

Riikliku  
keskkonnaseire  
alamprogramm

Kompleksseire Vilsandil

Tallinn 2007

Lepingu nr: K-13-6-2006/300

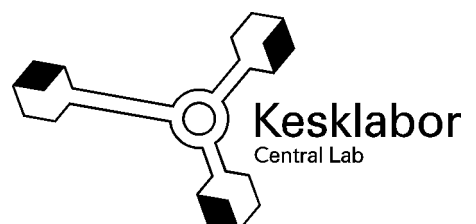
**Tööde algus:**  
01.01.2006

**Tööde lõpp:**  
31.12.2006

**Margus Kört**  
Juhatuse esimees

**Erik Teinema**  
Õhukvaliteedi juhtimise osakonna juhataja

**Naima Kabral**  
Aruande koostaja



## Sisukord

<b>Sissejuhatus</b> .....	3
<b>Metoodika</b> .....	5
<b>1. Aasta meteoroloogiline iseloomustus ja sadevete keemia</b> .....	8
1.1. Anioonid.....	11
1.2. Katioonid.....	14
1.3. Raskmetallid.....	15
1.4. Võravee ja tüvevee keemia.....	16
1.5. Mullavee keemia.....	21
<b>2. Bioindikatsioon- Bioloogilised allprogrammid</b> .....	24
2.1. Okaste ja varise keemia.....	24
2.2. Mikroobne lagunemine.....	28
2.2.1. $\alpha$ -tselluloosi lagundustulemused.....	28
2.2.2. Okkavarise lagundustulemused.....	29
2.3. Metsa kahjustus.....	32
2.4. Taimkatte inventuur.....	34
2.5. Tüve epifüüdid.....	34
<b>Kokkuvõte</b> .....	37
<b>Kirjandus</b> .....	39

## 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) väävliühendite 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 kindlaks tegemiseks keskkonnakaitse eesmärgil;
- c) keskkonna kaitse 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 kultuurimõnumentidele (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 toimuvate 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, joonis 1). 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

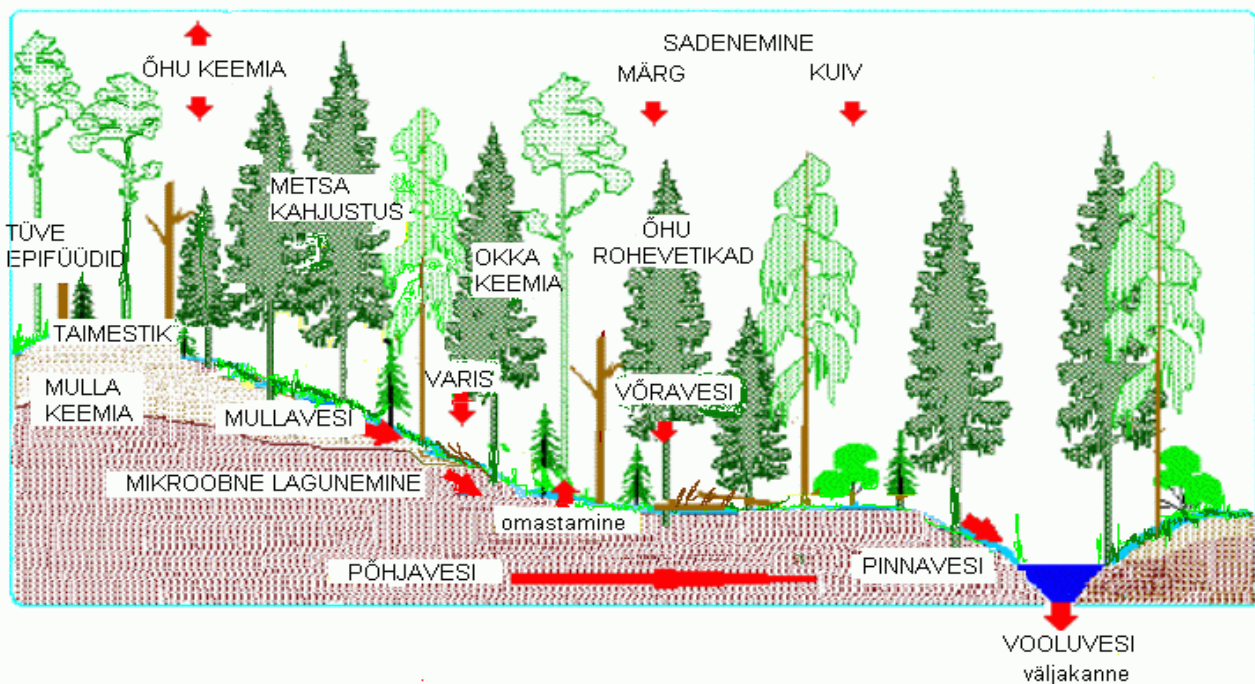
Allprogrammid, nende proovivõtu ja analüüsi meetodikad on kindlaks määratud osalevate maade ekspertide poolt kooskõlastatud kompleksseire käsiraamatus (*Manual...1998*) arvestades ka teiste sama konventsiooni raames toimivate koostööprogrammidega. Lühikesed allprogrammide meetodika kirjeldused on esitatud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

Kompleksseires oleneb täidetavate allprogrammide hulk seireala tüübist. Saarejärve on rajatud seire A- kategooria intensiivalana, kus piisavate rahaliste vahendite korral oleks võimalik täita kõiki kompleksseire käsiraamatus määratud allprogramme ökosüsteemi seisundi hindamiseks. Vilsandi puhul on tegemist B- kategooria biomonitoringualaga (Frey & Frey, 2004) - 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)	Pidev mõõtmised EHMI vaatlusjaamas
7.2. Õhu keemia (AC)	Pidev mõõtmised EMEP automaatmõõtejaamas
7.3. Avamaa sademed (PC)	Igapäevane kogumine, nädala keskmine analüüs
7.4. Raskmetallid sammaldes (MC)	5 a. sammuga (viimati suvi 2005, järgmine 2010)
7.5. Võravesi (TF)	2 korda kuus
7.6. Tüvevesi (SF)	1 kord kuus
7.7. Mulla keemia (SC)	5 a. sammuga (viimati oktoober 2005, järgmine 2010)
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
7.16. Metsa kahjustatus (FD)	1-5 aastase sammuga (viimati august 2006)
7.17. Taimkate (VG)	5 a. sammuga (viimati 2006, järgmine 2011)
7.20. Tüve epifüüdid (EP)	1-3 aastase sammuga (viimati 2006)
7.18. Bioelemendid ja indikatsioon (BI)	Esmakordselt 2003.a. raskmetalli uuring männi puidust
7.22. Mikroobne lagunemine (MB)	1 kord aastas (sügisel)

Vilsandi kompleksseirealal töötasid 2006. a. OÜ Eesti Keskkonnauuringute Keskuse vaatlejad Kadriann Saar ja Õnne Vanin. Allprogramme täideti vastavalt tabelis 2 toodud mahule.



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

Proovid analüüsiti EKUK laboratooriumides. Allprogrammides osalenud isikute ja asutuste kontaktandmed on toodud tabelis 3. Aruande koostas Naima Kabral, kasutatud on ka varasemaid Katrin Pajuste ja Eva Nilsoni kirjutatud materjale kompleksseire allprogrammide kohta. 2006. aastal valmis Vilsandi kompleksseire mullakaardi andmeid kasutades ka Lenel Zimdini bakalaureusetöö loodusgeograafias “Vilsandi saare ja kompleksseireala mullastiku analüüs”.

**Tabel 3. Allprogrammide vastutavad täitjad**

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

EMHI vaatluste põhjal on teada ([www.emhi.ee](http://www.emhi.ee)), et Vilsandi on üks väikseima sademete hulgaga (pikaajaline keskmine 582 mm) kohti Eestis. 2006. aastal sadas Vilsandi ilmajaama andmetel 494 mm ja Vilsandi avamaa andmete järgi mõõdeti sajuhulgaks 510 mm. Vilsandi kompleksseirealal sadas kogu seireperioodi jooksul ajavahemikul 1995-2006 keskmiselt 492 mm aastas, sealhulgas eriti sademetevaesteks osutusid 2002. ja 2003. aasta. Väike sademete hulk on mitmel aastal raskendanud kooslusest veeproovide kogumist. Näiteks ajavahemikul 1995-2006 on mulla nõrgvee proove olnud võimalik koguda olenevalt sademete jaotumisest 4-6 kuu vältel aastas (5 kuud 2006.a.): kevadel maa sulamise järel ja sügisel septembrist novembrini, kui maa pole veel külmunud. Sama kehtib ka tüvevee proovide kohta. Ajavahemikul 1995-2006.a. on tüvevee proovideks vett kogunenud 5-8 kuul aastas (6 kuud 2006.a.), vaatamata sellele, et voolikud on paigaldatud 10 männi tüve ümber. Kuna Vilsandi proovialal puudub valgala, siis pole võimalik mõõta koosluse väljundvoogusid (joonis 1).

## 1. Aasta meteoroloogiline iseloomustus ja sadete keemia

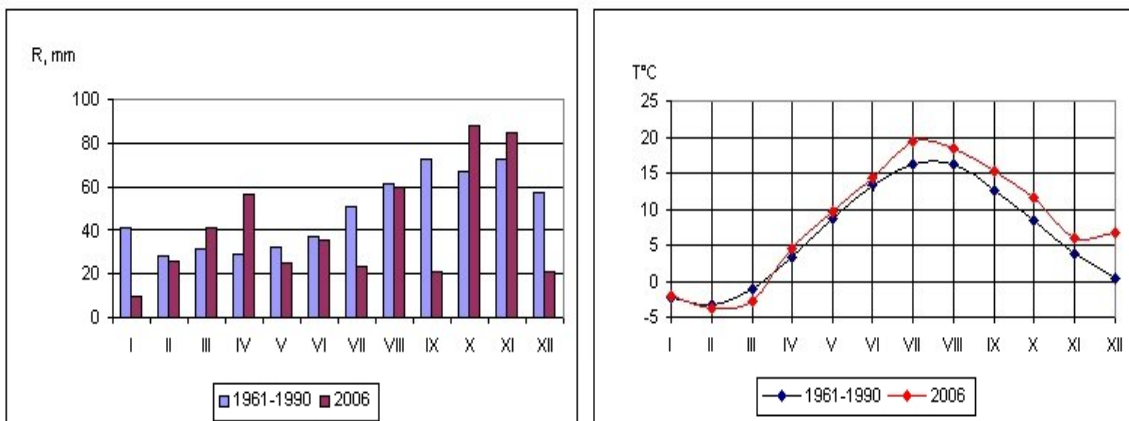
Seirealale on paigaldatud kolm standardset EMEP sademete kogumise seadet (joonis 2) diameetriga 20 cm. Sademeid koguti sarnaselt eelnevate aastatega ööpäevasel põhimõttel, kuid laboratoorseks analüüsiks moodustati nädala koondproovid. Et lihtsustada kuukeskmiste tulemuste arvutamist, alustati lisaks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



**Joonis 2.** Vilsandi sademete kogujad.

Avamaal koguti vaatlusperioodi jooksul 22 nädalakeskmist ja 11 raskmetallide sadeveeproovi. Võrreldes pikaajalise keskmisega olid 2006.a. eriti sademete vaesed kuud jaanuar, juuli, september ja detsember. Keskmisest enam sadas EMHI andmetel märtsis, aprillis (pikaajalisest keskmisest poole rohkem), oktoobris ja novembris (joonis 3). Sademetega päevi registreeriti 2006. aastal Vilsandi ilmajaamas 142. Kõige rohkem esines sademeid novembris, mil sadas 20. päeval. Nii juunis kui ka septembris sadas Vilsandi ilmajaama andmetel ainult seitsmel päeval. Kompleksseire andmetel mõõdeti 2006. aastal avamaa seirealal sajuhulgaks 510 mm (sajuhulgad jaanuaris olid niivõrd väikesed, et neid ei olnud võimalik mõõta ja seoses sellega jaanuari sademete proov puudub), mis ületab mõnevõrra kogu seireperioodi keskmist sajuhulka (492 mm). Lisaks registreeriti 2006. aastal. aprillist kuni detsembrini pikaajalise keskmisega võrreldes kõrgemad kuukeskmised temperatuurid (joonis 3). Kõige soojemaks kuuks osutus juuli (18,9 °C), mis ületab keskmist koguni 2,7 °C võrra. Nii veebruari kui märtsi temperatuurid jäid pikaajalise keskmisega võrreldes madalamateks. Aasta kõige külmema kuu, veebruari temperatuuriks registreeriti (-3,6 °C), mis jääb pikaajalise keskmise temperatuuriga võrreldes -0,3 °C madalamaks. 2006. aasta jooksul puhusid Vilsandil valdavalt lõunakaarte tuuled kiirusega 5,1-10,0 m/s. Kõige tuulisemaks kuuks oli detsember, kui kuu keskmiseks tuulekiiruseks mõõdeti 9,2 m/s.

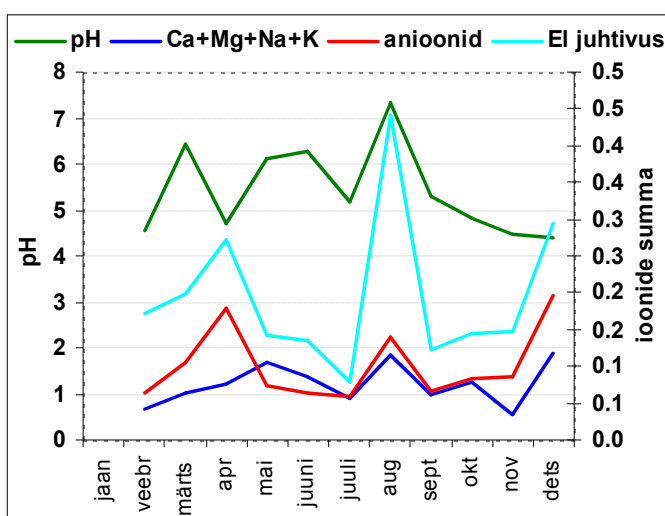




**Joonis 3.** Vilsandi sademete kuusummad ja kuukeskmised õhutemperatuurid EMHI andmetel ([www.emhi.ee](http://www.emhi.ee)).

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 hulga. Mitmeaastaste mõõtmistulemuste võrdlemine näitab sademete elektrijuhtivuse statistiliselt usaldusväärset alanemistrendi ( $p < 0,05$ ) (Mann-Kendalli mitteparameetriline trendianalüüs) ja seega ka saasteainete sisalduse vähenemist (keskmiselt  $0,7 \mu\text{S/cm}$ ) Vilsandi sadevetes kuni 2006. aastani. 2006.a. keskmine elektrijuhtivus oli  $18,9 \mu\text{S/cm}$ , miinimum mõõdeti juulis ( $7,8 \mu\text{S/cm}$ ) ja maksimum augustis ( $47,2 \mu\text{S/cm}$ ). Kaks aprillis ja kolm detsembris kogutud nädala keskmist veeproovi olid samuti väga kõrgete lisandioonide sisaldustega (joonis 4, tabel 4).

**Joonis 4.** Vilsandi sademete pH (vasakul teljel), kationide (Ca, Mg, K, Na) ja anioonide ( $\text{NO}_3$ , Cl,  $\text{SO}_4$ ) summaarne sisaldus (mgekv/l) ja elektrijuhtivus ( $1/100 \mu\text{S/cm}$ ) (parempoolsel teljel) 2006.aastal.



**Tabel 4. Avamaa sademete kaalutud keskmised ainetesisaldused (mg/l) Vilsandi kompleksseirealal 2006. aastal kuude kaupa, nelja viimase aasta keskmised ja depositsioonikoormused (kg/ha). Alla määramispiiri jäänud tulemused on enne keskmise arvutamist asendatud poolega määramispiiri väärtusest (*Manual...*, 1998).**

Ioon/ Kuu/ aasta	Sade mete hulk *	pH	HCO 3 mgek v/l	NH4, N	NO3, N	üld N	üld P	Cl	SO4, S	Ca	Mg	Na	K	$\tau$ $\mu\text{S/cm}$
Jaan														
Veebr	31	4,57	0,01	0,29	0,34	0,88	0,04	0,55	0,37	0,37	0,01	0,49	0,05	17
Märts	22	6,43	0,08	1,45	0,63	2,40	0,02	1,00	0,51	0,48	0,11	0,64	0,11	20
Apr	44	4,71	0,04	1,72	1,14	3,50	0,04	1,08	1,07	0,62	0,18	0,63	0,15	27
Mai	33	6,11	0,06	0,04	0,19	0,62	0,04	0,71	0,66	1,00	0,24	0,69	0,22	14
Juuni	32	6,26	0,08	0,02	0,01	0,79	0,003	0,71	0,68	0,53	0,14	0,60	0,87	13
Juuli	30	5,16	0,04	0,03	0,11	0,84	0,07	0,51	0,59	0,52	0,11	0,36	0,26	8
Aug	36	7,32	0,34	2,49	0,22	6,50	0,76	1,49	1,32	0,40	0,01	1,15	1,71	44
Sept	27	5,29	0,60	0,15	0,14		0,06	1,47	0,24	0,23	0,12	0,84	0,09	12
Okt	112	4,84	0,03	0,17	0,19	0,63	0,03	1,64	0,37	0,25	0,15	1,20	0,10	15
Nov	96	4,47	0,01	0,07	0,36			1,15	0,45	0,14	0,07	0,47	0,01	15
Dets	47	4,38	0,01	0,37	0,78			3,50	0,65	0,17	0,22	2,05	0,10	29
<b>2006</b>	<b>510</b>	<b>4,75</b>	<b>0,08</b>	<b>0,50</b>	<b>0,37</b>	<b>1,19</b>	<b>0,08</b>	<b>1,38</b>	<b>0,59</b>	<b>0,36</b>	<b>0,13</b>	<b>0,88</b>	<b>0,26</b>	<b>19</b>
2005	568	4,88	0,06	0,26	0,27	0,96	0,06	2,32	0,49	0,38	0,19	1,45	0,26	19
2004	635	4,71	0,05	0,46	0,22	1,16	0,06	1,52	0,51	0,36	0,15	1,05	0,19	18
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
<b>Koormus</b> mg/m <sup>2</sup>			43	255	189	609	39	702	301	184	64	450	134	

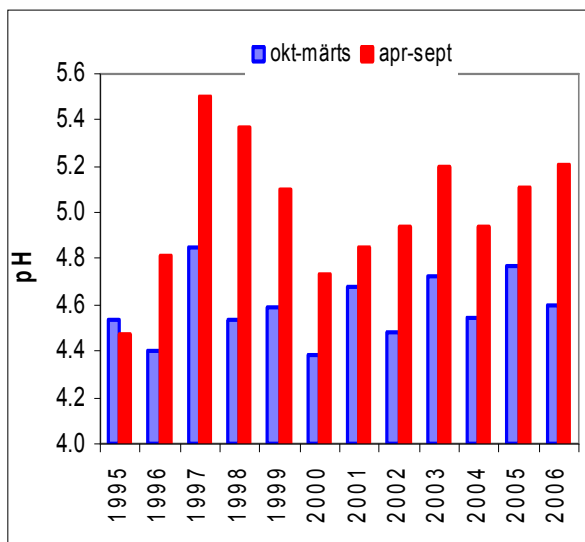
\*sademete hulk on antud kompleksseire mõõtmisandmete alusel.

Vilsandi sademeid võib lugeda nõrgalt happeliseks, sest 2006. aasta keskmine pH oli 4,75, pH<sub>min</sub> oli 4,35 (detsembris) ja pH<sub>max</sub> 7,99 (augustis), mis on kogu seireperioodi (1995-2006) kõige aluselisem avamaa sademete pH.

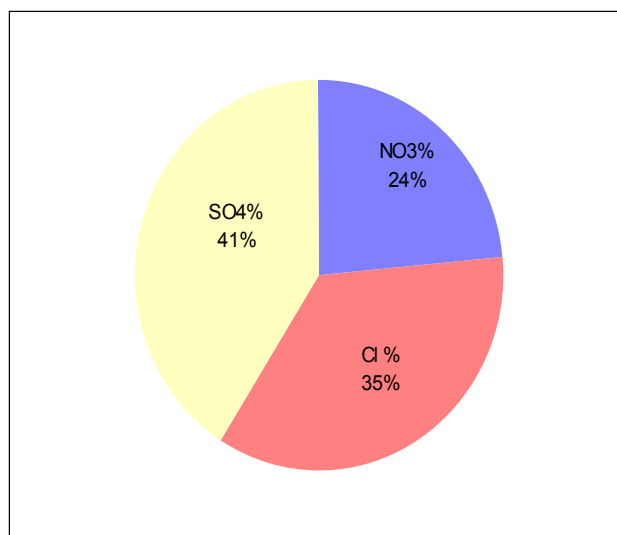
Möödunud, 2006. aasta juulis ja augustis oli seoses erakordselt kuivadele ja kuumadele ilmadele väga palju metsatulekahjusid nii Eestis kui ka meie naaberriikides, mis mõjutasid õhukvaliteeti ja omakorda suurendasid saasteainete kontsentratsioone nii õhus kui ka sellel perioodil esinenud sademetes. Venemaalt Laadoga piirkonna metsatulekahjustest pärinev suits liikus augusti alguses tuulte mõjul Kirde- ja Põhja – Eestisse ning levis sealt paari päeva jooksul üle kogu Eesti. Metsatulekahjustest tulenev suits, tolm ja tahm vähendavad välisõhu kvaliteeti ja põhjustavad aerosoolset saastet, mis kujutab potentsiaalset ohtu inimese tervisele. Eriti ohtlikuks saasteaineks peetakse õhus leiduvaid peeneid tahkeid osakesi aerodünaamilise läbimõõduga vähem kui 10  $\mu\text{m}$  ehk PM<sub>10</sub> (*particulate matter less than 10  $\mu\text{m}$*  - ing. k. lühend), sest alla 10  $\mu\text{m}$  suurused osakesed võivad siseneda ja peetuda hingamisteedes. Juuli

lõpu ja augusti kuu sademetest mõõdeti suurenenud elektrijuhtivust, mõnede anioonide ja kationide kõrgemaid kontsentratsioone ning oluliselt kuni tugevalt aluselist pH-d (pH 6,51 kuni pH>7,10). Augustis koguti Vilsandil kaks oluliselt aluselist nädalakeskmist veeproovi, milles pH oli suurem kui 7,07 (tabel 4 ja joonis 4).

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 Mann-Kendalli mitteparameetrilise trendianalüüsi järgi usaldusväärselt vähenenud. Olemasolevate andmete põhjal võib ainult öelda, et külmemaa 6-kuulise perioodi keskmine sademete pH on varieerunud kitsamates piirides (joonis 5). 2006. aasta talvekuude pH 4,60 sarnaneb 1999. aasta pH-le (4,59) ja suvekuude pH 5,21 omakorda 2003. aasta pH-le (5,20).



**Joonis 5.** Vilsandi sademete kuue kuu kaalutud keskmine happesus 1995-2006.



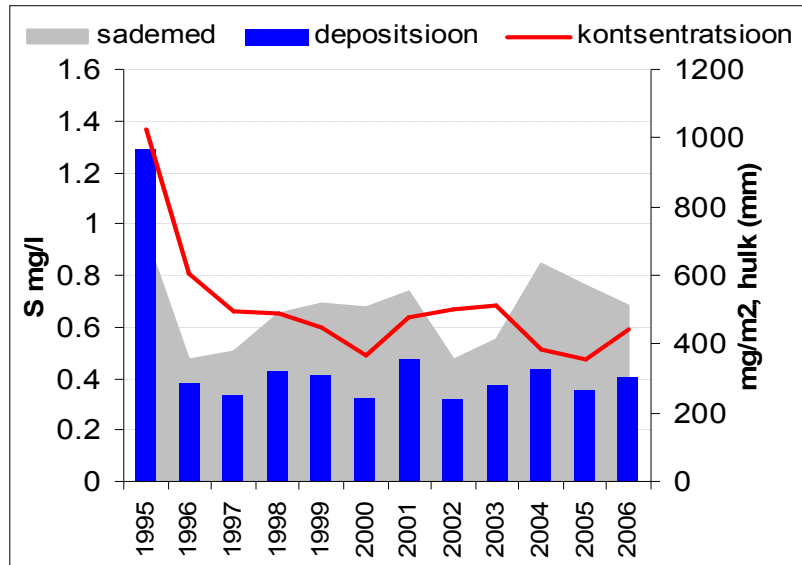
**Joonis 6.** Anioonide osakaalud Vilsandi sademetes 2006.a.

## 1.1. Anioonid

Seoses vähenenud vääveli emissioonidega, nii Eestis kui kogu Euroopas, on jälgitav sulfaatse vääveli kontsentratsioonide vähenemine sadevees, samal ajal on alanenud ka depositsioon.

Väävel on tavaliselt sademetes domineerivaks aniooniks (joonis 6). Merelise mõju tõttu on Vilsandi sademetes kloriidi ja sulfaadi osakaalud ligikaudu võrdsed (2006. aastal vastavalt 41% ja 35%). Antropogeense vääveli arvutamisel võib lähtuda eeldusest, et

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



**Joonis 7.** Vilsandi sademete väävli sisaldus (mgS/l, vasakul teljel) väävli depositsioon (mg/m<sup>2</sup>) ja aastane sademete summa (paremal teljel) ajavahemikul 1995-2006.a.

Vilsandi avamaa sademetes on sulfaadi ja kloriidi keskmine kontsentratsioon kogu seireperioodi jooksul näidanud statistiliselt usaldusväärset alanemistrendi (vastavalt  $p < 0,05$  ja  $p < 0,1$ ). Sulfaadi sisaldus avamaa sademetes on vähenenud keskmiselt 0,02 mg/l ja kloriidi sisaldus 0,04 mg/l aastas.

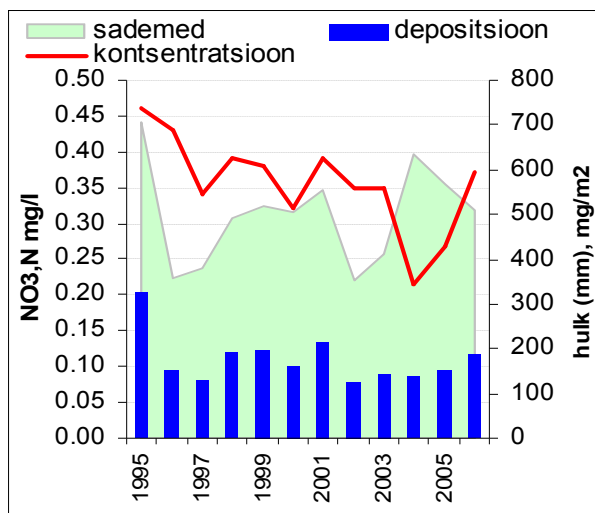
Sulfaatse väävli keskmine kontsentratsioon oli 2006.a. vaatlusperioodi sademetes 0,59 mgS/l. Nädala keskmise sadevee proovi madalaim väävlisisaldus 0,22 mgS/l mõõdeti oktoobris ja kõrgeim kontsentratsioon 1.40 mgS/l augustis. Suhteliselt kõrged väävli kontsentratsioonid, üle 1 mg/l, mõõdeti lisaks augustile ka aprilli (nädala keskmistest) veeproovidest, mis on Vilsandi kui fooniala kohta kõrge väävlisisaldus.

Sademete väävlisisaldus (joonis 7) oli 2006.a. sarnane 1999.a. keskmise väävlisisaldusega (0,60 mgS/l) seireperioodi jooksul. Seire jätkamisel on huvitav jälgida edasisi muutusi, kas sademete väävlisisaldus langeb või jääb pidama 0,50-0,60 mgS/l tasemele.

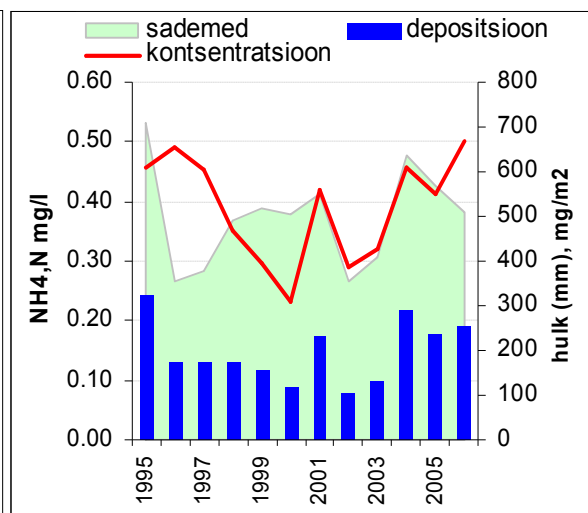
Arvestades mõnevõrra väiksemat sademete hulka võrreldes viimase aastaga ja kõrgemat väävli kontsentratsiooni, on igati ootuspärane, et väävli depositsioon oli kõrgem (3,01 mg/m<sup>2</sup>)

kui eelmisel aastal ( $2,69 \text{ mg/m}^2$ ), kuid samas suurusjärgus 1999. aasta depositsiooniga ( $3,11 \text{ mg/m}^2$ ).

Statistiliselt usaldusväärset on vähenenud ka sademete nitraadisisaldus ( $p < 0,05$ ) (joonis 8). Sademete keskmine nitraatlämmastiku sisaldus oli 2006.a.  $0,37 \text{ mgN/l}$ . Kõrgemad kontsentratsioonid mõõdetakse tavaliselt aasta külmemal perioodil (nt. 2006.a. esines  $\text{NO}_{3\text{max}} = 1,15 \text{ mgN/l}$  aprillis), suvel on sademete nitraadisisaldus tavaliselt madalam. Ammooniumlämmastiku (joonis 9) kõrgeimad kontsentratsioonid mõõdeti augusti sademetest ( $\text{NH}_{4\text{max}} = 4,52 \text{ mgN/l}$ ), mis võib olla seotud suurte metsatulekahjudega. Viimasel kolmel seireaastal (2004-2006) on ammooniumlämmastiku depositsioon suurenenud võrreldes seire algusaastatega ja võrreldes nitraatlämmastiku kontsentratsiooniga olnud suurem.



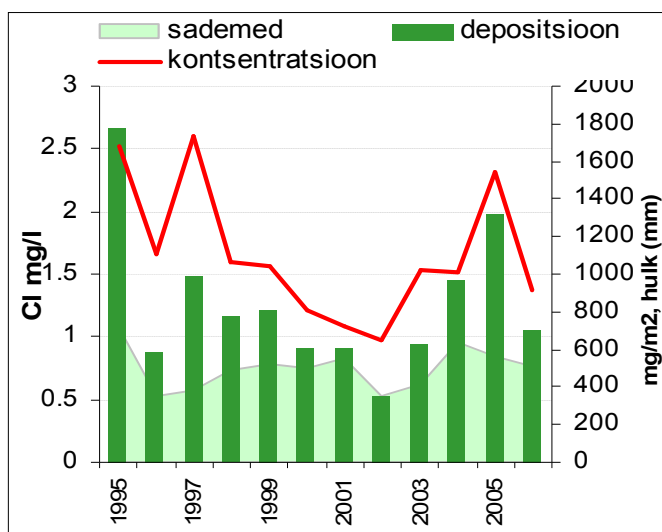
**Joonis 8.** Vilsandi sademete nitraatseid kontsentratsioon ( $\text{mgN/l}$ ), depositsioon ( $\text{mg/m}^2$ ) ja aastane sademete summa ( $\text{mm}$ ) ajavahemikul 1995-2006.



**Joonis 9.** Vilsandi sademete ammooniumlämmastiku kontsentratsioon ( $\text{mgN/l}$ ), depositsioon ( $\text{mg/m}^2$ ) ja aastane sademete summa ( $\text{mm}$ ) ajavahemikul 1995-2006.

Vilsandi sademete mitmeaastaste mõõtmistulemuste võrdlemisel ilmneb ka kloriidi kontsentratsiooni (joonis 10) statistiliselt usaldusväärne vähenemine ( $p < 0,1$ ). 2005. aastal oli kloriidiooni aasta kaalutud keskmine sisaldus  $2,32 \text{ mg/l}$ , mis on võrreldav 1995. ja 1997. aasta tulemustega, kuid 2006. aastal oli see  $1,38 \text{ mg/l}$ , vaid pool eelmise aasta kontsentratsioonist. Kloriidi maksimum mõõdeti detsembris ( $3,61 \text{ mg/l}$ ), kõige puhtamates veeproovides oli kloriidisisaldus  $0,51 \text{ mg/l}$ . Üldiselt on ka sademete kloriidisisaldus olnud suvel madalam kui talveperioodil, mis võib olla seotud tugevamate tormidega aasta külmemal poolel. Kloriidide aastane sadenemiskoormus Vilsandil oli 2006.a. poole võrra

väiksem ( $704 \text{ mg/m}^2$ ) kui möödunud aastal ( $1316 \text{ mg/m}^2$ ) ja võrreldav 2003. aasta kloori depositsiooniga.



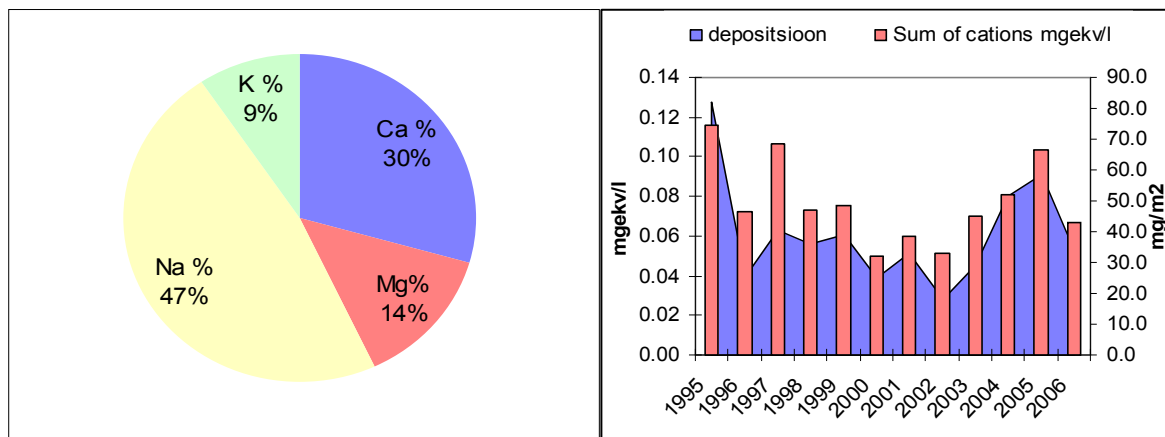
**Joonis 10.** Vilsandi sademete kloriidi kontsentratsioon ( $\text{mgCl/l}$ ), depositsioon ( $\text{mg/m}^2$ ) ja aastane sademete summa ( $\text{mm}$ ) ajavahemikul 1995-2006.

## 1.2. Katioonid

Suurima sadenemiskoormusega katioon sadevees on Eesti seirejaamades üldiselt kaltsium (Pajuste 2004). Merest ümbritsetud asukoha tõttu oli Vilsandi seirejaama sademetes 2006.a. andmetel katioonidest kõige suurem naatriumi osakaal (47%), järgnes kaltsium (30%), magneesium (14%) ja kaalium (9%) (joonis 11). Eelmise, 2005. aastaga võrreldes vähenes sademetes naatriumi osakaal (51% 2005.a.) ja suurenesid nii kaltsiumi (27% 2005.a.) kui kaaliumi (8% 2005.a.) osakaalud. Naatriumi ja magneesiumi osakaal katioonide summas on mitmeaastaste keskmiste põhjal suurem aasta külmemal poolel sarnaselt kloriidiga. Kaltsiumi maksimum sisaldus ( $1,24 \text{ mg/l}$ ) mõõdeti mai kuus, kaaliumil ( $1,72 \text{ mg/l}$ ) augustis ja naatriumil ( $2,08 \text{ mg/l}$ ) detsembris.

Avamaa sademete summaarne katioonide sisaldus on võrreldes seire algusaastatega seireperioodi jooksul mõnevõrra vähenenud (joonis 12) ning oli madalaim ajavahemikul 2000-2002. Alates 2003. aastast on katioonide sisaldus näidanud suurenemistendentsi, kuid trend ei ole statistiliselt usaldusväärne. 2006. aastal oli katioonide summaarne depositsioon

võrreldav 2001. aasta depositsiooniga (33,2 mgekv/m<sup>2</sup>). Käesoleval seireaastal oli katioonide (Ca+Mg+K) summaarne sadenemiskoormus 34,1 mgekv/m<sup>2</sup>.



**Joonis 11.** Katioonide osakaalud Vilsandi sademetes 2006.a.

**Joonis 12.** Vilsandi sademete katioonide sisalduse (mgekv/l) ja depositsiooni (mg/m<sup>2</sup>) mitmeaastane käik.

### 1.3. Raskmetallid

Raskmetallide sisaldust määrati avamaa sademetes ja võravetes. Kõigi määratud metallide kontsentratsioonid on püsinud madalal (tabel 5), tihti on nende sisaldus sadevees allpool määramispiiri As (<1 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. Tabelis on toodud üheksa kuu andmed, sest jaanuaris sademete proov puudus ja aasta kahe viimase kuu analüüsitulemused ei ole aruande koostamise ajaks veel laborist saabunud. Arseeni ja elavhõbeda sisaldus on olnud alla määramispiiri nii avamaa sademetes kui ka võravees 9-l kuul. Plii kontsentratsioon jäi alla määramispiiri sademetes 8 proovis, kuid võravees 7-s kuukeskmises proovis. Tsingi ja kaadiumi sisaldused jäid avamaa sademetes alla määramispiiri vastavalt seitsemel ja neljal kuul, võravees aga neljal ja ühel kuul. Vase kontsentratsioon sadevetes on teiste raskmetallidega võrreldes oluliselt kõrgem. 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 5), on näha, et võravee raskmetallide sisaldused on mõnevõrra kõrgemad. Arvestades seda, et võravee koormus

(226,3 mm 2006.a.) moodustas vaid 44 % avamaa sademete koormusest, ei saa siiski rääkida suuremast raskmetallide summaarsest depositsioonist (kuiv + märgsadene) puistus võrreldes avamaaga. Eranditeks võib siiski lugeda kaadiumi ja vaske, mida jõudis käesoleval, 2006. aastal metsa alustaimestikuni vastavalt 215% ja 146% kogu avamaale deponeerunud Cd ja Cu kogusest.

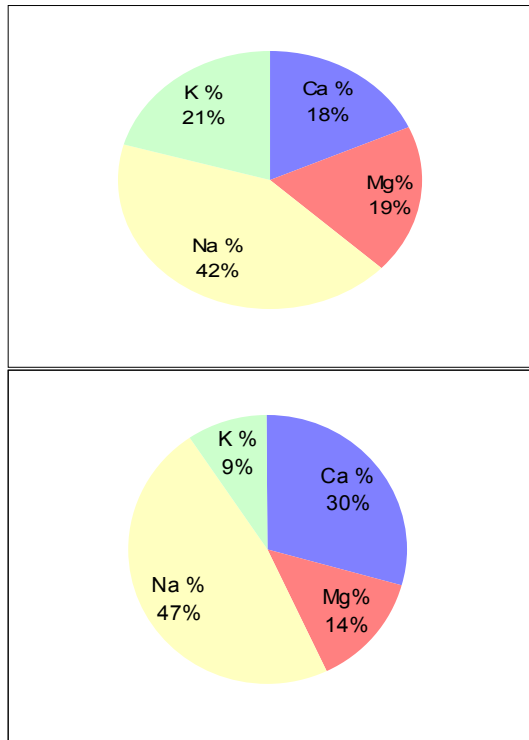
**Tabel 5. Vilsandi avamaa sademete ja võravee kaalutud keskmised raskmetallide sisaldused kompleksseirealal 2006.a ( $\mu\text{g/l}$ ). Alla määramispiiri jäänud tulemused on enne keskmise arvutamist asendatud poolega määramispiiri väärtusest (*Manual...*, 1998)**

Kuu	avamaa	võravesi	avamaa	võravesi	avamaa	võravesi	avamaa	võravesi	avamaa	võravesi	avamaa
	As		Cd		Cu		Pb		Zn		Hg $\mu\text{g/l}$
Jaauar											
Veebruar	<1	<1	0,08	0,15	1,10	7,10	<1	<1	16,00	32	<0,05
Märts	<1	<1	0,09	0,05	3,7	8,00	<1	<1	<10	<10	<0,05
Aprill	<1	<1	0,07	0,30	5,20	12,20	1,1	2,60	<10	<10	<0,05
Mai	<1	<1	0,02	0,15	3,30	4,40	<1	<1	<10	14	<0,05
Juuni	<1	<1	<0,02	<0,02	1,90	5,50	<1	<1	<10	<10	<0,05
Juuli	<1	<1	<0,02	0,03	4,30	5,90	<1	<1	<10	<10	<0,05
August	<1	<1	<0,02	0,09	1,80	6,37	<1	<1	<10	18	<0,05
September	<1	<1	0,10	0,13	2,70	8,90	<1	<1	<10	26	<0,05
Oktoober	<1	<1	<0,02	0,16	0,50	1,30	<1	1,10	13	22	<0,05
November											
Detsember											
<b>2006</b>	<b>&lt;1</b>	<b>&lt;1</b>	<b>0,03</b>	<b>0,12</b>	<b>1,64</b>	<b>5,39</b>	<b>&lt;1</b>	<b>&lt;1</b>	<b>&lt;10</b>	<b>11</b>	<b>&lt;0,05</b>
2005	0,29	0,64	0,03	0,23	4,31	16,5	<1	1,0	<10	17	<0,05
2004	0,36	0,60	0,07	0,16	15,7	25,3	<1	1,6	10,3	29	<0,05
2003	0,39	0,37	0,11	0,19	7,25	7,5	<1	1,1	26	32	<0,05

#### 1.4. Võravee ja tüvevee keemia

Vaatlusperioodil koguti 11 võravee proovi, s.h. augustis võeti võravee proovid 2 nädalase intervalliga. Veebruarist aprillini koguti proove 5 lumekogujaga, aprillist oktoobri lõpuni 10 võraveekogujaga (joonis 13). Võravee koormus 226,3 mm moodustas 2006. aastal Vilsandi männikus 44 % 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.



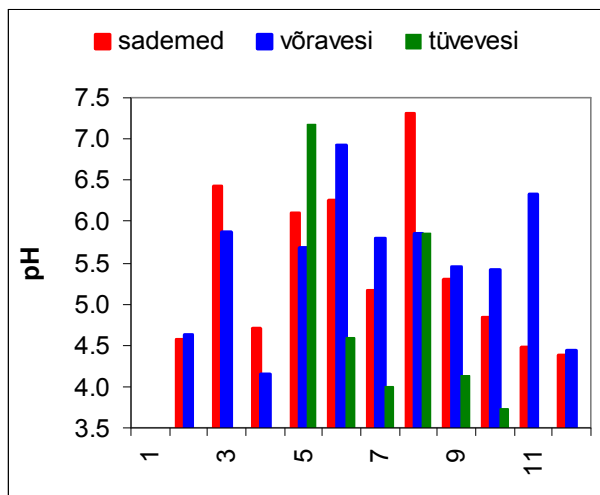


**Joonis 12.** Kationide osakaal võra- ja tüvevees (üleval) ja sadevees.

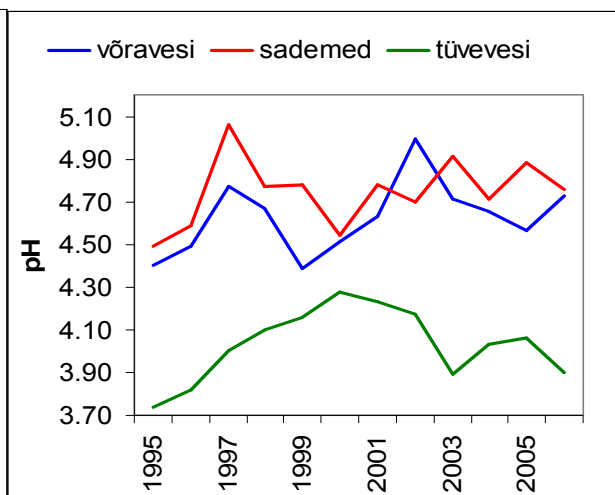


**Joonis 13.** Tüvevee kogumise voolik ja kanister (vasakul) ning võrasademetete koguja (paremal).

Võrreldes avamaa sademetega on võra- ja tüvevee ainetesisaldus mitmete ionide osas kõrgem, sest võrastiku kaudu jõuavad metsa alla koos märgdeponeerunud ainetega ka kuivdeponeerunud ained ning teatud ionide osas toimub lisaks leostumine lehestikust.



**Joonis 14.** Sademete, võra- ja tüvevee kuukeskmised pH väärtused 2006.a.



**Joonis 15.** Sademete, võra- ja tüvevee aasta kaalutud keskmise pH võrdlus ajavahemikul 1995-2006.a.

Võravesi on reeglina happelisem kui avamaa sademed. Seda mõjutavad happeline kuivdepositsioon aga ka orgaaniliste hapete leostumine võrastikust. Kuid 2006. aastal mõõdeti nii veebruaris, juunis, juulis ja septembrist kuni detsembrini võraveses madalam happesus kui avamaa sademetes (joonis 14). Aasta kaalutud keskmine võravete happesus oli pH 4,73 (joonis 15), mis oli vaid veidi madalam avamaa sademete keskmisest happesusest (pH 4,75). Happesus oli märgatavalt kõrgem külmal perioodil (joonis 14), mis lubab oletada talvel suuremat happelist kuivdepositsiooni.

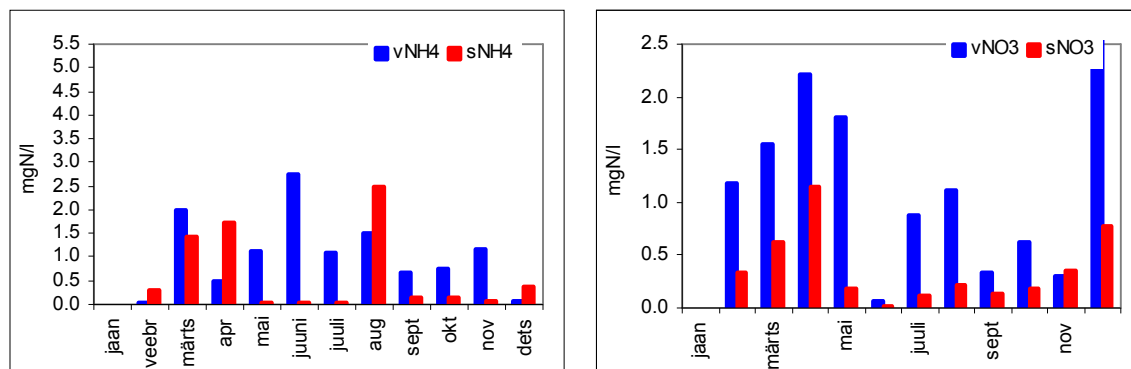
Sulfaatväävli keskmine kontsentratsioon võraveses oli 1,92 mg/l ja depositsioon 435 mg/m<sup>2</sup> (2005.a. vastavalt 2,21 mg/l ja 560 mg/m<sup>2</sup>). Võrreldes kogu seireperioodi, oli käesoleva aasta kaalutud keskmine võravee väävlisisaldus samas suurusjärgus 2001. aasta väävli kontsentratsiooniga. Samaselt avamaa sademete sulfaatväävli sisalduse vähenemisega on ka võraveses täheldatav statistiliselt usaldusväärne SO<sub>4</sub>-S alanemistrend (p<0,1). Puude võrasid läbinud sademete väävlisisaldus oli 3,3 korda kõrgem kui avamaal, kuid väävli depositsioon oli võrasademetega väikese hulga tõttu 1,4 korda suurem kui avamaal.

Peamiste kationide aasta keskmised kontsentratsioonid võraveses - naatrium (7,16 mg/l), kaalium (5,95 mg/l), kaltsium (2,69 mg/l) ja magneesium (1,68 mg/l) on küll aastast aastasse varieerunud, kuid ainult kaaliumi puhul on võimalik välja tuua statistiliselt usaldusväärset kasvutrendi (p<0,1). Kationide summaarne sisaldus võraveses on 10 korda kõrgem kui sademetes, peegeldades kuivdepositsiooni ja leostumist võrastikust. Avamaa sademetega võrreldes on võraveses vähenenud naatriumi (vastavalt 47%lt 42%ni), kaltsiumi (vastavalt 30%lt 18%ni) ja suurenenud magneesiumi (14%lt 19%ni) ning kaaliumi (9%lt 21%ni) osakaal (joonis 12).

Avamaa sademed võiksid kirjanduse andmetel sisaldada rohkem lämmastikku kui võravesi, sest võras toimub N-ühendite omastamine. Samas on ammoniaak sademete happesuse vähendaja. 2006.a. mõõtmistulemused aga näitavad, et võravee keskmine ammooniumi sisaldus oli ca 2 korda suurem sadevee sisaldusest (vastavalt 0,94 mgN/l ja 0,50 mgN/l) kuid ammoonium lämmastiku depositsioon võrade all oli väiksem kui avamaal (vastavalt 213 ja 255 mgN/m<sup>2</sup>). See on tingitud ilmselt avamaal suurematest sademehulkadest ja ammooniumlämmastiku väiksemast sisaldusest kui võraveses. Nitraadi keskmine kontsentratsioon võraveses, 1,24 mgN/l ja vastav depositsioon, 281 mgN/l olid vastavalt 3,3 ja

1,5 korda kõrgemad kui avamaal (tabel 4 ja 6). Seetõttu võib oletada nii ammooniumi kui ka nitraadi leostumist või suurenenud kuivdepositsiooni (joonis 16).

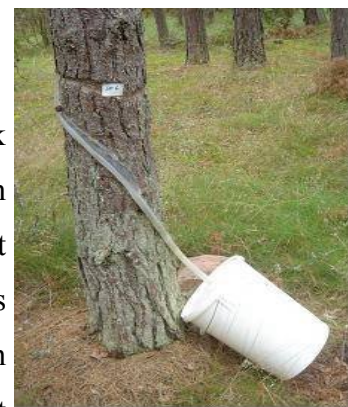
Nitraatlämmastiku sadenemise kindlasuunalist muutumist seireperioodi jooksul pole aset leidnud, kuid ammooniumlämmastiku sisaldused võraveses on statistiliselt usaldusväärselt suurenenud ( $p < 0,1$ ). Üldiselt on Vilsandi võravee aasta keskmised  $\text{NO}_3\text{-N}$  sisaldused suuremad kui  $\text{NH}_4\text{-N}$  sisaldused.



**Joonis 16.** Nitraatse (paremal) ja ammooniumlämmastiku (vasakul) kuukeskmised kontsentratsioonid Vilsandi sademetes (s) ja võraveses (v) 2006.a.

Tüvevee kogumiseks on voolikud asetatud ümber 10 männi. Lisaks kasutatakse tüvevee kogumiseks 20 liitri suuruseid kaanega plastämbreid (joonis 17).

Aasta jooksul koguti 6 tüveveeproovi (augustis oli veeproove võimalik koguda 2 nädalase sammuga). Tüvevee kogus 0,24 mm oli oluliselt väiksem tavapärasest ~1mm/aastas. Seega ei ole tüvevee kogus puistu seisukohast kuigi oluline. 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.



**Joonis 17.** Tüvevee kogumise voolik ja ämber.

Tüvevee keskmine toitelementide (nitraat- ja ammooniumlämmastiku ning fosfori) sisaldus on madalam kui sade - ja võraveses, ülejäänud elementide kontsentratsioon aga mitmeid kordi kõrgem (tabel 7). Tüvevee aasta keskmiste kontsentratsioonide võrdlemisel võib välja tuua neli põhijäreldust:

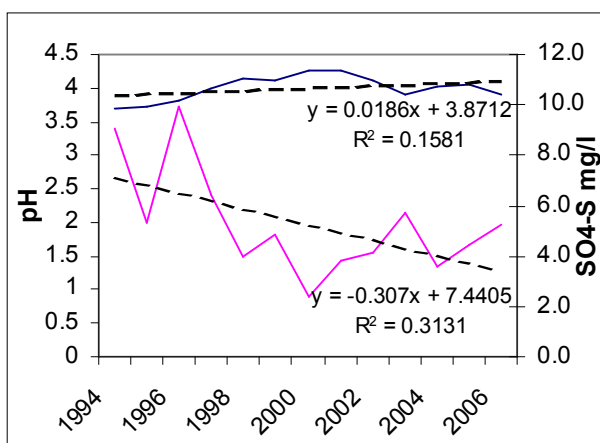
- 1) ajavahemikul 1994-2006 on tüvevee happesus vähenenud pH 3,7 → pH 4,0 (joonis 18). Tüvevee happesus oli kõige madalam 2000.a. (pH 4,3), kuid pH langes alla 4 ka 2006.a. (pH 3,9) seoses sademete väikese hulga.
- 2) võrreldes võravee ja avamaa sademete pH-ga, on tüvevesi reeglina happelisem, kuid 2006. aasta mai kuus oli tüvevesi tugevalt aluseline (pH 7,18).
- 3) seireperioodi jooksul on tüvevee keskmine väävlisisaldus näidanud vähenemise tendentsi, kuid trendi ei ole võimalik välja tuua. Madalaim oli kaalutud keskmine tüvevee väävlisisaldus 2000.a., 2,4 mgS/l. Käesoleval aastal oli sulfaatse väävli kaalutud keskmine kontsentratsioon tüvevees kogu seireperioodiga võrreldes kõrge, 5,21 mg/l, mis on võrreldav 1995.a. sisaldusega ja tingitud ilmselt väikesest sademete hulgast.
- 4) kokkuvõttes võib tüvevee proovide elektrijuhtivuse põhjal öelda, et lisandioonide sisaldus vähenes kuni 2000. aastani ja on peale seda taas suurenenud tõenäoliselt seoses väikeste tüvevee hulkadega (joonis 19). 2006. aastal oli lisandioonide sisaldus tüvevees, kogu seireperioodi sisaldustega võrreldes, suurim (266 µS/cm). Tüvevee elektrijuhtivus on kogu seireperioodi jooksul statistiliselt usaldusväärselt suurenenud ( $p < 0,1$ ).

**Tabel 6. Võravee keskmine saaste- ja toiteaineteainete sisaldus (mg/l) Vilsandi seireala männikus kuude kaupa 2006. a. ja viimasel viiel seireaastal**

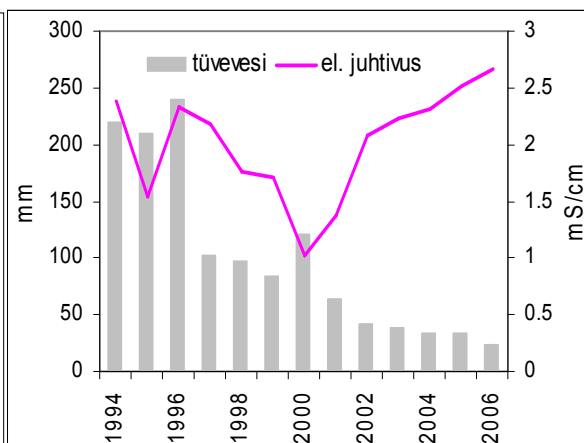
Ioon/ Kuu/ hulk mm	pH	HCO <sub>3</sub> mgekv/l	NH <sub>4</sub> , N	NO <sub>3</sub> , N	üld P	Cl	SO <sub>4</sub> , S	Ca	Mg	Na	K	τ µS/cm	
Jaan													
<b>Veebr</b>	18	4,63	0,14	0,04	1,19	0,22	7,21	1,52	1,73	1,20	5,51	2,73	18
<b>Märts</b>	9	5,88	0,10	1,99	1,55	0,03	2,00	1,10	0,86	0,48	1,73	0,65	35
<b>Apr</b>	40	4,15	0,01	0,49	2,21	0,04	10,02	3,28	3,12	1,96	8,33	4,68	130
<b>Mai</b>	13	5,68	0,10	1,12	1,81	0,18	4,58	1,62	3,54	1,56	3,68	3,33	80
Juuni	17	6,92	0,40	2,76	0,06	0,68	5,98	1,46	1,89	1,03	3,09	14,40	99
<b>Juuli</b>	15	5,80	0,18	1,09	0,87	0,63	5,30	1,09	2,07	1,25	3,22	9,64	67
<b>Aug</b>	24	5,86	0,17	1,53	1,12	0,44	6,51	1,10	3,37	1,69	3,49	6,46	71
<b>Sept</b>	9	5,46	1,70	0,68	0,34	0,16	10,30	1,63	3,23	1,91	8,40	6,11	91
<b>Okt</b>	47	5,42	0,10	0,74	0,63	0,20	11,28	1,77	2,59	1,68	7,75	6,39	82
<b>Nov</b>	16	6,34	0,14	1,18	0,30	0,00	3,85	0,96	1,48	0,54	2,62	1,12	37
<b>Dets</b>	19	4,44	0,01	0,06	2,99	0,00	38,40	3,51	4,29	3,96	24,40	7,21	220
<b>2006</b>	<b>226</b>	<b>4,73</b>	<b>0,18</b>	<b>0,94</b>	<b>1,24</b>	<b>0,23</b>	<b>10,39</b>	<b>1,92</b>	<b>2,69</b>	<b>1,68</b>	<b>7,16</b>	<b>5,95</b>	<b>91</b>
2005	253	4,56	0,09	0,79	1,24	0,22	22,28	2,21	2,28	1,81	11,69	6,13	60
2004	292	4,65	0,08	0,46	0,80	0,121	9,22	1,25	1,71	1,29	6,41	3,49	78
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

**Tabel 7. Tüvevee keskmine ainete sisaldus (mg/l) Vilsandi seirealal männikus kuude kaupa 2006. a. ja viimasel kuuel seireaastal**

Ioon/ Kuu/ aasta	Sadeve e 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	0,005	7,18	2,28	14,17	0,58	1,00	38,3	8,8	41,1	6,4	33,5	17,7	514
Juuni	0,012	4,59	0,07	0,33	<0,02	0,20	30,5	6,8	12,9	3,8	25,5	13,9	254
Juuli	0,046	3,99	<0,02	1,59	0,110	0,40	47,9	8,4	15,3	6,8	34,6	18,5	334
Aug	0,019	5,85	1,07	16,43	<0,02	2,40	60,8	8,5	22,8	5,7	38,5	21,9	496
Sept	0,016	4,13	0,25	0,11	0,07	0,29	20,3	2,5	4,9	2,0	17,1	7,1	159
Okt	0,141	3,73	<0,02	0,23	<0,02	0,07	32,5	3,8	5,8	3,3	20,8	11,3	217
<b>2006</b>	<b>0,24</b>	<b>3,90</b>	<b>0,15</b>	<b>2,09</b>	<b>0,04</b>	<b>0,37</b>	<b>37,0</b>	<b>5,21</b>	<b>10,0</b>	<b>4,2</b>	<b>25,1</b>	<b>13,5</b>	<b>266</b>
2005	0,336	4,06	0,03	0,12	0,37	0,19	34,3	4,49	8,2	3,7	27,8	13,1	251
2004	0,332	4,03	<0,02	0,15	0,05	0,30	31,5	3,6	13,0	4,1	23,1	12,0	231
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



**Joonis 18.** Tüvevee kaalutud keskmine pH ja väävlisisaldus 1994-2006.



**Joonis 19.** Tüvevee hulk ja elektrijuhtivus.

## 1.5. Mullavee keemia

Mullavett kogutakse 12 plaatlüsimeetriga (á 0,1m<sup>2</sup>). Need erinevad käsiraamatus soovitatud meetodikast ja on kirjeldatud M. Volli ning O. Rootsi poolt (1999). Lüsimeetrid on asetatud paralleelselt maapinnaga 17 ja 35 cm sügavusele (joonis 20).

Suvel kaevati lahti kaks mullavee kogumise seadet kuna nendest ei olnud võimalik koguda mullavett ja asendati purunenud voolikud uute silikoonist voolikutega.

Kokku analüüsiti 2006.a. 12 mullavee proovi kahelt kogumissügavuselt, (s.h. augustis oli proove võimalik võtta 2 nädalase sammuga). Peale oktoobrit ei kogunenud enam ühtki mullavee proovi. Lüsimeetritega kogutud mulla nõrgvesi moodustas ca 30 % võravee aastasest kogusest. Analüüsitulemused on esitatud tabelites 8 ja 9.



**Joonis 20.** Vasakul: mullavee kogumise koht. Paremalt 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 proovipudelisisse.

**Tabel 8. 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>
Mai	41,7	6,6	0,79	3,66	0,20	15,2	3,14	13,5	7,56	7,94	1,33	1,06	0,92	154	5,60	0,51
Juuni	1,8	6,7	0,02	2,42	0,14	4,84	1,16	7,43	3,68	3,09	1,66	0,46	0,21	84	3,00	0,26
August	11,7	6,3	0,25	0,73	0,19	10,0	1,11	9,24	4,64	5,64	4,68	0,38	0,00	119	2,02	<0,02
September	3,9	5,7	0,01	0,52	0,12	4,12	0,56	5,36	2,25	3,61	0,85	0,69	0,33	52	0,00	4,30
Oktoober	18,6	10,0	0,02	0,33	0,12	6,95	1,07	10,2	4,70	5,20	0,59	1,84	0,34	81	3,10	0,26
<b>2006 kesk</b>		<b>6,50</b>	<b>0,03</b>	<b>1,36</b>	<b>0,2</b>	<b>11,7</b>	<b>2,2</b>	<b>11,5</b>	<b>6,1</b>	<b>6,6</b>	<b>1,6</b>	<b>1,1</b>	<b>0,82</b>	<b>125</b>	<b>4,12</b>	<b>0,56</b>
2006 koormus	78		2,1	106	13,5	904	168	895	472	513	127	86	64	-	320	43
<b>2005 kesk</b>		4,73	0,017	1,10	0,13	10,4	1,41	9,76	4,50	5,01	0,40	0,91	0,66	99	1,74	0,07
2005 koormus	102		1,72	111	13	1054	143	991	457	509	40	92	67	-	177	6,7

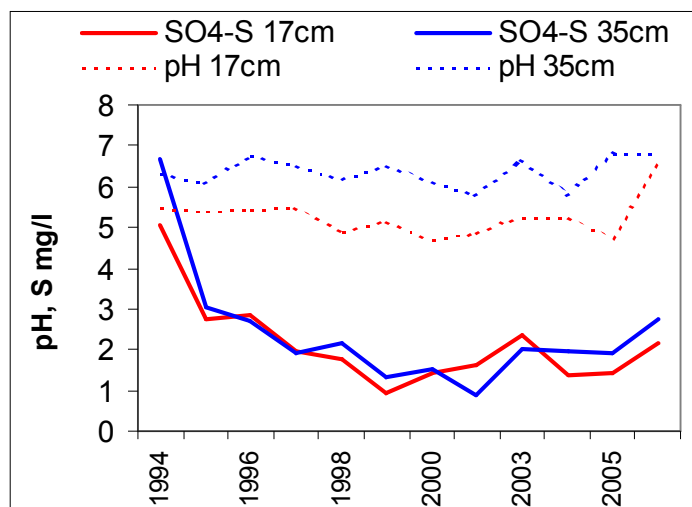
**Tabel 9. Mulla nõrgvee keemiline koostis (mg/l) 35 cm sügavusel**

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>
Mai	49,4	7,1	0,17	2,60	0,06	13,1	3,1	20,2	11,3	7,6	0,9	0,5	0,6	210	3,4	1,02
Juuni	1,0	7,0	0,02	2,60	0,08	6,8	2,5	11,9	5,3	4,1	0,7	0,6	0,4	111	3,3	0,34
August	8,3	6,8	0,14	0,22	0,42	12,8	1,3	16,5	8,4	5,4	10,1	0,2	0,4	198	1,3	0,01
September	2,2	6,4	0,03	0,33	0,07	4,1	0,6	7,5	3,1	3,0	0,5	0,4	0,2	62		1,30
Oktoober	6,5	6,2	0,01	0,41	0,07	9,3	2,9	14,3	6,9	4,6	1,2	1,1	0,8	108	2,9	0,40
<b>2006 kesk</b>		<b>6,81</b>	<b>0,14</b>	<b>2,02</b>	<b>0,11</b>	<b>12,3</b>	<b>2,77</b>	<b>19</b>	<b>10,2</b>	<b>6,9</b>	<b>2,1</b>	<b>0,54</b>	<b>0,56</b>	<b>193</b>	<b>3,0</b>	<b>0,84</b>
2006 koormus	67		9,7	136	7	830	186	1257	687	463	138	36	38		201	56
<b>2005 kesk</b>		6,82	0,01	1,95	0,08	13,1	1,94	18,1	2,88	6,29	0,67	0,48	0,50	148	2,8	0,29
2005 koormus	82		1,15	159	6,4	1069	158	1482	236	515	55	40	41	-	224,9	24

Lüsimeetritesse kogunenud mulla nõrgvee kogus oli 2006.a väiksem kui möödunud 2005.a. See omakorda on tinginud mõnede lisandioonide aasta keskmiste kontsentratsioonide suurenemise senise kahanemistrendiga andmereaas.

Võrreldes eelmise, 2005. aastaga on suurenenud mulla nõrgvees kõikide anioonide (Cl, SO<sub>4</sub>,S, NO<sub>3</sub>,N) ja kationide (K, Ca, Mg, Na) kontsentratsioonid mõlemal mõõtmistasemel (joonis 21). Samas aga kui võrrelda kogu seireperioodi andmeid, on märgata sulfaadi kontsentratsioonide statistiliselt usaldusväärset vähenemist ( $p < 0,01$ ) 17 cm sügavusel.

Karbonaatide rikkas loomänniku mullas on see mõjutanud orgaanilise horisondi alla nõrguva mullavee happesust, pH 17 cm sügavusel on tõusnud (pH 6,50 on kogu seireperioodi kõrgeim mõõdetud aasta keskmine tulemus 17 cm sügavuselt kogutud mullavees), 35 cm sügavusel on pH 6,81 kogu seireperioodi üks kõrgeimatest mõõdetud tulemustest ja võrreldav eelmise, 2005.a. tulemusega.



**Joonis 21.** Mulla nõrgvee sulfaatse väevli sisaldus ja pH seireperioodil 1994-2006.

## 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.

Kuna 2006. aastal kogutud okkaproovid ei ole veel laborisse jõudnud, on aruandes toodud 2005. aasta tulemused. Vilsandi kompleksseirealal koguti männiokkad 3 erinevalt puult väljaspool püsiprooviruutu. Kompleksseire metoodika kohaselt analüüsitakse okaste toite- ja saasteainete sisaldust viimase aasta okastes. Saadud tulemusi võrreldakse samade elementide sisaldusega varisenud okastes. Vilsandi mändidel koguti ja analüüsiti käesoleval aastal ühe aasta vanuste okaste keemilist koostist kasvuperioodil aset leidvate muutuste selgitamiseks.

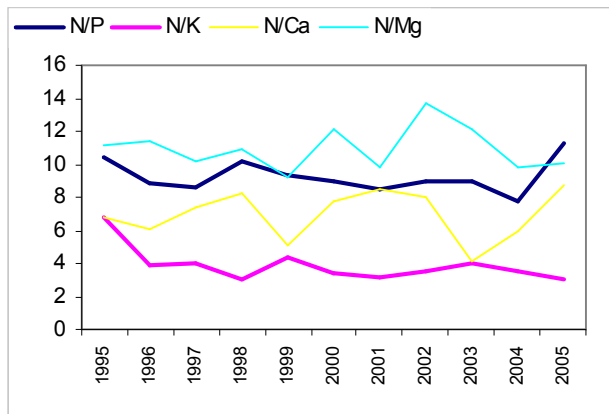
**Tabel 10. Männiokaste keskmine elementide sisaldus (mg/kg) Vilsandi kompleksseirealal 1994-2005. a.**

Element	Võrdlus andmed	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
N	<13000*	17595	16700	14340	15085	16340	16770	15996	18210	15620	14220	18972	17656
P	<1400*	1523	1603	1620	1749	1608	1790	1774	2160	1751	1591	2441	1572
S		176	422	383	615	625	531	565	691	702	820	809	535
Ca	<2000*	2702	2477	2368	2056	1970	3297	2049	2155	1943	3418	3184	2025
Mg	<700*	1530	1503	1254	1488	1494	1821	1322	1858	1136	1171	1933	1754
Na		70	88	34	48	48	94	31	273	63	57	189	135
K	<5000*	5348	2468	3651	3774	5395	3831	4701	5755	4464	3561	5472	5727
Cd		0.94	0.07	0.03	0.04	0.05	0.08	0.031	0.134	0.063	0.04	0.11	0.04
Cu	<4*	4.31	3.41	4.01	2.69	2.43	3.58	3.6	4.6	4.5	3	9.37	3.94
Mn	<50*	76	20	33	39	41	47	42	84	34	18	115	46
Pb		3.84	0.16	0.34	0.63	0.42	0.98	0.7	0.6	0.23	0.52	0.42	0.52
Zn	<20*	54	52	42	46	45	63	52	66	38	48	67	44
N/P	6-12**	11.5	10.4	8.8	8.6	10.2	9.4	9	8.4	8.9	9.5	7.8	11.2
N/K	1-3**	3.29	6.8	3.9	4	3	4.4	3.4	3.2	3.5	3.7	3.5	3.1
N/Ca	2-7**	6.51	6.7	6.1	7.3	8.3	5.1	7.8	8.5	8	6.9	6	8.7
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	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	1.2-2.0 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	0.94-1.06 1.02

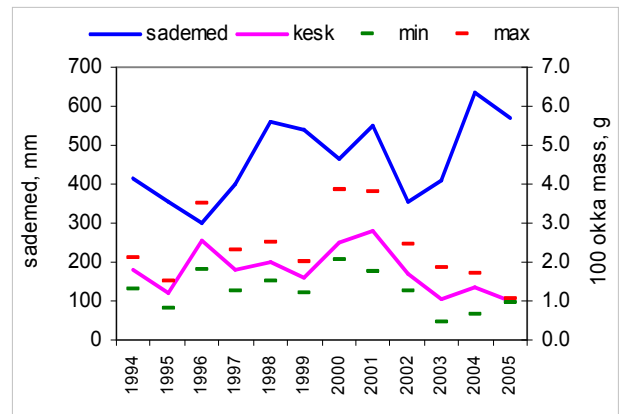


\* toiteelementide defitsiit männiokastes (van den Burg, 1985; Hüttl & Wisniewski, 1986 – tsiteeritud Beier & Rasmussen, 1993 järgi)

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



**Joonis 22.** Okaste põhiliste toitelementide suhte muutumine 1994-2005.



**Joonis 23.** 100 okka keskmine, väikseim ja suurim kaal võrreldes sademete hulgaga.

Vilsandi kompleksseirealal kasvavate mändide jooksva aasta okastes ei ole täheldatud põhiliste toiteelementide defitsiiti, välja arvatud vask ja mangaan (tabel 10). Enamasti on toiteelementide sisaldus siiski optimumi alumise piiri lähedal ega ole päris tasakaalus (joonis 22). 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 kogu seireperioodi jooksul, ilmneb väevli kontsentratsiooni kasv 176 mg/kg (1995) kuni 809 mg/kg 2004.a. (820 mg/kg 2003.a.), väevli sisalduse suurenemistrend on statistiliselt usaldusväärne ( $p < 0.01$ ). 2005. aastal väevli sisaldus okastes võrreldes eelneva 2004. aastaga on vähenenud ja on võrreldav 1999-2000. aasta kontsentratsioonidega. Seda on raske seletada arvestades vähenenud väevli emissioone ja depositsioone (joonis 7).

Nii 2005. 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. Jooniselt 23 selgub, et juhuslikult valitud okkaproovide keskmine kaal ei ole siiski otseses sõltuvuses sademete hulgast.

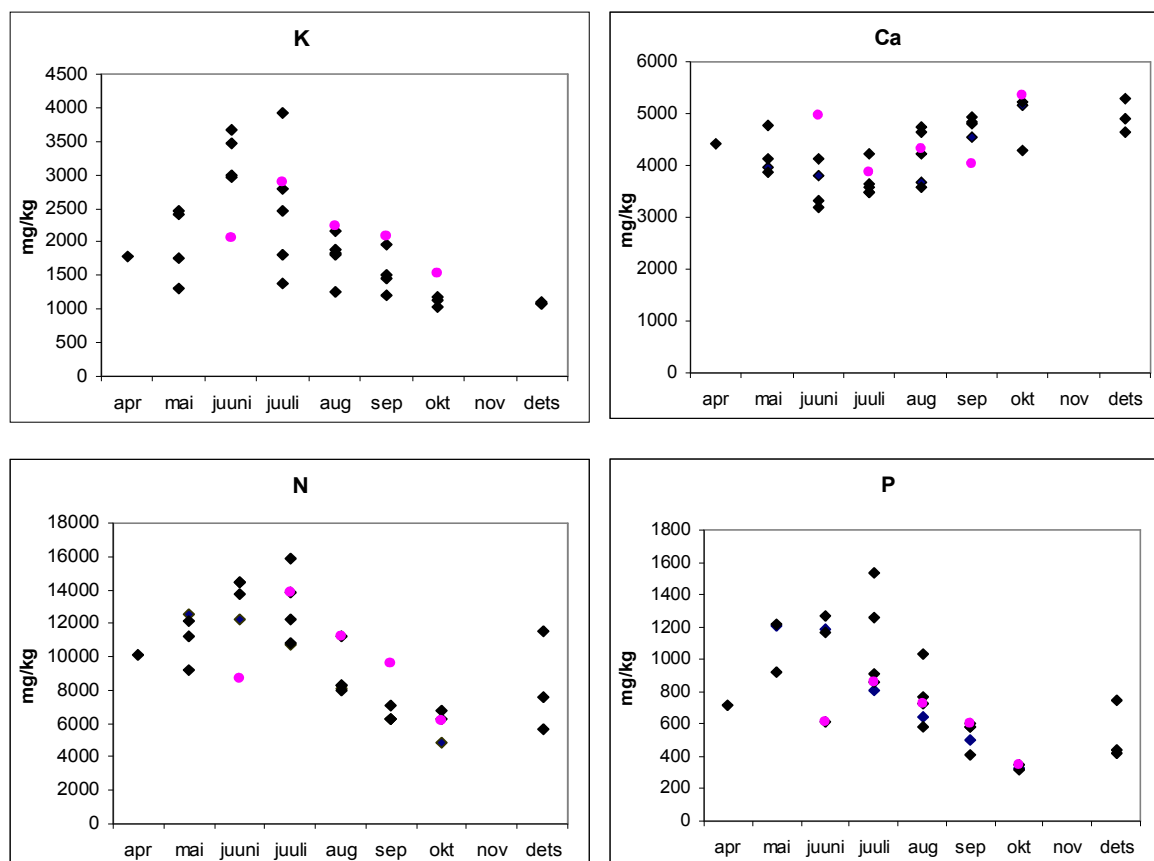


**Joonis 24.** Varisekoguja.

Vilsandi kompleksseirealal on 10 varisekogujat Ø 0.8m (joonis 24). 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 toiteelementide lisandumine laguahelasse on esitatud tabelis 11.

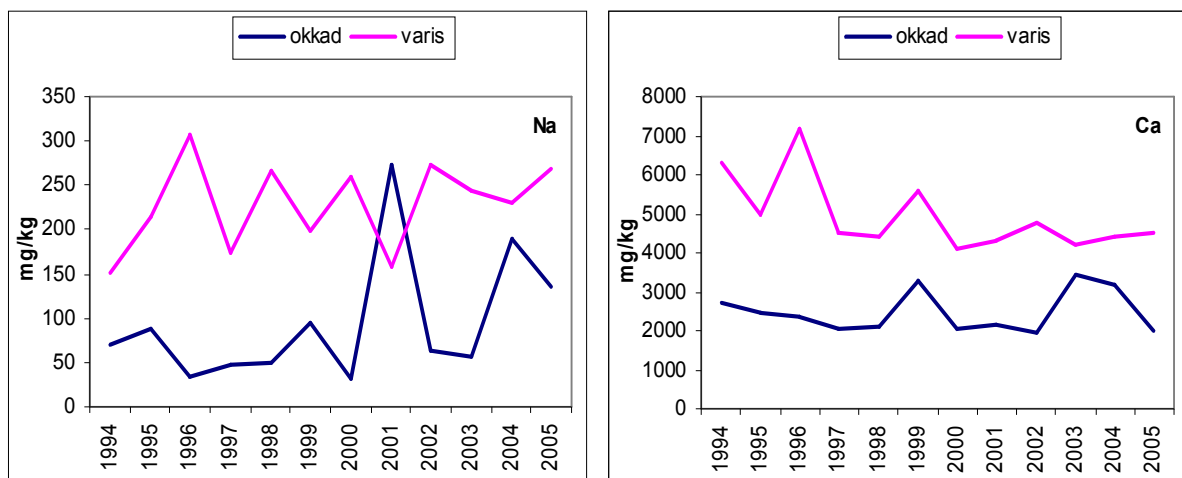
**Tabel 11.** Varisega deponeerunud okaste (kg/ha) ja neis sisaldunud peamiste toiteelementide koormus Vilsandi kompleksseirealal 1995 - 2005. a.

Period	Varise hulk	Okaste %	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	4.8
2005	6261	49	3059	30.3	1.9	1.8	13.8	3.4	6.6



**Joonis 25.** Okkavarise toiteelementide sisaldus olenevalt okaste langemise ajast 2000.-2005.a. 2005. aasta andmed on tähistatud roosaga.

Seni suurim varise hulk Vilsandi kompleksseirealal mõõdeti 2001. a. (6.7 t/ha), mil varise kogus oli ligi tonni võrra suurem kui varasemal rekordaastal 1995, mis paistis silma tormide poolest. 2005. aasta suurt varise hulka on mõjutanud ilmselt jaanuaritorm, mille tagajärjel murdus seirealal mitu suurt männioksa. Talvisest variseproovist suure osa moodustasid oksa tükikesed, puu koor jne. Okaste osakaal moodustas ca 1/3 kogu talvisest variseproovist. See näitab, et suur varise kogus pole tingitud okaste massilisest varisemisest. Varise hulk oli teisel poolaastal ligi 1.3 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.

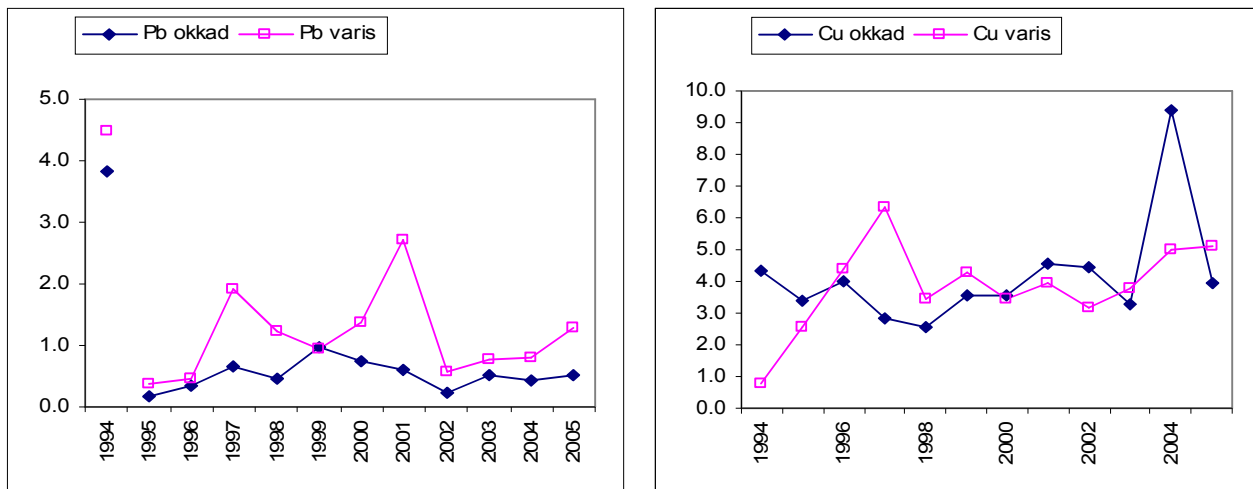


**Joonis 26.** Varise ja elusokaste Na ja Ca sisalduse võrdlus Vilsandi männikus.

Okaste toite- ja saasteainete sisaldus on seotud nende varisemise ajaga. Oluliste makroelementide (lämmastiku, fosfori ja kaaliumi) sisaldus okastes väheneb kasvuperioodi lõpu poole (joonis 25). 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 26). Olemasolevatest andmetest järelduste tegemisel tuleb aga arvestada, et kuni 1999.a. ei analüüsitud variseproove sesoonselt vaid 10 varisekoguaja aasta keskmisena. Sellest tulenevalt võib elementide liikumine kajastada nihkega. Analüüsitud elementidest olid varises usaldusväärselt kõrgemad

Ca, Na, Cd, Mn sisaldused. Elementide puu sisene ümberpaigutamine hõlmab ka vähenenud pliid ja vaske (joonis 27).



**Joonis 27.** 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 toiteelemendid 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 kaaluvad ligikaudu 1g. Alates 1995. aastast asetati igal sügisel varise ja kõdukihti 12 eelnevalt kaalutud ja võrkkottidesse õmmeldud tselluloosiriba.

**Tabel 12.  $\alpha$ -tselluloosi aastase lagunemiskatse keskmine massikao protsent 1995-2006.a.**

Koht \ Algusaasta	Varisekihis	Kõdukihis
<b>1995/1996</b>	84,7	86,1
<b>1996/1997</b>	100	100
<b>1997/1998</b>	89,9	99,4
<b>1998/1999</b>	86,2	100
<b>1999/2000</b>	100	100
<b>2000/2001</b>	97,6	-
<b>2001/2002</b>	94,6	-
<b>2002/2003</b>	61,6	-
<b>2003/2004</b>	95,9	-
<b>2004/2005</b>	91,9	
<b>2005/2006</b>	98,8	
<b>keskmine %</b>	91,0	97,1

Katsetulemused näitavad, et kõdukihis oli lagunemine kiirem kui varisekihis (tabel 12) ja esimese aasta jooksul lagunes standardne tselluloosiproov kõdukihis ligi 100 protsendiliselt. Seetõttu on edaspidi piiratud käsiraamatus toodud metoodikaga ja asetatud proovid igal sügisel aastaks varisekihti lagunema (joonis 28). 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 12)

### 2.2.2. Okkavarise lagundustulemused

Alates 1994. aastast on Vilsandi kompleksseirealale regulaarselt igal sügisel asetatud 12 männiokka lagunemisproovi (joonis 28). Selleks kaalutakse 1g okkaid, õmmeldakse need nailonist võrkkottidesse, asetatakse metsas mulla püsiprooviala samblapinnale ja kaetakse



**Joonis 28.** Okkavarise lagunduskatse.

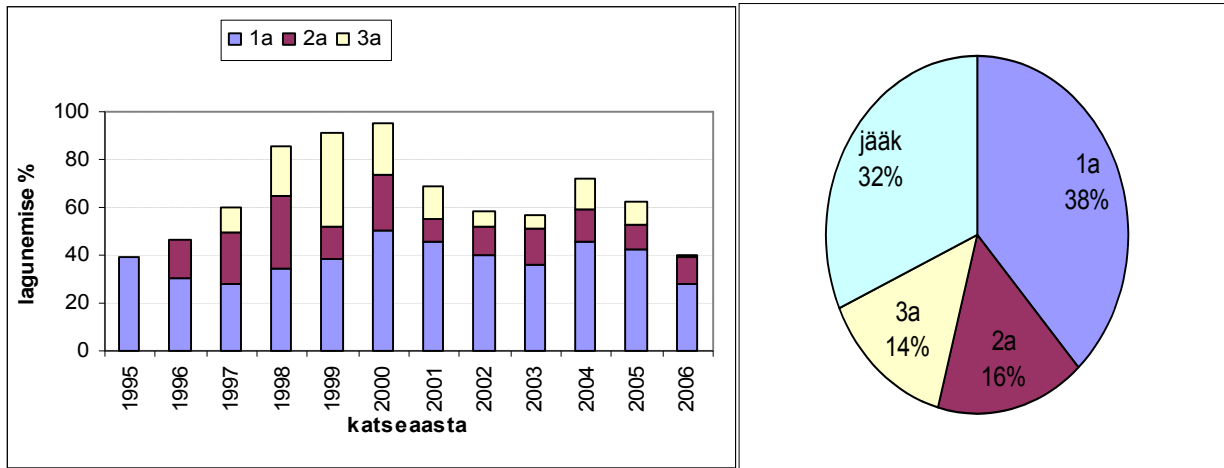
värske varisega. Proovid jäävad kolme seeriana maha vastavalt üheks, kaheks ja kolmeks aastaks, igas partiis 3 proovi. Samal ajal üles võetud proovid puhastatakse, kuivatatakse, kaalutakse ja arvutatakse kaalukadu protsentides (tabel 13).

Esimese aasta lõpuks on lagunenu keskmiselt kolmandik okaste esialgsest massist, kahe aasta järel on alles pool ja kolmeaastase lagunemisperioodi lõpuks on keskmine kaalukadu 75% standardsest 1 grammisest okkaproovi massist. Nagu näha jooniselt 29, on varise kaalukadu kõige suurem lagunemise algusfaasis (keskmiselt 39 %). Katse teise ja kolmanda lagundusaasta jooksul aset leidnud keskmine kaalukadu ei erine ja on ligikaudu 16-17%. 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 29). Võttes arvesse katse algusaastat, oli massikao % suurim 1996 a. maha pandud katses (98%) ja väikseim 59% 2002.a. maha pandud katses. Andmerea pikenedes on võimalik uurida lagunemise seoseid ilmastikutingimustega täpsemalt.

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

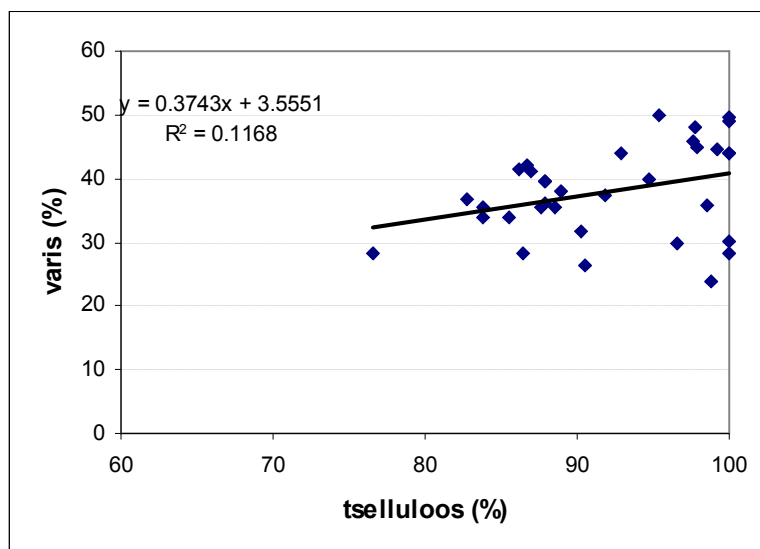
**Tabel 13. Okkavarise keskmine kaalukadu (%) olenevalt lagunemisajast Vilsandi kompleksseirealal 1994-2006**

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	59.1
2003/2004	45.5	56.4	
2004/2005	42.1		
2005/2006			
<b>Keskmine %</b>	<b>39.2</b>	<b>55.4</b>	<b>70.9</b>



**Joonis 29.** 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 30. 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 lagunenud proovi täpne massikadu esimesel aastal. Keskmistatud massikao protsendid asuvad siiski sirgel, mis lubab oletada lineaarset seost.



**Joonis 30.** Tselluloosi ja okkavarise massikao omavaheline seos ühe aasta pikkuse katseperioodi järel varisekihis (1995-2006).

### 2.3. Metsa kahjustus

Vilsandi kompleksseirealal on aastatel 1994-1997 ja 2005. aastal hinnatud 20-l statsionaarsel proovipuul okkakadu ja värvimuutust. 2006. aastal hinnati taas kahekümnel männil okkakadu (defoliatsioon) (%) (hinnatakse võrreldes vaadeldavat puud samas kasvukohas kasvava terve puuga), värvi muutust (diskoloratsioon) (%) (värvunud okaste osatähtsus võras), võra nähtavust. Selleks kasutati kompleksseire käsiraamatus "Manual for Integrated Monitoring, 1998" ja metsaseire käsiraamatus "Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forest, 1998" ja selle 2004.a. parandatud ning täiendatud versioonis kirjeldatud meetodeid.

Võra nähtavuse järgi jagunevad puud klassidesse järgmiselt (Manual..., 1998) :

- 1 – kogu võra hästi nähtav
- 2 – võra osaliselt nähtav (osa võrast selgelt nähtav)
- 3 – võra halvasti nähtav
- 4 – võra nähtav ainult tagant valgustatuse korral

Okkakao järgi jagunevad puud klassidesse vastavalt (Manual...Part II, 2004):

Okkakao klass:	Okkakao protsent (%)
0 – okkakadu puudub	0-10%
1 – nõrk okkakadu	11-25%
2 – mõõdukas okkakadu	26-60%
3 – tugev okkakadu	>60%
4 – surnud puu	100%

Värvimuutuse järgi jagunevad puud vastavalt:

Värvimuutuse klass:	Värvimuutusega okaste protsent (%)
0 – värvimuutuseta	0-10%
1 – nõrga värvimuutusega	11-25%
2 – mõõduka värvimuutusega	26-60%
3 – tugeva värvimuutusega	>60%
4 – surnud puu	



Võrdlusena on tabelis 14 esitatud varasemate aastate tulemused okkakao kohta. Võra nähtavuse, okkakao ja okaste värvi muutused on esitatud klassidena. Lisaks on tabelis esitatud puu kõrgus (m), võra kõrgus (m) ja võra laius (m).

**Tabel 14. Vilsandi kompleksseireala metsa kahjustuse hindamise statsionaarsete vaatluspuude seisund 2006. aastal**

Puu nr.	DBH cm	Kõrgus m	Võra kõrgus m	Võra laius m	2006		
					Nähtavus	Okka-kadu	Värvi muutus
1	30	16,5	9,5	5,3	2	0	0
2	27	18	5,5	4,1	1	0	0
3	30	18	8	5,3	1	0	0
4	38	15,5	8	6	1	1	0
5	30	16,5	10	4	1	0	0
6	29	15,5	7,5	3,7	1	0	0
7	27	12,5	6	2,5	1	0	1
8	31	15,5	10	5,5	1	0	0
9	27	15,5	10	4,7	2	0	0
10	30	18,5	9	5	1	1	0
11	37	18,5	12	6	2	1	0
12	30	16,5	10,5	4,5	2	1	1
13	34	18	9,5	6	2	0	0
14	36	17,5	12,5	6,2	1	0	0
15	32	17	11,5	6	2	1	0
16	44	18	11,5	6	1	0	0
17	30	17	8	4,7	2	0	0
18	29	18	10	4	1	0	0
19	30	16,5	9	4,7	2	2	1
20	31	18,5	6,3	4,7	2	0	1

\*DBH cm- puu ümbermõõt 130 cm kõrguselt

Vaatluspuude hinnangu põhjal võib märkida, et Vilsandil jäi suuremal osal vaatluspuudest okkakadu kuni 10% piiresse ja korraga küljes olevate okaste vanus oli kolm aastat. Mõnede vaatluspuude värvimuutusega okaste suurem osakaal võis olla tingitud sellest, et iga-aastane intensiivne vanemate okaste värvumine ja varisemine puude võradest ei olnud veel lõppenud. Samas on 1997. aastal teostatud uuringus leitud, et Vilsandi seirealal kasvavad männid on nakatunud juurepessu.

## 2.4. Taimkatte inventuur

2006. a. juulis teostati Vilsandi kompleksseirealal taimkatte kirjeldus selleks märgistatud püsialal 50x50 m. Püsiala jagati 25-ks 10x10 m ruuduks ning igaühes neist kirjeldati taimkatet kahel 1x1 m märgistatud ruudul. Ruudud on nummerdatud alates püsiala edelanurgast.

Igas ruudus määrati rohu- ja samblarinde iga liigi katvus protsentides ning liikide fertiilsus (viljakandvus) 3-pallises skaalas. Märkida võiks siiski kõrreliste, v.a. võnk-kastevars (*Deschampsia flexuosa*) katvuse üldist vähenemist rohurindes ning viheriku (*Scleropodium purum*) katvuse suurenemist ja palusambla (*Pleurozium schreberi*) katvuse vähenemist samblarindes. Edaspidi valmib põhjalikum võrdlus varasemate taimkatte kirjeldustega.

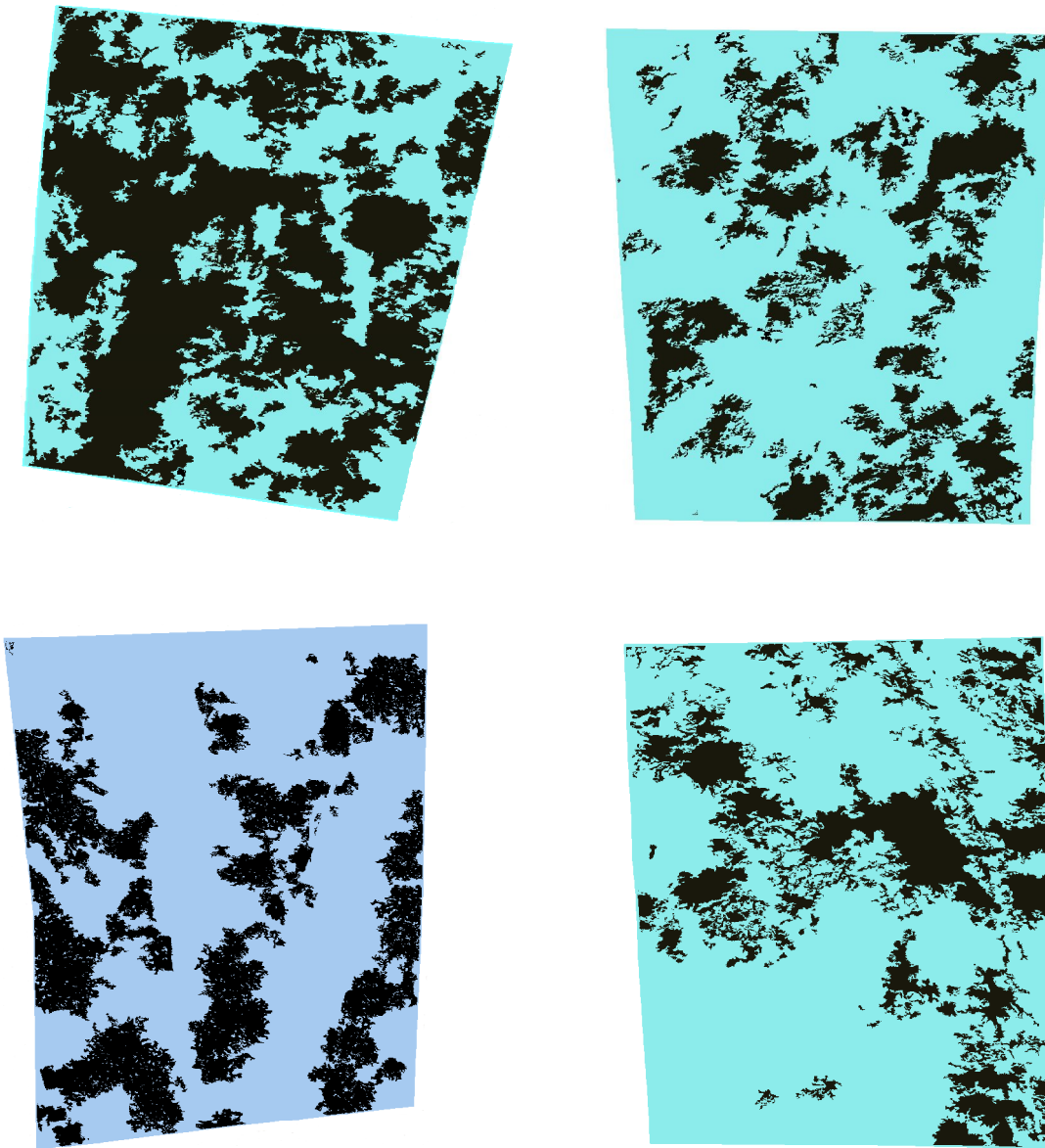
## 2.5. Tüve epifüüdid

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 pikaelisuse 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.

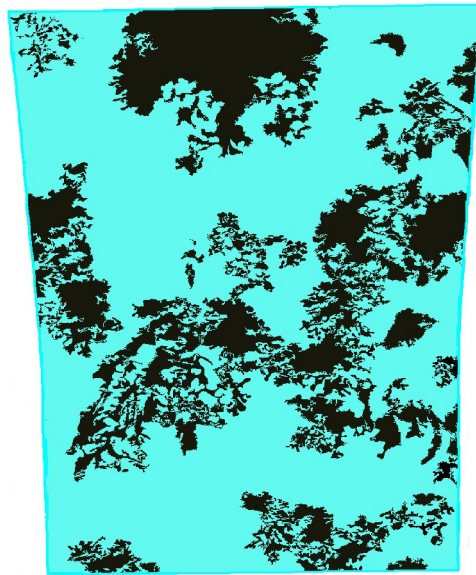
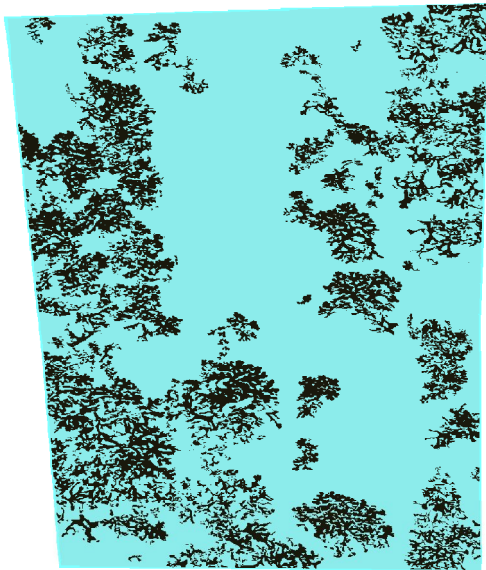
Võttes seire aluseks kompleksseire käsiraamatu on lihhenoindikatsiooni eesmärgiks peamiselt happelise depositsiooni mõju uurimine. Võra- ja tüvevee keemilisest koostisest ja aset leidnud muutustest oli juttu eespool.

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

2004.a. võeti kasutusele uus meetod epifüütsete samblike katvuse jälgimiseks, sama meetodit kasutati ka 2006. aastal. 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 siniseks (joonis 31). Lõpuks loendati eri värvi pikslid kokku ja arvutati hariliku hallsambliku katvuse protsent (24,3%).



**Joonis 31.** Vilsandi tüve epifüütide püsiruudud.



**Joonis 31.** Vilsandi tüve epifüütide püsiruudud.

## Kokkuvõte

2006. aasta jooksul koguti Vilsandi kompleksseirealal 22 nädalakeskmist avamaa sademete proovi (jaanuaris ei olnud võimalik väheste sademete tõttu proove koguda) ja 11 raskmetallide proovi. Sajuhulk 510 mm jäi mõnevõrra väiksemaks pikaajalisest keskmisest (582 mm) ja seoses vähesele sajuhulgale mõõdeti mitmete saasteainete kõrgeenenud kontsentratsioonid. Kuid võrreldes eelnenud 2005. aastaga mõõdeti mitmete saasteainete puhul isegi kuni poole võrra madalamad sisaldused ja ka depositsioonid.

Kogu seireperioodi jooksul on statistiliselt usaldusväärselt vähenenud elektrijuhtivus ( $p < 0,05$ ) (Mann-Kendalli mitteparameetiline trendianalüüs), mis iseloomustab lisandioonide hulka sademetes ja on seotud sademete hulgaga. Samuti on statistiliselt usaldusväärselt vähenenud ka sulfaadi, nitraadi ja kloriidi sisaldus (vastavalt  $p < 0,05$ ,  $p < 0,05$  ja  $p < 0,1$ ).

Sademed on reeglina happelisemad kütteperioodil (oktoobrist kuni märtsini) ja aluselised suvekuudel. Augustis mõõdeti kogu seireperioodi kõige aluselise avamaa sademete pH 7,99. Samas kuus mõõdeti lisaks väga kõrgeid ammoniumlämmastiku, sulfaadi, naatriumi ja kaaliumi kontsentratsioonid.

Seire tulemused näitavad, et sademete keemiline koostis muutub võraga kokku puutudes oluliselt, seda ka otsestest saasteallikatest kaugel asuval Vilsandil. Võrreldes avamaa sademetega on võravesi üldiselt happelisem, kuid veebruaris, juunis, juulis ja septembrist kuni detsembrini mõõdeti madalam pH hoopiski avamaa sademetel. Sarnaselt avamaa sademete sulfaatväävli sisalduse vähenemisega on ka võraveses täheldatav statistiliselt usaldusväärne  $\text{SO}_4\text{-S}$  alanemistrend ( $p < 0,1$ ) ning statistiliselt usaldusväärne kaaliumi ja ammoniumlämmastiku suurenemistrend (mõlemal  $p < 0,1$ ).

Tüvevee hulk 0,24 mm moodustab tavapärasest 24% ja seoses väikeste sajuhulkadega on ainete sisaldused tüvevees väga kõrge. Kui tavaliselt on tüvevesi nii võraveest kui ka avamaa sademetest tunduvalt happelisem, siis 2006. aasta mai kuus mõõdeti tugevalt aluseline (pH 7,18) tüvevee pH. Vastupidiselt avamaa sademete elektrijuhtivusele on kogu seireperioodi jooksul (aastatel 1995-2006) tüvevee elektrijuhtivus statistiliselt usaldusväärselt suurenenud ( $p < 0,1$ ).

Mulla nõrgvett koguti mullalüsimetritega kahelt sügavuselt (17 cm ja 35 cm) aasta jooksul kokku 12 proovi. Võrreldes eelmise, 2005. aastaga suurenesid mulla nõrgvees kõikide anioonide (Cl, SO<sub>4</sub>,S, NO<sub>3</sub>,N) ja kationide (K, Ca, Mg, Na) kontsentratsioonid mõlemal mõõtmistasemel. Samas aga võrreldes kogu seireperioodi andmeid, on märgata sulfaadi kontsentratsioonide statistiliselt usaldusväärset vähenemist ( $p < 0,01$ ) 17 cm sügavusel.

## 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/>
- Anttila, P., Ojanen M., Puhakka M., Vuorisalo T ja Frey T., 1996. Globaalsed keskkonnaprobleemid. Turu Ülikool, Täiendkoolituskeskus. Tallinna Tehnikaülikool, Keskkonnatehnika Instituut. Eesti Loodusfoto, Tartu.
- 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.
- EKUK, 2005. Riikliku keskkonnaseire alamprogramm. Kompleksseire Vilsandil. Lepingulise töö nr M-13-1-2004/371 aruanne. Koostanud K.Pajuste. Tallinn 2005. Käsikiri keskkonnaministeeriumis.
- Frey J. & Frey T. 2004. Väävlü saastekoormuse muutustest Saare järve valgala loodusmaastikus: kompleksseire 1995 - 2003 tulemuste põhjal. Eesti Genfi 1979. aasta piiriülese õhusaaste kauglevi konventsioonis konverentsi ettekanne. <http://www.seiremonitor.ee>.
- 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 üüing 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. 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 Forest. 2004. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Part II. Visual Assessment of Crown Condition.
- 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).
- Jacob D. J., 1999. Introduction to Atmospheric Chemistry. Princenton University Press, Princenton, New Jersey. <http://www-as.harvard.edu/people/faculty/djj/book>.
- 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.
- Petersell, V., Ressar, H., Carlsson, M., Möttus, V., Enel, M., Mardla, A., Täht, K., 1997. Eesti mulla huumushorisoni geokeemiline atlas. Eesti Geoloogiakeskus. Rootsi Geoloogiateenistus. Tallinn-Uppsala, 75 lk.
- Piire ületav õhusaaste. 2005. Keskkonnaministeerium. Tallinna Pedagoogikaülikooli Ökoloogia Instituut. Toimetanud Maasikmets M., Valge J.
- Ratas U. & Nilson E 1997. Small Islands of Estonia. Landscape ecological studies. Institute of Ecology, Tallinn. 232 pp.
- Tamminen, P., Starr, M., Kubin, E. 2004. Element concentrations in boreal, coniferous forest humus layers in relation to moss chemistry and soil factors. Plant and Soil 259:51-58.
- 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.
- World Soil Resource Reports 94. Lectures notes on the major soils of the World. (P. Driessen, J. Deckers, O. Spaargaren, F. Nachtergaele. Eds). FAO of the UN. Rome, 2001. 334 p.