 1,3 kg/ha, üldAl 0,33 kg/ha, Cr 1,8 g/ha, Ni 3,0 g/ha, Pb 3,3 g/ha ja Zn 6,2 g/ha.

Tabel 19. Saarejärve 10 cm sügavusel mullavee analüüsitud ainete kontsentratsioonid 2022. aastal.

	Mullavee kogus (mm)*	pH	Elektri-juhtivus (mS/m)	NH ₄ -N (mgN/l)	NO ₃ -N (mgN/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	SO ₄ -S (mgS/l)	Cl (mg/l)	DOC (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)
Aprill	25	3,9	8,2	0,25	0,21	2,3	0,36	1,6	0,81	0,34	2,0	66	4,1
Mai	2,7	4,0	6,1	0,045	0,43	1,3	0,22	2,3	0,84	0,21	1,4	40	1,8
Juuni	6,6	3,8	3,8	0,012	<0,020	0,50	0,082	3,6	0,56	0,19	1,2	30	0,78
Juuli	17	4,3	3,3	0,026	<0,020	0,47	0,20	2,1	0,55	0,29	1,1	24	1,9
August	5,2	4,1	5,4	0,010	<0,020	2,1	0,42	2,7	0,46	0,16	0,86	53	0,83
September	6,2	4,2	5,0	0,055	0,049	1,9	0,41	2,1	0,51	0,14	1,3	43	1,2
Oktoober	7,9	3,9	8,1	0,016	0,037	4,0	0,79	2,2	0,88	0,10	2,8	73	2,8



	Mullavee kogus (mm)*	pH	Elektri-juhtivus (mS/m)	NH ₄ -N (mgN/l)	NO ₃ -N (mgN/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	SO ₄ -S (mgS/l)	Cl (mg/l)	DOC (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)
2022 kaalutud keskmine	71*	4,0	6,0	0,11	0,10	1,8	0,35	2,1	0,68	0,25	1,6	49	2,5
Depositsioon (kg/ha)				0,074	0,073	1,3	0,25	1,5	0,48	0,18	1,2	35	1,8
2021 kaalutud keskmine	53*	4,1	6,2	0,17	0,37	2,3	0,45	3,1	0,85	0,35	1,9	46	2,5
Depositsioon 2021 aastal (kg/ha)				0,091	0,20	1,2	0,24	1,6	0,45	0,18	1,0	24	1,3

*Mullavee koguse puhul on toodud aasta keskmise asemel summa.

Tabel 20. Metallide, üldlämmastiku ja -fosfori sisaldused Saarejärvel 10 cm sügavusel mullavees.

	Nüld (mg/l)	Püld (µg/l)	Al-üld (µg/l)	Al ioon (µg/l)	Mn (µg/l)	Fe (mg/l)	Cd (µg/l)	Cr (µg/l)	Cu (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)	Vooluhulk (l/s)
Aprill	1,6	140	860	<50	38	0,44	0,10	3,3	1,4	6,6	7,6	8,0	1,6
Mai	1,5	120	470	<50	25	0,22	0,045	2,2	0,94	3,2	3,6	11	0,17
Juuni	0,80	152	130	<50	28	0,070	<0,010	0,61	0,74	0,60	1,7	5,3	0,42
Juuli	0,59	122	340	<50	13	0,12	0,072	3,9	0,66	5,1	2,0	7,0	1,1
August	1,4	126	130	<50	190	0,080	0,050	0,62	1,6	0,96	2,1	13	0,32
September	1,3	60	310	<50	100	0,14	0,062	1,1	1,3	1,8	3,3	8,4	0,40
Oktoober	1,7	61	590	<50	150	0,24	0,11	1,4	1,3	2,8	6,3	14	0,49
2022 kaalutud keskmine	1,2	119	519	<50	59	0,24	0,076	2,6	1,1	4,3	4,6	8,7	0,64
Depositsioon (kg/ha)	0,88	0,084	0,37	0,018	0,042	0,17	0,000054	0,0018	0,00080	0,0030	0,0033	0,0062	
2021 kaalutud keskmine	1,3	193	627	52	45	0,26	0,077	2,8	1,6	5,1	4,5	9,2	0,48
Depositsioon 2021 aastal (kg/ha)	0,68	0,10	0,33	0,028	0,024	0,14	0,000041	0,0015	0,00086	0,0027	0,0024	0,0049	

Saarejärve männikus koguti 40 cm sügavuselt mullavett 50 mm (**Tabel 21** ja **Tabel 22**). Mullavee aasta keskmine pH oli 4,1. Aasta jooksul deponeerus männikus 40 sentimeetri sügavuselt sügavamatesse mulla kihtidesse lahustunud orgaanilist süsinikku 20 kg/ha, SiO₂ 1,5 kg/ha, Cr 1,7 g/ha, Ni 2,1 g/ha, Pb 2,5 g/ha ja Zn 3,9 g/ha.

Alumiiniumi ja lahustunud silikaatide kontsentratsioonide vähenemine mõlemas sügavusastmes viitab mulla hapestumise vähenemisele, pH tase on võrreldes eelmise seireaastaga jäänud samaks.


Tabel 21. Saarejärve 40 cm sügavusel mullavees analüüsitud ainete kontsentratsioonid 2022. aastal.

	Mullavee kogus (mm)*	pH	Elektri-juhtivus (mS/m)	NH ₄ -N (mgN/l)	NO ₃ -N (mgN/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	SO ₄ -S (mgS/l)	Cl (mg/l)	DOC (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)
Aprill	19	4,2	4,7	0,20	0,096	1,1	0,39	1,7	0,84	0,31	1,6	43	4,3
Mai	1,0	4,0	5,9	1,1	0,076	2,1	0,19	0,87	0,55	0,19	1,5	47	2,7
Juuni	7,4	3,9	4,0	0,072	0,19	1,1	0,22	2,3	0,42	0,21	1,4	30	1,3
Juuli	10	4,2	4,4	0,15	0,049	0,74	0,26	1,8	0,96	0,31	1,8	34	2,6
August	7,1	4,1	4,6	0,22	0,17	0,78	0,11	1,4	0,31	0,18	1,3	27	1,0
September	2,8	4,2	5,4	0,65	0,27	1,1	0,28	1,9	0,55	0,21	1,3	42	2,6
Oktoober	3,1	3,8	8,4	0,25	0,13	2,2	0,49	1,7	0,83	0,18	1,7	71	4,1
2022 kaalutud keskmine	50*	4,1	4,8	0,22	0,12	1,1	0,29	1,8	0,71	0,26	1,6	39	2,9
Depositsioon (kg/ha)				0,11	0,061	0,54	0,15	0,89	0,36	0,13	0,78	20	1,5
2021 kaalutud keskmine	32*	4,1	7,6	0,31	0,10	2,4	0,77	3,7	1,6	0,71	3,3	64	5,4
Depositsioon 2021 aastal (kg/ha)				0,099	0,033	0,79	0,25	1,2	0,51	0,23	1,1	21	1,7

*Mullavee koguse puhul on toodud aasta keskmise asemel summa.

Tabel 22. Metallide, üldlämmastiku ja -fosfori sisaldused Saarejärvel 40 cm sügavusel mullavees.

	Nüld (mg/l)	Püld (µg/l)	Al-üld (µg/l)	Al ioon (µg/l)	Mn (µg/l)	Fe (mg/l)	Cd (µg/l)	Cr (µg/l)	Cu (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)	Vooluhulk (l/s)
Aprill	1,1	126	1700	290	68	0,64	0,15	4,8	1,7	6,2	5,6	8,5	1,2
Mai	3,4	410	710	<50	31	0,42	0,052	2,7	2,1	3,6	7,0	7,4	0,064
Juuni	0,97	211	230	<50	33	0,12	0,10	1,0	3,0	1,3	3,5	12	0,47
Juuli	1,1	119	920	170	17	0,35	0,054	2,3	1,5	3,3	3,8	3,0	0,65
August	1,2	88	140	<50	14	0,080	0,028	0,87	1,2	1,9	2,9	5,4	0,44
September	2,1	138	680	74	49	0,30	0,13	6,7	1,6	3,7	5,9	7,7	0,18
Oktoober	1,9	97	1200	130	80	0,56	0,19	7,3	1,6	6,5	12	13	0,19
2022 kaalutud keskmine	1,2	136	996	162	44	0,40	0,10	3,4	1,8	4,1	5,0	7,6	0,46
Depositsioon (kg/ha)	0,63	0,069	0,50	0,082	0,022	0,20	0,000053	0,0017	0,00089	0,0021	0,0025	0,0039	



	Nüld (mg/l)	Püld (µg/l)	Al- üld (µg/l)	Al ioon (µg/l)	Mn (µg/l)	Fe (mg/l)	Cd (µg/l)	Cr (µg/l)	Cu (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)	Vooluhulk (l/s)
2021 kaalutud keskmine	1,7	153	1712	285	71	0,73	0,28	5,9	4,2	7,6	7,8	13	0,29
Depositsioon 2021 aastal (kg/ha)	0,54	0,049	0,55	0,092	0,023	0,24	0,000091	0,0019	0,0013	0,0025	0,0025	0,0041	

Vilsandil koguti 2022. aasta jooksul 17 cm sügavusest mullavett 77 mm (Tabel 23 ja Tabel 24). Märtsi proovi puhul on tegemist talvise veega (jaanuar-märts 2021). Kui varasematel aastatel ei ole piisavalt vett mulda jõudnud suvekuudel, siis seekord ei kogunenud piisavalt vett kõikideks analüüsideks 17 cm sügavuskihis mais (analüüsimate jäid pH ja HCO_3^-). 17 cm sügavusel mullas jäi pH vahemikku 6,8-7,3. Aasta kaalutud keskmine pH oli 7,0 ning elektrijuhtivuseks saadi 17 mS/m. Endiselt on 17 cm sügavuselt kogutud mullavee proovides suhteliselt kõrged Ca, Mg ja Cl sisaldused (2021. aastal vastavalt 24 mg/l, 14 mg/l, 7,2 mg/l). Euroopa muldadega võrdluses jäävad antud tulemused siiski keskmiste hulka (Euroopas Ca 0,12-75 mg/l, Mg 0,05-15 mg/l, Cl 0,16-40 mg/l).⁴ Teadmata põhjustel olid nikli sisaldused äärmiselt kõrged.

Mullaveega liikus 17 sentimeetri sügavuselt sügavamale kihtidesse 2022. aasta jooksul DOC 80 kg/ha, hüdrokearbonaati 90 kg/ha, Ca 27 kg/ha, Na 6,9 kg/ha, Mg 17 kg/ha, $\text{SO}_4\text{-S}$ 1,1 kg/ha, Cl 7,9 kg/ha, $\text{NO}_3\text{-N}$ 1,4 kg/ha, üldN 4,8 kg/ha, Ni 55 g/ha ja Zn 15 g/ha.

Tabel 23. Vilsandi 17 cm sügavusel mullavees analüüsitud ainete kontsentratsioonid 2022. aastal.

	Mulla- vee kogus (mm)*	pH	Elektri- juhtivus (mS/m)	$\text{NH}_4\text{-N}$ (mgN/l)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mgN/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	$\text{SO}_4\text{-S}$ (mgS/l)	Cl (mg/l)	DOC (mg/l)	HCO_3 (µekv/l)
Märts	26	7,2	21	0,028	4,0	27	17	0,82	4,0	1,7	10	52	1319
Aprill	2,6	7,3	21	0,020	1,2	28	18	0,24	4,9	1,5	15	70	1455
Mai	0,27	vv	16	0,16	1,1	24	15	0,58	3,7	1,2	11	62	vv
Juuni	10	7,2	20	0,024	0,24	32	20	0,15	6,2	0,64	7,2	100	1819
Juuli	17	6,8	13	0,026	0,025	16	11	0,15	11	0,28	6,2	51	1085
August	18	7,1	16	0,040	0,099	24	14	0,23	5,4	0,45	5,0	76	1437
September	3,4	7,0	18	0,047	0,67	27	16	0,23	6,5	0,88	5,2	130	1568
Oktoober	5,1	7,1	22	0,023	0,36	38	22	0,17	8,9	1,1	6,9	150	1967
November	1,0	7,0	17	0,044	2,5	28	16	0,31	7,7	1,4	7,3	120	1234

⁴ Nieminen TM, De Vos B, Cools N, König N, Fischer R, Iost S, Meesenburg H, Nicolas M, O'Dea P, Cecchini G, Ferretti M, De La Cruz A, Derome K, Lindroos AJ, Graf Pannatier E, 2016: Part XI: Soil Solution Collection and Analysis. In: UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre (ed.): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, Germany, 20 p. + Annex [<http://www.icp-forests.org/manual.htm>]



	Mulla- vee kogus (mm)*	pH	Elektri- juhtivus (mS/m)	NH ₄ -N (mgN/l)	NO ₃ -N (mgN/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	SO ₄ -S (mgS/l)	Cl (mg/l)	DOC (mg/l)	HCO ₃ (μekv/l)
Detsember	26	6,9	15	0,053	0,78	23	14	0,099	5,7	1,2	6,4	73	1162
2022 kaalutud keskmine	109*	7,0	17	0,036	1,3	25	15	0,32	6,3	0,99	7,3	73	1349
Depositsioon (kg/ha)				0,039	1,4	27	17	0,34	6,9	1,1	7,9	80	90
2021 kaalutud keskmine	116*	6,6	17	0,050	2,7	24	14	0,54	5,3	2,4	7,2	68	1138
Depositsioon 2021 aastal (kg/ha)				0,058	3,2	28	17	0,62	6,2	2,8	8,4	79	81

vv – vähe vett; *Mullavee koguse puhul on toodud aasta keskmise asemel summa.

Tabel 24. Metallide, üldlämmastiku ja üldfosfori sisaldused Vilsandil 17 cm sügavusel mullavees.

	Nüld (mg/l)	Püld (μg/l)	Al-üld (μg/l)	Mn (μg/l)	Fe (mg/l)	Cd (μg/l)	Cr (μg/l)	Cu (μg/l)	Ni (μg/l)	Pb (μg/l)	Zn (μg/l)	Vooluhulk (l/s)
Märts	5,8	76	480	4,9	0,54	0,12	1,9	2,4	35	1,1	7,1	5,0
Aprill	5,3	112	480	6,1	0,63	0,16	2,3	2,7	54	1,3	7,8	1,0
Mai	4,5	260	510	9,9	0,64	0,22	2,1	3,0	42	1,6	19	0,10
Juuni	5,5	127	680	27	0,93	0,18	2,3	3,5	64	2,1	11	3,8
Juuli	1,4	50	260	1,5	0,34	0,046	0,74	2,2	25	0,52	3,7	7,0
August	3,4	69	460	6,1	0,56	0,13	1,8	2,9	57	1,2	8,5	6,6
September	5,5	251	620	5,6	0,83	0,21	3,2	4,6	99	2,2	22	1,3
Oktoober	7,1	257	730	4,6	1,1	0,22	3,4	4,9	170	1,9	27	1,9
November	8,3	380	1000	9,9	1,1	0,50	4,3	5,4	55	3,7	23	0,38
Detsember	4,3	80	600	5,7	0,68	0,13	2,2	3,4	42	1,8	28	9,7
2022 kaalutud keskmine	4,4	95	510	6,9	0,63	0,13	2,0	3,0	50	1,4	14	3,1
Depositsioon (kg/ha)	4,8	0,10	0,56	0,0075	0,68	0,00014	0,0021	0,0033	0,055	0,0015	0,0015	
2021 kaalutud keskmine	6,2	96	677	6,6	0,68	0,15	2,6	3,1	28	1,6	7,8	3,2
Depositsioon 2021 aastal (kg/ha)	7,2	0,11	0,79	0,0077	0,79	0,00018	0,0030	0,0036	0,033	0,0019	0,0091	

vv – vähe vett



Vilsandil seirealal koguti 35 cm sügavuselt 2022. aasta jooksul mullavett 57 mm (**Tabel 25 ja Tabel 26**) aasta keskmine mullavee pH oli 6,9, kaalutud keskmiseks elektrijuhtivuseks saadi 19 mS/m, olles kõrgeim augustis (20 mS/m). Madalaim pH määrati novembris (pH 4,8), mil sügavamasse kihti jõudis vähem vett ning seetõttu oli ka proov väga kontsentreeritud. Mais jäid sademete vähesuse tõttu 35 cm sügavuselt mullaveest analüüsimate pH, elektrijuhtivus, DOC, HCO_3^- ja üldfosfor. Novembris ei jätkunud piisavalt proovi HCO_3^- , üldlämmastiku ja -fosfori ning lahustunud orgaanilise süsiniku analüüsiks. 2022. aasta jooksul deponeerus 35 sentimeetri sügavuselt sügavamatesse mulla kihitesse lahustunud orgaanilist süsinikku 36 kg/ha, HCO_3^- 56 kg/ha, Ca 15 kg/ha, Mg 9,2 kg/ha, Cl^- 4,3 kg/ha, Na 3,5 kg/ha, Ni 25 g/ha ja Zn 5,4 g/ha.

Tabel 25. Vilsandi 35 cm sügavusel mullavees analüüsitud näitajate kontsentratsioonid 2022. aastal.

	Mulla- vee kogus (mm)*	pH	Elektri- juhtivus (mS/m)	$\text{NH}_4\text{-N}$ (mgN/l)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mgN/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	$\text{SO}_4\text{-S}$ (mgS/l)	Cl (mg/l)	DOC (mg/l)	HCO_3 ($\mu\text{ekv/l}$)
Märts	22	7,2	20	0,021	0,18	26	17	1,4	5,9	0,78	10	54	1619
Aprill	0,73	7,4	20	0,010	0,58	26	17	0,62	6,2	0,95	12	59	1559
Mai	0,083	vv	vv	<0,010	1,4	15	8,0	1,1	5,5	1,0	8,2	vv	vv
Juuni	4,7	7,2	18	<0,010	0,40	27	16	0,35	3,8	0,47	6,2	63	1672
Juuli	5,8	7,4	16	0,015	<0,020	22	13	0,42	13	0,41	6,6	35	1431
August	8,4	7,3	20	0,035	0,14	28	18	1,6	6,3	0,46	6,5	71	1885
September	1,7	7,1	20	0,060	0,86	27	16	0,81	3,4	1,1	2,5	62	1819
Oktoober	1,7	7,0	19	0,011	1,3	28	15	1,5	4,1	1,8	3,6	73	1622
November	0,20	4,8	11	0,073	2,4	10	4,3	0,42	6,6	1,6	7,5	vv	vv
Detsember	12	7,0	17	0,045	0,79	29	15	0,89	4,9	1,4	5,3	84	1445
2022 kaalutud keskmine	57*	6,9	19	0,027	0,37	27	16	1,1	6,2	0,85	7,4	62	1604
Depositsioon (kg/ha)				0,016	0,21	15	9,2	0,64	3,5	0,49	4,3	36	56
2021 kaalutud keskmine	64*	5,8	15	0,038	0,24	20	12	1,1	5,6	0,74	5,3	68	1218
Depositsioon 2021 aastal (kg/ha)				0,024	0,15	13	7,4	0,71	3,6	0,47	3,4	44	47

vv – vähe vett; *Mullavee koguse puhul on toodud aasta keskmise asemel summa.



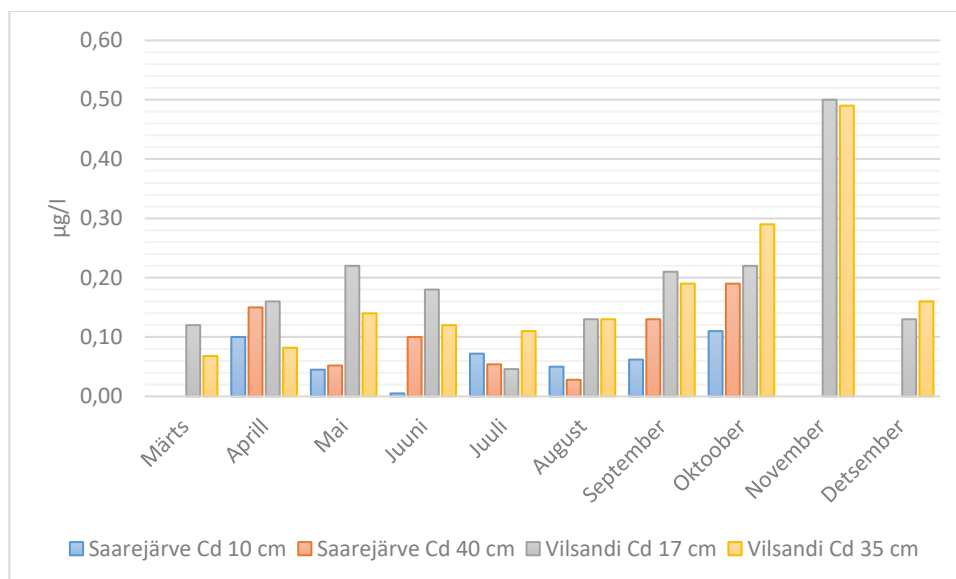
Tabel 26. Metallide, üldlämmastiku ja üldfosfori sisaldused Vilsandil 35 cm sügavusel mullavees.

	Nüld (mg/l)	Püld (µg/l)	Al-üld (µg/l)	Mn (µg/l)	Fe (mg/l)	Cd (µg/l)	Cr (µg/l)	Cu (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)	Vooluhulk (l/s)
Märts	1,9	193	620	1,8	0,53	0,068	2,3	2,5	4,7	1,5	6,4	4,3
Aprill	2,7	195	500	2,7	0,48	0,082	2,4	2,7	26	2,1	7,9	0,28
Mai	3,7	vv	720	5,3	0,64	0,14	2,3	3,4	8,1	2,1	28	0,031
Juuni	3,2	92	970	4,5	0,74	0,12	2,4	3,0	80	5,9	12	1,8
Juuli	1,1	30	120	0,53	0,20	0,11	1,3	1,6	210	19	12	2,4
August	3,1	95	550	2,8	0,50	0,13	2,0	3,0	83	4,2	11	3,1
September	3,7	120	680	4,5	0,52	0,19	2,7	3,4	5,6	1,7	19	0,65
Oktoober	4,4	240	1200	6,2	0,90	0,29	3,5	3,9	6,9	2,8	16	0,63
November	vv	vv	2600	9,4	1,9	0,49	7,6	6,6	8,0	9,7	32	0,075
Detsember	4,1	108	1600	7,7	1,4	0,16	2,9	2,6	5,7	2,9	9,2	4,5
2022 kaalutud keskmine	2,7	134	818	3,5	0,71	0,12	2,4	2,6	44	4,4	9,5	1,5
Depositsioon (kg/ha)	1,5	0,077	0,47	0,0020	0,41	0,000067	0,0014	0,0015	0,025	0,0025	0,0054	
2021 kaalutud keskmine	3,0	83	1033	2,6	0,77	0,12	3,4	3,5	26	4,4	9,8	1,8
Depositsioon 2021. aastal (kg/ha)	1,9	0,053	0,66	0,0017	0,49	0,000075	0,0022	0,0022	0,017	0,0028	0,0063	

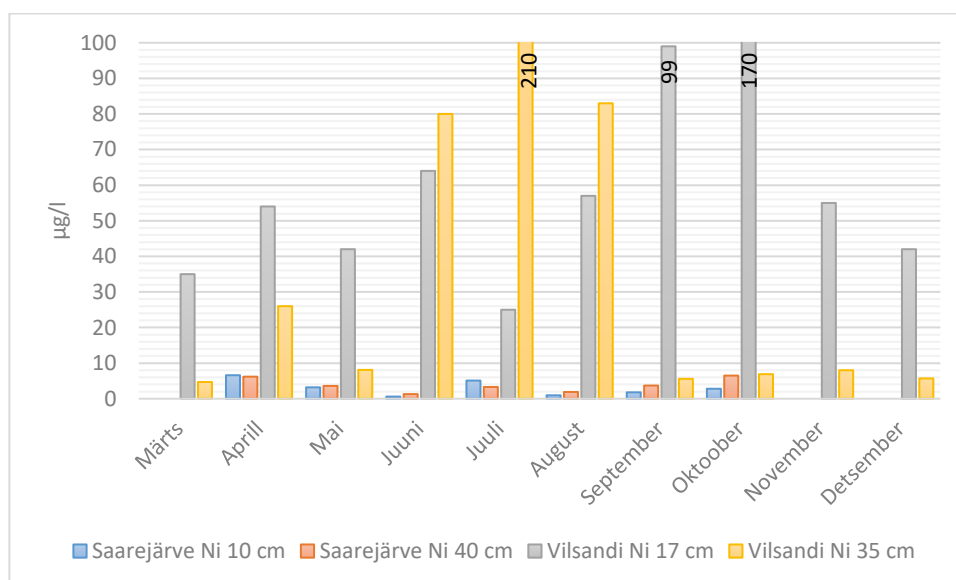
vv – vähe vett

2022. aastal jätkati mõlemal sügavusel kogutud mullavee proovidest raskmetallide sisalduste analüüsimisega. Selgub, et metallide sisaldused olid enamasti kõrgemad aasta teisel poolel. Mis tähendab, et kasvuperioodil, kui puude võrad on tihedamad, jõuab sademetega vähem metalle maapinda. Võrreldes Vilsandiga on Saarejärvel oluliselt kõrgemad mangaani kontsentratsioonid. Raskmetallidest on kaadmiumi sisaldused Vilsandil kõrgemad, ent teises sügavusastmes on aasta keskmised kontsentratsioonid mõlemal kompleksseire alal võrreldavad (Saarejärvel 0,10 µg/l ja Vilsandil 0,12 µg/l) (Joonis 20). Vilsandil esinevad väga kõrged nikli kontsentratsioonid, eelkõige I sügavusastmes (17cm) (Joonis 21). Täpne põhjus ei ole teada ja vajaks uurimist, sest ka trendid näitavad niklisisalduste kasvu. Mullavesi võib mõjutatud olla ka varise lagunemisel vabanevatest ühenditest, mis deponeeruvad pinnasesse ning sammaldest (2020. aastal olid kõrged kontsentratsioonid)⁵. Vilsandil on varises nikli kontsentratsioonid suurenenud viimastel aastatel, samuti on kontsentratsioonid kasvamas okastes. Eelnevate aastate allprogrammide tulemustest on näha, et Saarejärve mullavee proovides on väga kõrged mangaani sisaldused.

⁵ Lõhmus, K. 2021. "Kompleksseire Saarejärvel ja Vilsandil 2020. Aruanne." Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ.



Joonis 20. Kaadmiumi sisaldused mullavees 2022. aastal.



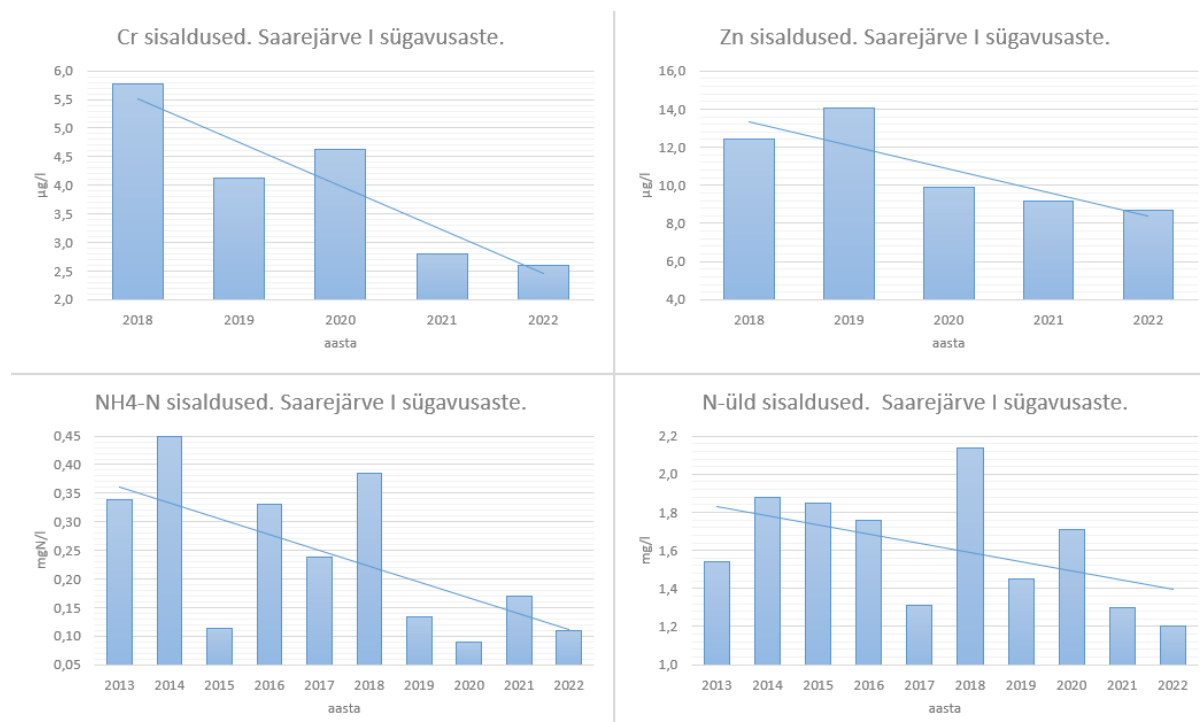
Joonis 21. Nikli sisaldused mullavees 2022. aastal.

Mann - Kendalli mitteparameetrilise trendianalüüsi põhjal (**Tabel 27**) on viimase 10 seireaasta jooksul (aastad 2013-2022) Saarejärve männikus 10 cm mullavee proovides vähenenud $\text{NH}_4\text{-N}$, kaadmiumi, tsingi ja labiilse alumiiniumi ning üldlämmastiku sisaldused (**Joonis 22**). Männiku 40 cm mullavee proovides on suurenenud $\text{NH}_4\text{-N}$ sisaldused. Vilsandi 17 cm mullavee proovides on suurenenud kaltsiumi, magneesiumi, naatriumi, nikli (**Joonis 24**), lahustunud orgaanilise süsiniku sisaldused ja elektrijuhtivus, kuid vähenenud $\text{NH}_4\text{-N}$, K ja Pb sisaldused. Vilsandi 35 cm mullavee proovides on suurenenud magneesiumi, naatriumi ja kroomi sisaldused, aga vähenenud $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ ja Zn kontsentratsioonid (**Joonis 23**).

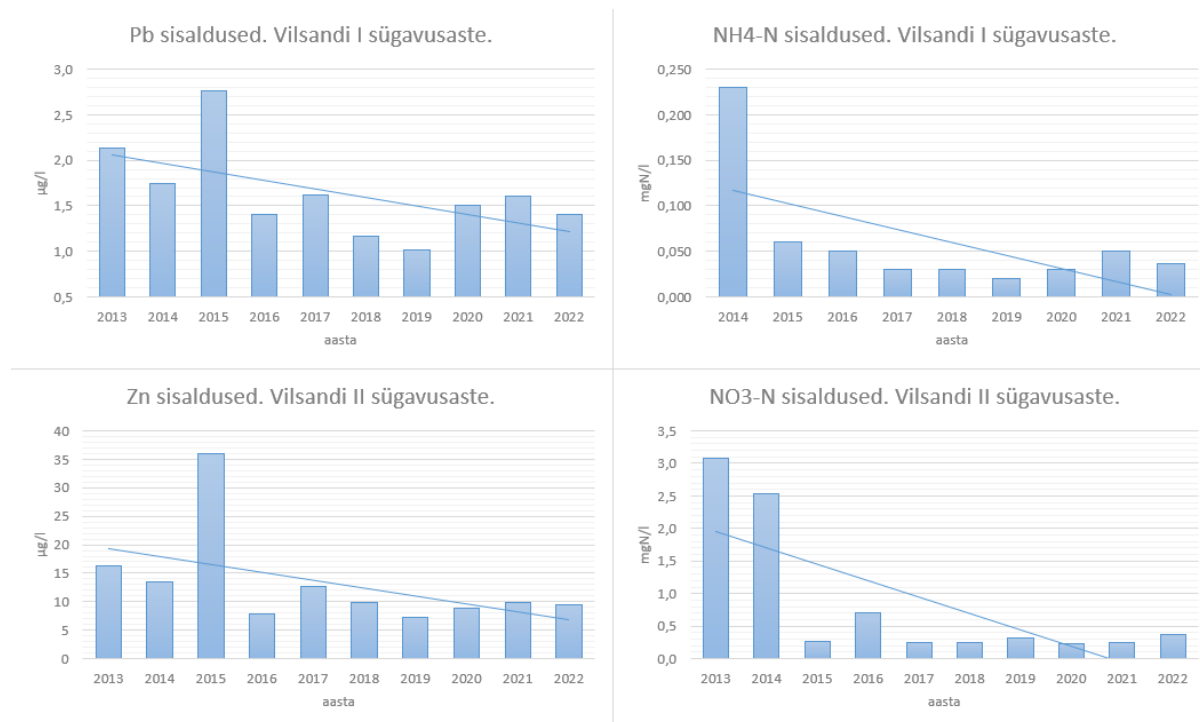

Tabel 27. Saarejärve ja Vilsandi mullavee olulisemad trendid aastatel 2013-2022.

Muutus “↓” vähenemine ja “↑” suurenemine. Olulisustõenäosuse (p) tasemed ***0,001; **0,01; *0,05 ja +0,1.

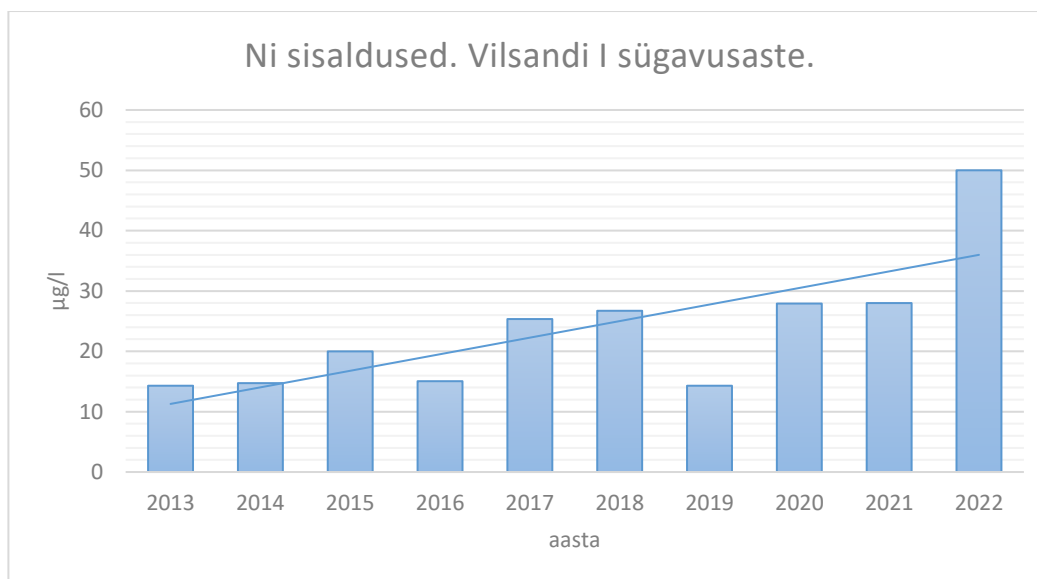
Seirejaam	Maatriks	Näitaja	Algusaasta	Lõppaasta	Muutus	Trend
Saarejärve	mullavesi 10 cm	NH ₄ -N	2013	2022	↓	+
Saarejärve	mullavesi 10 cm	Cd	2018	2022	↓	*
Saarejärve	mullavesi 10 cm	Zn	2018	2022	↓	+
Saarejärve	mullavesi 10 cm	N-üld	2013	2022	↓	+
Saarejärve	mullavesi 10 cm	Cr	2018	2022	↓	+
Saarejärve	mullavesi 10 cm	Al ioon	2013	2022	↓	*
Saarejärve	mullavesi 40 cm	NH ₄ -N	2013	2022	↑	**
Vilsandi	mullavesi 17 cm	NH ₄ -N	2013	2022	↓	+
Vilsandi	mullavesi 17 cm	Ca	2013	2022	↑	*
Vilsandi	mullavesi 17 cm	Mg	2013	2022	↑	**
Vilsandi	mullavesi 17 cm	Na	2013	2022	↑	*
Vilsandi	mullavesi 17 cm	K	2013	2022	↓	**
Vilsandi	mullavesi 17 cm	Ni	2013	2022	↑	**
Vilsandi	mullavesi 17 cm	Pb	2013	2022	↓	+
Vilsandi	mullavesi 17 cm	el. Juht.	2013	2022	↑	*
Vilsandi	mullavesi 17 cm	DOC	2013	2022	↑	*
Vilsandi	mullavesi 35 cm	NH ₄ -N	2013	2022	↓	*
Vilsandi	mullavesi 35 cm	NO ₃ -N	2013	2022	↓	+
Vilsandi	mullavesi 35 cm	Mg	2013	2022	↑	*
Vilsandi	mullavesi 35 cm	Na	2013	2022	↑	**
Vilsandi	mullavesi 35 cm	Zn	2013	2022	↓	+
Vilsandi	mullavesi 35 cm	Cr	2013	2022	↑	*



Joonis 22. Olulisemad trendid Saarejärve mullavees.



Joonis 23. Olulisemad trendid Vilsandi mullavees.



Joonis 24. Nikli kontsentratsioonid Vilsandi mullavees (17 cm sügavusel) aastatel 2012-2022.

3.6 Vooluvee keemia

Saare järve sissevoolav oja 2022. aasta talvel täielikult ei jäätunud, küll aga oli oja kuiv 25. – 28. juuni, 2. – 10. juuli ja 7. august – 30. august. Järv oli jääs aasta algusest kuni 20. aprillini ja aasta lõpus alates 21. novembrist. Lisaks igakuistele analüüsitavatele näitajatele määrati 2022. aasta kevadel (aprillis) ja sügisel (oktoobris) sissevoolust võetud veeproovidest ka raskmetallid (Hg, Cd, Cr, Mn, Ni, Pb, Zn, Cu).

Saare järve sissevoolavas ojas esinesid mitmete näitajate osas 2022. aastal keskmisest kõrgemad kontsentratsioonid aasta esimestel kuudel ja aasta teises pooles (**Tabel 28**). Üldlämmastiku, -fosfori ja lahustunud orgaanilise süsiniku kontsentratsioonid on kõrgemad vegetatsiooniperioodil. Kaalutud keskmised on arvatud vastavalt vooluhulgale, lähtudes kompleksseire käsiraamatus kirjeldatud juhendist. Juulis ja augustis proovi võtta võimalik ei olnud, sest proovivõtu ajal oli oja kuiv.

Endiselt on sissevoolu proovides väga kõrge kaltsiumi, naatriumi ja magneesiumi sisaldused, mis leevendavad sulfaatse väävli, nitraatse lämmastiku ja lahustunud silikaatide mõju järveveele. 2022. aasta keskmine pH oli 7,4 (2021. aastal pH 7,5), keskmine elektrijuhtivus oli 29 mS/m. Kõigis 2022. aasta jooksul kogutud ja analüüsitud proovides jäid $Al_{(ioon)}$ sisaldused alla määramispiiri (<50 µg/l), üldAl aasta keskmine sisaldus oli 66 µg/l (**Tabel 29**).

Pinnavees sisalduvate ühendite kontsentratsioonid on osalt seotud sademetega, ent suures osas ka väljakandega kogu valgalalt.


Tabel 28. Saare järve sissevoolus analüsitavate näitajate kontsentratsioonid 2022. aastal.

	pH	COND (mS/m)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	NO ₃ N (mgN/l)	NH ₄ N (mgN/l)	N-tot (mg/l)	HCO ₃ (μekv/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ S (mgS/l)	DOC (mg/l)	P-tot (μg/l)
Jaan.	7,1	34	4,1	0,78	51	11	0,94	0,059	1,6	3110	4,2	4,4	14	23
Veeb.	7,8	33	4,3	0,66	50	11	0,87	0,053	1,6	2990	4,3	4,1	15	26
Märts	7,7	34	4,0	0,76	52	11	2,2	0,045	2,7	3013	5,2	4,0	13	18
Aprill	7,3	25	3,3	0,80	38	8,0	1,7	0,036	2,1	2120	3,6	2,5	12	22
Mai	7,5	33	4,1	1,1	50	11	1,1	0,081	2,1	3020	3,6	2,4	15	38
Juuni	7,6	30	3,7	0,77	49	12	0,23	0,015	1,2	3090	1,9	1,2	23	39
Sept.	7,5	29	5,2	1,7	40	11	0,11	0,011	0,84	2760	1,9	3,6	16	27
Okt.	7,6	34	4,4	1,6	51	12	0,12	0,021	0,92	3330	2,8	3,1	15	28
Nov.	7,8	35	4,4	1,1	53	13	0,24	<0,010	1,2	3130	4,5	5,8	18	24
Dets.	7,5	36	4,8	0,77	53	13	0,52	0,037	1,4	3272	4,5	5,6	14	17
Aasta keskmine	7,4	29	3,7	0,81	45	10	1,2	0,037	1,8	2678	3,5	2,9	15	26
Ära- kanne kg/ha			1,2	0,25	14	3,1	0,36	0,011	0,56	51	1,1	0,89	4,7	0,0081
2021 keskmine	7,5	38	3,9	0,91	51	9,9	1,3	0,017	1,8	2934	4,2	3,0	16	29
2021. aasta ära- kanne			1,3	0,29	17	3,2	0,42	0,0055	0,59	58	1,4	0,98	5,3	0,0093

Tabel 29. Saare järve sissevoolu füüsikalised näitajad ja lahustunud silikaadid (SiO₂) ning üldalumiiniumi sisaldused 2022. aastal.

	SiO ₂ (mg/l)	Al-tot (μg/l)	Äravoolu kiht (mm)	Keskmine veetase (cm)	Keskmine temperatuur (°C)	Keskmine vooluhulk (l/s)
Jaan.	9,9	54	2,0	14	0,88	6,4
Veeb.	9,9	56	8,1	23	0,83	29
Märts	9,5	<50	4,7	19	0,91	15
Aprill	7,7	76	8,6	25	4,2	28
Mai	8,3	56	1,6	12	11	5,2
Juuni	9,1	91	0,64	6,9	15	2,1
Juuli	-	-	0,17	3,3	16	0,53
Aug.	-	-	0,034	0,87	15	0,11



	SiO ₂ (mg/l)	Al-tot (µg/l)	Äravoolu kiht (mm)	Keskmine veetase (cm)	Keskmine temperatuur (°C)	Keskmine vooluhulk (l/s)
Sept.	12	<50	0,084	3,8	11	0,28
Okt.	12	<50	0,65	8,2	8,6	2,1
Nov.	11	<50	1,6	13	4,2	5,1
Dets.	11	<50	2,8	15	0,99	9,0
Aasta kaalutud keskmine	8,8	66	31*	12	7,4	8,5
Ärakanne kg/ha	2,7	0,021				
2021. aasta kaalutud keskmine	9,3	61	32*	13	8,4	8,7
2021. aasta ärakanne (kg/ha)	3,0	0,020				

* Aasta summa

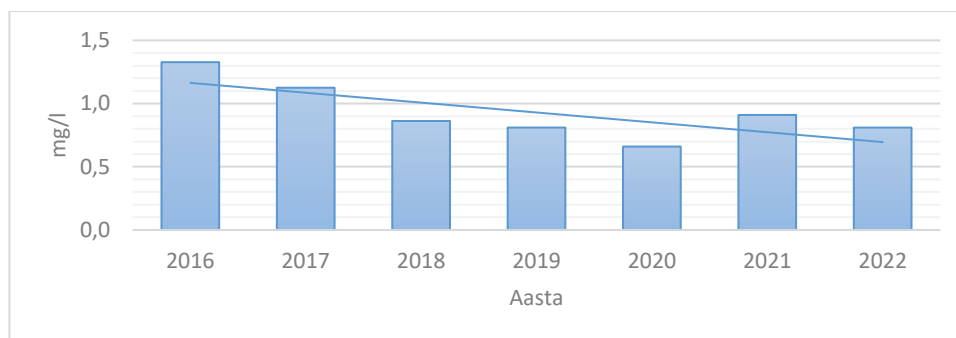
Aprillis ja oktoobris võetud raskmetallide proovides jäid kaadmiumi, plii, tsingi ja elavhõbeda sisaldused mõlemal korral alla analüüsimeetodika määramispiiri (Tabel 30).

Tabel 30. Saare järve sissevoolu raskmetallide sisaldused 2022. aastal µg/l. Kaalutud keskmine on arvutatud vastavalt vooluhulgale.

	Mn	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
Aprill	5,1	<0,010	0,17	0,49	0,36	<0,060	<1,0	<0,0050
Oktoober	2,7	<0,010	0,17	1,6	0,52	<0,060	<1,0	<0,0050
Aasta kaalutud keskmine	5,0	0,0022	0,17	0,53	0,37	0,013	0,22	0,0011
Ärakanne g/ha	0,68	0,00068	0,023	0,073	0,050	0,0041	0,068	0,00034
2021. aasta kaalutud keskmine	27	0,0019	0,18	0,58	0,47	0,11	1,6	0,00094
2021. a. ärakanne g/ha	3,3	0,00061	0,022	0,071	0,057	0,014	0,19	0,00030

2022. aastal oli aastane sissevool Saare järve 31 mm (31 liitrit valgla m² kohta) ehk 263840 m³, mis moodustab vaid 5,6% sademete hulgast. Viimastel aastatel on vooluhulk vähenenud, kuid äravoolukihi protsent sademete hulgast on jäänud 4-6% ulatusse, vaid 2018. aastal oli 6,6% avamaa sademete kogusest.

Mann-Kendalli mitteparameerilise trendianalüüsi põhjal on sissevoolus viimase 7 seireaasta (2016-2022) jooksul langenud kaaliumi sisaldused (Joonis 25).



Joonis 25. Kaaliumi kontsentratsioonide muutused Saarejärve sissevoolus.

4 Bioindikatsioon – Bioloogilised allprogrammid

Bioindikatsioon on keskkonnaseisundi ja –olude muutumise iseloomustamine organismide ehk bioindikaatorite ja nende tunnuste (katvus, sagedus, keemiline koostis jm) põhjal.⁶

4.1 Okkakeemia

Okkakeemia eesmärgiks on hinnata puude toiteinetega rikastatust ning õhusaaste mõju seireala taimestikule. Õhusaaste võib põhjustada puude madalat elujõulisust, mis viitab ebaühtlasele puude toitainetega varustatusele. Samuti viivad puude toitainete sisalduse tasakaalust välja mullastikus ebasoodsad keemilised tingimused just juurte kasvuosas.

Vilsandi kompleksseireala kõrval kasvavatelt märgistatud puudelt ja Saarejärve männiku vahetust lähedusest langenud tormimurru okstelt koguti 2022. aasta oktoobris 1 aasta vanused männi okkad. Proovide kogumine toimus vastavalt kompleksseire käsiraamatus kirjeldatud juhendile. Proovid kuivatati, puhastati ja nendest moodustati koondproovid. Samuti moodustati mõlema seireala männi okastest proovid 100 okka ja 1000 okka massi määramiseks saamiseks. 1000 okka mass määrati vastavalt kompleksseire juhendile.

Kui varem on Vilsandil kogutud elusokaste mass olnud väiksem, siis 2022. seireaastal oli nii sama aasta okaste mass kui ka 2-aastaste okaste mass väiksem Saarejärvel.

2022. aasta Saarejärvel kogutud männi okastes jäid näitajate sisaldused suuremas osas optimaalsete sisalduste piiridesse (**Tabel 31**). Samas 2-aastaste okaste puhul on esineb defitsiiti väävl, lämmastiku, fosfori, magneesiumi ja vase sisaldustes, kuid kaltsiumi ja mangaani sisaldused on kõrged. Lämmastiku sisaldused olid Saarejärvel madalamad kui Vilsandil. Üllatavalt kõrged olid Saarejärve männi okastes Al, Cr ja Ni kontsentratsioonid. Lämmastiku sisalduse langus viitab aga võimalikule toitainete defitsiidile.

⁶ Chapter 1. In: International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems (2022). Manual for Integrated Monitoring. Edition 7. The Swedish University of Agricultural Sciences.



tekkimisele. Vilsandi kompleksseirealal kasvavate mändide jooksva aasta okastes võib 2022. aastal täheldada mangaani defitsiiti, 2-3 aastaste okaste puhul on näha, et mangaani defitsiit süveneb ning lisaks on defitsiit ka vasest. Kõrged on jooksva aasta okaste fosfori ja magneesiumi sisaldused, 2-3-aastastel okastel puhul aga kaltsiumi ja magneesiumi sisaldused (Tabel 32).

Tabel 31. 1-aastaste ja 2-aastaste männiokaste elementide sisaldus (mg/kg) Saarejärvel.

	1000 okka mass (g)	S	N	P	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
2022 1-aastased okkad	10,1	920	12000	1600	2400	830	6200	<10	50	400	3,9	36
2022 2-aastased okkad	13,2	940	11000	1300	5100	650	5300	17	61	710	2,9	40
2021	11,3	940	13000	1600	2300	890	6600	25	38	310	4,5	38
Defitsiit			<13000	<1400	<2000	<700	<5000			<50	<4	<20
Optimaalne sisaldus		1200-1600	18000-20000	1600-2000	2000-3000	1200-1600	6000-9000			50-500	4-6	20-70
	TOC	Al	B	Cd	Cr	Ni	Pb	N/P	N/K	N/Ca	N/Mg	
2022 1-aastased okkad	520000	130	14	0,079	3,0	3,0	0,049	7,5	1,9	5,0	14	
2022 2-aastased okkad	530000	190	16	0,095	4,2	3,3	0,088	8,5	2,1	2,1	17	
2021	510000	150	13	0,076	1,6	2,2	0,062	8,1	2,0	5,6	15	
Optimaalne sisaldus								6-12	1-3	2-7	8-50	

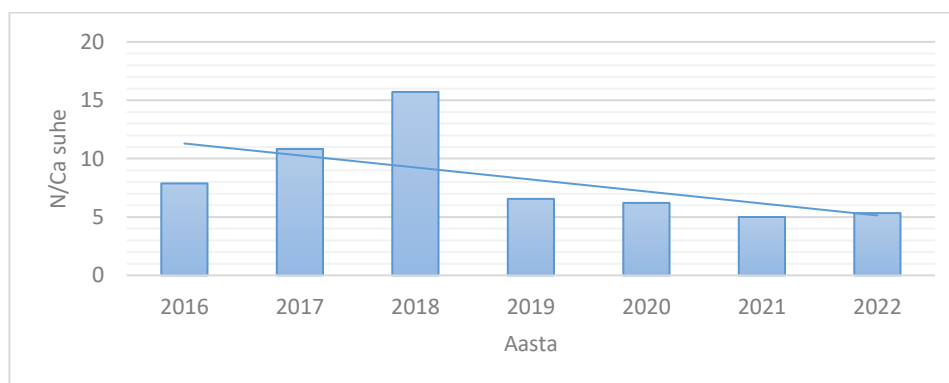
Tabel 32. 1-aastaste ning 2-3-aastaste männiokaste elementide sisaldus (mg/kg) Vilsandil.

	1000 okka mass (g)	S	N	P	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
2022 1-aastased okkad	10,7	1300	16000	2100	3000	2000	5100	13	100	34	4,6	55
2022 2-3-aastased okkad	13,6	1300	17000	2000	5600	1900	5300	82	59	22	3,5	67
2021 1-aastased okkad	11,1	1200	18000	2000	3600	2000	5800	52	35	38	4,2	62

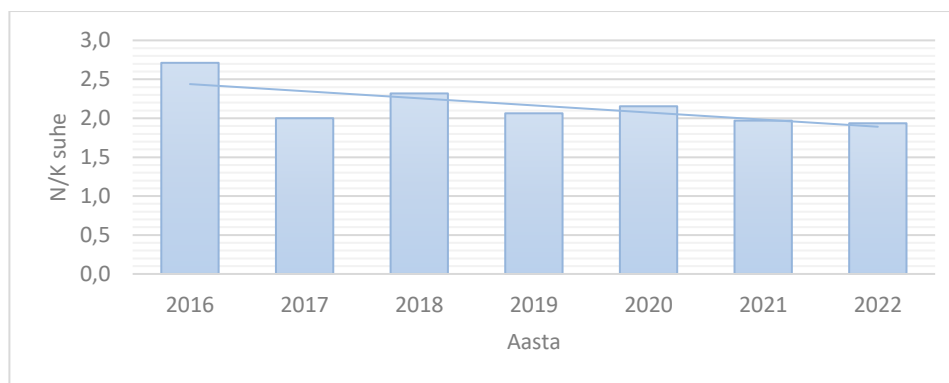


	1000 okka mass (g)	S	N	P	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
2021 2-3-aastased okkad	13,5	1300	17000	1800	5700	2000	4900	94	59	34	3,7	78
Defitsiit			<13000	<1400	<2000	<700	<5000			<50	<4	<20
Optimaalne sisaldus		1200-1600	18000-20000	1600-2000	2000-3000	1200-1600	6000-9000			50-500	4-6	20-70
	TOC	Al	Cd	Cr	Ni	Pb	N/P	N/K	N/Ca	N/Mg		
2022 1-aastased okkad	510000	19	0,039	1,9	1,2	0,10	7,6	3,1	5,3	8,0		
2022 2-3-aastased okkad	510000	32	0,033	2,2	1,6	0,17	8,5	3,2	3,0	8,9		
2021 1-aastased okkad	510000	14	0,043	1,2	1,2	0,084	9,0	3,1	5,0	9,0		
2021 2-3-aastased okkad	520000	33	0,042	0,85	0,64	0,17	9,4	3,5	3,0	8,5		
Optimaalne sisaldus							6-12	1-3	2-7	8-50		

Analüüsid viimase seitsme seireaasta (aastate 2016-2022) Vilsandi seireala 1 aastaste männi elusokastest määratud näitajate kontsentratsioone, selgub, et Mann-Kendalli järgi on vase sisaldused statistiliselt usaldusväärselt suurenenud ning naatriumi kontsentratsioonid vähenenud. Samuti on Vilsandil langustrendis lämmastiku ja kaltsiumi suhtarv (Joonis 26). Saarejärvel on langustrendis lämmastiku ja kaaliumi suhtarv (Joonis 27).



Joonis 26. Lämmastiku ja kaltsiumi suhtarvu trend Vilsandi 1-aastastes okastes.



Joonis 27. Lämmastiku ja kaaliumi suhtarvu trend Saarejärve 1-aastastes okastes.

4.2 Varise keemia

Varisel on oluline osa mõistmaks biogeokeemilist aineriinget, mis seob taimestiku vee ja mullaga. Varise lagunemisel maapinnal on oluline osa toitainete voogudes ning see määrab ka ära, kui palju orgaanilist ainet tagasi metsapinnasesse jõuab, lisaks mõjutab see metsa tootlikkust ning mulla toitainete sisaldust.

Varise okastest ja muust osast moodustati mõlemal seirealal koondproovid kogu aasta jooksul varise kogujatesse langenud materjalist.

Okaste osakaal Vilsandi seireala varises on olnud aastate (2012-2022) lõikes enam-vähem ühesugune (keskmiselt 51%), kuid 2022. aastal moodustas okaste osakaal varise koguhulgast vaid 39 % (2021. aastal 52%). Varise aastaseks koguseks saadi 2022. aastal 2,4 t/ha (2021. aastal 3,9 t/ha). Varise ülejäänud osa moodustavad varisenud isasõisikud, korbatükid, oksad ja käbid. Varise hulk männikus on tavaliselt teisel poolaastal suurem kui esimesel, kuna põhiline männiokaste varisemine toimub septembri lõpus ja oktoobris. Suvekuudel moodustavad suure osa varisest mändidelt langenud isasõisikud (juunis, juulis). Suure osakaaluga varisest on oksad ja koore tükikesed (aprillis). Saarejärve männiku 2022. aasta varise koguseks saadi 2,1 t/ha (2021. aastal 3,2 tonni hektari kohta). Männi okaste osakaal moodustas kogu aastast varise hulgast 22% (2021. aastal 48%). Ka 2020. aastal moodustasid Saarejärvel varise okkad 26% kogu varisest, mis oli ilmselt tingitud samuti pikast kuivast perioodist suvel.

Okaste toit- ja saasteainete sisaldus on seotud nende varisemise ajaga. Oluliste makroelementide (lämmastiku, fosfori ja kaaliumi) sisaldus varise okastes (**Tabel 33**) väheneb kasvuperioodi lõpupoole. Kuna toiteelementide hulk on limiteeritud, paigutatakse need enne okaste varisemist puusiseselt ümber, nähtust nimetatakse translokatsiooniks. Saarejärvel jäävad enamike näitajate kontsentratsioonid varise muus osas madalamaks kui Vilsandil, kuid nii varise muus osas kui ka okastes on Saarejärvel kõrgemad raskmetallide (okastes Mn, Cd, Pb) sisaldused. Kaadmiumi ja nikli puhul on see üllatav tendents, sest avamaa sademetes ja ka võraves on nimetatud metallide sisaldused üldiselt Vilsandil kõrgemad. Lisaks olid mõlemal seirealal nikli ja kroomi kontsentratsioonid kõrgemad kui eelmisel seireaastal.


Tabel 33. Vilsandi ja Saarejärve varise määratud näitajate sisaldused (mg/kg) 2022. aastal.

	t/ha	S	N	P	Ca	Mg	K	Na	Mn
2022 Vilsandi varise okkad	2,4	810	7100	540	6600	1200	1800	260	310
2022 Vilsandi varise muu osa	3,7	980	9400	870	6700	900	1700	180	92
2021 Vilsandi varise okkad	2,0	730	7200	480	7000	1100	1400	250	370
2021 Vilsandi varise muu osa	1,9	870	9900	720	6000	820	1300	170	79
2022 Saarejärve varise okkad	0,46	580	5900	620	6200	590	2000	34	1100
2022 Saarejärve varise muu osa	1,6	810	6500	690	6900	440	930	32	210
2021 Saarejärve varise okkad	1,5	470	4100	470	7200	550	1400	36	1300
2021 Saarejärve varise muu osa	1,7	350	3300	310	7100	330	570	33	210
	Fe	Cu	Zn	TOC	Al	Cd	Cr	Ni	Pb
2022 Vilsandi varise okkad	73	2,4	58	520000	120	0,11	2,6	2,2	0,18
2022 Vilsandi varise muu osa	170	6,1	42	530000	250	0,70	1,9	1,6	1,2
2021 Vilsandi varise okkad	83	2,6	69	540000	130	0,12	1,3	1,3	0,22
2021 Vilsandi varise muu osa	130	6,2	42	530000	260	0,36	0,88	0,67	0,83
2022 Saarejärve varise okkad	92	1,8	55	520000	230	0,13	3,8	3,5	0,25
2022 Saarejärve varise muu osa	290	4,5	54	520000	460	0,38	2,3	1,8	1,8
2021 Saarejärve varise okkad	82	3,9	65	530000	230	0,13	0,83	0,79	0,25
2021 Saarejärve varise muu osa	140	3,1	35	510000	290	0,44	0,99	0,82	1,1

4.3 Taimkate intensiivaladel

2022. aasta juulis teostati Saarejärve kompleksseirealal taimkatte inventuur seirealal asuvas 30*30 m suuruses taimkatte püsiruudus vastavalt kompleksseire käsiraamatus toodud metoodikale. Püsiala jagati 9- ks 10x10 m ruuduks ning igaühes neist kirjeldati taimkatet kolmel 1x1 m märgistatud ruudul.



Kui varem valiti 1x1m ruudud juhuslikult, siis 2022. aasta suvel märgistati kindlad ruudud. Ruudud on nummerdatud alates püsiala vasakust nurgast tüvevee kogujate lähedusest. Igas ruudus määrati rohu- ja samblarinde iga liigi katvus protsentides ning liikide fertiilsus (viljakandvus) 3-pallises skaalas. Number tähistab katvust, „+“ märk õite või marjade olemasolu, arv näitab fertiilsust (näide hapu oblikas +/0 või ohtene sõnajalg 10/3 ehk oblikal on õied või viljad olemas ent taim pole fertiilne, sõnajala katvus on 10% ruudus ning taim on fertiilne). Taimkatte inventuuri tulemused on esitatud käesoleva aruande lisana koostatud andmefailis eraldi lehel.

Eelmine taimkatte inventuur Saarejärve seirealal jääb 2017. aastasse. 5 aastaga on vaatlusruutudel toimunud muutused, on langenud suuri puid ja kuivanud oksid.

Puurindes hinnati ainult katvust, liike eraldi välja ei toodud. Põõsarindes on levinuimateks harilik kuusk ja harilik tamm. Rohurindes oli domineerivaks mustikas, esines ka ohtralt pohla. Samblarinde oli domineerivaks liigiks harilik laanik, kuid esines ka kaksikhammaste perekonda kuuluvaid liike, harilikku palusammalt, harilikku lehviksammalt ja metsakäharikku. Tabelis on välja toodud erinevate rinnete keskmine katvus seireruudu kohta (Tabel 34).

Tabel 34. Taimestiku katvus (%) Saarejärve männiku seirealal 2022. aastal.

Seireruut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Puurinne	25	35	25	20	35	35	25	20	45	35	25	30	10	40
Põõsarinne	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rohurinne	45	25	30	25	20	70	50	40	45	15	25	60	45	20
Samblarinne	95	95	90	100	95	100	95	100	100	95	95	95	100	100
Seireruut	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
Puurinne	35	40	40	40	30	45	35	40	60	40	60	40	65	
Põõsarinne	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	15	
Rohurinne	10	30	65	25	45	75	25	45	20	30	25	80	10	
Samblarinne	70	100	95	100	80	95	80	90	95	100	95	75	95	

4.4 Mikroobne lagunemine

Mikroobse lagunemise programmi täitmiseks asetatakse Saarejärvel ja Vilsandil igal aastal varisekihti (umbes 5 cm sügavusele) 12 α-tselluloosiriba (vastavalt kompleksseire juhendile 3x5cm suurused ristkülikud, mis on 1 mm paksused) seireala kohta. Vastavalt juhendile tuleb ühte võrkkotikesse asetada 4 tselluloosiriba. Need jäetakse üheks aastaks lagunema. Samuti pannakse varisekihti 3x4 grammi eelneva aasta varise okkaid, mis jäetakse lagunema vastavalt 1ks, 2ks ja 3ks aastaks.



Võrreldes Saarejärvega, lagunevad nii α -tselluloosiribad kui ka varise okkad Vilsandil kiiremini (**Tabel 35**). See on tingitud erinevatest keskkonnatingimustest (Vilsandil on varisekiht paksem, niiskust on rohkem ja elustik on liigirikkam).

Tabel 35. Varise okaste ja α -tselluloosiribade massikao % Saarejärve ja Vilsandi kompleksseire aladel 1, 2 ja 3 aasta jooksul.

	Saarejärve			Vilsandi		
Lagunemise aeg	1 aasta	2 aastat	3 aastat	1 aasta	2 aastat	3 aastat
α -tselluloos	50	-	-	64	-	-
varise okkad	45	47	57	46	60	92

Andmetest on näha, et tavaliselt on lagunemine kõige intensiivsem esimesel aastal. Okkavarise lagunemise edasist massikadu ei ole võimalik võrrelda. Ent 2022. aasta suvi oli äärmiselt kuiv ja sarnane 2021. aastaga, seetõttu võrreldes varasemaga (2021. aastal oli okaste massikadu Vilsandil 1 aasta jooksul 44%) lagunes aasta jooksul okkaid samas suurusjärgus. Teise ja kolmanda aasta lagundusandmete tõlgendamise muudab keerulisemaks see, et kord üles võetud proove peale kaalumist enam maha tagasi ei saa panna, seega pole teada iga üksiku 2 või 3 aastat lagunenud proovi täpne massikadu esimesel aastal.



5 Kokkuvõte

Kompleksseirega alustati Eestis kahel seirealal, Saarejärvel ja Vilsandil juba 1994. aastal. Seega on mõlemal alal tööd tehtud üle 25 aasta. Vilsandil on teostanud seiret Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, aastatel 1994-2015 teostas kompleksseiret Saarejärvel IM SAARE. Alates 2016. aastast on kompleksseire teostajaks nii Saarejärve kui Vilsandi seirealadel Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ. 2019. aastal lõpetati seiretööd Saarejärve kuusikus ning jätkati seiretöödega muudetud mahus Saarejärve männikus ja Vilsandi kompleksseirealal.

2022. aastal mõõdeti Vilsandi sademete koguseks 738 mm ja Saarejärvel 555 mm. Kõige kuivem kuu oli Vilsandil märts ja Saarejärvel aprill. Kõige sademeterohkem kuu oli mõlemal seirealal juuli, mil Saarejärvel tuli 90 mm ja Vilsandil 128 mm sademeid.

Saare järve sissevoolav oja 2022. aastal täielikult ei jäätunud, küll aga oli oja kuiv mitmel perioodil suvekuudel. Järv oli jääs aasta algusest kuni 20. aprillini ja aasta lõpus alates 21. novembrist. Aastane sissevool Saare järve oli 31 mm (31 liitrit valgla m² kohta) ehk 263840 m³, mis moodustab vaid 5,6% avamaa sademete hulgast. Viimastel aastatel on vooluhulk vähenenud, kuid äravoolukihi protsent sademete hulgast on jäänud 4-6% vahemikku, vaid 2018. aastal oli see 6,6% sademete aastasummast. Trendianalüüsi põhjal on sissevoolus viimase 7 seireaasta (2016-2022) jooksul hakanud langema kaaliumi sisaldused.

Vilsandi avamaa sademete keskmine pH oli 5,2 ja Saarejärvel 5,7. Mitmete analüüsitud näitajate aasta keskmised kontsentratsioonid Saarejärvel vähenesid võrreldes 2021. aasta tulemustega. Kui Saarejärvel suurenes ainult plii kontsentratsioon, siis Vilsandil olid pea kõik aasta keskmised kontsentratsioonid võrreldes 2021. aastaga kõrgemad. Erandiks oli nikkel, mille keskmine kontsentratsioon avamaa sademetes oli madalam.

Vilsandil mõõdeti 2022. aastal võravee koguseks 444 mm ja Saarejärvel 455 mm. Vilsandi võravee keskmine pH oli 5,1 ja Saarejärvel 5,2. Saarejärve võraves jäid suvekuudel ammooniumlämmastiku ja nitraatlämmastiku kontsentratsioonid alla analüüsimetoodika määramispiiri. Endiselt on pikema aegrea põhjal täheldatav sulfaatse väevli vähenemine Saarejärvel, samas ei ole Vilsandil viimase 10 aasta lõikes olulist muutust toimunud. Vilsandil on võraves suurenenud pH, Saarejärvel ühegi näitaja osas suurenemise trendi ei esine.

2022. aastal oli Vilsandil tüvevee pH 4,2 ja elektrijuhtivus 15 mS/m. Saarejärve tüvevee keskmine pH oli 4,3 ja elektrijuhtivus 4,9 mS/m. Eelneva aasta tulemustega võrreldes suurenesid tüvevee proovides Saarejärvel nii üldlämmastiku kui ka ammoonium- ja nitraatlämmastiku aasta keskmised sisaldused, kuigi ammoonium- ja nitraatlämmastiku sisaldused jäid mitmel kuul alla metoodika määramispiiri. Vilsandil olid üldlämmastiku, lahustunud orgaanilise süsiniku ja mitmete metallide sisaldused kõrgemad kui Saarejärvel.

Mullavett kogunes Vilsandil 17 cm sügavusel 109 mm ja 35 cm sügavusel 57 mm. Mõlemal sügavusel kogutud mullavee proovides oli pH enamasti üle 7,0 piiri. Aasta keskmine elektrijuhtivus oli mullavee proovides vastavalt 17 mS/m ja 19 mS/m. Saarejärve männikus kogunes mullavett 71 mm ja 50 mm. Mullavee proovid mõlemal sügavusel olid madala pH-ga. Aasta keskmine mullavee pH oli 10 cm sügavusel 4,0 ja 40 cm sügavusel 4,1. Saarejärvel on mullavee proovides viimase 10 aasta jooksul trendianalüüsi põhjal oluliselt vähenenud üldlämmastiku, tsingi ja kroomi ning NH₄-N sisaldused.



Vilsandi mullavees on oluliselt vähenenud amooniumlämmastiku sisaldused ning tõusutrendi näitavad kaltsiumi, magneesiumi, naatriumi, nikli ja lahustunud orgaanilise süsiniku sisaldused.

Vilsandi kompleksseirealal kasvavate mändide jooksva aasta okastes võib 2022. aastal täheldada mangaani defitsiiti, 2-3 aastaste okaste puhul on näha, et mangaani defitsiit süveneb ning lisaks on defitsiit ka vasest. Kõrged on jooksva aasta okaste fosfori ja magneesiumi sisaldused, 2-3-aastaste okastes aga kaltsiumi ja magneesiumi sisaldused. Saarejärve 1 aasta vanustes männiokastes oli lämmastiku sisaldus oluliselt madalam kui Vilsandil kasvavatel okastel. 2022. aasta Saarejärvel kogutud männi okastes jäid näitajate sisaldused suuremas osas optimaalsete sisalduste piiridesse. Samas 2-aastaste okaste puhul esineb defitsiiti väävli, lämmastiku, fosfori, magneesiumi ja vase sisaldustes, kuid kaltsiumi ja mangaani sisaldused on kõrged. Lämmastiku sisalduse langus viitab aga võimalikule toitainete defitsiidi tekkimisele.

Varise aastaseks koguseks Vilsandil saadi 2022. aastal 2,4 t/ha, Saarejärvel aga 2,1 t/ha. Okaste osakaal oli vastavalt 39 % ja 22 %. Saarejärvel jäävad enamike näitajate kontsentratsioonid varise muus osas madalamaks kui Vilsandil, kuid nii varise muus osas kui ka okastes on Saarejärvel kõrgemad raskmetallide (okastes Mn, Cd, Pb) sisaldused. Lisaks olid mõlemal seirealal nikli ja kroomi kontsentratsioonid kõrgemad kui eelmisel seireaastal.

Saarejärvel asetati oktoobris maha uued lagundusproovid ja võeti üles 1, 2 ja 3 aastat maas olnud proovid. Vilsandil vahetati proovid juulis. Tulemustest selgub, et Vilsandi seirealal lagunes 1 aasta jooksul ära üle poole tselluloosist (kaalukadu 64%), Saarejärvel lagunes varisekihti pandud tselluloosist 50 %. Okkaproovidest lagunes Vilsandil 1 aasta järel 46 %, 2 aasta järel 60 % ja 3 aasta järel 92 %. Saarejärvel lagunes 1 aastaga männiokastest 45 %, 2 aastaga 47 % ja 3 aastaga 57%.

2022. aasta juulis teostati Saarejärve männiku kompleksseirealal taimkatte inventuur seirealal asuvas 30*30 m suuruses taimkatte püsiruudus vastavalt kompleksseire käsiraamatus toodud metoodikale. Eelmine taimkatte inventuur Saarejärve seirealal jääb 2017. aastasse. 5 aastaga on vaatlusruutudel toimunud muutused, on langenud suuri puid ja kuivanud oksid. Puurindes hinnati ainult katvus, liike eraldi välja ei toodud. Rohurindes oli domineerivaks mustikas, esines ka ohtralt pohla. Samblarindes oli domineerivaks liigiks harilik laanik, kuid esines ka kaksikhammaste perekonda kuuluvaid liike, harilikku palusammalt, harilikku lehviksammalt ja metsakäharikku.



Lisa 1 Saarejärve taimkatte analüüs (VG) 2022

Aruandega kaasas olev eraldi Exceli fail.