

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto

Leena Stenberg

**LAMMIN PÄÄJÄRVEN JA LAHDEN VESIJÄRVEN VESITASE:
MAANKÄYTÖN VAIKUTUS VALUNTAAN JA HAIHDUNTAAN**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytetyönä
tarkastettavaksi Espoossa 1.3.2007.

Työn valvoja: Professori Pertti Vakkilainen

Työn ohjaaja: TkT Teemu Kokkonen

Tekijä ja työn nimi : Leena Stenberg Lammin Pääjärven ja Lahden Vesijärven vesitase: maankäytön vaikutus valuntaan ja haihduntaan	
Päivämäärä : 1.3.2007	Sivumäärä : 85
Osasto : Rakennus- ja ympäristötekniikka	Professuuri : Vesitalous ja vesirakennus
Työn valvoja : Professori Pertti Vakkilainen	
Työn ohjaaja : TkT Teemu Kokkonen	
Avainsanat : Vesitase, maankäyttö, valunta, haihdunta, Pääjärvi, Vesijärvi	
<p>Työssä selvitetään Lammin Pääjärven ja Lahden Vesijärven vesitase ja arvioidaan, paljonko vettä tulee järviin eri maankäyttömuodoilta ja millainen vaikutus eri vuodenaajoilla on vesimääriin.</p> <p>Pääjärven valuma-alueen maankäyttöä luonnehtivat metsät, pellot ja suot. Järvisyys on sekä Pääjärven että Vesijärven yläpuolisella valuma-alueella pieni. Vesijärven valuma-alueen maankäytöstä n. 11 % on taajama-alueita, mikä on selkein ero alueiden maankäytön välillä.</p> <p>Pääjärven tulovalunnaksi saatiin keskimäärin 305-320 mm/a riippuen siitä, käytettiinkö laskentaan Pääjärveen laskevien jokien virtaamatietoja vai vesitaselaskelmia. Vesijärven tulovalunta oli keskimäärin 209 mm/a. Sadanta Pääjärven valuma-alueella oli vastaavana ajanjaksona keskimäärin 651 mm/a ja Vesijärven valuma-alueella 624 mm/a. Valuntaprosentiksi Pääjärven valuma-alueelle tuli siis n. 47-49 % ja Vesijärven valuma-alueelle n. 33 %.</p> <p>Maankäytön vaikutuksen arviointia varten tutkittiin myös muutamaa SYKE:n pientä valuma-alueita vertailualueina, jotta saatiin enemmän vaihtelua maankäytön jakaumaan. Vuositasolla tulovalunnan jakautuminen noudatti melko pitkälti maankäytön jakaumaa. Vuosisadannan lisääntyessä pelloilta tulevan valunnan osuus näytti kuitenkin kasvavan ja metsistä tulevan valunnan osuus vastaavasti vähenevän. Tulosten mukaan kuivina vuosina haihduntaa tapahtui suhteellisesti enemmän pelloilta ja sateisina vuosina puolestaan metsistä.</p> <p>Valunnan jakautuminen eri maankäyttömuotojen kesken vaihteli jonkin verran eri vuodenaikojen välillä. Tässä työssä vuosi jaettiin kahteen osaan. Joului...toukokuussa pelloilta tulevan valunnan osuus näytti olevan suurempi kuin kesä...marraskuussa. Metsistä tulevan valunnan osuus käyttäytyi päinvastoin. Vesijärven valuma-alueella tiiviiltä taajama-alueelta tulevan valunnan osuus korostui hieman kesä...marraskuussa.</p>	

Author and name of the thesis : Leena Stenberg

Water balance of Lake Pääjärvi and Lake Vesijärvi: the impacts of land use on inflow and evaporation

Date : 1.3.2007

Number of pages : 85

Department : Civil and
Environmental Engineering

Professorship : Water Resources

Supervisor : Professor Pertti Vakkilainen

Instructor : D.Sc. (Tech.) Teemu Kokkonen

Keywords : Water balance, land use, inflow, evaporation, Lake Pääjärvi, Lake Vesijärvi

In this study the water balance of Lake Pääjärvi in Lammi and Lake Vesijärvi in Lahti will be calculated and the amounts of inflow from different land use forms will be estimated from annual and seasonal perspective.

The drainage area of Lake Pääjärvi consists of forests, cultivated fields and peat bogs. About 11 % of the drainage area of Lake Vesijärvi is urban area and that is the major difference between the two drainage areas. The areal percentage of lakes is low in the drainage areas of both lakes.

The results show that the inflow to Lake Pääjärvi was on an average 305-320 mm/a depending on whether the results from the discharge data from the inflowing rivers or the water balance calculations were used. The inflow to Lake Vesijärvi was on an average about 209 mm/a. Precipitation in the same time period at Lake Pääjärvi drainage area was on an average 651 mm/a and at Lake Vesijärvi drainage area 624 mm/a. So the runoff coefficient was about 0,47...0,49 at Lake Pääjärvi drainage area and about 0,33 at Lake Vesijärvi drainage area.

To evaluate the impacts of land use, some of the small drainage areas monitored by the Finnish Environment Institute were also added to this study to get a wider scale of land use. The annual proportions of inflow from different land use forms followed pretty much the proportions of the land use characteristics. As the annual precipitation increased, the proportion of inflow from cultivated fields also seemed to increase and respectively the proportion of inflow from forests seemed to decrease. Therefore years with low precipitation indicated relatively more evaporation from cultivated fields and respectively in rainy years the evaporation from forests was greater.

There was also some seasonal variation in the results. In this study the year was divided in half. From December to May the proportion of inflow from cultivated fields seemed to be greater than from June to November, unlike the proportion of inflow from forests. In the drainage area of Lake Vesijärvi the proportion of inflow from the dense urban area was slightly greater in the period from June to November than in the period from December to May.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty TKK:n Vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorion. Työn rahoittajana toimivat Marjatta ja Eino Kollin säätiö sekä Maj ja Tor Nesslingin säätiö, joille suuret kiitokset taloudellisesta tuesta. Työ on osa Helsingin yliopiston ja TKK:n yhteistä hanketta, jossa selvitetään maankäytön ja ilmastonmuutoksen vaikutusta valuntaan ja ravinnehuuhtoumiin maaseutu- ja rakennetussa ympäristössä.

Työn valvojana toimi professori Pertti Vakkilainen ja ohjaajana TkT Teemu Kokkonen. Kiitän heitä molempia tuesta ja hyvistä neuvoista työn eri vaiheissa.

Helsingin yliopiston puolelta hankkeessa mukana olleita Marko Järivistä ja Eeva Huitua kiitän työtäni varten saamistani aineistoista ja avusta monenlaisten kysymysten kanssa. Haluan myös kiittää kaikkia muita tahoja, joilta sain aineistoa ja apua työn tekemiseen: Juha Keto ja Mira Kuparinen Vesijärvi II - projektista, Lauri Arvola ja Ilpo Hakala Lammin biologiselta asemalta, Paula Jäntti ja Juha Määttä Lahden tiede ja yrityspuisto Oy:stä sekä useat ihmiset Lahti Vesi Oy:stä ja SYKE:stä. Tärkeässä roolissa olivat myös Ilmatieteen laitoksen rasterisäädata ja CORINE Land Cover 2000 – projektin maankäyttödata, jotka molemmat sain käyttööni professori Ari Jolmalta, jolle myös suuret kiitokset.

Lisäksi haluan kiittää vesilaboratorion henkilökuntaa, etenkin tutkijoita Nora Sillanpäättä ja Hanne Lainetta sekä professori Tuomo Karvosta avusta ja ideoista. Kiitokset myös Ainolle ja Erjalle sekä Outille ja Eevalle työtilan jakamisesta.

Lopuksi haluan vielä kiittää Jasonia tuesta ja ymmärryksestä kotona sekä myös avusta kuvien tekemisessä.

Espoossa 28.2.2007

Leena Stenberg

SISÄLTÖ

KUVALUETTELO	7
TAULUKKOLUETTELO	10
SYMBOLILUETTELO.....	12
1 JOHDANTO.....	14
1.1 Vesitase.....	14
2 TUTKIMUSVALUMA-ALUEET.....	16
2.1 Pääjärvi	16
2.1.1 Pääjärven valuma-alueen maankäyttö.....	17
2.2 Vesijärvi.....	19
2.2.1 Vesijärven valuma-alueen maankäyttö	20
2.3 Maaperä tutkimusvaluma-alueilla	22
3 SADANTA.....	24
3.1 Sadannan mittaus ja mittausten korjaus.....	24
3.2 Sadanta järvellä	25
3.3 Sadanta-aineistot	26
3.3.1 Rasteriaineisto.....	26
3.3.2 Tutkimusvaluma-alueiden aineistot	26
4 HAIHDUNTA.....	28
4.1 Haihdunta-arviot tutkimusalueille.....	28
4.2 Haihdunnan mittaus.....	29
4.2.1 Class A – mittaukset.....	29
4.2.2 Mittaukset Pääjärvellä.....	31
4.2.3 Class A –haihduntamittausten korjaaminen	32
4.3 Järvihaihdunnan laskenta.....	33
4.3.1 Nettosäteilyn arviointi.....	35
4.3.2 Veteen/vedestä siirtyvän lämpövuon arviointi	36
4.3.3 Lähtötiedot järvihaihdunnan laskentaan.....	37
4.3.4 Järvihaihdunnan laskennan tulokset.....	38
5 VALUNTA	40
5.1 Virtaaman mittaaminen	40

5.2	Valunnan määrään ja ajankohtaan vaikuttavat tekijät.....	41
5.2.1	Valunta taajama-alueilla.....	43
6	VARASTON MUUTOS.....	45
6.1	Varaston muutoksen arviointi Pääjärvelle	45
6.2	Varaston muutoksen arviointi Vesijärvelle.....	46
7	TULOVALUNTA - TULOKSET.....	50
7.1	Pääjärven tulovalunta	50
7.2	Vesijärven tulovalunta.....	52
7.3	Pääjärven ja Vesijärven tulovalunnan vertailu.....	54
7.4	Tulovaluntaan vaikuttavat komponentit	54
8	MAANKÄYTÖN VAIKUTUS VALUNTAAN JA HAIHDUNTAAN	57
8.1	Valunta Pääjärven osavaluma-alueilla.....	57
8.2	Maankäytön vaikutus tutkimusvaluma-alueilla	59
8.2.1	Vaikutukset vuosivaluntaan.....	60
8.2.2	Vaikutukset eri kuukausina	60
8.2.3	Ylivalunta ja sen ajoittuminen	63
8.3	Vertailualueet	65
8.3.1	Maankäytön vaikutus valuntaprosenttiin sateisina ja kuivina vuosina	66
8.3.2	Maankäytön vaikutus haihduntaan kuivina ja sateisina vuosina	70
8.4	Arviot eri maankäyttömuodoilta tulevista vesimääristä	71
8.4.1	Vuodenaikojen vaikutus.....	76
9	YHTEENVETO JA POHDINNAT.....	80
	LÄHDELUETTELO.....	82

KUVALUETTELO

<i>Kuva 1. Tutkimusvaluma-alueiden sijainti.....</i>	<i>16</i>
<i>Kuva 2. Pääjärven osavaluma-alueet.</i>	<i>17</i>
<i>Kuva 3. Pääjärven valuma-alueen maankäyttö.....</i>	<i>18</i>
<i>Kuva 4. Vesijärveen tulevat ja sieltä poistuvat vedet.</i>	<i>20</i>
<i>Kuva 5. Vesijärven valuma-alueen maankäyttö. © SYKE (osittain © MMM, MML, VRK).....</i>	<i>21</i>
<i>Kuva 6. a) Vesijärven koko valuma-alueen ja b) Vesijärven yläpuolisen valuma-alueen maankäyttö prosentteina.</i>	<i>22</i>
<i>Kuva 7. Maaperä Pääjärven valuma-alueella. © SYKE, GTK.....</i>	<i>23</i>
<i>Kuva 8. Maaperä Vesijärven valuma-alueella. © SYKE, GTK.....</i>	<i>23</i>
<i>Kuva 9. Keskimääräinen korjattu sadanta Pääjärven ja Vesijärven valuma-alueilla rasteriaineiston mukaan vuosina 1971 - 2000.....</i>	<i>27</i>
<i>Kuva 10. Vestolassa ja Rokkilassa mitatut Class A - haihdunnan päivittäiset arvot vuosina 1971-1974.</i>	<i>30</i>
<i>Kuva 11. Päivittäiset haihdunta-arvot heinäkuussa vuosina 1971 - 1974 Vestolassa Class A - astialla ja Pääjärvellä lautalla mitattuna.....</i>	<i>31</i>
<i>Kuva 12. Haihdunta Pääjärvellä vuonna 1971.....</i>	<i>38</i>
<i>Kuva 13. Haihdunta Pääjärvellä vuonna 1972.....</i>	<i>39</i>
<i>Kuva 14. Haihdunta Pääjärvellä vuonna 1973.....</i>	<i>39</i>
<i>Kuva 15. Haihdunta Pääjärvellä vuonna 1974.....</i>	<i>39</i>
<i>Kuva 16. Peltoprosentin vaikutus suhteelliseen ylivalumaan Mustosen ja Käiteran mukaan (Mustonen 1965).</i>	<i>42</i>
<i>Kuva 17. Pääjärven varastotilavuus S syvyyden z funktiona (Hertta).</i>	<i>45</i>
<i>Kuva 18. Pääjärven varastotilavuus S syvyyden z funktiona järven ylimmissä kerroksissa.</i>	<i>46</i>
<i>Kuva 19. Enonselän varastotilavuus S_1 syvyyden z funktiona.....</i>	<i>47</i>
<i>Kuva 20. Kajaanselän varastotilavuus S_2 syvyyden z funktiona.</i>	<i>47</i>
<i>Kuva 21. Enonselkä, ylimmät kerrokset.....</i>	<i>48</i>
<i>Kuva 22. Kajaanselkä, ylimmät kerrokset.....</i>	<i>49</i>
<i>Kuva 23. Vesijärven laskettu varastotilavuus eri syvyyksillä ylimmissä kerroksissa.....</i>	<i>49</i>

<i>Kuva 24. Pääjärveen laskevien jokien virtaamamittausten perusteella ja vesitaseen avulla lasketut tulovaluntakeskiarvot vuosina 1973 - 1978 ja 1981 - 1986.</i>	51
<i>Kuva 25. Pääjärveen laskevien jokien virtaamamittausten perusteella ja vesitaseen avulla lasketut tulovalunnat sekä korjattu sadanta vuosina 1973 - 1999.</i>	52
<i>Kuva 26. Vesijärven keskimääräinen tulovalunta vuosilta 1981 ja 1985 - 1999.</i>	53
<i>Kuva 27. Vesijärven sadanta ja valunta vuosina 1981 ja 1985-1999.</i>	53
<i>Kuva 28. Pääjärven tulovalunnan laskentaan vaikuttavat komponentit vuosina 1972-1999.</i>	54
<i>Kuva 29. Vesijärven tulovalunnan laskentaan vaikuttavat komponentit vuosina 1981 ja 1985-1999.</i>	55
<i>Kuva 30. Keskimääräinen valunta kuukausittain Pääjärven osavaluma-alueilla vuosina 1973-1978 ja 1981-1986 (yht. 12 vuotta).</i>	58
<i>Kuva 31. Sadannan vaikutus Haarajoen valuma-alueen valuntaprosenttiin.</i>	58
<i>Kuva 32. Sadannan vaikutus Löyttynojan valuma-alueen valuntaprosenttiin.</i>	59
<i>Kuva 33. Suon ja metsän määrän vaikutus vuosivaluntaan.</i>	60
<i>Kuva 34. Peltoprosentin vaikutus maaliskuun (vasemmalla) ja kesäkuun (oikealla) valuntaan.</i>	61
<i>Kuva 35. Metsän osuuden vaikutus syyskuun valuntaan.</i>	61
<i>Kuva 36. Suon osuuden vaikutus maaliskuun (vasemmalla) ja kesäkuun (oikealla) valuntaan.</i>	62
<i>Kuva 37. Metsän osuuden vaikutus maalis-, huhti- ja toukokuun yhteenlaskettuun valuntaan.</i>	63
<i>Kuva 38. Peltoprosentin vaikutus koko vuoden ylivalunnan ja kevätylivalunnan keskimääräiseen sattumisajankohtaan.</i>	64
<i>Kuva 39. Metsän ja pellon osuuden vaikutus kevätylivaluntaan Pääjärven osavaluma-alueilla.</i>	65
<i>Kuva 40. Pelto- ja metsäprosentin vaikutus valuntaprosenttiin vuonna 1975 (sadanta 429 - 450 mm/a).</i>	68
<i>Kuva 41. Pelto- ja metsäprosentin vaikutus valuntaprosenttiin vuonna 1976 (sadanta 362 - 445 mm/a).</i>	68
<i>Kuva 42. Pelto- ja metsäprosentin vaikutus valuntaprosenttiin vuonna 1984 (sadanta 630 - 806 mm/a).</i>	69

<i>Kuva 43. Metsän ja pellon osuuden vaikutus keskimääräiseen valuntaprocenttiin kuivina vuosina.....</i>	<i>69</i>
<i>Kuva 44. Metsän ja pellon osuuden vaikutus keskimääräiseen valuntaprocenttiin sateisina vuosina.</i>	<i>70</i>
<i>Kuva 45. Peltoprosentin vaikutus valuntaprocenttiin vuosisadannan ollessa pieni (400 mm). Regressiosuora on piirretty Pääjärven osavaluma-alueiden ja vertailualueiden avulla.</i>	<i>72</i>
<i>Kuva 46. Pääjärven järvihaihduntaa vastaavaksi korjattu Class A vs. sadanta.....</i>	<i>72</i>
<i>Kuva 47. Valunnan osuudet eri maankäyttömuodoilta sadannan P eri arvoilla sekä maankäytön jakauma Pääjärven valuma-alueella.</i>	<i>74</i>
<i>Kuva 48. Valunnan osuudet eri maankäyttömuodoilta vuositasolla ja maankäytön jakauma Vesijärven valuma-alueella sadannan ollessa 600 mm/a.</i>	<i>75</i>
<i>Kuva 49. Pellon osuuden vaikutus valuntaprocenttiin kesä...marraskuussa.</i>	<i>76</i>
<i>Kuva 50. Valunnan osuus eri maankäyttömuodoilta eri vuodenaikoina Pääjärven valuma-alueella.....</i>	<i>77</i>
<i>Kuva 51. Valunnan osuudet eri maankäyttömuodoilta eri vuodenaikoina Vesijärven valuma-alueella.....</i>	<i>78</i>

TAULUKKOLUETTELO

<i>Taulukko 1. Keskimääräiset vesitaseen komponenttien arvot Pääjärven ja Vesijärven lähialueilla vuosina 1961 - 1990 (Hyvärinen et al. 1995).</i>	15
<i>Taulukko 2. Pääjärven valuma-alueen ja osavaluma-alueiden maankäyttö.</i>	18
<i>Taulukko 3. Keskimääräinen avovesikauden järvihaihdunta 1961 - 1990 (Hyvärinen et al. 1995).</i>	29
<i>Taulukko 4. Vestolassa mitatut Class A - haihdunnan kuukausikeskiarvot vuosilta 1968 - 1990 (Järvinen & Kuusisto 1995).</i>	30
<i>Taulukko 5. Pääjärven lauttahaihdunnan ja Vestolan Class A - haihdunnan keskimääräiset päivittäiset arvot vuosina 1971 - 1974 eri kuukausille.</i>	32
<i>Taulukko 6. Korjauskertoimet eri kuukausille Class A - arvojen korjaamiseksi järvihaihduntaa vastaavaksi.</i>	32
<i>Taulukko 7. G_n ja R_n:n arvot Pääjärvellä kuukausittain vuonna 1970 (Elomaa 1977).</i>	37
<i>Taulukko 8. Valuntasuureisiin vaikuttavat tekijät (muokattu Mustonen 1965).¹</i>	41
<i>Taulukko 9. Vesijärven selkien tiedot numeroina (muokattu Keto & Sammalkorpi 1995).</i>	48
<i>Taulukko 10. Vesitaseen komponentit Pääjärven ja Vesijärven yläpuolisella valuma-alueella vuosina 1981, 1985-1993 ja 1996-1999 (yht. 14 vuotta).</i>	54
<i>Taulukko 11. Tulovalunnan muutoksen vaikutus Pääjärven tulovalunnan laskentaan vaikuttaviin komponentteihin.</i>	55
<i>Taulukko 12. Tulovalunnan muutoksen vaikutus Vesijärven tulovalunnan laskentaan vaikuttaviin komponentteihin.</i>	56
<i>Taulukko 13. Keskimääräiset valunnat Pääjärven osavaluma-alueilla vuosina 1973 - 1978 ja 1981 - 1986 (yht. 12 vuotta).</i>	57
<i>Taulukko 14. Keskimääräinen ylivalunta ja sen ajoittuminen Pääjärven osavaluma-alueilla vuosina 1973 - 1978 ja 1981 - 1986.</i>	63
<i>Taulukko 15. Vertailualueiden pinta-alat sekä metsä- ja peltoprosentit (Seuna 1983; Vuorenmaa et al. 2002).</i>	66
<i>Taulukko 16. Korjatut sadannat [mm/a] eri alueilla tarkasteluvuosina.</i>	67
<i>Taulukko 17. Arvioidut valuntakertoimet eri maankäyttömuodoille eri sadannoilla.</i>	73

<i>Taulukko 18. Valunnan osuudet eri maankäyttömuodoilta vuositasolla Pääjärven valuma-alueella sadannan eri arvoilla.....</i>	<i>74</i>
<i>Taulukko 19. Valunnan osuudet vuositasolla eri maankäyttömuodoilta Vesijärven valuma-alueella sadannan ollessa 600 mm/a.....</i>	<i>75</i>
<i>Taulukko 20. Vesijärven korjattu valunta-arvio eri maankäyttömuodoilta.....</i>	<i>76</i>
<i>Taulukko 21. Valuntakertoimet eri alueille.....</i>	<i>76</i>
<i>Taulukko 22. Valunta eri maankäyttömuodoilta eri vuodenaikoina Pääjärven valuma-alueella.....</i>	<i>77</i>
<i>Taulukko 23. Valunnan osuus eri maankäyttömuodoilta eri vuodenaikoina Pääjärven valuma-alueella.....</i>	<i>77</i>
<i>Taulukko 24. Valunta eri maankäyttömuodoilta eri vuodenaikoina Vesijärven valuma-alueella.....</i>	<i>78</i>
<i>Taulukko 25. Valunnan osuudet eri maankäyttömuodoilta eri vuodenaikoina Vesijärven valuma-alueella.....</i>	<i>78</i>
<i>Taulukko 26. Korjatut valunnat eri maankäyttömuodoilta eri vuodenaikoina Vesijärven valuma-alueella.....</i>	<i>79</i>

SYMBOLILUETTELO

R	[mm d ⁻¹]	valunta
P	[mm d ⁻¹]	sadanta
E	[mm d ⁻¹]	haihdunta
ΔS	[m ³ d ⁻¹]	varaston muutos
I	[m ³ s ⁻¹]	tulovirtaama
Q	[m ³ s ⁻¹]	menovirtaama
I _s	[m ³ s ⁻¹]	maanpäällinen tulovirtaama
I _u	[m ³ s ⁻¹]	maalainen tulovirtaama
P _l	[mm d ⁻¹]	sadanta järveen
Q _s	[m ³ s ⁻¹]	maanpäällinen menovirtaama
Q _u	[m ³ s ⁻¹]	maalainen menovirtaama
E _l	[mm d ⁻¹]	haihdunta järvestä
C _w	[-]	korjauskerroin vetenä tulevalle sadannalle
C _s	[-]	korjauskerroin lumena tulevalle sadannalle
T _a	[°C]	ilman lämpötila
f _w	[-]	veden osuus sadannasta
T _{low}	[°C]	ilman lämpötilan kriittinen alaraja
T _{upper}	[°C]	ilman lämpötilan kriittinen yläraja
P _w	[mm d ⁻¹]	vetenä tuleva sadanta
P _m	[mm d ⁻¹]	sademittarilla mitattu sadanta
P _s	[mm d ⁻¹]	lumena tuleva sadanta
E _p	[mm d ⁻¹]	potentiaalinen haihdunta
R _n	[W m ⁻²] tai [MJ m ⁻² d ⁻¹]	nettosäteily
G	[W m ⁻²] tai [MJ m ⁻² d ⁻¹]	lämpövuoto järveen/järvestä
γ	[mb °C ⁻¹] tai [kPa °C ⁻¹]	psykrometrivakio
u ₂	[m s ⁻¹]	tuulen nopeus 2 m:n korkeudessa
e _s	[mb] tai [kPa]	kyllästyneen vesihöyryn paine
Δ	[mb °C ⁻¹] tai [kPa °C ⁻¹]	vesihöyryn painekäyrän kaltevuus
u	[m/s ⁻¹]	tuulen nopeus
λ	[MJ kg ⁻¹]	latentti lämpö
Z	[m]	korkeusasema
T _s	[°C]	veden pintalämpötila
D	[mb] tai [kPa]	kyllästysvaja
T	[°C]	ilman lämpötila
RH	[%]	suhteellinen kosteus
A	[mm d ⁻¹]	haihduntaan käytettävissä oleva energia
α	[-]	albedo
S _n	[W m ⁻²] tai [MJ m ⁻² d ⁻¹]	lyhytaaltainen nettosäteily
S _t	[W m ⁻²] tai [MJ m ⁻² d ⁻¹]	kokonaislyhytaaltosäteily
L _n	[W m ⁻²] tai [MJ m ⁻² d ⁻¹]	pitkäaaltainen nettosäteily
f	[-]	pilvisyykserron
a _s	[-]	parametri pilvisyyksertoimen laskentaan
b _s	[-]	parametri pilvisyyksertoimen laskentaan

a_c	[-]	parametri pilvisyyskertoimen laskentaan
b_c	[-]	parametri pilvisyyskertoimen laskentaan
e'	[-]	nettoemissiivisyys
σ	[MJ m ⁻² °K ⁻⁴ d ⁻¹]	Stefan-Boltzmannin vakio
n/N	[-]	todellisten auringonpaistetuntien suhde teoreettisiin auringonpaistetunteihin
z	[m]	syvyys järven pinnasta lukien
p	[kPa]	ilmanpaine

1 JOHDANTO

Valuma-alueen vesitaseen tunteminen ja valunnan alkuperän määrittäminen on tärkeää arvioitaessa mm. järveen tulevaa ravinnekuormitusta. Tämän työn tavoitteena on selvittää kahden valuma-alueiltaan erityyppisen järven kokonaisvesitase sekä arvioida, kuinka suuri eri maankäyttömuodoilta tulevan valunnan osuus on ja miten valunnan määrä vaihtelee vuodenaajoista riippuen. Työ on osa laajempaa tutkimusta, jossa arvioidaan mm. maankäytön ja ilmastonmuutoksen vaikutusta valuma-alueilta tulevien ravinnehuuhtoumien määrään ja laatuun.

Tutkittavat alueet ovat Lammin Pääjärven sekä Lahden Vesijärven valuma-alueet. Alueet sijaitsevat maantieteellisesti lähellä toisiaan, mutta eroavat maankäytöltään etenkin taajama-alueiden osuudessa. Pääjärven valuma-alueella ei taajama-asutusta juurikaan ole, mutta Vesijärven rannalla sijaitsee lähes 100000 asukkaan Lahden kaupunki ja lisäksi valuma-alueella on myös muita pienempiä taajamia.

Aluksi esitellään tutkittavat alueet, niiden ominaisuudet ja vesitaseeseen vaikuttavat seikat. Sen jälkeen käsitellään yleisesti vesitaseen komponentteja sekä niihin vaikuttavia tekijöitä ja osittain myös tutkimusaineiston antamia tuloksia. Lopuksi tarkastellaan tulovalunnan tuloksia ja maankäytön vaikutusta tulovaluntaan ja haihduntaan sekä varsinaisten tutkimusalueiden että muutaman vertailualueen avulla.

1.1 Vesitase

Vesitaseen komponentteja ovat sadanta, valunta, haihdunta ja varaston muutos. Vesitaseen laskentaan käytetään yleensä yhtälöä (Hyvärinen 1986)

$$R = P - E - \Delta S, \quad (1)$$

jossa R on valunta, P korjattu sadanta, E kokonaishaihdunta ja ΔS varaston muutos. Kun kyseessä ovat pitkät aikasarjat, varaston muutos voidaan jättää huomioimatta (Hyvärinen et al. 1995). Tässä työssä varaston muutos on kuitenkin pyritty ottamaan huomioon, koska kuukausitasolla muutoksella on vielä merkitystä.

Järven vesitaseyhtälössä varaston muutos saadaan laskettua kaavalla (Kuusisto & Seppänen 1986)

$$\Delta S = I_s + I_u + P_l - (Q_s + Q_u + E_l), \quad (2)$$

jossa I_s on maanpäällinen tulovirtaama, I_u maanalainen tulovirtaama, P_l sadanta järveen, Q_s maanpäällinen menovirtaama, Q_u maanalainen menovirtaama ja E_l järvihaihdunta.

Yleensä maanpäällisten komponenttien osuus on suurin ja maanalaisten komponenttien osuus hyvin pieni lukuun ottamatta harju- ja suoalueiden järviä ja etenkin niitä järviä, joissa ei ole laskujokea. Ainakin Vesijärvellä maanalaisen tulovirtaaman osuus on merkittävä (Kuusisto & Seppänen 1986).

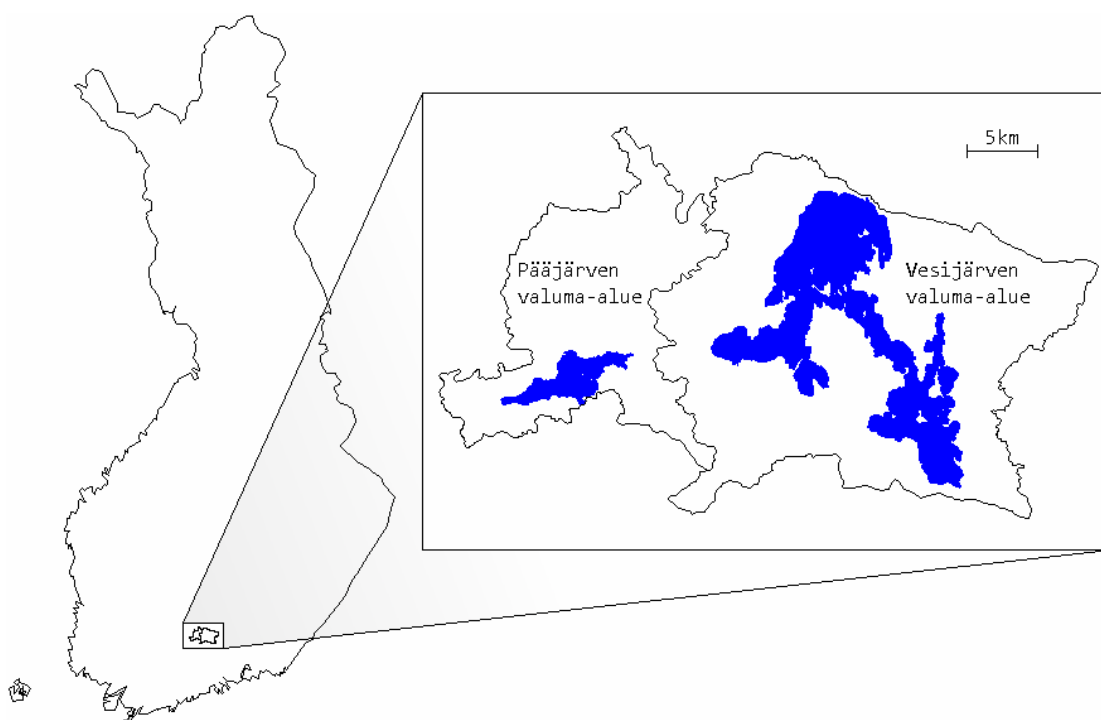
Jotta saataisiin jonkinlainen kuva vesitaseen peruskomponenttien suuruudesta tutkimusvaluma-alueilla, on taulukkoon 1 koottu vesitasekomponenttien keskimääräiset arvot vuosina 1961 - 1990 niiltä alueilta, joihin Pääjärvi ja Vesijärvi kuuluvat.

Taulukko 1. Keskimääräiset vesitaseen komponenttien arvot Pääjärven ja Vesijärven lähialueilla vuosina 1961 - 1990 (Hyvärinen et al. 1995).

	Alueen nro.	Korjattu sadanta [mm]	Haihdunta [mm]	Valunta [mm]
Pääjärvi	35.2.0	683	404	280
Vesijärvi	14.2.1	715	416	299

2 TUTKIMUSVALUMA-ALUEET

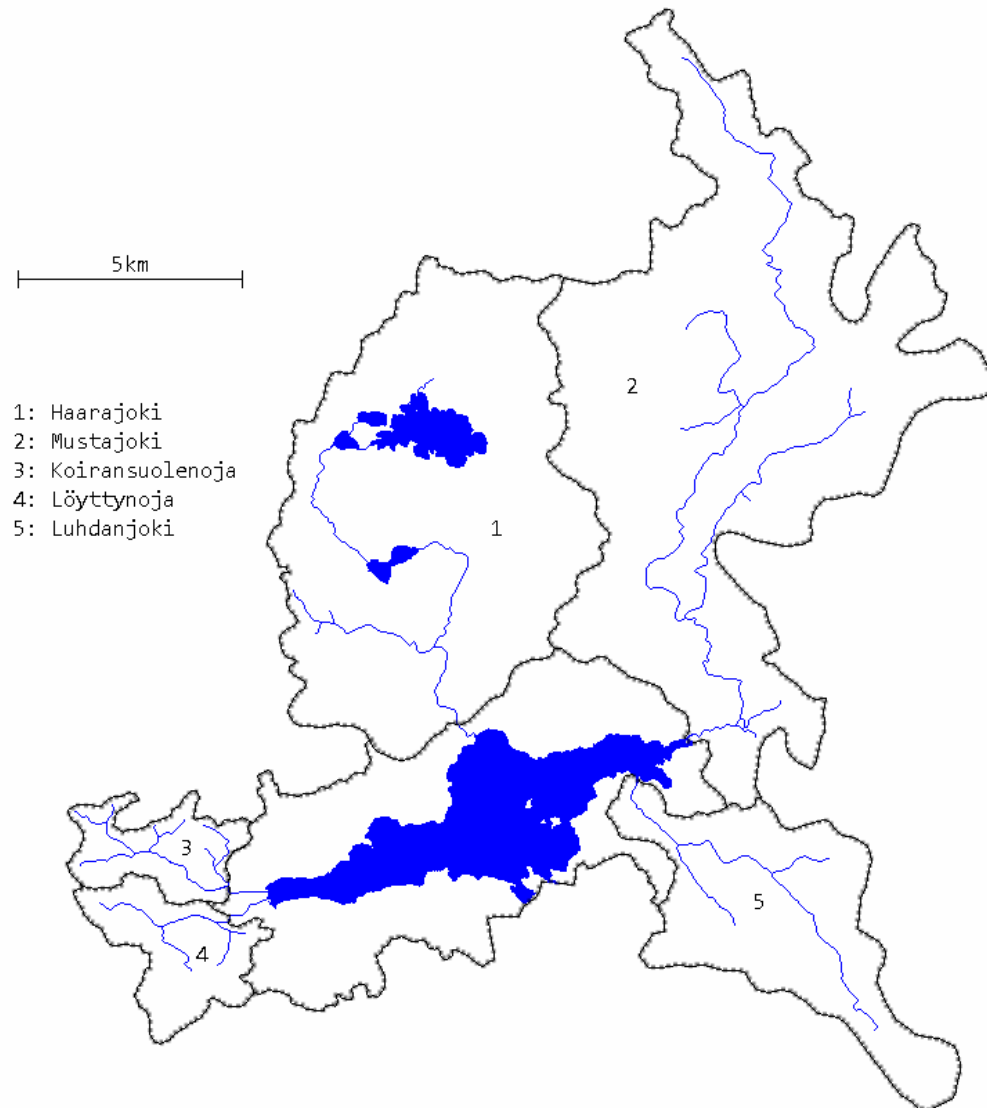
Pääjärven ja Vesijärven valuma-alueet sijaitsevat Etelä-Suomessa, n. 90 km Helsingistä pohjoiseen/koilliseen. Valuma-alueet sijaitsevat vierekkäin, mutta kuuluvat kuitenkin eri vesistöalueisiin. Pääjärvi sijaitsee Kokemäenjoen valuma-alueella, josta vesi kulkeutuu lopulta Pohjanlahteen. Vesijärvi puolestaan sijaitsee Kymijoen valuma-alueella, josta vesi kulkeutuu Suomenlahteen.



Kuva 1. Tutkimusvaluma-alueiden sijainti.

2.1 Pääjärvi

Pääjärvi sijaitsee Kokemäenjoen vesistön latva-alueilla ja tarkemmin Vanajaveden valuma-alueella. Järven pinta-ala on n. 13,4 km². Pääjärvi on suomalaisittain syvä järvi: keskisyvyys on n. 14,8 m ja suurin syvyys n. 85 m. Viipymä on keskimäärin n. 3,3 vuotta. Järveen laskee viisi isompaa jokea tai puroa, jotka muodostavat sen osavaluma-alueet: Mustajoki, Haarajoki, Luhdanjoki, Koiransuolenoja ja Löyttynoja (kuva 2). Vesi poistuu järvestä Teuronjokea pitkin. Pääjärven koko valuma-alueen pinta-ala on n. 212 km². Järven osuus koko valuma-alueesta on n. 6,3 % (Ruuhijärvi 1974; Herta-ympäristötietojärjestelmä 2006a).

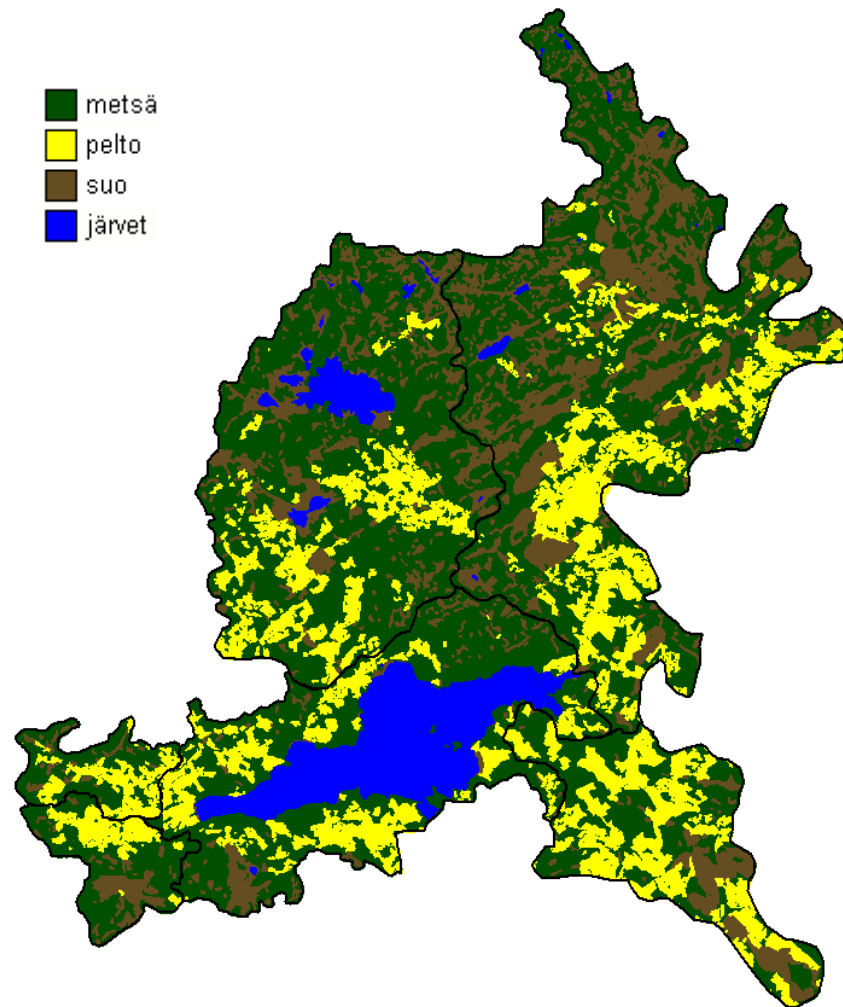


Kuva 2. Pääjärven osavaluma-alueet.

2.1.1 Pääjärven valuma-alueen maankäyttö

Pääjärven valuma-alue koostuu pääasiassa metsistä, pelloista ja soista. Asutusta alueella on melko vähän, koska Lammin keskustakin sijaitsee valuma-alueen ulkopuolella.

Osavaluma-alueiden maankäyttö selvitetiin kartta-aineiston perusteella. Kartta-aineistoista oli rajattu digitaaliseen muotoon pelto- ja suoalueet sekä järvet, joet ja purot. Pääjärven valuma-alueen maankäyttö on esitetty kuvassa 3. Eri maankäyttömuotojen pinta-alat laskettiin MapWindow – ohjelmaan tehdyllä lisäohjelmalla. Metsäalueita ei oltu erikseen rajattu, vaan niiden osuus oli pelto-, suo- ja järviolueiden erottamisesta jäänyt osuus osavaluma-alueen pinta-alasta.



Kuva 3. Pääjärven valuma-alueen maankäyttö.

Osavaluma-alueiden maankäyttö on esitetty tarkemmin taulukossa 2, josta ilmenee, että Luhdanjoen ja Koiransuolenojan valuma-alueilla peltoja on melko paljon muihin alueisiin verrattuna. Avosoita alueilla on melko vähän, mutta metsäisiä suoalueita on esim. Mustajoen valuma-alueella jo kohtalainen määrä. Haarakjoen valuma-alue erottuu muista suuremman järvisyyden osalta: alueesta 5,3 % on järviä, kun muilla alueilla järvien osuus on alle yhden prosentin suuruusluokkaa.

Taulukko 2. Pääjärven valuma-alueen ja osavaluma-alueiden maankäyttö.

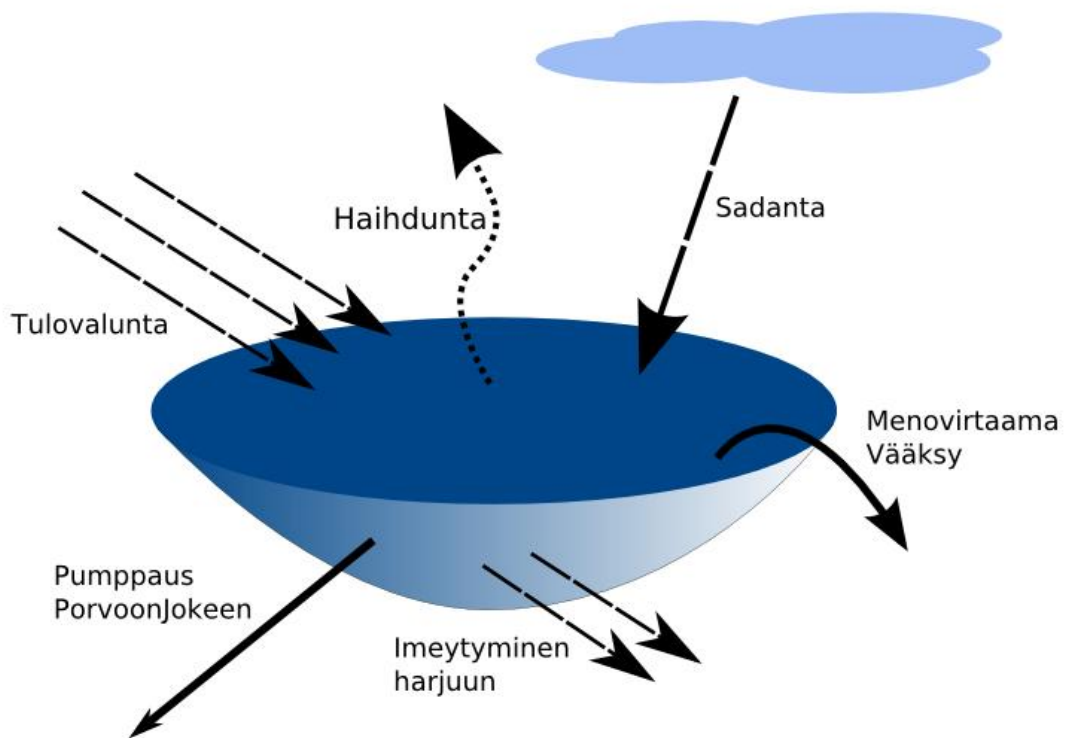
	Koko valuma-alue	Järven yläpuolinen valuma-alue	Mustajoki	Haarakjoki	Koiransuolenoja	Löyttynoja	Luhdanjoki	Suora valuma-alue
pinta-ala [km ²]	213,6	200,0	76,8	55,3	6,2	7,9	22,1	31,7
metsää	62,3 %	66,5 %	64,3 %	70,1 %	68,1 %	68,0 %	53,3 %	74,0 %
peltoa	15,8 %	16,9 %	13,9 %	12,1 %	26,5 %	14,6 %	33,1 %	19,8 %
metsäistä suota	12,4 %	13,3 %	19,5 %	11,6 %	5,0 %	14,0 %	9,5 %	5,4 %
avosuota	1,5 %	1,6 %	1,8 %	0,9 %	0,4 %	3,4 %	3,9 %	0,7 %
järviä	8,0 %	1,7 %	0,5 %	5,3 %	0,0 %	0,0 %	0,2 %	0,1 %

2.2 Vesijärvi

Vesijärvi sijaitsee Kymijoen valuma-alueella Salpausselkien välissä. Vesijärvi kuuluu Suomen 50 suurimman järven joukkoon (Kuusisto & Seppänen 1986). Vesijärven pinta-ala on n. 109 km² ja sen valuma-alueen pinta-ala on n. 512 km². Järven osuus koko valuma-alueesta on n. 21,3 %. Keskisyvyys Vesijärvessä on 6,0 m ja suurin syvyys 42 m. Järvi on jakautunut useaan selkään, joiden välillä on matalikkoja. Veden keskimääräinen viipymä vaihtelee eri selkien alueilla 0,7 ja 5,6 vuoden välillä. Koko Vesijärven viipymä on n. 5,4 vuotta (Keto & Sammalkorpi 1995).

Järveen laskee useita pieniä jokia ja puroja ja vesi poistuu järvestä Vääksynjokea ja -kanavaa pitkin. Lahti Vesi Oy hoitaa Vesijärven säännöstelyä Vääksyn säännöstelypadon avulla (Lahti Vesi Oy 2005). Vesijärven ympäristössä on Lahti Vesi Oy:n käyttämiä pumppaamoita, joista pumpataan pohjavettä juomavesikäyttöön. Luonnontilassa harjuista purkautuisi vettä Vesijärveen, mutta vedenpumpppauksen takia pohjaveden pinnat ovat laskeneet sen verran Jalkarannan ympäristössä, että suunta on siellä nyt toisinpäin eli Vesijärvestä purkautuu vettä pohjavesiin. Tilanteeseen vaikuttaa myös harjussa oleva kallioruhje, jonka vuoksi vettä myös ”katoaa” järvestä. Lahden ja Hollolan pohjavesialueista on tehty mallinnus, jonka tuloksia tässäkin työssä käytetään. Mallin avulla on arvioitu, että Vesijärvestä purkautuu harjuun vettä n. 13600 m³/d eli n. 0,16 m³/s (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2004).

Vesijärven tila on ollut heikko jo 1900-luvun alussa jolloin sitä kuormittivat mm. teollisuuden jätevedet. 1970-luvulla Vesijärvi oli Suomen saastunein järvi. Heikkoa tilaa yritettiin parantaa ratkaisulla, jossa puhdistettujakaan jätevesiä ei enää johdeta Vesijärveen (Keto & Sammalkorpi 1995). Vuonna 1976 valmistui Kariniemen luolapuhdistamo ja kalliotunneli (Lahti Vesi Oy 2005), jota pitkin Lahden kaupungin puhdistetut jätevedet alettiin johtaa Porvoonjokeen, joka sijaitsee kokonaan toisella valuma-alueella ja josta vedet lopulta päätyvät Itämereen. Ympäristölupa edellyttää, että virtaaman ollessa pieni, Porvoonjokeen johdetaan myös laimennusvettä, joka otetaan Vesijärvestä. Laimennusvesimäärät vaikuttavat jonkin verran Vesijärven vesitaseeseen, joten ne täytyy huomioida sitä laskettaessa. Lahti Vesi Oy tilastoi Porvoonjokeen johdettavia laimennusvesimääriä. Kuvassa 4 on esitetty Vesijärven kokonaistulovalunnan laskennassa huomioidut tulevat ja poistuvat vedet.

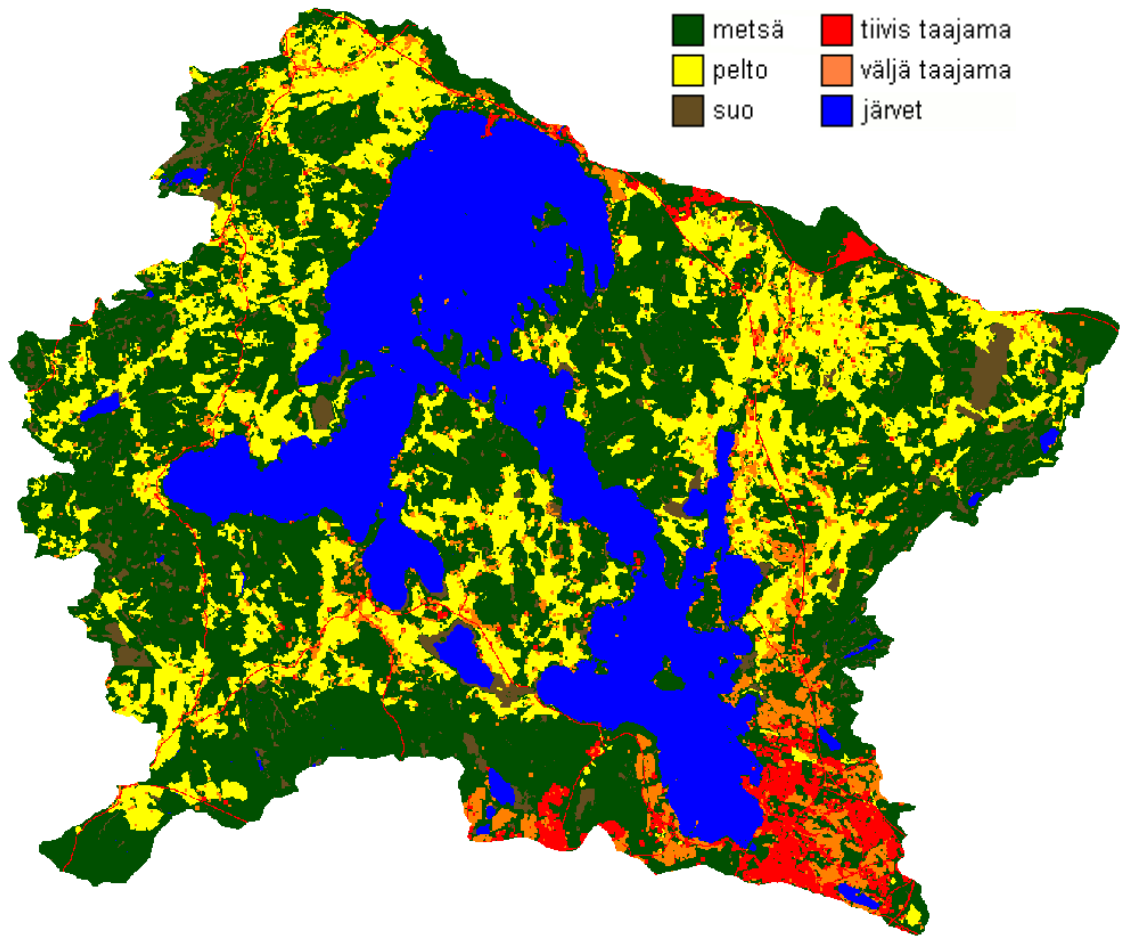


Kuva 4. Vesijärveen tulevat ja sieltä poistuvat vedet.

Vesijärvestä pumpataan vettä myös lauhdevedeksi Kymijärven voimalaitokselle. Lauhdevedet palautuvat kuitenkin järveen Joutjokea pitkin, joten ne eivät varsinaisesti vaikuta Vesijärven vesitaseseen. Vedet kuitenkin lämpenevät, mikä saattaa lisätä hieman haihduntaa. Koko järven kannalta haihdunnankaan lisääntyminen tuskin on merkittävää.

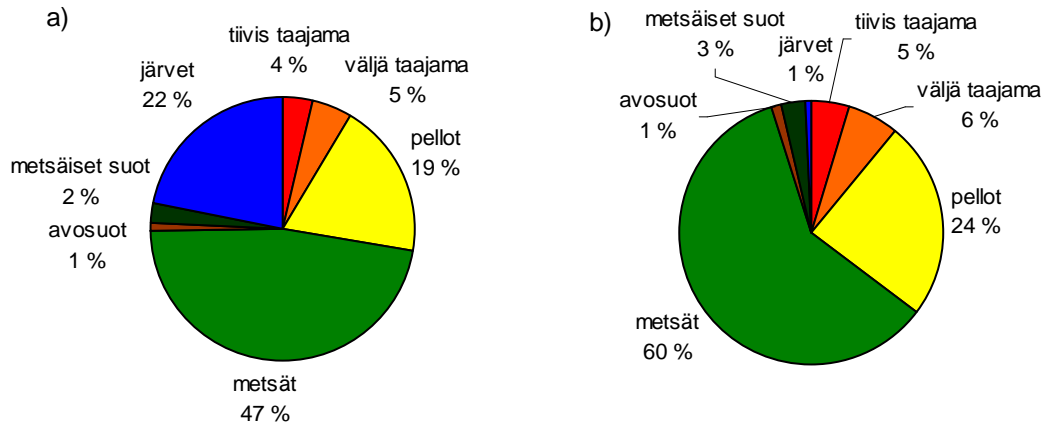
2.2.1 Vesijärven valuma-alueen maankäyttö

Vesijärven valuma-alueen maankäytön tarkasteluun oli käytettävissä Vesijärvi II –projektin maankäyttödataa, jossa oli rajattu mm. pellot ja taajama-alueet. Lisäksi oli käytössä rasteriaineisto, joka oli peräisin CORINE Land Cover 2000 -hankkeesta, jossa maankäyttö oli esitetty 25 m x 25 m rasterina. Aineistot antoivat hyvin samanlaisia tuloksia. Kuvassa 5 on esitetty Vesijärven valuma-alueen maankäyttö rasteriaineiston perusteella.



Kuva 5. Vesijärven valuma-alueen maankäyttö. © SYKE (osittain © MMM, MML, VRK)

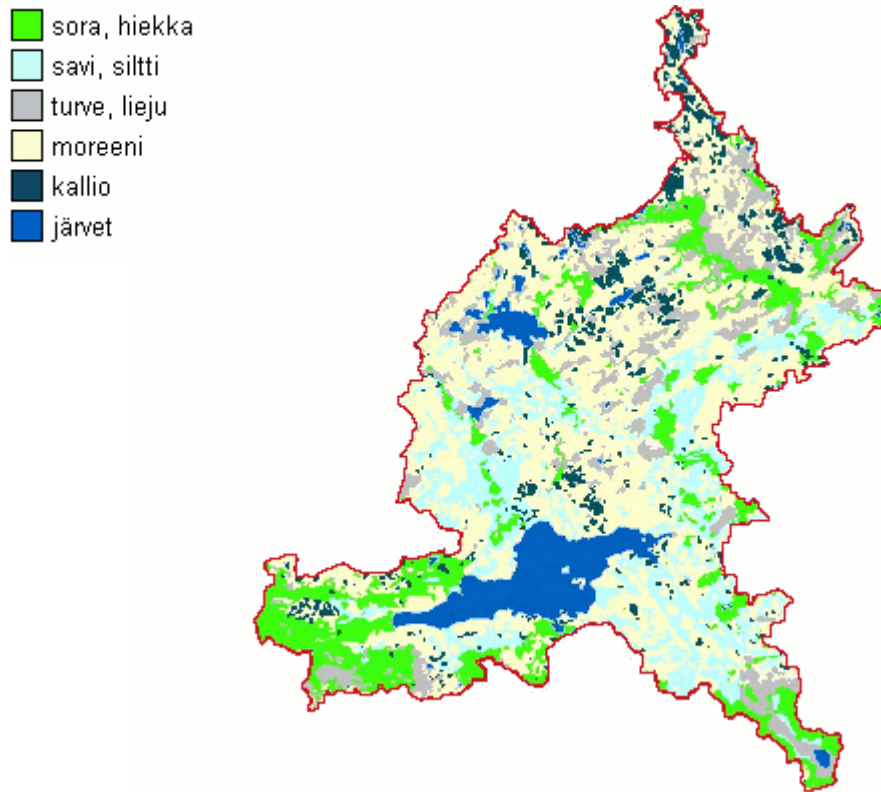
Vesijärvi valittiin toisena järvenä tähän tutkimukseen, koska sen valuma-alueesta vähintäänkin kohtalainen osuus on taajama-alueita, kuten kuvasta 6 selviää. Tämä piirre erottaa sen selkeästi Pääjärven valuma-alueesta. Suurimman osan taajama-alueesta muodostaa Lahden kaupunki, joka näkyy kuvassa 5 alueen kaakkoiskulmassa. Metsäalueen osuus on Vesijärven valuma-alueella hieman alhaisempi kuin Pääjärven valuma-alueella. Peltoja on Vesijärven valuma-alueella enemmän ja suoalueita puolestaan vähemmän kuin Pääjärven valuma-alueella. Vesijärvi vie koko valuma-alueesta huomattavasti suuremman osan kuin Pääjärvi omasta valuma-alueestaan, mutta järvien yläpuolisten alueiden järvisyys on molemmilla alueilla lähes yhtä pieni.



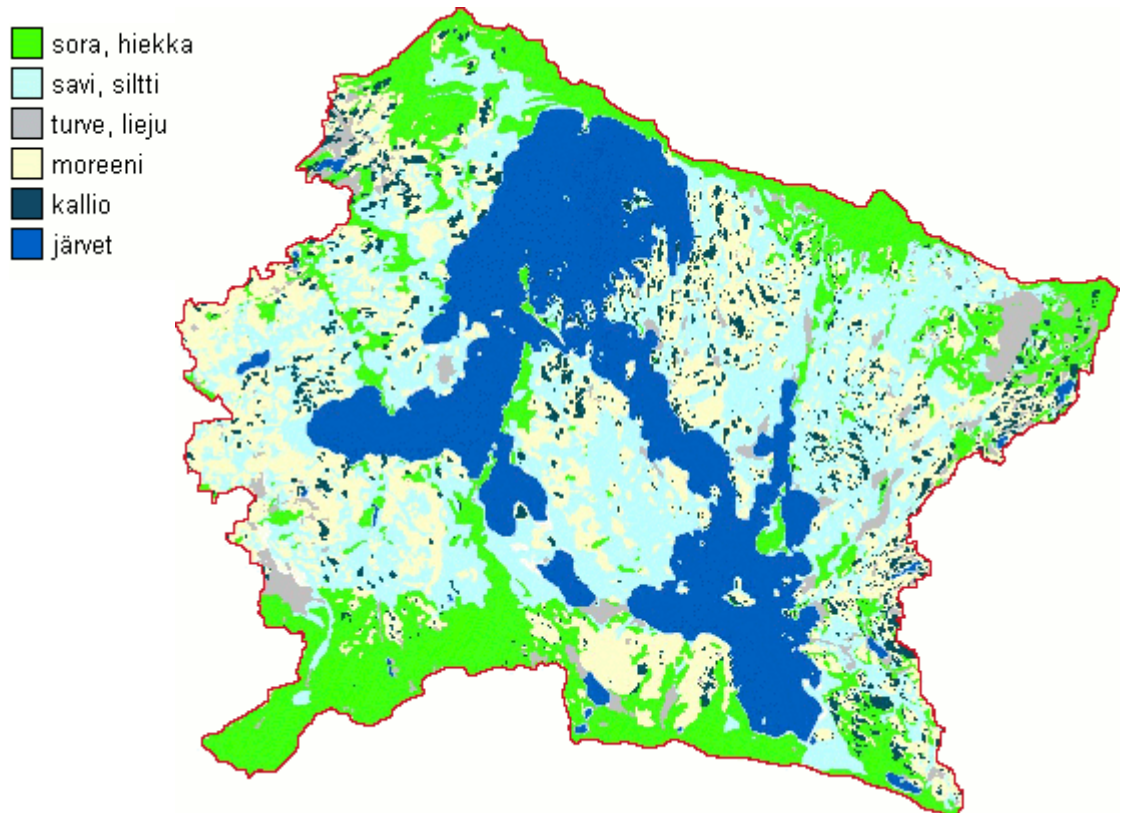
Kuva 6. a) Vesijärven koko valuma-alueen ja b) Vesijärven yläpuolisen valuma-alueen maankäyttö prosentteina.

2.3 Maaperä tutkimusvaluma-alueilla

Vesijärven valuma-alue rajautuu pohjoisessa ja etelässä Salpausselkään. Näillä alueilla harjut muodostavat hyvin vettä läpäisevän maaperän. Myös Pääjärven alueella on harjumuodostumia. Etenkin Löyttynojan valuma-alueella niitä on runsaasti, mutta muualla melko hajanaisesti. Muuten maaperä koostuu moreeneista, savesta, siltistä ja avokallioista. Kuvissa 7 ja 8 on esitetty maaperä molemmilla valuma-alueilla. Eroa valuma-alueiden välillä on melko vähän. Moreenimaalajeja Pääjärven valuma-alueella näyttäisi silmämääräisesti katsottuna olevan suhteellisesti enemmän kuin Vesijärven valuma-alueella, jossa puolestaan savi- ja silttimaiden osuus olisi ehkä suurempi. Turve- ja liejumaan osuus on Pääjärven valuma-alueella ehkä hieman suurempi. Järvien kokonaistulovaluntaan vaikuttavia eroja maaperä tuskin kuitenkaan tarjoaa.



Kuva 7. Maaperä Pääjärven valuma-alueella. © SYKE, GTK



Kuva 8. Maaperä Vesijärven valuma-alueella. © SYKE, GTK

3 SADANTA

Sadepisara syntyy, kun vesihöyry tiivistyy ilmassa olevien hiukkasten ympärille. Kun pisaran koko on kasvanut tarpeeksi, siitä tulee niin painava, että se putoaa alas. Yksittäiset sadetapahtumat muodostavat yhdessä sadannan, jonka suuruus ilmaistaan yleensä millimetreinä aikayksikköä kohti. Maapallon maa-alueiden keskisadanta on n. 735 mm/a (Kuusisto 1986). Merellä sadanta on suurempi. Etelä-Suomessa sadanta on yleensä 600 ja 700 mm/a välillä (Ilmatieteen laitos 2006).

3.1 Sadannan mittaus ja mittausten korjaus

Sadantaa mitataan sademittareilla, jotka ovat yleensä metallisia keräysastioita, joihin kertynyt vesimäärä mitataan tavallisesti kerran päivässä (aamulla klo 8). Jos sade on tullut lumena, se sulatetaan ennen mittausta. Sademittarissa voi olla myös piirturi, jolla voidaan seurata myös sateen intensiteettiä. Tällaiset mittarit soveltuvat kuitenkin lähinnä vesisateen mittaukseen (Kuusisto 1986).

Sadannan ja varsinkaan lumisateen mittaaminen ei ole täysin tarkkaa, koska sademittarit aiheuttavat monenlaisia virheitä. Esim. haihtumis-, tartunta-, roiskunta- ja tuulivirheiden vuoksi mitattua sadantaa täytyy korjata, jotta se vastaisi paremmin todellista sadantaa. Suurimman virheen aiheuttaa tuulivirhe (Kuusisto 1986).

Vetenä tulevalle sadannalle korjauskerroin C_w on yleensä n. 1,05 - 1,07 ja lumena tulevalle sadannalle vastaava arvo C_s on n. 1,28 - 1,35 (Karvonen 2003). Tässä työssä vesisade on korjattu kertoimella 1,06 ja lumisade kertoimella 1,35. Sadannan olomuoto voidaan arvioida ilman keskilämpötilan mukaan seuraavasti. Tietyn rajan alapuolella sade on kokonaan lunta ja tietyn rajan yläpuolella kokonaan vettä. Näiden välissä sade on osittain molempia. Suomen olosuhteissa nämä kriittiset rajat T_{low} ja T_{upper} ovat keskimäärin -3 °C ja $+1,5\text{ °C}$ (Vehviläinen 1992, viitattu Karvonen 2003). Sadantaa voidaan korjata seuraavien kaavojen mukaan (Karvonen 2003):

$$f_w = 1,0 \quad \text{kun } T_A > T_{upper} \quad (3)$$

$$f_w = \frac{T_A - T_{low}}{T_{upper} - T_{low}} \quad \text{kun } T_{low} \leq T_A \leq T_{upper} \quad (4)$$

$$f_w = 0,0 \quad \text{kun } T_A < T_{\text{low}} \quad (5)$$

$$P_w = f_w C_w P_m \quad (6)$$

$$P_s = (1 - f_w) C_s P_m \quad (7)$$

$$P = P_w + P_s . \quad (8)$$

Kaavoissa (3)...(8) f_w on veden osuus sadannasta, T_A ilman keskilämpötila, P_m sademittarilla mitattu sadanta, P_w vetenä tuleva korjattu sadanta ja P_s lumena tuleva korjattu sadanta. Todellinen sadanta P on vetenä ja lumena tulevien osuuksien summa.

Yksittäisellä sademittarilla saatu sadanta kuvaa vain tietyn pisteen sadantaa. Pistesadanta vaihtelee paikallisten tekijöiden vuoksi ja yleensä onkin tarpeen arvioida laajemmalle alueelle keskimäärin tulevaa sadantaa, jota kutsutaan aluesadannaksi. Se määritetään mahdollisimman monen pistesadantamittarin avulla. Määrittämiseen on olemassa useita eri menetelmiä, joista yksinkertaisin on eri pisteissä mitattujen pistesadantojen aritmeettinen keskiarvo. Tarkemmissa menetelmissä otetaan huomioon mm. sademittarien sijainti toisiinsa nähden ja korkeussuhteet. Aluesadannan määrittäminen on päivätasolla yleensä melko epätarkkaa, mutta paranee, mitä pidemmästä aikavälisestä on kyse (Kuusisto 1986).

3.2 Sadanta järvellä

Järven ja sitä ympäröivän alueen sadannat poikkeavat jossain määrin toisistaan riippuen järven koosta. Järven sadannan arvioidaan olevan jonkin verran pienempi. Talvella järvi ei vaikuta ilmassoihin kuten kesällä, koska järven pinnan peittävä lumi ja jää tekevät olosuhteista maa-alueiden kaltaiset. Tuuli saattaa kuitenkin kuljettaa lunta rannoille, mutta tälläkään ei juuri ole vesitaseen kannalta merkitystä vuositasolla, koska lumen sulaessa vesi palautuu järveen. Kuukausitasolla vaikutusta voi olla jo jonkin verran (Kuusisto & Seppänen 1986; Kuusisto 1986).

Kesällä erot maan- ja vedenpinnan aiheuttamassa kitkassa saavat aikaan ilmassojen kohoamisen maa-alueella ja sen seurauksena kuurosateita tapahtuu todennäköisesti enemmän järven ympärillä olevilla maa-alueilla. Tämä voidaan todeta etenkin suurilla järvillä (Kuusisto & Seppänen 1986). Pääjärvellä on arvioitu vuosien 1969-1973

kesä...lokakuussa sadannan olleen n. 5-10 % pienempi kuin järven ympärillä (Elomaa 1974; viitattu Kuusisto & Seppänen 1986).

Tulovalunnan laskentaan järvisadannan korjauksella on melko pieni vaikutus. Pääjärvellä tulovalunta on keskimäärin 2 mm/a suurempi, jos laskennassa käytetään järvisadannan pienempää arvoa. Vesijärvellä vaikutus on hieman suurempi, koska järven pinta-alakin on valuma-alueeseen nähden suurempi. Siellä tulovalunnan arvo kasvaa 6 mm/a.

3.3 Sadanta-aineistot

3.3.1 Rasteriaineisto

Rasteriaineistoksi nimitetään tässä työssä Ilmatieteen laitokselta peräisin olevaa säädataa (Venäläinen et al. 2005), jossa päivän keskimääräiset sadanta- ja lämpötilatiedot on määritetty erikseen 10 km x 10 km suuruisille alueille. Koska valuma-alueet olivat vektorimuodossa, ne muutettiin ensin rasterimuotoon eli pikseleiksi. Pikseleille annettiin eri arvot sen mukaan, mihin säädataruutuun ne osuivat ja lisäksi valuma-alueeseen kuulumattomat säädataruuduissa olevat pikselit merkittiin erikseen, jotta ne eivät tulisi laskuihin mukaan. Tämän jälkeen laskettiin kuhunkin säädataruutuun osuvien valuma-alueen pikselien määrät eli käytännössä pinta-alat. Näiden perusteella voitiin laskea pinta-aloilla painotetut keskiarvot sadannalle ja lämpötilalle koko valuma-alueella.

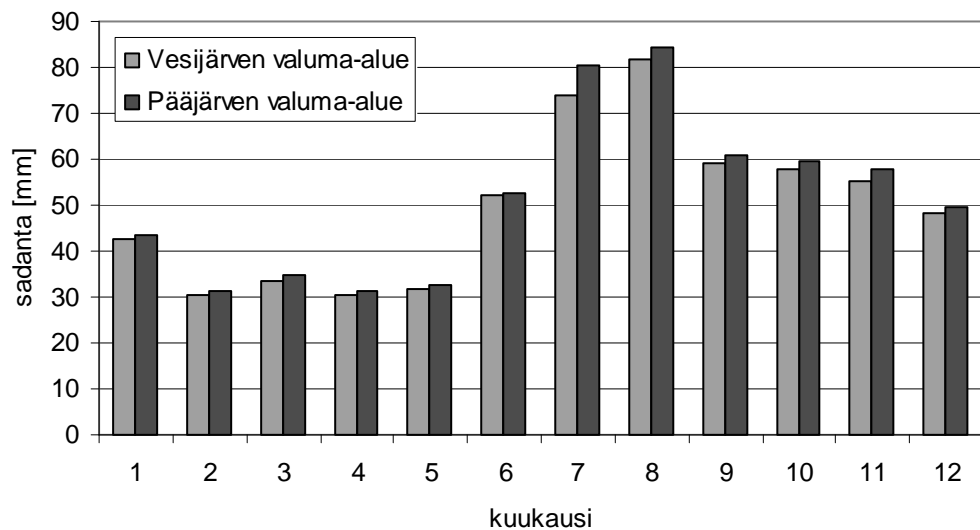
3.3.2 Tutkimusvaluma-alueiden aineistot

Pääjärven valuma-alueen osalta käytettävissä oli rasteriaineisto vuosilta 1971-2000 ja Lammin biologisella asemalla mitattu sadanta vuosilta 1963-2004. Rasteriaineisto korjattiin kaavojen (3)...(8) avulla. Lammin biologisen aseman aineisto oli valmiiksi korjattu. Aineistot vastasivat melko hyvin toisiaan ainakin vuositasolla. Vuosina 1971-2000 rasteriaineiston keskimääräinen sadanta Pääjärven valuma-alueella oli 619 mm/a. Lammin biologisella asemalla mitatun sadannan keskiarvo samoilta vuosilta oli 629 mm/a. Suurin ero yksittäisenä vuotena oli 76 mm ja keskimäärin eroa oli 10 mm. Kuukausitasolla eroa oli enimmillään 46 mm ja keskimäärin 5 mm. Laskuissa on

käytetty rasteriaineiston sadantaa, koska se kuvaa paremmin koko valuma-alueen aluesadantaa.

Vesijärven valuma-alueen rasteriaineistosta saatu sadanta on hieman Pääjärven sadantaa pienempi, kuten kuvasta 9 voidaan huomata. Vesijärven valuma-alueella keskimääräinen sadanta vuosina 1971-2000 oli 597 mm/a. Rasteriaineiston lisäksi käytössä olivat vuosisadannat Lahti Vesi Oy:n sademittausasemalta Jalkarannan vedenottamon läheisyydestä, missä keskimääräinen sadanta samalla ajanjaksolla oli 634 mm/a. Ero voi selittyä esim. kaupunkialueen olosuhteilla tai maaston korkeuseroilla. Joka tapauksessa Jalkarannan aineistossa on kuitenkin kyse vain pistesadannasta.

Keskimäärin eniten sadantaa tuli molemmilla alueilla heinä- ja elokuussa. Lumen osuus koko vuoden sadannasta oli molemmilla alueilla keskimäärin 24 %. Eniten lunta tuli joului- ja tammikuussa.



Kuva 9. Keskimääräinen korjattu sadanta Pääjärven ja Vesijärven valuma-alueilla rasteriaineiston mukaan vuosina 1971 - 2000.

4 HAIHDUNTA

Haihdunta on tärkeä osa vesitasetta, mutta sen tarkka arviointi on melko hankalaa. Usein se arvioidaan vain vesitaseen jäännöskomponenttina. Tämä toimii parhaiten, jos kyseessä on vuosihaihdunta. Sadannan ja vesivaraston koon vaihtelun arviointi hankaloituu, kun ajanjakso lyhenee ja tällöin myös haihdunnan määrätyksestä tulee epätarkkaa (Vakkilainen 1986).

Haihdunta voidaan luokitella eri tyyppeihin sen mukaan, mistä ja miten vesi haihtuu. *Evaporaatiolla* tarkoitetaan haihduntaa pinnalta, joka voi olla vettä, maata tai lunta. *Potentiaalinen evaporaatio* on termi, joka tarkoittaa vapaasta vedenpinnasta (esim. järvi) tapahtuvaa haihduntaa. *Transpiraatio* viittaa kasvien läpi kulkevan veden haihtumiseen. *Evapotranspiraatioon* kuuluu maa-alueilta tapahtunut evaporaatio ja transpiraatio. Kun kasvien pinnalle jää sateen mukanaan tuomaa vettä, joka haihtuu, puhutaan *interseptiohaihdunnasta*.

Haihdunnan suuruus riippuu mm. kyllästysvajauksesta, säteilystä ja tuulesta. Lisäksi maa-alueilla vaikuttavat myös kasvuston tyyppi ja määrä sekä maankosteus.

Järvestä tapahtuva haihdunta on yleensä suurempaa kuin maa-alueilta tapahtuva haihdunta. Erittäin kuivina vuosina järvestä voi haihtua jopa 300 mm/a enemmän kuin maa-alueilta. Runsassateisina vuosina tilanne voi kuitenkin olla toisinpäin ja maa-alueilta saattaa haihtua jonkin verran enemmän kuin järven pinnasta. Avosoilla, joilla pohjavedenpinta on lähellä maanpintaa, tilanne on lähes sama kuin järvillä (Kajosaari 1973a). Soiden ojitus kuitenkin laskee pohjavedenpintaa ja lisää valuntaa ja sitä kautta vähentää haihduntaa ainakin siihen saakka kunnes kasvillisuus on ehtinyt sopeutua uusiin oloihin ja alkaa kasvaessaan vähitellen taas lisätä haihduntaa (Seuna 1986; Kajosaari 1973a).

4.1 Haihdunta-arviot tutkimusalueille

Haihdunnan suuruutta vesitaseen avulla on arvioinut esim. Hyvärinen et al. (1995). Vuosina 1961 - 1990 Vanajaveden valuma-alueella, johon Pääjärvi kuuluu, järvihaihdunta oli keskimäärin 530 mm/a. Kuukausitason arvot on esitetty taulukossa 3.

Maa-alueilta haihtui keskimäärin 401 mm/a. Peltoalueilta haihtui 353 mm/a ja metsäalueilta 419 mm/a. Vanajaveden valuma-alueen koko on n. 8641 km².

Vesijärvi kuuluu Kymijoen osavaluma-alueeseen 14.2.1, jolla järvihaihdunta oli keskimäärin 563 mm/a. Kuukausitason arvot avovesikaudelle löytyvät taulukosta 3. Maa-alueilta haihtui keskimäärin 401 mm/a, peltoalueilta 345 mm/a ja metsäalueilta 419 mm/a. Alueen 14.2.1 koko on n. 8775 km².

Taulukko 3. Keskimääräinen avovesikauden järvihaihdunta 1961 - 1990 (Hyvärinen et al. 1995).

Kuukausi	5	6	7	8	9	10	11	12	yht.
Vanajaveden alue (Pääjärvi)	17	83	107	104	82	62	44	3	502
Alue 14.2.1 (Vesijärvi)	23	81	114	114	88	58	48	4	530

4.2 Haihdunnan mittaus

Haihdunnan määrää voidaan arvioida erilaisten haihdunta-astioiden avulla. Tyypillisimpiä ovat Class A – ja GGI-3000-astiat. Astiasta tapahtuva haihdunta määritetään astiassa tapahtuneen vedenpinnan korkeuden muutoksen ja sadannan avulla. Class A – astialla suoritettut mittaukset eivät kuitenkaan suoraan vastaa järvestä tapahtuvaa haihduntaa eivätkä myöskään maa-alueilta tapahtuvaa haihduntaa, koska vesi lämpenee astiassa huomattavasti nopeammin kuin järvessä ja toisaalta vettä on saatavilla enemmän kuin maa-alueilla. Lisäksi mm. tuuliolot ovat astiassa erilaiset kuin järvellä tai maa-alueilla (Vakkilainen 1986). Järvihaihduntaa voidaan kuitenkin arvioida korjaamalla Class A – mittauksia jonkin verran.

4.2.1 Class A – mittaukset

Pääjärven valuma-alueella Class A – mittauksia on suoritettu Lammin Vestolassa ja Hämeenkosken Rokkilassa. Vestolan mittauspaikka sijaitsee n. 9 km Pääjärven itäpäästä pohjoiseen (61°09'N, 25°15'E) ja mittauksia oli suoritettu siellä vuosina 1968-1999. Rokkilan mittauspaikka sijaitsee alle kilometrin päässä Pääjärven itäpäästä, mutta mittauksia oli suoritettu siellä vain vuosina 1968-1975.

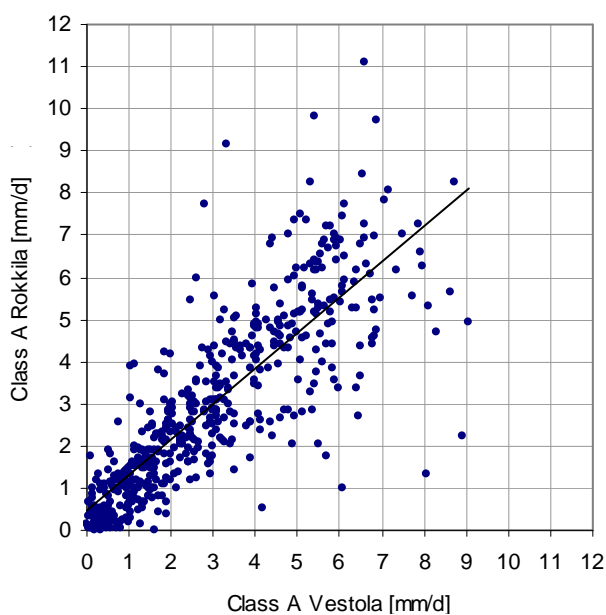
Vesijärven valuma-alueella ei ollut ainuttakaan Class A – mittauspistettä. Vestolan mittauspaikka sijaitsee kuitenkin kohtuullisen lähellä (n. 10 km) Vesijärveä, joten siellä tehtyjä havaintoja käytettiin myös Vesijärven vesitaseen arvioinnissa.

Taulukko 4. Vestolassa mitatut Class A - haihdunnan kuukausikeskiarvot vuosilta 1968 - 1990 (Järvinen & Kuusisto 1995).

	toukokuu	kesäkuu	heinäkuu	elokuu	syyskuu	yht.
Class A - haihdunta [mm]	106	117	113	79	34	449

Vestolassa mitattujen Class A – haihduntojen kuukausikeskiarvot vuosilta 1968-1990 löytyvät taulukosta 4. Kuten taulukoista 3 ja 4 nähdään, järvihaihdunnat ovat touko- ja kesäkuussa Class A – haihduntoja pienempiä. Heinäkuussa ne vastaavat parhaiten toisiaan. Elokuusta syyskuuhun järvestä haihtuu enemmän kuin astiasta.

Class A – mittauksissa virhettä saattaa tulla helposti etenkin päivätasolla (Järvinen & Kuusisto 1995). Tämän voi havaita myös kuvasta 10, jossa on verrattu Vestolan ja Rokkilan Class A – haihdunta-astioiden päivittäisiä arvoja. Suurin osa mittauksista vastaa kohtalaisesti toisiaan, mutta joukossa on myös päiviä, jolloin esim. Rokkilassa on mitattu n. 2 mm ja Vestolassa yli 9 mm. Korrelaatiot eri vuosina vaihtelivat 0,57...0,81 välillä. Erot ovat kuitenkin satunnaisia ja kuukausitasolla lukemat vastaavatkin jo paremmin toisiaan.



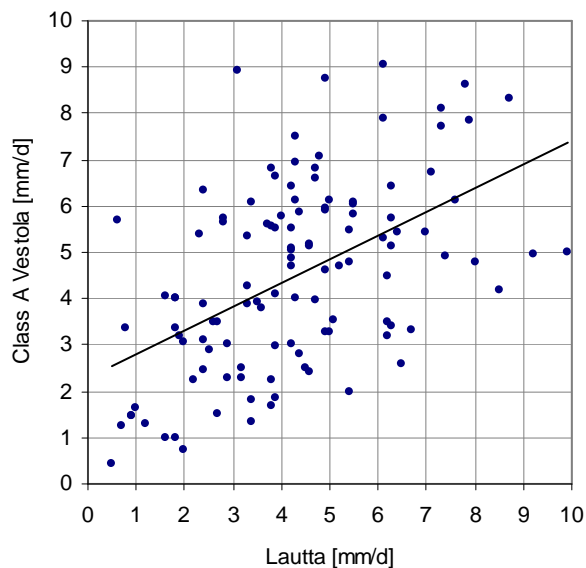
Kuva 10. Vestolassa ja Rokkilassa mitatut Class A - haihdunnan päivittäiset arvot vuosina 1971-1974.

4.2.2 Mittaukset Pääjärvellä

Haihduntaa arvioitaessa Pääjärven osalta oli käytettävissä Class A – haihduntojen lisäksi järvellä mitattuja arvoja, joita voitiin verrata laskennallisesti saatuihin järvihaihdunnan tuloksiin. Mittaukset oli suoritettu järvelle sijoitetulla lautalla vuosina 1971-1974 ja mittauslaitteena oli käytetty GGI-3000 haihdunta-astiaa.

Mittausten yhteensopivuutta kuukausitasolla tarkastellaan luvussa 4.3.4, joten tässä keskitytään yhteensopivuuden arviointiin päivätasolla. Taulukossa 5 ovat päivähaihduntojen keskiarvot vuosilta 1971-1974. Järvihaihdunnan ja Class A – haihdunnan vertailu tuottaa tässä hyvin samankaltaisia tuloksia kuin luvussa 4.2.1.

Kuvassa 11 on esitetty Class A - ja lautamittausten vertailu heinäkuun osalta. Class A - mittaukset olivat heinäkuussa siis keskimäärin hieman suurempia, mutta kuten kuvasta 11 näkyy, hajontaa on runsaasti. Muina kuukausina hajontaa oli vielä enemmän, joten niiden osalta todetaan vain, että mittaukset päivätasolla sisältävät hyvin todennäköisesti ainakin satunnaisia eroja. Toukokuu muodostaa kuitenkin poikkeuksen, kun mukaan otetaan vain ne lautalla mitatut arvot, jotka ovat > 0 . Tällöin pisteitä on melko vähän, mutta korrelaatio on jopa parempi kuin heinäkuussa. Tulos voi toki olla myös pelkkää sattumaa.



Kuva 11. Päivittäiset haihdunta-arvot heinäkuussa vuosina 1971 - 1974 Vestolassa Class A - astialla ja Pääjärvellä lautalla mitattuna.

Taulukko 5. Pääjärven lauttahaidunnan ja Vestolan Class A - haidunnan keskimääräiset päivittäiset arvot vuosina 1971 - 1974 eri kuukausille.

	toukokuu	kesäkuu	heinäkuu	elokuu	syyskuu	lokakuu
Lautta [mm/d]	1,6	3,0	4,3	3,3	2,3	1,9
Class A Vestola [mm/d]	4,0	4,2	4,5	2,8	1,3	0,6
Lautta / Class A = korjauskerroin	0,4	0,7	1,0	1,2	1,8	3,2

4.2.3 Class A –haiduntamittausten korjaaminen

Koska Class A – mittausten korjaamiseksi järvihaiduntaa vastaavaksi ei ollut olemassa mitään varsinaista kaavaa, pyrittiin eri kuukausille löytämään sopivat kertoimet, joilla Class A – mittaustulos tulisi kertoa, jotta se vastaisi paremmin järvihaiduntaa.

Pääjärven osalta Vestolan Class A – mittaukset korjattiin käyttämällä taulukossa 5 esitettyjä kertoimia, jotka on saatu vuosien 1971-1974 lauttamittausten ja Vestolan Class A – mittausten eri kuukausien päivärvojen keskiarvojen osamääränä. Toukokuussa lauttamittauksia oli tosin vain vuosilta 1973 ja 1974. Lauttamittausten joukossa oli useita päiviä, etenkin toukokuussa, jolloin mittaustulos oli 0. Näitä päiviä ei ole laskettu keskiarvoihin mukaan, koska niiden luotettavuus on kyseenalainen.

Koska Vesijärveltä ei ollut lauttamittauksia vastaavia tietoja saatavilla, päädyttiin sen osalta korjaamaan Class A – mittaukset taulukossa 6 esitetyillä kertoimilla. Ne on saatu taulukoiden 3 ja 4 perusteella. Lisäksi lokakuulle käytettiin samaa korjauskerrointa kuin Pääjärvellekin (taulukko 5). Taulukon 6 kertoimet kuvaavat kuitenkin vain keskimääräisiä arvoja, joten tulosten luotettavuutta arvioitaessa täytyy pitää mielessä, että ne eivät välttämättä toimi esim. erityisen sateisille tai kuiville vuosille.

Taulukko 6. Korjauskertoimet eri kuukausille Class A - arvojen korjaamiseksi järvihaiduntaa vastaavaksi.

	toukokuu	kesäkuu	heinäkuu	elokuu	syyskuu
Vanajavesi	0,16	0,71	0,95	1,32	2,41
Alue 14.2.1	0,22	0,69	1,01	1,44	2,59

Taulukkoon 6 on vertailun vuoksi otettu kertoimet myös Vanajaveden alueelle, jolla Pääjärvi sijaitsee. Jos verrataan taulukoiden 5 ja 6 kertoimia Class A – mittausten korjaamiseksi Pääjärven järvihaiduntaa vastaavaksi, voidaan huomata, että ne noudattavat ainakin samaa suuntaa.

4.3 Järvihaihdunnan laskenta

Haihdunnan laskennalliseen arviointiin on kehitetty useita menetelmiä, jotka tarvitsevat lähtötiedoikseen mm. säteilymittauksia, lämpötilaa, tuulen nopeutta ja suhteellista kosteutta.

Vapaasta veden pinnasta laskettavaa haihduntaa eli tässä tapauksessa järvihaihduntaa laskettiin seuraavilla menetelmillä. Ensiksi käytettiin Penmanin kaavaa (Penman 1948, viitattu Vakkilainen 1986)

$$E_p = \frac{\Delta(R_n - G) + \gamma \cdot 0,27(1 + 0,54u_2)D}{\Delta + \gamma}, \quad (9)$$

missä Δ on vesihöyrynpaineikäyrän kaltevuus [$\text{mbar } ^\circ\text{C}^{-1}$], γ psykrometrivakio [$\text{mbar } ^\circ\text{C}^{-1}$], R_n nettosäteily [W/m^2], G veteen menevä tai veden luovuttama lämpöenergia [W/m^2], u_2 tuulen nopeus 2 metrin korkeudessa [m/s] ja D on ilman kyllästysvajaus [mbar].

Lisäksi laskettiin kaavalla, joka on hieman muokattu Penmanin esittämästä menetelmästä (Shuttleworth 1993). Sen mukaan potentiaalinen haihdunta on

$$E_p = F_p^1 A + F_p^2 \bar{D}, \quad (10)$$

jossa A on haihduntaan käytettävissä oleva energiamäärä [mm/d] ja \bar{D} keskimääräinen kyllästysvajaus [kPa]. Näiden edessä olevat kertoimet F_p^1 ja F_p^2 saadaan seuraavilla kaavoilla:

$$F_p^1 = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \quad (11)$$

ja

$$F_p^2 = \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{6,43(1 + 0,536u)}{\lambda}, \quad (12)$$

missä psykrometrivakio γ on yksikössä [$\text{kPa}/^\circ\text{C}$] ja gradientti Δ on yksikössä [$\text{kPa}/^\circ\text{C}$]. Psykrometrivakio γ saadaan ilmanpaineen p [kPa] ja latentin lämmön λ [MJ/kg] avulla seuraavasti

$$\gamma = 0,0016286 \frac{P}{\lambda}. \quad (13)$$

Ilmanpaine lasketaan tässä korkeusaseman Z [m] avulla

$$p = 101,3 \cdot \left(\frac{293 - 0,0065 \cdot Z}{293} \right)^{5,256} \quad (14)$$

ja latentti lämpö veden pintalämpötilan T_s [°C] avulla

$$\lambda = 2,501 - 0,002361 \cdot T_s. \quad (15)$$

Gradientti Δ saadaan selville kyllästyneen vesihöyryn paineen e_s [kPa] ja ilman lämpötilan T [°C] avulla

$$\Delta = \frac{4098e_s}{(237,3 + T)^2} \quad (16)$$

Kyllästyneen vesihöyryn paine e_s [kPa] on ilman lämpötilan T [°C] funktio

$$e_s = 0,6108 \cdot \exp\left(\frac{17,27T}{237,3 + T}\right). \quad (17)$$

Tietyn ajankohdan kyllästysvajaus D [kPa] saadaan laskettua kaavalla

$$D = e_s \left[1 - \frac{RH}{100} \right], \quad (18)$$

missä RH [%] on suhteellinen kosteus. Keskimääräinen kyllästysvajaus \bar{D} tietylle päivälle saadaan yleensä kello 8, 14 ja 20 havaintojen avulla. Sen laskemiseksi lasketaan ensin D eri ajankohtina, koska näin saadaan parempi arvio kuin käyttämällä lämpötilojen ja suhteellisen kosteuden keskiarvoja \bar{D} :n laskentaan (Shuttleworth 1993). Vakkilainen (1982) on korjannut kyllästysvajauksen arvoa, jos se on suurempi kuin 2 mbar eli 0,2 kPa. Korjaukseen käytetään kaavaa

$$\bar{D}_{kor} = 0,75\bar{D} + 0,56, \quad (19)$$

missä \bar{D} :n yksikkö on [mbar]. Tässä työssä kyllästys vajaus on myös korjattu kaavalla 19.

Haihduntaan käytettävissä oleva energia A arvioidaan nettosäteilyn R_n ja veteen siirtyvän tai veden luovuttaman lämpömäärän G avulla

$$A = R_n - G. \quad (20)$$

G on positiivinen, kun järvi varastoi lämpöenergiaa ja negatiivinen järven luovuttaessa lämpöä. G :n suuruutta on arvioitu kappaleessa 4.3.2.

4.3.1 Nettosäteilyn arviointi

Nettosäteilyn arvioinnissa käytettiin Shuttleworthin (1993) suosittamaa menetelmää, jonka periaatteet seuraavaksi kuvataan.

Auringosta tuleva säteily S_0 on lyhytaaltoista. Osa tästä säteilystä absorboituu ilmakehän kaasuihin ja hiukkasiin. Jäljelle jäävää osuutta, joka tulee maan pinnalle saakka, kutsutaan kokonaislyhytaaltosäteilyksi (total short wave radiation) S_t . Tästä säteilystä osa heijastuu maan tai veden pinnasta ja kun heijastunut osuus vähennetään, saadaan lyhytaaltainen nettosäteily S_n kaavalla

$$S_n = S_t \cdot (1 - \alpha), \quad (21)$$

missä α on albedo, joka kuvaa heijastuneen säteilyn osuutta ja jonka suuruus riippuu heijastavasta pinnasta. Vesipinnoille albedon voidaan arvioida olevan n. 0,08 (Shuttleworth 1993).

Pitkääaltainen säteily on puolestaan maanlämpöisen kappaleen lähettämää säteilyä. Pitkääaltainen nettosäteily L_n voidaan laskea kaavalla

$$L_n = -fe'\sigma(T + 273,2)^4, \quad (22)$$

missä f on pilvisyyteen viittaava kerroin (cloudiness factor), e' on maan ja ilmakehän välinen nettoemissiivisyys (net emissivity), σ on Stefan-Boltzmannin vakio ja T keskimääräinen ilman lämpötila. Nettoemissiivisyys saadaan arvioitua lämpötilan avulla:

$$e' = -0,02 + 0,261 \cdot \exp(-7,77 \cdot 10^{-4} T^2). \quad (23)$$

Kertoimen f arvioimiseksi tarvitaan pilvisyyshavaintoja, jotka ilmoitetaan asteikolla 0-8 niin, että arvon ollessa 0 pilviä ei ole ollenkaan ja arvon ollessa 8 taivas on täysin pilvinen. Ne muutetaan sitten vastaamaan termiä n/N , jossa n on auringonpaistetuntien määrä päivän aikana ja N niiden mahdollinen maksimimäärä kyseisenä päivänä. Pilvisyyсарvon ollessa esim. 2, saadaan n/N :n arvoksi $(8-2)/8 = 6/8$. Termin n/N arvo vaihtelee siis välillä 0...1. Kerroin f voidaan laskea kaavalla

$$f = \left(a_c \frac{b_s}{a_s + b_s} \right) \frac{n}{N} + \left(b_c + \frac{a_s}{a_s + b_s} a_c \right), \quad (24)$$

missä a_c , b_c , a_s ja b_s ovat parametreja, jotka vaihtelevat mm. alueen sijainnin ja ilmastotekijöiden mukaan. Jos dataa parametrien arviointiin ei ole, suositellaan käytettäväksi $a_s = 0,25$ ja $b_s = 0,50$. Kostealle ilmastolle suositellaan käytettäväksi $a_c = 1,00$ ja $b_c = 0,00$. Näitä arvoja käyttämällä saadaan kertoimelle f yhtälö

$$f = \frac{2}{3} \frac{n}{N} + \frac{1}{3}. \quad (25)$$

Lopulta voidaan laskea kokonaisnettosäteily R_n , joka saadaan lyhytaaltoisen ja pitkäaaltoisen nettosäteilyn summana

$$R_n = S_n + L_n. \quad (26)$$

4.3.2 Veteen/vedestä siirtyvän lämpövuon arviointi

Pelkän nettosäteilyn käyttäminen arvioitaessa haihduntaan käytettävissä olevaa energiaa ei kuvaa todellisuutta tarpeeksi hyvin, koska osa energiasta varastoituu järven vesimassaan sen lämmitessä alkukesällä ja vastaavasti syksyllä ilmojen viiletessä ja järven jäähtyessä lämpöä vapautuu. Vastaavasti maa-alueiden tapauksessa lämpöä varastoituu maaperään. Tämä lämpövuoto G vähennetään nettosäteilyn määrästä ja se on keväällä ja alkukesästä positiivinen ja syksyllä negatiivinen.

Elomaa (1977) on esittänyt Pääjärvelle arviot G :n kuukausittaisista keskiarvoista vuoden 1970 kesä...lokakuulle. Arvot on esitetty taulukossa 7, jonka mukaan kesäkuussa veteen menevä energia olisi n. 29 %, heinäkuussa 21 % ja elokuussa -25 % nettosäteilystä. Syys- ja lokakuussa arvot ylittävät jo nettosäteilyn määrän. Vertailun vuoksi todettakoon, että maa-alueille voidaan arvioida touko-, kesä- ja heinäkuulle G :n

arvoksi n. 6 %, elokuulle n. 3 % ja syyskuulle n. -15 % nettosäteilystä. Lokakuulle annetaan arvioksi 10 - 15 W/m² (Vakkilainen 1986). Taulukon 7 arvojen perusteella G :n arvot ovat siis järvellä huomattavasti suurempia kuin maa-alueilla, mikä vaikuttaa oletusten mukaiselta. Elomaa (1977) tosin huomauttaa, että kesäkuun 1970 arvot ovat tyypillisiä selkeille kesäpäiville ja heinäkuun arvot puolestaan pilvisille.

Taulukko 7. G :n ja R_n :n arvot Pääjärvellä kuukausittain vuonna 1970 (Elomaa 1977).

	G [W/m ²]	G [MJ/m ² /d]	R_n [W/m ²]	R_n [MJ/m ² /d]
Kesäkuu	58	5	198	17,1
Heinäkuu	27	2,3	128	11,1
Elokuu	-24	-2,1	95	8,2
Syyskuu	-90	-7,8	29	2,5
Lokakuu	-69	-6	0,1	0,01

Järvihaidunnan laskennassa käytettiin näitä arvoja sekä sellaisenaan että kesä-, heinä- ja elokuun osalta myös %-osuuksina nettosäteilystä. Vuositasolla tulokset erosivat melko vähän: jos kesäaikana käytettiin G :n arvoina %-osuuksia nettosäteilystä, tulokset olivat 3 mm/a suurempia kuin suoria G :n arvoja käytettäessä. Suurin ero ilmeni vuonna 1974 jolloin tulokset kasvoivat 10 mm/a. Kuukausitason vaikutukset näkyivät siten, että %-osuuksilla laskettaessa tulokset kasvoivat kesäkuussa 5 mm, vähenivät heinäkuussa 3 mm ja elokuussa taas kasvoivat 1 mm verrattuna tuloksiin, joissa käytettiin suoria G :n arvoja. Koska erot olivat näin pieniä, vertailu haihduntamittausten kanssa on suoritettu vain niillä tuloksilla, joissa kesäaikana käytettiin G :n arvoina %-osuuksia nettosäteilystä.

Toukokuun osalta G :n arvoina käytettiin kesäkuun arvoa/osuutta, koska toukokuussa arvot osoittautuivat olevan samansuuruiset tai hieman suuremmat kuin kesäkuussa, kun testattiin, kuinka suuri G :n pitäisi olla, jotta lasketut haihdunnat vastaisivat mitattuja. Lisäksi se, että maa-alueille touko- ja kesäkuulle on arvioitu samat %-osuudet nettosäteilystä, tukee tätä ajatusta ainakin jossain määrin.

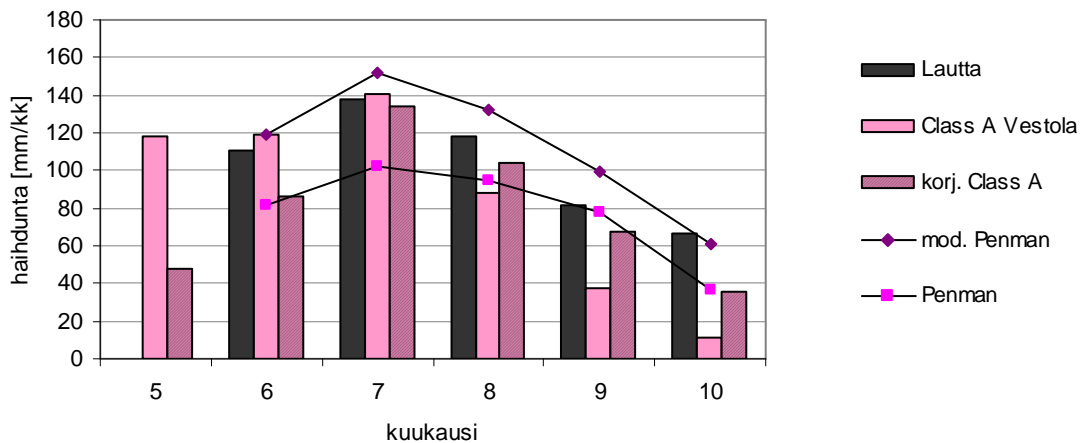
4.3.3 Lähtötiedot järvihaidunnan laskentaan

Lähtötietoina järvihaidunnan laskentaan käytettiin Lammin biologisella asemalla mitattua lämpötilaa ja suhteellista kosteutta sekä Pääjärvellä mitattuja säteilytietoja. Laskelmat rajoittuivat vuosiin 1971-1974, koska niitä oli tarkoitus verrata lautalla kyseisinä vuosina mitattuihin haihduntoihin. Säteilymittauksetkin loppuivat vuoteen

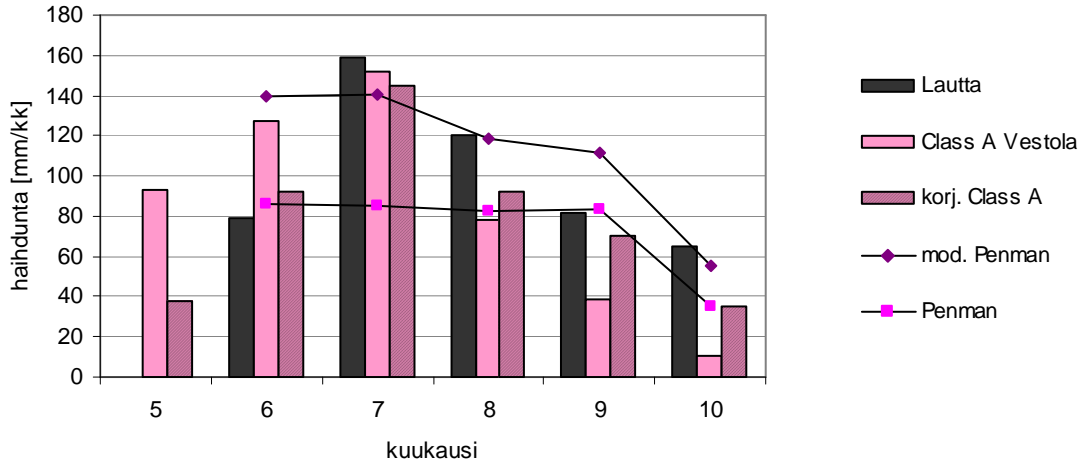
1975. Lisäksi oli käytettävissä Hauholla mitattu säteilydata 1990-luvulta, mutta tuolta ajalta puolestaan puuttuivat tuulimittaukset.

4.3.4 Järvihaihdunnan laskennan tulokset

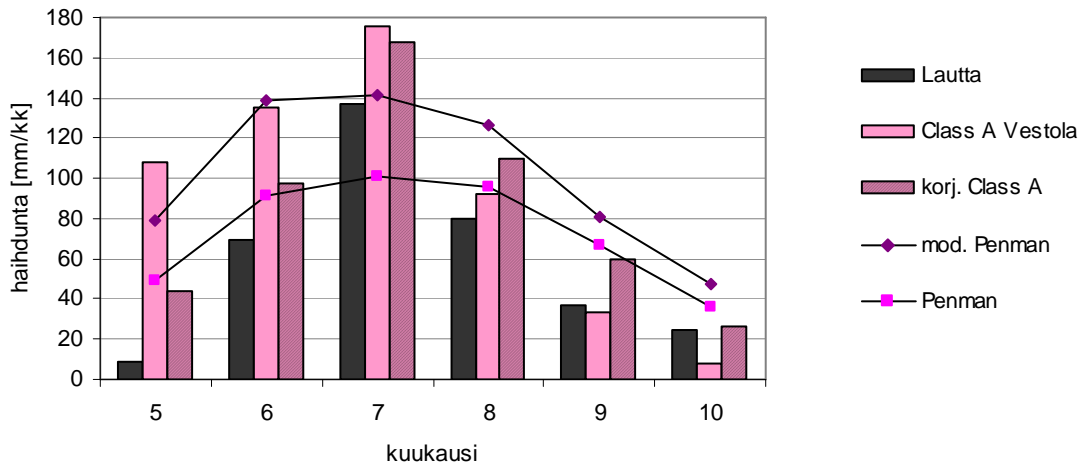
Kuvissa 12-15 on esitetty tulokset haihdunnan laskennasta ja vertailun vuoksi niissä ovat myös Pääjärven lautalla mitatut haihdunnat sekä Class A – mittausten raaka ja luvussa 4.2.3 esitetyllä tavalla korjattu versio. Yleisesti katsoen käyrien muodot vastaavat melko hyvin toisiaan, mutta haihdunnan suuruuksissa on ajoittain melko paljonkin eroa. Korjatut Class A – haihdunnatkaan eivät täysin vastaa lauttamittauksia, mutta useimpina kuukausina ne kuitenkin vastaavat paremmin kuin korjaamattomat Class A – mittaukset. Vuosina 1971 ja 1972 lauttahaihdunnan ja säteilyn mittaus alkoi vasta kesäkuussa, joten niiltä vuosilta on toukokuun osalta esitetty kuvissa 12 ja 13 vain Class A – tulokset.



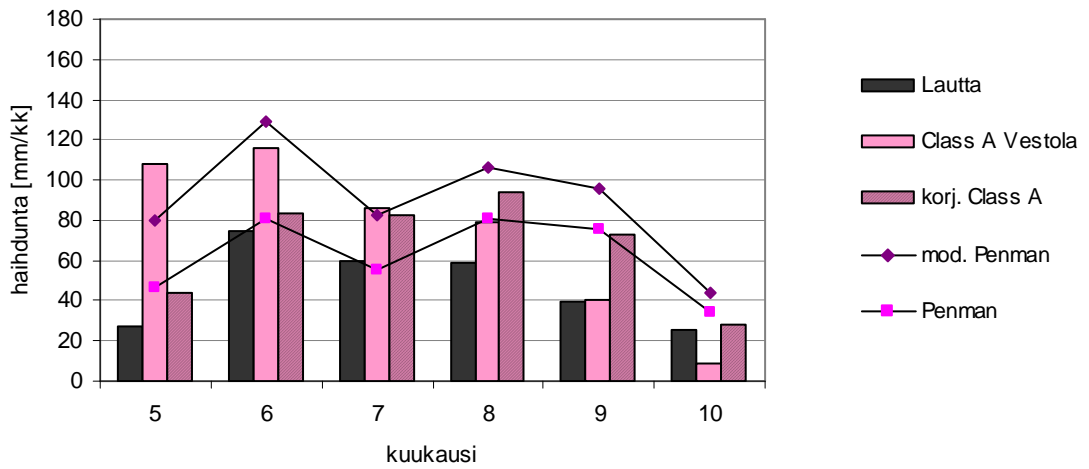
Kuva 12. Haihdunta Pääjärvellä vuonna 1971.



Kuva 13. Haihdunta Pääjärvellä vuonna 1972.



Kuva 14. Haihdunta Pääjärvellä vuonna 1973.



Kuva 15. Haihdunta Pääjärvellä vuonna 1974.

5 VALUNTA

Valunnalla tarkoitetaan veden virtausta vesistöä kohti tietyltä alueelta tietyssä ajassa. Maan pinnalla tapahtuvaa valuntaa kutsutaan pintavalunnaksi. Pintakerros- ja pohjavesivalunta puolestaan tapahtuu maa- ja kallioperässä. Näiden osuudet kokonaisvalunnasta riippuvat mm. siitä, kuinka hyvin maapinta läpäisee vettä (Hyvärinen & Puupponen 1986).

Pintavalunta voidaan jaotella ”infiltration-excess” ja ”saturation-excess” valuntaan. Ensimmäistä tapahtuu yleensä, jos vettä tulee sateen tai lumen sulannan mukana niin paljon, ettei kaikki ehdi imeytyä maahan. Jälkimmäinen tarkoittaa valuntaa, joka tapahtuu, kun maavesivarasto on täyttynyt äärimmilleen eikä siten pysty vastaanottamaan vettä, joka muuten imeytyisi maahan (Horton 1933; Dunne & Black 1970; viitattu Koivusalo 2002).

Sadannan ja valunnan välillä on vuositason ja lyhyemmälläkin aikavälillä yhteys, jota kuvaa valuntakerroin, joka kertoo kuinka monta prosenttia vuosisadannasta päätyy valunnaksi. Normaalisateisinä vuosina valuntakerroin on Etelä-Suomessa n. 30-40% (Hyvärinen & Puupponen 1986).

5.1 Virtaaman mittaaminen

Valunta [mm/d] lasketaan virtaamamittausten [m^3/s] ja valuma-alueen pinta-alan perusteella. Virtaamaa mitataan yleensä sellaisessa joen kohdassa, jossa virtaussuunta ei vaihtele poikkileikkauksen eri osissa.

Virtaamamittaukset voidaan jakaa suoriin ja epäsuoriin. Suoria mittauksia ovat esim. menetelmät, joissa mitataan veden nopeus ja veden täyttämän uoman poikkileikkaus, jota varten tarvitaan myös vedenkorkeusmittauksia. Epäsuoriin mittausmenetelmiin kuuluu esim. purkautumiskäyrän käyttö. Tällöin suorien mittausten avulla on määritetty purkautumiskäyrä eli eri vedenkorkeuksilla tuleva virtaama. Varsinaisesti mitataan lopulta siis vain vedenkorkeus ja purkautumiskäyrän avulla määritetään virtaama.

Virtaamamittausten tarkkuus vaihtelee olosuhteista riippuen. Yleensä luonnonuomassa päästään n. $\pm 5\%$ tarkkuuteen (Hyvärinen & Puupponen 1986).

5.2 Valunnan määrään ja ajankohtaan vaikuttavat tekijät

Valunnan määrään ja ajalliseen jakautumiseen vaikuttavat sadannan intensiteetti, kesto, ajallinen ja alueellinen jakauma sekä liikesuunta. Välillisesti vaikuttavat myös haihduntaan vaikuttavat tekijät kuten ilman lämpötila, auringon säteily ja tuulen nopeus. Lisäksi valuma-alueen ominaisuudet, kuten koko, muoto, järvisyys, uomien määrä ja laatu, topografia, maa- ja kallioperän luonne, kasvillisuus ja muut maaston olosuhteet vaikuttavat valuntaan ja sen ajalliseen jakautumiseen. (Hyvärinen & Puupponen 1986)

Valuntaan vaikuttavia tekijöitä on tutkinut mm. Mustonen (1965). Taulukkoon 8 on koottu osa Mustosen esittämistä valunnan määrään vaikuttavista selittäjistä ja niiden vaikutuksista. Sadannan lisääntyessä valunnan määrä luonnollisesti kasvaa. Valuma-alueen keskikaltevuus vaikuttaa etenkin kevätvaluntaan ja kevätylivaluntaan vähentäen sitä. Puuston määrä vähentää yleensä valuntaa, mutta kevätvaluntaan sillä ei juuri ole merkitystä. Karkeiden maalajien osuuden lisääntyessä valunta lisääntyy, etenkin vuosivalunta ja talvivalunta.

Taulukko 8. Valuntasuureisiin vaikuttavat tekijät (muokattu Mustonen 1965).¹

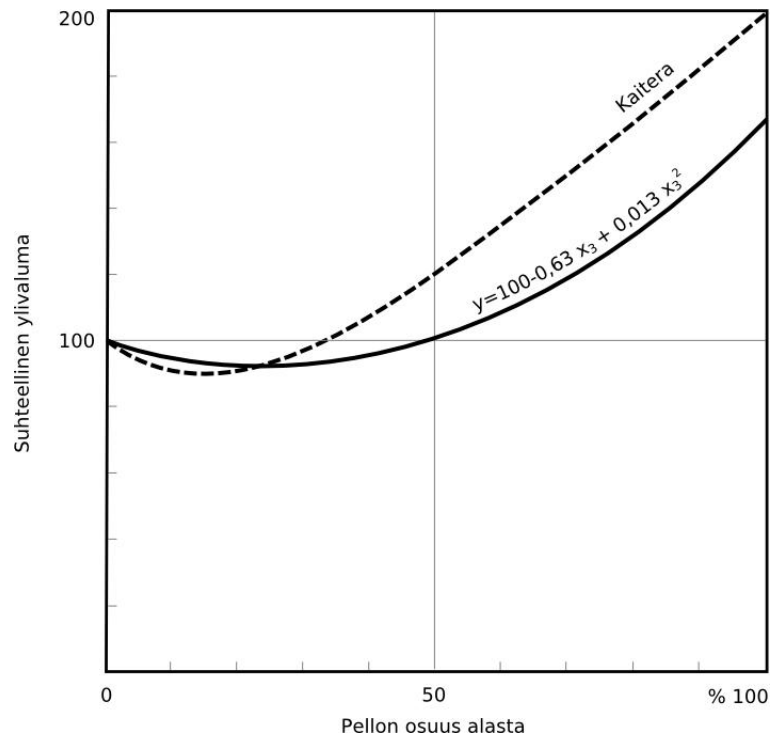
	keski- kaltevuus	pellon osuus alasta	puuston määrä	karkeiden maalajien osuus alasta	vuosi- sadanta	lumen vesiarvo 15.3	roudän syvyys	PET	vuoden keski- lämpötila
vuosivalunta			-***	+***	+***		-***	-***	-***
talvivalunta		+*	-**	+***			-**		
kevätvalunta	-***	+*				+***	-***		
kesä ja syksyvalunta			-*	+*			-*	-***	-***
kevätylivaluma	-**					+***		-**	

¹⁾ Merkkien selitykset:

- + valuntaa suurentava vaikutus
- valuntaa pienentävä vaikutus
- * vaikutus on melkein merkitsevä (riski 5 %)
- ** vaikutus on merkitsevä (riski 1 %)
- *** vaikutus on erittäin merkitsevä (riski 1 %)

Metsäalueilta tapahtuvaan valuntaprosessiin vaikuttaa mm. kasvuston kyky pidättää osa sadannasta. Esimerkiksi Siuntiossa tehtyjen mittausten perusteella on todettu, että kasvusto vähensi maahan asti tullutta sadantaa 26-29 % vuodenaajasta riippuen (Koivusalo 2002). Tulos sopii hyvin yhteen Mustosen (1965) tutkimustulosten kanssa, koska sadannan pidättyessä kasvustoon, interseptiohaihdunnan osuus lisääntyy ja valunta vähenee.

Peltoalueet vaikuttavat etenkin kevätylivalumaan. Kaiteran (1939) ja Mustosen (1965) mukaan kevätylivaluman suuruus vaihtelee kuvan 16 mukaisesti: aluksi kevätylivaluma näyttää pienenevän peltojen osuuden kasvaessa, mutta tietyn pisteen jälkeen suunta vaihtuu ja kevätylivaluma kasvaa peltojen osuuden lisääntyessä. Pellot lisäävät myös talvi- ja kevätvaluntaa (taulukko 8).



Kuva 16. Peltoprosentin vaikutus suhteelliseen ylivalumaan Mustosen ja Kaiteran mukaan (Mustonen 1965).

Kasvukaudella valunta pelloilta on melko vähäistä, koska kasvillisuus haihduttaa vettä paljon. Kun sato on korjattu, haihdunta vähenee ja valunta lisääntyy. Etenkin, jos pellon maaperä on tiivistä ja läpäisee huonosti vettä, valunnat voivat olla suuria (Kajosaari 1973a).

TKK:lla tehdyssä tutkimuksessa verrattiin kahta pientä Siuntiossa sijaitsevaa maankäytöltään erilaista valuma-aluetta vuosina 1977-1979 (Maasilta & al. 1980). Tämän tutkimuksen perusteella metsävaltaiselta alueelta muodostui enemmän valuntaa kuin peltovaltaiselta lähes kaikkina kuukausina. Vuosivalunta oli metsäalueella 25 % suurempi kuin peltoalueella, mutta tutkimuksessa todetaan, että tämä voi johtua osittain valuma-alueen määrittelyn epätarkkuudesta.

5.2.1 Valunta taajama-alueilla

Kaupungistumisen vaikutuksia eri tutkimuksista Suomesta ja ulkomailta ovat koonneet yhteen esim. Kotola ja Nurminen (2003a). Kaupungistuminen lisää sadantaa, mikä johtuu todennäköisesti siitä, että kaupunkialueiden lämpötila on maaseutua korkeampi, saasteet lisäävät tiivistymistä ilmassa ja karheat pinnat lisäävät pyörteisyyttä. Kaupungissa sadanta on keskimäärin n 10 % suurempi ympäröivään maaseutuun verrattuna. Lumisateen määrä lisääntyy kaupungistumisen myötä n. 5 %, mutta samalla korkeamman lämpötilan vuoksi kausi, jolloin lunta sataa, lyhenee. Lumioloihin vaikuttaa myös ihmisen toiminta, koska lunta mm. aurataan ja kuljetetaan pois kaupunkialueilta. Myös lumen ominaisuudet vaihtelevat mm. maankäytön ja aurauksen mukaan. Tehokas rakentaminen kasvattaa lumen tiheyttä ja pienentää albedoa.

Haihduntaa kaupungistuminen yleensä vähentää, koska satanut vesi valuu nopeasti pois läpäisemättömiltä pinnoilta. Sateisten ja kuivien vuosien erilaisen vaikutuksen ovat todenneet esim. Ferguson ja Suckling (1990, viitattu Kotola & Nurminen 2003a) tarkastellessaan muutoksia kaupungistuvan alueen hydrologiassa 30 vuoden ajalta. Tutkimuksen mukaan sateisina vuosina vuosivalunta lisääntyi ja kuivina vuosina väheni kaupungistumisen johdosta. Kuivina vuosina valunnan vähenemisen oletettiin johtuneen haihdunnan lisääntymisestä.

Kaupunkialueet vaikuttavat erityisesti pintavaluntaan kasvattaen sitä. Pintakerros- ja pohjavesivalunta puolestaan pienenevät. Pohjaveden pinta saattaa kaupungistumisen myötä myös laskea aiempaa alemmas. Ilmiöt johtuvat mm. läpäisemättömien pintojen osuuden kasvusta. Läpäisemättömien pintojen suhteellista määrää kuvataan läpäisemättömyyskertoimella, joka on yleensä suurempi kuin valuntakerroin.

Valuntatapahtumat ovat kaupunkialueilla usein hyvin nopeita, joten niiden arviointia rajoittaa tässä työssä mittausten puuttuminen. Jos virtaamamittaukset suoritetaan esim. kerran päivässä, saattaa toisena vuorokauden ajankohtana sattunut sade aiheuttaa suurenkin muutoksen virtaamassa, mikä ei kuitenkaan näy juuri virtaamamittauksen suorituksen aikaan. Tämän vuoksi tarvittaisiin hyvin tiheitä mittauksia tarkemman ja luotettavamman arvioinnin saavuttamiseksi.

Suurimmat valunnat aiheutuvat hulevesiviemäröidyillä alueilla kesäsateista. Yksittäisten sadetapahtumien valuntakertoimet vaihtelevat taajama-alueilla alueen laadusta riippuen

0,2...0,9 välillä. Valuntakertoimet ovat pienimpiä omakotialueilla ja suurimpia kerrostalokortteleissa, joissa on kestopäällysteiset pihat (Kajosaari 1973b).

Vuositasolla tarkasteltuna tilanne on erilainen, koska osa imeytyneestä vedestä valuu pohjavaluntana. Kokonaisvaluntakerroin on esim. Espoon Laaksolahdessa (pientaloalue, läpäisemätöntä pintaa 20 %) 0,43-0,49 ja Vallikalliassa (kerrostaloalue, läpäisemätöntä pintaa 50 %) 0,57-0,63 (Kotola & Nurminen 2003b).

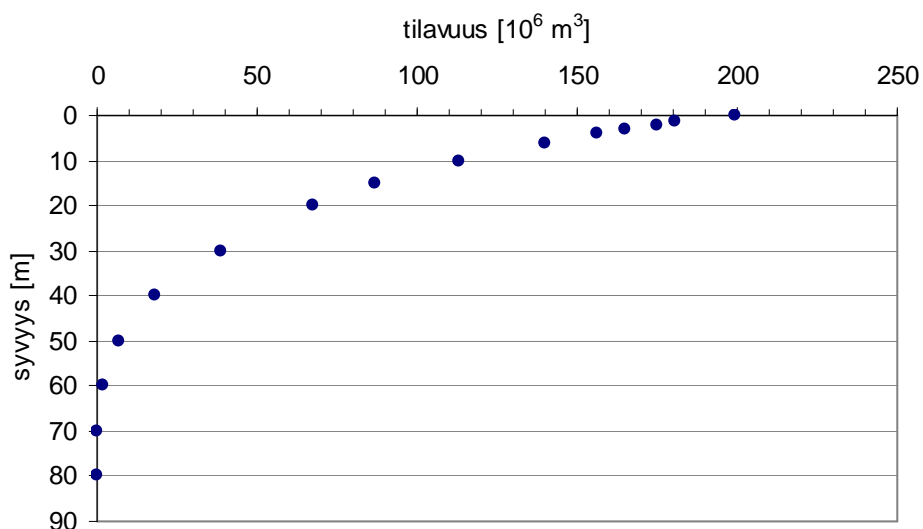
6 VARASTON MUUTOS

Tässä työssä vesivarastolla käsitetään lähinnä järvien varastoimat vedet. Järvien lisäksi tärkeitä vesivarastoja ovat maa- ja pohjavesivarat sekä talvella lumivarasto. Järven vesivaraston muutosta voidaan arvioida selvittämällä, paljonko järven tilavuus muuttuu vesisyvyyden muuttuessa.

Koska järven vedenpinta pysyttelee keskimäärin yleensä jollain tietyllä tasolla, pitkällä aikavälillä tarkasteltuna järven vesivaraston muutos on melko vähäinen verrattuna vesitaseen muihin komponentteihin. Jos kyseessä on lyhyt ajanjakso, varaston muutoksella on luonnollisesti suurempi merkitys.

6.1 Varaston muutoksen arviointi Pääjärvelle

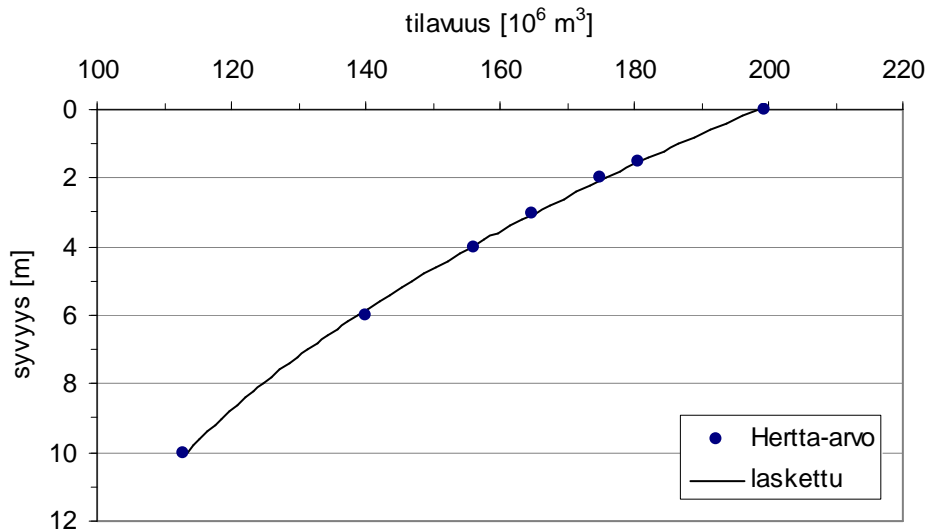
Kuvassa 17 näkyy Pääjärven tilavuuden riippuvuus järven syvyydestä. Syvyys 0 m tarkoittaa järven vedenpintaa, joka on korkeustasolla N60 keskimäärin +102,90 m (Hertta-ympäristötietojärjestelmä 2006a). Laskentavuosina 1973-1999 Pääjärven vedenpinta vaihteli välillä +102,47...+103,54 m ja oli keskimäärin tasolla +102,95 m.



Kuva 17. Pääjärven varastotilavuus S syvyyden z funktiona (Hertta).

Varaston muutosta lasketaan siis myös ekstrapoloimalla pisteisiin sovitettua yhtälöä kuvan 17 pisteiden ulkopuolelle. Koko syvyydelle sovitettu yhtälö ei toiminut

ylimmissä kerroksissa kovin hyvin, minkä vuoksi voidaan olettaa, että sen käytöstä aiheutuisi virhettä myös pisteiden ulkopuolella suoritettuun laskentaan. Niinpä käytettiin vain ylimpien kerrosten arvoihin sovitettua yhtälöä (kuva 18). Näin saatiin yhtälö, joka kuvaa tarkemmin juuri niitä vedenkorkeuksia, joissa muutokset todellisuudessa tapahtuvat.



Kuva 18. Pääjärven varastotilavuus S syvyyden z funktiona järven ylimmissä kerroksissa.

Yhteys järven tilavuudelle eli varaston koolle S [10^3 m^3] ja järven syvyydelle z [m] saatiin Excelin LINEST-funktiolla, jonka avulla saatiin funktion

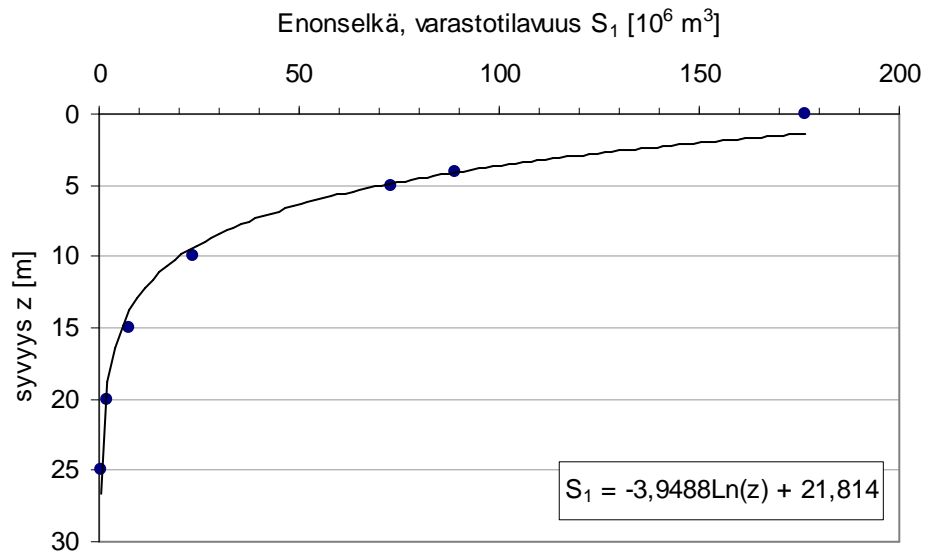
$$S = az^2 + bz + c \quad (27)$$

kertoimiksi suunnilleen $a = 356$, $b = -12067$ ja $c = 198400$. Laskennassa käytettiin kuitenkin tarkkoja arvoja. Tässä joudutaan tyytymään oletukseen, että tilavuus kasvaa samalla tavalla myös asteikon ulkopuolella, mikä ei tietenkään välttämättä todellisuudessa täysin pidä paikkansa.

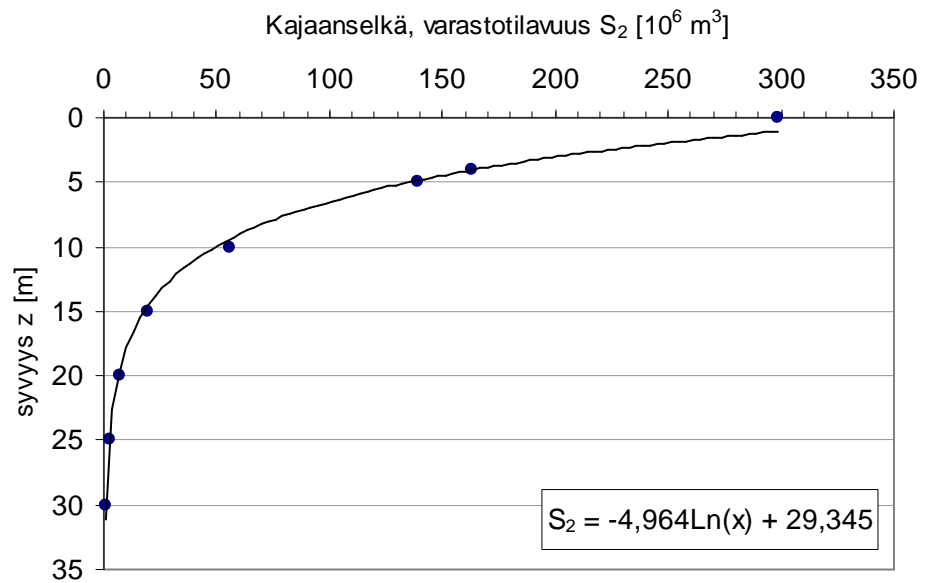
6.2 Varaston muutoksen arviointi Vesijärvelle

Vesijärvelle ei ollut tarjolla vastaavia koko järven kattavia syvyys-tilavuus-tietoja kuin Pääjärvelle. Sen sijaan Kajaanselälle ja Enonselälle oli tiedossa tilavuuksia ja pintaaloja eri syvyyksillä (Keto 1973). Varastotilavuuden muutoksen arviointi perustuu siis pääasiassa näihin tietoihin, jotka on esitetty kuvissa 19 ja 20. Lisäksi järven ja sen

selkien tiedot on koottu taulukkoon 9 (Keto & Sammalkorpi 1995). Vesijärven vedenpinta on korkeustasolla N60 keskimäärin +81,40 m (Hertta-ympäristötietojärjestelmä 2006b). Laskentavuosina 1981 ja 1985-1999 vedenpinta vaihteli välillä +81,19...+81,74 m ja oli keskimäärin tasolla +81,49 m.



Kuva 19. Enonselän varastotilavuus S_1 syvyyden z funktiona.



Kuva 20. Kajaanselän varastotilavuus S_2 syvyyden z funktiona.

Taulukko 9. Vesijärven selkien tiedot numeroina (muokattu Keto & Sammalkorpi 1995).

	Enonselkä	Paimelanlahti-Vähäselkä	Komonselkä	Laitilanselkä	Kajaanselkä	Vesijärvi
Valuma-alue [km ²]	84	97	37	159	138	515
Pinta-ala [km ²]	26	6	12,5	21,5	44	109
Suurin syvyys [m]	33	14,5	10,5	18,5	42	42
Keskisyvyys [m]	6,8	2,8	4	5,6	6,8	6
Keskitilavuus [10 ⁶ m ³]	176	17	50	120	300	663
Osuus koko tilavuudesta	27 %	3 %	8 %	18 %	45 %	

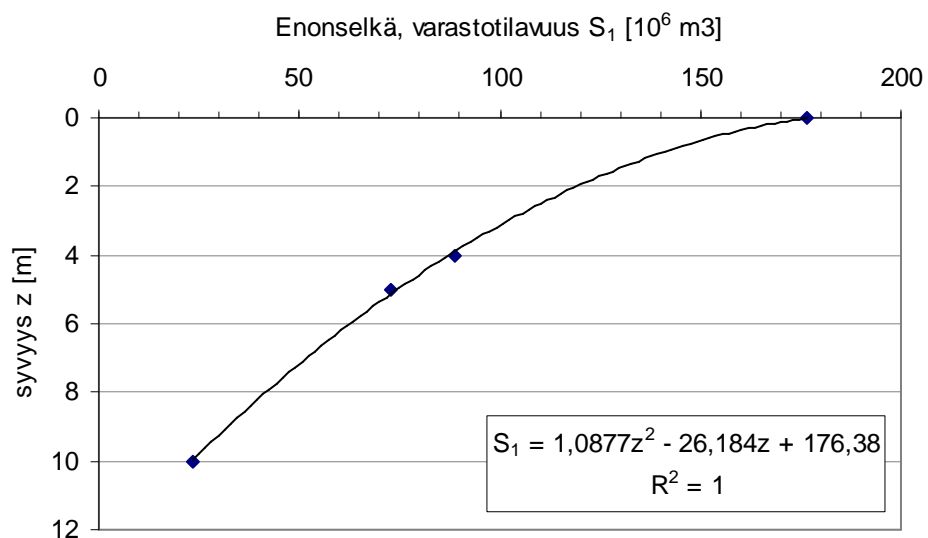
Kuvista 19 ja 20 ilmenee, että käyrän sovitus aineistoon aiheuttaa virhettä etenkin lähellä pintaa olevissa kerroksissa, jotka ovat kuitenkin varaston muutoksen arvioinnin kannalta oleellisimmat, kuten jo Pääjärven varaston muutoksen arvioinnin yhteydessä todettiin. Tämän vuoksi otettiin vain neljän ylimmän kerroksen pisteet (syvyys 0-10m), joiden perusteella arvio suoritettiin. Kuvissa 21 ja 22 näkyvät ylimpiin pisteisiin sovitetut suorat. Enonselän varastotilavuus S_1 voidaan siis laskea kaavalla

$$S_1 = 1,0877z^2 - 26,184z + 176,38 \quad (28)$$

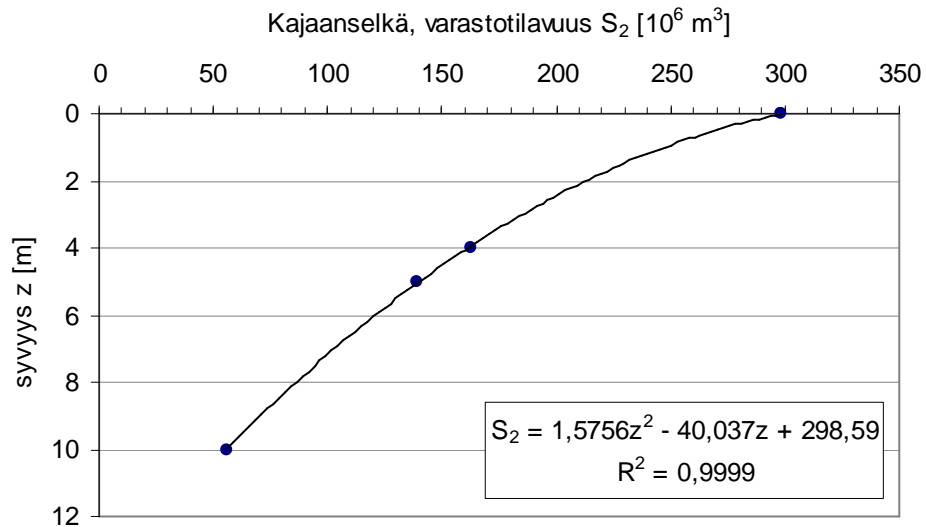
ja Kajaanselän varastotilavuus S_2 kaavalla

$$S_2 = 1,5756z^2 - 40,037z + 298,59, \quad (29)$$

missä z kuvaa syvyyttä järven pinnasta lukien.



Kuva 21. Enonselkä, ylimmät kerrokset.

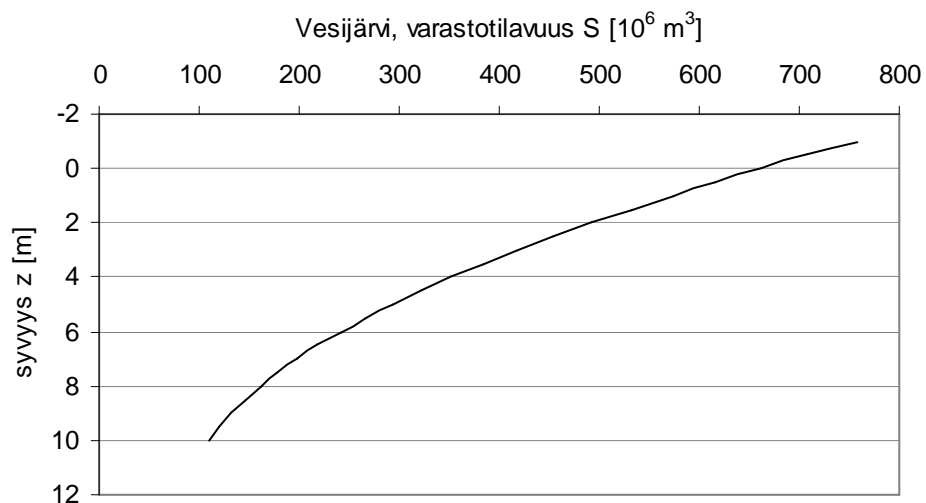


Kuva 22. Kajaanselkä, ylimmät kerrokset.

Koko Vesijärven tilavuus on n. 663 milj.m^3 , kuten taulukosta 9 ilmenee. Enonselän ja Kajaanselän yhteenlaskettu tilavuus on n. 475 milj.m^3 eli n. 72 % koko järven tilavuudesta. Tämän perusteella koko järven yhtälö saadaan kertomalla yhtälöiden 28 ja 29 summa kertoimella $1/0,72$. Koko järven varastotilavuuden yhtälöksi saadaan siis

$$S = \frac{1}{0,72}(S_1 + S_2) = \frac{1}{0,72}(az^2 + bz + c), \quad (30)$$

missä kertoimien likimääräiset arvot ovat $a = 2,66$, $b = -66,21$ ja $c = 474,97$. Kuvassa 23 on esitetty yhtälön 30 mukaiset tulokset Vesijärven varastotilavuuden ja syvyyden suhteelle.



Kuva 23. Vesijärven laskettu varastotilavuus eri syvyyksillä ylimmissä kerroksissa.

7 TULOVALUNTA - TULOKSET

7.1 Pääjärven tulovalunta

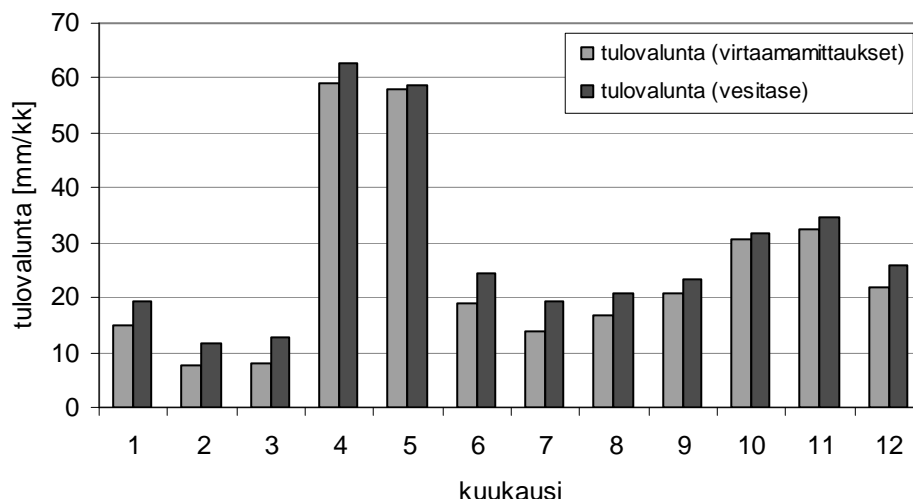
Pääjärven yläpuolisen alueen tulovirtaama määritettiin aluksi vesitaseyhtälön avulla laskemalla sitä kaavalla

$$I = Q + E - P + \Delta S, \quad (31)$$

missä I on tulovirtaama, Q on menovirtaama, E on haihdunta järvestä, P sadanta järveen ja ΔS on varaston muutos. Tulovirtaama muutettiin sen jälkeen tulovalunnaksi [mm/d] järven yläpuolisen alueen pinta-alaa kohden. Menovirtaamana käytettiin Teuronjoen virtaamatietoja ja haihduntana Vestolassa mitattuja Class A – haihduntoja, jotka korjattiin vastaamaan paremmin järvihaihduntaa luvussa 4.2.3 esitetyllä tavalla. Varaston muutos laskettiin järven vedenpinnan korkeustietojen avulla luvussa 6.1 esitetyllä tavalla. Vedenpinnan korkeustiedot olivat peräisin Hertta-ympäristötietojärjestelmästä.

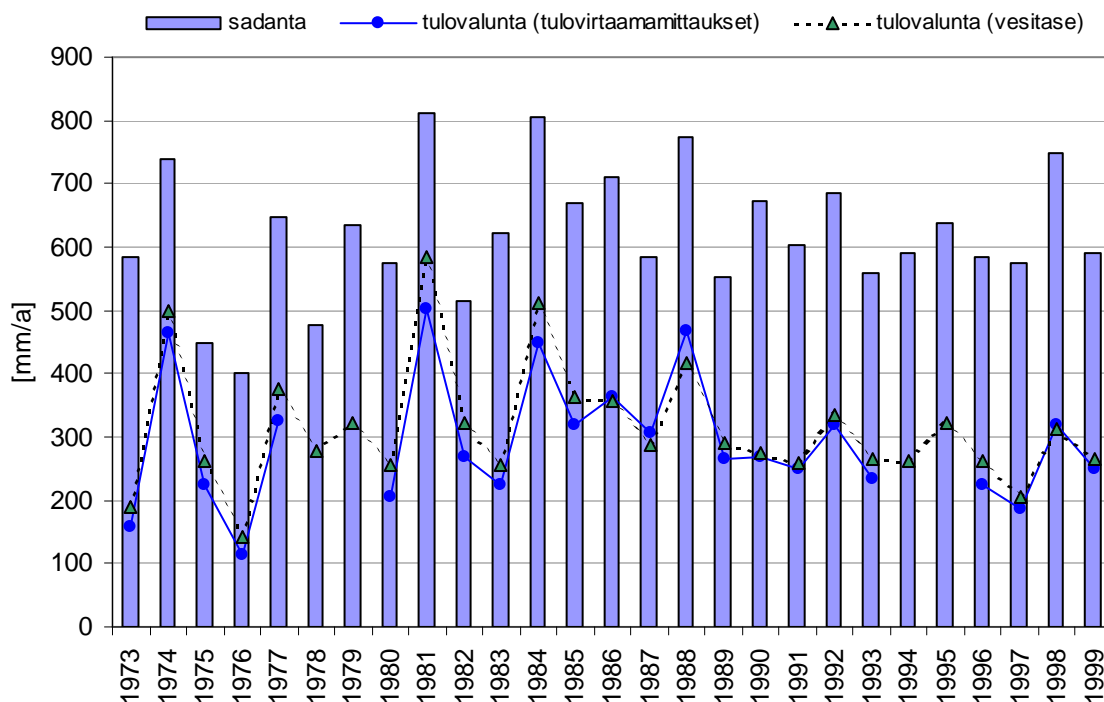
Tulovaluntaa laskettiin myös Pääjärveen laskevien jokien virtaamien avulla. Mustajoen ja Haarajoen osalta käytettiin Hertta-järjestelmästä löytyviä virtaamatietoja, jotka muutettiin valunnoiksi. Löyttynojan ja Koiransuolenojan mittaukset eivät olleet Hertassa, mutta olivat myös peräisin SYKE:n mittauksista. Lähivaluma-alueelta ja Luhdanjoelta ei ollut käytettävissä mittaustietoja. Mittaukset kattoivat siis 73 % järven yläpuolisesta alueesta. Niiden avulla laskettiin valunta, joka oli siis osavaluma-alueiden pinta-aloilla painotettu keskiarvo.

Vuosilta 1973-1978 ja 1981-1986 (yht. 12 vuotta) oli saatavilla virtaama/valuntatietoja kaikilta neljältä Pääjärven osavaluma-alueelta, joilla mittauksia oli tehty. Mittausten perusteella lasketuksi tulovalunnaksi saatiin keskimäärin 303 mm/a. Vesitase yhtälön avulla laskettuna tulovalunta oli näinä vuosina keskimäärin 345 mm/a. Kuvassa 24 on esitetty näiltä vuosilta sekä vesitaseyhtälön avulla että mittaustietojen perusteella lasketut keskimääräiset tulovalunnat eri kuukausina. Kuvan 24 perusteella nähdään, että eniten valuntaa tulee huhti-toukokuussa, jolloin tapahtuu yhteensä yli 35 % koko vuoden valunnasta.



Kuva 24. Pääjärveen laskevien jokien virtaamamittausten perusteella ja vesitaseen avulla lasketut tulovaluntakeskiarvot vuosina 1973 - 1978 ja 1981 - 1986.

Koska Koiransuolenojan data loppui vuoteen 1986, mutta muilta osavaluma-alueilta oli mittauksia huomattavasti pidemmälle, laskettiin tulovaluntaa aina vuoteen 1999 asti. Koiransuolenoja on melko pieni valuma-alue, joten vuosina 1987-1999 mittaukset kattoivat silti 70 % järven yläpuolisesta alueesta. Tulokset sopivat nyt jopa paremmin yhteen palautuslaskelmilla lasketun tulovalunnan kanssa, koska niiden erot näyttivät nyt satunnaisilta, kun ne vuosien 1973-1986 aikana näyttivät enemmänkin systemaattisilta mitattujen arvojen ollessa aina pienempiä kuin laskettujen (poikkeuksena kuitenkin vuosi 1986). Kuvassa 25 on esitetty Pääjärven mitatut ja lasketut valunnat eri vuosina. Mitattujen valuntojen keskiarvo vuosilta 1973-1978, 1981-1993 ja 1996-1999 oli 292 mm/a ja laskettujen valuntojen osalta 318 mm/a. Vuosilta 1978-1980 puuttui dataa Mustajoelta ja vuosilta 1994-1995 puolestaan Koiransuolenojan lisäksi myös Löyttynojasta. Tuloksia erikseen eri osavaluma-alueiden osalta on tarkasteltu maankäytön vaikutuksen arvioinnin yhteydessä luvussa 8.1.



Kuva 25. Päijärveen laskevien jokien virtaamamittausten perusteella ja vesitaseen avulla lasketut tulovalunnat sekä korjattu sadanta vuosina 1973 - 1999.

7.2 Vesijärven tulovalunta

Vesijärven tulovalunta laskettiin käyttämällä menovirtaamatietoina Vääksyjoen ja -kanavan virtaamatietoja, jotka saatiin Hertasta. Haihduntana käytettiin Lammin Vestolan Class A - haihduntoja, jotka oli korjattu vastaamaan paremmin järvihaihduntaa luvussa 4.2.3 esitetyllä tavalla. Järveen tulevan sadannan arvioinnissa käytettiin rasteriaineiston sadantaa. Lisäksi harjuun menevän veden arvioinnissa käytettiin Lahti-Hollola pohjavesimallin tuloksia, joiden mukaan Jalkarannassa vettä imeytyy järvestä harjuun n. 11000 m³/d ja Teivaan alueella 2600 m³/d (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2004). Porvoonjokeen pumpattavat laimennusvesimäärät huomioitiin myös järvestä poistuviin vesimääriin. Varaston muutos arvioitiin järven pinnan korkeusvaihteluiden avulla luvussa 6.2 esitetyllä tavalla. Vedenkorkeustiedot olivat peräisin Hertasta ja ne oli mitattu Lahden kaupungin edustalla. Koska Porvoonjokeen pumpattavat vesimäärät olivat yksikössä [m³/kk], laskettiin valuntaa vain kuukausitasolla.

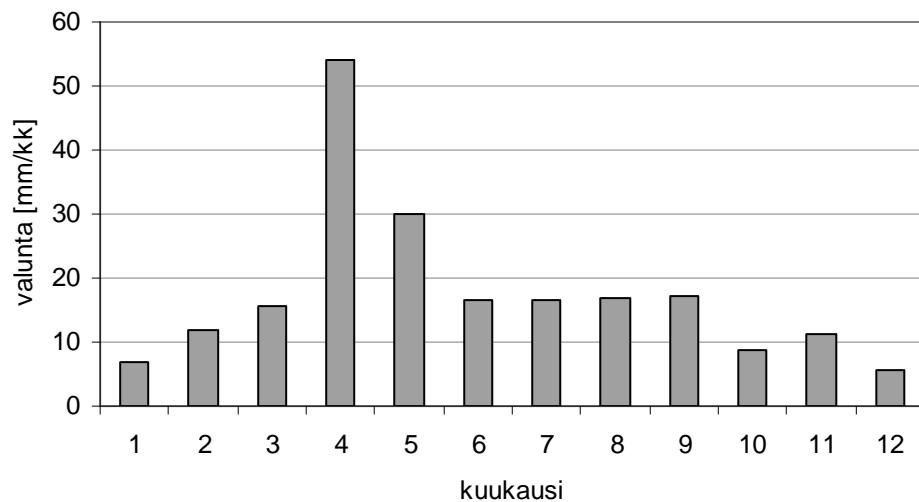
Tulovirtaama I järveen laskettiin siis kaavalla

$$I = Q_{\text{Vääksy}} + Q_{\text{harjuun}} + Q_{\text{Porvoonjokeen}} + E - P + \Delta S \quad (32)$$

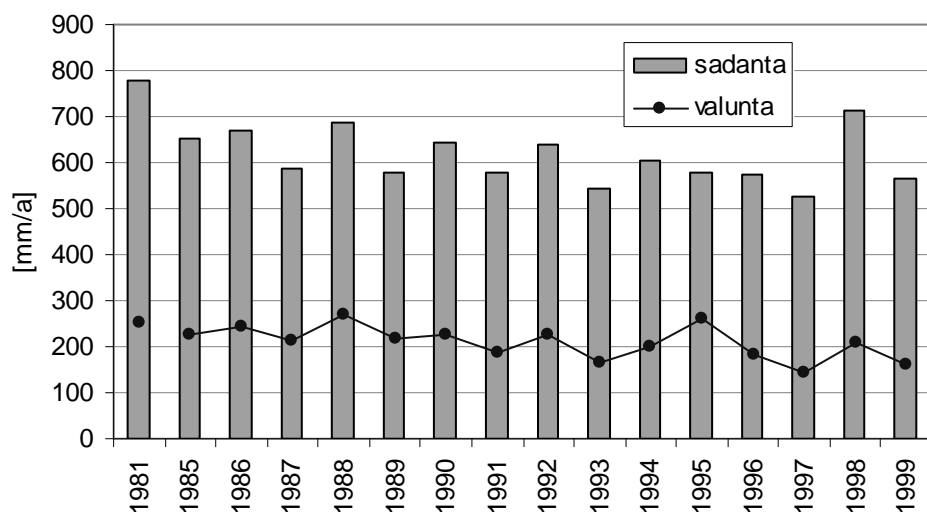
missä E on haihdunta järvestä, P sadanta järveen, ΔS järven vesivaraston muutos ja Q :t edustavat järvestä poistuvia virtaamia. Virtaama muutettiin tämän jälkeen valunnaksi [mm/kk] järven yläpuolisen valuma-alueen pinta-alaa kohden.

Laskujen perusteella tulovalunta vuosina 1981 ja 1985-1999 oli keskimäärin 212 mm/a, joka on huomattavasti vähemmän kuin Pääjärven alueella. Suurimmat valunnat ajoittuvat huhtikuulle ja toukokuulle huhtikuun valunnan ollessa kuitenkin selvästi suurempi, kuten kuvasta 26 käy ilmi. Syksyllä ja talvella valunnat ovat erittäin pieniä.

Vesijärven laskevista joista ja puroista oli niin vähän ja satunnaisesti mittauksia, että niiden perusteella ei voitu arvioida tulovaluntaa kuten Pääjärven osalta tehtiin.



Kuva 26. Vesijärven keskimääräinen tulovalunta vuosilta 1981 ja 1985 - 1999.



Kuva 27. Vesijärven sadanta ja valunta vuosina 1981 ja 1985-1999.

7.3 Pääjärven ja Vesijärven tulovalunnan vertailu

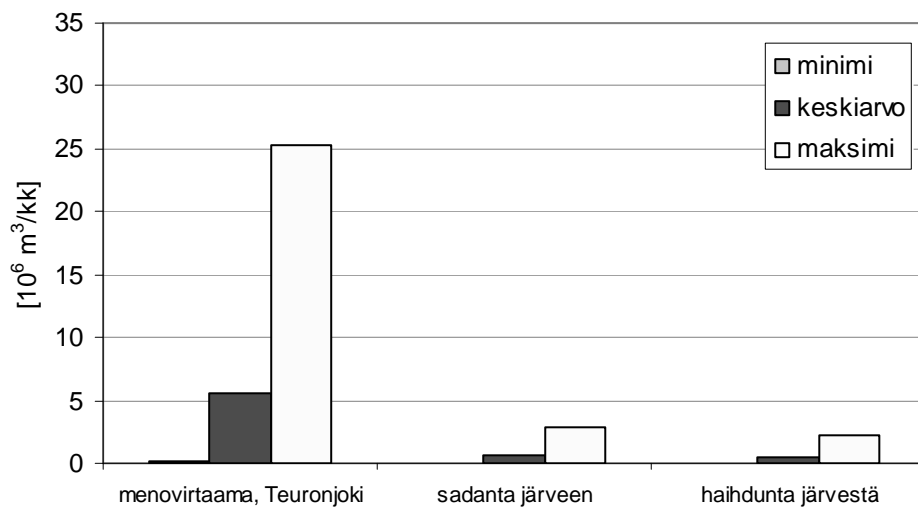
Vuodet, jolloin sekä Pääjärvelle että Vesijärvelle pystyttiin laskemaan tai mittaamaan tulovalunta, olivat 1981, 1985-1993 ja 1996-1999. Näinä vuosina vesitaseen komponentit järvien yläpuolisille valuma-alueille löytyvät taulukosta 10. Sadannassa on vain hieman eroa, mutta valunta ja valuntaprosentti ovat Pääjärvellä selvästi suurempia kuin Vesijärvellä. Melko suuri ero löytyy myös haihdunnasta, joka on laskettu sadannan ja valunnan erotuksena. Erojen mahdollisia syitä on arvioitu luvussa 9.

Taulukko 10. Vesitaseen komponentit Pääjärven ja Vesijärven yläpuolisella valuma-alueella vuosina 1981, 1985-1993 ja 1996-1999 (yht. 14 vuotta).

	Pääjärvi - mitattu	Pääjärvi - laskettu	Vesijärvi
sadanta [mm/a]	651	651	624
valunta [mm/a]	305	320	209
haihdunta [mm/a]	346	331	415
valunta-%	46,8 %	49,2 %	33,5 %

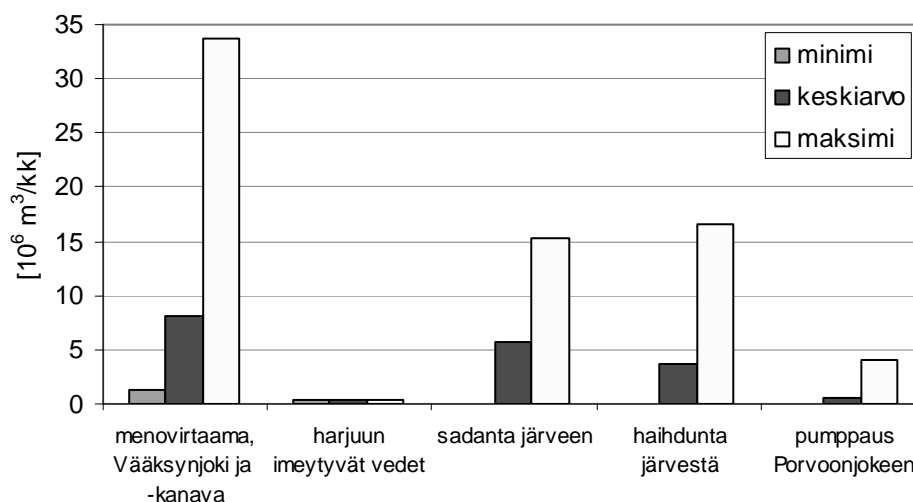
7.4 Tulovaluntaan vaikuttavat komponentit

Pääjärven tulovalunnan laskentaan vaikuttaa kuukausitasolla selkeästi eniten menovirtaama kuten kuvasta 28 voidaan havaita. Sadannan ja haihdunnan osuus on melko vähäinen menovirtaamaan verrattuna. Tämä johtuu luonnollisesti siitä, että Pääjärvi on valuma-alueeseen nähden melko pieni järvi.



Kuva 28. Pääjärven tulovalunnan laskentaan vaikuttavat komponentit vuosina 1972-1999.

Vesijärven tulovalunnan laskentaan vaikuttavista komponenteista menovirtaama Vääkysyssä on myös suurin. Kuitenkin sadanta ja haihdunta järvestä ovat myös melko suuria. Harjuun imeytyvät vesimäärät ja Porvoonjokeen pumpattavat laimennusvedet ovat muihin komponentteihin nähden melko pieniä.



Kuva 29. Vesijärven tulovalunnan laskentaan vaikuttavat komponentit vuosina 1981 ja 1985-1999.

Kummankin järven osalta testattiin myös, paljonko tietyn komponentin pitäisi muuttua, jotta tulovalunta kasvaisi tietyn määrän vuodessa. Taulukossa 11 on esitetty tulokset Pääjärven ja taulukossa 12 Vesijärven osalta. Tavoitteena oli selvittää suuntaa sille, paljonko tulovalunnassa voisi olla virhettä ja mitkä mittaus- tai arviointivirheet siihen vaikuttavat helpoiten. Taulukoiden 11 ja 12 perusteella menovirtaamassa ei tarvitse olla kovinkaan suurta mittausvirhettä, jotta tulovalunta kasvaisi 10 mm/a. Vesijärvellä muutokset haihdunnassa ja sadannassa muuttavat tuloksia myös melko herkästi. Koska etenkin järvellä tapahtuvan haihdunnan ja sadannan arviointi on melko epävarmaa, saattavat nämä aiheuttaa helpommin virhettä kuin menovirtaama, jota voidaan mitata tarkemmin.

Taulukko 11. Tulovalunnan muutoksen vaikutus Pääjärven tulovalunnan laskentaan vaikuttaviin komponentteihin.

tulovalunnan lisäys [mm/a]	menovirtaama, Teuronjoki	sadanta	haihdunta
10	+ 3 %	- 24 %	+ 37 %
50	+ 15 %	- 119 %	+ 186 %
100	+ 30 %	- 238 %	+ 372 %

Taulukko 12. Tulovalunnan muutoksen vaikutus Vesijärven tulovalunnan laskentaan vaikuttaviin komponentteihin.

tulovalunnan lisäys [mm/a]	menovirtaama, Vääksy	pumppaus Porvoonjokeen	harjuun menevä määrä	haihdunta	sadanta
10	+ 4 %	+ 53 %	+ 81 %	+ 9 %	- 6 %
50	+ 21 %	+ 267 %	+ 405 %	+ 45 %	- 30 %
100	+ 41 %	+ 534 %	+ 811 %	+ 91 %	- 60 %

8 MAANKÄYTÖN VAIKUTUS VALUNTAAN JA HAIHDUNTAAN

Tämä luku perustuu Pääjärvellä mitattuihin osavaluma-alueiden valuntoihin ja vertailualueina käytettyjen SYKE:n pienten valuma-alueiden mittaustuloksiin. Näiden tulosten ja alueiden erilaisen maankäytön avulla yritetään löytää yhteys maankäytön ja valunnan välille.

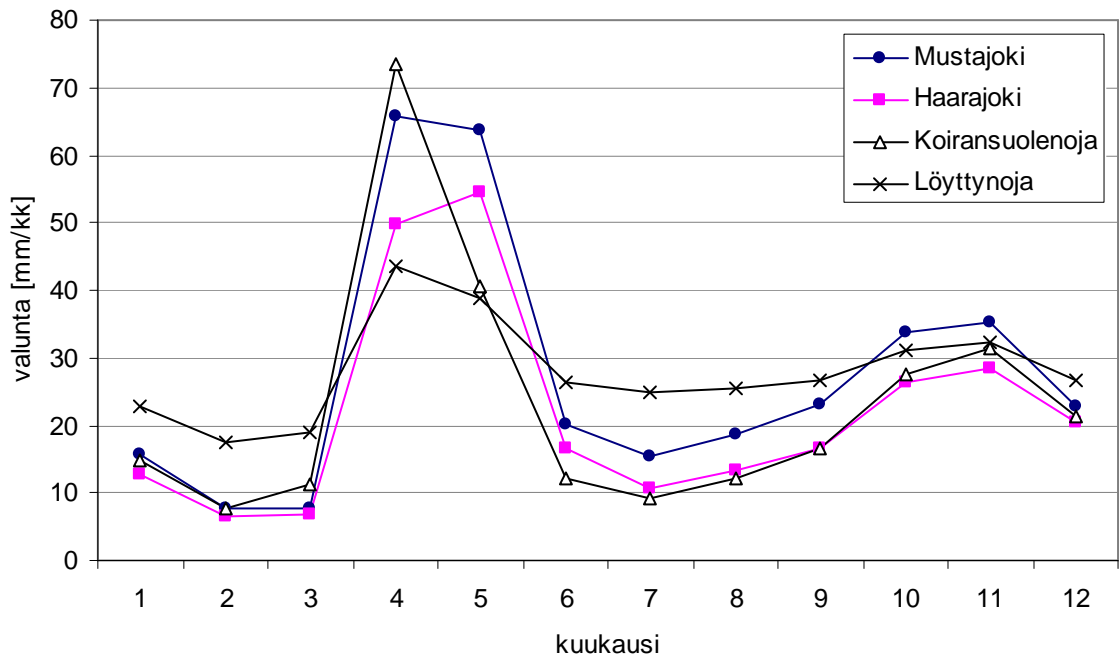
Eri alueiden vertailu sellaisenaan ei ole aivan ongelmaton, koska valuntaan vaikuttavat niin monet tekijät. Tässä työssä etenkin Pääjärven osavaluma-alueista Löyttynoja näytti käyttäytyvän muista poikkeavasti suuren pohjavalunnan vuoksi. Löyttynojan valuma-alueen maaperä on muodostunut suurelta osin harjasta, joka johtaa hyvin vettä. Tämän vuoksi valunnan vuodenaikaiset vaihtelut eivät ole yhtä suuria kuin muilla alueilla vaan valuntaa tulee melko tasaisesti ympäri vuoden (Hakala et al. 2002). Löyttynojasta valuntaa tulee myös keskimäärin enemmän kuin muilta alueilta.

8.1 Valunta Pääjärven osavaluma-alueilla

Taulukon 13 perusteella nähdään, että koko vuoden aikana eniten valuntaa tulee Löyttynojan ja vähiten Haarajoen valuma-alueelta. Keskimääräiset kuukausittaiset valunnat eri osavaluma-alueilla on esitetty kuvassa 30, jossa näkyy myös Löyttynojan poikkeuksellisen tasainen valunta. Toisen poikkeuksen muodostaa Koiransuolenoja, jossa valuntaa tulee selkeästi eniten huhtikuussa. Mustajoen alueella huhtikuu on myös kuukausi, jolloin valuntaa tulee eniten, mutta se ei kuitenkaan erotu yhtä selkeästi toukokuusta kuin Koiransuolenojassa. Haarajoella puolestaan eniten valuntaa tulee toukokuussa, mutta ero huhtikuuhun on melko pieni.

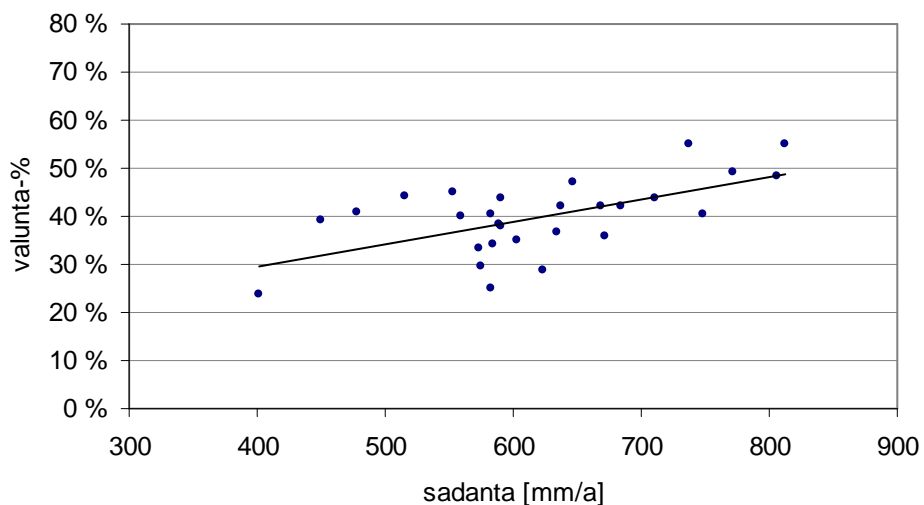
Taulukko 13. Keskimääräiset valunnat Pääjärven osavaluma-alueilla vuosina 1973 - 1978 ja 1981 - 1986 (yht. 12 vuotta).

	Mustajoki	Haarajoki	Koiransuolenoja	Löyttynoja
valunta [mm/a]	329,7	263,0	278,5	335,1

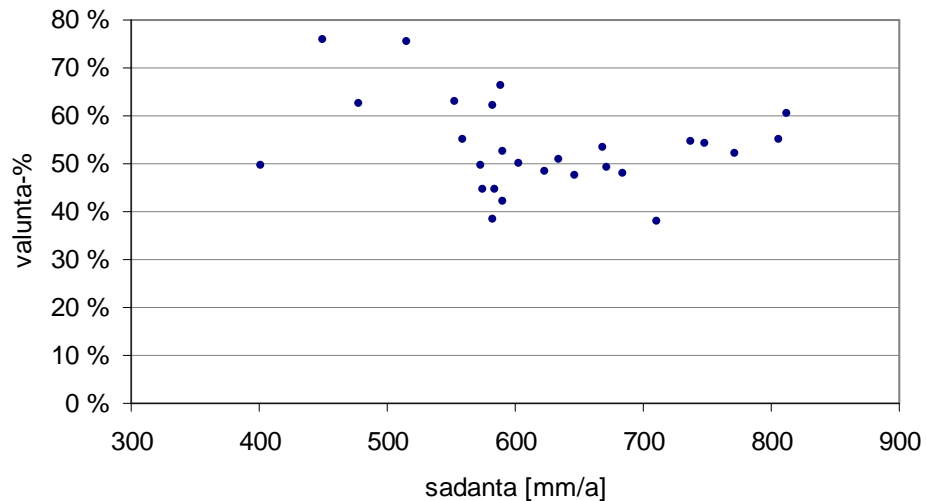


Kuva 30. Keskimääräinen valunta kuukausittain Pääjärven osavaluma-alueilla vuosina 1973-1978 ja 1981-1986 (yht. 12 vuotta).

Kuvassa 31 näkyy sadannan vaikutus valuntaprosenttiin Haarajoen valuma-alueella. Sen mukaan valuntaprosentti kasvaa sadannan lisääntyessä. Mustajoen ja Koiransuolenojan valuma-alueilla tilanne oli samankaltainen. Löyttynojan osalta tilanne oli kuitenkin erilainen (kuva 32) ja valuntaprosentti näyttää keskimäärin suorastaan pienenevän, mitä enemmän on sadantaa. Kuitenkin jos tarkastellaan vain yli 600 mm:n suuruisia sadantoja, huomataan että sielläkin valuntaprosentti kasvaa sadannan lisääntyessä.



Kuva 31. Sadannan vaikutus Haarajoen valuma-alueen valuntaprosenttiin.



Kuva 32. Sadannan vaikutus Löyttynojan valuma-alueen valuntaprosenttiin.

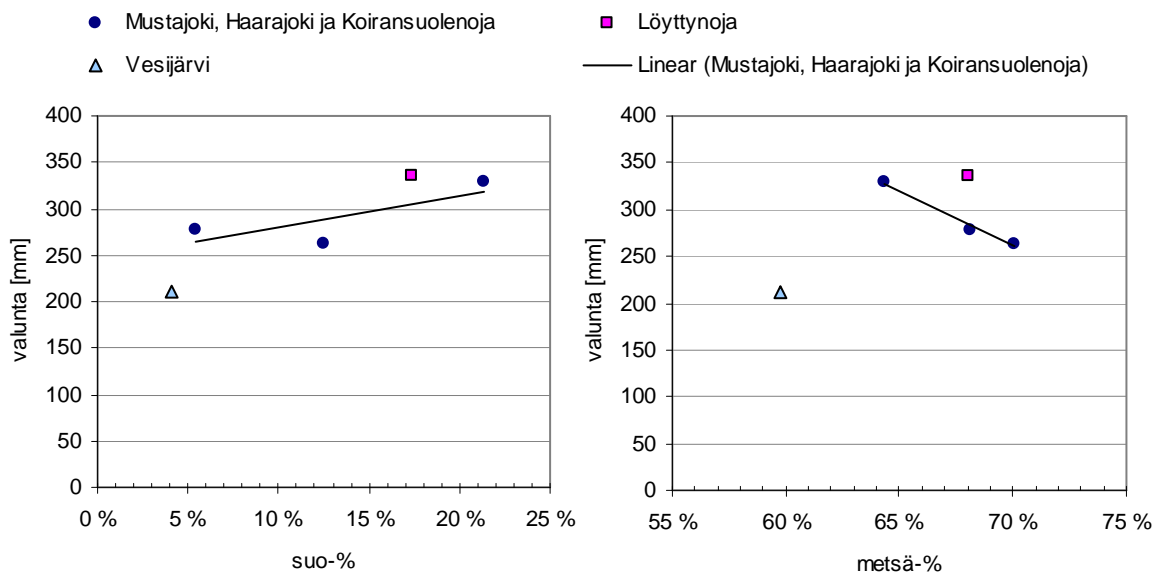
8.2 Maankäytön vaikutus tutkimusvaluma-alueilla

Maankäytön vaikutusta valuntaan tutkittiin ensin Pääjärven osavaluma-alueiden ja Vesijärven valuma-alueen avulla. Vesijärven ja Löyttynojan valunta on kuitenkin erotettu kuvissa, koska niihin vaikuttavat muut tekijät ovat todennäköisesti sen verran merkittäviä, että ne niiden vuoksi poikkeavat Pääjärven muista valuma-alueista. Kuvissa 33-40 regressiosuorat on piirretty Mustajoen, Haarajoen ja Koiransuolenojan pisteiden perusteella ja tuloksia on myös tulkittu näiden perusteella. Pisteitä on siis vain kolme, joten pitää muistaa, ettei niin vähäisen määrän perusteella voi vetää kovin luotettavia johtopäätöksiä.

Kuvissa 33-40 Pääjärven valunnat ovat vuosien 1973-1978 ja 1981-1986 mitattuja keskiarvoja. Sadanta oli tuolloin keskimäärin 620 mm/a. Vesijärven valunta on puolestaan keskiarvo vuosilta 1981 ja 1985-1999 ja se on laskettu luvussa 7.2 esitetyllä tavalla. Sadanta oli noina vuosina keskimäärin 620 mm/a eli sama kuin Pääjärvellä, vaikka kyseessä olivatkin eri vuodet. Vertailun pitäisi siis onnistua kohtalaisesti. Vesijärven valuma-alue on huomattavasti suurempi kuin Pääjärven osavaluma-alueet. Valuma-alueen koko vaikuttaa valunnan muodostumiseen, joten tämä seikka saattaa myös vaikuttaa siihen, ettei Vesijärven tulovalunta osu Pääjärven osavaluma-alueiden pisteiden kanssa samalle suoralle.

8.2.1 Vaikutukset vuosivaluntaan

Suon määrän lisääntyessä, valunta näyttäisi lisääntyvän (kuva 33). Ainakin Pääjärvellä suot on enimmäkseen ojitettu, mikä todennäköisesti selittää valunnan lisääntymisen. Metsällä puolestaan näytti olevan valuntaa pienentävä vaikutus. Tämä näkyy kuvassa 33, josta voidaan myös huomata, että Vesijärven tulovalunta ei osu juuri ollenkaan muiden pisteiden kanssa samalle suoralle. Peltojen määrällä ei ollut juuri minkäänlaista vaikutusta vuosivaluntaan.



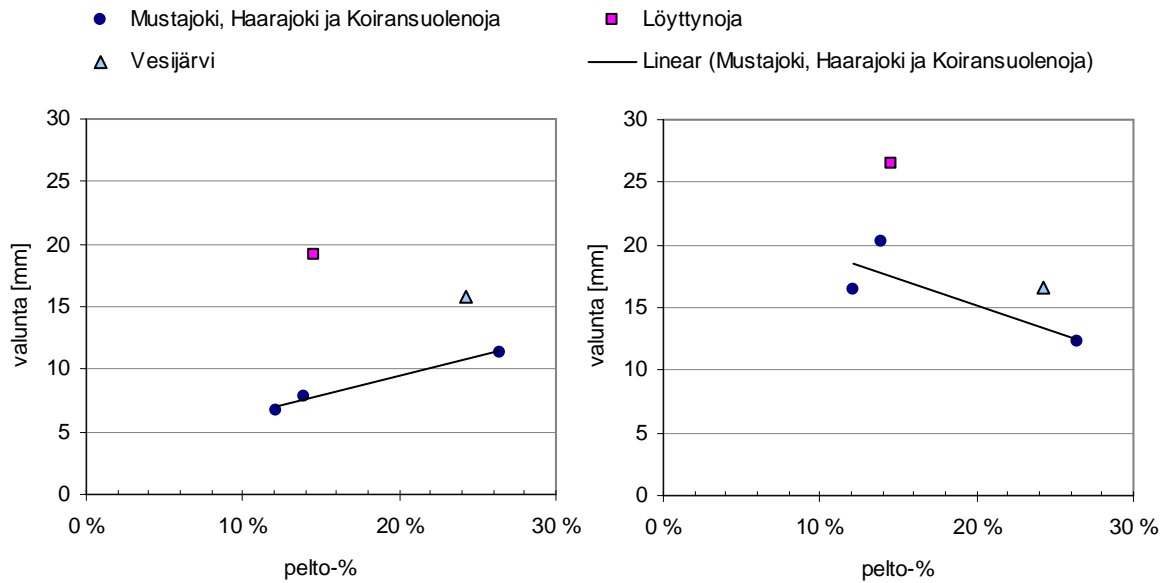
Kuva 33. Suon ja metsän määrän vaikutus vuosivaluntaan.

8.2.2 Vaikutukset eri kuukausina

Tilannetta tarkasteltiin myös eri kuukausina erikseen. Löyttynojan ja Vesijärven valunta on kuvissa taas erotettu. Joului-, tammi- ja helmikuussa erot Mustajoen, Haarajoen ja Koiransuolenojan valuma-alueiden valunnoissa ovat niin pieniä, että valuntojen vertailu maankäytön kanssa ei käytännössä tuota tuloksia.

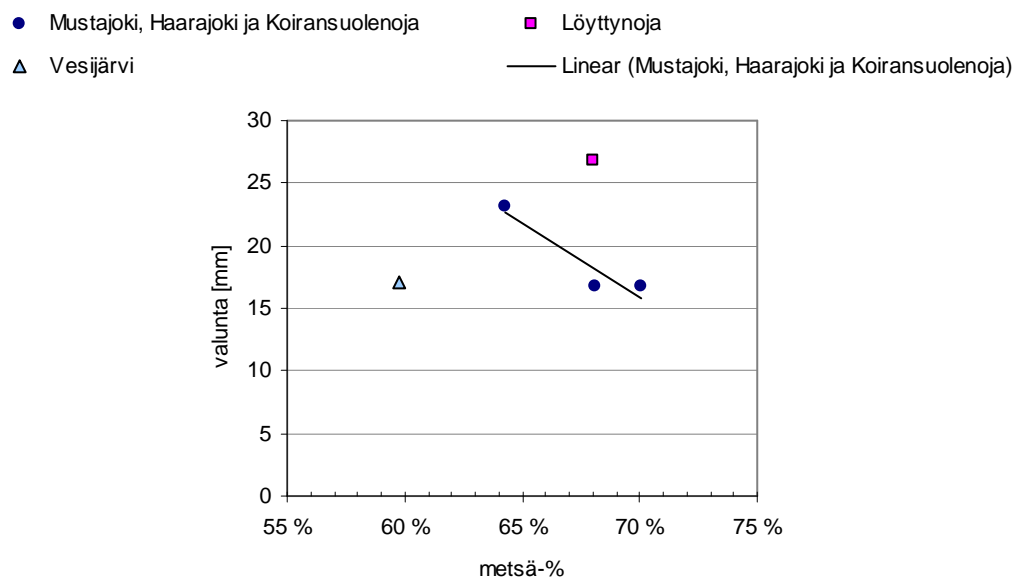
Mustonen (1965) totesi peltojen lisäävän kevätvaluntaa (taulukko 8) ja arvioi syyksi ojien virtausta nopeuttavan vaikutuksen. Lisäksi voidaan olettaa, että lunta kertyy aukealle peltoalueelle enemmän kuin metsiin ja se myös sulaa pelloilta nopeammin pois. Myös Pääjärven osavaluma-alueiden tulosten perusteella pellon osuuden lisääntyessä valunta lisääntyy keväällä, mutta kasvukaudella toukokuusta syyskuuhun valuntaa tulee sitä vähemmän mitä enemmän peltoja alueella on. Esimerkkeinä

peltoprosentin vaikutus maaliskuun ja kesäkuun (kuva 34) valuntaan. Lokakuusta eteenpäin peltoprosentilla ei juurikaan ole merkitystä.



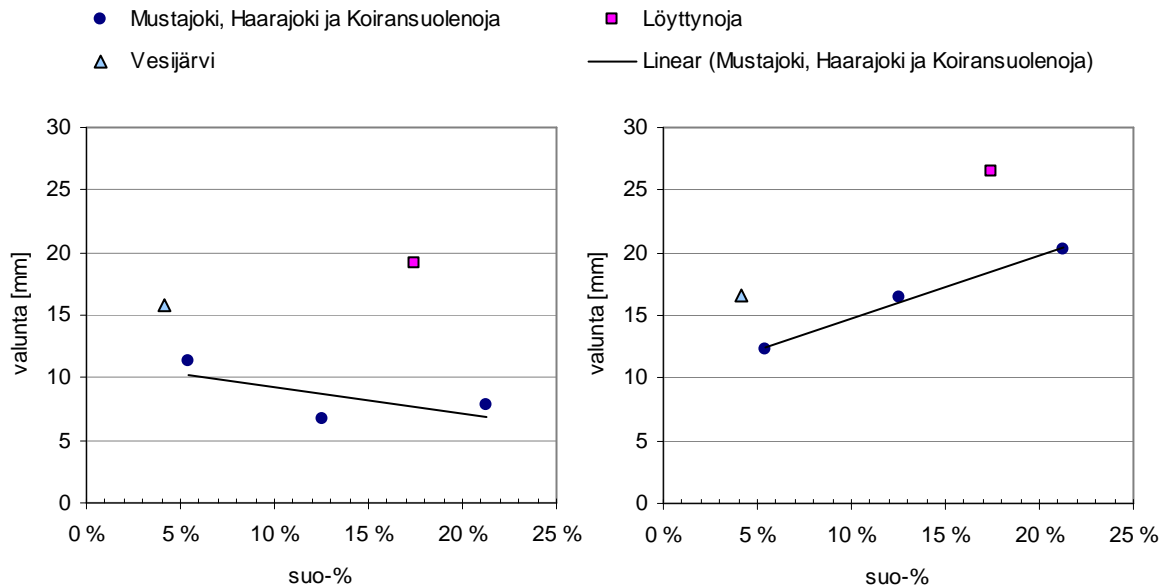
Kuva 34. Peltoprosentin vaikutus maaliskuun (vasemmalla) ja kesäkuun (oikealla) valuntaan.

Metsien osuuden kasvu näytti vähentävän valuntaa kesällä, syksyllä ja talvella. Kuvassa 35 on esimerkkinä metsän osuuden vaikutus syyskuun valuntaan. Keväällä metsien osuudella ei juurikaan näyttänyt olevan merkitystä valuntaan yksittäisinä kuukausina, mutta kuten myöhemmin kuvasta 37 nähdään, kevätkuukausien valuntasummaa tarkasteltaessa vaikutus näkyy.



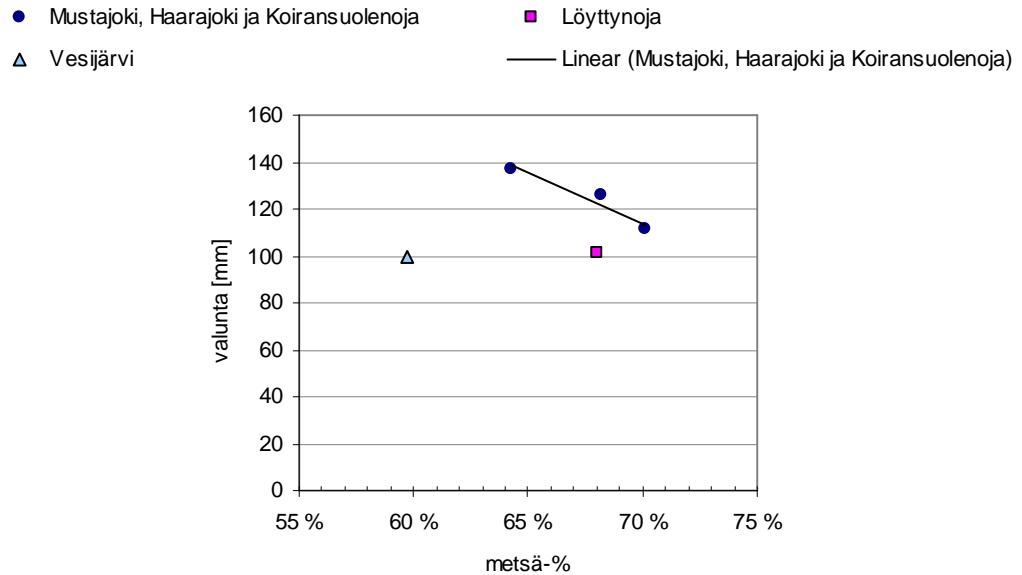
Kuva 35. Metsän osuuden vaikutus syyskuun valuntaan.

Suon osuuden lisääntyessä valunta näytti lisääntyvän touko...lokakuussa. Esimerkkinä tästä on esitetty suon osuuden vaikutus kesäkuun valuntaan kuvassa 36. Maaliskuussa valunta näytti jossain määrin vähenevän suon osuuden kasvaessa (kuva 36). Huhtikuussa suuntaus oli myös laskeva, mutta hajonta oli niin suurta, että merkitys on melko vähäinen.



Kuva 36. Suon osuuden vaikutus maaliskuun (vasemmalla) ja kesäkuun (oikealla) valuntaan.

Eri kuukausien lisäksi testattiin vielä onko maankäytöllä vaikutusta maalis-, huhti- ja toukokuun yhteenlaskettuun valuntaan. Selvimmin vaikutus näkyi metsän osuuden kasvaessa jolloin valunta väheni (kuva 37). Peltojen ja soiden määrällä ei juurikaan näyttänyt olevan merkitystä.



Kuva 37. Metsän osuuden vaikutus maaliskuu-, huhti- ja toukokuun yhteenlaskettuun valuntaan.

8.2.3 Ylivalunta ja sen ajoittuminen

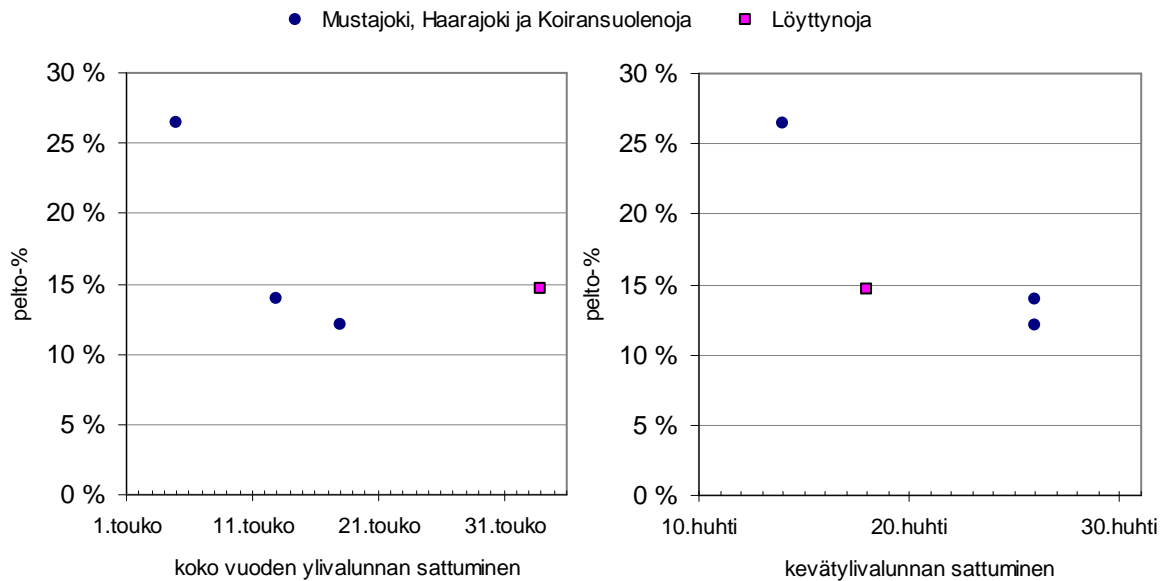
Ylivaluntojen suuruutta ja ajoittumista tarkasteltiin sekä koko vuoden että kevätylivaluntojen osalta. Materiaalina olivat Mustajoen, Haarajoen, Koiransuolenojan ja Löyttynojan virtaama/valuntamittausaineistot. Tarkastelu rajoittui vuosiin 1973-1978 ja 1981-1986, jolloin kaikilta em. alueilta oli mittauksia. Pääasiassa koko vuoden ylivalunnat ajoittuivat keväälle, mutta joinakin vuosina kesällä tai syksyllä satoi niin paljon, että suurimmat valunnat mitattiin tuolloin. Taulukossa 14 on esitetty keskimääräiset ylivalunnat ja niiden ajankohdat.

Taulukko 14. Keskimääräinen ylivalunta ja sen ajoittuminen Pääjärven osavaluma-alueilla vuosina 1973 - 1978 ja 1981 - 1986.

	Mustajoki	Haarajoki	Koiransuolenoja	Löyttynoja
kevätylivalunnan sattumispäivä	26. huhti	26. huhti	14. huhti	18. huhti
koko vuoden ylivalunnan sattumispäivä	13. touko	18. touko	5. touko	3. kesä
kevätylivalunta [mm/d]	7,1	5,1	6,9	3,5
koko vuoden ylivalunta [mm/d]	7,2	5,2	7,0	3,7

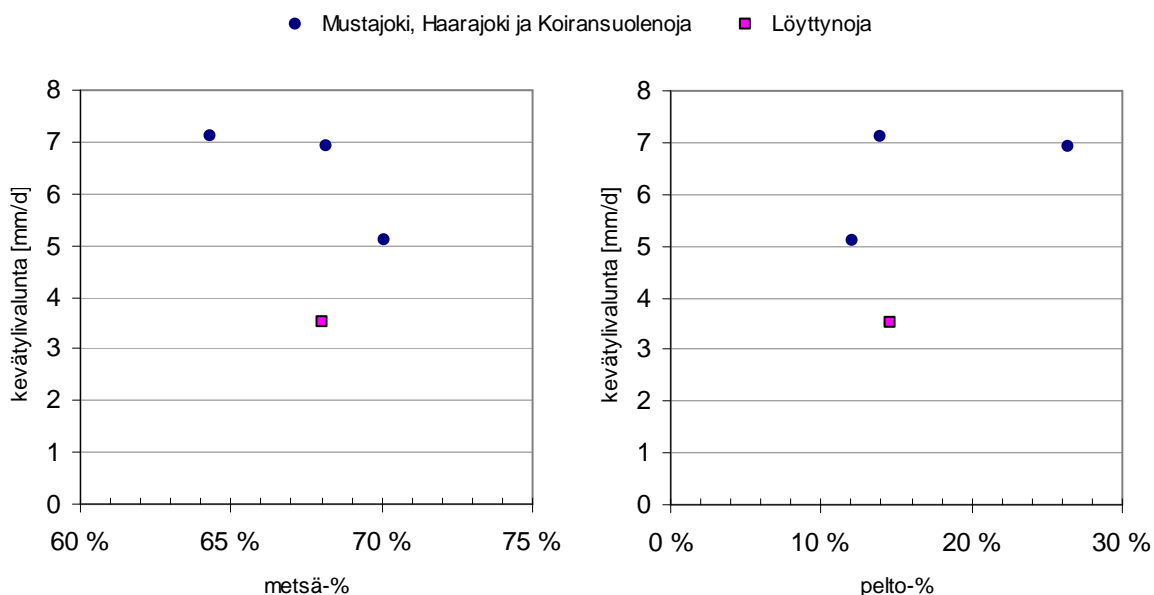
Maankäytön vaikutusta tarkasteltiin peltojen, metsien, suon ja järvien suhteellisen osuuden avulla. Ylivalunnan ajankohtaan näytti vaikuttavan selkeimmin peltojen osuus valuma-alueesta. Kuvassa 38 on esitetty peltoprosentin vaikutus koko vuoden ylivalunnan ja kevätylivalunnan ajankohtaan. Mitä enemmän alueella oli siis peltoa, sitä aiemmin ylivalunta tapahtui. Kevätylivalunta sattui tarkasteluajanjaksolla Mustajoen ja Haarajoen valuma-alueilla keskimäärin samalle päivälle, mutta pidemmälle ajanjaksolla tarkasteltuna ylivalunta sattui Mustajoella muutamaa päivää aiemmin kuin Haarajoella.

Kuvan 38 pisteet osuivat siis todennäköisesti paremmin suoralle, jos kyseessä olisi pidempi tarkastelujakso. Myös soiden määrällä näytti olevan jossain määrin vaikutusta: mitä enemmän alueella oli suota sitä myöhemmin ylivalunnat tapahtuivat. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että suurin osa alueiden soista oli metsäisiä. Lisäksi havumetsien määrä näytti myöhentävän ylivalunnan ajoittumista.



Kuva 38. Peltoprosentin vaikutus koko vuoden ylivalunnan ja kevätylivalunnan keskimääräiseen sattumisajankohtaan.

Ylivalunnan suuruuteen puolestaan näytti vaikuttavan selkeimmin metsän osuus, joka tosin vaihteli alueilla melko vähän. Kuvan 39 perusteella metsät kuitenkin näyttäisivät pienentävän kevätylivaluntaa. Taulukosta 14 voidaan havaita, että kevätylivalunnat eivät poikkea paljoa koko vuoden ylivalunnoista, joten myös koko vuoden osalta metsät näyttivät pienentävän ylivaluntaa.



Kuva 39. Metsän ja pellon osuuden vaikutus kevätylivaluntaan Pääjärven osavaluma-alueilla.

Kuvasta 39 nähdään, että pelloilla oli lievästi ylivaluntaa suurentava vaikutus, mutta kuitenkin Mustajoen ja Koiransuolenojan ylivalunnat olivat keskimäärin lähes yhtä suuria, vaikka Koiransuolenojan valuma-alueella on peltoa selkeästi enemmän. Neljänä vuonna tarkasteluajanjakson aikana Koiransuolenojan kevätylivalunta ja koko vuoden ylivalunta oli suurempi kuin Mustajoen. Pääjärven osavaluma-alueiden peltoprosentit eivät kuitenkaan ole kovin suuria ja verrattaessa niitä kuvaan 16, voidaan todeta, että ne osuvat alueelle (12-27 % peltoa), jolla pellon vaikutus näkyy melko heikosti.

Aineistoja tarkasteltiin myös yksityiskohtaisemmin muutamien ”sadetapahtumien” osalta. Tavoitteena oli löytää eroa sateen aiheuttaman valunnan muodostumisen viiveelle, joten tutkinta ajoittui syksyn sateisiin jolloin lumen sulanta ei vaikuttaisi valunnan määrään. Valunnan huiput ajoittuivat kuitenkin yleensä sadannan kanssa samalle tai sitä seuraavalle päivälle alueesta riippumatta. Tämän suuruista vaihtelua saattaa tulla jo pelkästään sateen ajoittumisen ja mittauksen ajankohdan takia. Jouduttiin siis toteamaan, että päivittäiset mittaukset ovat liian epätarkkoja tietyn sadannan aiheuttaman valunnan analysointiin.

8.3 Vertailualueet

Pääjärven valuma-alueella virtaamamittauksia oli ainoastaan neljältä eri alueelta, joiden maankäyttö poikkesi toisistaan lopulta melko vähän. Tästä syystä tarkasteltiin vertailun

vuoksi muutamaa muuta Etelä-Suomessa sijaitsevaa valuma-aluetta, jotka kuuluivat Suomen ympäristökeskuksen pienten valuma-alueiden verkkoon.

SYKE:n alueista mukaan otettiin Vihdissä sijaitsevat Hovin, Kylmänojan, Teeressuonojan ja Ali-Knuuttilan alueet sekä Porin lähellä sijaitseva Löytäneenoja ja Turun lähellä sijaitseva Savijoki.

Vertailualueiden maankäyttö on esitetty taulukossa 15. Pellon ja metsän osuudet vaihtelevat runsaasti. Ääripäissä ovat Hovin alue, joka on kokonaan peltoa ja Teeressuonoja, joka on lähes kokonaan metsää.

Taulukko 15. Vertailualueiden pinta-alat sekä metsä- ja peltoprosentit (Seuna 1983; Vuorenmaa et al. 2002).

	Löytäneenoja	Savijoki	Hovi	Kylmänoja	Ali-Knuuttila	Teeressuonoja
pinta-ala [km ²]	5,64	15,4	0,12	4,04	0,246	0,688
metsä-%	23,0 %	57,0 %	0,0 %	60,0 %	42,0 %	87,0 %
pelto-%	77,0 %	39,0 %	100,0 %	27,0 %	48,0 %	0,0 %

Vertailualueiden valunnat saatiin Hertta-järjestelmästä. Koska alueet sijaitsevat melko kaukana toisistaan ja sadannan määrä vaihtelee alueittain, tarkasteltiin valunnan sijaan valuntaprosentteja eli kuinka suuri osa sadannasta muodostuu valunnaksi. Sadantana käytettiin rasteriaineistosta saatua sadantaa. Tulokset ovat luonnollisesti vain suuntaa antavia, koska tarkkoja sadantatietoja ei ollut käytettävissä. Rasteriaineisto antaa keskimääräisen sadannan 100 km² suuruiselle alueelle ja vertailussa käytettävien valuma-alueiden koot vaihtelivat 0,12 km² ja 15,4 km² välillä.

Kaikilla vertailualueilla sadannan lisääntyminen näyttää lisäävän myös valuntaprosenttia. Mukana ei pitäisi siis olla mitään Löyttynojan kaltaista aluetta, jossa pohjavalunnan määrä on merkittävä. Teeressuonojan ja Kylmänojan alueilta muodostuu ehkä enemmän pohjavaluntaa kuin muilta vertailualueilta, koska niissä kesäajan valunnat ovat hieman suurempia. Toisaalta ne vastaavat melko hyvin Pääjärven osavaluma-alueiden (Löyttynojaa lukuunottamatta) kesäajan valuntoja.

8.3.1 Maankäytön vaikutus valuntaprosenttiin sateisina ja kuivina vuosina

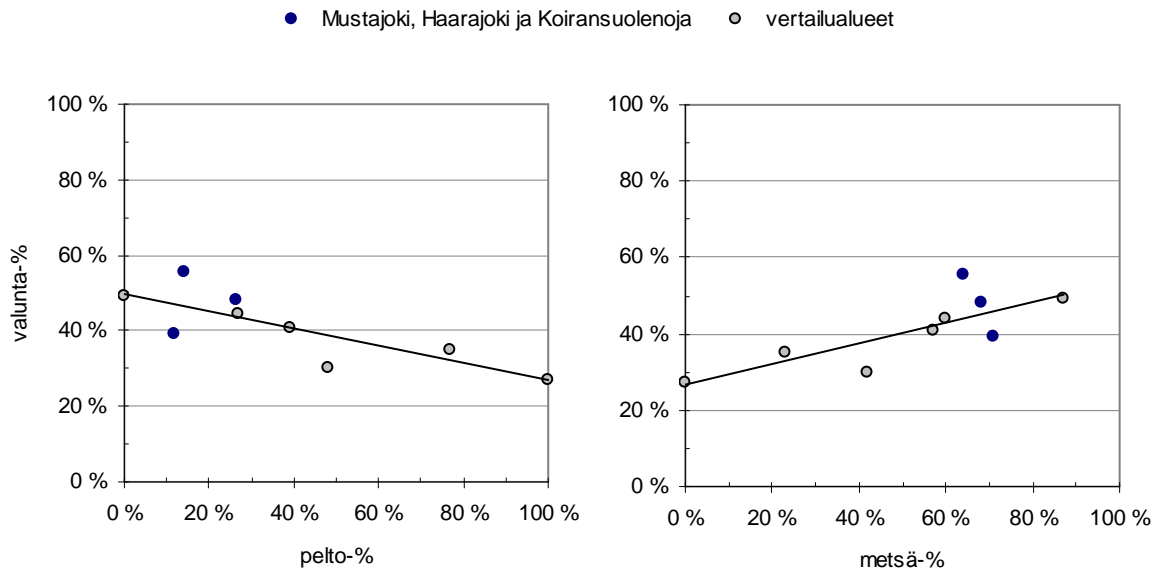
Vertailualueiden ja Pääjärven Mustajoen, Haarajoen ja Koiransuolenojen valuma-alueiden valuntaprosentteja verrattiin vuosina, jolloin sadantaa oli niukasti tai runsaasti.

Kuivat ja sateiset vuodet ja niiden sadannat eri alueilla löytyvät taulukosta 16. Vuonna 1971 ja 1988 kaikilta Pääjärven osavaluma-alueilta ei ollut tietoja, joten niinä vuosina voitiin verrata vain yhden tai kahden osavaluma-alueen sopimista vertailualueilta mitattuihin arvoihin.

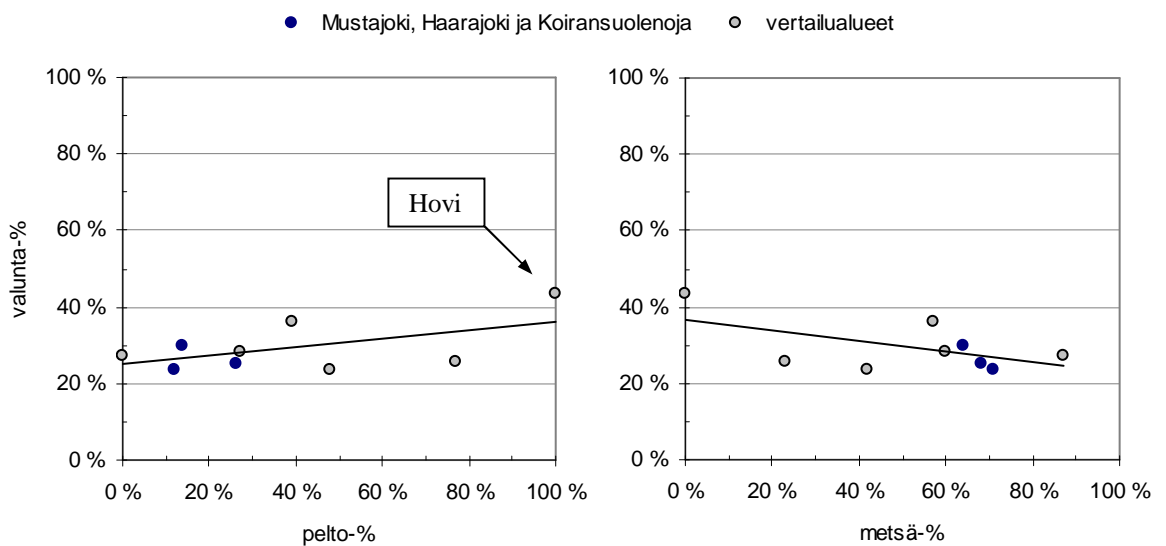
Taulukko 16. Korjatut sadannat [mm/a] eri alueilla tarkasteluvuosina.

	Löytäneenoja	Savijoki	Vihdin alueet: Hovi, Kylmänoja, Ali-Knuuttila, Teeressuonoja	Pääjärvi
Kuivat vuodet				
1971	355	408	432	525
1975	440	429	444	450
1976	362	383	445	402
1978	441	509	464	478
Sateiset vuodet				
1981	611	674	847	813
1984	630	793	747	806
1988	636	748	653	772
1998	679	679	732	748
keskiarvo 1971-2000	547	621	622	619

Erot valuntaprosenteissa olivat lopulta melko pieniä, mutta kuivina vuosina voidaan havaita peltoprosentin mukaan laskeva trendi eli pelloilta tulisi valuntaa vähemmän kuin metsistä (kuva 40). Poikkeuksen muodostaa kuitenkin vuosi 1976, joka oli kaikkein kuivin tarkastelluista vuosista. Tuolloin valuntaa näytti muodostuvan peltoalueilta enemmän kuin metsäalueilta, mikä johtuu kuitenkin lähes pelkästään Hovin valuma-alueen pisteestä (kuva 41). Tulokseen saattaa vaikuttaa myös se, että myös edellinen vuosi 1975 oli vähäsateinen.

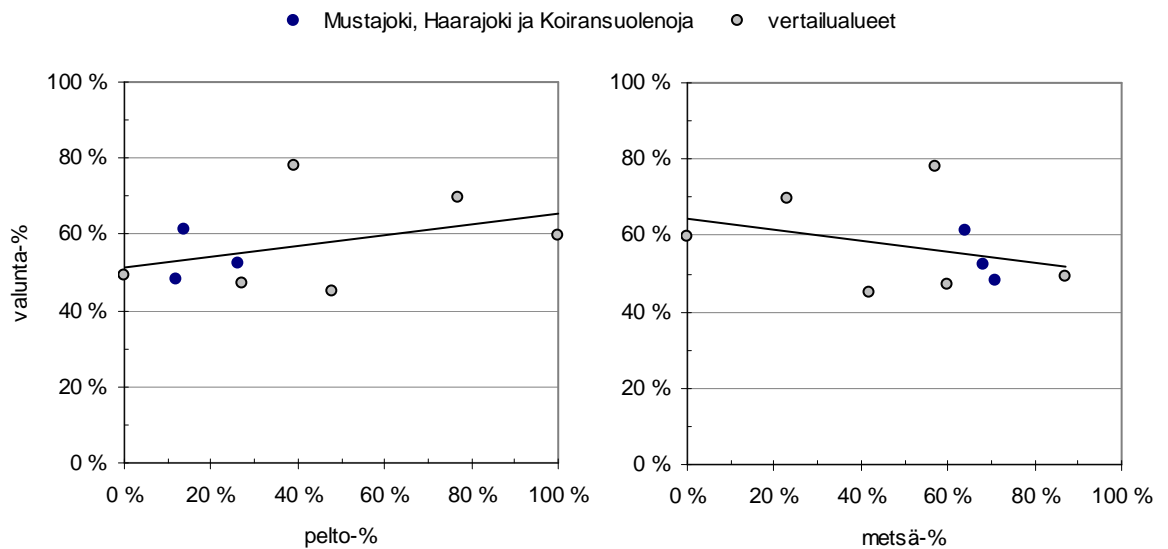


Kuva 40. Pelto- ja metsäprosentin vaikutus valuntaprocenttiin vuonna 1975 (sadanta 429 - 450 mm/a).



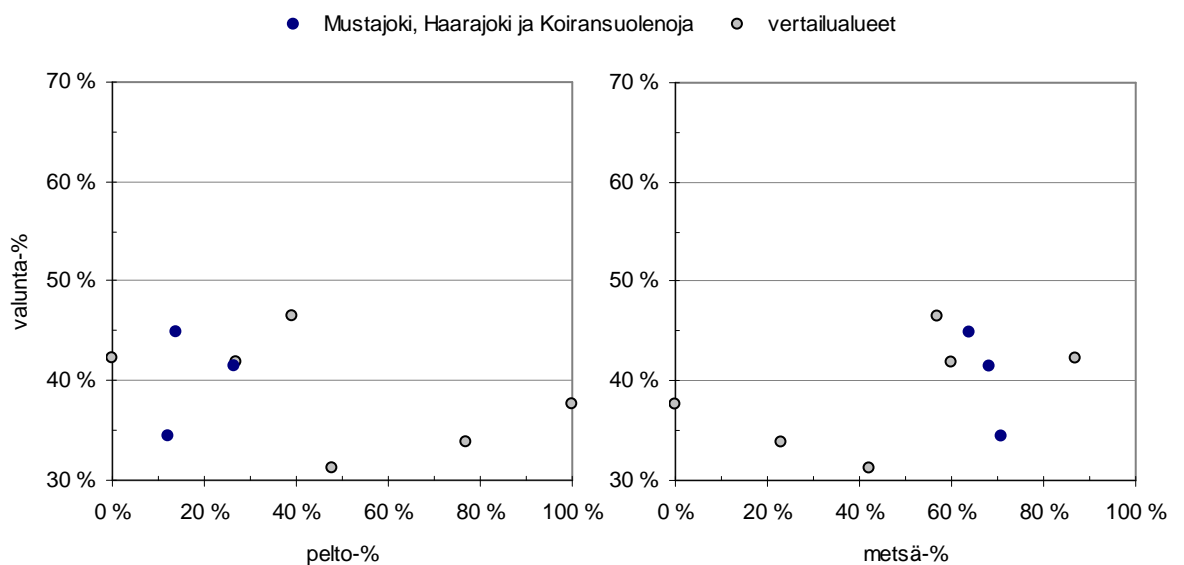
Kuva 41. Pelto- ja metsäprosentin vaikutus valuntaprocenttiin vuonna 1976 (sadanta 362 - 445 mm/a).

Sateisina vuosina hajontaa oli enemmän, mutta periaatteessa tilanne on juuri päinvastoin kuin kuivina vuosina eli nyt pelloilta tulisi valuntaa enemmän kuin metsistä. Tämä näkyy selkeiten vuonna 1984, joka oli suurimmalla osalla alueista tarkastelujakson sateisin vuosi (kuva 42).



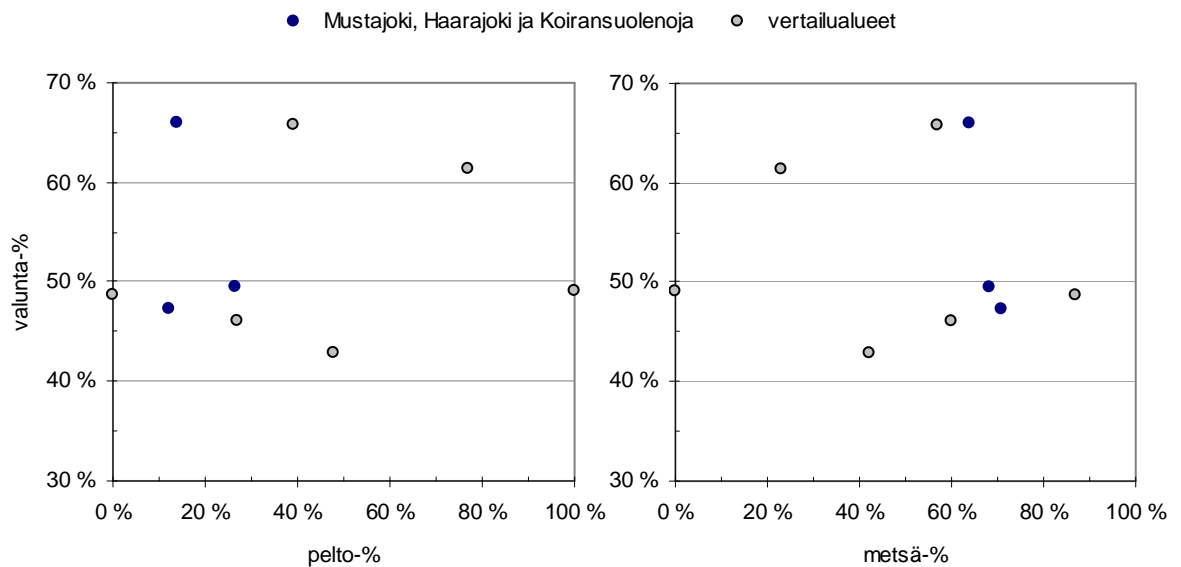
Kuva 42. Pelto- ja metsäprosentin vaikutus valuntaprocenttiin vuonna 1984 (sadanta 630 - 806 mm/a).

Maankäytön vaikutus kuivien ja sateisten vuosien keskimääräiseen valuntaprocenttiin eri alueilla on esitetty kuvissa 43 ja 44. Niistä voidaan huomata, että tuloksissa on hajontaa runsaasti, mutta kuivina vuosina kuitenkin hieman vähemmän kuin sateisina. Vaikka metsän osuuden kasvu kuvassa 43 jossain määrin viittaakin suurempaan valuntaprocenttiin, voidaan helposti huomata, että alle 50 % metsäosuuksilla trendi onkin laskeva. Vastaavasti kolme peltovaltaisinta aluetta muodostavat nousevan trendin, vaikka yleissuunta onkin laskeva.



Kuva 43. Metsän ja pellon osuuden vaikutus keskimääräiseen valuntaprocenttiin kuivina vuosina.

Sateisina vuosina (kuva 44) puolestaan nähdään, että valuntaprosentti on lähes sama riippumatta siitä, onko peltoa 0 vai 100 %. Ääripäiden välillä valuntaprosentti tosin vaihtelee varsin reilusti. Samoin käy metsän osuuden kanssa. Kuvassa 44 näkyy kuitenkin kaksi eri pistejoukkiota, jotka muodostavat molemmat erikseen tarkasteltuina metsän osuuden kanssa tarkasteltuna nousevan trendin ja pellon osuuden kanssa vastaavasti laskevan. Kuvan 44 ylemmän pistejoukkion muodostavat Löytäneenoja, Savijoki, Hovi ja Mustajoki. Alempi pistejoukkio koostuu Kylmänojan, Ali-Knuuttilan, Teeressuonojan, Haarajoen ja Koiransuolenojan valuma-alueista. Molemmissa on siis mukana sekä vertailualueita että Pääjärven osavalmu-alueita.



Kuva 44. Metsän ja pellon osuuden vaikutus keskimääräiseen valuntaprosenttiin sateisina vuosina.

8.3.2 Maankäytön vaikutus haihduntaan kuivina ja sateisina vuosina

Haihduntaa arvioidaan tässä tapauksessa yksinkertaisesti sadannan ja valunnan erotuksena. Kuivina vuosina haihduntaa tapahtui siis suhteellisesti enemmän pelloilta ja sateisina vuosina metsistä. Kuivina vuosina tapahtuu suhteessa enemmän transpiraatiota, jota puolestaan tapahtuu helpommin viljakasveista kuin puista, koska niiden pintavastus on pienempi (Vakkilainen 1986). Pintavastuksen suuruus vaihtelee vuodenajan mukaan ja se kasvaa, kun juuristokerros kuivuu. Sateisina vuosina interseption osuus haihdunnasta on suurempi ja tällöin haihduntaa tapahtuu enemmän metsäalueilta, koska puut pidättävät vettä oksistoihinsa paremmin.

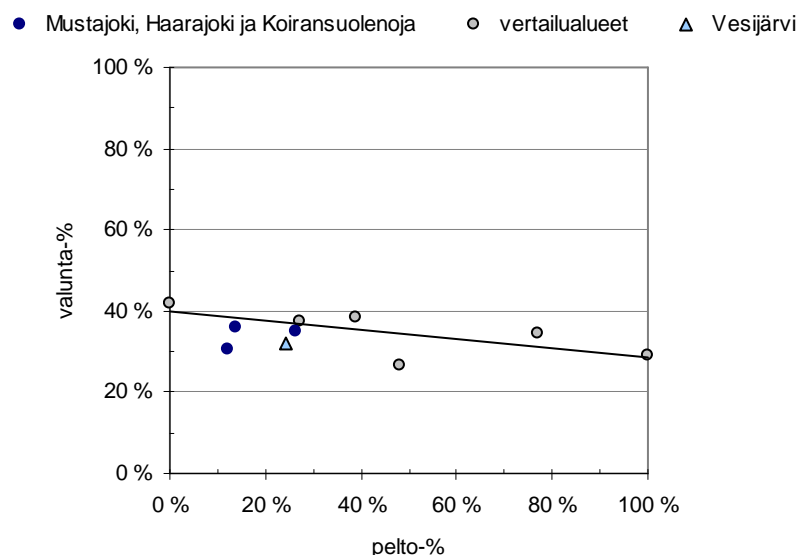
Pintavastuksen vaikutus voidaan havaita Penman-Monteithin haihduntakaavasta

$$LE = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p (e_s - e_a) / r_a}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)}, \quad (33)$$

missä r_s on pintavastus. Kun pintavastus kasvaa, koko yhtälön tulos eli haihdunta pienenee.

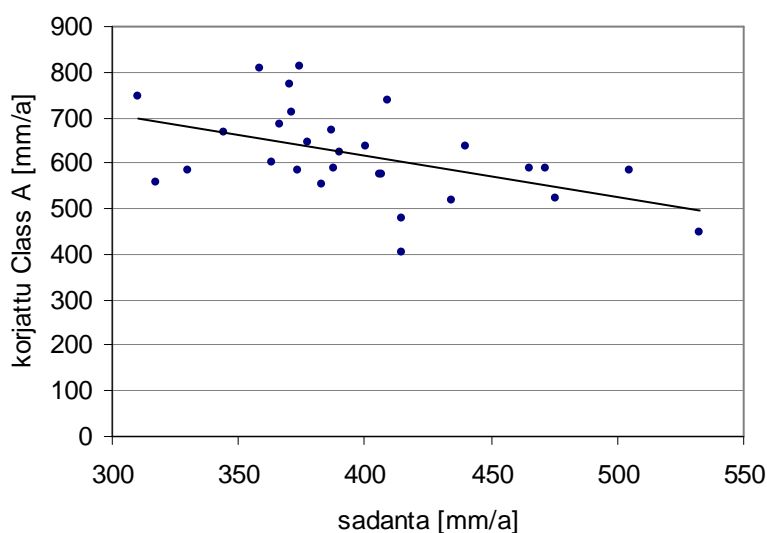
8.4 Arviot eri maankäyttömuodoilta tulevista vesimääristä

Seuraavat arviot ovat suuntaa antavia. Ne perustuvat lähinnä vertailualueiden sekä Mustajoen, Haarajoen ja Koiransuolenojan valuma-alueiden virtaama- ja maankäyttötietoihin. Kaikkien valuma-alueiden osalta tehtiin erikseen kuvaajat, joissa kuvattiin valuntaprocenttia eri sadannoilla (esim. kuva 31). Näihin piirrettiin regressiosuora ja sen perusteella arvioitiin, kuinka suuri valuntaprocentti oli keskimäärin, jos sadanta oli 400, 600 tai 800 mm/a. Näin saadut valuntaprocentit piirrettiin maankäytön kanssa samaan kuvaajaan vastaavasti kuin tehtiin aiemmin tässä luvussa. Saatiin siis pienelle, keskimääräiselle ja suurelle sadannalle erilaiset arviot. Kuvassa 45 on esimerkkinä peltoprocentin vaikutus valuntaprocenttiin, kun sadanta on 400 mm/a. Kuvan 45 regressiosuoran avulla arvioitiin, kuinka suuri valuntaprocentti olisi, jos peltoprocentti olisi 100 %. Käytännössä arvo oli lähes sama kuin Hovin valuma-alueen (100 % peltoa) valuntaprocentti. Vastaavasti toimittiin eri sadannoilla ja maankäyttömuodoilla.



Kuva 45. Peltoprosentin vaikutus valuntaprosenttiin vuosisadannan ollessa pieni (400 mm). Regressiosuora on piirretty Pääjärven osavalmu-alueiden ja vertailualueiden avulla.

Vesialueilta tulevan valunnan osalta tukeuduttiin Pääjärven järvihaihduntaa vastaaviksi korjattuihin Class A – haihduntoihin ja sadantoihin, joiden erotuksena arvioitiin valunta vesialueilta. Kuvassa 46 on esitetty korjatun Class A – haihdunnan vaihtelu sadannan vaihdellessa. Tuloksen luotettavuutta pohdittaessa pitää kuitenkin muistaa, että arvot on korjattu Pääjärven haihduntaa vastaaviksi eivätkä sellaisenaan vastaa pienempien järvien haihduntaa.



Kuva 46. Pääjärven järvihaihduntaa vastaavaksi korjattu Class A vs. sadanta.

Taulukossa 17 on esitetty arvioinnin tuloksena saadut valuntakertoimet eri maankäyttömuodoille. Suoalueiden osuuksien arviointi osoittautui hyvin epävarmaksi ja hankalaksi. Soiden määrä alueilla oli vähäinen ja sen vuoksi regressiosuoran jatkaminen 100 %:iin asti ei vaikuttanut luotettavalta. Tämän vuoksi päädyttiin arvioimaan metsistä ja metsäisiltä soilta yhteensä tulevan valunnan määrää. Avosuot jätettiin kuitenkin erikseen ja niiden valuntaprosenttia edusti Pahkaojan suovaltainen valuma-alue, jota on tutkinut mm. Gürer (1975). Pahkaojan valuma-alue sijaitsee muita tarkasteltuja alueita pohjoisemmassa eikä sen maankäyttö ole kokonaan pelkkää suota, mutta koska avosoiden määrä Pääjärven ja Vesijärven valuma-alueilla on hyvin vähäinen, ei tästä aiheudu kovin suurta virhettä lopulliseen arvioon.

Tiiviille taajama-alueelle käytettiin arviona Kotolan ja Nurmisen (2003b) tutkimuksessa Espoon Vallikalliolle määritettyä valuntakerrointa. Väljälle taajama-alueelle käytettiin arviona samassa tutkimuksessa Espoon Laaksolahdelle määritettyä valuntakerrointa.

Taulukko 17. Arvioidut valuntakertoimet eri maankäyttömuodoille eri sadannoilla.

sadanta [mm]	pelto	metsä + metsäinen suo	avosuo ¹	vesialueet	tiivis taajama ²	väljä taajama ²
400	0,29	0,38	0,32	0,01		
600	0,44	0,46	0,47	0,33	0,60	0,46
800	0,58	0,54	0,55	0,65		

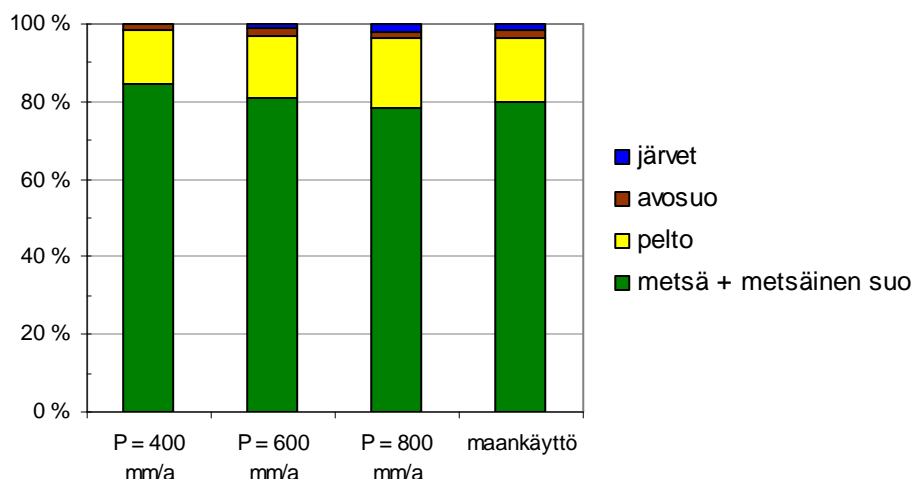
¹) muokattu Gürer (1975)

²) muokattu Kotola & Nurminen (2003b)

Taulukon 17 tietojen ja Pääjärven ja Vesijärven yläpuolisten valuma-alueiden maankäytön perusteella laskettiin arviot eri maankäyttömuodoilta tulevasta valunnasta. Pääjärven osalta tulokset löytyvät taulukosta 18 ja kuvasta 47. Pääjärvelle voitiin arvioida erikseen tulokset eri sadannoille, mutta Vesijärvellä arvio suoritettiin vain keskimääräisen sadannan avulla (taulukko 19 ja kuva 48), koska taajama-alueille ei voitu määrittää erillisiä valuntakertoimia eri sadannoille. Eri maankäyttömuodoilta tulevat osuudet koko vuoden valunnasta vastasivat pääpiirteittäin maankäytön jakautumista järven yläpuolisella valuma-alueella.

Taulukko 18. Valunnan osuudet eri maankäyttömuodoilta vuositasolla Pääjärven valuma-alueella sadannan eri arvoilla.

sadanta [mm/a]	pelloilta [mm/a]	metsistä + metsäisiltä soilta [mm/a]	avosoilta [mm/a]	järvistä [mm/a]	kaikki yhteensä [mm/a]
400	19,9	120,9	2,2	0,0	143,0
600	44,6	220,3	4,9	3,3	273,1
800	79,0	345,8	7,6	8,8	441,2
	pelloilta [%]	metsistä + metsäisiltä soilta [%]	avosoilta [%]	järvistä [%]	
400	13,9 %	84,5 %	1,5 %	0,0 %	
600	16,3 %	80,7 %	1,8 %	1,2 %	
800	17,9 %	78,4 %	1,7 %	2,0 %	
	pellot [%]	metsät + metsäiset suot [%]	avosuot [%]	järvet [%]	
Pääjärven yläpuolisen valuma-alueen maankäyttö	16,9 %	79,7 %	1,7 %	1,7 %	

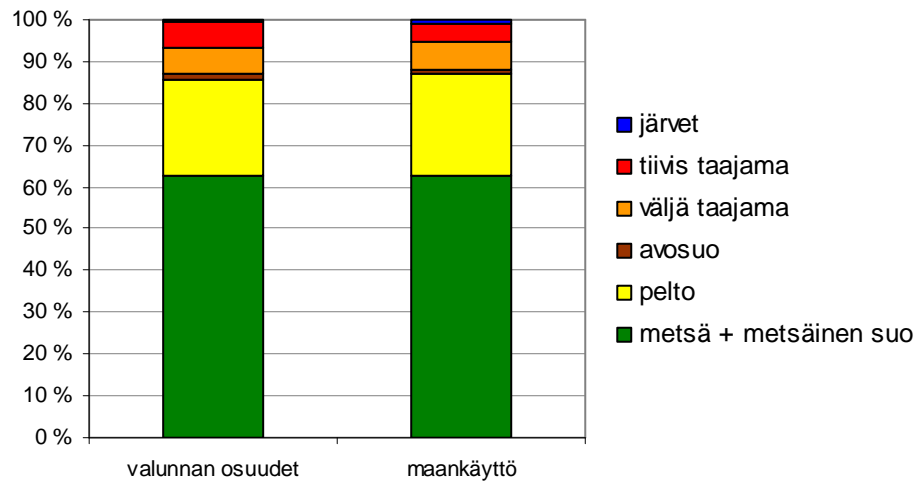


Kuva 47. Valunnan osuudet eri maankäyttömuodoilta sadannan P eri arvoilla sekä maankäytön jakauma Pääjärven valuma-alueella.

Pääjärven tuloksista (taulukko 18 ja kuva 47) voidaan huomata, että eniten valuntaa tulee metsistä. Tulokset ovat lähellä maankäytön jakaumaa sadannaltaan keskimääräisinä (600 mm/a) vuosina. Sadannan määrän vaihtelu vaikuttaa jonkin verran valunnan osuuksien jakaantumiseen. Tulosten perusteella näyttää siltä, että mitä kuivempi vuosi, sitä pienempi on pelloilta tulevan valunnan osuus. Vastaavasti metsäalueilta tulevan valunnan osuus näyttää pienenevän sadannan lisääntyessä. Kuivien ja sateisten vuosien erot selittynevät transpiraation ja interseption eroilla, joita on pohdittu luvussa 8.3.2.

Taulukko 19. Valunnan osuudet vuositasolla eri maankäyttömuodoilta Vesijärven valuma-alueella sadannan ollessa 600 mm/a.

	pelloilta	metsistä + metsäisiltä soilta	avosoilta	järvistä	tiiviltä taajama-alueelta	väljältä taajama-alueelta	kaikki yhteensä
valunta [mm]	64,0	173,1	3,7	1,6	16,6	17,7	276,7
valunta [%]	23,1 %	62,6 %	1,3 %	0,6 %	6,0 %	6,4 %	
Vesijärven yläpuolisen valuma-alueen maankäyttö-%	24,3 %	62,6 %	1,3 %	0,8 %	4,6 %	6,4 %	



Kuva 48. Valunnan osuudet eri maankäyttömuodoilta vuositasolla ja maankäytön jakauma Vesijärven valuma-alueella sadannan ollessa 600 mm/a.

Vesijärven osalta (taulukko 19 ja kuva 48) valuntaa tulee myös eniten metsistä. Taajama-alueilta tulee valuntaa yhteensä 34 mm/a, mikä on n. 12 % kaikesta järveen tulevasta valunnasta eli suunnilleen saman verran kuin taajama-alueen osuus on maankäytöstä (11 %). Koko vuoden valunta on tällä tavalla arvioituna n. 65 mm/a suurempi kuin luvussa 7.2 esitetty keskimääräinen valunta. Tämä johtunee osittain Vesijärven valuma-alueelta pumpattavista pohjavesistä, jotka vähentävät todellista tulovaluntaa. Jalkarannan ja Urheilukeskuksen vedenpumppaamot käsittävät suurimman osan valuma-alueelta pumpatuista vesistä ja niiden yhteenlaskettu pumppaus keskimäärin vuosina 1985 – 2000 vastasi vain n. 15 mm/a tulovaluntaa, joten kokonaan ne eivät voi eroa selittää. Tulokset korjattiin vastaamaan vesitaseen avulla laskettua tulovaluntaa, kun valunnan jakauman oletetaan olevan taulukon 19 mukainen. Korjatut tulokset löytyvät taulukosta 20.

Taulukko 20. Vesijärven korjattu valunta-arvio eri maankäyttömuodoilta.

	pellon	metsistä + metsäisiltä soilta	avosoilta	järvistä	tiiviltä taajama- alueelta	väljältä taajama- alueelta	kaikki yhteensä
valunta [mm]	49,0	132,7	2,8	1,3	12,7	13,6	212,1

8.4.1 Vuodenaikojen vaikutus

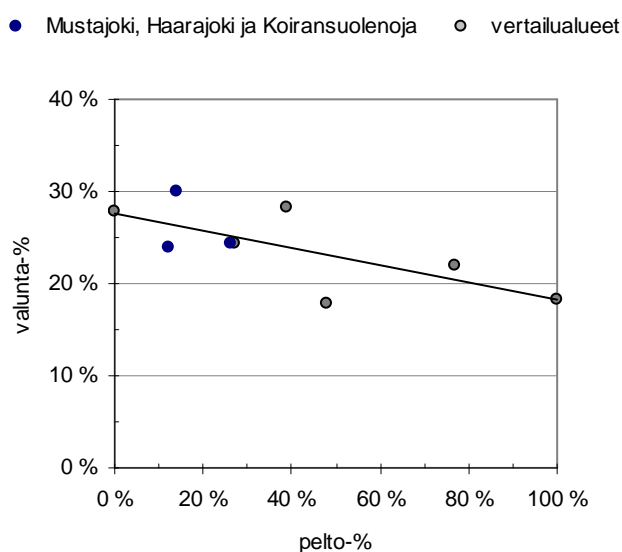
Eri maankäyttömuodoilta tulevien vesimäärien osuudet vaihtelevat eri vuodenaikojen välillä. Vuosi jaettiin kahteen osaan: joului...toukokuu ja kesä...marraskuu. Lähtötietoina käytettiin vertailualueiden sekä Mustajoen, Haarajoen ja Koiransuolenojen virtaamatietoja ja sadantaa. Näiden avulla laskettiin eri vuodenaajoille valuntaprosentit. Eri vuosien tuloksista laskettiin keskiarvot, joita käytettiin yhdessä maankäyttötietojen kanssa lopullisten valuntaprosenttien arviointiin eri maankäyttömuodoille. Kuvassa 49 on esimerkkinä pellon osuuden ja kesä...marraskuun valuntaprosenttien avulla piirretty regressiosuora. Taulukosta 21 löytyvät tulokset kaikista valuntaprosenteista.

Taulukko 21. Valuntakertoimet eri alueille.

vuodenaika	pelto	metsät + metsäiset suot	suo ¹	vesialueet	tiivis taajama ²	väljä taajama ²
joului...toukokuu	0,90	0,74	0,71	0,80	0,94	0,87
kesä...marraskuu	0,18	0,28	0,33	0,06	0,41	0,27

¹) muokattu Güler (1975)

²) muokattu Kotola & Nurminen (2003b)



Kuva 49. Pellon osuuden vaikutus valuntaprosenttiin kesä...marraskuussa.

Taajama-alueiden valuntaprocenttien arviointiin käytettiin taas Kotolan ja Nurmisen (2003b) tutkimusta. Kyse on kuitenkin vain yhden vuoden mittaustuloksista ajalta syyskuu 2001 – elokuu 2002. Vesialueiden osalta arviointi tehtiin taas sadannan ja korjatun Class A - haihdunnan avulla.

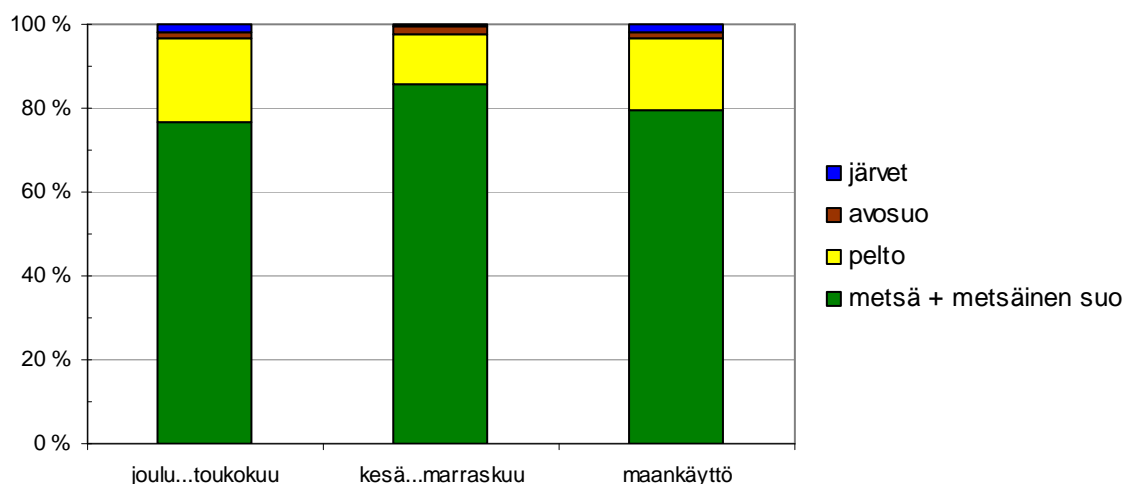
Vesijärven ja Pääjärven keskimääräisten sadantojen sekä valuntaprocenttien avulla arvioitiin, paljonko keskimäärin eri vuodenaikoina tulisi vettä eri maankäyttömuodoilta. Tulokset löytyvät taulukoista 22-26 ja kuvista 53 ja 51.

Taulukko 22. Valunta eri maankäyttömuodoilta eri vuodenaikoina Pääjärven valuma-alueella.

vuodenaika	Valunta [mm]					
	sadanta	pelloilta	metsistä + metsäisiltä soilta	avosoilta	järvistä	yht.
joulu...toukokuu	223	34	131	3	3	170
kesä...marraskuu	396	12	89	2	0	104

Taulukko 23. Valunnan osuus eri maankäyttömuodoilta eri vuodenaikoina Pääjärven valuma-alueella.

vuodenaika	pelloilta	metsistä + metsäisiltä soilta	avosoilta	järvistä
joulu...toukokuu	20 %	77 %	2 %	2 %
kesä...marraskuu	12 %	86 %	2 %	0 %
	pellot [%]	metsät + metsäiset suot [%]	avosuot [%]	järvet [%]
Pääjärven yläpuolisen valuma-alueen maankäyttö	17 %	80 %	2 %	2 %



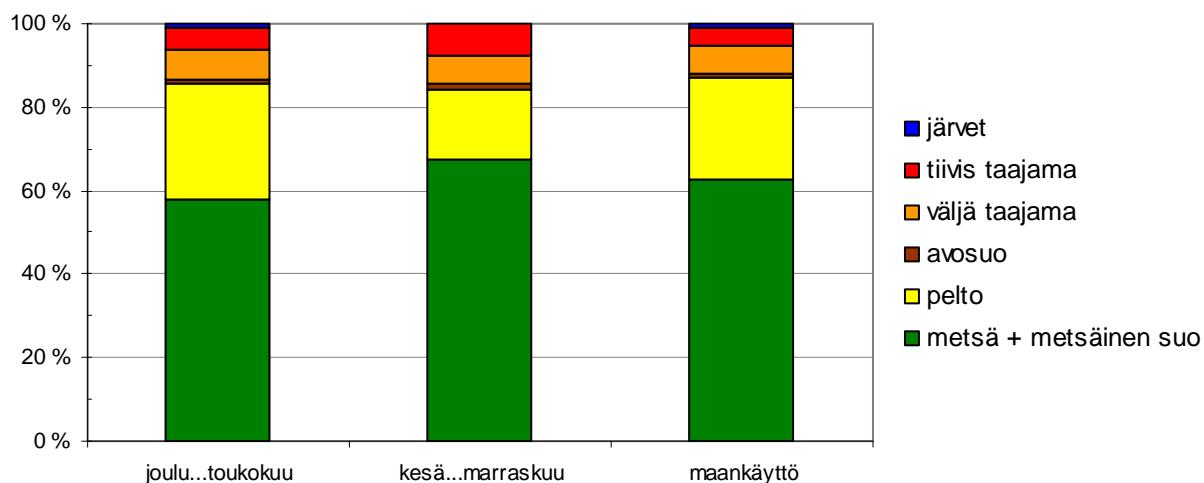
Kuva 50. Valunnan osuus eri maankäyttömuodoilta eri vuodenaikoina Pääjärven valuma-alueella

Taulukko 24. Valunta eri maankäyttömuodoilta eri vuodenaikoina Vesijärven valuma-alueella.

vuodenaika	sadanta	Valunta [mm]						yht.
		pelloilta	metsistä + metsäisiltä soilta	avosoilta	järvistä	tiiviltä taajama- alueelta	väljältä taajama- alueelta	
joulu...toukokuu	217	48	100	2	1	9	12	172
kesä...marraskuu	380	17	67	2	0	7	7	100

Taulukko 25. Valunnan osuudet eri maankäyttömuodoilta eri vuodenaikoina Vesijärven valuma-alueella.

vuodenaika	pelloilta	metsistä + metsäisiltä soilta	avosoilta	järvistä	tiiviltä taajama- alueelta	väljältä taajama- alueelta
joulu...toukokuu	28 %	58 %	1 %	1 %	5 %	7 %
kesä...marraskuu	17 %	67 %	2 %	0 %	7 %	7 %
	pellot	metsät + metsäiset suot	avosuot	järvet	tiivis taajama	väljä taajama
Vesijärven yläpuolisen valuma-alueen maankäyttö	24 %	63 %	1 %	0,8 %	4,6 %	6,4 %



Kuva 51. Valunnan osuudet eri maankäyttömuodoilta eri vuodenaikoina Vesijärven valuma-alueella.

Tulosten perusteella voidaan havaita eroja kahden tarkastellun vuodenajan välillä. Molemmilla valuma-alueilla pelloilta tulevan valunnan osuus näyttää korostuvan joulu...toukokuussa, todennäköisesti kevätvalunnan takia. Kesä...marraskuussa pelloilta tulevan valunnan osuus puolestaan vähenee, koska kasvukaudella kasvien vedenotto ja samalla transpiraatio on suurta. Sen seurauksena metsistä tulevan valunnan osuus kasvaa kesä...marraskuussa. Avosoilta ja järvistä tuleva valunta on melko vähäistä ja vuodenaikojen välisiä eroja on vaikea havaita. Vuodenaikojen erot ovat pieniä myös

taajama-alueilla, mutta tiiviiltä taajama-alueelta tulevan valunnan osuus näyttää korostuvan hieman kesällä.

Pääjärven ja Vesijärven tulovalunnassa ei maankäytön avulla määritettynä ole paljon eroa. Vesitaseen avulla laskettuna tulovalunnassa on kuitenkin selkeästi eroa. Näiden tarkastelujen perusteella näyttääkin siis siltä, että maankäyttö ei selittäisi tätä suurta eroa valuma-alueiden välillä.

Taulukon 24 perusteella Vesijärven tulovalunta olisi 272 mm/a, joka on reilusti enemmän kuin luvussa 7.2 vesitaseen avulla laskettu tulos 212 mm/a. Tämän vuoksi arviot maankäyttömuodoilta tulevasta valunnasta korjattiin vastaamaan vesitaselaskelmia käyttämällä eri maankäyttömuodoille taulukossa 25 esitettyjä osuuksia kokonaistulovalunnasta. Korjatut arviot on esitetty taulukossa 26.

Taulukko 26. Korjatut valunnat eri maankäyttömuodoilta eri vuodenaikoina Vesijärven valuma-alueella.

vuodenaika	sadanta	Valunta [mm]						yht.
		pelloilta	metsistä + metsäisiltä soilta	avosoilta	järvistä	tiiviltä taajama- alueelta	väljältä taajama- alueelta	
joulu...toukokuu	217	34	72	1	1	7	9	124
kesä...marraskuu	380	15	59	1	0	6	6	87

9 YHTEENVETO JA POHDINNAT

Tässä työssä selvitettiin Lammin Pääjärven ja Lahden Vesijärven vesitaseet ja todettiin, että ne eroavat toisistaan etenkin tulovalunnan osalta melko reilusti. Sadanta erosi alueilla melko vähän. Vuosina 1981, 1985-1993 ja 1996-1999 sadanta oli Pääjärven valuma-alueella keskimäärin 651 mm/a ja Vesijärven valuma-alueella 624 mm/a. Tulovalunta Pääjärveen oli 305-320 mm/a riippuen, käytettiinkö laskentaan Pääjärveen laskevien jokien virtaamia vai laskettiin tulovalunta ns. palautuslaskelmilla. Haihdunta oli vastaavasti 331-346 mm/a. Vesijärveen tuleva valunta oli puolestaan vain 209 mm/a ja haihdunta 415 mm/a.

Syy valunnan ja haihdunnan eroon valuma-alueilla ei kuitenkaan ole aivan selkeä. Valuntaan vaikuttavat niin monet tekijät, jotka vaikuttavat vielä toisiinsakin, että eri tekijöiden vaikutusta on usein hankala arvioida. Lisäksi voidaan pohtia, onko valuma-alue varmasti rajattu oikein ja poikkeako pohjavesien valuma-alue suuresti maan pinnanmuotojen avulla rajatusta valuma-alueesta.

Vesijärven valuma-alueelta pumpataan pohjavettä juomavedeksi, mikä puolestaan vähentää järveen tulevaa valuntaa. Koska puhdistetut jätevedetkin pumpataan valuma-alueen ulkopuolelle, harjuista pumpatut vesimäärät eivät myöskään palaudu Vesijärven valuma-alueelle. Pohjaveden pumppaus tuskin kuitenkaan yksinään selittää Vesijärven pientä tulovaluntaa. Jalkarannan ja Urheilukeskuksen vedenpumppaamoiden, jotka käsittävät suurimman osan valuma-alueelta pumpatuista vesistä, yhteenlaskettu pumppaus keskimäärin vuosina 1985 - 2000 vastaa vain n. 15 mm/a tulovaluntaa.

Vesijärven yläpuoliselta valuma-alueelta haihtui 69-84 mm/a enemmän kuin Pääjärven yläpuoliselta valuma-alueelta. Ero ei siis haihduntaa tarkasteltaessa ole enää ihan yhtä suuri kuin tulovaluntaa tarkasteltaessa.

Maankäytön vaikutus valuntaan ja haihduntaan vaikutti olevan useissa tapauksissa melko tulkinnanvaraista. Vaikutukset vaihtelivat mm. sadannan määrän mukaan. Tutkittavien alueiden lukumäärä oli myös pieni, mikä tekee tuloksista epävarmoja. Pitää myös muistaa, että valuntaan vaikuttavat muutkin kuin maankäytölliset seikat.

Pääjärven osavaluma-alueilla metsät näyttivät yleensä vuositasolla vähentävän valuntaa ja lisäävän haihduntaa. Suoalueiden (avosuot ja metsäiset suot yhteensä) osuuden kasvu valuma-alueilla näytti lisäävään valuntaa. Peltojen määrällä ei näyttänyt juurikaan olevan merkitystä vuositasolla, mutta keväällä voitiin havaita peltojen määrällä olevan valuntaa lisäävä ja kesällä puolestaan vähentävä vaikutus. Kun tarkasteluun otettiin myös vertailualueet, tulokset osoittivat, että kuivina vuosina metsistä tuli enemmän valuntaa kuin pelloilta. Vastaavasti pelloilta siis haihtui enemmän kuin metsistä, mikä selittynee peltokasvien pienemmällä pintavastuksella. Sateisina vuosina maankäytön vaikutus hämärtyi, mutta pääpiirteittäin voidaan sanoa, että tilanne oli juuri päinvastoin kuin kuivina vuosina.

Pääjärven ja Vesijärven osalta eri maankäyttömuodoilta tulevan valunnan osuus kokonaistulovalunnasta näytti noudattelevan pitkälti maankäyttömuotojen osuutta alueen pinta-alasta. Pääjärven osalta tarkasteltiin kuivia ja sateisia vuosia erikseen ja todettiin, että sateisina vuosina pelloilta tulevan valunnan osuus korostuu jonkin verran. Kuivina vuosina pelloilta tulevan valunnan osuus puolestaan vähenee. Metsistä (metsät ja metsäiset suot) tulevan valunnan osuus näytti käyttäytyvän päinvastoin eli vähenevän vuosisadannan lisääntyessä.

Eri vuodenaikoina eri maankäyttömuodoilta tulevan valunnan osuus näytti vaihtelevan jonkin verran. Vuosi jaettiin kahteen osaan. Joulukuu...toukokuussa valuntaa tuli kokonaisuudessaan enemmän kuin kesä...marraskuussa. Pelloilta tulevan valunnan osuus oli kesä...marraskuussa selvästi pienempi kuin joulukuu...toukokuussa, mikä selittynee sekä kasvukauden suurella haihdunnalla että peltojen kevätvaluntaa lisäävällä vaikutuksella. Suurin osa valunnasta tulee kuitenkin molemmilla valuma-alueilla vuodenajasta riippumatta metsistä, koska niiden osuus valuma-alueiden maankäytöstä on niin suuri.

Taajama-alueen merkityksen voisi olettaa korostuvan kesällä, koska sataneet vedet valuvat sieltä nopeasti pois ja haihduttavaa kasvillisuutta on vähän. Tämän suuntainen vaikutus näkyikin, koska kesä...marraskuussa tiiviiltä taajama-alueelta tulevan valunnan osuus kokonaisvalunnasta oli hieman suurempi kuin joulukuu...toukokuussa.

LÄHDELUETTELO

- Elomaa, E. 1974. Paikallisilmastollisia tutkimuksia Pääjärven vesistöalueella vuosina 1969-1970. Lisensiaattityö. Helsinki: Helsingin yliopisto, Maantieteen laitos.
- Elomaa, E. 1977. Pääjärvi representative basin in Finland: heat balance of a lake. Fennia 149. Helsinki: Geographical Society of Finland. ISSN 0015-0010.
- Ferguson, B. & Suckling, P. 1990. Changing rainfall-runoff relationships in the urbanizing Peachtree Creek watershed, Atlanta, Georgia. Water Resources Bulletin, 26,2, 313-322. American Water Resources Association. ISSN 0043-1370.
- Dunne, T. & Black, R.D. 1970. Partial area contributions to storm runoff in a small New England watershed. Water Resources Research, 6, 1296-1311.
- Gürer, I. 1975. Hydrometeorological and water balance studies in Finland. Helsinki University of Technology. Research papers 49.
- Hakala, I., Huitu, E., Mäkelä, S., Arvola, L. 2002. Impacts of land-use on concentrations of nutrients in runoffs: Preliminary results in small catchment areas. Teoksessa: Large Rivers Vol. 13, No 3-4, Arch. Hydrobiol. Suppl. 141/3-4. Stuttgart: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. S. 285-303.
- Hertta-ympäristötietojärjestelmä 2006a. Pääjärven järvikortti.
- Hertta-ympäristötietojärjestelmä 2006b. Vesijärven järvikortti.
- Horton, R.E. 1933. The role of infiltration in the hydrologic cycle. Transactions, American Geophysical Union, 14, 446-460.
- Hyvärinen, V. & Puupponen, M. 1986. Valunta. Teoksessa: Mustonen, S. (toim.) Sovellettu hydrologia. Helsinki: Vesiyhdistys r.y. S. 152-225.
- Hyvärinen, V., Solantie, R., Aitamurto, S., Drebs, A. 1995. Suomen vesitase 1961-1990 valuma-alueittain. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja A, 220. Helsinki: Vesi- ja ympäristöhallitus.

Ilmatieteen laitos 2006: http://www.fmi.fi/tutkimus_ilmasto/ilmasto_9.html Viitattu 9.11.2006

Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy. 2004. Lahden tiede- ja yrityspuisto Oy ja Lahti Vesi Oy. Lahden ja Hollolan pohjaveden virtausmalli. [Raportti 30.1.2004]

Järvinen, J. & Kuusisto, E. 1995. Astiahaihdunta Suomessa 1961-1990. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja A, 220. Helsinki: Vesi- ja ympäristöhallitus.

Kaitera, P. 1939. Lumen kevätulamisesta ja sen vaikutuksesta vesiväylien purkautumissuhteisiin Suomessa. Maataloushallituksen Kulttuuriteknillisiä Tutkimuksia 2. Helsinki. Viitattu teoksessa: Mustonen, S. 1965. Meteorologisten ja aluetekijöiden vaikutuksesta valuntaan. Maa- ja vesiteknillisiä tutkimuksia 12. Helsinki 1965.

Kajosaari, E. (toim.) 1973a. Luku 3 Vesilähteet. Teoksessa: RIL 93 Vesihuolto. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto r.y. 1973. S. 63-92.

Kajosaari, E. (toim.) 1973b. Luku 7.12 Hulevesi. Teoksessa: RIL 93 Vesihuolto. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto r.y. 1973. S. 285-289.

Karvonen, T. 2003 Kurssimateriaali http://www.water.tkk.fi/wr/kurssit/Yhd-12.135/kirja/snow_www.htm Viitattu 5.9.2006

Keto, J. 1973. Vesijärven likaantumisen ja kunnostamisen taustaa. Gradu. Helsingin yliopisto, Limnologian laitos.

Keto, J. & Sammalkorpi, I. 1995. Vesijärven kunnostuksen taustaa. Teoksessa: Sammalkorpi, I., Keto, J., Kairesalo, T., Luokkanen, E., Mäkelä, M., Vääriskoski, J., Lammi, E. (toim.) Vesijärviprojekti 1987-1994, Ravintoketjukurin kunnostus, tutkimukset ja toimenpidekokeilut. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja A, 218. S. 9-13.

Koivusalo, H. 2002. Process-oriented investigation of snow accumulation, snowmelt and runoff generation in forested sites in Finland. Väitöskirja. Teknillinen korkeakoulu, Vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorio.

Kotola, J. & Nurminen, J. 2003a. Kaupunkialueiden hydrologia – valunnan ja ainehuuhtouman muodostuminen rakennetuilla alueilla, osa 1: kirjallisuustutkimus. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, Vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorio. 92 s.

- Kotola, J. & Nurminen, J. 2003b. Kaupunkialueiden hydrologia – valunnan ja ainehuuhtouman muodostuminen rakennetuilla alueilla, osa 2: koealuetutkimus. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, Vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorio. 203 s.
- Kuusisto, E. 1986. Sadanta. Teoksessa: Mustonen, S. (toim.) Sovellettu hydrologia. Helsinki: Vesiyhdistys r.y. S. 29-47.
- Kuusisto, E. & Seppänen, H. 1986. Järvet ja Itämeri. Teoksessa: Mustonen, S. (toim.) Sovellettu hydrologia. Helsinki: Vesiyhdistys r.y. S. 256-290.
- Lahti Vesi Oy. 2005. Vuosikertomus 2005. Saatavana pdf-tiedostona:
http://www.lahtivesi.fi/pdf/LahtiVesi_Vuosikertomus_net.pdf
- Maasilta, A., Pekkarinen, M., Tuononen, E., Vakkilainen, P. 1980. Ainehuuhtoumista pelto- ja metsävaltaisella valuma-alueella Siuntionjoen vesistöissä. Julkaisu 18. Teknillinen korkeakoulu, Vesitekniiikan laitos. Espoo 1980.
- Mustonen, S. 1965. Meteorologisten ja aluetekijöiden vaikutuksesta valuntaan. Maa- ja vesiteknillisiä tutkimuksia 12. Helsinki 1965.
- Penman, H. L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings of the Royal Society of London 193.
- Ruuhijärvi, R. 1974. Pääjärvi. Teoksessa: Luonnon tutkija 78 4-5. Suomen Biologinen Seura Vanamo r.y. S. 101-107.
- Seuna, P. 1983. Small basins – a tool in scientific and operational hydrology. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 51. Helsinki: Vesihallitus 1983.
- Seuna, P. 1986. Luku 14.3 Metsätaloudelliset tekijät. Teoksessa: Mustonen, S. (toim.) Sovellettu hydrologia. Helsinki: Vesiyhdistys r.y. S. 397-407.
- Shuttleworth, W. J. 1993. Evaporation. Teoksessa: Maidment, D. R. Handbook of Hydrology. New York, USA: McGraw-Hill, inc. S. 4.1-4.53.
- Vakkilainen, P. 1982. Maa-alueilta tapahtuvan haihdunnan arvioinnista. Väitöskirja. Oulun yliopisto, Vesirakennustekniikan laitos.

Vakkilainen, P. 1986. Haihdunta. Teoksessa: Mustonen, S. (toim.) Sovellettu hydrologia. Helsinki: Vesiyhdistys r.y. S. 64-81.

Vehviläinen, B. 1992. Snow cover models in operational watershed forecasting. Helsinki, National Board of Waters and the Environment, Finland. Publications of the Water and Environment Research Institute 11.

Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Drebs, A. 2005. A basic Finnish climate data set 1961-2000-description and illustrations. Finnish Meteorological Institute, Meteorological Publications, 2005.