

Riikliku  
keskkonnaseire  
alamprogramm

Kompleksseire Vilsandil

Tallinn 2005

Lepingu nr: M-13-1-2004/371  
Lisa 3 raamlepingule 1-5/249

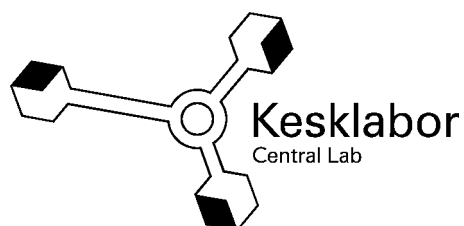
Tööde algus:  
01.01.2004

Tööde lõpp:  
31.12.2004

**Enn Otsa**  
Juhatuse esimees

**Margus Kört**  
Juhatuse liige

**Katrin Pajuste**  
Aruande koostaja



## Sisukord

<b>Sissejuhatus</b> .....	3
<b>Metoodika</b> .....	5
<b>Kompleksseire areng</b> .....	6
<b>1. Aasta meteoroloogiline iseloomustus ja sadevete keemia</b> .....	8
1.1. Anioonid .....	10
1.2. Katioonid .....	12
1.3. Raskmetallid .....	13
1.4. Võravee ja tüvevee keemia .....	14
1.5. Mullavee keemia .....	19
<b>2. Bioindikatsioon- Bioloogilised allprogrammid</b> .....	21
2.1. Okaste ja varise keemia .....	21
2.2. Mikroobne lagunemine .....	25
2.2.1. $\alpha$ -tselluloosi lagundustulemused .....	25
2.2.2. Okkavarise lagundustulemused .....	26
2.3. Tüve epifüüdid .....	29
<b>Kokkuvõte</b> .....	35
<b>Kirjandus</b> .....	36

## Sissejuhatus

Eesti ühines "Piiriülese õhusaaste kauglevi konventsiooni ning selle protokollidega" 19. jaanuaril 2000. a (RT II 2000, 4, 25). Õhusaaste kauglevi konventsiooni osalised teevad artikkel 7 raames koostööd järgmistes valdkondades:

- a) täiustatud mudelid õhusaasteainete piiriülese kauglevi paremaks mõistmiseks;
- b) väävlühendite ja muude põhiliste õhusaasteainete toime määratlemine inimese tervisele ja keskkonnale, sealhulgas põllumajandusele, metsandusele, materjalidele, vee- ja muudele looduslikele ökosüsteemidele ning nähtavusele, et luua teaduslik alus doosi ja mõju vahekorra kindlakstegemiseks keskkonnakaitse eesmärgil;
- c) keskkonnakaitse eesmärkide saavutamise, sealhulgas piiriülese õhusaaste kauglevi vähendamise alternatiivmeetmete majanduslik, sotsiaalne ja ökoloogiline hindamine;

Nimetatud eesmärkide saavutamiseks alustasid konventsiooni osalised koostööd õhusaaste mõju uurimiseks keskkonnale:

- ICP Forests - rahvusvaheline ühisprogramm õhusaaste mõju metsale, alustati 1985. aastal; ECE/EB. AIR/7, para. 54 (c). Osaleb 34 riiki.
- ICP Waters - jõgede ja järvede hapestumise uurimise programm, alustati 1985. aastal; ECE/EB. AIR/7, para. 54 (d). Osaleb 17 riiki.
- ICP Vegetation - õhusaaste mõju looduslikule taimkattele ja põllukultuuridele, alustati 1985. aastal; ECE/EB. AIR/16, para. 32 (c).
- ICP Integrated Monitoring - rahvusvaheline ühisprogramm kompleksseire - õhusaaste mõju ökosüsteemile pilootprogrammi alustati 1987. aastal, (ECE/EB. AIR/16, para. 25 (d)) ja jätkuprogrammi 1992, (ECE/EB. AIR/33, para. 37 (d)). Osaleb 22 riiki.
- ICP Materials - õhusaaste mõju materjalidele, sh ajaloo- ja kultuurimonumentidele (alustati 1985. aastal; ECE/EB. AIR/7, para. 54 (e)). Osaleb 19 riiki.

Eesti Vabariigi Keskkonnaministeerium sõlmis 1992.a. Soome Keskkonnaministeeriumiga kahepoolse koostöölepingu, millega kohustus kompleksseiret läbi viima ja rahvusvahelisse andmebaasi andmeid edastama. Alates 1994.aastast ongi Eestis kompleksseiret teostatud kahel seirealal Vilsandil ja Saarejärvel.

Kompleksseire algatajad seadsid eesmärgiks koguda informatsiooni väikeste terviklike maismaaökosüsteemide seisundist ja prognoosida seal aja jooksul aset leidvaid muutusi arvestades eeskätt lämmastiku- ja väävlisaaste mõju. Pikaajaliselt kogutud komplekssete andmete alusel saaks:

\*selgitada ökosüsteemis toimivate muutuste põhjuslikke seoseid keskkonnateguritega tagamaks adekvaatset teaduslikku alust saastekontrollile,

\*määratleda ja modelleerida ökosüsteemide seisundeid tegelike ja prognoositavate saastekoormuste hindamiseks,

\*prognoosida õhusaaste kaugkande mõju ökosüsteemidele arvestades ka regionaalset varieeruvust.

Väävli- ja lämmastikusaaste mõju uurimise kõrval on kompleksseire allprogrammide hulka laiendatud nii, et need võimaldaks hinnata ka osooni, raskmetallide ja püsivate orgaaniliste ühendite (POP) ökoloogilist mõju. 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 aset leidvate protsesside ruumilist ja ajalist varieeruvust, peaks iga seires osalev riik tagama programmi järjepidevuse pikaajalise finantseerimise. Pikaajalise uuringu all mõistetakse enam kui 10-aastast uurimisperioodi (*Manual for Integrated Monitoring, Helsinki 1998*). Arvestades kompleksseire allprogrammide hulka on tegemist töömahuka kuid mitmekülgset informatsiooni pakkuva seireprogrammiga (tabel 1, 2). Kompleksseire eelarveraha otstarbekamaks jaotamiseks on seire käsiraamatus välja pakutud seire prioriteedid ja miinimumprogramm rahvusvahelises koostöös osalemiseks (tabel 2). Koostöö eesmärgiks aga on ja jääb usaldusväärsete andmete kogumine modelleerimiseks ning poliitiliste otsuste põhjendamiseks.

**Tabel 1.** Ülevaade põhjus/tagajärg seostest, mille kohta kompleksseire programm andmeid kogub (allprogrammide lühendid on Metoodika peatükis tabel 2)

Tegur (põhjus)	Seotud allprogrammid	Spetsiifiline indikaator koos allprogrammiga	Üldine indikaatornäitaja
Lämmastik, väävel	PC, TF, SF, RW/SW, SC, AM, LC, AC, LF, (LC, GW)	Taimestiku lämmastikunõudluse indeks (VG) Lehtede keemiline koostis (FC) Õhu rohevetikad (AL)	Biomassi muutus Liigiline koosseis Metsakahjustused Mikroobne lagunemine
Osoon	AM, SW, AC	Lehe kahjustused (FD)	Biomassi muutus Liigiline koosseis Metsakahjustused Fenoloogia
POP	PC, RW/SW, BI, FC	Bioakumulatsioon	Biomassi muutus Liigiline koosseis
Raskmetallid	MC, FC, PC, RW/SW	Bioakumulatsioon Mikroobne lagunemine	Biomassi muutus Liigiline koosseis
Kliimamuutus	AM, AC		Biomassi muutus Bioloogiline mitmekesisus Mikroobne lagunemine

## Metoodika

Allprogrammid, nende proovivõtu ja analüüsi meetodikad on kindlaks määratud osalevate maade ekspertide poolt kooskõlastatud kompleksseire käsiraamatus (*Manual...1998*) arvestades ka teiste sama konventsiooni raames toimivate koostööprogrammidega. Lühikesed allprogrammide meetodika kirjeldused on esitatud käesoleva aruande vastavate peatükkide alguses.

Kompleksseires täidetavate allprogrammide hulk oleneb seireala tüübist. Saarejärve on rajatud seire intensiivalana, kus piisavate rahaliste vahendite korral oleks võimalik täita kõiki kompleksseire käsiraamatus määratud allprogramme ökosüsteemi seisundi hindamiseks. Vilsandi puhul on tegemist biomonitoringualaga-puudub valgala ja allprogramme täidetakse minimaalses programmi täitmiseks nõutavas mahus (tabel 2) v.a. pinnavete keemiline koostis.

**Tabel 2.** Kompleksseire miinimumprogramm (kursiivis täiendavad programmid) ja allprogrammide täitmine Vilsandi seirealal.

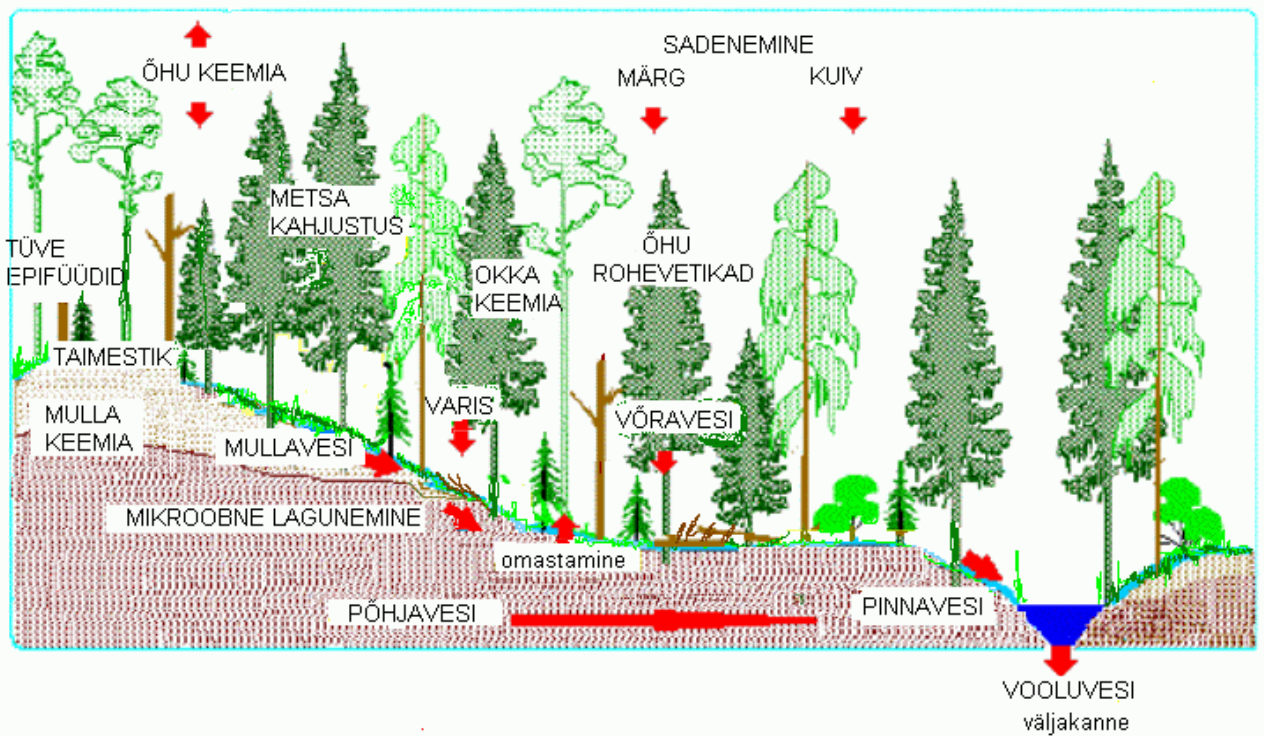
Kompleksseire allprogrammid	Programmi läbi viimise sagedus Vilsandil
7.1. Meteoroloogia (AM)	Pidevmõõtmised EHMI vaatlusjaamas
7.2. Õhu keemia (AC)	Pidevmõõtmised EMEP automaatmõõtejaamas
7.3. Avamaa sademed (PC)	Igapäevane kogumine, nädala keskmine analüüs
7.4. Raskmetallid sammaldes (MC)	5 a. sammuga (viimati kevad 2000, järgmine 2005)
7.5. Võravesi (TF)	2 korda kuus
7.6. Tüvevesi (SF)	1 kord kuus
7.7. Mulla keemia (SC)	5 a. sammuga (viimati september 2000, järgmine 2005)
7.8. Mullavee keemia (SW)	1 kord kuus kahel sügavusel
7.12. Okka keemia (FC)	1 kord aastas (sügisel)
7.13. Varise keemia (LF)	Proovide kogumine 6 korda aastas
7.17. Taimkate (VG)	5 a. sammuga (viimati 2001)
7.20. Tüve epifüüdid (EP)	1-3 aastase sammuga
7.18. Bioelemendid ja indikatsioon	<i>Esmakordselt 2003.a. raskmetalli uuring männi puidust</i>
7.22. Mikroobne lagunemine (MB)	1 kord aastas (sügisel)

Vilsandi kompleksseirealal töötasid 2004. a. OÜ Eesti Keskkonnauuringute Keskuse vaatlejad Kadriann Saar ja Õne Vanin. Allprogramme täideti vastavalt tabelis 2 toodud mahule.

Proovid analüüsiti EKUK laboratooriumides. Allprogrammides osalenud isikute ja asutuste kontaktandmed on toodud tabelis 3. Aruande koostas Katrin Pajuste, kasutatud on ka varasemaid Eva Nilsoni kirjutatud materjale kompleksseire allprogrammide kohta.

**Tabel 3.** Allprogrammide vastutavad täitjad

Asutus	Aadress	Kontaktisikud	Allprogrammid
Vilsandi Rahvuspark	Kihelkonna 93401, Saare Maakond Tel. 45 23012	Arvo Kullapere Kadri Kullapere Õne Vanin	PC, TF, SF, SW
OÜ Eesti Keskkonnauuringute Keskus	Marja 4D Tallinn 10617 Tel. 6112938	Margus Kört Katrin Pajuste Kadriann Saar	AC, PC, TF, SF, SW, SC, FC, LF, VG, MC, EP, MB,



**Joonis 1. Kompleksseire käsitus ökosüsteemi uurimisest (peamised allprogrammid)**

### **Kompleksseire areng**

Kompleksseire alguseks Eestis võib lugeda kahepoolse koostööprotokolli sõlmimise Soome Keskkonnaministeeriumiga 1992.a. Seireprogrammi käivitamiseks Eestis, Lätis ja Leedus andis Põhjamaade Ministrite Nõukogu rahalist abi ligikaudu 2,4 miljonit taani krooni, sellest üle 0,5 milj Eestile vajaliku aparatuuri ja varustuse soetamiseks (Starr jt., 2000) tingimusel, et alates 1995.a. finantseerib iga riik seiret iseseisvalt. Seirealad kavandati Lääne-Eestisse (Saaremaale), kus minimaalne kohalik saastekoormus võimaldaks hinnata kauglevi mõju; Põhja-Eestisse (Põhja-Kõrvemaa järved) ja Lõuna-või Kagu-Eestisse, kus keskkonna madalama puhverdusvõime tõttu võib osutuda probleemiks hapestumine. Esialgsetest plaanidest kasvas välja 2 praegu töötavat seireala: Vilsandi ja Saarejärve.

Kompleksseire ja EMEP tulemuste analüüs (Frey jt 2002, Pajuste jt 2004) kinnitavad väidet, et Vilsandi seireala peegeldab oma saastefooni näitajatega Lääne-Euroopas aset leidvaid muutusi, Saarejärve sobib asendiliselt omamaise õhusaaste mõju uurimise taustaalaks.

Põhjamaade Ministrite Nõukogu eksperdid (Starr jt 2000) hindasid Eesti kompleksseire korralduse üldiselt heaks. Ekspertide aruandele lisatud SWOT-analüüsid kujutavad kompleksseire hetkeolukorda ja tulevikuperspektiivi. Täiendatud kujul on Vilsandi SWOT analüüs tabelis 4.

**Tabel 4. Vilsandi kompleksseireala SWOT analüüs**

<b>Tugevad küljed</b>	<b>Nõrgad küljed</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>*pikaajaline looduskaitse ja seire traditsioon</li> <li>*seireala paiknemine Kesk-Euroopast saabuvate õhumasside liikumisteel</li> <li>*kogemustega ja pühendunud kohalik personal</li> <li>*EMEP ja meteojaama andmete kasutamise võimalus ja ühine finantseerimine</li> <li>*ligi 10 aastane pidev kompleksseire andmerida</li> <li>*Vilsandi Rahvuspark toetab ja aitab kaasa uurimistöödele</li> <li>*asukoht on turvaline (seirevarustust ei lõhuta)</li> <li>*seireala kasutatakse näitliku objektina Vilsandi matkarajal</li> <li>*seireprogramm kindlustab tööga vähemalt kaks kohalikku elanikku</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Kaugus akrediteeritud laboratooriumidest ja uurimiskeskustest</li> <li>*Raskesti ligipääsetav asukoht</li> <li>*vähe kohalikke elanikke - vajaduse korral raske proovikogumist asendada</li> <li>*Erandlik mullatüüp ja taimkate võrreldes Põhjamaade seirealadega</li> <li>* toitainete väljundvoo mõõtmisvõimaluse puudumine koosluses</li> <li>*sagedased metssigade kahjustused seirealal</li> <li>*juurepessi levik männikus</li> </ul>
<b>Võimalused</b>	<b>Ohud</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>*seireandmete kasutamine teaduslikke uuringuid toetava informatsioonina</li> <li>*seireprogrammide ühitamine</li> <li>*avalikkuse huvi suurendamine (rohkem infot kohapeal ja internetis)</li> <li>*seire tulemuste publitseerimine</li> <li>*seireprogrammi laiendamine Vilsandil,</li> <li>*osaline üle viimine või laiendamine Saaremaale Vilsandi Rahvuspargi läheduses</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*seire järjepidevus ei ole riiklikult garanteeritud</li> <li>*finantseerimise vähendamine</li> <li>*saareelanike lahkumine Vilsandilt</li> <li>*seireasutuste ebapiisav suhtlemine</li> </ul>

EMHI vaatluste põhjal on teada ([www.emhi.ee](http://www.emhi.ee)), et Vilsandi on üks väiksema sademete hulgaga (582 mm) kohti Eestis. Vilsandil sadas ajavahemikul 1995-2004 keskmiselt 483 mm aastas, eriti sademetevaesed olid 2002. ja 2003.a Väike sademete hulk on mitmel aastal raskendanud kooslusest veeproovide kogumist. Näiteks ajavahemikul 1995-2004 on mulla nõrgvee proove olnud võimalik koguda olenevalt sademete jaotumisest 4-6 kuu vältel aastas (7 kuud 2004.a.): kevadel maa sulamise järel ja sügisel septembrist novembrini, kui maa pole veel külmunud. Sama kehtib ka tüvevee proovide kohta. Ajavahemikul 1995.-2004.a. on tüvevee proovideks vett kogunenud 5-8 kuul aastas (6 kuud 2004.a.), vaatamata sellele, et voolikud on paigaldatud 10 männi tüve ümber. Vilsandi prooviala võib-olla suuremaks vajaka jäämiseks on valgala puudumine. See tähendab, et heas asukohas esinduslikul seirealal pole võimalik mõõta koosluse väljundvoogusid (joonis 1). Seetõttu uuriti 2003. a. kompleksseire programmi (osaliseks) üleviimiseks sobilikke alasid Vilsandi rahvuspargi läheduses Saaremaal (EKUK, 2003). Samas pakuti välja ka seireala rajamist Lahemaale õhumõõtejaama lähedusse (Põhja-Kõrvemaa järved). Arvestades aga metsa- ja kompleksseire programmide koostööst tekkivat ülevaate paranemist, võiks uut seireala asukohta otsida pigem Edela- ja Lääne-Eestist.

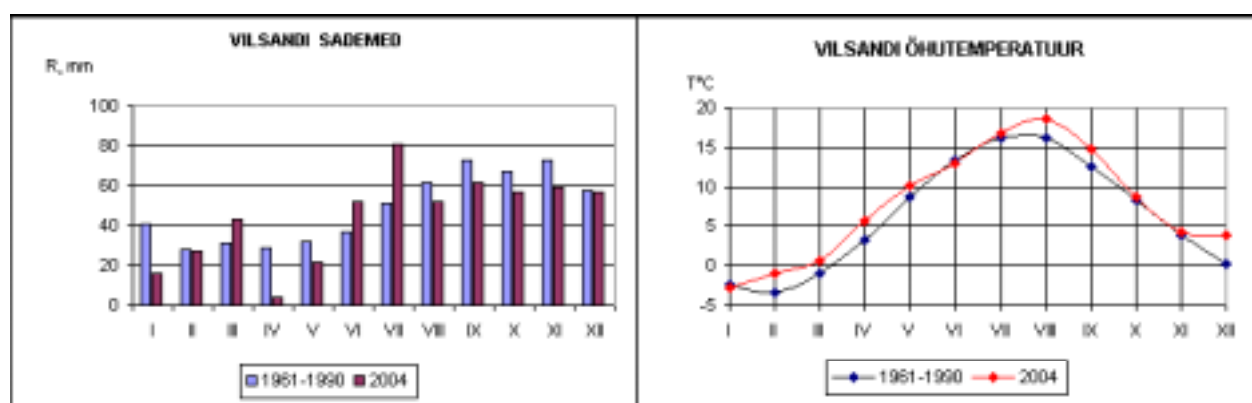
## 1. Aasta meteoroloogiline iseloomustus ja sadete keemia

Seirealale on paigaldatud kolm standardset EMEP sademete kogumise seadet (joonis 2) diameetriga 20 cm. Sademeid koguti sarnaselt eelnevate aastatega ööpäevasel põhimõttel, kuid laboratoorseks analüüsiks moodustati nädala koondproovid. Et lihtsustada kuukeskmiste tulemuste arvutamist, alustati lisaks uut koondproovi iga kalendrikuu alguses. Raskmetallid määrati ühe sadeveekoguja kuukeskmistest veeproovidest.



Joonis 2. Vilsandi sademete kogujad.

Avamaal koguti vaatlusperioodi jooksul 37 üldanalüüsi ja 12 raskmetalli sadeveeproovi. Võrreldes pikaajalise keskmisega olid 2004.a. eriti sademevaesed kuud jaanuar ja aprill. Keskmisest enam sadas EMHI andmetel märtsis ning juunis-juulis (joonis 3). Sajupäevi oli kõige rohkem novembris, mil sadas enam kui pooltel päevadel (17). Kompleksseire mõõtmiste järgi oli käesolev aasta senise seireperioodi vihmaseim, kokku sadas 635 mm. EMHI andmetel sadas 542 mm, veidi vähem kui pikaajalisest keskmisest sademete hulgast Vilsandil (582 mm). Lisaks ohtrale vihmajule (190 päeva keskmise 115 asemel), oli 2004.a. veebruarist maini ja juulist oktoobrini ka keskmisest soojem (joonis 3).

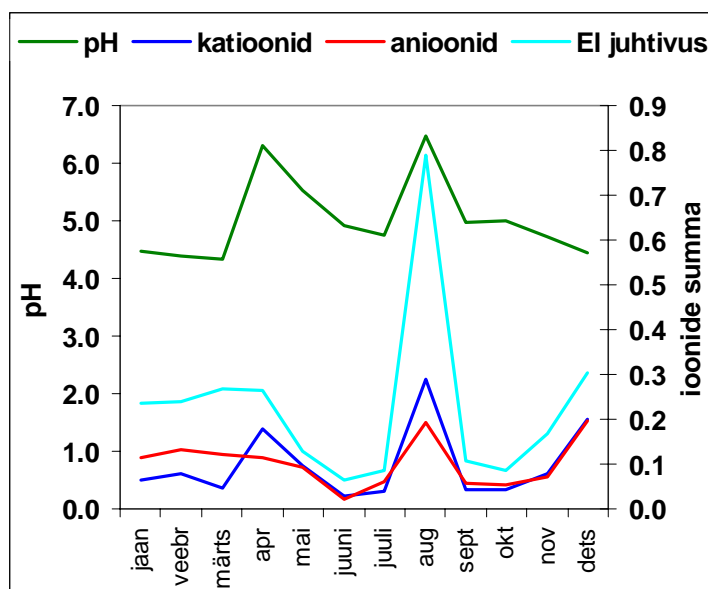


Joonis 3. Vilsandi sademete kuusummad ja kuukeskmised õhutemperatuurid EMHI andmetel ([www.emhi.ee](http://www.emhi.ee)).

Lisandioonide üldhulka sademetes iseloomustab elektrijuhtivus. Täiesti puhas vesi on halb elektrijuht. Looduslikus sadevees lahustunud soolad, happed ja leelised suurendavad vee elektrijuhtivust. Üldiselt on lisandioonide sisaldus sesoonse iseloomuga ja on seotud sademete hulgaga. Mitmeaastaste mõõtmistulemuste võrdlemine näitab sademete elektrijuhtivuse ja seega ka saasteainete sisalduse vähenemist Vilsandi sademetes kuni 2002.aastani. 2004.a. keskmine elektrijuhtivus oli 18  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , miinimum mõõdeti juunis 6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ja maksimum augustis 79  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Kaks augustis kogutud nädala keskmist veeproovi olid mõlemad väga kõrgete lisandiioonide sisaldustega (joonis 4, tabel 5).

**Joonis 4.** Vilsandi sademete pH (vasakul teljel), katioonide (Ca, Mg, K, Na) ja anioonide ( $\text{NO}_3$ , Cl,  $\text{SO}_4$ ) summaarne sisaldus (mgekv/l) ja elektrijuhtivus ( $100\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (parempoolsel teljel) 2004.aastal.

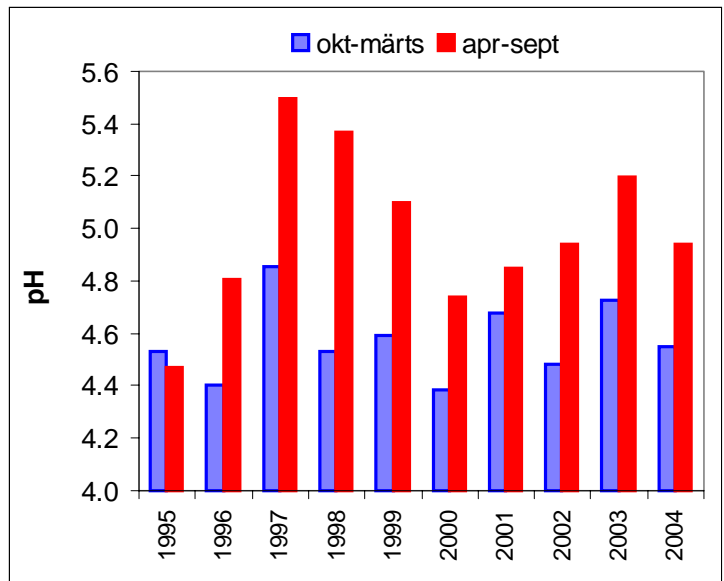


**Tabel 5.** Avamaa sademete kaalutud keskmised ainetesisaldused (mg/l) Vilsandi kompleksseirealal 2004.a. Alla määramispiiri jäänud tulemused on enne keskmise arvutamist asendatud poolega määramispiiri väärtusest (*Manual...*, 1998).

Ioon/ Kuu/ aasta	Sade mete hulk*	pH	$\text{HCO}_3$ mgekv/ l	$\text{NH}_4$ , N	$\text{NO}_3$ , N	üld N	üld P	Cl	$\text{SO}_4$ , S	Ca	Mg	Na	K	$\tau$ $\mu\text{S}/\text{cm}$
Jaani	36	4.46	<0.02	0.22	0.61	1.15	0.01	1.34	0.53	0.37	0.14	0.77	0.10	24
Veebr	29	4.39	<0.02	0.34	0.56	1.30	0.01	1.99	0.56	0.30	0.17	1.08	0.09	24
Märts	32	4.33	<0.02	0.97	0.65	2.22	0.01	0.94	0.81	0.19	0.08	0.65	0.07	27
Apr	4	6.31	0.29	1.10	0.50		0.06	0.66	0.99	2.39	0.47	0.34	0.21	27
Mai	28	5.54	<0.02	0.20	0.20	1.16	0.03	0.91	0.85	1.17	0.16	0.45	0.16	13
Juuni	58	4.91	0.07	0.04	0.01	0.40	0.04	0.34	0.21	0.22	0.06	0.22	0.16	6
Juuli	89	4.74	0.02	0.11	0.12	0.54	0.01	0.96	0.41	0.30	0.08	0.34	0.17	8
Aug	28	6.47	0.44	5.31	0.18	7.36	0.50	1.66	2.11	2.48	0.47	2.22	1.23	79
Sept	121	4.96	0.034	0.29	0.13	1.19	0.095	0.98	0.33	0.12	0.06	0.65	0.15	11
Okt	47	4.99	0.03	0.04	0.02	0.45	0.04	0.90	0.43	0.14	0.09	0.58	0.09	9
Nov	91	4.74	0.05	0.16	0.09	0.49	0.02	1.75	0.26	0.18	0.17	1.23	0.12	17
Dets	72	4.4	<0.02	0.31	0.42	0.96	<0.002	4.6	0.58	0.21	0.40	3.49	0.19	30
<b>2004</b>	<b>635</b>	<b>4.71</b>	<b>0.05</b>	<b>0.46</b>	<b>0.22</b>	<b>1.16</b>	<b>0.06</b>	<b>1.52</b>	<b>0.51</b>	<b>0.36</b>	<b>0.15</b>	<b>1.05</b>	<b>0.19</b>	<b>18</b>
2003	411	4.91	0.08	0.85	0.35	2.2	0.12	1.53	0.68	0.39	0.13	0.76	0.30	21.2
2002	353	4.70		0.29	0.35		0.03	0.98	0.67	0.36	0.09	0.46	0.16	15.4
2001	552	4.78		0.42	0.39		0.04	1.09	0.64	0.31	0.13	0.51	0.46	18.8
2000	465	4.54		0.23	0.32		0.01	1.21	0.49	0.25	0.09	0.63	0.09	18.7

\*sademete hulk on antud kompleksseire mõõtmiste alusel.

Vilsandi sademed võib lugeda nõrgalt happeliseks, aasta keskmine pH oli 4.7  $pH_{\min}$  oli 4.3 ja  $pH_{\max}$  6.5. Sademed on reeglina happelisemad aasta külmemal poolel (oktoobrist märtsini) võrreldes soojema perioodiga aprillist septembrini (joonis 5). Vaatamata seireperioodi jooksul aset leidnud väävlisaaste vähenemisele, ei ole sademete happesus usaldusväärselt vähenenud. Olemasolevate andmete põhjal võib ainult öelda, et külmemaa 6-kuulise perioodi keskmine sademete pH on varieerunud kitsamates piirides (joonis 5).



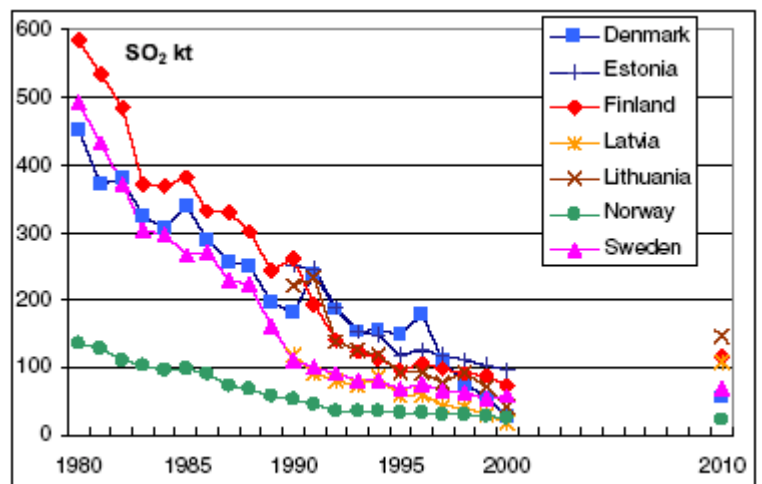
**Joonis 5.** Vilsandi sademete kuue kuu kaalutud keskmine happesus 1995-2004.

### 1.1. Anioonid

Seoses vähenenud väävli emissioonidega nii Eestis kui kogu Euroopas (joonis 6) on jälgitav sulfaatse väävli kontsentratsioonide vähenemine sademetes, samal ajal on alanenud ka depositsioon.

Väavel on tavaliselt sademetes domineerivaks aniooniks. Merelise mõju tõttu on Vilsandi sademetes kloriidi ja sulfaadi osakaalud ligikaudu võrdsed (joonis 7). Antropogeense väävli arvutamisel võib lähtuda eeldusest, et

- 1) kogu sademetes sisalduv kloriid on merelise päritoluga (komplekseire käsiraamat);
- 2) kogu sademetes sisalduv naatrium on merelise päritoluga (ICP M&M, 2003). Käesolevas töös võeti merelise komponendi lahutamisel aluseks sademete naatriumisaldus.



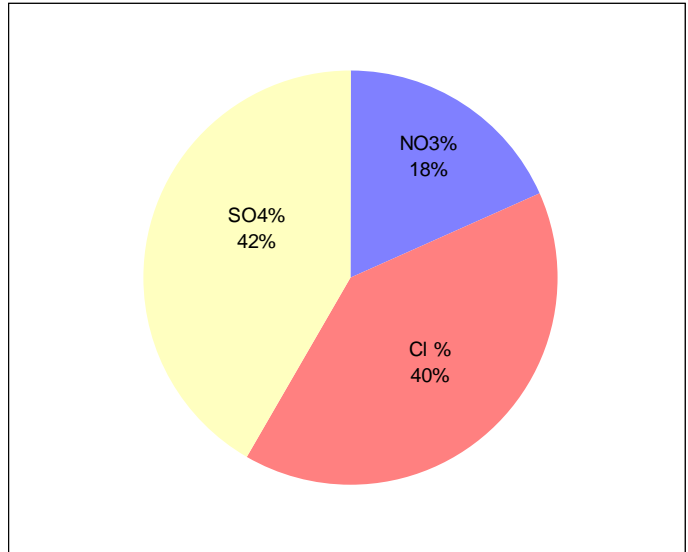
**Joonis 6.** Vääveldioksiidi emissioonide vähenemine Põhja- ja Baltimaades 1980-2000 (Anttila jt., 2003)

Sulfaatse väävli keskmine kontsentratsioon oli 2004.a. vaatlusperioodil sademetes 0.51 mgS/l, antropogeenne väävel moodustas 83% sademete üldisest sulfaatse väävli sisaldusest. Nädala keskmise sadevee proovi madalaim väävlisisaldus oli 0.1 mgS/l ja kõrgeim kontsentratsioon 2.7 mgS/l. Suhteliselt kõrgeid väävli kontsentratsioonid mõõdeti mõlemast augusti (nädala keskmisest) veeproovist, kuid ka mai alguse vähesed sademed sisaldasid väävlit üle 1 mg/l, mis on Vilsandi kui fooniala kohta kõrge väävlisisaldus.

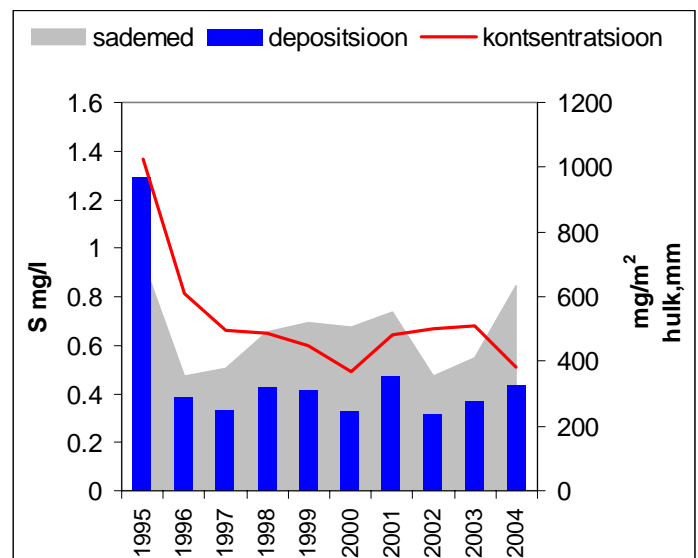
Sademetes väävlisisaldus (joonis 8) oli 2004.a. sarnane 2000.a. madalaima keskmise väävlisisaldusega (0.49 mgS/l) seireperioodi jooksul. Seire jätkamisel on huvitav jälgida edasisi muutusi, kas sademete väävlisisaldus langeb veelgi või jääb pidama 0.5-0.6 mgS/l tasemele Arvestades viimaste aastatega võrreldes suuremat sademete hulka, on igati ootuspärane, et väävli depositsioon oli veidi kõrgem (324 mg/m<sup>2</sup>) kui eelmisel aastal (279 mg/m<sup>2</sup>).

Antropogeense väävli depositsioon oli ligikaudu 268 mg/m<sup>2</sup>. Selline lihtsustatud arvutusviis võib Vilsandil anda suurema vea võrreldes teiste sademete seire jaamadega, kuid aitab siiski hinnata merelise ja antropogeense sulfaadi vahekorda.

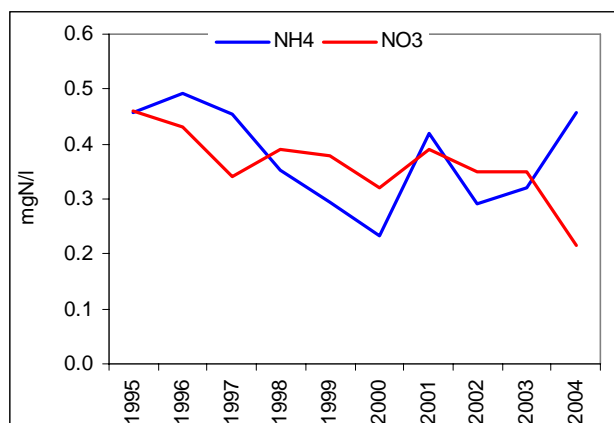
Lisaks sulfaadile on samal ajavahemikul vähenenud ka sademete nitraadisisaldus (joonis 9). Sademete keskmine nitraatlämmastiku sisaldus oli 2004.a. 0.22 mgN/l. Kõrgemad kontsentratsioonid mõõdetakse tavaliselt aasta külmemal perioodil (nt. 2004.a. NO<sub>3max</sub>=0.73 mgN/l märtsis), suvel on sademete nitraadisisaldus tavaliselt madalam.



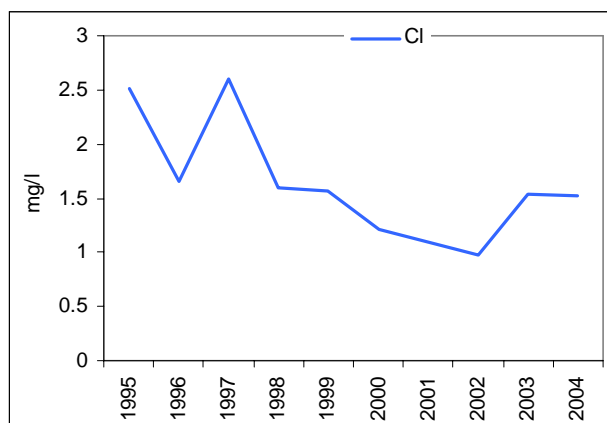
Joonis 7. Anioonide osakaalud Vilsandi sademetes 2004.a.



Joonis 8. Vilsandi sademete väävli sisaldus (mgS/l, vasakul teljel) väävli depositsioon ja aastane sademete summa (paremal teljel) ajavahemikul 1995-2004.a.



**Joonis 9.** Nitraatse ja ammooniumlämmastiku aastased kaalutud keskmised kontsentratsioonid.



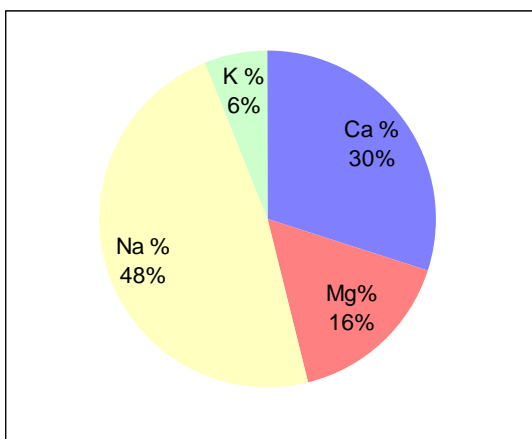
**Joonis 10.** Kloriidi aastased kaalutud keskmised kontsentratsioonid Vilsandi sademetes.

Vilsandi sademete mitmeaastaste mõõtmistulemuste võrdlemisel ilmneb ka kloriidi kontsentratsiooni vähenemine kuni 2002.a. (joonis 10). 2003-2004.a. oli kloriidiooni aasta kaalutud keskmine sisaldus 1.5 mg/l. Kloriidi maksimum mõõdeti detsembris (5.2 mg/l), kõige puhtamates veeproovides oli kloriidisisaldus 0.3 mg/l. Üldiselt on ka sademete kloriidisisaldus olnud suvel madalam kui talveperioodil, mis võib olla seotud tugevamate tormidega aasta külmemal poolel. Kloriidide aastane sadenemiskoormus Vilsandil oli 2004.a. suurema sademete hulga tõttu kõrgem (964 mg/m<sup>2</sup>) kui möödunud aastal (628 mg/m<sup>2</sup>).

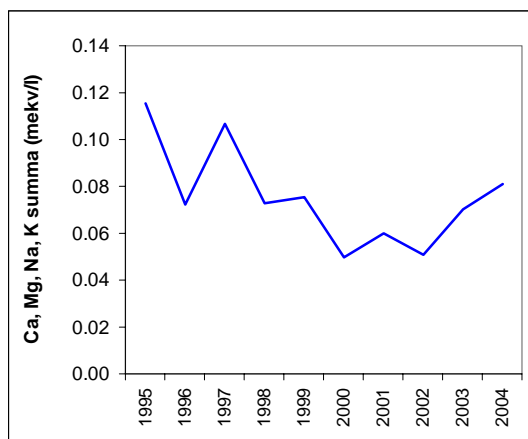
## 1.2. Katioonid

Suurima sadenemiskoormusega kation sadevees on eesti seirejaamades üldiselt kaltsium (Pajuste 2004). Merest ümbritsetud asukoha tõttu oli Vilsandi seirejaama sademetes 2004.a. andmetel kõige suurem naatriumi osakaal (48%), järgnes kaltsium (30%), magneesium (16%) ja kaalium (6%) (joonis 11). Naatriumi ja magneesiumi osakaal kationide summas on mitmeaastaste keskmiste põhjal suurem aasta külmemal poolel sarnaselt kloriidiga. Magneesiumi üldisest sisaldusest ulatus mereline fraktsioon ligi 80-ni.

Avamaa sademete summaarne kationide sisaldus on seireperioodi jooksul mõnevõrra vähenenud (joonis 12) ning oli madalaim ajavahemikul 2000.-2002. Käesoleval seireaastal moodustas kationide (Ca+Mg+K) summaarne sadenemiskoormus 22.6 mekv/m<sup>2</sup>, sellest antropogeenne osa oli 14.4 mekv/m<sup>2</sup>, s.t. mereline osa moodustas ligi kolmandiku.



**Joonis 11.** Kationide osakaalud 2004.a. Vilsandi sademetes



**Joonis 12.** Vilsandi sademete kationide sisalduse mitmeaastane käik.

### 1.3. Raskmetallid

Raskmetallide sisaldust määrati avamaa sademetes ja võraves. Kõigi määratud metallide kontsentratsioonid on püsinud madalal (tabel 6), tihti on nende sisaldus sadevees allpool määramispiiri As (<0.2 µg/l) Cu (<1 µg/l), Pb (<1 µg/l), Cd (<0.02) ja Zn (<10 µg/l). Seetõttu on ka raske hinnata raskmetallide sadenemiskoormusi. Siiski on arseeni sisaldus olnud alla määramispiiri sademetes 8 kuul, kuid võravee proovides vaid 3 kuul. Samamoodi võib võrrelda ka vete pliisisaldust. Selle elemendi kontsentratsioon jäi alla määramispiiri sademetes 9 proovis, kuid võravees 5 kuukeskmises proovis. Tsingi ja vase kontsentratsioonid sadevetes on teiste raskmetallidega võrreldes oluliselt kõrgemad. Seda kinnitavad ka sammaldes akumulunud raskmetallide uuringud (Liiv, 1996). Tsinki peetakse ka kaugkandega levivaks metalliks, kuid Eestis peetakse Zn üheks peamiseks allikaks Kunda tsemenditehase ja põlevkivielektriijaamade lendtuhka (Frey, 1998).

Võrreldes avamaa ja võravee raskmetallide kontsentratsioone (tabel 6) on näha, et võravee raskmetallide sisaldused on mõnevõrra kõrgemad. Arvestades seda, et võravee koormus (292 mm 2004.a.) moodustas vaid 46 % avamaa sademete koormusest ei saa siiski rääkida suuremast raskmetallide summaarsest depositsioonist (kuiv+märgsadenemine) puistus võrreldes avamaaga. Erandiks on tsink, mida metsa alustaimestikuni jõudis käesoleval aastal 128% avamaa depositsioonist.

**Tabel 6.** Vilsandi avamaa sademete ja võravee kaalutud keskmised raskmetallide sisaldused kompleksseirealal 2004.a. Alla määramispiiri jäänud tulemused on enne keskmise arvutamist asendatud poolega määramispiiri väärtusest (*Manual...*, 1998).

	avamaa	võravesi	avamaa	võravesi	avamaa	võravesi	avamaa	võravesi	avamaa	võravesi	avamaa
	As		Cd		Cu		Pb		Zn		Hg µg/l
<b>Jaanuar</b>	0.20	0.5	0.08	0.28	6.30	5.5	<1	2.4	14	72	<0.05
<b>Veebruar</b>	<0.2	<0.2	0.02	0.08	6.80	4.1	<1	<1	20	30	<0.05
<b>Märts</b>	0.7	<0.2	0.03	0.22	4.3	4.5	<1	1.1	15	35	<0.05
<b>Aprill</b>	<0.2		0.35		14.2		<1		32		<0.05
<b>Mai</b>	<0.2	0.5	0.03	0.17	2.8	0.88	<1	1.9	11	48	<0.05
<b>Juuni</b>	<0.2	0.6	0.05	0.05	7.7	11.6	<1	1.9	<10	24	<0.05
<b>Juuli</b>	<0.2	0.4	0.14	0.30	8.9	12.1	1.5	2.6	<10	14	<0.05
<b>August</b>	<0.2	<0.2	0.05	0.08	16.2	35.9	1.3	<1	27	19	<0.05
<b>September</b>	<0.2	1.0	0.09	0.08	23.0	64.5	1.5	<1	<10	12	<0.05
<b>Oktoober</b>	<0.2	1.0	<0.02	0.09	24.7	36.0	<1	<1	<10	25	<0.05
<b>November</b>	0.4	0.2	<0.02	0.08	2.3	31.8	<1	<1	15	28	<0.05
<b>Detsember</b>	1.70	1.3	0.10	0.22	47.3	38.3	<1	3.2	12	32	<0.05
<b>2004</b>	<b>0.36</b>	<b>0.60</b>	<b>0.07</b>	<b>0.16</b>	<b>15.7</b>	<b>25.3</b>	<b>&lt;1</b>	<b>1.6</b>	<b>10.3</b>	<b>29</b>	<b>&lt;0.05</b>
<b>2003</b>	<b>0.39</b>	<b>0.37</b>	<b>0.11</b>	<b>0.19</b>	<b>7.25</b>	<b>7.5</b>	<b>&lt;1</b>	<b>1.1</b>	<b>26</b>	<b>32</b>	<b>&lt;0.05</b>

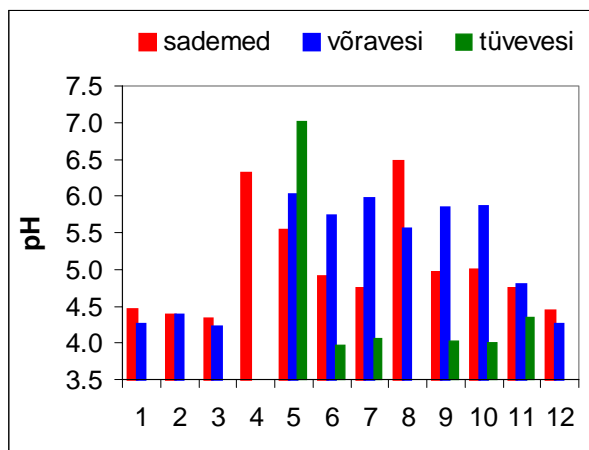
#### 1.4. Võravee ja tüvevee keemia

Vaatlusperioodil koguti 14 võravee proovi, s.h. aprillis vett ei kogunenud, kuid septembris, oktoobris ja novembris võeti võravee proovid 2 nädalase intervalliga. Jaanuarist aprillini koguti proove 5 lumekogujaga, aprillist oktoobri lõpuni 10 sadeveekogujaga (joonis 13). Võravee koormus 2004.a. Vilsandi männikus moodustas 292 mm ehk 46 % avamaale langenud sademete hulgast. Kümnest võraveekogujast iga üksiku poolt kogutud hulgad erinesid olenevalt ilmastikutingimustest (tuule suund ja kiirus, sademete kestvus) ning asukohast (puude lähedus, nende võra kuju ja tihedus). Seega peaks kasutusel olev kogujate arv vete liikumist läbi võra küllalt hästi iseloomustama.

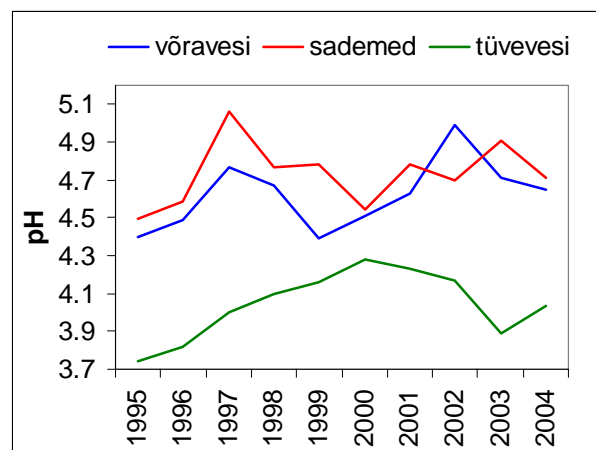
Võrreldes avamaa sademetega on võravete ainetesisaldus mitmete ionide osas kõrgem, sest võrastiku kaudu jõuab metsa alla koos märgdepositsiooniga ka kuivdepositsioon ning teatud ionide osas toimub lisaks leostumine lehestikust.



**Joonis 13.** Tüvevee kogumise voolik ja kanister (vasakul) ning võrasademetete koguja (paremal).



**Joonis 14.** Sademete, võra- ja tüvevee kuukeskmised pH väärtused 2004.a.



**Joonis 15.** Sademete, võra- ja tüvevee aasta kaalutud keskmise pH võrdlus ajavahemikul 1995-2004.a.

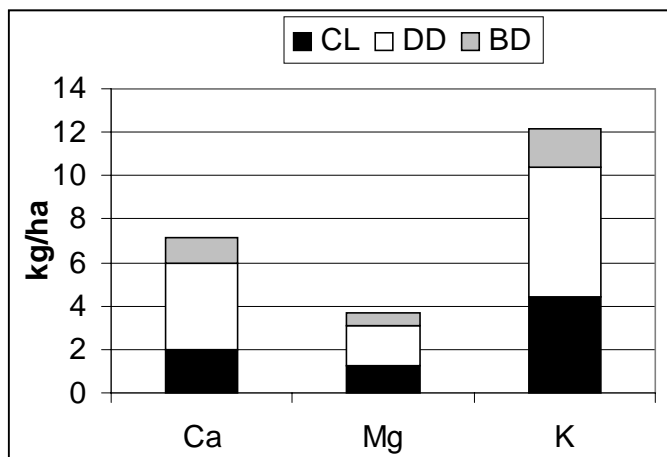
Võravesi on reeglina happelisem kui avamaa sademed. Seda mõjutavad happeline kuivdepositsioon aga ka orgaaniliste hapete leostumine võrastikust. Aasta kaalutud keskmine võravete happesus oli pH 4.65, mis oli vaid veidi kõrgem avamaa sademete keskmisest happesusest (pH 4.7) (joonis 15). Happesus oli märgatavalt kõrgem külmal perioodil (joonis 14), mis lubab oletada talvel suuremat happelist kuivdepositsiooni.

Võravee iseloomu kujundavatest lisandioonidest moodustab olulise osa merelise päritoluga fraktsioon. Sulfaatväävli keskmine kontsentratsioon võraveses oli 1.25 mg/l ja depositsioon 366 mg/m<sup>2</sup> (2003.a. vastavalt 2.3 mg/l ja 475 mg/m<sup>2</sup>). Võrreldes kogu seireperioodi, oli käesoleva aasta kaalutud keskmine võravee väävlisisaldus madalaim. Puude võrasid läbinud sademete väävlisisaldus oli ligi 2.5 korda kõrgem kui avamaal, kuid väävli depositsioon oli võrasademetega väikese hulga tõttu vaid 1.1 korda suurem kui avamaal. Merelise päritoluga väävel võib võravetega metsa alla jõudvast koguhulgast moodustada keskmiselt 25 % (arvutatud sademete Na-sisalduse järgi). Avamaa sademetes hinnati merelise päritoluga väävli osakaaluks 17 %.

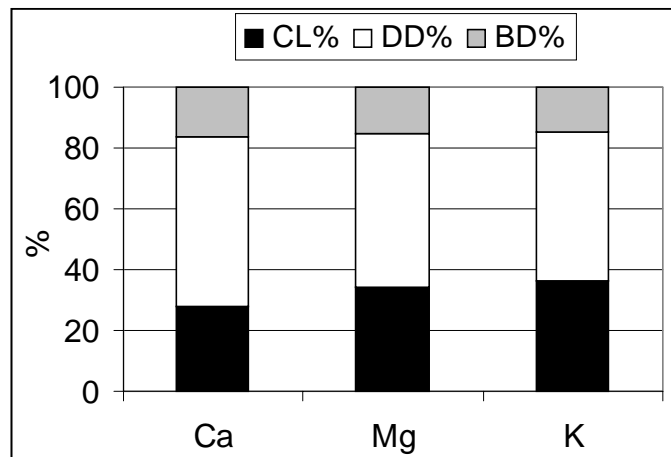
Peamiste kationide aasta keskmised kontsentratsioonid võraveses - naatrium (6.4 mg/l), kaalium (3.5 mg/l), kaltsium (1.7 mg/l) ja magneesium (1.3 mg/l) on küll aastast aastasse varieerunud, kuid kahanemistrendi ei näita. Kationide summaarne sisaldus võraveses on 10 korda kõrgem kui sademetes peegeldades kuivdepositsiooni ja leostumist võrastikust. Avamaa sademetega võrreldes on võraveses oluliselt suurenenud kaaliumi (vastavalt 6%lt 16%ni) ja vähenenud kaltsiumi (30%lt 15%ni) osakaal (joonis 11).

Kationide kuivdepositsiooni ja leostumise osatähtsuse hindamiseks võravee keemilise koostise kujunemisel kasutatakse ühe võimalusena võra- ja avamaa sademete Na-sisalduse erinevust. Arvutusmeetod põhineb eeldustel, et Na<sup>+</sup> käitub võras passiivselt ning Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> ja K<sup>+</sup> kuivsadenedamine on proportsionaalne naatriumiga. Kompleks- ja metsaseire andmete põhjal on

näidatud, et võrasademetes suurenes  $K^+$  sisaldus valdavalt leostumise (40%-73% võravee kaaliumi voost) tagajärjel. Ca ja Mg puhul võivad kuivsadenedemise ja leostumise osakaalud olla ligikaudu võrdsed (Pajuste, 2004). Arvutuste kontrollimiseks peaks kõigil kompleks-ja metsaseirealadel koguma avamaa sademeid päevasel põhimõttel seniste kuuproovide asemel (Pajuste et al., 2005). Vilsandi männiku võravee katioonide sisalduse kujunemist illustreerivad joonised 16 ja 17.



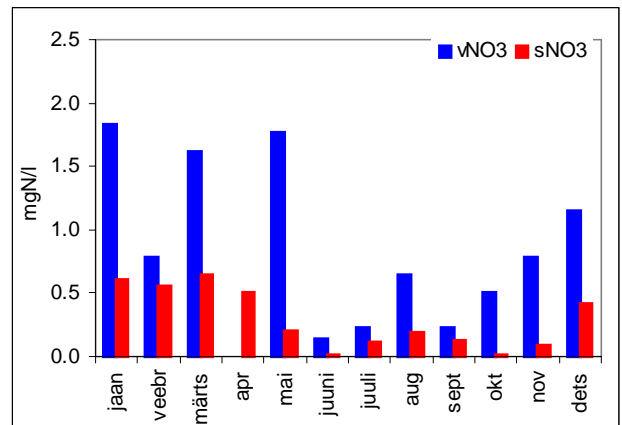
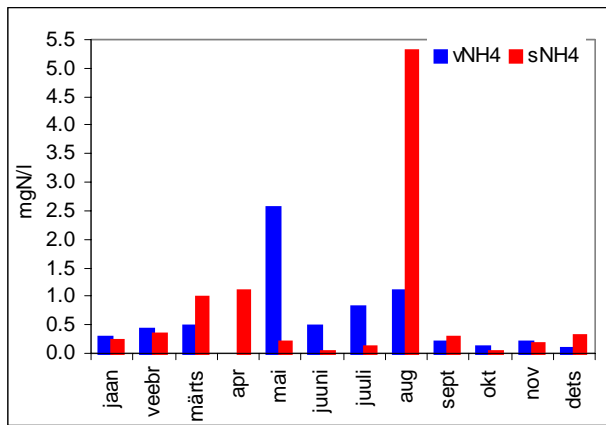
**Joonis 16.** Katioonide keskmine leostumine (CL), kuivdepositsioon (DD) ja märgsadenedemine Vilsandi männikus.



**Joonis 17.** Leostumise, kuivdepositsiooni ja märgsadenedemise keskmised osakaalud võravee katioonide voo kujunemisel.a.

Avamaa sademed võiksid kirjanduse andmetel sisaldada rohkem lämmastikku kui võravesi, sest võras toimub N-ühendite omastamine. 2004.a. mõõtmistulemused näitavad, et sademete ja võravee keskmine ammoniumisisaldus ei erinenud (0.46 mgN/l) ning väiksema sademete hulga tõttu jäi ammoniumlämmastiku depositsioon võrade all väiksemaks kui avamaal (vastavalt 135 ja 291 mgN/m<sup>2</sup>). Seetõttu võib eeldada lämmastiku tarbimist võras elavate organismide poolt. Nitraadi keskmine kontsentratsioon oli võraveses 0.8 mgN/l ja vastav depositsioon 233 mgN/l oli oluliselt kõrgem kui avamaal. (tabel 5 ja 7) Seetõttu võib oletada nitraadi leostumist või kuivdepositsiooni (joonis 18).

Lämmastiku sadenedemise kindlasuunalist muutumist seireperioodi jooksul pole aset leidnud. Üldiselt on Vilsandi võravee aasta keskmised NO<sub>3</sub>-N sisaldused suuremad kui NH<sub>4</sub>-N.



**Joonis 18.** Nitraatse ja ammooniumlämmastiku kuukeskmised kontsentratsioonid Vilsandi sademetes (s) ja võraves (v).

Tüvevee voolikud on asetatud ümber 10 männi, aasta jooksul saadi 8 veeproovi (septembris ja oktoobris oli veeproove võimalik koguda 2 nädalase sammuga). Tüvevee kogus oli oluliselt väiksem tavapärasest ~1mm/aastas ja võrreldav sademetevaeste aastatega (~0.33 mm/aastas). Seega pole tüvevee kogus kuigi oluline puistu seisukohast. Tüve- ja võravee keemiline koostis aitab iseloomustada metsas mulda jõudvate ainete koguhulka, mis erineb oluliselt avamaast. Samuti on tüve- ja võravee jälgimine tähtis saasteainete tundlike epifüütsete samblike jt ombrotroofsete organismide elutingimuste iseloomustamise seisukohast.

Tüvevee keskmine toiteelementide (nitraat- ja ammooniumlämmastiku ning fosfori) sisaldus on madalam kui sade - ja võraves, ülejäänud elementide kontsentratsioon aga mitmeid kordi kõrgem (tabel 8). Tüvevee aasta keskmiste kontsentratsioonide võrdlemisel võib välja tuua kolm põhijäreldust:

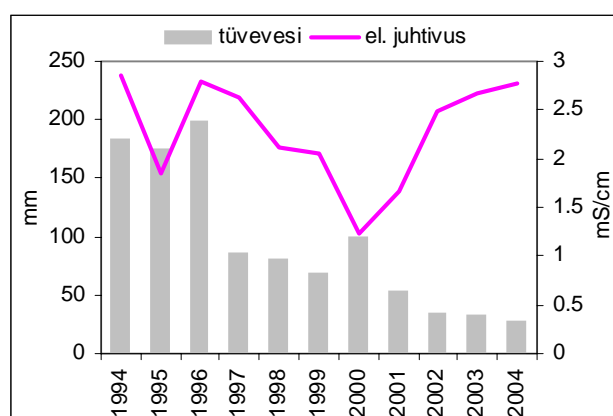
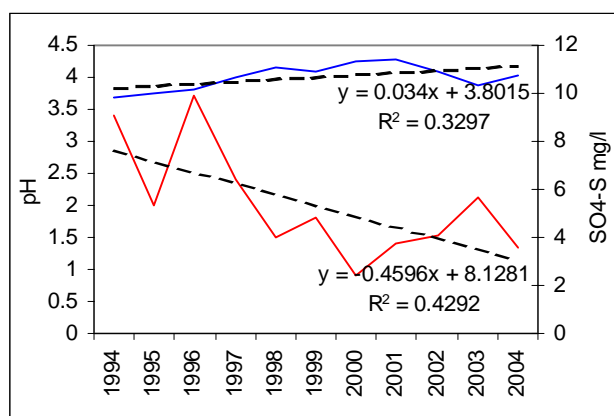
- 1) ajavahemikul 1994-2004 on tüvevee happesus vähenenud pH 3.7 → pH 4.0 (joonis 19). Tüvevee happesus oli kõige madalam 2000.a. (pH 4.3) ja pH langes alla 4 ka 2003.a. (pH 3.9) seoses sademete väikese hulgaga.
- 2) seireperioodi jooksul on vähenenud tüvevee keskmine väävlisisaldus. Kõrgeim kaalutud keskmine tüvevee väävlisisaldus oli 1996.a. 9.9 mgS/l, madalaim oli 2000.a. 2.4 mgS/l. Käesoleval aastal oli sulfaatse väävli kaalutud keskmine kontsentratsioon tüvevees 3.6 mg/l.
- 3) kokkuvõttes võib tüvevee proovide elektrijuhtivuse põhjal öelda, et lisandioonide sisaldus vähenes 2000.aastani ja peale seda taas suurenenud tõenäoliselt seoses väikese sademete hulgaga (joonis 20).

**Tabel 7.** Võravee saaste- ja toitaineteainete keskmine sisaldus mg/l Vilsandi seireala männikus 2004. a.

Ioon/ Kuu/ hulk mm	Sadevee hulk mm	pH	HCO <sub>3</sub> mgekv/l	NH <sub>4</sub> , N	NO <sub>3</sub> , N	üld P	Cl	SO <sub>4</sub> , S	Ca	Mg	Na	K	τ μS/cm
Ja	23	4.26	<0.02	0.29	1.83	0.04	11.6	1.96	2.3	1.5	7.3	1.9	110
Veebr	14	4.38	<0.02	0.41	0.78	0.05	4.0	0.84	0.9	0.5	3.0	0.8	45
Märts	23	4.22	<0.02	0.48	1.61	0.02	7.6	2.11	1.9	1.2	6.7	2.6	96
Apr													
Mai	13	6.02	0.21	2.54	1.77	0.45	5.7	1.90	4.3	4.8	4.2	4.8	86
Juuni	30	5.74	0.15	0.48	0.14	0.24	2.3	0.78	0.9	0.6	2.2	6.0	47
Juuli	42	5.96	0.12	0.82	0.23	0.17	2.1	0.62	1.2	0.6	2.0	3.8	45
Aug	9	5.55	0.14	1.10	0.64	0.42	3.2	0.77	2.2	1.3	2.1	5.6	72
Sept	35	5.85	0.12	0.19	0.22	0.06	9.1	0.93	1.6	1.2	5.8	3.9	63
Okt	19	5.86	0.14	0.11	0.50	0.14	7.3	0.85	1.8	1.2	10.1	4.6	61
Nov	39	4.79	0.04	0.20	0.79	0.07	9.95	1.10	1.2	1.0	5.6	2.1	75
Dets	45	4.25	<0.02	0.08	1.15	0.04	24.3	1.97	2.2	1.9	14.9	3.2	137
<b>2004</b>	<b>292</b>	<b>4.65</b>	<b>0.08</b>	<b>0.46</b>	<b>0.80</b>	<b>0.121</b>	<b>9.22</b>	<b>1.25</b>	<b>1.71</b>	<b>1.29</b>	<b>6.41</b>	<b>3.49</b>	<b>78</b>
2003	210	4.71	0.07	0.57	1.85	0.26	10.7	2.3	2.7	1.35	6.6	5.2	91
2002	111*	4.99		0.55	1.52	0.16	8.64	1.76	1.95	1.12	4.19	5.16	71
2001	257	4.6		0.35	0.94	0.116	10.4	1.91	1.67	1.23	5.36	3.91	78
2000	326	4.51		0.20	0.92	0.039	13.1	2.21	2.10	1.27	6.93	3.72	83

**Tabel 8.** Tüvevee ainete keskmine sisaldus mg/l Vilsandi seirealal männikus 2004. a.

Ioon/ Kuu/ aasta	Sadevee hulk mm	pH	HCO <sub>3</sub> mgekv/l	NH <sub>4</sub> , N	NO <sub>3</sub> , N	üld P	Cl	SO <sub>4</sub> , S	Ca	Mg	Na	K	τ μS/cm
Mai	0.002	7.01	2.78	13.6	0.86	0.45	26.8	8.4	39.8	11.7	12.5	11.7	415
Juuni	0.072	3.96	<0.02	<0.01	0.07	0.28	19.7	3.8	8.2	3.8	23.1	10.8	231
Juuli	0.063	4.06	<0.02	<0.01	<0.02	0.2	13.1	2.1	7.0	2.5	18.5	15.4	176
Sept	0.110	4.03	<0.02	0.03	0.05	0.17	33.7	3.1	18.9	3.7	20.3	9.0	214
Okt	0.064	4.01	<0.02	0.05	0.04	0.33	49.7	4.6	12.3	5.5	29.4	14.4	277
Nov	0.020	4.35	<0.02	0.51	0.07	1.20	63.1	6.0	14.8	7.2	33.9	14.0	325
<b>2004</b>	<b>0.332</b>	<b>4.03</b>	<b>&lt;0.02</b>	<b>0.15</b>	<b>0.05</b>	<b>0.30</b>	<b>31.5</b>	<b>3.6</b>	<b>13.0</b>	<b>4.1</b>	<b>23.1</b>	<b>12.0</b>	<b>231</b>
2003	0.39	3.89	<0.02	0.02	0.74	0.20	22.3	5.7	5.4	2.4	19.9	8.2	223
2002	0.42	4.17		0.07	1.4	0.06	35.6	4.1	5.3	2.5	23.5	8.6	208
2001	0.63	4.23		0.06	0.13	0.04	15	3.78	3.07	1.89	7.97	7.05	138
2000	1.2	4.28		0.05	0.11	0.006	15	2.38	1.59	1.00	10.8	4.00	103
1999	0.83	4.16		0.06	0.08	0.006	24.3	4.84	7.68	2.98	12.8	8.04	171



**Joonis 19.** Tüvevee kalutud keskmine pH ja **Joonis 20.** Tüvevee hulk ja elektrijuhtivus väävlisisaldus 1994-2004.

### 1.5. Mullavee keemia

Mullavett kogutakse 12 plaatlüsimeetriga (á 0.1m<sup>2</sup>). Need erinevad käsiraamatus soovitatud meetodikast ja on kirjeldatud M.Volli ja O.Rootsi poolt (1999). Lüsimeetrid on asetatud paralleelselt maapinnaga 17 ja 35 cm sügavusele (joonis 21).

Kokku analüüsiti 2004.a. 18 mullavee proovi kahelt kogumissügavuselt, (s.h. augustis mullavett ei kogunenud, septembris ja oktoobris oli proove võimalik võtta 2 nädalase sammuga). Vaatamata sajusele aasta lõpule ei kogunenud peale novembrit enam ühtki mullavee proovi. Lüsimeetritega kogutud mulla nõrgvesi moodustas 30 % võravee aastasest kogusest. Analüüsitulemused on esitatud tabelites 9 ja 10.



**Joonis 21.** Vasakul: mullavee kogumise koht. Paremäl fotol lahti kaevatud kogumisseade: maapinnaga paralleelselt asuva plaatja nõrgvee kogumipinna all asetseb voolikuga ühendatud kanister, sellest omakorda ulatub maapinnale teine voolik, mille kaudu vaakumi abil tõmmatakse vesi proovipudelisse.

**Tabel 9.** Mulla nõrgvee keemiline koostis (mg/l) 17 cm sügavusel.

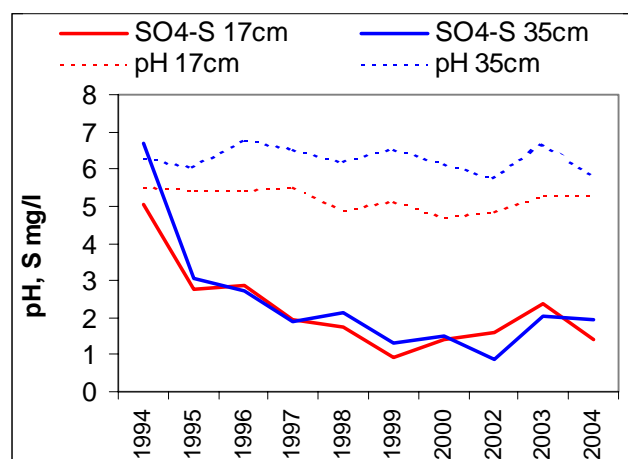
Ioon/ Kuu/ Aasta	l/m <sup>2</sup>	pH	NH <sub>4</sub> , N	NO <sub>3</sub> , N	Ptot	Cl	SO <sub>4</sub> , S	Ca	Mg	Na	K	Al	Fe	τ μS/cm	Ntot	HCO <sub>3</sub>
Aprill	44.3	6.34	0.03	2.22	0.06	7.73	1.62	12.5	3.16	2.56	0.40	0.68	0.5	109	3.90	0.48
Mai	3.0	6.24	0.03	2.2	0.15	4.70	1.25	6.80	3.49	3.94	0.43	0.51	0.31	80	3.90	0.26
Juuni	4.9	5.09	<0.01	0.24	0.07	5.59	0.80	6.80	3.49	3.94	0.94	0.81	0.42	82	1.40	0.15
Juuli	7.9	4.6	<0.01	<0.02	0.10	3.73	0.54	3.61	2.42	2.23	2.09	1.00	0.50	57	1.40	0.09
September	6.2	4.81	0.01	0.31	0.09	3.63	0.62	6.40	2.92	2.79	0.46	0.88	0.46	63	1.71	0.19
Oktoober	8.3	4.93	0.08	0.612	0.13	4.35	1.11	11.8	5.26	5.66	0.63	4.17	1.06	88	1.52	0.26
November	11.9	5.96	0.01	0.4	0.12	11.35	2.04	15.6	10.1	10.1	0.41	2.09	1.64	146	0.05	0.64
2004 kesk		5.27	0.027	1.36	0.1	7.0	1.4	11.1	4.3	4.0	0.6	1.3	0.70	101	2.62	0.4
2004 koormus	87		2.4	118	7	607	121	959	369	346	53	109	60	-	226	34

**Tabel 10.** Mulla nõrgvee keemiline koostis (mg/l) 35 cm sügavusel.

Ioon/ Kuu/ Aasta	l/m <sup>2</sup>	pH	NH <sub>4</sub> , N	NO <sub>3</sub> , N	Ptot	Cl	SO <sub>4</sub> , S	Ca	Mg	Na	K	Al	Fe	τ μS/cm	Ntot	HCO <sub>3</sub>
Aprill	44.7	6.82	0.09	3.35	0.05	10.33	2.25	20.00	7.18	5.79	0.76	0.46	0.46	184	5	0.94
Juuni	2.3	6.59	<0.01	0.44	0.09	3.13	0.53	6.70	6.19	2.54	0.75	0.72	0.22	97		0.60
Juuli	5.9	6.67	<0.01	0.15	0.07	1.87	0.33	8.92	5.67	3.46	1.83	0.30	0.50	86	1.1	0.62
September	3.9	4.60	0.02	0.29	0.09	3.24	0.57	5.82	3.24	3.05	0.39	1.02	0.58	67	1.5	0.17
Oktoober	4.5	6.77	0.01	0.71	0.14	8.40	3.17	31.15	13.11	7.75	1.51	0.70	0.73	168	1.1	1.17
November	6.6	7.29	0.01	1.45	0.24	12.40	1.82	25.10	18.50	6.48	2.59	0.70	1.03	219	1.4	2.02
2004 kesk		5.80	0.06	2.4	0.08	9.0	1.9	19	8.3	5.5	1.1	0.52	0.54	168	3.7	0.98
2004 koormus	68		4.2	166	5	612	132	1292	563	375	72	36	37	-	254	66

Lüsimeetritesse kogunenud mulla nõrgvee kogus oli 2004.a ligikaudu sama väike kui möödunud 2003.a. See omakorda on tinginud sarnased lisandioonide aasta keskmised kontsentratsioonid üldises kahanemistrendiga andmerekas.

Sademetes vähenenud väävlisisalduse tagajärjel on langenud mulla nõrgvee väävli ja kationide (K, Mg) kontsentratsioonid mõlemal mõõtmistasemel (joonis 22). Karbonaatide rikkas loomänniku mullas on see mõjutanud ainult orgaanilise horisondi alla nõrguva mullavee happesust (pH on langenud), 35 cm sügavusel selline seos puudub.



**Joonis 22.** Mulla nõrgvee sulfaatses väävli sisaldus ja pH seireperioodil.

## 2. Bioindikatsioon- Bioloogilised allprogrammid

### 2.1. Okaste ja varise keemia

Bioindikatsioon on keskkonnaseisundi ja -olude muutumise iseloomustamine organismide – bioindikaatorite – ja nende tunnuste (vitaalsuse, katvuse, sageduse, keemilise koostise jm.) põhjal.

Harilik mänd (*Pinus sylvestris*) on Eestis valitsev puuliik. RMK andmetel katavad männikud ligikaudu 38% eesti metsamaade pindalast. Männi kahekaupa asetsevad okkad on olenevalt elueast vähemalt 2-3 aasta vältel eksponeeritud keskkonnamõjudele ja seega sobivad need pikaajaliseks seireks. Okaste saasteainete sisalduse kohta puuduvad piirväärtused, kuid oma kasvukoha järgi võiks Vilsandil saadud tulemused pakkuda foonilist taset eesti enam saastunud piirkondadele.

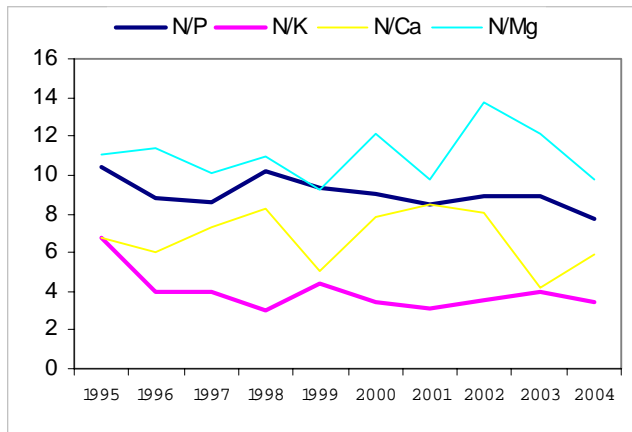
Vilsandi kompleksseirealal koguti männiokkad 3 erinevalt puult väljaspool püsiprooviruutu. Kompleksseire meetodika kohaselt analüüsitakse okaste toite- ja saasteainete sisaldust viimase aasta okastes. Saadud tulemusi võrreldakse samade elementide sisaldusega varisenud okastes. Vilsandi männidel koguti ja analüüsiti käesoleval aastal sarnaselt eelmise aastaga ühe- ja kaheaasta vanuste okaste keemilist koostist kasvuperioodil aset leidvate muutuste selgitamiseks, et saada lisaandmeid 2003.a läbi viidud puidu raskmetallide sisalduse uuringule.

**Tabel 11.** Männiokaste keskmine elementide sisaldus (mg/kg) Vilsandi kompleksseirealal 1994-2004. a.

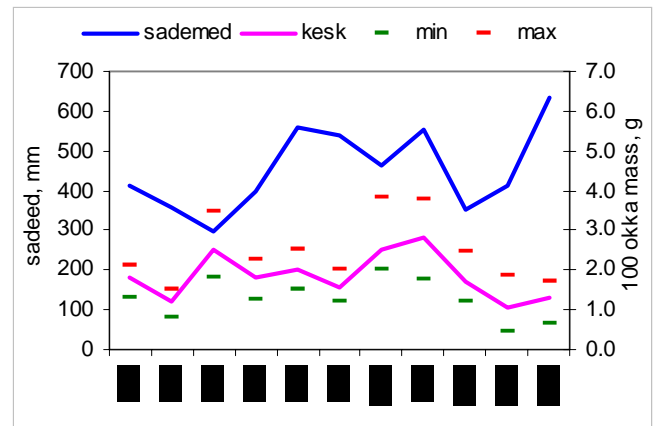
Element	Võrdlus andmed	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
N	<13000*	17595	16700	14340	15085	16340	16770	15996	18210	15620	14220	18972
P	<1400*	1523	1603	1620	1749	1608	1790	1774	2160	1751	1591	2441
S		176	422	383	615	625	531	565	691	702	820	809
Ca	<2000*	2702	2477	2368	2056	1970	3297	2049	2155	1943	3418	3184
Mg	<700*	1530	1503	1254	1488	1494	1821	1322	1858	1136	1171	1933
Na		70	88	34	48	48	94	31	273	63	57	189
K	<5000*	5348	2468	3651	3774	5395	3831	4701	5755	4464	3561	5472
Cd		0.94	0.07	0.03	0.04	0.05	0.08	0.031	0.134	0.063	0.04	0.11
Cu	<4*	4.31	3.41	4.01	2.69	2.43	3.58	3.6	4.6	4.5	3.0	9.37
Mn	<50*	76	20	33	39	41	47	42	84	34	18	115
Pb		3.84	0.16	0.34	0.63	0.42	0.98	0.7	0.6	0.23	0.52	0.42
Zn	<20*	54	52	42	46	45	63	52	66	38	48	67
N/P	6-12**	11.5	10.4	8.8	8.6	10.2	9.4	9.0	8.4	8.9	9.5	7.8
N/K	1-3**	3.29	6.8	3.9	4.0	3.0	4.4	3.4	3.2	3.5	3.7	3.5
N/Ca	2-7**	6.51	6.7	6.1	7.3	8.3	5.1	7.8	8.5	8.0	6.9	6.0
N/Mg	8-50**	11.5	11.1	11.4	10.1	10.9	9.2	12.1	9.8	13.8	10.7	10
100 okka mass, g	Min-max keskmine	1.3-2.1 1.8	0.8-1.5 1.2	1.8-3.5 2.54	1.3-2.3 1.8	1.5-2.5 2.0	1.2-2 1.58	2.0-3.8 2.5	1.8-3.9 2.8	1.2-2.5 1.7	0.44-1.8 1.05	0.67-1.7 1.33

\* toiteelementide defitsiit männiokastes (van den Burg, 1985; Hüttl & Wisniewski, 1986 – tsiteeritud Beier & Rasmussen, 1993 järgi)

\*\* toiteelementide suhe männiokastes tasakaalustatud toitumise puhul (Hüttl, 1988 – tsiteeritud Frey & Frey, 1994 järgi)



**Joonis 23.** Okaste põhiliste toitelementide suhte muutumine 1994-2004.



**Joonis 24.** 100 okka keskmine, väikseim ja suurim kaal võrreldes sademete hulga.

Vilsandi kompleksseirealal kasvavate mändide jooksva aasta okastes ei ole täheldatud põhiliste toitelementide defitsiiti, välja arvatud kaalium ja mangaan varasematel aastatel (tabel 11). Enamasti on toitelementide sisaldus siiski optimumi alumise piiri lähedal ega ole päris tasakaalus (joonis 23). Lämmastiku ja fosfori suhe kaldub fosfori defitsiidi poole, kuigi fosforisisaldus okastes on suurenenud (kui jätta välja 2003.a.). Lämmastiku ja kaaliumi suhe näitab selget kaaliumi defitsiiti. Okaste saasteainete sisalduse võrdlemisel seireperioodi jooksul ilmneb väevli kontsentratsiooni kasv 176 mg/kg (1995) kuni 809 mg/kg 2004.a. (820 mg/kg 2003.a.). Seda on raske seletada arvestades vähenenud väevli emissioone ja depositsioone (joonis 8).

Nii 2003. kui ka 2004. aastal kogutud okkad olid tähelepanuväärselt väikesed võrreldes keskmiste okkaproovidega. Tabelist selgub, et kõige väiksemate okaste mass oli 2003.a. 0.44 g/100 okkast koosneva proovi kohta, mis moodustas vaid poole seni mõõdetud miinimumist. Arvestades kuivi aastaid võis see väljendada kuivusest tingitud stressi puudel. Joonisel 24 selgub, et juhuslikult valitud okkaproovide keskmine kaal ei ole siiski otseses sõltuvuses sademete hulgast.

Vilsandi kompleksseirealal on 10 varisekogujat Ø 0.8m (joonis 25). Varis korjatakse kord kuus (v.a. talveperioodil), kuivatatakse ja sorteeritakse välja männiokkad. Okaste osakaal varises on aastate lõikes enam-vähem ühesugune (keskmiselt 58%). Viimastel aastatel kui varise hulk oli väiksem (2002-2003) oli okaste osakaal üle 60%. Varise ülejäänud osa moodustavad varisenud isasõisikud, korbatükid, oksad ja käbid (aasta keskmisena enam vähem võrdsetes osakaaludes). Varisega deponeerunud okaste ja neis sisaldunud

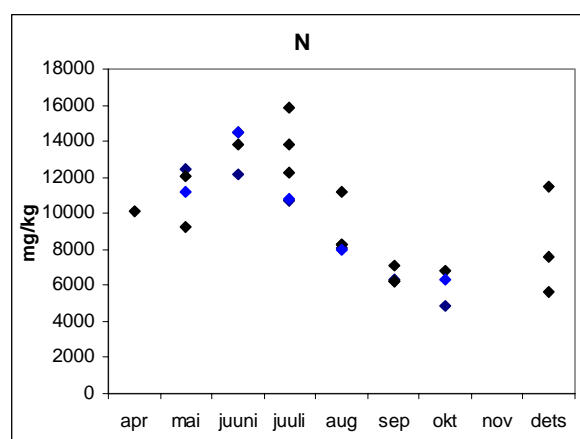
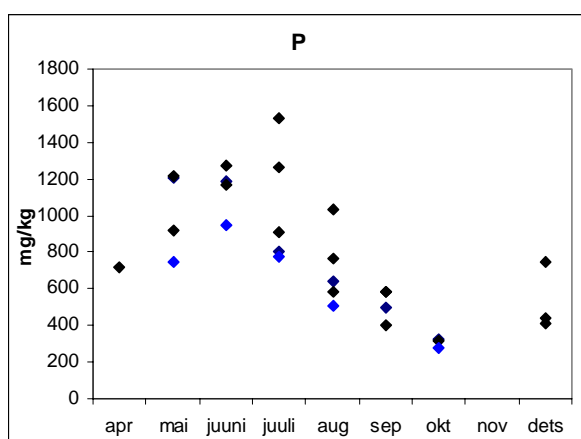
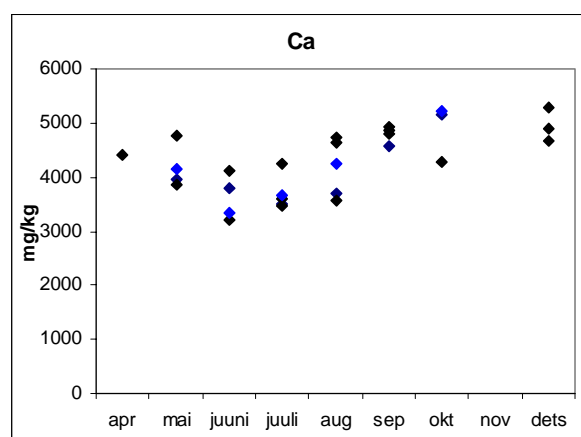
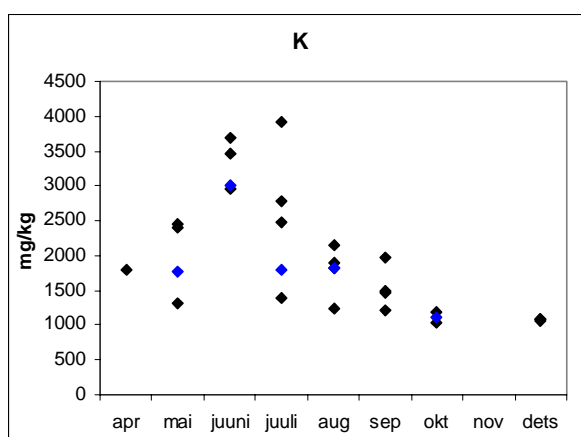


**Joonis 25.** Varisekoguja.

toitelementide lisandumine laguahelasse on esitatud tabelis 12.

**Tabel 12.** Varisega deponeerunud okaste (kg/ha) ja neis sisaldunud peamiste toitelementide koormus Vilsandi kompleksseirealal 1995 - 2004. a.

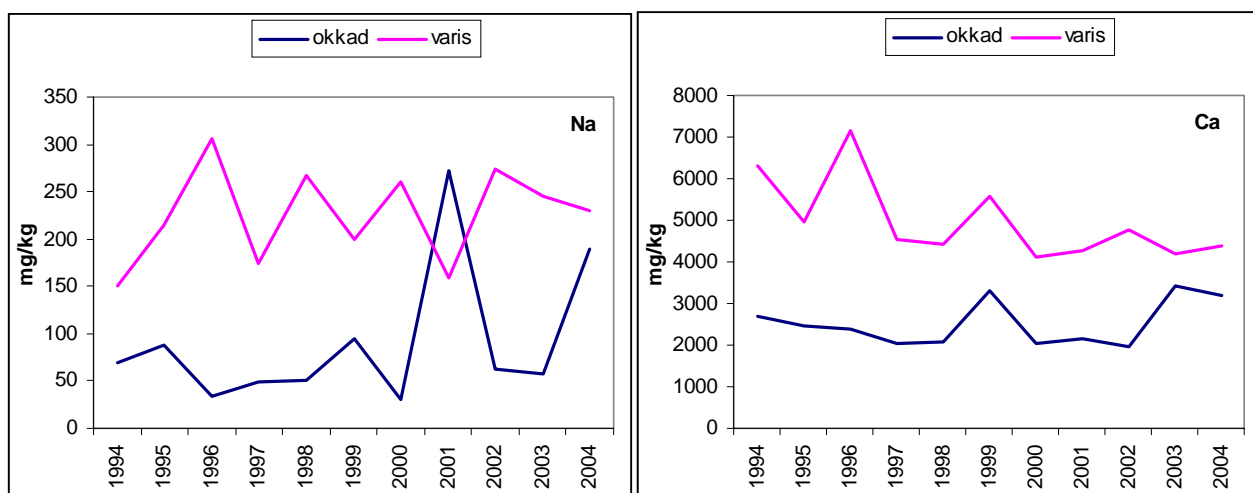
Period	Varise hulk	Okaste % varises	Koormus, kg/ha						
			Okkad	N	P	S	Ca	Mg	K
1995	5806	59	3406	28.7	2.4	0.6	17.0	3.7	4.6
1996	2440	60	1474	10.5	0.6	0.5	10.6	1.3	1.7
1997	4902	60	2949	23.6	2.4	1.7	13.4	2.2	3.1
1998	3283	60	1958	16.5	0.9	0.9	8.7	1.8	2.5
1999	4927	55	2717	18.1	1.4	0.9	15.1	2.9	3.0
2000	5243	48	2497	24.2	2.1	1.1	10.3	2.3	4.6
2001	6744	47	3170	36.2	3.2	1.5	13.6	3.0	6.4
2002	3908	61	2400	26.3	2.3	0.9	11.4	2.8	5.5
2003	3028	68	2051	22.0	1.7	1.2	8.5	1.8	4.1
2004	4041	58	2356	28.0	1.9	1.4	10.4	2.4	0.5



**Joonis 26.** Okkavarise toitelementide sisaldus olenevalt okaste langemise ajast 2000.-2004.a. andmed on tähistatud sinisega.

Seni suurim varise hulk Vilsandi kompleksseirealal oli 2001. a. (6.7 t/ha), mil varise kogus oli ligi tonni võrra suurem kui varasemal rekordaastal 1995, mis paistis silma tormide poolest. Nii nagu peale 1995.aastat. jäi 1996. a varise hulk märgatavalt väiksemaks (2.4 t/ha), järgnes ka nüüd

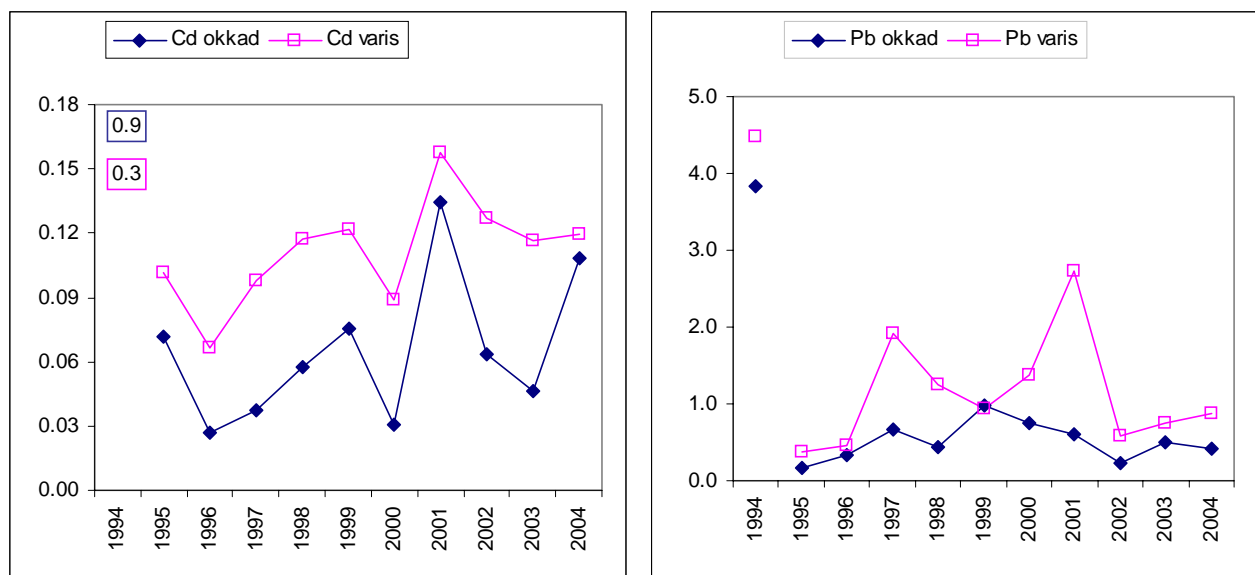
2002.-2003.a. väiksem aastane varis (keskmiselt 3.5 t/ha). Okaste osakaal varises oli selle võrra suurem, mis näitab, et suur varise kogus pole tingitud okaste massilisest varisemisest. Varise hulk oli teisel poolaastal ligi 2 korda suurem kui esimesel, kuna põhiline okaste varisemise aeg on oktoober. Suvekuudel moodustavad suure osa varisest mändidelt langenud isasõisikud, mille lämmastiku-, fosfori-, väävli- ja kaaliumisisaldus oli veidi suuremgi kui okastes.



**Joonis 27.** Varise ja elusokaste Na ja Ca sisalduse võrdlus Vilsandi männikus.

Okaste toite- ja saasteainete sisaldus on seotud nende varisemise ajaga. Oluliste makroelementide (lämmastiku, fosfori ja kaaliumi) sisaldus okastes väheneb kasvuperioodi lõpu poole (joonis 26). Kuna toiteelementide hulk on limiteeritud, paigutatakse need enne okaste varisemist puusiseselt ümber, nähtust nimetatakse translokatsiooniks. Joonisel 25 on näha, et jooksva aasta esimese variseproovi (talve jooksul kogunenud okaste) toiteelementide sisaldused on madalamad kui järgnevatel okkaproovidel. Kirjanduse andmetel (Ukonmaanaho, 2001) võib varisest lühikese aja jooksul leostuda olulisel määral toiteelemente, millega ongi seletatav aasta esimese varise madalam N, P ja K sisaldus.

Elementide liikumise suunda okastes enne nende varisemist saab hinnata ka vastavate sisalduste võrdluse abil elus ja varisenud okastes (joonis 27). Olemasolevatest andmetest järelduste tegemisel tuleb aga arvestada, et kuni 1999.a. ei analüüsitud variseproove sesoonselt vaid 10 varisekoguja aasta keskmisena. Sellest tulenevalt võib elementide liikumine kajastuda nihkega. Analüüsitud elementidest olid varises usaldusväärselt kõrgemad Ca, Na, Cd, Mn sisaldused. Elementide puu sisene ümberpaigutamine hõlmab ka vähenenud pliid ja vaske (joonis 28).



**Joonis 28.** Varise ja okaste raskmetallide sisalduse võrdlus Vilsandi männikus

## 2.2. Mikroobne lagunemine

Varis on metsamuldade peamine orgaanilise aine allikas. Varise lagunemise käigus muundatakse orgaanilises vormis olevad toitelemendid taimedele kättesaadavasse anorgaanilisse vormi. Lagunemise kiirust mõjutavad muuseas oluliselt nii varise hulk ja selle keemiline koostis kui ka keskkonnategurid. Keskkonnategurite mõju hindamiseks kasutatakse tselluloosi - biopolümeeri, mida sisaldavad kõigi kõrgemate taimede rakukestad. Tselluloosi lagundamiseks vajalikke ensüüme – tsellulaase - toodavad bakterid ja seened, kuid ensüümi aktiivsuse otsene määramine on keeruline.

### 2.2.1. $\alpha$ -tselluloosi lagundustulemused

Lagunemisprotsessi uurimisel tselluloosi lagundamise meetodiga on mitmeid eeliseid (Kurka, 2000):

- \* tselluloosiribade koostis on homogeenne ja aine esineb ka looduses,
  - \* meetod on lihtne ja võimaldab mõõta lagunemise aktiivsust kumulatiivselt, selleks paigutatakse materjal kindlaks määratud ajaks loodusesse,
  - \* tselluloos ei sisalda lahustuvaid komponente, mis mõjutaksid kaalukadu lagunemisprotsessis;
- Lagunemiskatseid viiakse valdavalt läbi mulla pinnal varisekihis, sügavamal mullas toimuvatest protsessidest on andmeid vähem. Kompleksseire metoodika kohaselt (*Manual*, 1998) kasutatakse lagundamiseks standardseid 1mm paksuseid  $\alpha$ -tselluloosi ribasid suurusega 30mm x 50mm, mis

**Tabel 13.**  $\alpha$ -tselluloosi aastase lagunemiskatse keskmine massikao protsent 1995-2004.a.

Koht \ Algusaasta	Varisekihis	Kõdukihis
1995/1996	84.7	86.1
1996/1997	100	100
1997/1998	89.9	99.4
1998/1999	86.2	100
1999/2000	100	100
2000/2001	97.6	-
2001/2002	94.6	-
2002/2003	61.6	-
2003/2004	95.9	-
keskmine %	90.0	97.1

kaaluvad ligikaudu 1g. Alates 1995. aastast asetati igal sügisel varise ja kõdukihti 12 eelnevalt kaalutud ja võrkkottidesse õmmeldud tselluloosiriba.

Katsetulemused näitasid, et kõdukihis on lagunemine kiirem kui varisekihis (tabel 13) ja esimese aasta jooksul laguneb standardne tselluloosiproov kõdukihis ligi 100 protsendiliselt. Seetõttu on edaspidi piiratud käsiraamatus toodud meetodikaga ja asetatud proovid igal sügisel aastaks varisekihti lagunema (joonis 29). Võrreldes tselluloosiproovide kaalukadu alates 1999.a. võib tõmmata paralleeli sademete aastase summaga, mõlemad on märkimisväärselt vähenenud nimetatud ajavahemikul. Kuival 2003.a. oli tselluloosiproovide massi kadu kolmandiku võrra keskmisest väiksem. Käesoleval aastal olid niiskustingimused lagundava mikrofloora jaoks kindlasti soodsamad, mida näitab ka keskmine tselluloosiproovide lagunemise protsent (tabel 13)

### 2.2.2. Okkavarise lagundustulemused

Alates 1994.aastast on Vilsandi kompleksseirealale regulaarselt igal sügisel asetatud 12 männiokka lagunemisproovi (joonis 29). Selleks kaalutakse 1g okkaid, õmmeldakse need nailonist võrkkottidesse, asetatakse metsas mulla püsiprooviala samblapinnale ja kaetakse värske varisega. Proovid jäävad kolme seeriana maha vastavalt üheks, kaheks ja kolmeks aastaks, igas partiis 3 proovi. Samal ajal üles võetud proovid puhastatakse, kuivatatakse, kaalutakse ja arvutatakse kaalukadu protsentides (tabel 14).



**Joonis 29.** Okkavarise lagunduskatse.

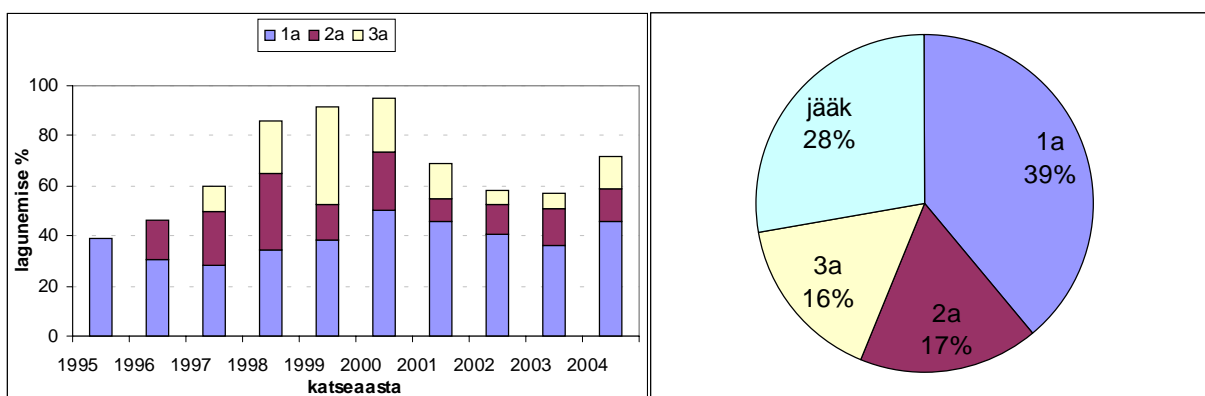
Esimese aasta lõpuks on lagunenu keskmiselt kolmandik okaste esialgselt massist, kahe aasta järel on alles pool ja kolmeaastase lagunemisperioodi lõpuks on keskmine kaalukadu 75% standardsest 1 grammisest okkaproovi massist. Nagu näha jooniselt 30, on varise kaalukadu kõige

suurem lagunemise algusfaasis (keskmiselt 38 %). Katse teise ja kolmanda lagundusaasta jooksul aset leidnud keskmine kaalukadu ei erine ja on ligikaudu 16-18%. Võttes arvesse suhteliselt kuivi ilmastikutingimusi 2002.-2003.a võib märgata esimese lagundusaasta massikao järk-järgulist vähenemist, samuti on suhteliselt madal kolmandat aastat lagunevate okaste massikao protsent (joonis 30). Võttes arvesse katse algusaastat, oli massikao % suurim 1996 a. maha pandud katses (98%) ja väikseim 64% 2000.a. maha pandud katses. Andmerea pikenedes on võimalik uurida lagunemise seoseid ilmastikutingimustega täpsemalt.

Okka ja tselluloosiproovide massikao võrdlemise lagunduskatsetes muudab komplitseeritaks viimase oluliselt kiirem lagunemine. Kui üheaastase katseperioodi lõpul polnud tselluloosist alles jäänud midagi, loeti lagunemise protsendiks 100%. Jättes välja andmed, kus täpset massikadu polnud võimalik mõõta, oli okaste ja tselluloosi massikao omavaheline korrelatsioonikordaja usaldusväärne ja suurenes 2002 aastal saadud tulemuste lülitamise arvutustesse, 2003.a. andmed seost ei kinnita.

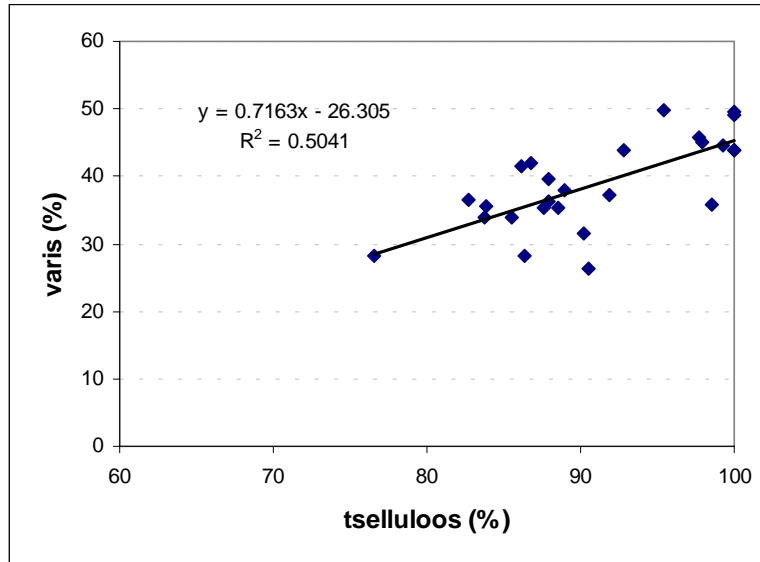
**Tabel 14.** Okkavarise keskmine kaalukadu (%) olenevalt lagunemisajast Vilsandi kompleksseirealal 1994-2004

Katse seeria algusaasta\lagunemise aeg	1 aasta	2 aastat	3 aastat
1994/1995	39.0	54.8	64.8
1995/1996	30.5	51.9	72.9
1996/1997	28.3	58.6	97.7
1997/1998	34.6	48.6	70
1998/1999	38.4	61.6	75.5
1999/2000	50.3	59.6	65.6
2000/2001	45.7	57.6	64
2001/2002	40.4	55.4	68.1
2002/2003	35.9	49.3	
2003/2004	45.5		
<b>Keskmine %</b>	<b>38.9</b>	<b>55.3</b>	<b>72.3</b>



**Joonis 30.** Okkavarise massikao summaarne protsent 3-aastasel lagunemisel (vasakul) ja keskmine lagunemiskiirus seireperioodi jooksul.

Tselluloosi ja okkavarise lagunemise omavaheline seos 1 aasta pikkusel lagundusperioodil on esitatud joonisel 31. Okkavarise lagunemise edasist massikadu pole võimalik standardmaterjaliga võrrelda. Teise ja kolmanda aasta lagundusandmete tõlgendamise muudab raskemaks see, et kord üles võetud proove peale kaalumist maha tagasi ei panda, seega pole teada iga üksiku 2 või 3 aastat lagunenu proovi täpne massikadu esimesel aastal. Keskmistatud massikao protsendid asuvad siiski sirgel, mis lubab oletada lineaarset seost.



**Joonis 31.** Tselluloosi ja okkavarise massikao omavaheline seos ühe aasta pikkuse katseperioodi järel varisekihis (1995-2004).

### 2.3. Tüve epifüüdid

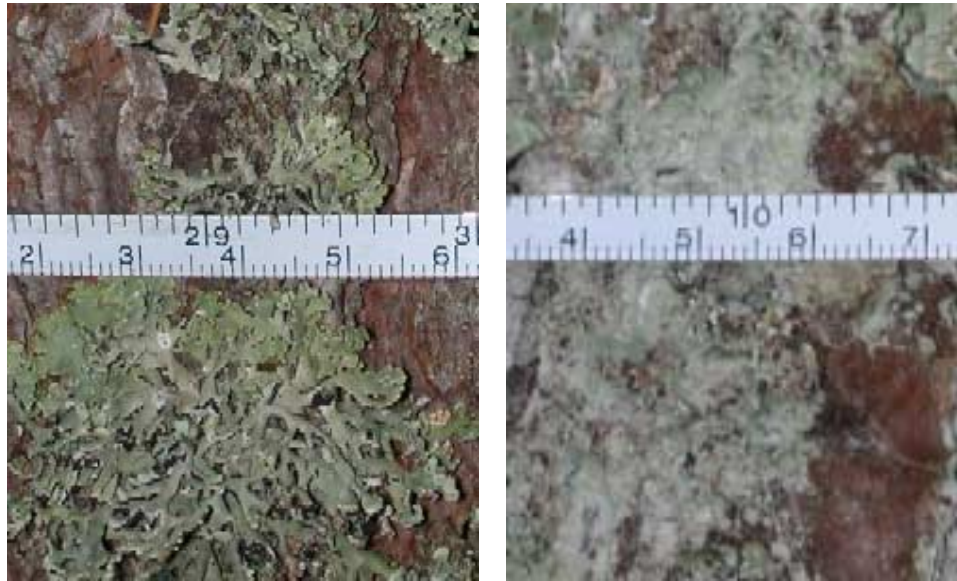
Puude okstel ja tüvel kasvavaid (epifüütseid) samblikke loetakse headeks õhusaaste indikaatoriteks, sest peamise osa elutegevuseks vajalikust veest ja mineraalainetest saavad nad õhust. Sealjuures kasvavad samblikud väga aeglaselt ja on seega oma pikaealisuse poolest sobilikud seire objektiks. Samblike tundlikkus sõltub ka kasvuvormist, üldiselt peetakse vähemtundlikuks kooriksamblikke, järgnevad lehtsamblikud ning kõige tundlikumad on põõssamblikud (näit., habe- ja narmassamblikud). Samblike käitumine saastatud alal sõltub nii õhus leiduvatest saasteainetest kui samblike substraadi (antud juhul puukoore) omadustest. Puukoores absorbeerunud saasteaineid pärinevad õhust ja sademetest, seega on õhusaaste seisundit võimalik hinnata koore omaduste alusel.

Samblike seost puukoore omadustega on varem mandri eestis uurinud E. Nilson (Martin ja Nilson, 1982; Nilson, 1995), leides et foonialadel võib puukoore pH olla 3.6–4.2 või isegi madalam aluselise saaste puudumise tõttu. Kõrge elektrijuhtivus koos madala pH-ga viitavad aga happelise saaste suurele osakaalule (tabel 17).

**Tabel 17.** Männikoore pH ja elektrijuhtivus ning mõned epifüütsete samblike kooslust iseloomustavad näitajad Vilsandil ja Lahemaa rahvuspargis (min-max/keskmine) (Ratas ja Nilson, 1997)

Taimkatte tüüp	n	Männikoor		Epifüütsete samblikud			Vetikad	
		pH	El. juhtivus µS/cm	Katvus %	Liikide arv	<i>Bryoria</i> spp.	<i>Usnea</i> spp.	Katvus %
Vilsandi, männik	22	<u>3.4-3.9</u> 3.59	<u>36-53</u> 43.2	<u>10-40</u> 27.9	<u>4-7</u> 5.6	+	+	0
Vilsandi, alvar	8	<u>3.7-4.0</u> 3.9	<u>27-54</u> 45.1	<u>1-30</u> 19.6	<u>0-9</u> 5.2	-	-	<u>0-70</u> 28.1
Lahemaa, männik	10	<u>3.6-4.2</u> 3.77	<u>18-43</u> 31.4	<u>20-50</u> 32.5	<u>6-11</u> 8.6	+	+	0

Võttes seire aluseks kompleksseire käsiraamatu on lihhenoindikatsiooni eesmärgiks peamiselt happelise depositsiooni mõju uurimine. Võra- ja tüvevee keemilisest koostisest ja aset leidnud muutustest oli juttu eespool.



**Joonis 32.** Hallsambliku (vasakul) ja kooriksamblike (paremal) katvuse mõõtmine.

Samblike katvuse määramiseks Vilsandil on seni kasutatud joonmeetodit (joonis 32) vastavalt seire käsiraamatule (*Manual...*, 1998). Kõigil seireaastatel mõõdeti samblike katvus mõõdulindiga ja arvatati vastav katvuse % puu übermõõdust seitsmel statsionaarsel proovipuul (männid) neljal kõrgustasemel (60, 90, 120 ja 150 cm arvestades maapinnast).

Vilsandi kompleksseire intensiivalal on kokku kõigi aastate jooksul registreeritud 27 epifüütse ja 7 maapinnasambliku liigi esinemine (kogunud E. Nilson; määranud E. Nilson, P. Lõhmus (*Calicium*, *Chaenotheca*), A. Pärn (*Bryoria*), T. Randlane (*Usnea*), L. Saag (*Lepraria*); (nomenklatuur Randlane ja Saag, 1999). Kõik epifüüdid on tavalised okaspuudel esinevad liigid, leitud mändidelt ja kadakatel. Intensiivala lehtpõõsastel on samblikke väga vähe. Maapinnasamblikud esinevad ainult looniidul ning on samuti laialt levinud ja tavalised liigid (*Cetraria islandica* (L.) Ach.; *Cladina arbuscula* (Wallr.) Hale & W. L. Culb.; *C. rangiferina* (L.) Nyl.; *Cladonia pyxidata* (L.) Hoffm.; *C. rangiformis* Hoffm.; *C. symphycarpa* (Flörke) Fr.; *Peltigera rufescens* (Weiss) Humb.).

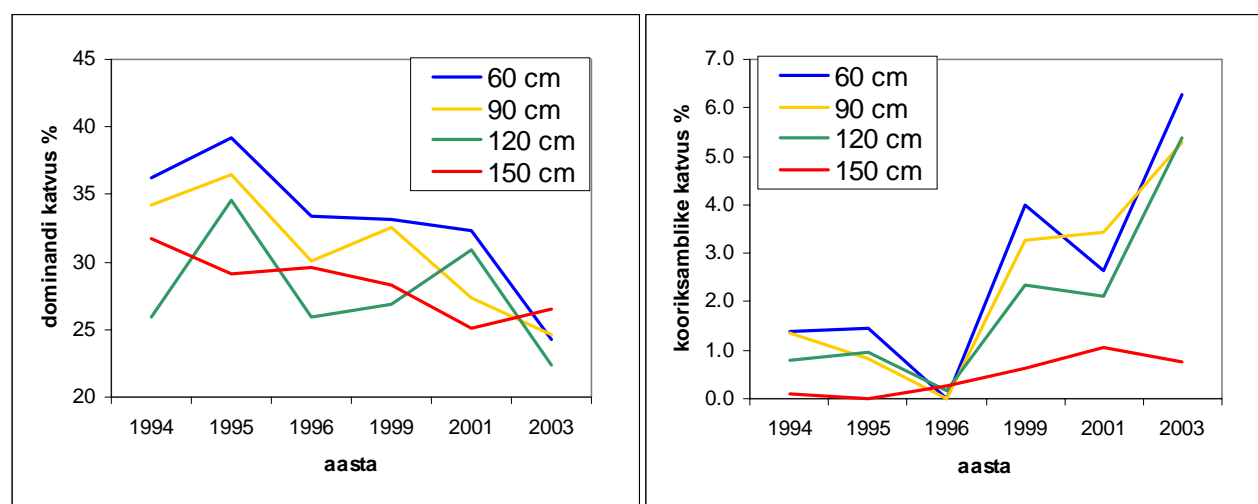
Kokku on Vilsandi seireala proovipuudel registreeritud 17 liigi suursamblike esinemine (EKUK, 2004). Samblikukoosluste dominantliik on **harilik hallsamblik** (*Hypogymnia physodes*). Hallsambliku talluste keskmine katvus (33%) oli 7 proovipuu ja 6 vaatlusaasta põhjal kõige suurim 60 cm kõrgusel. Eri aastate mõõtmistulemuste võrdlus (joonis 33) näitab hallsambliku keskmise katvuse vähenemistendentsi 6 proovipuul seitsmest (erandiks on puu nr 2). Arvestades proovipuude esialgset juhuslikku valikut, lubab 5 puu sarnane keskmine mõõtmistulemus vaatlusaastate jooksul lugeda tulemuse usaldusväärseks hoolimata meetodikast tuleneda võivatest ebatäpsusest.

Lisaks suursamblikele on männi tüvedel laialt levinud erinevad kooriksamblikud (joonis 32). Neid on raskem märgata just kasvuvormi tõttu: koorikud, kirmed või pulbrilised laigud on koorest raskesti eristatavad. Esiteks, nad on enamasti küllalt väikesed (kooriksamblike uurimisel on luup möödapääsmatu abivahend) ning teiseks, kooriksamblike liike ei saa alati määrata silmaga nähtavate tunnuste järgi, selleks kasutatakse mikroskoopilisi või keemilised tunnused.

Vaatlusaastate jooksul on samblike katvuse muutusi tõlgendatud erinevalt. Suhteliselt väike kõikumine kuni 1999.aastani mahuks ilmselt meetodi vea piiridesse, kuid 2003.a. mõõtmistulemuste lisandumine viitas hallsambliku katvuse vähenemise tendentsile. Samas on aset leidnud kooriksamblike katvuse oluline suurenemine (joonis 33).

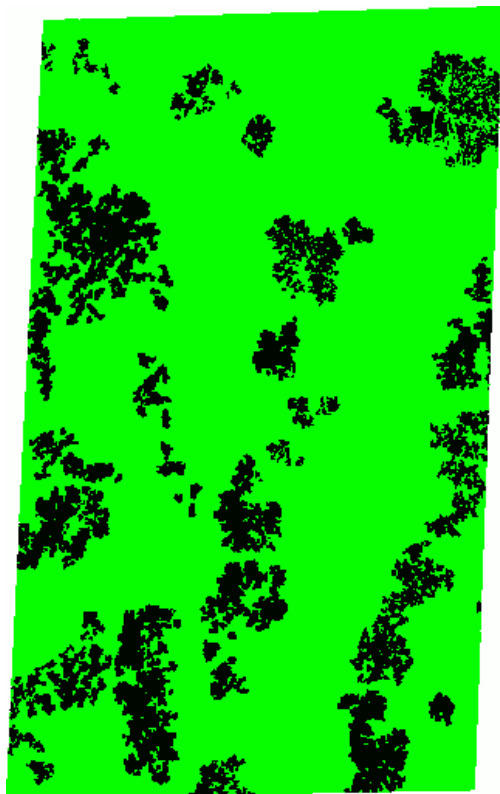
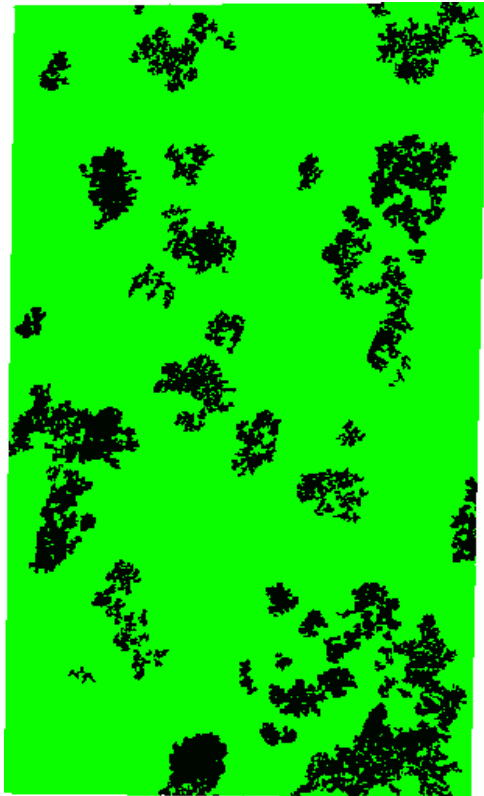
Mõõtmisviga samblike katvuse määramisel võib tuleneda valgustatusest (vaatlejapoolne viga), õhuniiskusest (samblikud imavad niiskust kogu tallusega ning nende mõõtmed muutuvad) eri mõõtmiskordadel ning männi korba ebastabiilsusest. Kui korbaliistakud koos suuremõõtmeliste samblikutallustega irduvad, muutub katvus oluliselt. Irdumist võivad põhjustada ilmastikutingimused (vahelduv külm ja sula, tugev tuul) lähedalasuvate põdsaste okste liikumine, metsseed jne. Kindlama aluse samblike sidumiseks õhusaastega annaks mõne saastekomponendi (nt väävli, pH, nitraadi) analüüs männi korbast nagu seda on tehtud E. Nilsoni (1995) poolt Kunda, Kehra ja Kohtla-Järve piirkonnas. Praegu on samblike katvuses aset leidnud muutusi raske põhjendada keskkonnatingimustega (õhu ja sademete koostis).

2004.a. võeti kasutusele uus meetod epifüütsete samblike katvuse jälgimiseks. Selleks valiti ja tähistati seniste proovipuude tüvedel samblike püsiruudud. Kõrgus valiti nii, et see ei kattuks senise samblike joonmeetodil mõõtmiskõrgusega, (s.t. veidi üle 120 cm). Võimalusel märgiti prooviruudud puude kirdepoolsele küljele. Kõik prooviruudud pildistati ja töödeldi pilditöötlusprogrammiga. Saadud piltidel värviti samblikud mustaks ja taust roheliseks (joonis 34).

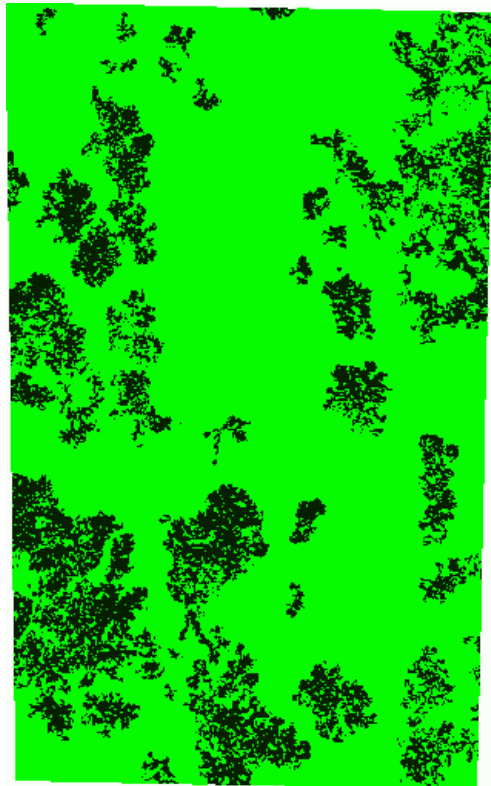
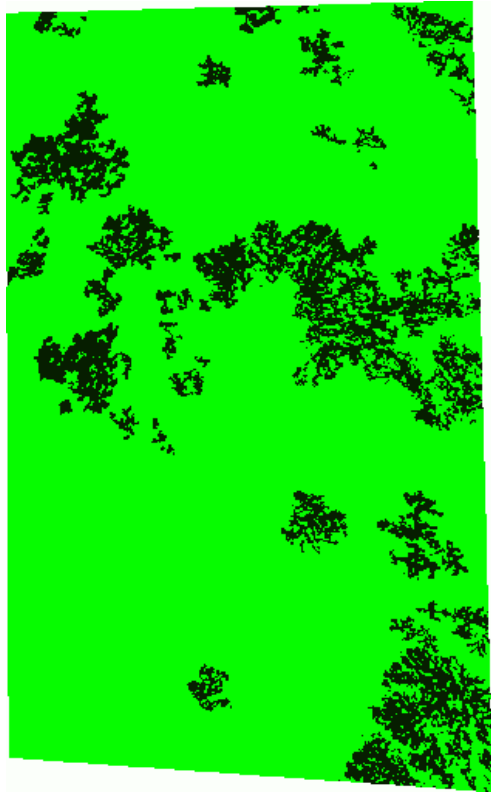


**Joonis 33.** Tüveepifüütide keskmine katvus Vilsandi männitüve eri kõrgustel joonmeetodil. Dominantliigiks on hallsamblik, ülejäänud lihhenofloora moodustavad kooriksamblikud .

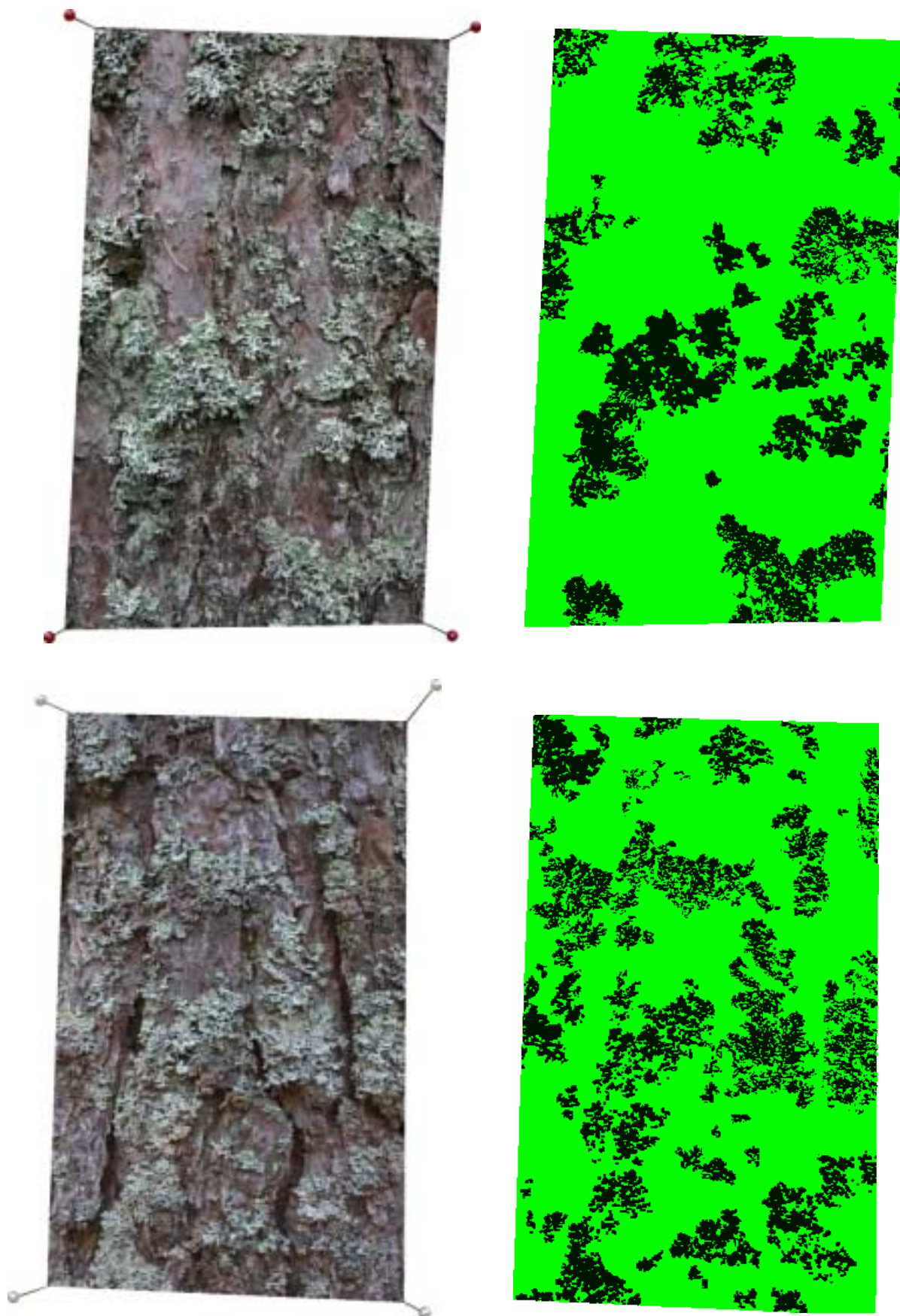
Lõpuks loendati eri värvi pikslid kokku ja arvutati hariliku hallsambliku katvuse protsent (21%).



**Joonis 34.** Vilsandi tüvepifüütide püsiruudud.



**Joonis 34.** Vilsandi tüvepifüütide püsiruudud.



**Joonis 34.** Vilsandi tüvepifüütide püsiruudud.

## Kokkuvõte

Rahvusvaheline integreeritud monitooring ehk kompleksseire võimaldab ühtse metoodika abil uurida erinevate keerukate ökosüsteemide reaktsiooni samadele keskkonnamuutustele geograafiliselt laial alal. Õhusaastet peetakse oluliseks ökosüsteemi stressifaktoriks, selle mõju võib varieeruda olenevalt kooslusest, kasvukoha mullatingimustest ja geograafilisest asendist. Seega on õhusaaste mõju kompleksne, seda on raske mõõta ja eristada teistest faktoritest.

Käesolev aasta erines eelnenutest keskmisest suurema sademete hulgaga (635 mm), mille tõttu oli veidi kõrgem väävli depositsioon, kuid sademete väävlisisaldus jäi 2000.a. tasemele, s.t. oli vaatlusperioodi keskmisega võrreldes madalam. 2004.a. jätkus ka sademete keskmise nitraadisisalduse vähenemine, katioonide ja kloriidid kontsentratsioonid jäid ligikaudu 2003.a. tasemele.

Seire tulemused näitavad, et sademete keemiline koostis muutub võraga kokku puutudes oluliselt, seda ka otsestest saasteallikatest kaugel asuval Vilsandil. Võravee iseloomu kujundavatest lisandioonidest moodustab olulise osa merelise päritoluga fraktsioon: keskmiselt 25% võrade alla sadenevast väävlist, kuni 60% magneesiumist ja ligi 20% kaltsiumist. Võravee koostise kujunemisel on oluline roll nii kuivdepositsioonil kui ka elementide leostumisel okastest.

Peamiste toiteelementide kontsentratsioon männikut läbivates sadevetes suurenes järjestuses sademed<võravesi<mullavesi (v.a. lämmastik). Toiteelementide liikumisel koosluse sees on oluline osa varisega taasringlusesse minevatel kogustel. Võrreldes atmosfäärse depositsiooniga kooslusesse on varisega taasringlusesse mineva N, P, K, Ca ja Mg voog suurem.

Aset leidnud saasteainete kontsentratsioonide vähenemine ei ole kaasa toonud tüveepifüütide katvuse suurenemist. Vaatlusaastate jooksul on samblike katvuse muutusi tõlgendatud erinevalt. Suhteliselt väike kõikumine kuni 1999.aastani mahub meetodi vea piiridesse, kuid 2003.a. mõõtmistulemuste lisandumine viitab hallsamblike katvuse vähenemise tendentsile. Üldkatvuse vähenemist pole mõjutanud ka kooriksamblike katvuse suurenemine. Samblike katvuse paremaks jälgimiseks tehti 2004.a. senistele proovipuudele uued püsiruudud. Neid ruute on võimalik pildistada ja töödelda arvutis, mis välistab vaatluste ajal talluste kahjustamise mõõdulindiga.

Saasteainete sadenemine Vilsandil on jätkuvalt madal, kuigi varasematel aastatel jälgitav saasteainete vähenemistrend mitme elemendi osas kinnitust ei leidnud. Võrreldes Põhja- ja Baltimaadega oli Eesti 2000.aastal suurima väävliemissiooniga riik. NO<sub>x</sub> emissioonid püsivad

samuti kõrgel, seega oleks soovitatav seire jätkamine nendes tingimustes. Nagu näitavad naabermaade uuringud on saasteinete kaugülekande osa kohaliku saastetaseme kujunemisel vähenenud, mille tõttu on esile tõusnud järgmised keskkonnaprobleemid nt kliimamuutused, O<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub> jt kasvuhoonegaasid.

## Kirjandus

- Anttila P., Frolova M., Heidam N., Lövblad G., Sjöberg K., Pajuste K., Schaug J., Sopauskiene D., 2003. The Nordic-Baltic Regional Assessment of the Long-range Transboundary Air Pollution. Ed. N. Heidam. <http://www.emep.int/assessment/>
- Beier C. & Rasmussen L. (eds). 1993. The EXMAN project. Experimental Manipulation of Forest Ecosystems in Europe. Brussels. CEC. 124 pp.
- EKUK, 2004. Riikliku keskkonnaseire alamprogramm. Kompleksseire Vilsandil. Lepingulise töö nr 1-5/249 aruanne. Koostanud K.Pajuste. Tallinn 2004. Käsikiri keskkonnaministeeriumis.
- Frey J. & Frey T. 2000. Saaste- ja toitelementide vood Saarejärve valgala maastikul ja okasmetsas. In: T. Frey (Toim.) Eesti VII Ökoloogiakonverentsi lühiartiklid. Tartu. 26.-27. Aprill 2000.
- Frey J. & Frey T. 1994. Content of main nutrients in Norway spruce needles – üing on the eco-physiological background. – Eesti TA Toimetised. Ökoloogia. 4. 4: 149 – 155.
- Frey T. 1998. Lumikeskkond. Tartu 1998 Lk. 65-72
- Frey, J., Pajuste, K., Frey, T., Nilson, E., Otsa, E. 2002 Kompleksseire. Eesti Keskkonnaseire 2001 Toimetaja A. Roose. lk 143-146
- Frey, J., Pajuste, K., Frey, T., Nilson, E., Otsa, E. 2003. Reports on National ICP IM activities. 5.2. Report on national ICP IM activities in Estonia 1995-2001. In: S. Kleemola, M. Forsius (Eds.) 12th Annual Report 2003, UN ECE ICP Integrated Monitoring. The Finnish Environment 637: 41-46. Finnish Environment Institute. Helsinki, Finland.
- General Guidelines for Microwave Sample Preparation. CEM Corporation. USA, 1991
- Hüttl R. F. 1988. Liming and fertilization as mitigation tools in declining forest ecosystems. – Water, Air and Soil Pollution. 41: 95 – 111.
- Hüttl R. F. & Wisniewski J. 1986. Fertilization as a tool to mitigate forest decline associated with nutrient deficiencies. – Water, Air and Soil Pollution. 33: 265 – 276.
- ICP IM Programme Centre. 1998. Manual for Integrated Monitoring. Helsinki. Finnish Environment Institute.
- ICP M&M 2003. Manual on Methodologies and Criteria for Mapping Critical Levels/Loads and geographical Areas where they are exceeded. Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt) Berlin, September 1996 (Revision 2003).
- Kurka A.M. 2000. Decomposition of cellulose in soils of natural boreal forests. Academic Dissertation in Microbiology. University of Helsinki. Helsinki 2000.
- Liiv S., Sander E., Eensaar A. 1996. Atmosfäärse raskemetallisaaste hindamine sammalde abil.TBA. Tallinn
- Nilson E. 1995. Relation of the coverage of the epiphytic lichen *Hypogymnia physodes* to bark chemistry of Scots Pine. Proc. Estonian Acad. Sci. Ecol. 3 (3-4), pp. 95-102.
- Pajuste K. 2004. Deposition and transformation of air pollutants in coniferous forests. A study based on Estonian monitoring data. Dissertationes Geographicae Universitatis Tartuensis 20. Tartu Ülikooli Kirjastus.
- Pajuste K., Frey J., Asi E. 2005. Interactions of atmospheric deposition with coniferous canopies in Estonia Environmental Monitoring and Assessment xxx 1-20.
- Pajuste K., Kimmel V., Kohv N., Truuts T., 2004. Estonian EMEP Assessment Report. In: J. Bartnicki, G. Lövblad (eds) EMEP Assessment. Part II. National Contributions. Norwegian Meteorological Institute. Oslo, October, 2004. Pp. 63 - 70. <http://www.emep.int/assessment/estonia.pdf>
- Ratas U. & Nilson E 1997. Small Islands of Estonia. Landscape ecological studies. Institute of Ecology, Tallinn. 232 pp.

- Starr M., Brakenhielm, S., Forsius, M.2000. Integrated Monitoring in the Baltics. Evaluation of two Nordic projects. Nordic Council of Ministers, Copenhagen 2000.
- Treier K., Pajuste K., Frey J. 2004. Recent trends in chemical composition of bulk precipitation at Estonian monitoring stations 1994–2001. Atmospheric Environment, Volume 38, Issue 40, December 2004, Pp. 7009-7019
- Ukonmaanaho L. 2001 Canopy and soil interaction with deposition in remote boreal forest ecosystems: a long-term integrated monitoring approach. Academic Dissertation in Systematic Biology. University of Helsinki. Helsinki 2001
- van den Burg J. 1985. Foliar analysis for determination of tree nutrient status – compilation of literature data. – Inst. of Research on Forestry and Landscape “De Dorschkamp”. Int. Rep. 414.
- Voll M. & Roots O. 1999. Soil Water Sample Collector. Environment Monitoring and Assessment 54: 283-287.