

**LUONTO JA
LUONNONVÄRAT**

Johanna Korhonen

Suomen vesistöjen lämpötilaolot 1900-luvulla



Johanna Korhonen

Suomen vesistöjen
lämpötilaolot 1900-luvulla

HELSINKI 2002



ISBN 952-11-1194-1 (nid.)
ISBN 952-11-1195-X (PDF)
ISSN 1238-7312
<http://www.ymparisto.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy566/sy566.htm>

Kansikuva: Kuttajärvi, Karttula, Niina Vatanen
Paino:
Edita Prima Oy, Helsinki 2002

Sisälllys

1 Johdanto	5
1.1 Tutkimuksen tausta ja tarve	5
1.2 Vesistöjen lämpötilojen tutkimuksen historiaa Suomessa	5
2 Vesistöjen lämpötilan mittausmenetelmät ja havaintopaikat	7
2.1 Pintaveden lämpötilan mittausmenetelmä	7
2.1.1 Havaintopaikkojen historiaa	7
2.1.2 Havaintopaikkojen ominaispiirteet ja edustavuus	8
2.1.3 Pintaveden lämpötilan havaintopaikkojen läheiset sääasemat	11
2.2 Järven lämpötilaluotausten mittausmenetelmä	13
2.2.1 Lämpötilaluotausten havaintopaikat ja historia	13
2.2.2 Havaintojärvien ominaispiirteet ja edustava alue	13
2.3 Järven pintalämpötilan satelliittimittaukset	14
3 Vesimassan lämpöolot	16
3.1 Veden fysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista	16
3.2 Vesimassan vuotuinen lämpötilan kulku	17
3.3 Lämpöenergian tase	18
3.4 Lämmön siirtyminen vesimassassa	22
3.5 Järven mekaaninen energia, Birgen tuulityö ja Schmidtin stabiliteetti	23
3.6 Järven lämpömäärä	24
3.7 Harppauskerros	24
3.7.1 Harppauskerroksen painuminen	25
3.7.2 Harppauskerroksen sisäinen heilahtelu	26
4 Aineiston käsitleminen	28
4.1 Aineiston käsittelyn tilastolliset menetelmät	28
4.1.1 Lineaarinen interpolointi ja ekstrapolointi	28
4.1.2 Keskiarvot, minimi ja maksimit	29
4.1.3 Hajontaluvut	30
4.1.4 Korrelaatio	30
4.1.5 Lineaarinen regressio	31
4.1.6 Liukuva keskiarvo	32
4.1.7 Trendi	33
4.1.8 Todennäköisyysjakaumista	33
4.1.9 Toistuvuusanalyysi	34
4.1.10 Luottamusväli	34
4.1.11 Tilastollinen testaus, t-testi	35
4.1.12 Mittausvirheistä	35
4.2 Satelliittikuvien muuttaminen veden pintalämpötila-arvoiksi	35
5 Tulokset	37
5.1 Pintaveden lämpötilat	37
5.1.1 Pintaveden lämpötilan vuorokautisesta kulusta	37
5.1.2 Pintaveden lämpötilan vuotuinen kulku	39
5.1.3 Pintaveden lämpötilojen ja ilman lämpötilojen vertailu	44
5.1.4 Pintaveden maksimilämpötilan toistuvuuksia	48
5.1.5 Aikasarjoja	50
5.2 Lämpötilaluotaukset	61

5.2.1 Veden lämpötilan keskimääräinen vuotuinen kulku syvänteessä	61
5.2.2 Lämpötilan vaihtelut eri syvyyksillä	65
5.2.3 Harppauskerros ja sen vaihtelut	68
5.2.4 Stabiliateetti ja järven lämpömäärä	74
5.3 Järven pintalämpötilojen alueellinen vaihtelu	79
5.4 Järven koon, sijainnin ja vedenlaadun vaikutus lämpötilaan	81
5.5 Ilmastonmuutos ja vesistöjen lämpötilat	82
5.6 Veden lämpötilan yhteydet ekologiaan	83
5.6.1 Sinilevät	83
5.6.2 Kalat	84
5.6.3 Vesipatsaan stabiliateetin vaikutukset ekologiaan	85
5.7 Aikasarjojen luotettavuus, homogeenisuus ja havaintopaikkojen edustavuus	85
5.7.1 Pintaveden lämpötila	85
5.7.2 Syvänveden lämpötila	87
6 Johtopäätökset	88
7 SYKEN valtakunnallisen lämpötilahavaintoverkon tila	92
8 Water temperature conditions of lakes and rivers in Finland in the 20th century	93
8.1 Introduction	93
8.2 Data and methods	93
8.3 Results and discussion	94
8.4 Conclusions	95
Kiitokset	97
Kirjallisuus	98
Liitteet	101
Liite 1. Kartta ja luettelo edelleen käytössä olevista ja lopetuista pintaveden lämpötilan havaintopaikoista	101
Liite 2. Pintaveden lämpötilan havaintopaikkojen havaintoaikajanat	104
Liite 3. Pintaveden lämpötilan keskiarvo-, minimi- ja maksimitaulukko	106
Liite 4. Taulukko pintavesien keskilämpötiloista, rajalämpötilojen ylityksistä, maksimin ja isotermien ajankohdista	110
Liite 5. Taulukko ilman lämpötiloista ja tuulen kuukausikeskiarvoista eri paikkakunnilla	112
Kuvailulehdet	114

Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta ja tarve

Hydrologisista havainnoista on 90 vuoden ajan julkaistu erilaisia yhteenvetoja koko yhteiskunnan tarpeisiin. Tieteellisten julkaisujen lisäksi tärkeisiin yleiskäyttöisiin julkaisuihin kuuluvat Hydrologiset vuosikirjat (1910-), Hydrologinen kuukausitiedote (1959-) ja erilaiset tilastoanalyysit 1970-luvulta lähtien.

Vesistöjen pintaveden lämpötilahavainnot ovat keskeisiä vesientutkimuksen sekä vesiensuojelun kannalta. Tieteellisessä mielessä on kiinnostavaa mahdollisten ilmastomuutokseen viittaavien trendien arviointi. Pintaveden lämpötilojen ja syvänveden lämpötilaluotausten analysointi on tärkeää biologisten prosessien kannalta, koska eri eliöryhmillä on erilaiset lämpötilavaatimukset. Tästä esimerkkinä ovat sinilevien esiintyminen ja kalojen kutemiselle suotuisa veden lämpötila. Lisäksi veden lämpötilatiedot ovat mielenkiintoisia vesistöjen virkistyskäytön kannalta. Kansalaisia sekä tiedotusvälineitä kiinnostavat pintavesien lämpötilat etenkin kesäaikaan.

Hydrologiseen tutkimukseen ja analysointiin käytössä olevat voimavarat ovat supistuneet 1990-luvulla noin puoleen 1980-luvun tilanteeseen verrattuna. Sen seurauksena lukuisat aiemmin tehdyt tilastoanalyysit alkavat olla vanhentuneita, koska uusien analyysien tekoon ei ole ollut voimavaroja. Kun Hydrologisten vuosikirjojen sisältöä on lisäksi päätetty supistaa, on yhä enemmän tarvetta saada tutkijoiden ja koko yhteiskunnan käyttöön uudenlaisia yhteenvetoja valtakunnallisista hydrologisista havainnoinneista. Edelliset Suomen vesistöjen lämpötiloja koskevat julkaisut ilmestyivät parikymmentä vuotta sitten (Kuusisto 1981b; Laasanen 1982).

Tässä tutkimuksessa analysoidaan Suomen ympäristökeskuksen (SYKEN) valtakunnallisia pintavesien lämpötilahavainnoita ja syvänveden lämpötilaluotaussarjoja. Pintaveden lämpötilan tarkastelujakso on 1961-2000 ja lämpötilaluotausten jakso 1981-2000. Havainnoista esitetään tilastolliset perustunnusluvut, kuten keski- ja ääriarvot. Pintaveden lämpötilahavainnoista on valittu kahdeksan asemaa, joita käsitellään tarkemmin kiinnittämällä huomiota havaintopaikan ja järven ominaispiirteisiin sekä aikasarjojen homogeneisuuteen. Yksityiskohtaiseen tarkasteluun valituille havaintopaikoille tuloksia esitetään myös graafisesti. Lisäksi näille aikasarjoille lasketaan trendejä ja ääriarvojen toistuvuuksia. Trendeistä voidaan arvioida ilmastomuutoksen mahdollisia vaikutuksia Suomen vesistöissä.

1.2 Vesistöjen lämpötilojen tutkimuksen historiaa Suomessa

Ensimmäiset Suomen järvistä julkaistut lämpötilamittaukset ovat vuosilta 1883-1886 (Nordqvist 1886). Tällöin lämpötilamittauksia tehtiin mm. Kallavedellä, Laatokalla, Pielisjärvellä, Paanajärvellä ja muutamilla Kuusamon seudun järvillä. Seu-

raavat vesistöjen lämpötilamittaukset ovat vuosilta 1892-1906, jolloin tutkittiin Lohjanjärven, Laatokan, Päijänteen ja Inarijärven lämpöoloja (Homen 1903). Hydrografinen toimisto teki vuosina 1910-1926 Lappajärvellä yli 1200 lämpötilaluotauksta (Odenwall 1934). Vuosina 1911-1918 sekä 1950-1959 seurattiin systemaattisesti Päijänteen Tehinselän lämpöoloja lämpötilaluotauksin (Simojoki 1956; 1960). Näistä Simojoen mittauksista saivat alkunsa nykyisetkin SYKEN eri järvillä tekemät lämpötilaluotaukset. Jääpeiteajan lämpötiloja selvitettiin Kallavedellä talvella 1937-1938 (Simojoki 1940). Järnefelt (1958) on käsitellyt teoksessaan laajasti vesistöjen lämpöoloja. Seuna (1969) on tehnyt yhteenvedon pintaveden lämpötiloista eräissä Suomen vesistöissä. Yhteenvedossa tarkasteltiin erityisesti rajalämpötilan ylittävien kausien pituuksia ja maksimilämpötiloja. Järvisyvänteiden lämpötilan seurantahavainnointia on analysoitu jaksolta 1965-1970 (Laaksonen 1972). Kuusisto ja Lemmelä (1976) ovat tehneet veden lämpötiloja jaksolla 1961-1975 koskevan julkaisun. Talvina 1978-1979 Hydrologian toimisto teki jää- ja lämpötilahavainnointia muutamissa pienissä järvissä Etelä-Suomessa (Kuusisto ja Laasanen 1980). 1980-luvun alussa julkaistiin edelliset Suomen vesistöjen lämpötilahavainnointia koskevat tilastotarkastelut (Kuusisto 1981a; 1981b; Laasanen 1982). Lisäksi useiden eri vesistötutkimusten yhteydessä on tehty veden lämpötilamittauksia 1970-luvulta lähtien.

Elomaa (1976; 1977) tutki kesinä 1969-1970 järven lämpötasetta Pääjärvellä. Ruotsissa kehitettiin 1970-luvun lopussa ja 1980-luvun alussa järven hydrodynamiikan laskentamalleja, joilla voidaan mallintaa järven lämpötilan kulkua (Sahlberg 1983; Svensson 1978a; 1986). Suomessa 1980-luvun alussa kehitetyllä FINNECO-vedenlaatumallilla pystytään laskemaan myös veden lämpötilaoloja (Kinnunen ym. 1982; Kauranne 1983). Svenssonin (1986) kehittämä PROBE (PROgram for Boundary layers in the Environment) on edelleenkin paljolti käytössä järvimallinnuksessa ja Suomessa Elo (1994) ja Huttula ym. (1992; 1996) ovat tehneet lämpötilamallinnusta PROBE-mallilla. 1990-luvun lopulla käynnistyi EU:n järvi- ja vesistöprojekti, REFLECT (Response of European Freshwater Lakes to Environmental and Climatic Change), jossa tutkitaan muutamia Euroopan järviä.

Ensimmäiset edelleen jatkuvat SYKEN valtakunnalliset pintaveden lämpötilahavainnot aloitettiin 1916 Saimaalla, Lauritsalassa. Lauritsalan havainnot muodostavat pisimmän yhtenäisen vesistöjen lämpötilahavainnointisarjan Suomessa. Koska veden lämpötila on olennainen osa vesistötutkimusta, nykyisin lämpötilamittauksia tehdään lähes jokaisen vesistöjä koskevan tutkimuksen yhteydessä.

Veden lämpötiloista Suomessa on saatavilla paljonkin havainnointia eri tahoilta, mutta tässä tutkimuksessa keskitytään ainoastaan SYKEN valtakunnallisen havainnointiverkon tulosten analysointiin, tosin joitakin muita mittauksia käytetään vertailussa.

Vesistöjen lämpötilan mittausmenetelmät ja havaintopaikat

2

2.1 Pintaveden lämpötilan mittausmenetelmä

Pintalämpötila mitataan avovesikautena havainto-ohjeiden mukaan aamulla klo 8. Tämä ajankohta johtuu siitä, että useat lämpötilan mittauspaikat sijaitsevat vedenkorkeusasteikon tai limnigrafian yhteydessä, ja vedenkorkeusarvot luetaan perinteisesti aamulla kahdeksalta. Mittaus tehdään digitaalimittarilla laiturilta tai rantakiviltä. Mittausta ei saa tehdä liian läheltä rantakiviä tai pohjaa, koska näiden läheisyydessä vesi voi olla ympäristöään lämpimämpää. Mittarin anturi lasketaan noin 20 cm syvyyteen kohdassa, missä vesi pääsee sekoittumaan. Kun mittarin lukema ei enää muutu, havaintaja kirjaa arvon muistiin 0,1 °C tarkkuudella (Vesihallitus 1984). Mittareiden virheistä johtuen todellinen tarkkuus on $\pm 0,25$ °C. Ennen digitaalimittareita käytössä olivat elohopealämpömittarit.

Lämpötilamittaukset ovat hiljalleen automatisoitumassa. Saimaan Lauritsalan havaintopaikalle asennettiin kesällä 2000 vedenkorkeusmittausjärjestelmän yhteyteen automaattinen lämpötila-anturi, joka mittaa pintaveden lämpötilaa jatkuvasti. Näin saadaan tietoa veden lämpötilan vuorokautisesta kulusta. Tämän automaattisen lämpömittarijärjestelmän ongelmana ovat olleet sekä kesällä 2000 että 2001 toimimattomuus ja virheelliset arvot. Häiriöitä ovat aiheuttaneet muun muassa ukkoset ja myrskyt.

Myös Pohjois-Savon ympäristökeskuksessa on otettu käyttöön joillakin havaintopaikoilla automaattinen GWMS 2001 -kaukomittausjärjestelmä, jolla muiden tietojen lisäksi voidaan mitata veden lämpötilaa (Voutilainen ym. 2001).

2.1.1 Havaintopaikkojen historiaa

Kesällä 2000 Suomen ympäristökeskuksen pintaveden lämpötilan valtakunnalliseen verkkoon kuuluvia havaintopaikkoja oli 30, joista 10 havaintoasemaa aloitti kesällä 2000. Parhaimmillaan 1980-luvun alussa havaintopaikkoja oli jopa yli 50. Suurin osa havaintopaikoista otettiin käyttöön 1960- tai 1970-luvun alussa. 1990-luvulla lakkautettiin noin 30 aseman lämpötilahavainnointi. Kaiken kaikkiaan hydrologisessa tietorekisterissä on noin 70 havaintoaseman lämpötilatietoja. Liitteessä 1 on kartta havaintopaikkojen sijainnista. Liitteessä 2 on esitetty eri havaintopaikkojen tietorekisterissä olevat mittausjaksot aikajanoina. Joiltakin asemilta on olemassa mittauksia tietyiltä vuosilta vuosikirjojen alkuperäisten havaintopapereiden mukaan, vaikka ne puuttuvatkin rekisteristä. Saimaan Lauritsalassa havainnointi aloitettiin 1916, mutta aikasarjaa voidaan pitää luotettavana vasta vuodesta 1924 lähtien. Muita pitkäaikaisia edelleen havainnoitavia asemia ovat Pielavesi, Säviä (1935), Pielinen, Nurmes (1944), Pyhäselkä, Joensuu (1944), Kallavesi, Kuopio (Itkonniemi) (1945) ja Inari, Nellim (1950). Kallaveden, Pielisen ja Pyhäselän havainnoinnissa on ollut katkos 1950- ja 1960-luvuilla. Monissa vesivoimalaitoksissa on tehty veden lämpötilan mittauksia jo 1930-luvulta lähtien, mutta näihin havaintoihin saattaa sisältyä systemaattisia virheitä. Näin ollen tässä työssä ei ole analysoitu vesivoimalaitosten lämpötilahavaintoja.

2.1.2 Havaintopaikkojen ominaispiirteet ja edustavuus

Tässä tutkimuksessa keskitytään tarkemmin kahdeksaan valtakunnalliseen havaintopaikkaan: Inari (Nellim), Kallavesi (Kuopio, Itkonniemi), Kevojärvi (Kevo-niemi), Lappajärvi (Halkosaari), Pielinen (Nurmes), Pielavesi (Säviä), Saimaa (Lauritsala) ja Tornionjoki (Kukkolankoski). Havaintopaikkojen ominaispiirteiden kirjoittamiseksi havaituspaikoille tehtiin veden lämpötilamittauksia ja havaintopaikan ympäristöolosuhteita koskeva kysely. Veden väri- ja näkösyvyystiedot on poimittu vedenlaatumittauksista ympäristöhallinnon tietojärjestelmästä. Järviä koskevat ala-, tilavuus- ja syvyystiedot on poimittu joko tietojärjestelmästä (HERTTA) tai Kuusiston (1981b; 1992) tutkimuksista. Tiedot vaihtelevat jonkin verran eri lähteistä ja tietenkin vedenkorkeudesta riippuen. Aiemmassa lämpötilojen tilastoyhteenvedossa Laasanen (1982) on määritellyt havaintopaikkojen ominaispiirteitä, mutta lähinnä vain veden sekoittumisen kannalta. Ilmatieteen laitokselta saatiin läheisten sääasemien lämpötila- ja tuulitietoja sekä säähavaintopaikkojen ominaispiirteitä.

Monet pintaveden lämpötilan havaintopaikat on perinteisesti sijoitettu vedenkorkeushavaintopaikkojen yhteyteen. Vedenkorkeuden vaihteluiden havaitsemiselle suotuisimpia paikkoja ovat järvien lahdet, mutta ne eivät ole edustavimpia järven lämpötilan mittaukseen. Tämä johtuu siitä, että suojaiset ja matalat lahdet lämpenevät muita alueita nopeammin keväällä ja kesällä, ja toisaalta jäähtyvät nopeammin syksyllä. Nykyisin uusia pintaveden lämpötilahavaintoasemia perustettaessa pyritään välttämään paikkoja, joissa syvyysuhteet aiheuttavat poikkeuksellisen suuria lämpötilan vaihteluita. Tällaisia vältettäviä paikkoja ovat lahtien lisäksi salmet ja jyrkkärantaiset ulappa-alueet.

Pielinen, Nurmes

Pielinen sijaitsee Pohjois-Karjalassa. Se on Suomen viidenneksi suurin järvi, pinta-alaltaan 870 km² (Iso-Pielinen 961 km²) ja tilavuudeltaan 8 500 miljoonaa m³ (Iso-Pielinen 9 020 milj. m³). Pielisen valuma-alue on 13 700 km². Järven suurin syvyys on 60 metriä ja keskisyvyys 9,4 metriä (Kuusisto 1981b; 1992). Näkösyvyys vaihtelee yhdestä kolmeen metriin. Pielinen on luoteis-kaakkoissuunnassa pitkulainen järvi. Pintaveden lämpötilan mittauspaikka (63°32'N, 29°08'E) sijaitsee järven pohjoispäässä, Nurmeksen satamassa.

Pintaveden lämpötilan päivittäinen havainnointi aloitettiin Pielisellä 1944, mutta havainnoinnissa oli tauko vuosina 1951-1967 (myös kesäkuu 1968 puuttuu). Nykyinen havaituspaikka on tehnyt havaintoja Pielisellä vuodesta 1999 lähtien. Koska havaintopaikka on satamassa, sen läheisyydessä on jonkin verran laivaliikennettä. Mittaukset tehdään rantakivikolta, metrin päässä rannasta. Veden syvyys on mitauspaikalla 30...40 cm. Ranta on jyrkähkö (2 metrin päässä rannasta veden syvyys on yksi metri) ja pohja kivikkoa. Havaintopaikka ei ole varjossa aamuisin klo 8. Vinkerlahden ruoppaus ja laiturin uusiminen on tehty 1996-1997. Laasanen (1982) mukaan havaintopaikan rantavesi sekoittuu heikosti. Havaintopaikka edustaa sinänsä hyvin Pielisen pintaveden lämpötiloja. Havaintopaikka sijaitsee pitkulaisen järven pohjoispäässä, joten järven suuntaisilla tuulilla esiintyy kumpuamista ja kenties myös järven ominaisheilahtelua. Yleisimmät tuulen suunnat avovesikaudella ovat lounas, etelä ja luode (Sääasema, Juuka).

Kallavesi, Itkonniemi

Kallavesi sijaitsee Pohjois-Savossa. Järven pinta-ala (Iso-Kalla) on 898 km² ja tilavuus 7 990 miljoonaa m³. Kallaveden valuma-alue on 12 700 km². Järven keskisyvyys on 8,9 metriä ja suurin syvyys 90 metriä (Kuusisto 1992). Näkösyvyys vaihte-

lee puolestatoista metristä neljään metriin. Pintaveden lämpötilan havaintopaikka (62°54' N, 27°44' E) sijaitsee Kuopion Itkonniemellä. Havaintopaikkaa voidaan pitää järven keskimääräisiä rantaoloja edustavana.

Kallavedellä pintaveden lämpötilan päivittäinen havainnointi aloitettiin vuonna 1945, mutta havainnoissa oli tauko vuosina 1951-1959. Nykyinen havaitsija on ollut tehtävässä vuodesta 1975 lähtien. Mittaukset tehdään Kallaveden länsirannalla olevan niemen kärjessä laiturilta, 6 metrin päässä rannasta. Veden syvyys mittaustaikalla on 150 cm. Ranta on loiva (4 metrin päässä rannasta veden syvyys on yksi metri) ja pohja kivinen. Havaintopaikka ei ole varjossa aamuisin klo 8. Laasasen (1982) mukaan havaintopaikan rantavesi sekoittuu kohtalaisesti. Yleisimmät tuulen suunnat avovesikaudella ovat etelä ja länsi (Sääasema, Kuopion lentokenttä).

Saimaa, Lauritsala

Suomen suurin järvi, Saimaa, on pinta-alaltaan 1 377 km² (Suur-Saimaa 4 377 km²) ja tilavuudeltaan 16 500 miljoonaa m³ (53 590 milj. m³). Valuma-alue on laaja, 61 000 km². Järven keskisyvyys on 12,2 metriä ja suurin syvyys 82 metriä (Kuusisto 1992). Näkösyvyys vaihtelee yhdestä kolmeen metriin. Pintaveden lämpötilan mittaustaikalla, Lauritsala (61°05' N, 28°16' E), sijaitsee Lappeenrannassa Saimaan etelärannalla, melko lähellä Saimaan kanavan suuta.

Pintaveden lämpötilan päivittäinen havainnointi aloitettiin Saimaalla 1916. Nykyinen havaitsija on tehnyt havaintoja Lauritsalassa vuodesta 1999 lähtien. Mittaukset tehdään laiturin päästä, joka on kahden metrin päässä rannasta. Paikalle on asennettu kesäkuussa 2000 Procolin (automaattinen vedenkorkeusasema) yhteyteen automaattinen lämpömittari. Veden syvyys mittaustaikalla on 150 cm. Ranta on jyrkkä (yhden metrin päässä rannasta veden syvyys on yksi metri) ja pohja kalliota. Havaintopaikka on varjossa aamuisin klo 8. Ranta on hieman rehevöitynyt. Laasasen (1982) mukaan havaintopaikan rantavesi sekoittuu heikosti. Havainnot edustavat Saimaan eteläosien ranta-alueiden lämpötilaa. Yleisimmät tuulen suunnat avovesikaudella ovat etelä ja lounas (Sääasema, Lappeenrannan lentokenttä).

Pielavesi, Säviä

Pielavesi sijaitsee Pohjois-Savossa. Järvi on pinta-alaltaan 110 km² ja tilavuudeltaan 5 100 miljoonaa m³. Pielaveden valuma-alue on 1 130 km². Järven keskisyvyys on 5,9 metriä ja suurin syvyys 27 metriä. Näkösyvyys vaihtelee yhdestä kolmeen metriin. Pintaveden lämpötilan mittaustaikalla (63°13' N, 26°40' E) on koillis-lounaissauntaisen kanavan pohjoisreunalla, Pielaveden eteläpäässä.

Pielavedellä pintaveden lämpötilan päivittäinen havainnointi aloitettiin vuonna 1935. Havainnoinnissa oli parin vuoden tauko 1972-1974. Nykyinen havaitsija on tehnyt havaintoja Pielavedellä vuodesta 1974 lähtien. Havaintopaikkana on Pielaveden ja Nilakan välinen vanha kanava, jossa on myös vedenkorkeuspaalu. Veden syvyys on mittaustaikalla noin kaksi metriä. Ranta on jyrkkä (metrin päässä rannasta veden syvyys on noin yksi metri), pohja on hiekkaa ja kivikkoa. Puut varjostavat havaintopaikkaa osittain aamuisin klo 8. Uusi kanava on rakennettu vanhan viereen vuonna 1973. Rantaviiva on laskenut hiukan vuosien 1974-2000 välillä. Laasasen (1982) mukaan havaintopaikan virtaava vesi sekoittuu kohtalaisesti. Havaintopaikka ei edusta Pielaveden keskimääräisiä pintaveden lämpötiloja, koska vesi sekoittuu kanavassa tapahtuvan virtauksen takia järvioloja enemmän. Lisäksi havaintopaikan olosuhteet ovat muuttuneet uuden kanavan myötä, joten aikasarjaa ei voida pitää homogeenisena ennen ja jälkeen uuden kanavan rakentamisen. Yleisin tuulen suunta avovesikaudella on etelä (Sääasema, Maaninka).

Lappajärvi, Halkosaari

Lappajärvi sijaitsee Pohjanmaalla Lappajärven kunnassa. Järvi on syntynyt me-teoriitin törmäyksestä. Järven pinta-ala on 141 km², tilavuus 1 040 miljoonaa m³ ja valuma-alue 1 527 km². Järven suurin syvyys on 38 metriä ja keskisyvyys 7,4 metriä (Kuusisto 1992). Näkösyvyys järvellä vaihtelee puolestatoista metristä reiluun kolmeen metriin. Pintaveden lämpötilan havaintopaikka (63°16'N, 23°38'E) on järven pohjoispäässä.

Lappajärvellä pintaveden lämpötilan päivittäinen havainnointi aloitettiin vuonna 1961. Havaintoja puuttuu vuodelta 1964. Tietorekisteristä puuttuvat vuodet 1981-1982, vaikka Hydrologisesta vuosikirjasta ne löytyvätkin (Leppäjärvi 1987). Nykyinen havaitsija on tehnyt havaintoja Lappajärven Halkosaareissa vuodesta 1986. Mittaukset tehdään rannassa, puolen metrin päässä rantaviivasta. Veden syvyys on 30 cm mittauspaikalla. Ranta on loiva (2 metrin päässä rannasta veden syvyys on yksi metri) ja pohja on hiekkaa. Havaintopaikka on varjossa aamuisin klo 8. Havaintopaikan lähistöllä on havaintojakson aikana tapahtunut ruoppausta ja vesirakentamista. Laasasen (1982) mukaan havaintopaikan rantavesi sekoittuu heikosti. Havaintopaikka edustanee rantaveden keskimääräistä pintalämpötilaa. Yleisimmät tuulen suunnat avovesikaudella ovat etelä, lounas ja pohjoinen (Sääsese, Kauhavan lentokenttä).

Tornionjoki, Kukkolankoski

Tornionjoen pintaveden lämpötilahavaintopaikka on ainoa tarkasteltava jokikohde. Kukkolankosken havaintopaikka (65°58'N, 24°03'E) sijaitsee Tornionjoessa, Tornion pohjoiseen, joen itärannalla ennen koskea. Joki on hieman ennen havaintopaikkaa yli kilometrin leveä, joten mittauspaikan olosuhteet muistuttavat sekoittumisen kannalta enemmänkin järveä kuin jokea.

Tornionjoen pintaveden lämpötilan päivittäinen havainnointi aloitettiin vuonna 1961. Tietorekisteristä puuttuu vuosi 1983, vaikka havainnot ovat olemassa (Leppäjärvi 1987). Nykyinen havaitsija on tehnyt havaintoja Kukkolankoskella koko havaintoajan. Mittaukset tehdään kalliolta, rannasta matalalla vedellä ja korkealla vedellä kahlaten. Mittauspaikka on 3 metriä rannasta ja veden syvyys mittauspaikalla 30...40 cm. Ranta on loiva ja pohja mutainen. Mittauspaikka on varjossa aamuisin klo 8. Korkeat kalliot varjostavat ja rannassa on vitoja. Laasasen (1982) mukaan havaintopaikan vesi sekoittuu kohtalaisesti, koska paikka on kosken yläpuolella. Yleisimmät tuulen suunnat avovesikaudella ovat kaakko, luode ja koillinen (Sääsese, Ylitornio, Portimojärvi).

Kevojärvi, Kevoniemi

Kevojärvi on pohjoisin ja pienin kahdeksasta tässä työssä tarkasteltavasta järvestä. Se sijaitsee Pohjois-Lapissa Utsjoen kunnassa. Järvi on läpivirtausjärvi Utsjoen tunturilaaksossa. Pinta-ala on vain 1,1 km², valuma-alue on 1 470 km². Kevojärven tilavuus on 12 miljoonaa m³. Järven suurin syvyys on 35 metriä ja keskisyvyys 11,1 metriä (Kuusisto 1981b). Kevojärven pintaveden lämpötilan havaintopaikka (69°45'N, 27°00'E) sijaitsee järven etelärannalla, Kevon sää- ja tutkimusaseman rannassa. Koska järvi on pieni, havaintopaikka edustaa hyvin järven keskimääräistä pintaveden lämpötilaa.

Kevojärvellä pintaveden lämpötilan päivittäinen havainnointi aloitettiin vuonna 1962. Nykyinen havaitsija on tehnyt havaintoja vuodesta 1982. Tietorekisteristä puuttuvat vuosien 1978 ja 1985 havainnot. Vuoden 1978 havainnot löytyvät vuosikirjasta (Vesihallitus 1981). Mittauspaikka on pohjoiseen jyrkästi laskeutuvan pahdan alapuolelta, kalliorannan edestä. Mittaukset tehdään aina samasta paikasta

ta, limnigrafin vierestä. Veden syvyys mittausspaikalla on 50 cm. Veden syvyys vaihtelee suuresti kevättulvien aikaan. Ranta on erittäin jyrkkä. Metrin päässä rannasta veden syvyys on metri, vaihtelut ovat kuitenkin suuria. Mittauspaikan pohjassa on ohut mutakerros kivikon päällä. Havaintoja ei ole tehty klo 8 kuten muilla havaintopaikoilla, vaan yleensä puolenpäivän aikoihin. Mittauspaikka on varjossa havaintohetkellä. Mittauspaikka on täysin luonnontilainen. Havaintopaikalla ei ole juurikaan rantakasvillisuutta, mutta vedessä on sydänkesällä vitakasveja ja sätkimä, myös jokunen erillinen rentukka pitkin rantaviivaa. Laasasen (1982) mukaan havaintopaikan veden sekoittuminen on kohtalaista. Yleisimmät tuulen suunnat avovesikaudella ovat etelä ja pohjoinen (Sääasema, Utsjoki Kevo).

Inari, Nellim

Suomen toiseksi suurin järvi, Inari, sijaitsee Koillis-Lapissa Inarin kunnassa. Järvi on pinta-alaltaan 1 116 km² ja tilavuudeltaan 15 920 miljoonaa m³. Järven suurin syvyys on 92 metriä ja keskisyyvyys on 14,3 metriä (Kuusisto 1992). Inarin valuma-alue on laajuudeltaan 14 500 km². Vesi on hyvin kirkasta ja näkösyvyys vaihtelee neljästä kymmeneen metriin. Pintaveden lämpötilan mittausspaikka (68°51'N, 28°17'E) sijaitsee järven kaakkoisosassa, Nellimövuonossa. Vuono on matala (syvyys alle 6 metriä) ja suojaista, joten Nellimissä havaitut pintaveden lämpötilat ovat lämpimämpiä kuin Inarilla yleensä. Näin ollen havaintojen ei voida sanoa edustavan Inarin keskimääräistä pintaveden lämpötilaa. Laasasen (1982) mukaan havaintopaikan rantavesi sekoittuu heikosti.

Inarissa pintaveden lämpötilan päivittäinen havainnointi aloitettiin vuonna 1950. Nykyinen havaintaja on hoitanut tehtäviään vuodesta 1984 lähtien. Mittaukset tehdään on aina laiturilta, paitsi jäiden lähden aikaan mitataan siitä kohtaa rannasta, missä on sulaa. Mittauspaikka (laiturin pää) on 5 metrin päässä rannasta, vuono etelärannalla. Veden syvyys mittausspaikalla on 50...100 cm riippuen vedenkorkeudesta. Ranta on loiva (veden syvyys on yksi metri 5...10 metrin päässä rannasta) ja pohja hiekkansekaista mutaa. Havaintopaikka ei ole varjossa aamuisin klo 8. Rannassa ei ole havaintajan aikana tehty ruoppausta tai vesirakentamista, eikä ranta ole rehevöitynyt. Rantaviiva on siirtynyt huomattavasti säännöstelyn aiheuttaman syöpymän vuoksi. Aikaisemmin mittaus suoritettiin veneestä, kauempana rantaviivasta ottamalla metalliämpäriin vettä pintaa syvemmältä. Veden lämpötila mitattiin ämpäristä elohopealämpömittarilla (n. 1960-luvulle saakka). Mittauspaikka on havaintajan mielestä ehkä hieman suojaista. Yleisin tuulen suunta avovesikaudella on luode (Sääasema, Nellim).

2.1.3 Pintaveden lämpötilan havaintopaikkojen läheiset sääasemat (Ilmatieteen laitos)

Läheisten sääasemien lämpötila- ja tuulitiedot saatiin Ilmatieteen laitoksen (1991) Meteorologisen vuosikirjan liitteestä "Tilastoja Suomen ilmastosta 1961-1990". Tästä liitteestä löytyi päivittäisiä ilman lämpötilan vuorokausikeskiarvoja ainoastaan lentosääasemille. Näin ollen vain Saimaan, Kallaveden, Lappajärven ja Pielisen veden lämpötiloja pystyttiin vertaamaan ilman vastaaviin. Kevojärvelle, Tornionjoelle ja Pielavedelle ei ollut lentosääasemaa sopivan matkan päässä. Tuulen nopeuksille ja suunnille käytettiin kuukausikeskiarvoja, ja niitä oli saatavilla jokaiselle veden lämpötilahavaintopaikalle kohtuulliselta läheisyydeltä. Samoilta asemilta oli saatavilla myös ilman lämpötilan kuukausikeskiarvot. Nämä tiedot on esitetty taulukkona liitteessä 5. Ilmatieteen laitokselta olisi ollut tietenkin saatavissa kaikille asemille päiväkohtaiset havainnot, mutta tällöin itse aineiston käsittelyyn olisi kulunut turhan paljon aikaa.

Pielisen Nurmeksen havainnoille käytettiin Kajaanin ja Joensuun lentosääasemien lämpötilahavaintojen keskiarvoja. Tuulen ja lämpötilan kuukausikeskiarvoina käytettiin Juuan sääaseman tietoja. Kajaanin sääasema sijaitsee 105 kilometriä luoteeseen Nurmeksesta ja Joensuun lentoasema 100 kilometriä etelään Nurmeksesta. Juuka sijaitsee 35 kilometriä etelään Nurmeksesta. Kajaanin lentosääasema sijaitsee Oulujärven rannalla. Ilmatieteen laitokselta saatujen asemakuvausten mukaan lämpötilaoloiltaan asema on edustava, mutta kesäisin selkeinä tyyminä öinä lämpötilat saattavat olla 0...2 °C liian korkeita johtuen asfalttikentän läheisyydestä. Joensuun lentoaseman havainnot ovat lämpötiloiltaan aluetta edustavat. Tuulelle ei ole esteitä millään suunnalla, vaan alue on avointa.

Kallavedelle käytettiin Kuopion lentosääaseman lämpötila- ja tuulihavaintoja. Sääasema sijaitsee 13 kilometriä koilliseen Itkonniemeltä. Lentokenttä on aukea ja sijaitsee niemen kärjessä runsasjärvisellä alueella. Lämpötilaoloiltaan sääasema edustaa lähialuetta hyvin.

Saimaan Lauritsalan havainnoille käytettiin Lappeenrannan lentosääaseman lämpötila- ja tuulitietoja. Sääasema sijaitsee 8 kilometriä lounaaseen Lauritsalasta. Lentokenttä on melko avoin, Salpausselän päällä. Lappeenrannan lentosääaseman havainnoista minimilämpötilat ovat tyyminä ja selkeinä öinä keskimäärin 1...3 °C liian korkeita johtuen aseman sijainnista ylävällä reunamuodostumalla.

Pielaveden Säviän havainnoille käytettiin Maaningan sääaseman ilman lämpötilan ja tuulen kuukausikeskiarvoja. Maaninka sijaitsee noin 30 kilometriä itään Säviältä. Maaningan sääasema sijaitsee tasaisen pellon laidalla. Lämpötilaoloiltaan asema edustaa hyvin alueen rantapeltoja.

Lappajärven Halkosaarelle käytettiin Kruunupyyn lentosääaseman lämpötilatietoja ja Kauhavan lentosääaseman tuulitietoja. Kruunupyyn sääasema sijaitsee noin 60 kilometriä pohjois-luoteeseen Halkosaaresta ja Kauhavan sääasema sijaitsee 35 kilometriä länsi-lounaaseen Halkosaaresta. Kruunupyyn lentoasemalta ei ollut saatavilla asemakuvausta. Kauhavan lentosääasema sijaitsee hyvin avoimella nurmikentällä. Minimilämpötilahavainnot ovat 0...2 °C liian alhaisia johtuen aseman sijainnista jokialangolla.

Tornionjoen Kukkolankoskelle käytettiin Portimojärven sääaseman ilman lämpötilan ja tuulen kuukausikeskiarvoja. Portimojärvi sijaitsee noin 45 kilometriä pohjoiseen Kukkolankoskelta. Sääasema sijaitsee avoimien peltojen ympäröimänä, noin 15 metriä korkean mäen ylärinteellä. Asemalla havaitut minimilämpötilat ovat tyyminä ja selkeinä öinä 1...3 °C liian korkeita johtuen aseman sijainnista ylärinteillä. Tuulihavaintojen osalta sääasema on kohtalaisen edustava havaintopaikka.

Kevojärvelle käytettiin Kevon sääaseman havaintoja. Sääasema sijaitsee aivan järven veden lämpötilan mittausaseman lähellä mäellä, pohjois-eteläsuuntaisen Utsjoen kanjonissa. Asema edustaa lämpötilaoloiltaan vain Utsjoki-Kevojoen kanjonien koillisrinteitä, alueen pienilmastolliset erot ovat huomattavan suuria.

Inarin Nellimille käytettiin Ivalon lentosääaseman ilman lämpötilan päivittäisiä keskiarvoja. Lisäksi käytössä oli Nellimin sääaseman tuulen nopeuden ja ilman lämpötilan kuukausikeskiarvot. Ivalon sääasema sijaitsee 45 kilometriä lounaaseen Nellimövuonosta. Ivalon lentoaseman tuulet kanavoituvat lounas-koillisen-suuntaisiksi jokilaakson takia. Lämpötilaoloiltaan asema edustaa Ivaloa. Minimilämpötilat tyyminä ja selkeinä öinä ovat keskimäärin 0...2 °C liian alhaisia. Tuulen kanavoituminen jokilaaksossa estänee ajoittain yölämpötilojen laskemisen kovin mataliksi. Nellimin sääasema sijaitsee korkeiden mäntyjen suojaamassa pihassa 100 metrin päässä rannasta. Nellimin sääaseman lämpötilahavainnot edustavat aluetta hyvin.

2.2 Järven lämpötilaluotausten mittausmenetelmä

Suomen ympäristökeskuksen ohjeiden mukaan vesistöjen lämpötilaluotaukset suoritetaan yleensä aamupäivisin kuukauden 10., 20. ja 30. päivä ympäri vuoden. Mittauspäivä ja kellonaika saattavat kuitenkin vaihdella. Syksyisin ja keväisin jäiden tulon ja lähdön aikoihin havaintoja saattaa jäädä tekemättä keliolosuhteiden takia. Kesäisin mittaukset tehdään veneestä, talvisin jäältä. Mittaus tehdään aina samasta paikasta järven syvänteestä. Mittaus tehdään digitaalimittarilla, johon on kiinnitetty mitoituksella varustettu kaapeli. Mittausanturi on kiinnitetty kaapelin päähän. Lämpötila mitataan ensin pinnasta (noin 20 cm syvyydestä) ja sitten metrin välein 20 metriin saakka, jonka jälkeen kahden metrin välein 50 metriin ja tästä eteenpäin viiden metrin välein pohjaan asti. Lisäksi mitataan lämpötila puoli metriä pohjan yläpuolella sekä pohjalla. Anturi lasketaan veteen halutulle syvyydelle ja odotetaan mittarilukeman tasaantumista. Kun lukema ei enää muutu, se merkitään muistiin 0,1 °C:n tarkkuudella. Ennen digitaalimittareiden aikakautta lämpötilaluotauksissa käytettiin elohopeakääntölämpömittareita. Ennen kääntölämpömittareita vettä nostettiin joka mittausvytydeltä Ruttner -noutimella, ja mitattiin näin kullakin syvyydellä olevan veden lämpötila.

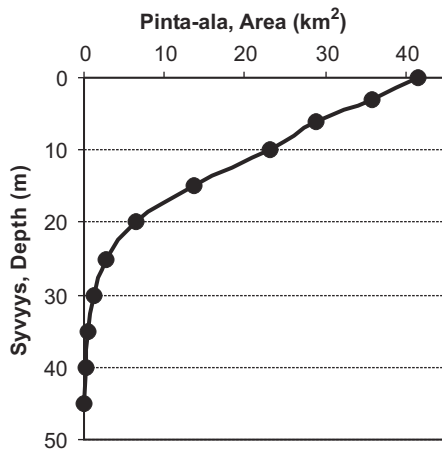
2.2.1 Lämpötilaluotausten havaintopaikat ja historia

Lämpötilaluotauksia tekevät tehtävään koulutetut henkilöt, mm. alueellisten ympäristökeskusten kenttähenkilökunta. Vuonna 2000 Suomen ympäristökeskuksen lämpötilaluotauspaikkoja oli 10. Ne sijaitsevat suurehkojen järvien syvänteissä. Nykyisistä luotausjärivistä ensimmäiset havainnot on aloitettu 1950-luvun alussa (Inari, Kallavesi ja Pielinen). Edellinen ja ainoa lämpötilaluotaushavaintojen julkaisu on jaksolta 1961-1975 (Kuusisto 1981b). Tässä työssä tarkastellaan ainoastaan Inarin ja Kallaveden lämpötilaluotauksia jaksolta 1981-2000.

2.2.2 Havaintojärvien ominaispiirteet ja edustava alue

Lämpötilaluotauksia edustavan alueen määrittäminen on yksinkertaista pienillä, yksialtaisilla järvillä. Tällöin luotausprofiili edustaa koko järveä. Tässä työssä tarkasteltavat lämpötilaluotaukset tehdään molemmat isoilla ja rikkonaisilla järvillä. Näin ollen edustavan alueen raja on hankalaa. Yleisesti voidaan määrittellä, että edustava alue rajataan niin, että se rajoittuu sellaisiin salmiin tai matalikoihin, jotka selkeästi jakavat järven osa-aitaisiin. Tässä työssä on päädytty määrittelemään edustavan alueen raja avoimen järven puolella 10 metrin syvyyskynnyksenä. Todellisuudessa ei kuitenkaan ole olemassa yhtä ja ainoaa oikeaa edustavaa aluetta vaan monialtaisen ja rikkonaisen järven tapauksessa ne ovat karkeita arvioita.

Kallaveden lämpötilaluotaukset tehdään Kuopion kaupungin edustalla, Säyneensalon lounaispuolisessa syvänteessä (62° 52'N, 27° 46'E). Luotauspaikalla on 46 metriä syvää, mikä on edustavan alueen suurin syvyys. Luotauspistettä edustavaksi alueeksi on valittu melko suppea raja, joka pohjoisessa yltää Kallansilloille, Suosaaren-Tikkalansaareen ja etelässä Hietasaloon. Tämän alueen pinta-ala on 42,4 km². Kuvassa 1 on esitetty alueen hypsografinen käyrä ja alueen kartta. Kallaveden tapauksessa alueen raja oli sinänsä vaikeaa järven rikkonaisuuden takia. Tässä työssä päädyttiin kuitenkin pienempään alueeseen kuin Kuusiston (1981b) työssä. Tietyissä kapeissa paikoissa kynnyssyvyys oli hieman syvempi kuin 10 metriä (Vaajasalon, Säyneensalon, Kaijansalon, Hietasaloon ja Hietaniemen välillä).

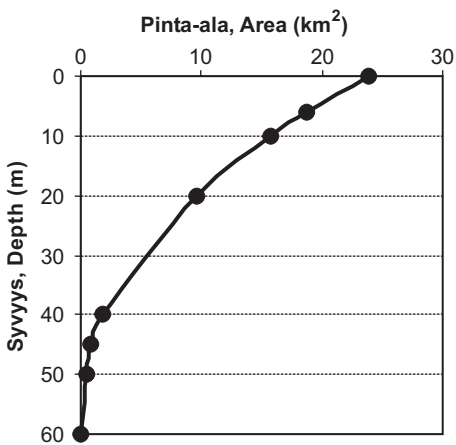


Kuva 1. Kallaveden Säyneensalon lämpötilaluotauksia edustavan alueen hypsografinen käyrä ja kartta. Hypsografinen käyrä kertoo kuinka suuri edustavan alueen pinta-ala on kullakin syvyydellä. Karttaan on merkitty pistein sekä lämpötilaluotaus- että pintaveden lämpötilan havaintopaikka.
 Figure 1. The hypsographic curve and the map of the representative area of the temperature profile measurements in Kallavesi at the Säyneensalo deep. The hypsographic curve shows the area of representativeness at each depth. The measurement sites are indicated by dots on the map.

Inarissa lämpötilaluotaukset tehdään järven kaakkoispäässä, Paksuvuonon suulla, Postisaaren pohjoispuolella (68° 52'N, 28° 16'E). Luotauspaikalla on syvyyttä 44 metriä. Luotauspistettä edustavaksi alueeksi on valittu Paksuvuonon, Lusmanuoran ja Kaikunuoran muodostama yli 30 km pituinen syväne. Edustavan alueen pinta-ala on 23,8 neliökilometriä ja suurin syvyys 60 metriä. Kuvassa 2 on esitetty alueen hypsografinen käyrä ja kartta. Alueesta on jätetty pois matalat lahdet, kuten Nellimövuono, Peskanlahti, Laisperä ja Tyllylahti. Avoimet reunat on määritetty siten, että alueen rajana on 10 metrin syvyyskynnys. Tämä sijoittuu Satapetäjäselällä Massansaaren tienoille, Paatsvuonossa Tiaineniemien ja Paksuniemien välille. Kaikunuoran päädyssä alueen raja kulkee Pienen Jäsaaren ja Pienen Kaamassaaren välillä. Aiemmassa luotauksia käsitelleessä työssä (Kuusisto 1981b) edustava alue on määritetty pienemmäksi, 10 km², mutta tässä työssä päädyttiin alueen rajauksessa 10 metrin kynnysyvyYTEEN.

2.3 Järven pintalämpötilan satelliittimittaukset

Rannan pintaveden lämpötila- ja lämpötilaluotausmittausten lisäksi on saatavilla satelliittikuvia järven pintalämpötilan alueellisen vaihtelun arvioimiseksi. Satelliittikuvia saadaan NOAA -satelliitista ja SYKEN kaukokartoitusryhmässä kuvat jatkokäsitellään lämpötilakartoiksi. Periaatteessa kuvien prosessointiohjelma on tarkoitettu merialueille, mutta sitä voi käyttää myös suurimmille järville. Resoluutio on neliökilometrin luokkaa, joten saaret ja rannat aiheuttavat virhettä lämpötila-arvoihin. Satelliittikuvat ovat hyvin riippuvaisia pilvisyydestä, joten hyviä käyttökelpoisia kuvia saa vain pilvettömällä säällä. Satelliitit ylittävät Suomen muutamia kertoja päivässä, kesäaikaan aamuisin (noin klo 7-9), iltapäivisin (klo 14-15) ja alkuillasta (klo 16-18).



Kuva 2. Inarin Paksuvuonon lämpötilaluotauksia edustavan alueen hypsografinen käyrä ja kartta. Hypsografinen käyrä kertoo kuinka suuri edustavan alueen pinta-ala on kullakin syvyydellä. Karttaan on merkitty pistein sekä lämpötilaluotaus- että pintaveden lämpötilan havaintopaikka.

Figure 2. The hypsographic curve and the map of the representative area of the temperature profile measurements in lake Inari at the Paksuvuono deep. The hypsographic curve shows the area of representativeness at each depth. The measurement sites are indicated by dots on the map.

Kuvia oli saatavilla vain kesiltä 2000 ja 2001. Järven pintalämpötilan alueellisen vaihtelun tutkimiseen käytettiin seuraavia suurehkoja järviä: Pielinen, Kallavesi, Saimaa, Päijänne, Säskylän Pyhäjärvi, Lappajärvi, Oulujärvi ja Inari. Pilvettömien päivien määrä vaihteli eri puolilla Suomea ja näin siis myös hyvien satelliittikuvien määrä eri järvilta. Koska satelliittihavainnot ovat lämpötilan keskiarvoja neliökilometrin suuruisilta alueilta, ei pistemittauksia ja satelliittimittausarvoja voitu verrata suoraan keskenään.

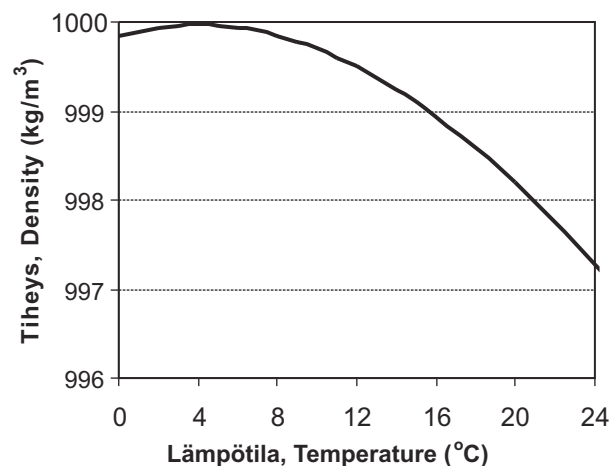
3

Vesimassan lämpöolot

3.1 Veden fysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista

Vesi peittää lähes 70 % koko maapallon pinnasta ja sitä on paljon myös ilmakehässä. Vedellä on monia ominaisuuksia, jotka tekevät siitä melko poikkeuksellisen muihin aineisiin verrattuna. Näillä ominaisuuksilla on merkittävä vaikutus hydrologiseen kiertokulkuun, veden liikkeisiin ja lämpöoloihin. Veden omalaatuisuus johtuu sen molekyyliarakenteesta, jossa kaksi vetyatomia liittyy epäsymmetrisesti yhteen happiatomiin.

Vesi on ainoa aine, jolla on kolme olomuotoa normaalioloissa. Puhtaan veden tiheysmaksimi (noin 1000 kgm^{-3}) on $4 \text{ }^\circ\text{C}$:ssa ja tätä kylmempi ja lämpimämpi vesi ovat kevyempiä (kuva 3). Näin ollen veden jäätymispiste poikkeaa tiheysmaksimista. Tiheysmaksimin ja jäätymispisteen eron seurauksena lämpöä varastoituu järveen talvella, kun painava, lämpimämpi vesi asettuu pohjaan. Vedellä on poikkeuksellinen jäätymislaajeneminen, minkä seurauksena jää kelluu kevyempänä veden päällä. Suuren sulamis- ja höyrystymislämmön ($333 \text{ kJ}(\text{kg})^{-1}$ ja $2260 \text{ kJ}(\text{kg})^{-1}$) seurauksena veden olomuodon muutoksiin sitoutuu paljon energiaa. Vedellä on nesteistä suurin lämmönjohtavuus ($0,6 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$) sekä ominaislämpökapasiteetti ($4,19 \text{ kJ}(\text{kg})^{-1}\text{K}^{-1}$). Vesi läpäisee erittäin hyvin näkyvää valoa, mikä on tärkeää vesistöjen biologiselle toiminnalle. Vedellä on suurin liotuskyky sekä pintajännitys verrattuna muihin aineisiin. Myös veden viskositeetti riippuu lämpötilasta. Kylmä vesi on jähmeämpää kuin lämmin.



Kuva 3. Veden tiheyden riippuvuus lämpötilasta.
Figure 3. Density of water as a function of temperature.

3.2 Vesimassan vuotuinen lämpötilan kulku

Suomen ilmasto-olosuhteita vastaavien dimiktisten järvien termisessä kiertokulussa määritellään kuusi tärkeää ajankohtaa. Nämä ovat jäänlähtö, keskilämpötilan maksimi, syyshomogeenisuuden alkaminen, syksyn tiheysmaksimi, jäätyminen sekä keskilämpötilan minimi. Järven koko ja hydrografia vaikuttavat näiden edellä mainittujen ajankohtien sijoittumiseen. Matalan, pienen järven vesi lämpenee ja jäähtyy nopeammin kuin laajan ja syvän. Myös maantieteellinen sijainti, mantereellisuus tai merellisyys vaikuttavat. Suomessa Itämeren läheisyys vaikuttaa etenkin rannikon vesistöihin viilentävästi keväällä ja lämmittävästi syksyllä.

Keväällä jäänlähtö muuttaa huomattavasti järven energiatasetta. Käänteinen kerrostuneisuus häviää jäiden lähdettyä. Kun eristävä jääkansi katoaa, pääsevät ilma ja vedenpinta vuorovaikutukseen keskenään. Keväällä auringonsäteily lämmittää hyvinkin nopeasti pintavettä, ja se lämpenee kriittiseen 4 °C:een. Usein pinta saattaa lämmitä neljäasteiseksi ennen kuin alempi vesi on ehtinyt lämmitä, ja tällöin vesimassa ei saavuta tasalämpöisyyttä, vaan siirtyy suoraan käänteisestä kerrostuneisuudesta epästabiiliin kerrostuneisuuden kautta kesätilanteeseen (Kuusisto 1981b).

Joillakin suurilla järvillä on keväisin ja alkukesästä havaittavissa terminen kynnys (Järnefelt 1958), ns. 'thermal bar' -ilmiö. Rannan vesi lämpenee ensimmäisenä ja ulapalla on vielä viileää vettä. Kylmän ulapan veden ja lämpimän rantaveden kohdatessa muodostuu tiheämpää neljäasteista vettä, joka jää pystysuoraksi lämpövalliksi lämpimän kerrostuneen rantaveden ja kylmän ulappaveden välille. Ilmiössä syntyy suuria lämpötilaeroja rantaveden ja ulapan veden välille, ja niitä voidaan havaita esimerkiksi Laatokalla satelliittikuvista (esim. Malm ja Jönsson 1993).

Kun tulevan säteilyn teho kasvaa kesää kohti mentäessä, järvi saa lisää energiaa ja lämpenee. Vesimassaa lämmittävät seuraavassa kappaleessa kuvatut fysikaaliset prosessit. Veden lämpötilaan vaikuttavat eniten ilman lämpötila ja auringonsäteily. Pelkän ilman lämpötilan ja auringonsäteilyn avulla pystytään järven pintaveden lämpötilan kulku mallintamaan melko hyvällä tarkkuudella (Elo ja Koistinen 2002). Pintaveden lämpötilan keskimääräinen maksimi saavutetaan ilman lämpötilan keskimaksimia myöhemmin. Tämä on seurausta veden suuresta lämpökapasiteetista ja lämmönjohtavuudesta. Pintaveden lämpötilan maksimi saavutetaan keskimäärin heinäkuun loppupuolella (Kuusisto 1981b). Koko vesipatsaan keskilämpötilan maksimi, jolloin vesipatsaan lämpömäärä on suurimmillaan, saavutetaan hieman pintaveden maksimia myöhemmin.

Loppukesästä aurinko ei enää lämmitä vettä yhtä tehokkaasti kuin keskikesällä, ja vesimassa alkaa jäähtyä. Jäähtyminen tapahtuu termisen konvektion, turbulentisen sekoittumisen ja diffuusion seurauksena. Tuulen sekoittava vaikutus nopeuttaa jäähtymistä. Myös haihdunta jäähdyttää vesipintaa tehokkaasti. Syyshomogeenisuus alkaa, kun koko vesimassa on saavuttanut saman lämpötilan (etelässä keskimäärin 9...12 °C, Lapissa 6...9 °C) pinnan jäähtymisen ja tuulen sekoittamisen seurauksena. Syksyn tiheysmaksimi saavutetaan koko vesimassan ollessa 4 °C. Kun pintavesi jäähtyy tästä enemmän, syntyy käänteinen lämpötilakerrostuneisuus. Käänteisessä kerrostuneisuudessa kylmin vesi on lämpimämmän päällä.

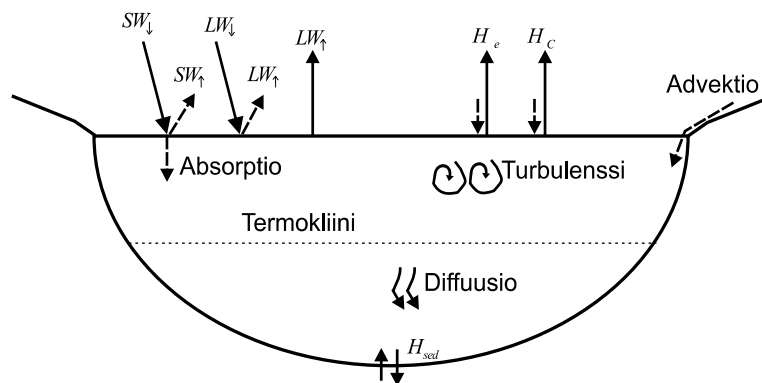
Vesi jäätyy pinnan saavuttaessa jäätympisteeseen alijäähtymisen jälkeen, yleensä tyynellä säällä. Järven jäätyessä energiatase muuttuu äkillisesti. Ilma ja vesi eivät enää ole yhteydessä keskenään, vaan jää toimii niiden välillä eristeenä. Vesimassan jäähtyminen jatkuu vielä hieman jäätyamisen jälkeen, mutta se on heikkoa. Pohjasedimenteistä vapautuu lämpöä veteen, veden tullessa viileämmäksi kuin pohja. Pohjasedimentin lämmön vuo on kuitenkin suhteellisen pieni ja sillä on vaikutusta lähinnä vain talvella. Joihinkin harjuaalueen järviin voi talvella purkau-

tua lämmintä pohjavettä (Kuusisto ja Laasanen 1980). Noin kuukauden kuluttua jäätymisestä saavutetaan vesimassan keskilämpötilan minimi, jolloin vesipatsaan lämpömäärä on pienimmillään.

Joissa virtaus sekoittaa vettä koko ajan, joten lämpötilakerrostuneisuutta ei pääse syntymään. Joen lämpötila kuvaa siten sekoittuneen vesimassan lämpötilaa. Joissa suuri veden lämpötilaan vaikuttava tekijä on ilman lämpötilan sekä nettosäteilyn lisäksi tietenkin advektio. Jokiveden jäätymisessä veden alijäähtymisellä ja supon muodostumisella on suuri merkitys, koska jokivesi jäätyy yleensä virtaavana, toisin kuin järvet.

3.3 Lämpöenergian tase

Lämpöenergiaa voi siirtyä faasin muutoksissa, säteilemällä, johtumalla, kuljettamalla tai diffuusion avulla. Tietyssä pisteessä olevan vesipartikkelin lämpötilan määrää lämmön vaihtuminen sekä siirtyminen lähiympäristön kanssa. Näitä lämpöoloja muokkaavia tekijöitä ovat lyhyt- ja pitkäaaltoinen säteily ja niiden absorptio, latentti lämmön vaihtuminen (haihtuminen/tiivistyminen), havaittava lämmön vaihtuminen, sedimentin ja veden välinen lämmön vaihtuminen, tuulen aiheuttama sekoittuminen, advektio, konvektio sekä diffuusio. Kuvassa 4 on esitetty järven lämpöoloihin vaikuttavat fysikaaliset prosessit: SW_{\downarrow} on tuleva lyhytaaltoinen säteily, SW_{\uparrow} on heijastuva lyhytaaltoinen säteily, LW_{\downarrow} on tuleva pitkäaaltoinen säteily, LW_{\uparrow} on heijastuva pitkäaaltoinen säteily ja vedenpinnan lähettämä lämpösäteily, H_e on latentti lämmön vuo ja H_c on havaittavan lämmön vuo.



Kuva 4. Järven lämpöoloihin vaikuttavat fysikaaliset prosessit. SW_{\downarrow} on tuleva lyhytaaltoinen säteily, SW_{\uparrow} on heijastuva lyhytaaltoinen säteily, LW_{\downarrow} on tuleva pitkäaaltoinen säteily, LW_{\uparrow} on heijastuva pitkäaaltoinen säteily ja vedenpinnan lähettämä lämpösäteily, H_e on latentti lämmön vuo, H_c on havaittavan lämmön vuo ja H_{sed} on sedimentin lämmön vuo.

Figure 4. Physical processes affecting the thermal conditions of a lake. SW_{\downarrow} is the downwelling short-wave radiation, SW_{\uparrow} is the reflected short-wave radiation, LW_{\downarrow} is the downwelling long-wave radiation, LW_{\uparrow} is the reflected and upwelling long-wave radiation, H_e is the latent heat flux, H_c is the sensible heat flux and H_{sed} is the sediment heat flux.

Järven lämpöenergian tase voidaan kirjoittaa seuraavaan muotoon:

$$SW_{\downarrow} + LW_{\downarrow} - SW_{\uparrow} - LW_{\uparrow} - H_c - H_e - H_G = 0 \quad (1)$$

Ensimmäinen termi on pinnan saama lyhytaaltainen säteily (aallonpituusalue 0,2...4 μm), auringonsäteily, joka on tärkeä veden lämpötilaan vaikuttava tekijä. Auringonsäteilyn kohdatessa ilmakehän osa hajaantuu, heijastuu ja absorboituu. Näin ollen vedenpinnan kohtaava säteily koostuu sekä lyhytaaltoisesta suora- ja hajasäteilystä että pitkäaaltoisesta säteilystä. Osa tästä säteilystä absorboituu veteen muuttuen lämmöksi, ja osa heijastuu vedenpinnasta takaisin. Absorptioon, heijastuvuuden ja läpäisevyyden summa on vakio ($\alpha + \rho + \tau = 1$) tiettyä aallonpituutta kohden, joten jos lyhytaaltoista säteilyä heijastuu esim. lumesta 70 %, ei sitä voi absorboitua ja mennä läpi enempää kuin 30 %. Auringon säteilyn määrä riippuu suoraan havaintopaikan leveyspiiristä ja vuoden- ja vuorokaudenajasta. Aurinkovakio eli auringonsäteilyn keskimääräinen säteilyteho säteilyä vastaan kohtisuoralle pinnalle pinta-alayksikköä kohden ilmakehän ulkoreunalla on 1367 Wm^{-2} (Hartmann 1994). Tämä vakio ei ole kuitenkaan vakio vaan vaihtelee auringonpilkkujaksosta riippuen noin $\pm 0,7$ %. Ilmakehä ja pilvet kuitenkin vaihtelevat säteilyä, joten sitä pääsee maan pinnalle huomattavasti vähemmän. Taulukossa 1 on esitetty globaalisäteilyn (suora auringonsäteily + hajasäteily) kuukausikeskiarvot (Wm^{-2}) Helsinki-Vantaalla ja Utsjoki Kevolla jaksoilla 1971-1980 ja 1981-1990 (IL 1993). Keskipäivällä globaalisäteilyn kuukausikeskiarvot ovat Helsinki-Vantaalla jopa 30 % suuremmat kuin Utsjoki Kevolla. Lokakuun globaalisäteily keskiarvo on Etelä-Suomessa kaksinkertainen verrattuna Pohjois-Lappiin. Taulukon arvoista huomataan, että jaksolla 1971-1980 keskimääräinen globaalisäteily oli suurempi kuin jaksolla 1981-1990.

Taulukko 1. Globaalisäteilyn kuukausikeskiarvot (Wm^{-2}) jaksoilla 1971-1980 ja 1981-1990 Helsinki-Vantaan lentokentällä ja Utsjoki Kevolla. Kuukausikeskiarvot on laskettu julkaisun "Auringonsäteilyhavainnot 1981-1990" (Ilmatieteen laitos 1993) kuukausisummista.

Table 1. Monthly averages of global radiation (Wm^{-2}) during the periods 1971-1980 and 1981-1990 at Helsinki-Vantaa airport and Utsjoki Kevo. The monthly averages are calculated from the monthly sums published by the Finnish Meteorological Institute in "Auringonsäteilyhavainnot 1981-1990".

Aika Time		Paikka, Place Helsinki-Vantaa	Utsjoki Kevo
Toukokuu, May	1971-1980	224	196
Toukokuu, May	1981-1990	220	177
Kesäkuu, June	1971-1980	257	201
Kesäkuu, June	1981-1990	234	194
Heinäkuu, July	1971-1980	226	202
Heinäkuu, July	1981-1990	222	167
Elokuu, August	1971-1980	175	126
Elokuu, August	1981-1990	156	117
Syyskuu, September	1971-1980	98	63
Syyskuu, September	1981-1990	90	59
Lokakuu, October	1971-1980	43	24
Lokakuu, October	1981-1990	41	19

Energiataseyhtälön toinen termi on ilmakehän lähettämä pitkäaaltoinen säteily. Tämä säteily on lämpösäteilyä (aallonpituusalue 4...200 μm), jota jokainen kiinteä tai nestemäinen kappale säteilee harmaan kappaleen ($e < 1$, mustalle kappaleelle $e=1$) tavoin. Se riippuu ilman lämpötilasta Stefan-Boltzmannin lain mukaisesti

$$I = \epsilon \sigma T^4 \quad (2)$$

missä ϵ on emissiviteettikerroin ja σ on Stefan-Boltzmannin vakio, $5,67 \times 10^{-10} \text{Wm}^{-2} \times \text{K}^{-4}$, T on ilman lämpötila (kelvineinä) ja tulos saadaan yksikköinä Wm^{-2} . Ilmakehän pitkäaaltoinen lämpösäteily koostuu lähinnä ilmakehän (vesihöyry, hii-

lidioksidi ja otsoni) emittoimasta säteilystä, joka on alunperin niiden absorboimaa lyhytaaltoista säteilyä. Suurin osa pitkäaaltoisesta säteilystä absorboituu veteen ja vain noin 3 % heijastuu takaisin. Ilmakehän lämpösäteilyn yhtälö ei ole todellisuudessa yhtä yksinkertainen kuin yllä esitetty, koska eri tyyppiset pilvet säteilevät eri tavoin eri korkeuksilla. Lisäksi säteily riippuu myös vesihöyryn osapaineesta. Ilmakehän säteilylle on kehitelty useita erilaisia kokeellisia kaavoja, joista esimerkkinä Swinbankin kaava (Swinbank 1963):

$$LW_{\downarrow} = bT^6 = 5,31 \cdot 10^{-13} T^6 \quad (3)$$

missä T on ilman lämpötila 2 metrin korkeudella (kelvineinä), b vakio ($Wm^{-2}K^{-6}$) ja tulos saadaan yksikköinä Wm^{-2} .

Toinen paljolti käytetty puoliempiirinen kaava on Brutsaertin kaava (Brutsaert 1975):

$$LW_{\downarrow} = 1,28 \left(\frac{e}{T}\right)^{1/7} \quad (4)$$

missä T on ilman lämpötila 2 metrin korkeudella (kelvineinä), e vesihöyryn osapaine (mb) ja tulos saadaan yksikköinä Wm^{-2} .

Kolmas lausekkeen 1 termi on heijastunut auringonsäteily. Sen suuruus riippuu pinnan laadusta ja sen heijastavuudesta eli albedosta. Heijastunut auringonsäteily saadaan kertomalla tuleva auringonsäteily albedolla. Albedo riippuu myös auringon korkeuskulmasta. Illalla ja aamulla auringon paistaessa matalalta heijastuu takaisin enemmän säteilyä kuin päivällä auringon paistaessa korkealta. Myös auringon vuodenaikaiskierrolla on vaikutusta. Kesäpäivän seisauksen aikaan aurinko paistaa Suomessa korkeimmillaan, ja tällöin heijastuskulma on pienimmillään. Auringon paistaessa matalalta tuleva säteilyenergia on pienempi, koska se joutuu kulkemaan pidemmän matkan ilmakehän läpi ja vaimenee matkallaan. Vesipinnalle käytetään keskimääräisenä albedona 0,07 eli vedenpinnasta heijastuu noin 5...10 %. Vaaleampi pinta heijastaa näkyvää valoa enemmän kuin tumma. Jään tai lumen albedo vaihtelee 0,30...0,90 näkyvän valon alueella (Sellers 1965). Albedo vaihtelee sen mukaan onko lumi tai jää uutta vai vanhaa.

Neljäs termi eli vedenpinnan lämpösäteily noudattaa edellä mainittua Stefan-Boltzmannin kaavaa. Toisin sanoen säteily riippuu vedenpinnan lämpötilan neljännestä potenssista. Veden emissiviteettinä käytetään arvoa 0,97. Yleensä sekä pinnan että ilmakehän lähettämä lämpösäteily ovat samaa suuruusluokkaa, kesällä muutamia satoja watteja neliometriä kohden. Alkukesästä ja alapilvisellä säällä ilmakehä säteilee lämpöä enemmän kuin järvenpinta. Loppukesästä, syksyllä ja talvella järvenpinnan lämpösäteily on ilmakehän vastasäteilyä suurempi.

Viides termi on havaittavan lämmön vuo. Tämä tarkoittaa vedenpinnan ja ilman lämpötilaeroista johtuvaa lämmön vaihtumista. Lämpimämmästä aineesta siirtyy energiaa kylmempään lämpöopin perussäännön mukaisesti. Havaittavan lämmön vuo voidaan laskea seuraavalla kaavalla (Friehe ja Schmitt 1976):

$$H_c = \rho_a c_{pa} (C_1 + C_H) u_z \Delta T \quad (5)$$

missä ρ_a on ilman tiheys (kgm^{-3}), c_{pa} ilman ominaislämpökapasiteetti ($J(kg)^{-1}K^{-1}$), u_z tuulen nopeus (ms^{-1}) korkeudella z . ΔT on vedenpinnan lämpötilan ja ilman lämpötilan (korkeudella z) välinen ero. Dimensiottomat siirtokertoimet C_1 ja C_H määritetään ilman stabiliteetin ($u_z \Delta T$) mukaan.

Kuudes termi on latentin lämmön vuo eli haihtumiseen sitoutuva lämpö. Pinnasta haihtuminen kuluttaa energiaa ja tiivistyminen vapauttaa energiaa. Kun ilman vesihöyryn paine on pienempi kuin kyllästetyn vesihöyryn paine vedenpinnan lämpötilassa, tapahtuu haihtumista vedenpinnasta ja tilanteen ollessa toisin päin tapahtuu tiivistymistä ilmasta veteen. Paineiden ollessa samat rajapinnat ovat tasapainotilassa. Haihtuminen riippuu siis veden höyrystymislämmöstä, tuulen nopeudesta ja vesihöyryn paineesta. Tälle voidaan määrittellä seuraava kaava (Friehe ja Schmitt 1976):

$$H_L = \rho_a L_E C_E u_z (q_w - q_a) \quad (6)$$

missä havaittavan lämmön vuon yhteydessä määriteltyjen parametrien lisäksi L_E on höyrystymislämpö ($\text{J}(\text{kg})^{-1}$), C_E dimensioton vesihöyryn siirtokerroin, q ominaiskosteus ($\text{g}(\text{kg})^{-1}$) ja alaindeksit a ja w viittaavat ilmaan ja veteen.

Lämpöä siirtyy myös veden ja pohjasedimentin välillä. Energiavuon suuruus riippuu veden ja pohjan välisestä lämpötilaerosta rajapinnalla. Sedimenttiin varastoituvan energian suuruuteen vaikuttaa sedimentin lämpökapasiteetti ja lämmönjohtavuus. Yleensä energiaa vaihtuu vähän pohjan ja veden välillä. Suurin merkitys sillä on talvella, kun jääpeite rajoittaa energianvaihtumista pinnan läpi. Ruotsin muutamilla pienillä järvillä 1980-luvun talvina tehtyjen tutkimusten mukaan sedimentin lämpövuon on suurimmillaan alkutalvesta. Tällöin se on suurempi kuin energiahäviö jäähän. Bengtsson ja Svensson (1996) mittasivat sedimentin lämpövoita Tulebolla, Landvetterilla ja Velenilla jääpeiteaikaan. Järvet ovat pieniä ja matalia, pinta-alat 0,3...2,8 km^2 ja keskisyyvydet 3...6 m. Tulosten mukaan sedimentin lämpövuon vaihteli järven ja kuukauden mukaan 0...9 Wm^{-2} . Alkutalvesta lämpövuon oli matalissa järvissä keskimäärin 4 Wm^{-2} ja lopputalvesta 2 Wm^{-2} . Sedimentin lämpövuon riippuu sedimentin vuotuisesta lämpötilavaihtelusta, joka taas on suhteessa veden lämpötilan vaihteluun eri syvyyksillä. Sedimentin lämpövuon voidaan esittää seuraavalla kaavalla (Gu ja Stefan 1990):

$$H_{sed} = -k_b \left(\frac{dT}{dz} \right)_{sed} \quad (7)$$

missä k_b on sedimentin lämmönjohtavuus ja $(dT/dz)_{sed}$ ilmaisee sedimentin lämpötilagradienttia vedestä sedimenttiin. Sedimentin lämpötilan pystyjakauma määritetään yksiulotteisella lämmönjohtavuusyhtälöllä

$$\frac{\partial T}{\partial t} = K_b \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (8)$$

missä K_b on sedimentin lämpödiffuusiokerroin:

$$K_b = \frac{k_b}{\rho_b c_b} \quad (9)$$

missä $\rho_b c_b$ on sedimentin ominaislämpö (ρ_b on sedimentin tiheys ja c_b sedimentin ominaislämpökapasiteetti).

Yhtälön seitsemäs termi H_C on (järven) lämpövaraston muutostermi. Se saadaan laskettua jäännösterminä, jos muut komponentit tunnetaan. Tähän termiin kuuluu myös sateen tuoma lämpö ja advektio. Yleensä tämä muutostermi on pieni, ja siksi se jätetään usein huomioimatta.

3.4 Lämmön siirtyminen vesimassassa

Kun säteily kohtaa vedenpinnan, osa absorboituu ja osa heijastuu. Pitkäaaltoinen lämpösäteily absorboituu heti pintaan, muutaman sentin kerrokseen, koska sillä ei ole tarpeeksi energiaa tunkeutua syvemmälle. Sen sijaan lyhytaaltoinen auringonsäteily vaimenee eksponentiaalisesti syvyyden funktiona. Vaimenevuus riippuu vedenlaadusta. Jos vesi sisältää runsaasti absorboivia ja sirottavia aineksia, säteily ei pääse tunkeutumaan niin syvälle kuin kirkkaissa vesissä. Absorboituessaan säteily muuttuu lämmöksi, ja näin ollen sameat vedet lämpenevät pinnalta nopeammin kuin kirkkaat. Lyhytaaltoinen säteily vaimenee syvyyden funktiona:

$$SW(z) = (SW_{\downarrow} - SW_{\uparrow})e^{-kz} \quad (10)$$

missä SW on syvyydelle z tunkeutuva lyhytaaltoinen säteily (Wm^{-2}) ja k ekstinktiokerroin (m^{-1}). Ekstinktiokerroin voidaan arvioida esim. näkösyvyyden avulla.

Virtaukset kuljettavat vettä ja siis lämpöä. Tuuli saa aikaan vedenpintaan kohdistuvan leikkausjännityksen, joka aiheuttaa pintavirtauksen. Tämän virtauksen nopeus on noin 3 % tuulen nopeudesta. Tarpeeksi kovalla tuulella syntyy aallokko, jolloin virtaus on turbulენტtista ja vesi sekoittuu. Koska säteily absorboituu vain tietyn paksuiseen pintakerrokseen, syntyy järveen termokliini, harppauskerros, jossa veden lämpötilagradientti pystysuunnassa on suuri. Tuulen aiheuttama virtaus pakkaa vettä järven toiseen reunaan ja harppauskerros kallistuu painovoiman vaikutuksesta. Tuulen lakattua vedenpinta pyrkii takaisin tasapainoasemaan ja alkaa heilahdella. Näin syntynyttä heilahtelua kutsutaan ominaisheilahteluksi (seicheksi). Heilahtelu aiheuttaa sekoittumista myös alusvedessä, jonne tuulen tai säteilyn vaikutukset eivät ulotu.

Veden horisontaalista kulkeutumista kutsutaan advektioksi. Advektio kuljettaa lämpöä vesimassan mukana joista järviin, luusuoista jokiin, kapeikoissa ja läpivirtausjärvissä. Nämä horisontaalivirtaukset saattavat aiheuttaa myös vertikaalista siirtymistä.

Järvivesi on tiheintä noin 4 °C:ssa. Tätä kylmempi tai lämpimämpi vesi on siis kevyempää kuin neljäasteinen vesi. Syksyllä ja keväällä täyskiertojen aikaan syntyy labiileja tilanteita, jolloin raskaampi vesi on pinnalla. Tämä aiheuttaa konvektiota, joka pyrkii saamaan vesipatsaan takaisin stabiiliin tilaan. Myös kesällä esiintyy epästabiileja tilanteita, kun pinnan läheinen vesi jäähtyy. Säteilijäähtymisestä johtuvan konvektion nopeusskala, joka kuvaa päällysveden sekoittumisen nopeutta, saadaan seuraavasta yhtälöstä (Fischer ym. 1979):

$$u_f = \left(\frac{\alpha g h \tilde{H}}{C_p \rho_0} \right)^{1/3} \quad (11)$$

missä α on veden lämpölaajenemiskerroin, g maan vetovoiman kiihtyvyys, C_p veden ominaislämpökapasiteetti, ρ_0 päällysveden tiheys, \tilde{H} on pinnan jäähtymisnopeus (Wm^{-2}) (haihdunta, suoranainen lämpövuoto, säteilyenergia) ja h päällysveden syvyys.

Aina kun vesipatsaassa on olemassa lämpötilagradientti, molekylaarinen diffuusio kuljettaa lämpöä. Tämä lämmönsiirtymismuoto on kuitenkin huomattavan pieni. Turbulenttinen diffuusio sitä vastoin on tärkeä. Turbulenttista diffuusiota esiintyy vesimassan ollessa turbulენტtinen ja lämpötilagradienttinen.

3.5 Järven mekaaninen energia, Birgen tuulityö ja Schmidtin stabiliteetti

Järvessä olevalla vesimassalla on potentiaalienergiaa, joka on suorassa suhteessa vesimassan painoon. Koska veden tiheys riippuu suoraan lämpötilasta, vesipatsaan asema- eli potentiaalienergia riippuu veden lämpötilasta. Kuten aiemmin on mainittu, vesi on tiheimmillään 4 °C:ssa. Tavallisesti kevyempi (kesällä lämmin, talvella kylmä) vesi on pinnalla. Stabiilitetilaskelmissa veden tiheydelle käytettiin seuraavaa kaavaa (CRC Handbook 1989):

$$\rho(T) = \frac{(\rho_0 + aT + bT^2 + cT^3 + dT^4 + eT^5)}{(1 + sT)} \quad (12)$$

missä ρ_0 on 999,83952 kgm⁻³, T on veden lämpötila, a on 16,945176, b on -0,00798704, c on $-4,61705 \cdot 10^{-05}$, d on $1,05563 \cdot 10^{-07}$, e on $-2,80543 \cdot 10^{-10}$ ja s on 0,01687985.

Kappaleen (vesipatsaan) asemaenergia saadaan kertomalla massa maan vetovoiman kiihtyvyydellä ja vesipatsaan korkeudella. Näin ollen tietyn paksuisen vesikerroksen asemaenergia on:

$$dB = -\rho g A z dz \quad (13)$$

missä ρ on veden tiheys, g maan vetovoiman kiihtyvyys, A järven pinta-ala tarkastellulla syvyydellä, dz vesikerroksen paksuus. Koko järven asemaenergia järven pinta-alaa kohden on siis

$$B' = -\frac{g}{A_0} \int_0^h \rho A z dz \quad (14)$$

Alkutilan potentiaalienergia B_0 saadaan edellisestä kaavasta sijoittamalla tiheydeksi alkutilan tiheys ρ_0 . Loppu- ja alkutilan välinen potentiaalienergian muutos on

$$B' - B_0 = \frac{g}{A_0} \int_0^h A z (\rho_0 - \rho) dz \quad (15)$$

Tämä energia on peräisin tuulesta ja sitä kutsutaan Birgen tuulityöksi (Birgean wind work) (Schmidt 1928; Idso 1973). Schmidtin stabiliteetti (Schmidt stability) kertoo sen energian järven pinnan pinta-alaa kohden, joka tarvitaan veden täydelliseen sekoittamiseen. Täysin sekoittuneen järven veden lämpötila on

$$T_1 = \frac{1}{U} \int_0^h T A dz \quad (16)$$

missä U on järven tilavuus ja T on tietyn vesikerroksen lämpötila. Koska tiheys riippuu lämpötilasta, voidaan keskimääräinen tiheys laskea kaavasta

$$\rho_1 = \frac{1}{U} \int_0^h \rho A dz \quad (17)$$

Täysin sekoittuneelle järvelle Birgen tuulityö on siis

$$B_1 = B_1' - B_0 = \frac{g}{A_0} \int_0^h Az(\rho_0 - \rho_1) dz = \frac{g}{A_0} (\rho_0 - \rho_1) U z_g$$

$$z_g = \frac{1}{U} \int_0^h z A dz \quad (18)$$

Tässä z_g on järven geometrisen painopisteen syvyys.

Schmidtin stabiliteetti lasketaan vähentämällä täysin sekoittuneen järven tuulityöstä B_1' , vallitsevaa kerrostuneisuutta vastaava tuulityö B , eli (Schmidt 1928; Idso 1973)

$$S = B_1 - B = \frac{g}{A_0} \left[\left(\rho_0 - \frac{1}{U} \int_0^h \rho A dz \right) U z_g - \int_0^h Az(\rho_0 - \rho) dz \right]$$

$$= \frac{g}{A_0} \int_0^h A(z_g - z)(\rho_0 - \rho) dz \quad (19)$$

Koska täysin sekoittuneen järven tapauksessa jälkimmäinen sulkulauseke menee nolllaksi, on täysin sekoittuneen järven stabiliteettikin 0. Joskus labiileissa tilanteissa stabiliteetti voi olla negatiivinen, vaikka teoreettisesti ei. Stabiliteetin yksikkö on kg s^{-2} , joka on sama kuin Jm^{-2} . Mitä voimakkaammin järvi on kerrostunut, sitä suurempi on stabiliteetti, ja sitä enemmän tarvitaan energiaa veden täydelliseen sekoittamiseen. Järven asemaenergian kasvu on verrannollinen tuulen nopeuden kolmanteen potenssiin. Siten myös harppauskerroksen syvyyden kasvunopeus on verrannollinen tuulen nopeuden kolmanteen potenssiin (ks. kappale 3.7.1). Tässä työssä järven stabiliteetti tarkoittaa juuri Schmidtin stabiliteettia. Stabiliteetille on käytetty myös suomenkielistä termiä vakavuus (Järnefelt 1958).

3.6 Järven lämpömäärä

Järven lämpömäärä saadaan laskettua kertomalla jokaisen kerroksen tiheys lämpötilalla, veden ominaislämpökapasiteetilla ja kerroksen paksuudella (Virta 1997; Johnson ym. 1978)

$$\Theta = \frac{1}{A_0} \int_0^h c \rho A T dz \cong \frac{c}{A_0} \sum_i \rho_i T_i \Delta z \quad (20)$$

Järven vuotuinen lämpömäärän muutos saadaan maksimi- ja minimilämpömäärän erotuksena (Johnson ym. 1978).

$$\Theta_{ba} = \Theta_{t_{\max}} - \Theta_{t_{\min}} \quad (21)$$

3.7 Harppauskerros

Kesällä järvi kerrostuu eli pintaan muodostuu järven syvempiä osia lämpimämpi, hyvin sekoittunut vesikerros. Tätä kerrosta kutsutaan päällysvedeksi (epilimnion). Vesimassan alemmaa viileämpää kerrosta kutsutaan alusvedeksi (hypolimnion). Harppauskerros (termokliini) on se syvyys, jossa lämpötilan vertikaalimuutos eli gradientti on suurin. Yleisesti voidaan määrittää harppauskerroksen olevan se syvyys, missä lämpötilagradientti on suurempi kuin yksi aste metriä kohden (Huttula 1976):

$$\frac{dT}{dz} > 1^\circ\text{Cm}^{-1} \quad (22)$$

missä T on lämpötila ja z syvyys.

Toinen määritelmä oli Hutchinsonin (1957) esittämä syvyys, missä lämpötilagradientti on suurin eli lämpötilan toinen derivaatta on nolla:

$$T'' = \frac{d^2T}{dz^2} = 0 \quad (23)$$

Tässä työssä lämpötilaluotauksista lasketun harppauskerroksen kriteerinä on käytetty maksimigradianttia. Tällä määrittelytavalla voi vesimassassa olla monta harppauskerrosta, kuten todellisuudessakin.

3.7.1 Harppauskerroksen painuminen

Järvi saa lämpöenergiansa pääosin auringonsäteilystä ja kineettisen energiansa tuulesta. Kineettinen energia muuttuu virtaukseksi, mutta osa myös lämmöksi ja osa järven potentiaalienergiaksi aiheuttamalla harppauskerroksen alenemisen. Harppauskerroksen syveneminen on siis verrannollista tuulen nopeuteen. Ensimmäisiä tutkimuksia harppauskerroksen alenemisesta ovat tehneet laboratorio-olosuhteissa Kato ja Phillips (1969). Seuraavaksi käsitellään heidän tuloksiaan.

Jos oletetaan, että harppauskerroksen aleneminen ei riipu molekylaarisesta viskositeetista tai molekylaarisesta diffusiviteetistä niin saadaan seuraavat yhteydet:

$$\begin{aligned} \frac{U_e}{U_*} &= f\left(g \frac{\delta\rho}{\rho_0}, U_*, D_0\right), \\ U_* &= \sqrt{\frac{\tau}{\rho_{air}}} \\ \tau &= C\rho_{air}W^2 \end{aligned} \quad (24)$$

missä U_e on rajakerroksen painumisnopeus, $g(\delta\rho/\rho_0)$ on nosteen suhteellinen muutos rajakerroksen yli mentäessä, U_* on kitkanopeus, τ on tuulen leikkausvoima, C on vakiokitkakerroin, ρ_{air} on ilman tiheys, W on tuulen nopeus ja D_0 on ylempään kerroksen paksuus.

Dimensioanalyysin avulla voidaan edellä olevista muuttujista johtaa ns. Richardsonin luku:

$$R_{io} = \frac{g\delta\rho D_0}{\rho_0 U_*^2} \quad (25)$$

Olettamalla, että ylempi kerros on homogeeninen eli hyvin sekoittunut, saadaan

$$\delta\rho = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial\rho}{\partial Z} \right)_0 D_0 \quad (26)$$

missä $(\partial\rho/\partial Z)_0$ on hetkellinen tiheysgradientti, joten Richardsonin luvuksi saadaan

$$R_{io} = \frac{g(\partial\rho/\partial Z)_0 D_0^2}{2\rho_0 U_*^2} \quad (27)$$

Rajakerroksen painuminen riippuu siis vain Richardsonin luvusta

$$\frac{U_e}{U_*} = f(R_{io}) \quad (28)$$

Kokeiden perusteella Kato ja Philips saivat seuraavan yhtälön

$$\frac{U_e}{U_*} = 2C_p \frac{\rho_0 U_*^2}{g\delta\rho D_0} \quad (29)$$

missä C_p on painumiskerroinvakio, jonka arvo on määritettävä. Harppauskerroksen painumisnopeudeksi saadaan siis

$$U_e = \frac{2C_p \rho_0 U_*^3}{g\delta\rho D_0} = 2C_p \frac{C^{3/2} \rho_{air}^{3/2} W^3}{gD_0 \rho^{1/2} \delta\rho} \quad (30)$$

Edellisestä yhtälöstä voidaan laskea harppauskerroksen painuma δD tunnetulla aikavälillä δt

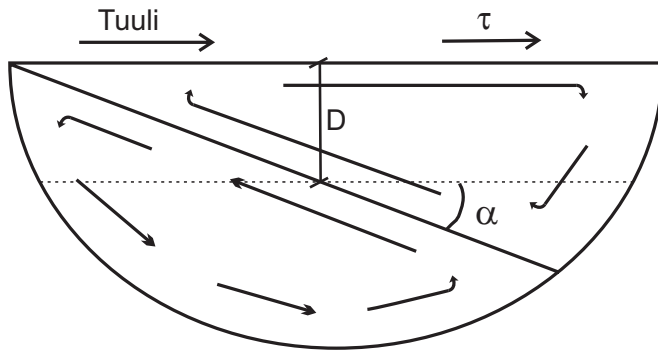
$$\delta D = 2C_p \frac{C^{3/2} \rho_{air}^{3/2} W^3}{gD_0 \rho^{1/2} \delta\rho} \delta t \quad (31)$$

Kaavaa voidaan soveltaa vain, jos järven saama nettolämpövuoto on nolla.

Huttula (1976) on määrittänyt Pääjärvelle painumiskertoimen, C_p , kesien 1969 ja 1970 mittauksen perusteella. Sen keskiarvoksi Pääjärvelle saatiin 0,17. Myös Ruotsissa tehdyissä mittauksissa on Velen -järvelle saatu sama arvo kuin Huttulan Pääjärvelle määrittämä (Falkenmark 1973). Pääjärvi ja Velen ovat kooltaan samaa suuruusluokkaa.

3.7.2 Harppauskerroksen sisäinen heilahtelu

Tuuli aiheuttaa myös harppauskerroksen lyhytaikaista liikettä. Kun tuuli puhaltaa pidemmän aikaa samasta suunnasta, se aiheuttaa järven pintaan leikkausvoiman (τ). Liikemäärä siirtyy tuulesta veteen ja siitä turbulenssin välityksellä syvempiin kerroksiin. Kerrostuneessa järvessä tuulen aiheuttamat virtaukset kulkevat kuvan 5 osoittamalla tavalla. Harppauskerros kallistuu, alenee toisessa päässä ja nousee toisessa päässä. Lämmintä päällysvettä painuu tuulensuuntaiseen päähän, ja tuulen alapuolisessa päässä kylmä alusvesi nousee ylemmäksi (kumpuaminen).



Kuva 5. Tuulen aiheuttama harppauskerroksen kallistuminen. Kuvassa symboli α on kallistuskulma, D harppauskerroksen syvyys ja τ tuulen leikkausvoima veden pintaan.

Figure 5. The tilt of thermocline caused by wind. The symbol α is the angle of tilt, D the depth of thermocline and τ the stress forced by wind.

Palménin (1941) mukaan rajakerroksen kallistuminen riippuu tuulen leikkausvoimasta (τ), tiheyserosta ($\delta\rho$) järven päällys- ja alusveden välillä sekä rajakerroksen syvyydestä D . Kallistuskulma (α) voidaan laskea syvälle rannattomalle merelle kaavasta

$$\tan \alpha = -\frac{\tau}{g\Delta\rho D} \quad (32)$$

missä g on maan vetovoiman kiihtyvyys.

Kaavaa johdettaessa on oletettu, että tilanne on pysyvä ts. tuuli on puhaltanut tarpeeksi kauan ja tasaisesti, jotta tasapainotilanne on saavutettu. Lisäksi on oletettu, että harppauskerroksen rajapinnat pysyvät samansuuntaisina.

Kun tuuli myöhemmin lakkaa, alkaa vesimassa heilahdella tasapainotilansa ympärillä. Tällöin rajakerrokseen syntyy seisova aaltoliike. Seisovan sisäisen aaltoliikkeen amplitudi ja taajuus riippuvat järven koosta, muodosta, kerrostuneisuudesta ja tuulen jaksollisuudesta. Tätä järven vapaata heilahtelua tuulen lakattua kutsutaan ominaisheilahteluksi, eli seicheksi.

Suorakaiteen muotoisen järven ominaisheilahtelun jakso voidaan laskea Mortimerin (1953) esittämällä kaavalla:

$$T_i = \frac{2L}{\sqrt{\left(\frac{g(\rho_a - \rho_p)}{(\rho_p/d_p + \rho_a/d_a)}\right)}} \quad (33)$$

missä L on altaan pituus, g on maan vetovoiman kiihtyvyys, ρ_a on alusveden tiheys, ρ_p on päällysveden tiheys, ja vastaavasti d_a on alusveden paksuus ja d_p on päällysveden paksuus. Kaavaa käytettäessä järven pituus määritetään järven syvimmän osan keskilinjan pituutena.

Järven sisäistä heilahtelua ei kuitenkaan voida havaita SYKEN järvien lämpötilaluotauksista, koska havaintoväli on niin pitkä. On ilmeistä, että Pielisen päivittäisten pintaveden lämpötilojen suuret ja äkilliset vaihtelut johtuvat järven sisäisen heilahtelun aiheuttamasta kumpuamisesta.

4

Aineiston käsitleminen

4.1 Aineiston käsittelyn tilastolliset menetelmät

Hydrologisista ilmiöistä, kuten tässä tapauksessa veden lämpötilasta, on olemassa suuria määriä mittaustuloksia eri havaintopaikoilta ja pitkällä ajanjaksolla. Johtopäätösten tekeminen suoraan havaintoaineistosta on mahdotonta jo melko pienen aineiston tapauksessa. Usein halutaan tarkastella vain aineiston tietyn osajoukon ominaisuutta, joka kuitenkin hämärtyy koko havaintojoukon taakse. Näistä syistä on kehitetty eri tapauksiin soveltuvia tilastollisen käsittelyn menetelmiä, joiden avulla saadaan aineistosta kiinnostavat seikat esille. Tilastollisen käsittelyn etuja ovat aineiston tiivistyminen havainnolliseen muotoon, säännönmukaisuuksien paljastuminen sekä aineiston tietosisällön tehokas hyväksikäyttö. Tilastollisten menetelmien käytön vaaroina ovat havaintojen niukkuudesta tai epäluotettavuudesta aiheutuvat väärät johtopäätökset sekä fysikaalisten tosiasioiden hämärtyminen tilastollisten käsitteiden taakse. Tässä yhteydessä tilastollisista menetelmistä on esitetty vain ne, joita on käytetty lämpötila-aineistojen käsittelyssä.

Luonnossa esiintyvät hydrologiset ilmiöt ovat stokastisia tai stokastis-deterministisiä prosesseja, joiden tilastolliseen kuvaamiseen soveltuvat satunnaisilmiöitä koskevat lait. Luonnossa hydrologisiin prosesseihin vaikuttavat niin monet tekijät, että lopputulos sisältää aina satunnaiskomponentin. Tämän suuruus vaihtelee tosin merkittävästi. Matemaattisesti stokastista prosessia voidaan kuvata joko jatkuvana tai diskreettinä funktiojoukkona. Näistä asioista kerrotaan enemmän jakaumia koskevassa kappaleessa.

Tässä työssä käytettävät pintaveden lämpötilahavaintosarjat ovat aikasarjoja, joissa yhtä muuttujaa, veden lämpötilaa, on mitattu samassa paikassa päivittäin avovesikautena. Syvänveden lämpötilaluotaukset ovat aikasarjoja, joissa havaintoväli on noin kymmenen päivää. Toisaalta lämpötilaluotaukset ovat myös paikkasarjoja, koska mittauksia tehdään eri syvyyksillä. Järven pintalämpötilojen alueellinen vertailu satelliittikuvista on sekä aika- että paikkasarja.

4.1.1 Lineaarinen interpolointi ja ekstrapolointi

Tiettyinä kesänä veden lämpötilan päivittäinen kulku ei ole yhtä suoraviivaista kuin keskiarvokäyrissä. Satunnaisvaihtelu on merkittävää, mikä johtuu suuresti säätilasta (ilman lämpötila, tuulisuus, auringonsäteily) sekä järven ominaispiirteistä (esim. virtaukset). Kuitenkaan veden lämpötila-aineistot eivät ole välttämättä kaikkien havaintopaikkojen osalta jatkuvia, vaan joitakin havaintoja puuttuu. Puuttuvat arvot on interpoloitu lineaarisesti viereisten arvojen avulla. Pintaveden lämpötilahavaintojen kohdalla aineiston aukot ovat yleensä päivä tai pari, joten interpolointi on hyväksyttävää, sillä päivän parin aikana muutokset eivät yleensä ole kovin suuria. Joiltakin vuosilta havainnot puuttuivat rekisteristä, vaikka vuosikirjan mukaan havaintoja on tehty. Jos tietoja löytyi, niitä käytettiin hyväksi keskiarvolaskelmissa. Tällöin jouduttiin toisinaan interpoloimaan 10 päivän välein, ja näiden vuosien laskelmat ovat epävarmoja. Lämpötilaluotausten osalta puuttuva jakso on yleensä kymmenen päivää, mutta kelirikkoaikaan se voi olla

jopa yli kuukaudenkin. Tällöin interpolointi ei ole suotavaa, eikä näin pitkän välin interpolointiarvoja voi käyttää. Tässä työssä on kuitenkin käytetty lämpötilaluotauksille interpolointia tarkasteltaessa lämpötilan vuotuista kulkua eri syvyyksillä. Pintaveden lämpötila- ja luotausaineistoon on merkitty selkeästi mitkä arvot ovat alkuperäisiä ja mitkä interpoloituja. Linearisessa interpoloinnissa menetetään puuttuvalla välillä mahdollisesti olevat paikalliset minimi- tai maksimiarvot, sillä interpolointiarvot ovat aina edellisten ja seuraavien alkuperäisten arvojen väliltä.

Joinakin vuosina pintaveden lämpötilahavainnointi tietyllä asemalla on alkanut tavanomaista myöhemmin tai loppunut tavanomaista aiemmin. Tällöin puuttuvat arvot on ekstrapoloitu viereisten havaintojen avulla. Kuitenkaan enempää kuin kymmentä peräkkäistä havaintoa ei ole ekstrapoloitu. Koska keväinen veden lämpeneminen on hyvin vaihtelevaa, joissakin tapauksissa viikon tai kahden puuttuvat jaksot on redukoitu läheisten havaintoasemien avulla.

Lineaarisen interpoloinnin kaava:

$$x_i = x_0 + grad \cdot i$$

$$grad = \left(\frac{x_{n+1} - x_0}{n + 1} \right) \quad (34)$$

missä *grad* on gradientti, eli muutos tiettyä aikayksikköä kohden, *n* on puuttuvien havaintojen lukumäärä, indeksi *i* kertoo monesko puuttuva havainto on kyseessä, x_0 on puuttuvia havaintoja edeltänyt havainto ja x_{n+1} on puuttuvien havaintojen jälkeinen olemassa oleva havainto.

Lineaarinen ekstrapolointi toimii samoin, mutta gradientti lasketaan havainnoista halutun pituiselta pätkältä olemassa olevista havainnoista puuttuvien havaintojen läheltä.

Lineaarinen ekstrapolointi:

$$x_i = x_a \pm grad \cdot i,$$

$$grad = \left(\frac{x_n - x_0}{n - 1} \right) \quad (35)$$

missä indeksi *i* kertoo puuttuvan havainnon paikan suhteessa olemassa oleviin havaintoihin, siten että *i* = 1 on ensimmäinen puuttuva havainto ja plus- ja miinusmerkki määräytyy sen mukaan, ekstrapoloidaanko lopusta vai alusta puuttuvia havaintoja. Tässä *n* on gradientin määrittämiseen käytettyjen havaintojen lukumäärä ja x_0 on ensimmäinen, x_n viimeinen havainto ja x_a puuttuvien havaintojen vieressä oleva havainto.

4.1.2 Keskiarvot, minimi- ja maksimit

Veden lämpötilojen päivittäisten keskiarvojen laskennassa on käytetty aritmeettista keskiarvoa. Myös interpoloidut ja (jotkut ekstrapoloidut) arvot on otettu mukaan laskuihin.

Aritmeettisen keskiarvon kaava on:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (36)$$

missä *i* kertoo, monennestako alkioista on kyse ja *n* on näin ollen havaintovuosien lukumäärä.

Maksimi, x_{\max} , on havaintojoukon suurin arvo ja minimi, x_{\min} , vastaavasti havaintojoukon pienin arvo.

4.1.3 Hajontaluvut

Aineiston arvojen hajanaisuutta voidaan tutkia erilaisilla hajontaluvuilla. Hajontaluvut kertovat, kuinka aineisto on hajaantunut keskipisteensä ympärille. Yksinkertaisin hajontaa kuvaava arvo on vaihteluväli, joka on havaintoaineiston pienimmän ja suurimman arvon muodostama havaintopari (x_{\min} , x_{\max}). Jos havaintoaineisto on vähintään välimatka-asteikko, kuten lämpötila-asteikko on, määritellään vaihteluväli maksimin ja minimin erotuksena.

$$w = x_{\max} - x_{\min} \quad (37)$$

Jos halutaan tietää, minkä verran arvot keskimäärin poikkeavat keskiarvosta, on parempi käyttää keskihajontaa.

Keskihajonnan kaava on:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (38)$$

missä n on havaintojen lukumäärä, \bar{x} on niiden keskiarvo.

Keskihajonnan rinnalla käytetään myös varianssia σ , joka on keskihajonnan toinen potenssi, s^2 .

4.1.4. Korrelaatio

Korrelaatio ja regressio kertovat kahden tai useamman muuttujan välisistä riippuvuussuhteista. Muuttujien välisen lineaarisen riippuvuuden astetta kuvaavasta luvusta käytetään nimitystä korrelaatiokerroin. Sen itseisarvo vaihtelee välillä $0 \dots 1$. Jos muuttujien välinen korrelaatio on täydellinen, on korrelaatiokerroin $+1$ (positiivinen korrelaatio) tai -1 (negatiivinen korrelaatio). Jos muuttujien arvot vaihtelevat täysin toisistaan riippumatta, korrelaatiokerroin on 0 (täydellinen korreloimattomuus).

Yleisimmin käytetty lineaarisen korrelaation tunnusluku on Pearsonin korrelaatiokerroin (Heino ja Ruosteenoja 1996):

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x s_y} \quad (39)$$

missä s_{xy} = muuttujien x ja y välinen kovarianssi

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (40)$$

s_x = muuttujan x keskihajonta

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (41)$$

s_y = muuttujan y keskihajonta

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (42)$$

Korrelaatiokaavojen keskihajonnoissa on käytetty nimittäjänä havaintojen lukumäärää, sama tulos saadaan myös, jos nimittäjänä käytetään $n-1$:tä (myös kovarianssissa). Analysoitaessa havainnosta laskettuja korrelaatioita on tarkastettava myös, onko korrelaatio luotettava. Korrelaatiokertoimen merkitsevyyttä voidaan mitata testisuurella (Heino ja Ruosteenoja 1996):

$$t = \frac{|r|}{s_r},$$

$$s_r = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}} \quad (43)$$

missä havaintojen lukumäärä on n ja vapausasteiden lukumäärä on $df = n-2$. t -jakauman taulukosta valitaan kyseistä havaintojoukkoa halutulla merkitsevyystasolla vastaava kriittinen piste, jonka arvoon testisuureta verrataan. Vakiintuneen käytännön mukaan testin tulos voi olla joko melkein merkitsevä, merkitsevä tai erittäin merkitsevä. Tällöin testisuure on saanut niin harvinaisen arvon, että sellaisia esiintyy vain alle 5 %, 1 % tai 0,1 % todennäköisyydellä. Käytetyt merkitsevyystasot ilmaistaan usein tutkimuksen yhteydessä merkinnöin ($P < 0,05$), ($P < 0,01$) ja ($P < 0,001$). Testi voi olla yksi- vai kaksipuolinen. Kaksipuolisessa testissä määritetään se, onko muutos merkitsevä jompaankumpaan suuntaan, yksipuolisessa testataan, ovatko arvot joko suurempia tai pienempiä.

Jos korrelaation olemassaolo voidaan osoittaa, on yleensä tärkeää tietää kuinka voimakas korrelaatio on. Karkeana jaotteluna voidaan pitää seuraavaa (Heino ja Ruosteenoja 1996):

- merkityksetön, jos $|r| < 0.3$
- heikohko, jos $0.3 \leq |r| < 0.7$
- selvä, jos $0.7 \leq |r| < 0.9$
- vahva, jos $|r| \geq 0.9$

4.1.5 Lineaarinen regressio

Regressioanalyysi on eräs käytetyimpiä tilastollisia tutkimusmenetelmiä. Regressioanalyysissa tutkitaan yhden muuttujan riippuvuutta muista muuttujista, ja analyysin tarkoituksena on selittää tämän suureen y vaihtelut mahdollisimman hyvin muiden tunnettujen suureiden avulla.

Tutkitaan lineaarista regressiota kahden muuttujan välillä. Selitettävä muuttuja on y ja selittävä muuttuja on x . Silmämääräisesti lineaarinen regressio voidaan sovittaa x :n ja y :n pistediagrammiin. Tällöin kuitenkin tulos riippuisi sovituksen tekijästä.

Oletetaan, että perusjoukossa, josta tarkasteltava havaintojoukko käsitetään otokseksi, vallitsee riippuvuus

$$y \cong \alpha + \beta x \quad (44)$$

missä a ja b ovat tuntemattomia vakioita, jotka pyritään arvioimaan. Estimoi-tua mallia merkitään

$$y = a + bx \quad (45)$$

missä a ja b on pyrittävä määräämään otoksen perusteella. Jos tuntemattomia vakioita on yhtä paljon kuin havainnot, voidaan yhtälö ratkaista suoraan. Muuttujien välistä riippuvuutta määritettäessä havainnot on tavallisesti enemmän kuin muuttujia. Tällöin voidaan regressiosuoran laskemisessa käyttää ns. pienimmän neliösumman menetelmää, jonka tilastotieteilijä Gauss johti v. 1821. Menetelmässä tuntemattomat vakiot määritetään siten, että verrattaessa regressiosuoran antamia selitettävän muuttujan lukuarvoja havainnoista saatuihin arvoihin poikkeamien neliöiden summa tulee mahdollisimman pieneksi.

Tarkastellaan selitettävän y -muuttujan havaintoarvojen poikkeamia yhtälön 45 antamista arvoista:

$$\varepsilon_i = y_i - y_i^* = y_i - (a + bx_i) \quad (46)$$

Missä y^* on arvoa x vastaava regressiosuoran ordinaatta. Vakiot a ja b määrätään niin, että neliösumma

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = (y_1 - (a + bx_1))^2 + \dots + (y_n - (a + bx_n))^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 \quad (47)$$

tulee mahdollisimman pieneksi. Sitä suoraa, joka saadaan minimoimalla tämä neliösumma, sanotaan pienimmän neliösumman suoraksi. Minimointi voidaan ratkaista derivoimalla edellistä lauseketta sekä a :n että b :n suhteen ja merkitsemällä nämä osittaisderivaatat nolliksi. Näin saadusta yhtälöparista voidaan ratkaista regressiokertoimien estimaatit a ja b :

$$b = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2}, \quad (48)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

missä summat on otettu yli kaikkien havaintoparien ja \bar{x} ja \bar{y} ovat muuttujien x ja y keskiarvot.

Regressiosuora voidaan muodostaa myös käänteisesti pitämällä x :ää selitettävänä muuttujana ja y :tä selittävänä. Tällöin vallitsee riippuvuus $x \cong \gamma + \delta y$ ja estimoitu malli on $x = c + dy$. Regressiosuorat eivät kuitenkaan ole samat, ellei muuttujien välinen korrelaatio ole tasan ± 1 .

Regressiosuoran tilastollista merkitsevyyttä tutkittaessa selvitetään, onko regressiokertoimen b arvo nolla vai ei. Tämä tilastollinen testaus tehdään samoin kuin korrelaatiokertoimen tapauksessa.

4.1.6 Liukuva keskiarvo

Liukuvalla keskiarvolla tarkoitetaan peräkkäisten ajanhetkien havaintoarvojen keskiarvojen muodostamaa lukusarjaa:

$$\frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}, \frac{x_2 + x_3 + \dots + x_{n+1}}{n}, \text{ jne.} \quad (49)$$

missä n on jänneväli.

Liukuva keskiarvo voidaan laskea myös painotettuna, esimerkiksi binomikertoimin. Liukuvat keskiarvot tasoittavat aikasarjoissa esiintyviä vaihteluita ja toimivat näin ollen eräänlaisena suodattimena. Liukuvien keskiarvojen käyttöön liittyy ongelmia. Havaintosarjan alusta ja lopusta menetetään havaintoja, suuret poikkeamat (esim. virheet) vaikuttavat voimakkaasti ja keinotekkoisten jaksollisten vaihteluiden syntyminen on mahdollista.

4.1.7 Trendi

Trendillä tarkoitetaan pitkähkön ajan kuluessa tapahtunutta keskimääräistä kehitystä. Trendiä voidaan arvioida silmämääräisesti, mutta menetelmä on hyvin subjektiivinen. Objektivisemmin trendi saadaan sovittamalla aikasarjaan pienimmän neliösumman suora tai jokin muu laskennallisesti saatu käyrä. Pienimmän neliösumman menetelmä esitettiin edellisessä kappaleessa regressioanalyysin yhteydessä.

4.1.8 Todennäköisyysjakaumista

Todennäköisyysjakaumien käyttö on hyvin yleistä hydrologisia havaintoaineistoja tarkasteltaessa. Jos jokin muuttuja noudattaa tiettyä todennäköisyysjakautta, on sen ääriarvojen määrittäminen toistumisajoilla mahdollista. Jakauman määrittäminen perustuu kokeilevaan prosessiin, jossa valitaan arviolta sopiva jakauma ja parametrit estimoidaan käytettävissä olevasta aineistosta. Tämän jälkeen testataan jakauman soveltuvuus ko. aineistoon. Jos testituloksena on positiivinen, perusjoukon oletetaan noudattavan jakaumaa. Jos testituloksena on negatiivinen, etsitään jokin muu sopiva jakauma.

Todennäköisyysjakaumat voivat olla siis jatkuvia tai diskreettejä. Diskreetin muuttujan tapauksessa tulos voi olla esimerkiksi vain kokonaisluku. Tässä työssä esimerkkinä diskreetistä jakaumasta on tietyn rajalämpötilan ylittävien päivien lukumäärä. 20 °C:een ylittäviä päiviä voi olla vuodessa esimerkiksi 10 tai 11, muttei 10,5. Diskreettejä jakaumia ovat esimerkiksi binomijakauma ja Poissonin jakauma.

Sen sijaan itse lämpötilojen jakauma on jatkuva, tietyn päivän veden lämpötila voi saada minkä arvonnahan tahansa, tosin mittaustarkkuuden ja realististen lämpötilavaihtelujen rajoissa. Yleisin käytetty jatkuva jakauma on normaalijakauma, jonka muodosta käytetään nimitystä Gaussin käyrä, keksijänsä mukaan. Normaalijakauman mukaan 95,4 % aineistosta jää rajojen $\bar{x} \pm 2s$ sisälle. Normaalijakauma määritellään tiheysfunktionsa mukaan (Heino ja Ruosteenoja 1996):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (50)$$

missä μ on odotusarvo ja σ on keskihajonta. Normaalijakauma on täysin määritetty, kun teoreettiset tunnusluvut μ ja σ tunnetaan. Normaalijakauman tiheysfunktioita ei voida integroida analyttisesti, vaan on turvauduttava numeerisiin menetelmiin. Numeerisesti laskettuja kertymäfunktion arvoja on taulukoitu. Tietenkään taulukoita ei voida laskea kaikille parametrien arvoille, joten on kehitetty muunnos mielivaltaisesta normaalijakaumasta normeeratuksi normaalijakaumaksi. Määritellään

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (51)$$

jolloin normaalijakauman tiheysfunktio saa muodon

$$y = y_0 e^{-\frac{z^2}{2}}, y_0 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \quad (52)$$

jossa z tarkoittaa etäisyyttä keskiarvosta keskihajonnan suuruisissa mittayksiköissä. Normeeratulle normaalijakaumalle on tehty frekvenssitaulukoita.

Muita hydrologiassa käytettyjä jakaumia ovat log-normaalijakauma, gammajakauma sekä ääriarvojen jakaumat Gumbelin, Weibullin ja log-Pearsonin jakaumat. Gumbelin jakaumasta lisää seuraavassa kappaleessa toistuvuusanalyysin yhteydessä.

4.1.9 Toistuvuusanalyysi

Hydrologiassa on yleistä erilaisten ääriarvojen tarkasteleminen. Erilaiset havainnot noudattavat erilaisia ääriarvojakaumia. Tässä työssä tarkastellaan pintaveden lämpötilojen maksimi-arvoja ja niiden toistuvuutta. Varsinaisesti lämpötilojen ääriarvoille ei ole esitetty kirjallisuudessa mitään tiettyä teoreettisesti perusteltua ääriarvojakaumaa. Gumbelin jakauma on yleisesti käytetty logaritminen jakauma tarkasteltaessa hydrologisia ääriarvoja, ja sitä käytettiin myös tässä tarkastelussa. Testien mukaan lämpötilahavaintojen maksimit eivät poikenneet merkittävästi Gumbelin jakaumasta.

Gumbelin jakauman tiheys- ja kertymäfunktiot ovat (Kuusisto 1986):

$$\begin{aligned} f(x) &= \alpha \exp\{-\alpha(x - \beta) - \exp[-\alpha(x - \beta)]\} \\ F(x) &= \exp[-\exp(-\alpha(x - \beta))] \end{aligned} \quad (53)$$

Jakauman odotusarvo on $\beta + 0,577/\alpha$, varianssi $0,781/\alpha$, mediaani $s = 0,366/\alpha$, moodi β ja vinouskerroin 1,14.

Gumbelin jakaumaa sovelletaan yleensä todennäköisyyspaperin avulla. Aineisto sovitetaan siten, että kaikki n havaintoa asetetaan suuruusjärjestykseen, suurin arvo saa toistumisajan $n+1$, toiseksi suurin $(n+1)/2$, ja niin edelleen siten, että pienin arvo saa toistumisajan $(n+1)/n$. Pisteistä voidaan piirtää kaartuva kuvaaja, jonka matemaattinen sovitus on (Kuusisto 1986):

$$y(T_r) = \bar{y} - \{0,45 + 0,78 \ln[-\ln(1 - \frac{1}{T_r})]\} s_y \quad (54)$$

missä T_r on toistumisaika, \bar{y} on aineiston keskiarvo ja s_y on aineiston keskihajonta.

4.1.10 Luottamusväli

Suurten otosten ($n > 30$) keskiarvot ovat likipitään normaalisti jakautuneita perusjoukon keskiarvon ympärille, vaikka perusjoukko ei olisikaan täysin normaalin. Siten noin 50 % otosten keskiarvoista sattuu välille $\mu \pm 0,675\sigma/\sqrt{n}$, 95 % välille $\mu \pm 1,96\sigma/\sqrt{n}$ jne. normeeratun normaalijakauman frekvenssitaulukon mukaisesti.

Käytännön tilanteissa perusjoukon keskiarvo ja hajonta ovat tuntemattomia, mutta otoksen vastaavat suureet tunnetaan. Tällöin voidaan ajatella, että tuntemattoman perusjoukon keskiarvo sijaitsee jossakin otoskeskiarvon lähellä ja että sen todennäköisyysjakauma on $N(x, s/\sqrt{n})$. Tällöin voidaan määrittellä perusjoukon keskiarvolle 95 %:n luottamusväli

$$\left(\bar{x} - 1,96 \frac{s}{\sqrt{n}}, \bar{x} + 1,96 \frac{s}{\sqrt{n}}\right) \quad (55)$$

Näin ollen perusjoukon keskiarvo on 95 %:n varmuudella tällä välillä. Vastavasti voidaan määritellä 99 % ja 99,9 % luottamusvälit.

4.1.11 Tilastollinen testaus, t-testi

Tarkasteltaessa pieniä otoksia ($n < 50$) ei voida olettaa, että keskihajonnalle otoksesta laskettu estimaatti antaisi riittävän tarkasti perusjoukon keskihajonnan. Tällöin joudutaan ottamaan huomioon myös varianssin vaihtelu otoksesta toiseen, jolloin päädytään t-jakaumaa noudattaviin testisuureisiin. t-jakauman testisuureet yhden otoksen keskiarvon poikkeamiselle annetusta arvosta μ sekä kahden otoksen keskiarvojen vertailulle ovat (Heino ja Ruosteenoja 1996):

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 + n_2 - 2}{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (56)$$

missä \bar{x} on otoksen keskiarvo, s otoksen keskihajonta ja n otoksen koko. Merkitsevyystasot määritellään kuten korrelaatioanalyysin yhteydessä esitettiin.

4.1.12 Mittausvirheistä

Luonnontieteellisessä tutkimuksessa mitatut suureet eivät ole täysin tarkkoja, vaan mittaustuloksissa on aina mukana virhettä. Virheet voidaan jakaa kolmeen ryhmään: 1) systemaattiset virheet, 2) satunnaiset virheet ja 3) kömmähdykset. Ensimmäisen ryhmän virhe voi aiheutua esim. väärin toimivasta lämpömittarista. Toisen ryhmän virhe johtuu yleensä hydrologian tapauksissa mitattavan suureen todellisesta satunnaisvaihtelusta. Kolmannen ryhmän virhe on selvä virrehavainto, joka johtuu esim. siitä, että mittaria on luettu väärin tai tulos on vahingossa kirjattu muistiin väärin. Tällaiset selvät virheet tulisi poistaa aineistosta ennen jatkokäsittelyä.

Ennen tässä työssä käsiteltävien lämpötilahavainnoaineiston tilastollista käsittelyä mittaustulokset on käyty läpi ja selkeät virheet (esim. desimaalivirheet) on poistettu ja korvattu arkistoista löytyvillä oikeilla arvoilla. Alkuperäisten tietojen puuttuessa yksittäiset arvot on interpoloitu viereisistä havainnoista. On selvää, että mahdollisia systemaattisia tai satunnaisia pieniä virheitä ei ole tästä työstä voitu sulkea pois.

4.2 Satelliittikuvien muuttaminen veden pintalämpötila-arvoiksi

Kuten luvun 3 energiatasetarkasteluissa ilmeni, pinnan lähettämä lämpösäteily noudattaa Stefan-Boltzmannin lakia. Lämpösäteily riippuu siis pinnan emissiivisyydestä, Stefan-Boltzmannin vakiosta ja pinnan lämpötilan neljännestä potens-

sista. Pilvet absorboivat osan pinnan lähettämästä lämpösäteilystä. Satelliitin havaitsema lämpösäteily sisältää pinnan säteilyn lisäksi ilmakehän lähettämää, heijastunutta ja sironnutta lämpösäteilyä.

Suomen ympäristökeskuksessa käytössä olevat satelliittikuvat ovat NOAA -satelliitin AVHRR -instrumentin havaitsemia. AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) mittaa infrapuna-alueella pinnan lähettämää säteilyä. Järven pintalämpötilan havainnointi satelliiteista edellyttää suuria saarettomia selkiä, mikä tarkoittaa käytännössä n. 2 km saarettonta selkää neliökilometrin resoluutiolle. Saarisilla ja kapeilla järvillä vedenpinnan lähettämään lämpösäteilyyn sekoittuu myös maanpinnan lähettämää lämpösäteilyä, joka on keväisin suurempaa ja syksyisin pienempää kuin vedenpinnan lämpösäteily. Resoluution lisäksi ongelmana on ilmakehän vaikutuksen poistaminen. Pilvisuus estää mittauksen, mutta kirkkaalla säälläkin vesihöyry ja ilman muut kaasut vaimentavat säteilyä merkittävästi. Vääristymiä poistetaan AVHRR -instrumentissa vertaamalla yhtäaikaaisesti kahdella tai kolmella kanavalla saatuja mittaustuloksia keskenään. AVHRR:ssa on käytössä viisi kanavaa näkyvän valon ja infrapuna-alueella, joista kanavat neljä ja viisi ovat käytössä lämpösäteilylle. Vedenpinnan lämpötilalle käytettiin Split window -tekniikkaa, jossa vedenpinnan lämpötila laskettiin seuraavalla yhtälöllä (Pyhälähti 1998):

$$T_s = T_4 + [a_1 + a_2(T_4 - T_5)](T_4 - T_5) + a_0 + a_{\text{sec}}(T_4 - T_5)(\sec \theta - 1) \quad (57)$$

Lämpötilan alaindeksit 4 ja 5 viittaavat kyseisiin kanaviin, θ on satelliitin mitauskulma ja vakiotermeissä (a_i) on otettu huomioon emissiivisyyserojen vaikutus eri kanavilla. Samaa yhtälöä ei voida käyttää maanpinnan lämpötilan laskemiselle, koska maan emissiviteetti vaihtelee suuresti riippuen pinnan materiaalista. Resoluutio, radiometri itse ja mitauskulma aiheuttavat virhettä mitattuun pinnan lämpötilaan. Satelliittimittauksin saatu lämpötila kuvaa vedenpinnan keskimääräistä lämpötilaa aivan muutaman millimetrin kerroksessa neliökilometrin alueella, mikä on eri asia kuin ranta- ja luotaushavainnossa mitattu lämpötila 20 cm syvyydessä.

Tulokset

5.1 Pintaveden lämpötilat

Pintaveden lämpötilahavainnoista laskettiin minimi, keskiarvot ja maksimit, eri kuukausien keskilämpötilat, maksimien ajankohdat, tiettyjen rajalämpötilojen ylittävien päivien lukumäärä ja ylityksen ajankohdat sekä maksimilämpötilojen toistuvuudet. Minimit, maksimit ja keskiarvot eri ajanjaksoilla on taulukoitu liitteessä 3. Liitteessä 4 on esitetty taulukkoina eri ajanjaksoille kesä-, heinä- ja elokuun keskilämpötilat, 5 °C:een, 10 °C:een, 15 °C:een ja 18 °C:een isotermien eli lämpötilan samanarvonkäyrien keskimääräiset ajankohdat, maksimin keskimääräiset ajankohdat, 10 °C:een, 15 °C:een, 18 °C:een ja 20 °C:een ylittävien päivien lukumäärät.

Havaintovuotia puuttui eri järveltä seuraavasti: Pielinen (1961-1967), Kallavesi (1951-1959), Pielavesi (1972-1974), Lappajärvi (1964, 1981-1982), Kevojärvi (1978, 1985). Lappajärven vuodet 1981-1982 ja Kevojärven vuosi 1978 on otettu mukaan keskiarvolaskelmiin vuosikirjoista poimittujen tietojen ja osittain interpoloitujen arvojen perusteella. Joillekin vuosille on jouduttu interpoloimaan melko paljon ja nämä ajanjaksot on jätetty pois aikasarja- ja toistuvuustarkasteluista, vaikka ne ovatkin mukana keskiarvotarkasteluissa.

5.1.1 Pintaveden lämpötilan vuorokautisesta kulusta

SYKEN valtakunnalliset pintaveden lämpötilamittaukset tehdään aamuisin kello kahdeksan. Aamuhavainnot eivät kuitenkaan vastaa veden lämpötilan vuorokausikeskiarvoa, vaan ovat sen alapuolella. Veden lämpötilan vuorokautisesta syklistä ei ole kovinkaan paljon tutkimuksia Suomessa. Tehdyt tutkimukset liittyvät yleensä järvihaihdunnan määrittämiseen. Suomessa järven lämpötilan vuorokausivaihteluja ovat tutkineet Solantie (1976), Elomaa (1977) ja Järvinen ja Huttula (1982). Ruotsin järvillä on asiaa tutkittu NOPEX -projektin (Northern Hemisphere Climatic Processes Land Surface Experiment) keskitetyissä kenttätutkimuksissa (Tourula ym. 1996). Kaikki edellä mainitut tutkimukset käsittelevät pinta-alaltaan melko pieniä ja syvyydeltään melko matalia järviä. Alaltaan suuremmissa järvissä vuorokausivaihtelu on pienempää.

Solantie (1976) on esittänyt pintaveden lämpötilahavaintojen klo 8 mittaus-ten vuorokausikeskiarvojen määrittämiseksi seuraavassa esitetyt korjaukset. Vertailu perustuu melko suppeaan aineistoon ja on näin ollen lähinnä suuntaa-antava.

Kuukausi	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Korjaus (°C)	+0,5	+0,7	+0,6	+0,4	+0,2	+0,1	0,0

Elomaa (1977) on tutkinut veden lämpötiloja määrittäessään Pääjärven lämpötilat ja alueen fysikaalisen ilmaston piirteitä vuosina 1969 ja 1970. Pääjärvi sijaitsee Etelä-Suomessa, Lahden ja Tampereen välillä. Järven pinta-ala on 13,4 km² ja keskisyvyys on melko suuri, 14,8 metriä. Kesän 1969 keskimääräisestä veden lämpötilan vuorokausikulusta havaitaan kesäkuussa pintaveden lämpötilan keskiarvon vaihtelevan aamuyön 18,7 °C:sta iltapäivän 19,8 °C:een. Minimi saavute-

taan keskimäärin klo 5 ja maksimi klo 14. Metrin syvyydellä veden lämpötilan maksimi on vasta klo 18. Heinäkuussa pinnan lämpötilan vuorokausivaihtelu on 17,9 °C:sta 19,0 °C:een. Heinäkuussa pintaveden lämpötilan vuorokauden minimi on klo 5 ja maksimi klo 17. Elokuussa lämpötilan vuorokautinen vaihtelu on klo 6 minimistä, 19,1 °C:sta klo 15 maksimiin 20,1 °C:een. Metrin syvyydellä maksimi saavutetaan klo 17. Syyskuun keskimääräinen vaihtelu on jo pienempää klo 8 minimistä 12,5 °C:sta klo 15 maksimiin 12,7 °C:een. Lokakuussa lämpötilan vuorokausivaihtelu on lähes olematonta (7,3 °C:sta 7,4 °C:een).

Järvinen ja Huttula (1982) mittasivat haihtumistutkimusten yhteydessä Tuusulanjärven pintaveden lämpötilan vuorokausivaihtelua. Tuusulanjärven pinta-ala on 5,9 km² ja keskisyvyys 3,2 metriä. Mittausten mukaan jaksolla 16.-24. heinäkuuta 1981 Tuusulanjärven pintalämpötilan vuorokausiamplitudi oli 1...3 °C ja pinta-veden lämpötila vaihteli 18 °C:sta 21 °C:een. Vuorokauden minimilämpötilat saavutettiin aamulla klo 6-10 aikaan ja maksimit noin klo 18-20.

Tourula ym. (1996) mittasivat järven pintaveden lämpötilan kulkua ja muita mikrometeorologisia muuttujia kesinä 1994 ja 1995 Ruotsin järvillä (Tämnaren ja Råksjö) Uppsalan lähistöllä. Järvet ovat melko pieniä ja matalia. Tämnarenin pinta-ala on 37 km² ja keskisyvyys 1,2 metriä, Råksjö on alaltaan 1,2 km² ja keskisyvyydeltään 4,3 metriä. Mittaukset tehtiin järven keskellä olevalla lautalla. 10.-23.6.1994 tehtyjen mittausten mukaan veden lämpötilan vuorokausiamplitudi puolen metrin syvyydellä oli Tämnarenilla 1...3 °C ja Råksjöllä 1...4 °C. Kokonaisuudessaan veden lämpötila puolen metrin syvyydessä vaihteli Tämnarenilla kesäkuussa 1994 välillä 13...19 °C ja Råksjöllä 13...16 °C.

Suomen ympäristökeskuksen valtakunnalliseen pintaveden lämpötilahavaintoverkkoon kuuluvassa Saimaan Lauritsalassa on ollut käytössä automaattinen lämpötilan mittaus vuorokauden ympäri kesäkuusta 2000 lähtien. Lämpötila-anturin toiminnassa on ollut ongelmia sekä kesällä 2000 että 2001, joten täysin kattava aineistoa ei ollut saatavilla. Pintaveden lämpötilan keskimääräiset maksimit ja minimi sekä niiden ajankohdat Lauritsalassa alku- ja loppukesästä ilmenevät taulukosta 2. Taulukossa esitetyissä luvuissa on epävarmuustekijänsä, mutta luvut ja ajankohdat ovat ainakin suuntaa-antavia. Valitettavasti heinäkuulle ei ollut saatavilla luotettavia havaintoja.

Toukokuun 2001 lämpötiloista lasketuista keskiarvoista nähdään, että minimi saavutetaan kello kuuden paikkeilla ja maksimi iltapäivällä kello viiden maissa (taulukko 2). Keskimääräinen maksimin ja minimin erotus on noin puolitoista astetta. Kesäkuiden 2000 ja 2001 perusteella minimi saavutetaan klo 6-7 paikkeilla, maksimi klo 16-17 aikoihin. Kesäkuussa maksimin ja minimin erotus on asteesta puoleentoista. On huomattava, että kesäkuusta 2000 puuttuu noin viikon verran havaintoja kuun alusta. Elokuussa 2000 maksimin ja minimin välinen ero oli keskimäärin 1 °C. Maksimi sijoittui iltapäivälle klo 17 ja minimi aamulle klo 8. Syyskuussa 2000 maksimin ja minimin erotus oli 0,6 °C. Maksimi saavutettiin noin klo 16 ja minimi noin klo 8. Minimien ajankohta siirtyy myöhemmäksi loppukesää kohden mentäessä.

Taulukko 2. Pintaveden lämpötilan keskimääräiset maksimi- ja minimilämpötilat ja niiden ajankohdat Saimaan Lauritsalassa kesinä 2000 ja 2001. Joillekin kuukausille ei ollut riittävästi luotettavia havaintoja, joten näiltä kuukausilta ei maksimi- ja minimilämpötiloja ole esitetty.

Table 2. Average maximum and minimum temperatures of surface water in lake Saimaa at Lauritsala in the summers 2000 and 2001. The data for some months were considered unreliable and ignored.

Kuukausi, Month	Toukokuu, May 2001	Kesäkuu, June 2000	Kesäkuu, June 2001	Elokuu, August 2000	Syyskuu, September 2000
Max.	12,7 °C (17.00)	17,9 °C (16.00)	16,3 °C (17.00)	20,5 °C (17.00)	16,1 °C (16.00)
Min.	11,3 °C (6.00)	16,4 °C (6.00)	15,3 °C (7.00)	19,5 °C (8.00)	15,5 °C (8.00)

Veden lämpötilan vuorokautinen kulku on yhteydessä viiveellä ilman lämpötilan kulkuun. Säätila vaikuttaa amplitudin suuruuteen ilman lämpötilan vuorokautisessa kulussa. Säätila vaikuttaa myös veden lämpötilan vuorokautiseen kulkuun. Jos ilma on pilvinen, amplitudi on pieni tai lähes olematon. Pilvisellä säällä aurinko ei pääse lämmittämään ilmaa ja pintaa niin tehokkaasti. Yöllä lämpötilat eivät laske kovin alas pilvien voimakkaasta lämpösäteilystä johtuen. Jos sää on pilvetön ja aurinkoinen, amplitudi on suurimmillaan. Tällöin aurinko lämmittää ilmaa ja vettä päivällä voimakkaasti ja yöllä säteilyjäähdyminen viilentää pintaa. Pienillä humuspitoisilla järvillä pintaveden lämpötilan vuorokausivaihtelu voi olla jopa 5 °C (Bowling ja Salonen 1990). Veden lämpötilan vuorokausiamplitudi on suurimmillaan keväällä ja kesällä ja huomattavasti pienempi syksyllä vesimassan jäähtyessä (Pivovarov 1973). Sama käyttäytyminen huomataan edellä esitetyistä mittauksista eri järvillä.

5.1.2 Pintaveden lämpötilan vuotuinen kulku

Pintaveden lämpötiloja havainnoidaan avovesikauden ajan. Koska jäänlähdon ja jäätymisen ajankohdat vaihtelevat maantieteellisistä syistä eri järvissä, ovat pintaveden lämpötilan havainnoimisjaksot eri pituisia. Saimaan Lauritsalassa veden lämpötilahavaintoja on tehty keskimäärin jaksolla 1.5.-20.11., Pielisellä Nurmeksessa jaksolla 15.5.-31.10., Kallavedellä Kuopiossa 20.5.-10.11., Pielavedellä Säviällä 20.5.-31.10. (paitsi vuodesta 1988 lähtien kesä-elokuussa), Lappajärven Halkosaareissa 10.5.-31.10., Tornionjoen Kukkolankoskella 20.5.-30.9., Inarin Nellimissä 1.6.-20.10. ja Kevojärvellä Kevoniemessä 1.6.-10.10. Keskiarvoja ei kuitenkaan ole laskettu ihan näin pitkille jaksoille, vaan sellaisille jaksoille, joille keväältä ja syksyltä ei ole tarvinnut ekstrapoloida muutamia vuosia enempää. Keskiarvokäyrät ääriarvoineen jaksolla 1961-2000 on esitetty kuvassa 6. Liitteen 3 taulukosta löytyvät tiedot muille ajanjaksoille ja muille havaintopaikoille.

Jaksolla 1961-2000 pintaveden lämpötila ylitti 5 °C:een rajan keskimäärin toukokuun alussa Saimaan Lauritsalassa (3.5.) ja Lappajärven Halkosaareissa (7.5), toukokuun puolessa välissä Pielavedellä Säviällä (13.5.), Pielisellä Nurmeksessa ja Kallavedellä Kuopiossa (17.5.), toukokuun lopulla Tornionjoen Kukkolankoskessa (21.5.) ja Inarin Nellimissä (28.5.) ja kesäkuun alussa Kevojärven (3.6.). 10 °C:een raja ylittyy toukokuun puolenvälin jälkeen Saimaalla (17.5.) ja Lappajärvellä (23.5.), touko-kesäkuun vaihteessa Pielavedellä (28.5.), Pielisellä (31.5.), Kallavedellä (1.6.) ja Tornionjoessa (3.6.). Inarissa 10 °C:een raja ylittyy keskimäärin 12.6. ja Kevojärvellä vasta juhannuksen korvalla, kesäkuun 20. päivä.

Alkukesästä, touko-kesäkuussa, veden lämpötilojen vuotuinen vaihtelu on hyvinkin suurta riippuen lähinnä kevään säistä ja jäiden lähdestä. Havaintopaikan sijainnillakin on merkitystä. Hyvin sekoittuvassa paikassa veden lämpötilan vaihtelu eri vuosien välillä on pienempää kuin heikosti sekoittuvassa paikassa. Joissa advektiolla on suuri merkitys veden lämpötilan vaihteluun. Vaikka Kukkolankosken mittauspaikka on joessa, muistuttaa se sekoittumisolosuhteiltaan enemmän järveä, sillä havaintopaikka on ennen koskea ja joki on tällä kohtaa noin kilometrin leveydeltään. Maksimissaan Tornionjoessa lämpötilan vaihteluväli on yli 18 °C ja vastaava keskihajonta 2,7 °C. Tornionjoessa koko kesän lämpötilan vaihteluväli pysyy 10 °C:een tuntumassa. Pielisellä alkukesän pintaveden lämpötilojen vaihtelu on hyvin suurta. Tämä johtuu havaintopaikan kumpuamiselle sopivasta sijainnista ja siitä, että alkukesästä lämmin päällysvesikerros on vielä ohut. Pielisellä vaihteluväli on suurimmillaan heinäkuun alussa jopa 15 °C ja vastaava keskihajonta 3,6 °C. Kaikilla kahdeksalla paikalla lämpötilojen hajonta on suurinta alkukesästä, ja pienehköä elokuusta eteenpäin. Tämä selittyy sillä, että veden suuresta lämpökapasiteetista johtuen vesimassa jäähtyy paljon tasaisemmin kuin lämpiyä. Saimaalla alkukesän lämpötilojen vaihtelu on keskimäärin pienintä muihin verrattuna. Siellä suurin vaihteluväli on 10 °C ja suurin keskihajonta 2,2 °C. Myös Pielave-

dellä vaihteluväli ja keskihajonta ovat melko pieniä koko kesän. Taulukkoon 3 on laskettu lämpötilan keskihajonnat ja kuukausikeskiarvot kesä-, heinä- ja elokuulle. Kuukausitasolla lämpötilan vaihtelu on suurinta kesä- ja heinäkuussa Pielisellä ja elokuussa suurin keskihajonta on Tornionjoessa. Keskihajonta on pienintä kesä- ja elokuussa Saimaalla ja heinäkuussa Pielavedellä. Sekä Saimaan että Pielaveden havaintopaikoilla veden syvyys on suurempi kuin muilla havaintopaikoilla.

Kaikilla muilla havaintopaikoilla pintaveden lämpötilan 15 °C:een raja ylittyy jo kesäkuussa, paitsi Inarissa ja Kevojärvässä. Saimaalla vesi on 15 °C jo keskimäärin kesäkuun 6. päivä, Lappajärvellä 14.6., Pielavedellä 17.6., Kallavedellä 21.6., Pielisellä 22.6. ja Tornionjoessa kesäkuun 24. päivä. Inarissa 15 °C ylittyy keskimäärin 9.7. Kevojärvässä vesi on 15 °C vasta elokuun alussa (3.8.), ja alkaa heti siitä jo viilenemään. Keskivertovuotena pintaveden lämpötila 18 °C ylittyy vain Kukkolankoskea etelämpänä olevilla havaintopaikoilla. Saimaalla pintaveden lämpötila ylittää 18 °C keskimäärin kesäkuun lopussa (30.6.), Lappajärvellä 13.7. ja Pielisellä, Kallavedellä ja Pielavedellä heinäkuun 20. päivän tienoilla.

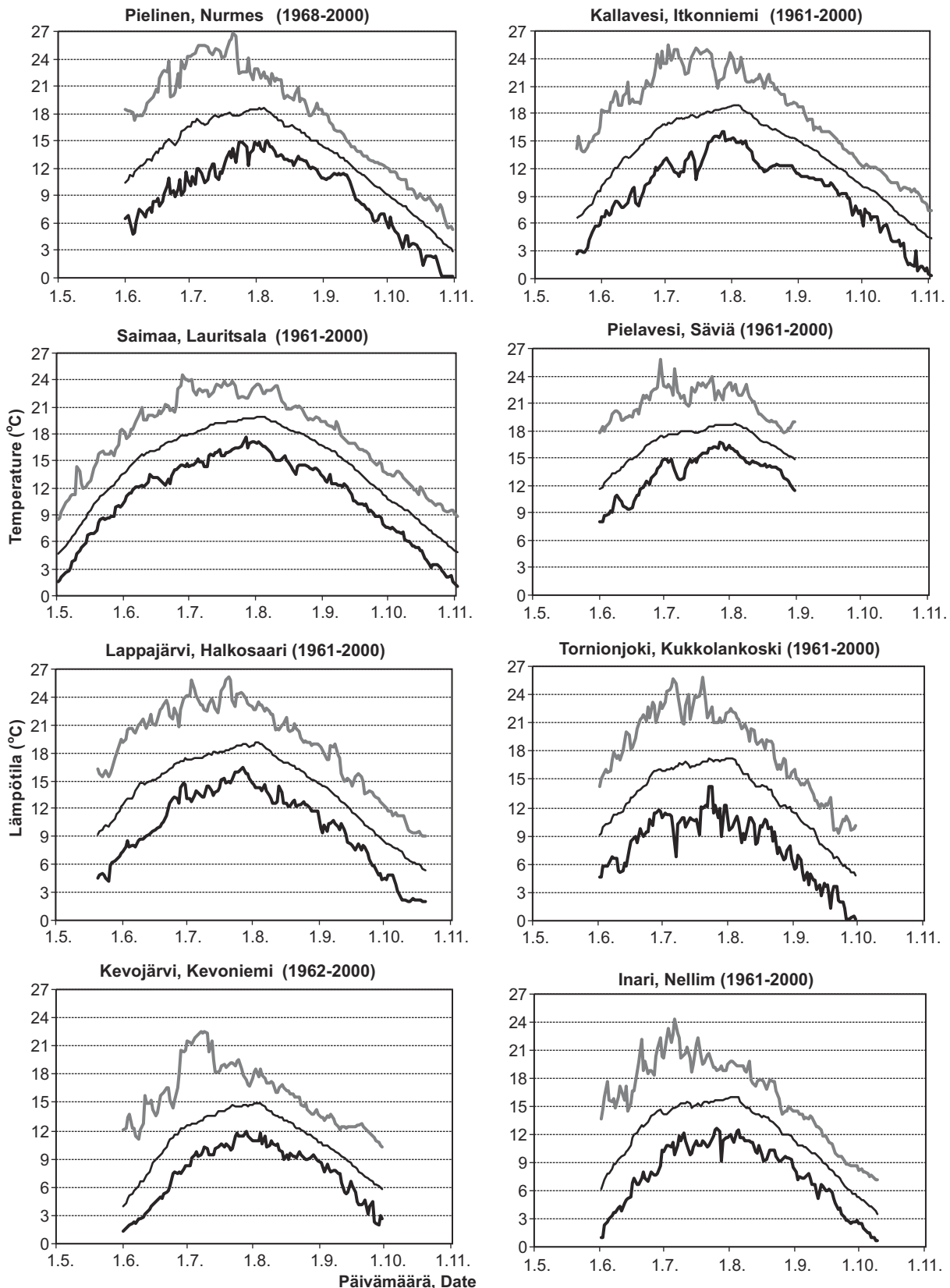
Pintaveden lämpötilan maksimi saavutetaan keskimäärin heinäkuun lopulla. Keskimääräiset maksimit on laskettu maksimien ajankohtien keskiarvona. Lämpötilojen keskiarvon maksimin ajankohta sattuu hieman myöhemmäksi, yleensä elokuun alkuun. Vanha sanonta Jaakon kylmästä kivistä pitää suurin piirtein paikkansa Saimaalla, Kallavedellä ja Kevojärvellä. Jaksolla 1961-2000 Saimaalla maksimin keskimääräinen ajankohta oli 26.7., Kallavedellä ja Kevojärvellä 22.7. Muiden havaintopaikkojen maksimien ajankohdat sattuvat heinäkuun 20. paikkeille tai hieman ennen sitä. Keskimääräinen maksimin ajankohta oli Tornionjoessa 17.7., Pielisellä 18.7., Inarissa 18.7., Lappajärvellä 18.7. ja Pielavedellä 20.7.

Järvissä veden jäähtyminen tapahtuu yleensä melko tasaisesti, mutta äkilliset ilman lämpötilan vaihtelut tai myrskytuulet saattavat lämmittää tai jäädyttää vettä melkoisesti vielä loppusyksystä. Syksyä kohden mentäessä 15 °C alittuu yleensä elo-syyskuussa. Lapissa Kevojärvellä pintaveden lämpötila saavuttaa koko kesänä keskimäärin juuri ja juuri 15 °C ja Inarissa sekä Tornionjoessa 15 °C:een alle päädyttään keskimäärin jo elokuun 10. päivän jälkeen. Keski-Suomen paikkeilla 15 °C alittuu elokuun lopussa ja Etelä-Suomessa vasta syyskuun alussa (Lauritsala 11.9.). Pohjoisen vesistöt saavuttavat luonnollisesti ensimmäisenä 5 °C:een rajan, ja näistä virtaavat ja matalat paikat luovuttavat lämpöä nopeammin kuin syvät seisovat vedet. Syyskuun keskimääräinen jäähtymisnopeus oli tarkastelluille kahdeksalle havaintopaikalle keskimäärin 0,2 °Cd⁻¹. Hitaimmin syyskuussa jäähtyi Kallavesi (0,16 °Cd⁻¹) ja nopeimmin virtaava Tornionjoki (0,22 °Cd⁻¹). Tornionjoessa lämpötila alittaa 5 °C keskimäärin 28.9., Kevojärvässä 2.10. ja Inarissa 3.10. Keski-Suomessa viiden asteen raja alittuu lokakuun lopulla, ensimmäisenä Pielavedellä 19.10, sitten Lappajärvellä ja Pielisellä (22.10.), Kallavedellä 29.10 ja viimeisenä Saimaalla vasta keskimäärin marraskuun 1. päivä. Sekä Saimaa että Kallavesi ovat suuria järviä, joten kesän aikana kerätyn lämpövaraston luovuttaminen kestää pisimpään.

Taulukko 3. Pintaveden lämpötilan keskiarvot ja keskihajonnat kesä-, heinä- ja elokuussa jaksolla 1961-2000.

Table 3. Averages and standard deviations of the surface water temperatures in June, July and August during the period 1961-2000.

Havaintopaikka Observation site	Kesäkuu, June (°C)		Heinäkuu, July (°C)		Elokuu, August (°C)	
	\bar{x} , ave	s, std	\bar{x} , ave	s, std	\bar{x} , ave	s, std
Pielinen, Nurmes	13,6	3,0	17,7	2,9	16,7	1,8
Kallavesi, Kuopio	13,7	2,7	17,8	2,2	17,0	1,8
Saimaa, Lauritsala	16,2	1,9	19,1	1,7	18,6	1,4
Pielavesi, Säviä	14,8	2,3	18,1	1,6	17,0	1,5
Lappajärvi, Halkosaari	15,4	2,7	18,1	2,1	17,0	1,8
Tornionjoki, Kukkolankoski	12,8	2,6	16,6	2,5	14,4	2,3
Kevojärvi, Kevoniemi	8,6	2,4	13,9	2,1	13,0	1,5
Inari, Nellim	10,9	2,8	15,3	2,1	14,1	1,7



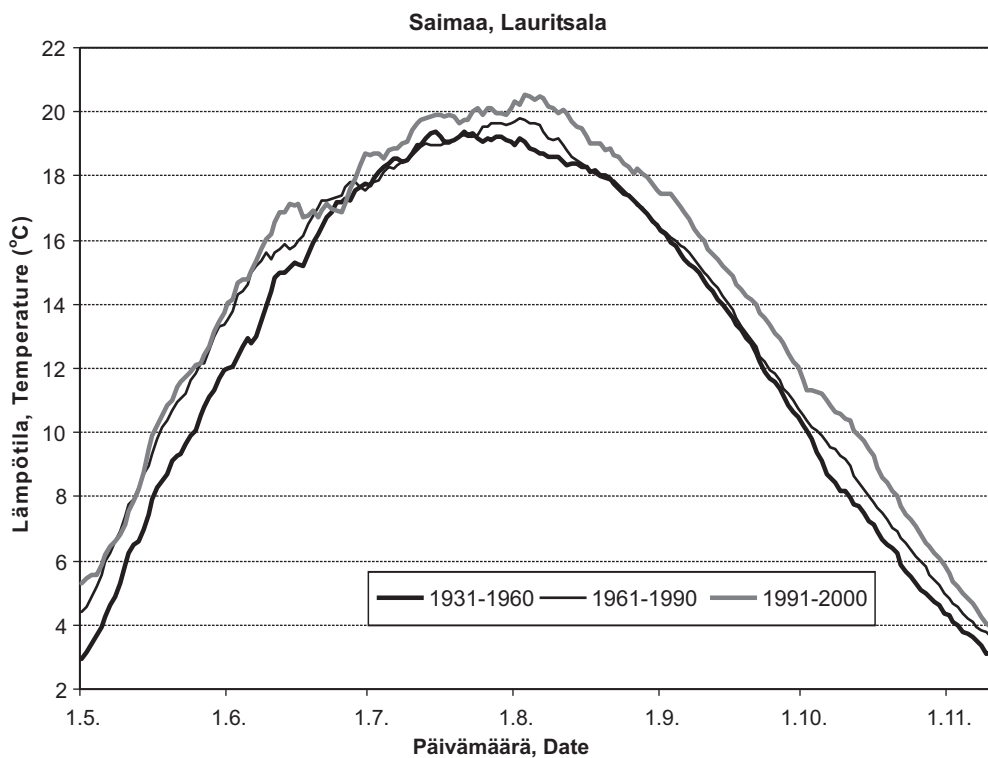
Kuva 6. Pintaveden keskimääräinen lämpötilä sekä minimi- ja maksimiarvot kaudella 1961-2000 eri havaintopaikoilla. Piellelle havaintojakso on 1968-2000, Pielavedeltä puuttuvat vuodet 1972-1974, Lappajärveltä puuttuu vuosi 1964 sekä Kevojärveltä puuttuvat vuodet 1961 ja 1985. Joillekin vuosille osa puuttuvia arvoja on interpoloitu tai ekstrapoloitu.
 Figure 6. The average surface water temperature and the minima and maxima during 1961-2000 at the different observation sites. The lake Pielinen observations cover the period 1968-2000, while the records from Pielavesi for the years 1972-1974 are missing. This is also the case for Lappajärvi, from which the year 1964 is missing, and for Kevojärvi, where the years 1961 and 1985 are missing. Moreover, some missing values have been substituted by interpolation or extrapolation.

Ajanjaksolla 1961-2000 kahdeksan tarkasteltavana olevan havaintopaikan korkein lämpötila mitattiin Pielisellä 21.7.1988 (26,8 °C). Lappajärvelläkin on ker-
ran ylitetty 26 °C. Tämä tapahtui päivää ennen Pielisen ennätyslämpötilaa (20.7.1988).
Vaikka Saimaan Lauritsalan lämpötilat ovat muihin havaintopaikkoihin nähden
keskimäärin korkeampia sekä kuukausikeskiarvojen, että tietyn rajalämpötilan
ylitysten suhteen, maksimilämpötilat eivät ole koskaan kovin korkeita Lauritsa-
lassa. Saimaan Lauritsalassa kesän maksimilämpötila ei ole yhtenäkkään vuotena
jaksolla 1924-2000 ylittänyt 25 °C. Kesän maksimilämpötila on ylittänyt 25 °C kai-
killa muilla havaintopaikoilla paitsi Lauritsalassa, Kevojärvellä ja Inarissa. Tästä
voidaan olettaa, että Lauritsalan havaintopaikalla veden sekoittuminen on jatku-
vasti kohtalaista, eikä pintaveden lämpötila pääse koskaan nousemaan kovin kor-
keaksi. Toisekseen Lauritsalassa havaintopaikalla veden syvyys on puolitoista
metriä, kun taas Lappajärvellä ja Pielisellä 30...40 cm. Näiden havaintopaikkojen
matalampi rantavesi pääsee lämpenemään enemmän.

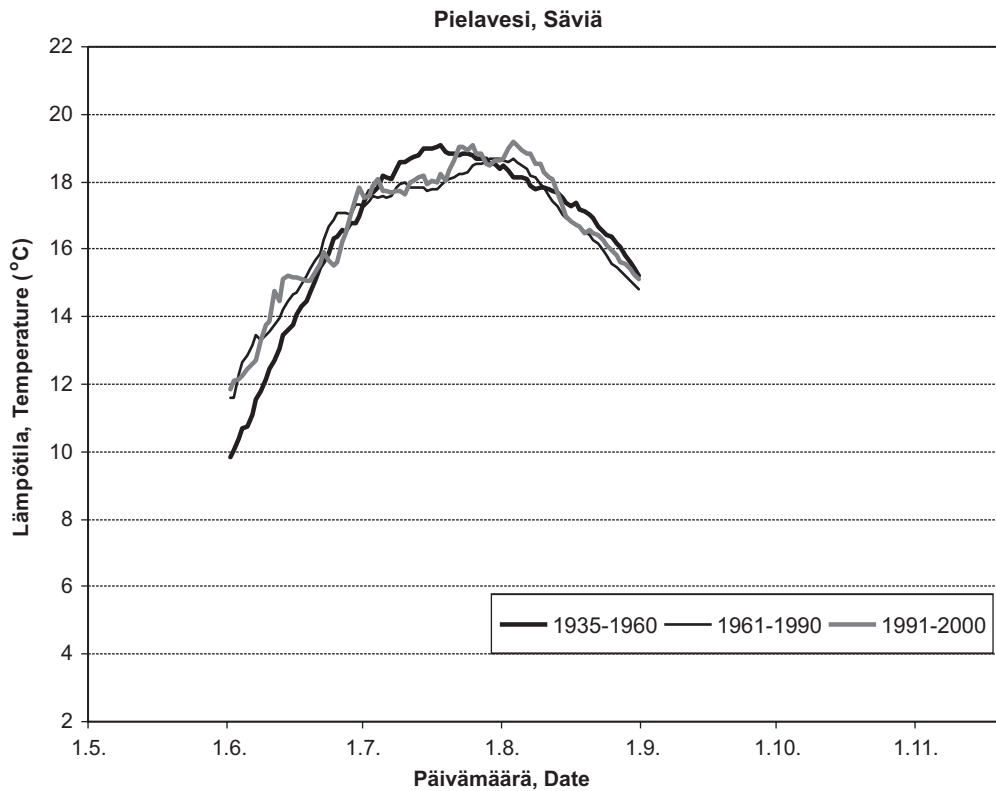
Kesä-syyskuun lämpötilasummien perusteella kylmin kesä kaikilla muilla
havaintopaikoilla paitsi Kevojärvellä ja Pielisellä oli vuonna 1987. Kevojärvellä
kylmin kesä oli vuonna 1968 ja Pielisellä 1976. Kallavedellä, Kevojärvellä ja Pieli-
sellä lämpimin kesä oli 1972. Tornionjoessa lämpimin kesä oli vuonna 1988, Lappa-
järvellä 1997 ja Inarissa 1960. Pielavedelle kylmin ja lämpimin vuosi on laskettu
ainoastaan kesä-elokuun perusteella, koska viimeisimpien vuosien ajan on havain-
noitu vain elokuun loppuun saakka. Kylmin kesä oli myös Pielavedellä 1987, ja
lämpimin oli 1980. Vuosilta 1972-1974 ei ole havaintoja Pielavedeltä.

Alun perin tarkoituksena oli määrittää erilaisia veden lämpötilan samanar-
vonkäyriä koko Suomelle. Tarpeeksi usealle asemalle ei kuitenkaan ole havaintoja
yhtä pitkältä ajanjaksolta, joten koko Suomen kattavia samanarvonkäyriä lämpö-
tilasta ei voitu piirtää. Toisekseen vesistöjen lämpötila ei ole samalla tavalla koko
Suomen yli jatkuva muuttuja, kuten esimerkiksi ilman lämpötila. Havainnot ker-
tovat vain tietyn järven tai joen osan lämpötilan ja havaintopaikan ominaispiirteil-
lä on vaikutusta asiaan.

Kuvissa 7 ja 8 on esitetty pintaveden lämpötilan keskimääräinen kulku Sai-
maalla jaksoille 1931-1960, 1961-1990 ja 1991-2000 sekä Pielavedellä jaksoille 1935-
1960, 1961-1990 ja 1991-2000. Saimaalla jakso 1991-2000 on selvästi lämpimin koko
avovesikauden ajan. Alku- ja loppukesästä jaksolla 1991-2000 on ollut jaksoa 1931-
1960 1...2 °C lämpimämpää, ainoastaan kesäkuun lopulla keskimäärin yhtä läm-
mintä. Keskilämpötilan maksimin ajankohta on siirtynyt myöhemmäksi. Jaksolla
1931-1960 keskilämpötilan maksimi ajoittui heinäkuun puoleen väliin, jaksolla 1961-
1990 elokuun alkuun ja jaksolla 1991-2000 muutamaa päivää edellistä myöhem-
min. Touko-kesäkuussa jaksoilla 1961-1990 ja 1991-2000 on ollut keskimäärin yhtä
lämmintä ja heinä-syyskuussa jaksoilla 1931-1960 ja 1961-1990 on ollut yhtä läm-
mintä. Elo-lokakuussa jaksolla 1991-2000 on ollut edellisiä ajanjaksoja lämpimäm-
pää. Pielavedelle aikasarjat eivät ole täysin vertailukelpoisia, koska 1970-luvun
alussa havaintopaikan läheisyyteen rakennettiin uusi kanava. Kanavan rakennus
alensi vedenpintaa ja muutti virtausta havaintopaikalla, joten vaikka todellisu-
udessa myöhemminä jaksoina olisi ollut lämpimämpää, virtaava vesi on viilentänyt
sitä. Kesäkuu on ollut jaksoilla 1961-1990 ja 1991-2000 keskimäärin 1...2 °C lämpi-
mämpi kuin jaksolla 1935-1960. Heinäkuu on taas ollut myöhemmillä jaksoilla
0...1 °C kylmempi kuin jaksolla 1935-1960, ja elokuut ovat olleet lähes yhtä lämpi-
miä kaikilla jaksoilla.



Kuva 7. Keskimääräinen pintaveden lämpötila Saimaan Lauritsalassa jaksoilla 1931-1960, 1961-1990 ja 1991-2000.
 Figure 7. Average temperature of surface water in lake Saimaa at Lauritsala, in 1931-1960, 1961-1990 and 1991-2000.



Kuva 8. Keskimääräinen pintaveden lämpötila Pielaveden Säviällä jaksoilla 1935-1960, 1961-1990 ja 1991-2000. Havainnot puuttuvat vuosilta 1972-1974.
 Figure 8. Average temperature of surface water in Pielavesi at Säviä, in 1931-1960, 1961-1990 and 1991-2000.

5.1.3 Pintaveden lämpötilojen ja ilman lämpötilojen vertailu

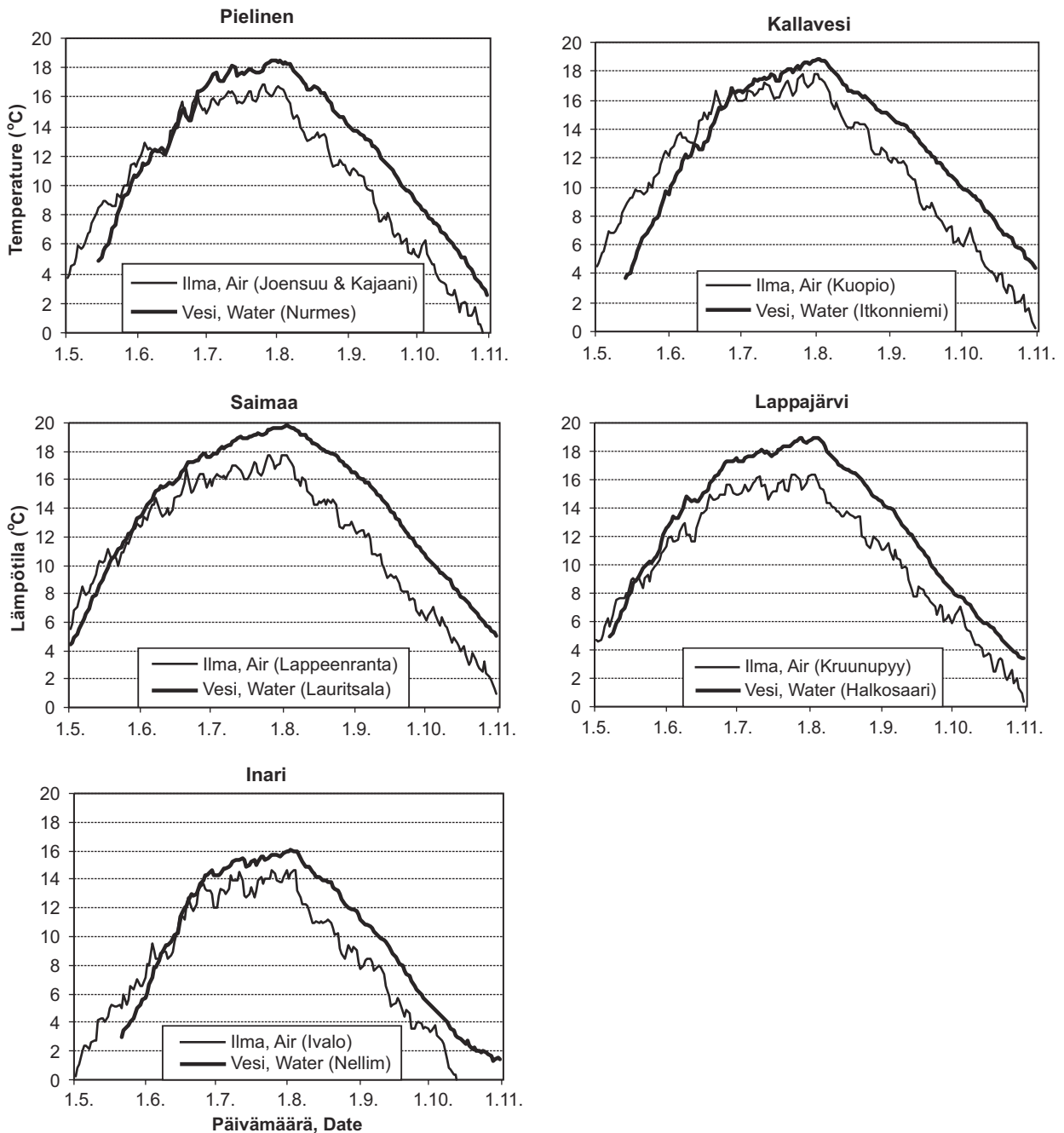
Kahdeksalle tässä tutkimuksessa tarkemmin käsitellylle pintaveden lämpötilan havaintopaikalle käytettiin läheisten sääasemien ilman lämpötilan tilastotietoja kaudelta 1961-1990 (Ilmatieteen laitos 1991). Päivittäiset lämpötilan keskiarvot olivat saatavilla ainoastaan lentosääasemilta. Kaikkien havaintopaikkojen lähistöllä ei ollut lentosääasemaa, ja siksi Kevojärvelle, Tornionjoelle ja Pielavedelle ei ollut käytettävissä ilman lämpötilan päivittäisiä keskiarvoja. Inarille käytettiin Ivalon lentosääaseman tietoja, Kallavedelle Kuopion lentosääaseman, Lauritsalalle Lappeenrannan lentokentän, Lappajärvelle Kruunupyyn lentoaseman ja Pieliselle Joensuun ja Kajaanin lentokenttien keskiarvoja. Lisäksi Kallavedelle ja Inarille tehtiin päivittäisten havaintojen korrelaatioanalyysi joka vuodelle ajanjaksolla 1961-1999.

Kuvassa 9 on esitetty kauden 1961-1990 keskiarvokäyrät sekä ilman lämpötilalle että pintaveden lämpötilalle viidellä edellä mainitulla havaintopaikalla. Kuvista nähdään, että keväällä ilman lämpötila on keskimäärin korkeampi kuin veden lämpötila, mikä johtuu siitä, että jääpeite pitää vedet viileänä pitempään kuin maa-alueet ja ilman. On huomattava, että ilmaa koskevat käyrät ovat vuorokausikeskiarvoja, ja veden lämpötila on mitattu aamulla klo 8. Veden lämpötilan keskiarvokäyrä kulkee huomattavasti tasaisemmin kuin ilman. Tämä johtuu tietenkin sään vaihteluista, joihin vesi ei ehdi suuren lämpökapasiteettinsa takia reagoimaan niin nopeasti kuin ilma. Lappajärvellä ilman ja veden lämpötilan keskiarvokäyrät leikkaavat toisensa jo toukokuun puolessa välissä ja Saimaalla toukokuun lopulla. Pielisellä ja Inarissa käyrät leikkaavat kesäkuun puolen välin jälkeen. Kallavedellä lämpötilojen keskiarvokäyrät leikkaavat vasta kesäkuun lopussa. Keski-kesän jälkeen vesi on kaikilla tarkastelluilla havaintopaikoilla keskimäärin lämpimämpää kuin ilma aina veden jäätymiseen saakka. Saimaalla pintaveden keskilämpötilan maksimi (19,8 °C) saavutetaan elokuun alussa ja ilman keskilämpötilan maksimi (17,7 °C) heinäkuun lopussa. Pielisellä pintaveden keskilämpötilan maksimi (18,5 °C) sijoittuu heinäkuun loppuun ja ilman keskilämpötilan maksimi (16,9 °C) muutamaa päivää aiemmaksi. Kallavedellä sekä pintaveden että ilman keskilämpötilojen maksimit osuvat samaan aikaan, elokuun ensimmäisille päiville. Pintaveden keskilämpötilan maksimi on 18,8 °C ja ilman keskilämpötilan maksimi 17,8 °C. Lappajärvellä veden keskilämpötilan maksimi (19,0 °C) ajoittuu samaan aikaan (elokuun alkuun) ilman keskilämpötilan (16,4 °C) kanssa. Inarissa pintaveden keskilämpötilan maksimi (16,0 °C) saavutetaan elokuun alkupäivinä ja ilman keskilämpötilan maksimi (14,6 °C) samoihin aikoihin. Saimaalla lämpötilojen maksimien ajankohdan jälkeen veden ja ilman keskilämpötilojen erotus on 2...4 °C, Lappajärvellä 0,5...3 °C, Pielisellä 2...4 °C, Kallavedellä 1...4 °C ja Inarissa 1...3 °C.

Pintaveden klo 8 keskilämpötilan maksimit ovat siis korkeampia kuin ilman lämpötilan vuorokausikeskiarvojen maksimit. Pintaveden vuorokauden keskilämpötilan maksimit olisivat aamun havaintoja korkeampia, koska aamuiset veden lämpötila ovat matalampia kuin veden vuorokauden keskilämpötila. Veden keskilämpötila on korkeampi kuin ilman keskilämpötila, koska vesi absorboi lämpöä paremmin kuin ilma. Veden lämpökapasiteetti on suurempi kuin ilman, ja tästä johtuen vesi pystyy varastoimaan lämpöä paremmin kuin ilma.

Jaksolla 1961-1999 päivittäisten ilman ja veden lämpötilojen korrelaatiokerroimet (Pearson) Kallavedelle ja Inarille on esitetty taulukoissa 4 ja 5. Kallavedellä korrelaatiokerroimien keskiarvo on 0,78 ja Inarilla 0,82. Kallavedellä heikoin korrelaatio saatiin vuonna 1981 ($r=0,62$) ja paras vuonna 1973 ($r=0,86$). Kuvassa 10 on esitetty ilman ja pintaveden lämpötilojen käyrät kyseisiltä vuosilta. Vuoden 1981 huonoa korrelaatiota selittää lämmin alkukevät, jolloin vesi oli vielä kylmää. Heikoin korrelaatiokerroin Inarilla saatiin vuodelle 1992 ($r=0,56$) ja paras vuodelle 1972 ($r=0,90$). Kyseisten vuosien lämpötilojen kulku on esitetty kuvassa 11. Heik-

koa korrelaatiota vuodelle 1992 selittää ilman lämpötilan suuri vaihtelu peräkkäisinä päivinä, jolloin vesi ei ehdi seurata mukana suuresta lämpökapasiteetistaan johtuen. Vuonna 1972 oli ennätyslämpimät ilmat ja peräkkäisten päivien välinen vaihtelu ei ollut niin suurta. Yleisesti lämpiminä kesinä korrelaatio oli parempi kuin kylmempinä.



Kuva 9. Ilman ja pintaveden lämpötilan keskiarvokäyrät 1961-1990 Saimaalla, Kallavedellä, Pielisellä, Lappajärvellä ja Inarissa.

Figure 9. The averages of air and surface water temperatures in 1961-1990 in the lakes Saimaa, Kallavesi, Pielinen, Lappajärvi and Inari.

Taulukko 4. Kuopion lentokentän ilman lämpötilan ja Kallaveden pintalämpötilan väliset korrelaatiokertoimet (Pearson) eri vuosina jaksolla 1961-1999. Vuosikymmenet on esitetty riveittäin ja vuodet sarakkeissa siten, että esim. viimeisen rivin viimeinen sarake vastaa vuotta 1999.

Table 4. Pearson's correlation coefficients of air (Kuopio airport) and surface water temperature (lake Kallavesi) in 1961-1999. Decades are represented horizontally and years in columns, eg. last line's last column represents year 1999.

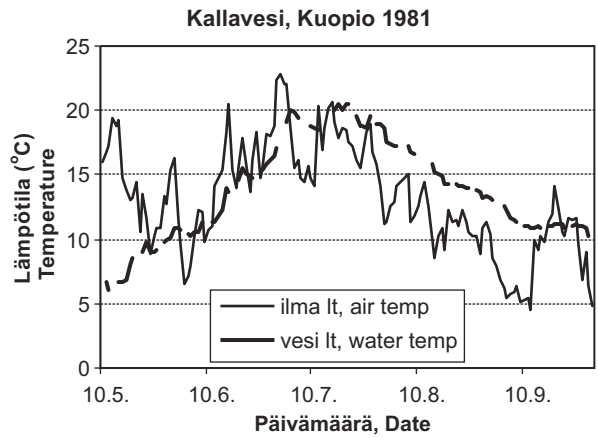
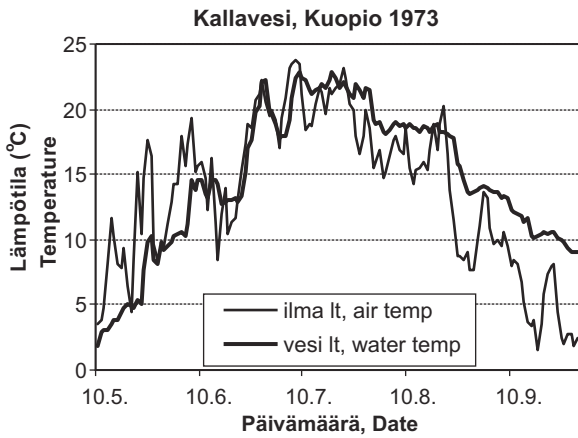
Vuosi	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1960	-	0,76	0,75	0,68	0,78	0,80	0,74	0,74	0,81	0,83
1970	0,83	0,77	0,86	0,86	0,84	0,70	0,73	0,76	0,75	0,71
1980	0,86	0,62	0,75	0,79	0,80	0,80	0,81	0,76	0,80	0,75
1990	0,79	0,83	0,86	0,82	0,85	0,67	0,78	0,86	0,74	0,80

Taulukko 5. Ivalon lentokentän ilman lämpötilan ja Inarin pintaveden lämpötilan väliset korrelaatiokertoimet (Pearson) eri vuosina jaksolla 1961-1999. Vuosikymmenet on esitetty riveittäin ja vuodet sarakkeissa siten, että esim. viimeisen rivin viimeinen sarake vastaa vuotta 1999.

Table 5. Pearson's correlation coefficients of air (Ivalo airport) and surface water temperature (lake Inari) in 1961-1999. Decades are represented horizontally and years in columns, eg. last line's last column represents year 1999.

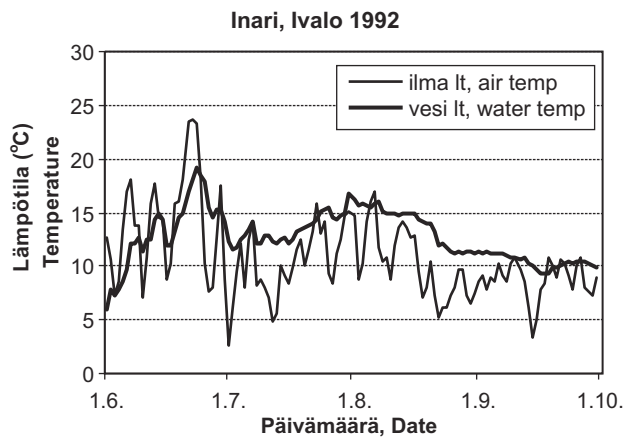
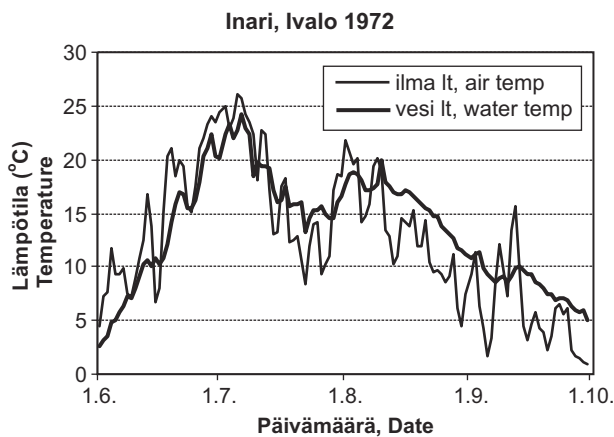
Vuosi	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1960	-	0,74	0,85	0,76	0,83	0,85	0,86	0,80	0,78	0,88
1970	0,85	0,82	0,90	0,85	0,83	0,79	0,84	0,82	0,83	0,84
1980	0,81	0,84	0,86	0,84	0,73	0,80	0,83	0,67	0,81	0,86
1990	0,90	0,89	0,56	0,87	0,87	0,78	0,81	0,86	0,87	0,85

Taulukossa 6 on esitetty ilman ja pintaveden kuukausikeskilämpötilojen erotus kesä-elokuussa kaudella 1961-1990. Erotus on laskettu sekä ilman vuorokausikeskiarvoilla että ilman lämpötilan kello kahdeksan kuukausikeskiarvoilla. Pieliselle ilman lämpötilatiedot ovat Juuasta, Kallavedelle Kuopion lentokentältä, Saimaalle Lappeenrannan lentokentältä, Pielavedelle Maaningalta, Lappajärvelle Kauhavalta, Tornionjoelle Ylitorniosta, Kevojärvelle Kevoilta ja Inarille Nellimistä. Saimaalla, Lappajärvellä, Pielavedellä ja Inarissa pintaveden keskilämpötila on jo kesäkuussa korkeampi kuin ilman keskilämpötila. Heinä- ja elokuussa vesi on aamuisin lämpimämpää kuin ilma kaikilla havaintoasemilla. Kuusisto (1981b) tarkasteli työssään vastaavia erotuksia kaudella 1961-1975 touko-marraskuussa. Toukokuussa ilma oli lämpimämpää kuin vesi kaikilla havaintopaikoilla. Kesäkuussa osassa havaintopaikoista ilma oli lämpimämpää, osassa vesi. Suurilla järvillä, joiden havaintopaikat eivät ole suojaisia, ilma oli vielä kesäkuussa lämpimämpää. Heinäkuusta eteenpäin vesi oli lämpimämpää. Suurten järvien tapauksessa ilman keskilämpötila oli marraskuussa jopa 7 °C matalampi kuin veden. Suurin tässä työssä laskettu ilman ja pintaveden keskilämpötilojen erotus oli Saimaalle ilman vuorokausilämpötilan osalta -3,5 °C ja Lappajärvelle ilman kello kahdeksan lämpötilojen osalta -4,7 °C. Pienimmät ilman ja pintaveden lämpötilojen kuukausikeskiarvojen erotukset ovat Tornionjoelle. Tämä johtuu siitä, että joessa vesi virtaa ja sekoittuu enemmän kuin järvipaikoilla, eikä loppukesän lämpötilakerrostuneisuutta pääse syntymään kuten järvissä. Suurin ilman ja pintaveden lämpötilojen kuukausikeskiarvojen erotus kesäkuussa on Kallavedellä. Tällöin ilma on asteen lämpimämpää kuin vesi. Ero on huomattava muihin samoilla leveysasteilla oleviin havaintopaikkoihin nähden (Pielinen, Pielavesi, Lappajärvi). Tämä johtunee näiden mittauspaikkojen suojaisammasta sijainnista.



Kuva 10. Ilman (Kuopion lentoasema) ja pintaveden lämpötilan kulku Kallavedellä (Kuopio, Itkonniemi) kesinä 1973 ja 1981. Paras korrelaatio saatiin kesälle 1973 ja heikoin kesälle 1981. Kesältä 1981 puuttuu joiltakin päiviltä veden lämpötilahavainnot.

Figure 10. The temperatures of air (Kuopio airport) and surface water in lake Kallavesi (Kuopio, Itkonniemi) in the summers 1973 and 1981. The best correlation was found for the summer 1973 and the worst for the summer 1981. Some water temperature values are missing for the year 1981.



Kuva 11. Ilman (Ivalon lentoasema) ja pintaveden lämpötilan kulku Inarissa (Nellim) kesinä 1972 ja 1992. Kesän 1992 ilman ja pintaveden lämpötilat korreloivat keskenään heikoin ja kesän 1972 parhaiten.

Figure 11. The temperatures of air (Ivalo airport) and surface water in lake Inari (Nellim) in years 1972 and 1992. The best correlation was found for the summer 1972 and the worst for the summer 1992.

Liitteessä 5 on taulukoitu tuulen nopeudet ja suunnat avovesikaudella jaksolla 1961-1990. Tuulen nopeuden keskiarvot avovesikaudella ovat havaintopaikoilla 3,0...3,7 ms⁻¹. Yleisin tuulen suunta avovesikaudella oli keskimäärin lounas tai etelä kaikilla muilla havaintopaikoilla paitsi Tornionjoella kaakko ja Inarissa luode. Näiden paikkojen tuulen suunnat johtuvat jokilaakson ja Nellimvuonon aiheuttamasta kanavoinnista. Yleensä alkukesästä touko-kesäkuussa tuulee pohjoisesta, ja loppukesää kohden tuulen suunta kääntyy lounaaseen tai etelään. Rannikolla ja Etelä-Suomessa vaikuttaa ns. maa-merituuli- ilmiö. Keväällä kun mantere on merta lämpimämpi tuuli puhaltaa mereltä ja loppukesästä meren ollessa lämpimämpi tuulee maalta. Maa-merituulella on myös vuorokausirytmii lämpötilaerojen mukaan. Aurinkoisena kesäpäivänä tuuli puhaltaa mereltä maalle, kun taas yöllä tuuli puhaltaa maalta merelle. Etelä- ja Keski-Suomen havaintopaikoilla tuulen nopeuden maksimi sattuu lokakuulle ja pohjoisessa maksimi ajoittuu kesäkuulle. Pienimmät tuulen nopeudet ajoittuvat Etelä- ja Keski-Suomessa heinäkuulle, Pohjois-Suomessa elokuulle.

Taulukko 6. Ilman ja pintaveden kuukausikeskilämpötilojen erotus jaksolla 1961-1990. Ensimmäisessä sarakkeessa on esitetty ilman vuorokausikuukausikeskiarvon ja veden lämpötilan (klo 8) erotus, toisessa sarakkeessa ilman ja veden (molemmat klo 8) kuukausikeskiarvojen erotus.

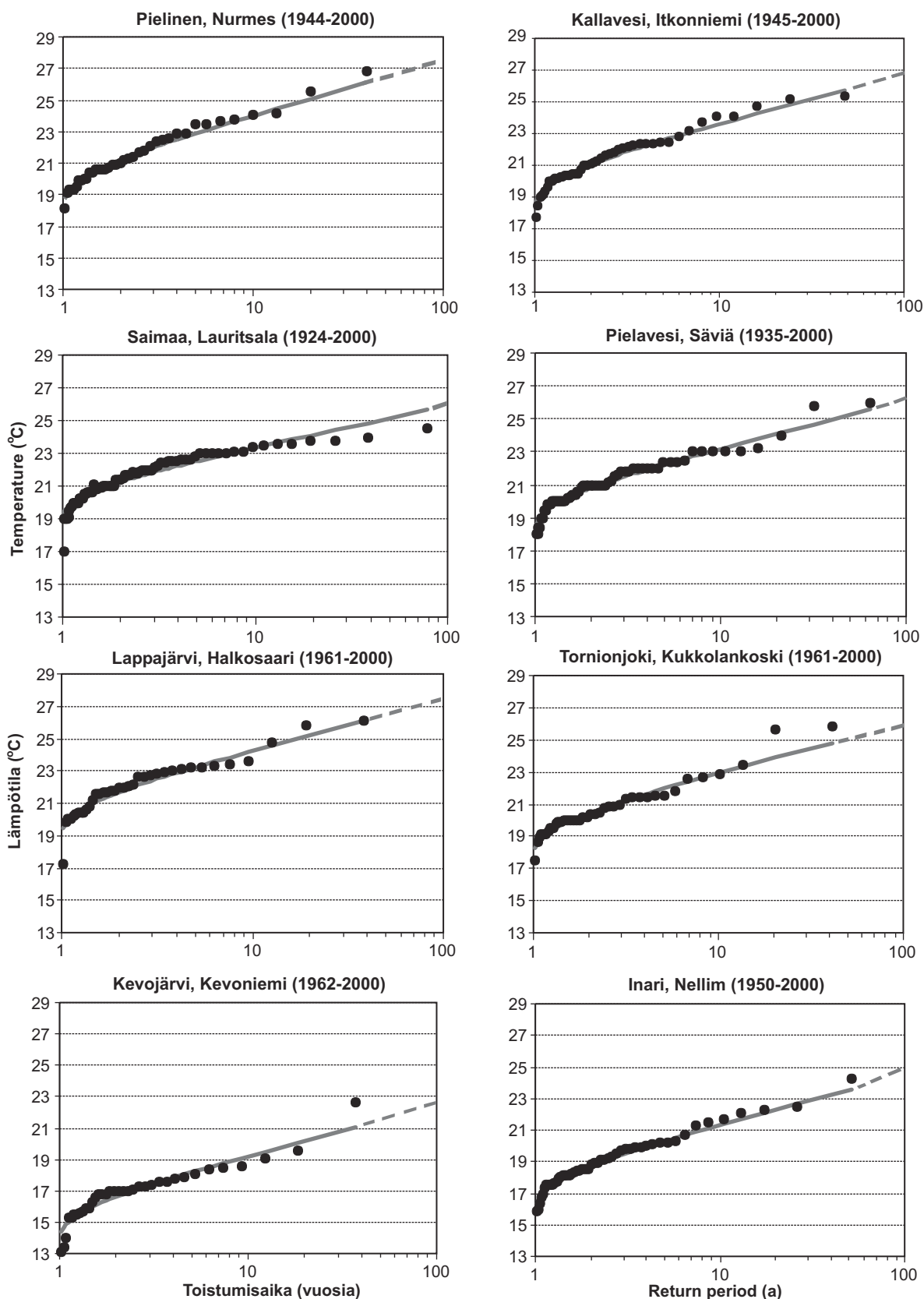
Table 6. Differences of monthly mean temperatures of air and surface water during the period 1961-1990. The first column presents the difference between the diurnal monthly mean for air and the monthly mean for surface water at 8 o'clock, the second column the both monthly means for 8 o'clock.

Havaintopaikka Observation site	Lämpötilaero(°C) Temperature difference (°C)					
	VI		VII		VIII	
	vrk-klo 8	klo 8	vrk-klo 8	klo 8	vrk-klo 8	klo 8
Pielinen, Nurmes	0,1	0,5	-2,1	-1,6	-3,4	-3,2
Kallavesi, Kuopio	1,0	0,2	-1,0	-1,9	-2,3	-3,3
Saimaa, Lauritsala	-1,3	-1,9	-2,2	-2,8	-3,5	-4,4
Pielavesi, Säviä	-0,6	-0,9	-1,8	-2,0	-3,0	-3,4
Lappajärvi, Halkosaari	-1,4	-1,9	-2,6	-3,2	-3,3	-4,7
Tornionjoki, Kukkolankoski	0,0	-0,3	-1,5	-1,8	-1,7	-2,7
Kevojärvi, Kevoniemi	0,9	0,4	-1,2	-1,8	-2,6	-3,8
Inari, Nellim	-0,5	-0,9	-1,7	-2,0	-2,7	-3,0

5.1.4 Pintaveden maksimilämpötilan toistuvuuksia

Aiemmin Laasanen (1980) on esittänyt pintaveden lämpötilan toistuvuuksia Suomen vesistöissä. Hän laski toistuvuudet kuitenkin eri tavalla kuin tässä työssä, käyttäen 10 päivän jakson keskilämpötilaa. Tässä työssä määritetyt toistuvuudet ovat suoraan kesän maksimilämpötilojen toistuvuuksia. Pintaveden lämpötilan kesän maksimin toistuvuuksia määritettiin Gumbelin jakauman toistuvuusanalyysin avulla kahdeksalle tarkasteltavalle paikalle. Jokaiselle asemalle käytettiin niin pitkää jaksoa kuin oli olemassa. Toistuvuuskaivat on esitetty kuvassa 12. Jos käytössä olisi ollut todennäköisyyspaperia tai sähköisessä muodossa oleva todennäköisyyspohja, olisi käyrä ollut suora. Tässä työssä kuvaajat on esitetty logaritmisina käyriä. On muistettava, että toistuvuudet on laskettu aamukahdeksan lämpötiloista ja iltapäivisin vesi on yleensä jonkin verran lämpimämpää. Kevojärven havainnot on tehty puolilta päivin, joten todellisuudessa toistuvuusajat ovat hieman pidempiä kello kahdeksan lämpötiloille.

Kallavedellä, Tornionjoessa, Pielisellä ja Pielavedellä maksimilämpötila ylittää joka kesä 18 °C. Saimaalla ja Lappajärvellä pintaveden lämpötila kohoaa joka kesä vähintään 17 °C:een. Inarin Nellimissä pintaveden maksimilämpötila on vähintään 16 °C, ja Kevojärvässä se kohoaa joka kesä vähintään yhtenä päivänä 13 °C:een. Kerran kymmenessä vuodessa kesän maksimilämpötila on yli 24 °C Kallavedellä, Lappajärvellä ja Pielisellä. Kesän maksimilämpötila on yli 23 °C kerran kymmenessä vuodessa Saimaalla, Tornionjoessa ja Pielavedellä. Kerran kymmenessä vuodessa Inarin kesän maksimilämpötila ylittää 21 °C ja Kevojärvässä 19 °C. Keskimäärin kerran sadassa vuodessa Kallaveden, Lappajärven ja Pielisen pintaveden lämpötilat ylittävät 27 °C ja Saimaan, Tornionjoen ja Pielaveden lämpötilat 26 °C. Inarissa kerran sadassa vuodessa ylittyy 25 °C ja Kevojärvässä 23 °C. Sadan vuoden toistumisajat ovat ekstrapoloituja, koska mistään ei ole olemassa niin pitkiä havaintosarjoja. Toistumisajat eivät ole täysin vertailukelpoisia toisiinsa nähden, koska havaintoajat ovat eri pituisia ja joitakin vuosia puuttuu välistä. Lisäksi pisimpien aikasarjojen ensimmäisten vuosien havainnot on tehty yhden asteen tarkkuudella (Lauritsalassa vuoteen 1943 saakka ja Säviällä vuoteen 1954 saakka).



Kuva 12. Pintaveden maksimilämpötilan toistuvuusikäyrät. Kullekin havaintopaikalle on käytetty pisintä saatavilla olevaa havaintojaksoa (jakso sulkeissa). Pieliseltä puuttuvat vuodet 1951-1967, Kallavedeltä 1951-1959, Pielavedeltä vuodet 1972-1974, Lappajärveltä vuodet 1964, 1981-1982 ja Kevojärveltä vuodet 1961, 1978 ja 1985. Ekstrapoloidut arvot on merkitty katkoviivalla käyrän jatkeeksi. Figure 12. Return periods of surface water maximum temperatures. For each observation site, the longest observation period was used (in parenthesis). The following years were not included in the records: Lake Pielinen 1951-1967, Kallavesi 1951-1959, Pielavesi 1972-1974, Lappajärvi 1964, 1981-1982 and Kevojärvi 1961, 1978 and 1985. Values obtained by extrapolation are indicated with the dashed line.

5.1.5 Aikasarjoja

Kahdeksalle tarkastellulle asemalle laskettiin jokaiselta havaintovuodelta 20 °C:een, 18 °C:een, 15 °C:een, ja 10 °C:een ylityspäivien lukumäärä, maksimilämpötilat, maksimilämpötilan ajankohdat, kesä-, heinä-, ja elokuun keskilämpötilat sekä kesäsyyskuun lämpötilasummat. Osa tiedoista on esitetty ainoastaan taulukkona liitteessä 4, osa myös aikasarjakuvina. Aikasarjoista tarkasteltiin myös mahdollisia trendejä. Trendien merkitsevyys on pyritty laskemaan kaksipuolisella t-testillä, olettaen ettei tiedetä, ovatko lämpötilat nousseet vai laskeneet. Kuitenkin on oletettavissa, että veden lämpötilat olisivat Etelä-Suomessa kohoamaan päin kuten ilman lämpötilatkin. Joissakin tapauksissa on siksi mainittu yksipuolisen testin merkitsevyys, jos kaksipuolinen ei ole ylittänyt merkitsevyystasoa $p < 0,05$.

Vedelle epävirallisena hellaajana voidaan pitää 20 °C, koska tällöin Suomen ilmasto-olosuhteissa pintaveden lämpötila on jo melko korkea. Pintaveden hellepäivien (lämpötila 20 °C tai yli) lukumäärän aikasarjat on esitetty kuvassa 13. Selvästi eniten 20 °C:een ylityksiä on ollut Saimaalla. Koko havaintokaudella 1924-2000 maksimissaan 20 °C:een raja ylittyi 53 päivänä (vuosina 1973 ja 1999) ja minimissään 8 vuotena lämpötila ei ylittänyt 20 °C koko kesänä. Koko aikasarjalle ei ole merkitsevää nousevaa trendiä, mutta kun verrataan jaksoja 1961-1990 ja 1991-2000, viimeisenä 10 vuotena oli keskimäärin 10 hellepäivää enemmän ($P < 0,05$ t-testi, 1-puol.). Tämä on nähtävissä myös liukuvasta keskiarvosta, 1980-luvun puolivälin jälkeen liukuvan keskiarvon käyrä on nousussa. Lauritsalan viiden vuoden liukuvasta keskiarvosarjasta nähdään myös tiettyä jaksollisuutta hellepäivien lukumäärässä. Jaksolla 1961-2000 veden hellepäiviä oli Lauritsalassa keskimäärin 17 kesässä. Toiseksi eniten hellaajan ylityspäiviä on keskimäärin Lappajärvellä. Lappajärvellä ainoastaan 2 vuotena (vuosina 1962 ja 1965) hellaaja ei ylittänyt (vuosien 1964, 1981, 1982 havainnot puuttuvat). Jaksolla 1961-2000 hellepäiviä oli Lappajärvellä keskimäärin 11. Hienoista nousua on nähtävissä 1990-luvulla verrattuna jaksoon 1961-1990, mutta se ei ole tilastollisesti merkitsevä. Myös Pielisellä ja Kallavedellä 1990-luvulla on ollut muutama hellepäivä enemmän kuin aiemmin, mutta nämäkään eivät ole tilastollisesti merkitseviä eroja. Pielavedellä on nähtävissä hienoista laskevaa trendiä koko havaintojaksolle 1935-2000 ($P < 0,05$ t-testi, 1-puol.), joka johtuneen 1970-luvun alun uuden kanavan rakennuksesta. Tornionjoessa hellepäiviä on keskimäärin 4, Inarissa 1 ja Kevojärvellä ei yhtään. Pohjoisen vesistöissä ei ole nähtävissä trendiä. Kevojärvellä ainoastaan yhtenä kesänä (kesä 1972) pintaveden lämpötila ylitti 20 °C, tosin tällöin jopa yli kahden viikon ajan. Pohjoisen Suomen hellepäivien keskimääräiset vuosimäärät toteutuvat harvoin, sillä yleensä lämpötila joko ei ylitä 20 °C ollenkaan tai sitten ylittää useiden päivien ajan.

Päiviä, jolloin pintaveden lämpötila ylitti 18 °C oli kaudella 1961-2000 Saimaan Lauritsalassa keskimäärin 52 kesässä. Pielisellä, Kallavedellä, Lappajärvellä ja Pielavedellä niitä oli kolmisenkymmentä, Tornionjoessa 14, Inarissa keskimäärin 5 ja Kevojärvellä vain keskimäärin yksi (Liite 4). Kaikilla muilla havaintopaikoilla paitsi Pielisellä ja Kevojärvellä 1990-luvulla 18 °C:een ylittäviä päiviä oli enemmän kuin 1961-1990. Näistä ainoastaan Saimaalla trendi oli melkein merkitsevä ($P < 0,05$ t-testi, 1-puol.). Myös 15 °C:een ja 10 °C:een ylittävien päivien lukumäärä oli kasvanut 1990-luvulla verrattuna jaksoon 1961-1990 muilla havaintopaikoilla paitsi Kevojärvellä ja Tornionjoessa. Ainoastaan Saimaalla erot olivat tilastollisesti merkitseviä. Jaksolla 1961-2000 Saimaan Lauritsalassa pintaveden lämpötila pysyi 15 °C:een yläpuolella keskimäärin kolme kuukautta ja 10 °C:een yläpuolella 4 kuukautta ja kolme viikkoa. 1990-luvulla 10 °C:een ja 15 °C:een ylittävien päivien jakso oli yli viikon pidempi kuin jaksolla 1961-1990. Kallavedellä, Lappajärvellä ja Pielavedellä pintaveden lämpötila ylittyi 15 °C keskimäärin 2,5 kuukautta kesästä. Pielisellä 15 °C ylittyi 2 kuukauden ajan ja Tornionjoella 1,5 kuu-

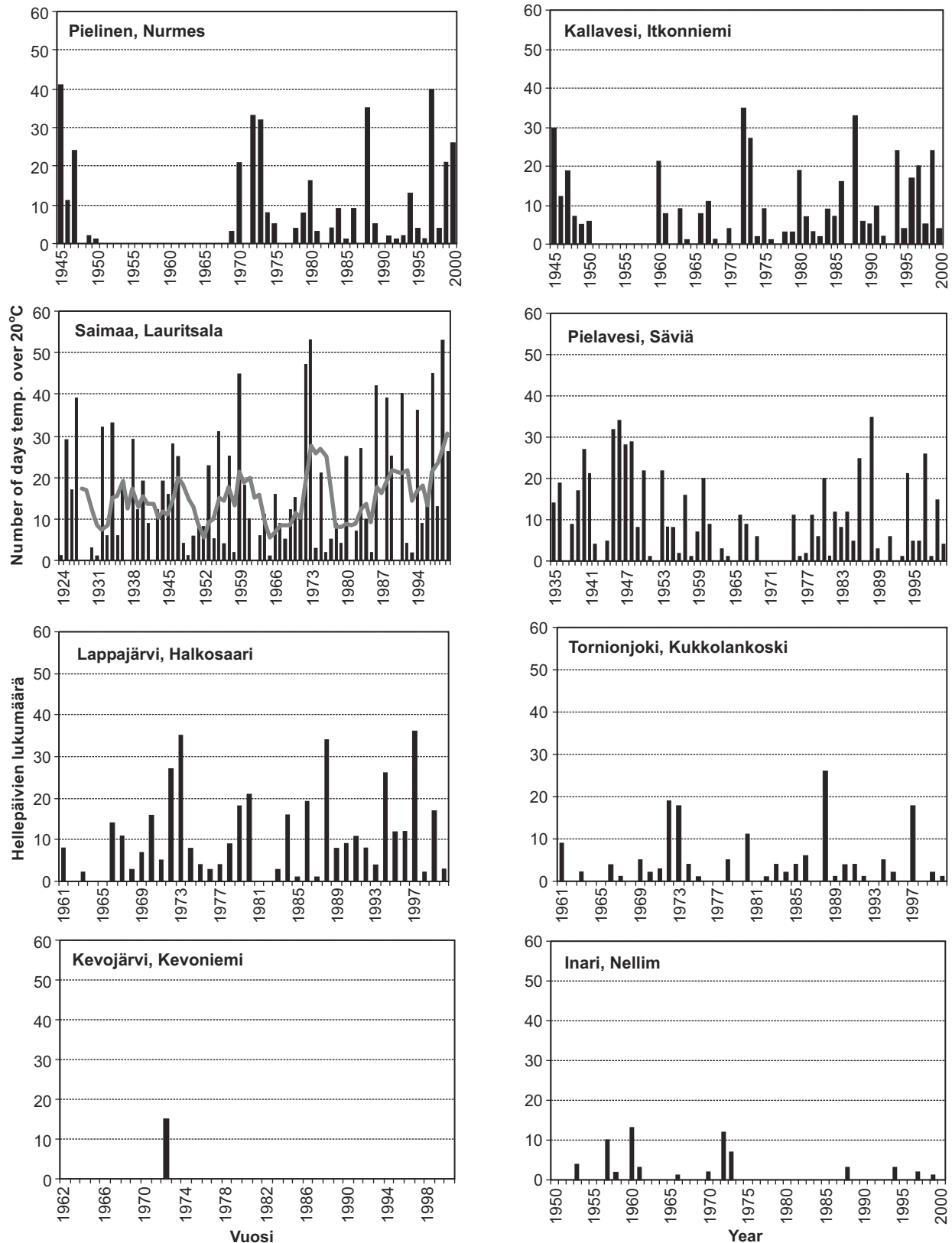
kauden ajan. Inarissa pintaveden lämpötila oli keskimäärin kuukauden yli 15 °C ja Kevojärvellä vain kaksi viikkoa. Kallavedellä ja Lappajärvellä pintavesi ylitti 10 °C keskimäärin neljän kuukauden ajan. Pielavedellä ja Pielisellä pintaveden lämpötila ylitti 10 °C vajaan neljä kuukautta. Tornionjoessa ja Inarissa 10 °C ylitti keskimäärin 3 kuukautta ja Kevojärvellä reilut 2,5 kuukautta.

Maksimilämpötilan aikasarjat kahdeksalle tarkasteltavalle havaintopaikalle on esitetty kuvassa 14. Selvinä maksimilämpötilavuosina erottuvat lähes joka havaintopaikalla vuodet 1972 ja 1988. Maksimilämpötiloissa on havaittavissa hienoista nousua 1990-luvun lopulla, etenkin Kevojärvellä, Saimaalla, Pielisellä ja Pielavedellä. Trendeistä Lappajärven nouseva suuntaus (0,48 °C/10 v) on melkein merkitsevä ($P < 0,05$ t-testi, 2-puol.). Saimaan Lauritsalassa maksimien nousu on melkein merkitsevä yksipuolisella testillä ($P < 0,05$ t-testi, 1-puol.). Maksimien keskijajonta eri vuosien välillä on pienintä Saimaan Lauritsalassa ja suurinta Pielisellä Nurmeksessa. Nurmeksen suuren hajonnan selittää kumpuaminen ja Lauritsalan pienen maksimien vaihtelun veden sekoittuminen. Inarissa maksimien hajonta on pienentynyt selvästi 1970-luvun puolivälissä. Mahdollisena syynä voi olla mittaus-tavan muutos. Maksimin ajankohdan aikasarjat on esitetty kuvassa 15. Maksimin ajankohta näyttää sattuvan kaikilla paikoilla keskimäärin heinäkuun loppupuolelle, mutta ajankohdan hajonta on suurta. Kaikilla muilla havaintopaikoilla maksimi on siirtynyt 1990-luvulla myöhemmäksi paitsi Lappajärvellä. Mikään trendi ei kuitenkaan ole merkitsevä. Aikaisimmat maksimit ovat sattuneet jopa kesäkuun alkuun. Tällöin on ollut yleensä kyseessä hyvin lämmin ja tyyni kevät, ja sitä on seurannut viileämpi ja tuulinen loppukesä. Myöhäisimmät maksimin ajankohdat ovat sattuneet elokuun 20. päivän paikkeille. Tällöin loppukesän ilman lämpötilat ovat mitä luultavimmin lähennelleet jakson ennätyslukemia. Maksimin ajankohdan suurin vaihtelu eri vuosien välillä oli Pielisellä ja pienin Saimaan Lauritsalassa.

Kesäkuun keskilämpötilojen aikasarjat on esitetty kuvassa 16. Havaintopaikoista lämpimin kesäkuu oli Pielavedellä 1936, jolloin kesäkuun keskilämpötila oli niinkin korkea kuin 20,4 °C. Kylmin kesäkuu oli Kevolla vuonna 1993, jolloin kesäkuun keskilämpötila oli 5,0 °C (tosin osa arvoista on ekstrapoloituja). Keskimääräiset kesäkuun keskilämpötilat ovat etelässä 14...16 °C ja pohjoisessa 9...11 °C. Kesäkuun keskilämpötilat olivat jaksolla 1991-2000 hieman lämpimämmät kuin jaksolla 1961-1990 seuraavilla järvi-Suomessa: Saimaalla, Kallavedellä ja Pielisellä. 1990-luvulla kesäkuut olivat taas keskimäärin viileämpiä seuraavilla havaintopaikoilla: Inari, Kevojärvi, Lappajärvi, Tornionjoki ja Pielavesi. Ainoa merkitsevä trendi oli Saimaan Lauritsalan kesäkuun lämpötilojen nouseminen koko havaintojaksolla 1924-2000 ($P < 0,001$ t-testi, 2-puol.).

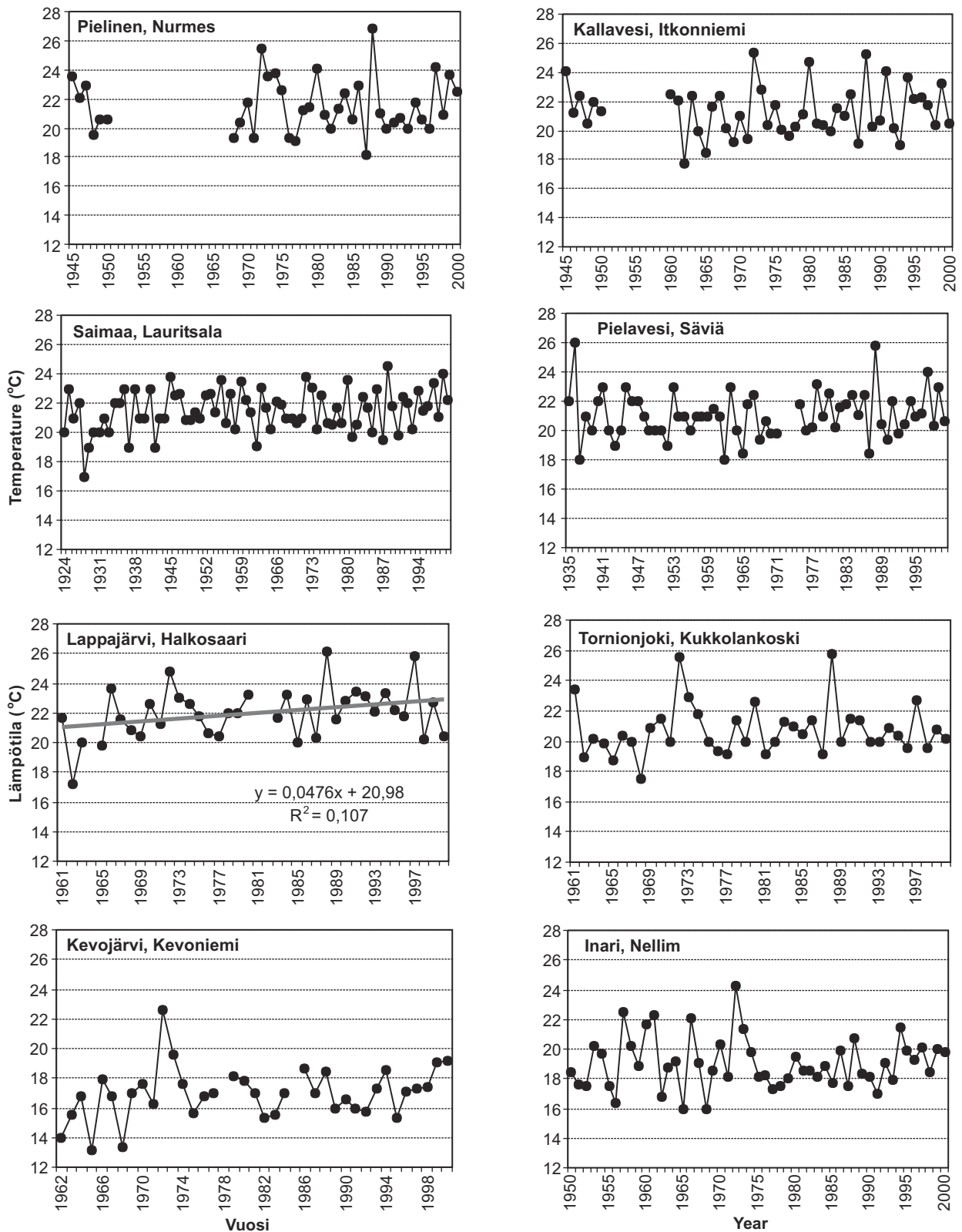
Heinäkuun keskilämpötilojen aikasarjat on esitetty kuvassa 17. Kaikkein lämpimin heinäkuu mitattiin Pielisellä 1988, jolloin pintaveden keskilämpötila oli jopa 23,0 °C. Keskimäärin heinäkuun keskilämpötilat ovat etelässä 18...19 °C, pohjoisessa 14...15 °C. Heinäkuun keskilämpötilat ovat nousseet tai pysyneet samana 1990-luvulla kaikilla muilla havaintopaikoilla paitsi Kevojärvellä. Mikään näistä eroista ei ole kuitenkaan tilastollisesti merkitsevä.

Elokuun keskilämpötilojen aikasarjat on esitetty kuvassa 18. Korkein elokuun keskilämpötila (20,7 °C) on Saimaan Lauritsalasta, vuodelta 1997. Vuoden 1987 elokuu oli veden lämpötilojen osalta viileä koko maassa. Keskimäärin elokuun keskilämpötilat ovat Etelä- ja Keski-Suomessa 17...18 °C, Pohjois-Suomessa 13...14 °C. Kaikilla havaintopaikoilla elokuut ovat olleet 1990-luvulla keskimäärin lämpimämpiä kuin jaksolla 1961-1990. Tilastollisesti merkitsevä näistä trendeistä on ainoastaan Lauritsala ($P < 0,05$ t-testi, 2-puol.). Tosin Inarin ja Lappajärven osalta merkitsevyys oli lähellä melkein merkitsevää. Elokuun keskilämpötilojen vaihtelu eri vuosien välillä on pienempää kuin kesä- ja heinäkuiden keskilämpötiloissa. Tämä johtuu siitä, että vesi jäähtyy yleensä elokuussa, ja veden lämpötilan vaihtelut eivät ole niin suuria kuin alkukesästä vesimassan lämmitessä.



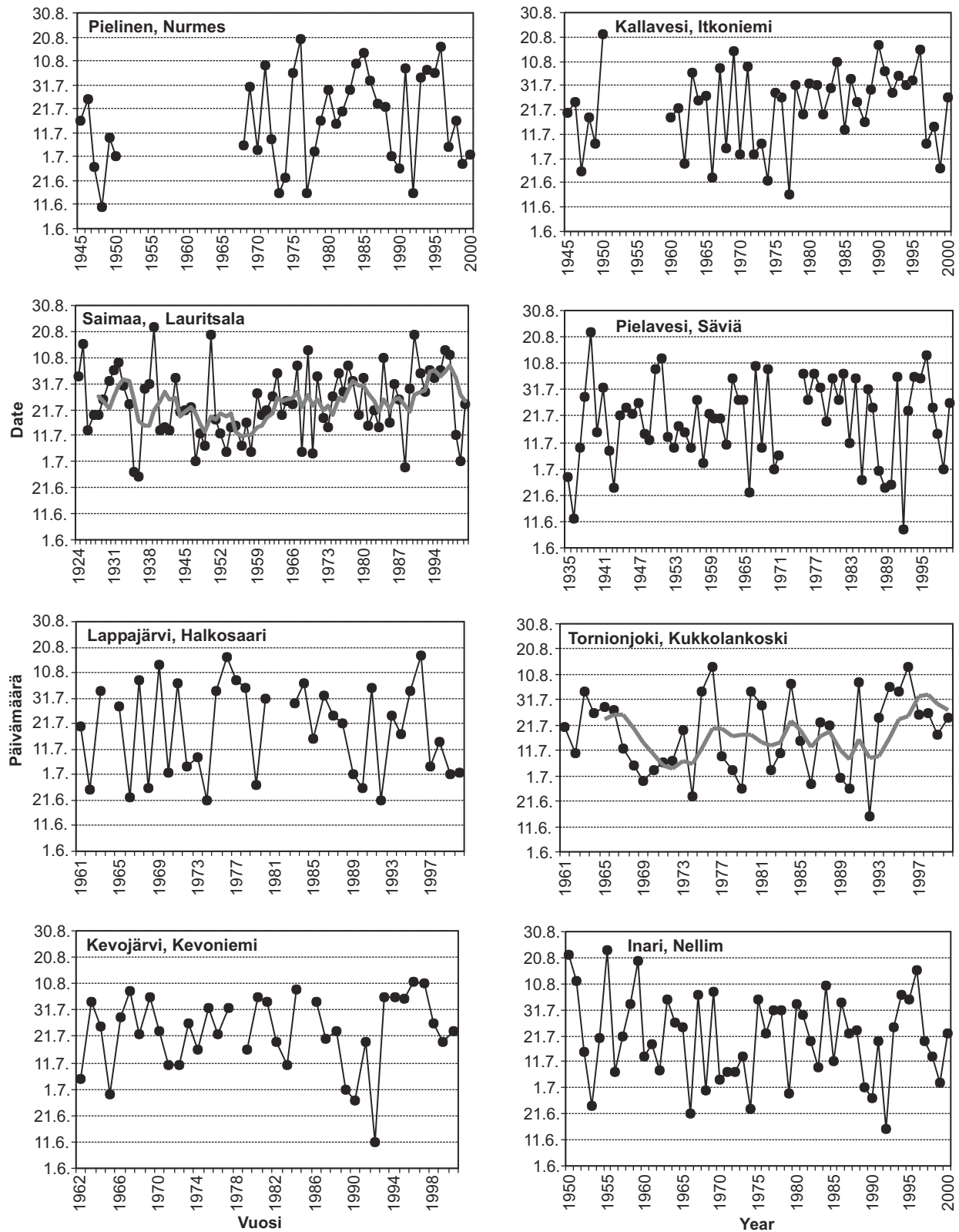
Kuva 13. Pintaveden hellepäivien (lämpötila 20 °C tai yli) lukumäärä eri havaintopaikoilla. Kullekin havaintopaikalle on käytetty pisintä saatavilla olevaa havaintojaksoa. Pieliseltä puuttuvat vuodet 1951-1967, Kallavedeltä 1951-1959, Pielavedeltä vuodet 1972-1974, Lappajärveltä vuodet 1964, 1981 ja 1982 sekä Kevojärveltä vuodet 1961, 1978 ja 1985. Saimaan Lauritsalan havainnoista on esitetty myös viiden vuoden liukuva keskiarvo.

Figure 13. The number of days when surface water temperature is 20 °C or higher. For each observation site, the longest available observation period was used. The following years were not included in the records: Lake Pielinen 1951-1967, Kallavesi 1951-1959, Pielavesi 1972-1974, Lappajärvi 1964, 1981-1982 and Kevojärvi 1961, 1978 and 1985. For Saimaa at Lauritsala, the five year moving average is also presented.



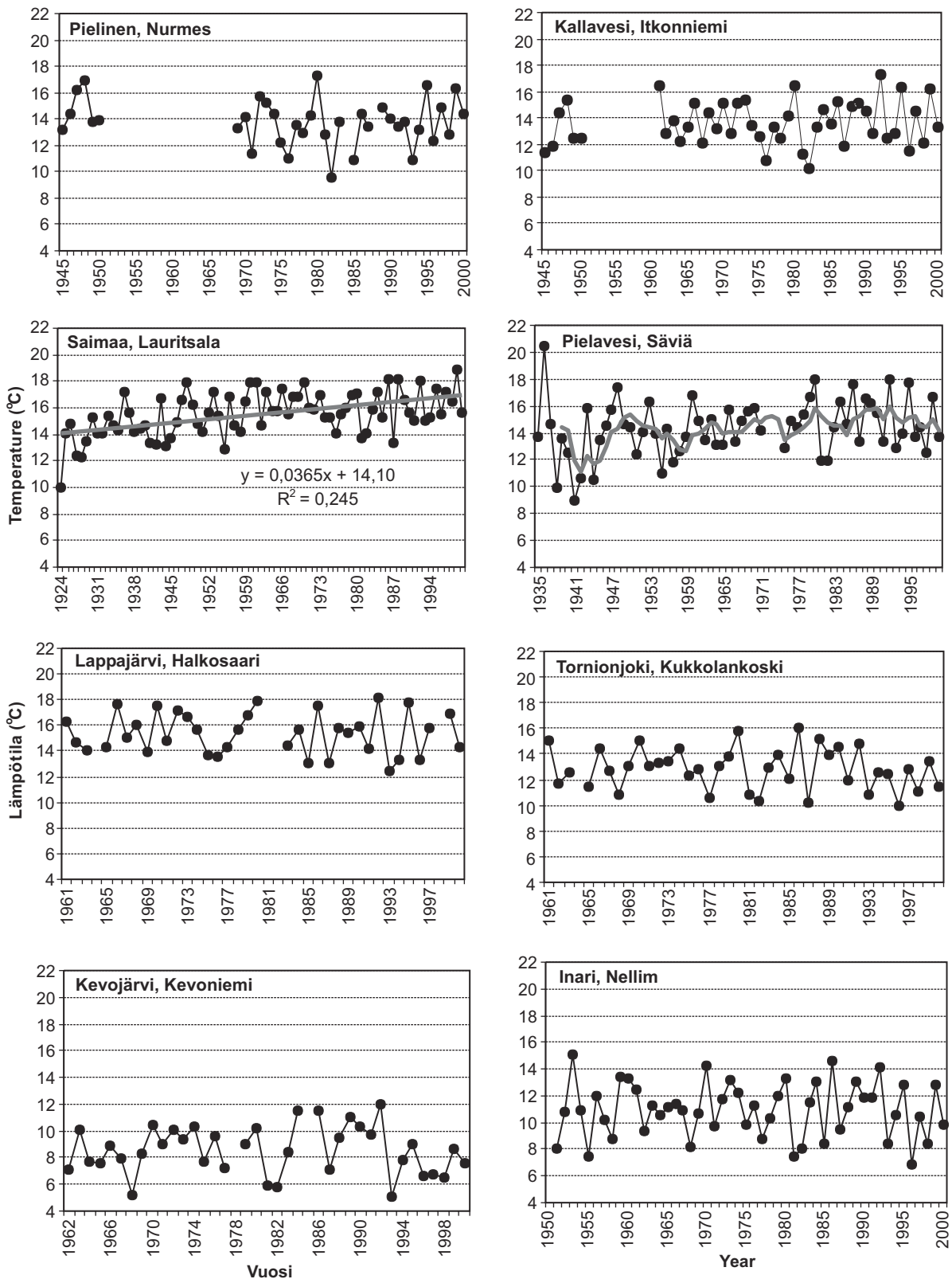
Kuva 14. Pintaveden maksimilämpötilojen aikasarjat eri havaintopaikoilla. Kullekin havaintopaikalle on käytetty pisin-
tä saatavilla olevaa havaintojaksoa. Lappajärven havainnoista on esitetty myös trendiviiva, sen kaava ja korrelaatioker-
toimen neliö (r^2).

Figure 14. Time series of the maximum temperature of the surface water at different observation sites. For each
observation site, the longest available observation period was used. The trendline, its equation and the square of the
correlation coefficient (r^2) for Lappajärvi are also presented.



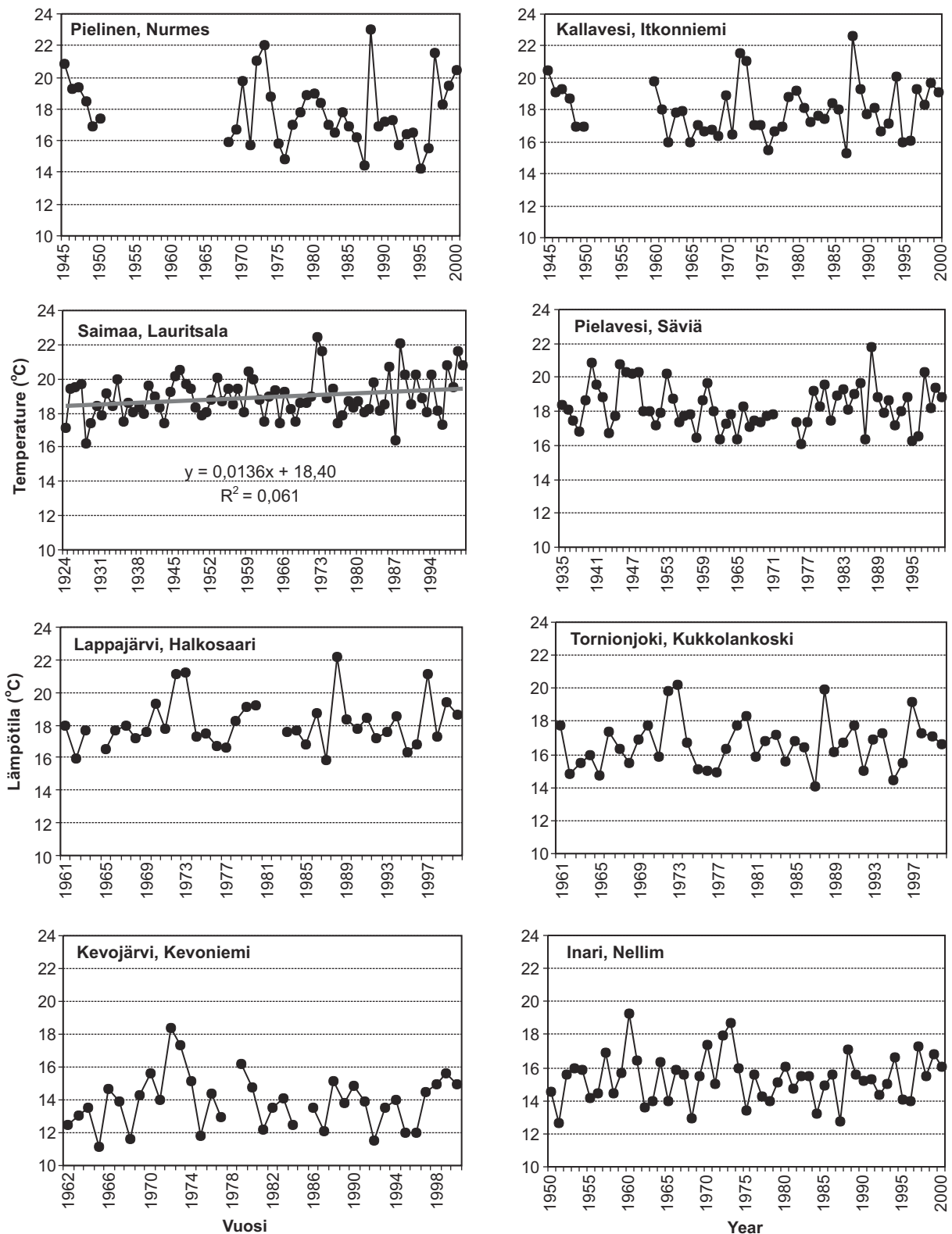
Kuva 15. Pintaveden maksimilämpötilan ajankohdan aikasarjat eri havaintopaikoilla. Kullekin havaintopaikalle on käytetty pisintä saatavilla olevaa havaintojaksoa. Saimaan ja Tornionjoen havainnoista on esitetty myös 5 vuoden liuku-kuva keskiarvo.

Figure 15. Time series of the date of maximum surface temperature at different observation sites. For each observation site, the longest available observation period was used. For Saimaa and Tornionjoki, the five year moving averages are also presented.



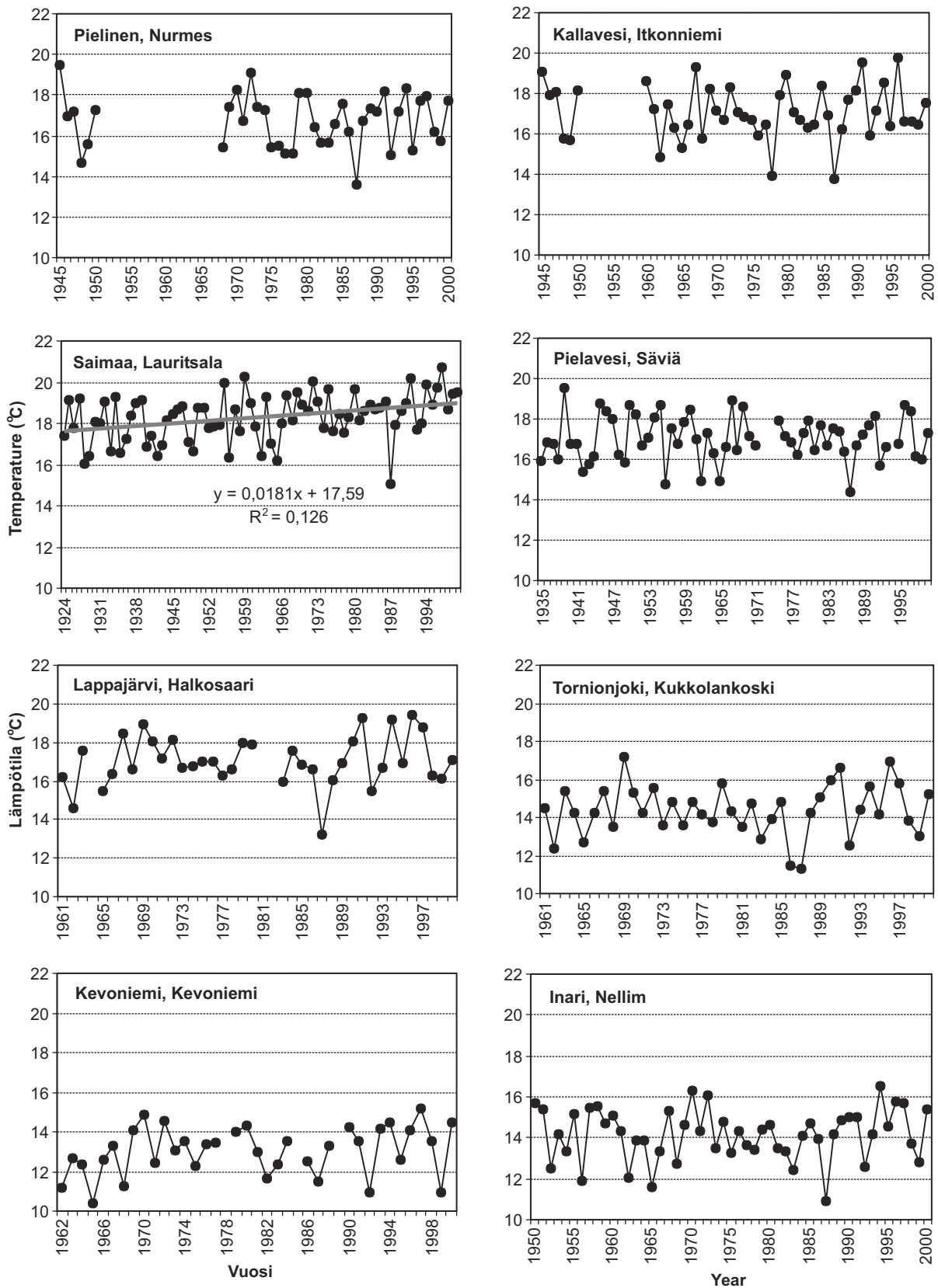
Kuva 16. Pintaveden kesäkuun keskilämpötilojen aikasarjat eri havaintopaikoilla. Kullekin havaintopaikalle on käytetty pisintä saatavilla olevaa havaintojaksoa. Saimaan havainnoista on esitetty myös trendiviiva, sen kaava ja korrelaatiokertoimen neliö (r^2) ja Pielavedelle 5 vuoden liukuva keskiarvo.

Figure 16. Time series of the average surface water temperature in June. For each observation site, the longest available observation period was used. For Saimaa at Lauritsala are also presented the trendline, its equation, and the square of the correlation coefficient (r^2), and for Pielavesi, the five years moving average.



Kuva 17. Pintaveden heinäkuun keskilämpötilojen aikasarjat eri havaintopaikoilla. Kullekin havaintopaikalle on käytetty pisintä saatavilla olevaa havaintojaksoa. Saimaan havainnoista on esitetty myös trendiviiva, sen kaava ja korrelaatiokertoimen neliö (r^2).

Figure 17. Time series of the average surface water temperature in July. For each observation site, the longest available observation period was used. For Saimaa at Lauritsala, also the trendline, its equation, and the square of the correlation coefficient (r^2) are presented.



Kuva 18. Pintaveden elokuun keskilämpötilojen aikasarjat eri havaintopaikoilla. Kullekin havaintopaikalle on käytetty pisintä saatavilla olevaa havaintojaksoa. Saimaan havainnoista on esitetty myös trendiviiva, sen kaava ja korrelaatiokertoimen neliö (r^2).

Figure 18. Time series of the average surface water temperature in August. For each observation site, the longest available observation period was used. For Saimaa at Lauritsala, also the trendline, its equation, and the square of the correlation coefficient (r^2) are presented.

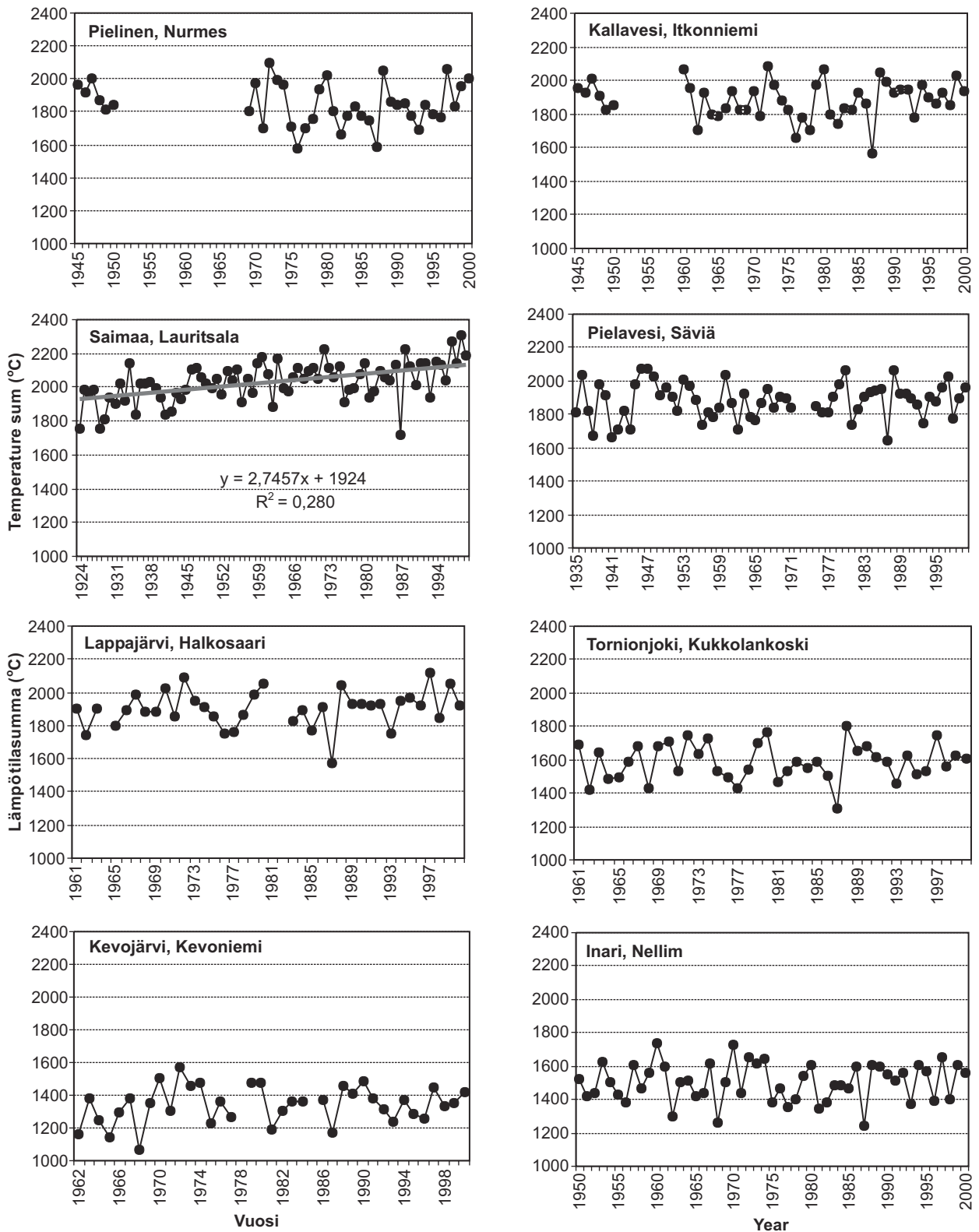
Kesä-syyskuun lämpötilasummien aikasarjat on esitetty kuvassa 19. Vuotuiset kesä-syyskuun lämpötilasumat vaihtelevat Kevojärven 1100 °C:sta Saimaan yli 2300 °C:een. Lapissa lämpötilasumat ovat 1400 °C:een molemmin puolin, Etelä-Suomessa 2000 °C:een tuntumassa. Kaikilla havaintopaikoilla oli huomattavissa hienoista positiivista trendiä, mutta jälleen ainoastaan Saimaan Lauritsalan trendi koko havaintojaksolle oli merkitsevä ($P < 0,001$ t-testi, 2-puol.).

Taulukkoon 7 on koottu kaikki vähintään melkein merkitsevät (2-puol.) trendit eri havaintopaikoilta eri muuttujilla. Merkitseviä trendejä löytyi ainoastaan Lauritsalan ja Lappajärven havainnoista. Myös muilla havaintopaikoilla oli hienoisia trendejä, mutta ne eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Havaitut veden lämpötilojen lämpenemissuuntaukset saattaa olla seurausta myös Saimaan ja Lappajärven rehevöitymisestä ja jätevesien määrän kasvusta. Kasvittuneella rannalla veden vaihtuminen on pienempää, kun lämmin rantavesi ei pääse sekoittumaan. Veden rehevöityessä näkösyvyys pienenee ja vesi absorboi enemmän säteilyä kuin kirkkaampi vesi.

Taulukko 7. Pintaveden lämpötilan vähintään melkein merkitsevät trendit (t-testi, 2-puol.) eri havaintopaikoilla. Merkitsevyytaso on merkitty suluihin. Tarkasteluun on otettu sekä koko havaintojakso että jaksojen 1961-1990 ja 1991-2000 välinen ero. Kaikki taulukossa esitetyt trendit ovat positiivisia.

Table 7. Statistically significant trends (t-test, two-tailed) of surface water temperature at different observation sites. The confidence level is indicated in parenthesis. Both the trend of the whole observation period and the difference between the periods 1961-1990 and 1991-2000 are considered. All the trends listed are positive.

Havaintopaikka Observation site	Koko havaintojakson trendi merkitsevä (Trend of whole observation period significant)	Ero jaksojen 1961-1990 ja 1991-2000 välillä merkitsevä (Difference between periods of 1961-1990 and 1991-2000 significant)
Pielinen, Nurmes	-	-
Kallavesi, Kuopio	-	-
Saimaa, Lauritsala	Kesäkuu keskilämpötila ($p < 0,001$) (June average temperature)	Elokuu keskilämpötila ($p < 0,05$) (August average temperature)
	Heinäkuu keskilämpötila ($p < 0,05$) (July average temperature)	Lämpötilasumma $p < 0,02$ (Temperature sum of Jun-Sep)
	Elokuu keskilämpötila ($p < 0,005$) (August average temperature)	10 °C ylittävät päivät ($p < 0,02$) (Days when T exceeded 10 °C)
	10 °C ylittävät päivät ($p < 0,001$) (Days when T exceeded 10 °C)	
	15 °C ylittävät päivät ($p < 0,001$) (Days when T exceeded 15 °C)	
	18 °C ylittävät päivät ($p < 0,05$) (Days when T exceeded 18 °C)	
	Lämpötilasumma ($p < 0,001$) (Temperature sum of Jun-Sep)	
Pielavesi, Säviä	-	-
Lappajärvi, Halkosaari	Maksimilämpötila ($p < 0,05$) (Maximum temperature)	-
Tornionjoki, Kukkolankoski	-	-
Kevojärvi, Kevoniemi	-	-
Inari, Nellim	-	-



Kuva 19. Pintaveden kesä-syyskuun lämpötilasummien aikasarjat. Kullekin havaintopaikalle on käytetty pisintä saatavilla olevaa havaintojaksoa. Pielaveden Säviän syyskuun lämpötilat ovat 1980-luvun puolivälistä lähtien ekstrapoloituja. Saimaan havainnoista on esitetty myös trendiviiva, sen kaava ja korrelaatiokertoimen neliö (r^2).

Figure 19. Time series of the surface water temperature sum from June to September. For each observation site, the longest available observation period was used. For Pielavesi, the temperature values of September from the mid-1980's are obtained by extrapolation. For Saimaa at Lauritsala, also the trendline, its equation, and the square of the correlation coefficient (r^2) are presented.

Havaintopaikoille laskettiin myös kesä-syyskuun lämpötilasumman ja kesä-, heinä- ja elokuun keskilämpötilojen välinen korrelaatio. Kaikille muille havaintopaikoille, paitsi Saimaan Lauritsalalle ja Pielavedelle, heinäkuun ja kesän lämpötilasumman Pearsonin korrelaatiokerroin oli suurin (0,74-0,81). Näin siis heinäkuun lämpötilat selittävät melko pitkälle kesän lämpimyyden tai kylmyyden. Saimaalle elokuun ja lämpötilasumman välinen korrelaatio oli suurin ($r=0,75$) ja Pielavedelle kesäkuun ($r=0,63$). Kesäkuun korrelaatiokertoimet olivat 0,62-0,70 ja elokuulle 0,57-0,75. Kaikista heikoin korrelaatio oli Lappajärvelle elokuulle 0,57 ja paras Pieliselle ja Kevojärvelle heinäkuulle ($r=0,81$).

Maksimien, kuukausikeskiarvojen ja tietyn rajan ylityspäivien aikasarjoille laskettiin eri havaintopaikkojen välinen korrelaatio ajanjaksolle 1961-2000. Kaikkien kahdeksan havaintopaikan välinen korrelaatio oli suurin heinäkuun keskiarvoille ja pienin 10 °C:een ylittävälle päiville. Kesä-, heinä-, elokuun, lämpötilasumman ja maksimilämpötilojen korrelaatiot olivat merkitseviä tai erittäin merkitseviä kaikkien havaintopaikkojen kesken. Heinäkuulle korrelaatioiden keskiarvo oli korkein ($r=0,78$). Taulukossa 8 on esitetty eri havaintopaikkojen väliset korrelaatiokertoimet heinäkuun keskiarvojen aikasarjoille. Toiseksi suurin keskimääräinen korrelaatio saatiin kesä-syyskuun lämpötilasummalle ja elokuun keskiarvoille. Korrelaatiokertoimen keskiarvo lämpötilasummalle oli 0,77 ja elokuun keskiarvoille 0,76. Kesäkuun korrelaatiokerroin oli 0,72.

Kuten taulukosta 8 nähdään, Lappajärvellä ja Tornionjoella on suurimmat heinäkuun korrelaatiokertoimet muiden havaintopaikkojen suhteen. Huonoiten muiden havaintoasemien kanssa korreloivat Saimaan Lauritsala ja Kevojärvi. Korrelaatiot selittyvät aika pitkälle maantieteellisellä sijainnilla, mutta myös havaintopaikan ominaispiirteet vaikuttavat asiaan. Heinäkuun keskilämpötiloista paras keskinäinen korrelaatiokerroin on Kallavedellä ja Lappajärvellä ($r=0,90$) ja Pielisellä ja Lappajärvellä ($r=0,89$) sekä Lappajärvellä ja Tornionjoella ($r=0,89$). Nämä havaintopaikat sijaitsevat maantieteellisesti melko lähekkäin. Heikoiden heinäkuun keskiarvoista korreloivat keskenään Pielavesi ja Kevojärvi ($r=0,58$).

Kesä-syyskuun lämpösummien osalta paras keskinäinen korrelaatiokerroin on Saimaalla ja Lappajärvellä ($r=0,87$), heikoin Saimaalla ja Kevojärvellä ($r=0,58$). Elokuun keskilämpötilojen suhteen paras korrelaatio on Pielavedellä ja Lappajärvellä ($r=0,92$) ja heikoin Kallavedellä ja Kevojärvellä ($r=0,64$). Kesäkuun keskilämpötilojen paras keskinäinen korrelaatio on Inarilla ja Kevojärvellä ($r=0,89$) ja heikoin Saimaalla ja Kevojärvellä ($r=0,50$). Maksimilämpötilojen paras keskinäinen korrelaatiokerroin on Pielavedellä ja Pielisellä ($r=0,84$) ja heikoin Pielavedellä ja Kevojärvellä ($r=0,47$).

Heikoiden lasketuista suureista korreloivat 10 °C:een, 15 °C:een, 18 °C:een ylittävien päivien lukumäärä sekä lämpötilan maksimin ajankohta. Heikoin keskimääräinen korrelaatio oli 10 °C:een ylittävien päivien lukumäärällä, jonka eri havaintopaikkojen välisten korrelaatiokertoimien keskiarvo oli 0,47. Kaikista heikoin keskinäinen korrelaatio (ei merkitsevää korrelaatiota) saatiin Kallaveden ja Kevojärven maksimin ajankohdalle ($r=0,11$).

Taulukko 8. Veden lämpötilan heinäkuun keskiarvojen keskimääräiset Pearsonin korrelaatiokertoimet eri havaintopaikkojen suhteen jaksolla 1961-2000.

Table 8. Average Pearson's correlation coefficients between July average water temperatures at different observation sites.

Paikka	Pielinen	Kallavesi	Saimaa	Pielavesi	Lappajärvi	Tornionjoki	Kevojärvi	Inari
Kallavesi	0,84	-	0,85	0,84	0,90	0,84	0,70	0,76
Saimaa	0,69	0,85	-	0,79	0,82	0,73	0,65	0,74
Pielavesi	0,75	0,84	0,79	-	0,85	0,83	0,58	0,76
Lappajärvi	0,89	0,90	0,82	0,85	-	0,89	0,73	0,80
Tornionjoki	0,86	0,84	0,73	0,83	0,89	-	0,83	0,85
Kevojärvi	0,73	0,70	0,65	0,58	0,73	0,83	-	0,85
Inari	0,76	0,76	0,74	0,76	0,80	0,85	0,85	-

5.2 Lämpötilaluotaukset

Kallaveden ja Inarin lämpötilaluotauksista on laskettu lämpötilan keskimääräinen kulku ja vuotuinen vaihtelu eri syvyyksillä. Lisäksi havainnoista on määritetty harppauskerroksen syvyyden keskimääräinen kulku, maksimigradientti sekä laskettu stabiliteetit ja lämpömäärät.

Havaitsijoilta saadun tiedon mukaan Inarin luotaushavainnot tehdään aamupäivisin ja Kallaveden luotaukset iltapäivisin, joten tulokset eivät ole täysin vertailukelpoisia. Vuorokautinen lämpötilan vaihtelu on erittäin pientä ulapan syvissä kerroksissa, mutta ulapan pintalämpötiloihin sillä on jonkin verran merkitystä, mikä nähdään rannan ja ulapan pintalämpötilojen välisessä vertailussa (kuvat 41 ja 42, kappale 5.3).

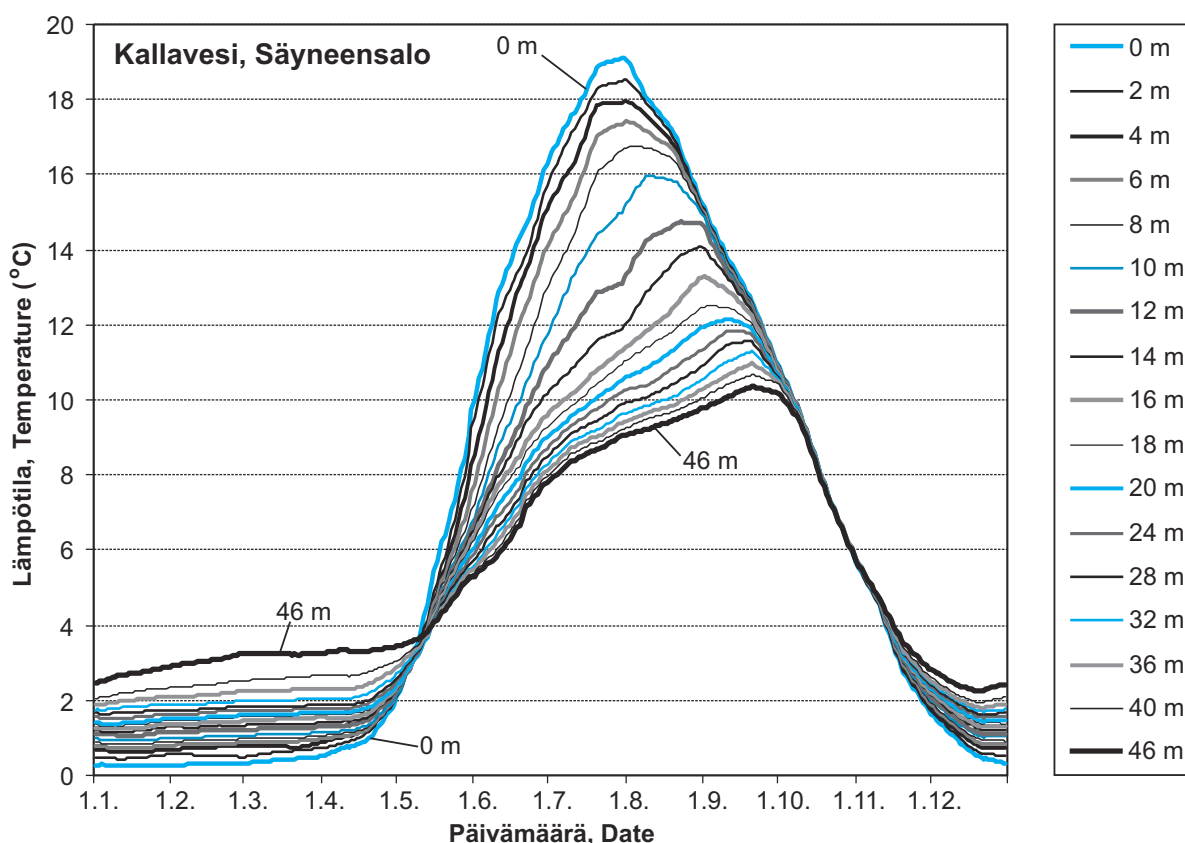
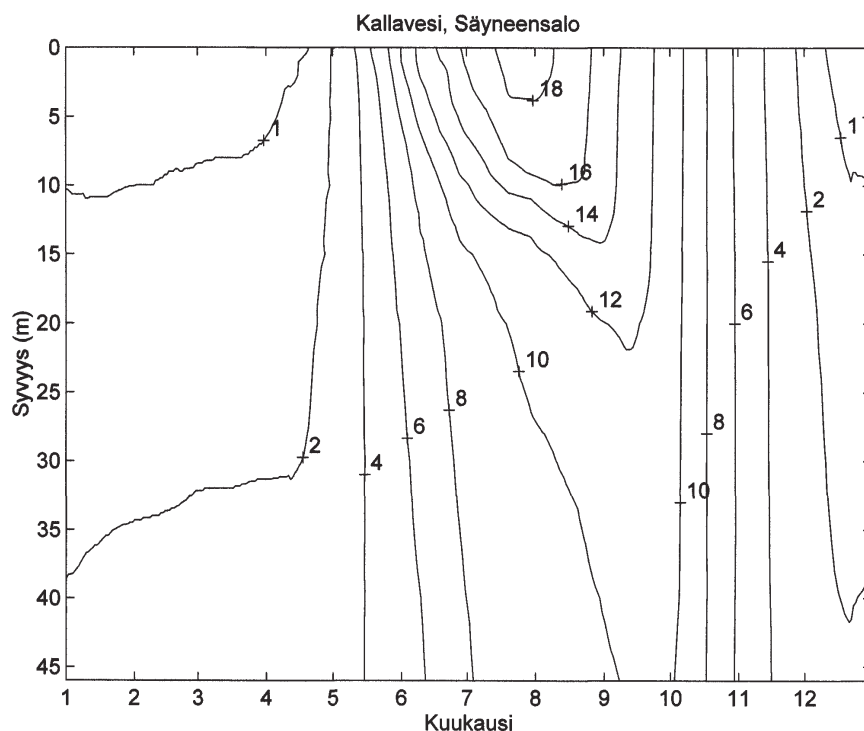
5.2.1 Veden lämpötilan keskimääräinen vuotuinen kulku syvänteessä

Tässä kappaleessa esitettävät lämpötilan keskimääräiset vuotuiset kulut on laskettu lineaarisesti interpoloitujen havaintojen keskiarvona. Samantapaisiin tuloksiin olisi päädytty, jos keskiarvot olisi laskettu vain havaintopäiville ja nämä pisteet olisi yhdistetty. Lämpötilan kulussa syksyisin ja keväisin on pientä epävarmuutta, koska näiltä ajankohdilta puuttuu havaintoja heikon jäätilanteen takia. Koska vuotuiset lämpötilan kulut ja vaihtelut on laskettu kalenterivuosille 1981-2000, eivät vuoden loppu ja alku välttämättä täsmää toistensa kanssa. Lisäksi Inarilta puuttui havaintoja vuodelta 1995 ja alkuvuodelta 1996.

Kallavesi, Säyneensalo

Kallaveden syvänteen keskimääräinen lämpötilan kulku kaudella 1981-2000 on esitetty samanarvonkäyrinä kuvassa 20. Kallaveden Säyneensalossa talvikaudella, jääpeitteen ja käänteisen kerrostuneisuuden vallitessa syvänteen pintaveden lämpötila on noin 0,3 °C tienoilla. 1 °C:een isotermi sijaitsee noin 10 metrin syvyydellä, 2 °C:een isotermi 30...35 metrissä ja pohjan läheisen veden lämpötila on noin 3 °C. Keväällä jäiden lähtiessä pintavesi pääsee lämpiämään ja kevätkierto alkaa. Huhtikuun puolen välin tienoilla syvänteen pintavesi on 1 °C ja huhtikuun lopulla vesi on pinnasta 30 metriin saakka 2 °C. Kallaveden syvänteen tiheysmaksimi saavutetaan toukokuun puolessa välissä. Tästä noin kuukauden eteenpäin vesimassa lämpiää siten, että kesäkuun puolessa välissä pintavesi on keskimäärin 14 °C, 10 °C:een samanarvonkäyrä on noin 12 metrissä ja pohjalla vesi on 6 °C. Syvänteen pintaveden keskilämpötilan maksimi (19,1 °C) saavutetaan heinä-elokuun vaihteessa. Tällöin pohjalla vesi on keskimäärin noin 9 °C, 10 °C:een isotermi kulkee noin 25...30 metrin syvyydellä, ja 16 °C:een isotermi noin 10 metrin syvyydellä. Koko vesipatsaan lämpömaksimi saavutetaan pinnan maksimin jälkeen, elokuun lopulla. Syksyä kohden kerrostuneisuus alkaa hävitä sekoittumisen ja jäähtymisen johdosta. Lokakuun alussa Kallaveden syvänteen lämpötila on sekoittunut kauttaaltaan 10-asteiseksi ja tästä alkaa syyshomogeenisuuden aika, joka kestää noin puolitoista kuukautta. Marraskuun puolivälissä koko vesipatsas on tiheysmaksimissaan. Tämän jälkeen alkaa käänteinen kerrostuneisuus, jossa kylmempi vesi on pinnalla. Marraskuun lopulla syvänteen vesi on pinnasta 15 metriin saakka noin 2 °C ja pohjalla noin 3 °C. Joulukuun puolivälissä vesi on pinnasta noin 10 metriin saakka 1 °C ja 2 °C:een isotermi on 40 metrin syvyydellä.

Kuva 20. Keskimääräinen vuotuisen lämpötilan kulku kaudella 1981-2000 samanarvonkäyrinä Kallaveden Säyneensalon syvänteessä. Samanarvonkäyrät koskevat lämpötiloja 1...18 °C. Kuukausi 1 vastaa tammikuun 1. päivää, kuukausi 2 helmikuun 1. päivää jne. Figure 20. The annual course of water temperature (°C) during the period 1981-2000 as isotherms in lake Kallavesi at the Säyneensalo deep.



Kuva 21. Keskimääräinen vuotuisen lämpötilan kulku eri syvyyksillä jaksolla 1981-2000 Kallaveden Säyneensalossa. Selitteessä 0 m tarkoittaa pintaveden lämpötilaa, 2 m lämpötilaa kahden metrin syvyydellä jne. Käyrät on esitetty pinnasta 20 metriin kahden metrin välein ja siitä syvemällä neljän metrin välein.

Figure 21. The average water temperatures at different depths in 1981-2000 in lake Kallavesi at the Säyneensalo deep. In the legend, 0 m represents the surface water temperature, 2 m the temperature at two meters depth etc. Curves are presented from the surface to 20 meters at every two meters and, for greater depths, at every 4 meters.

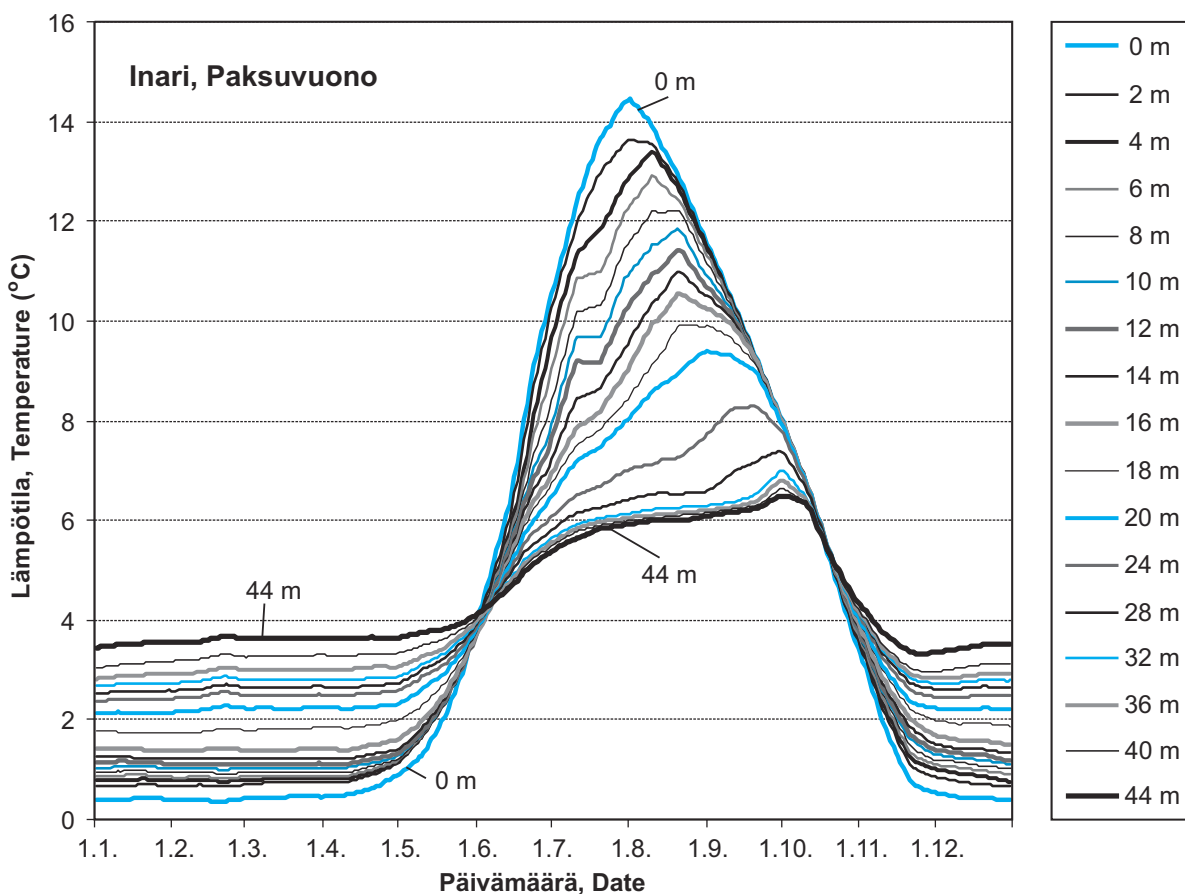
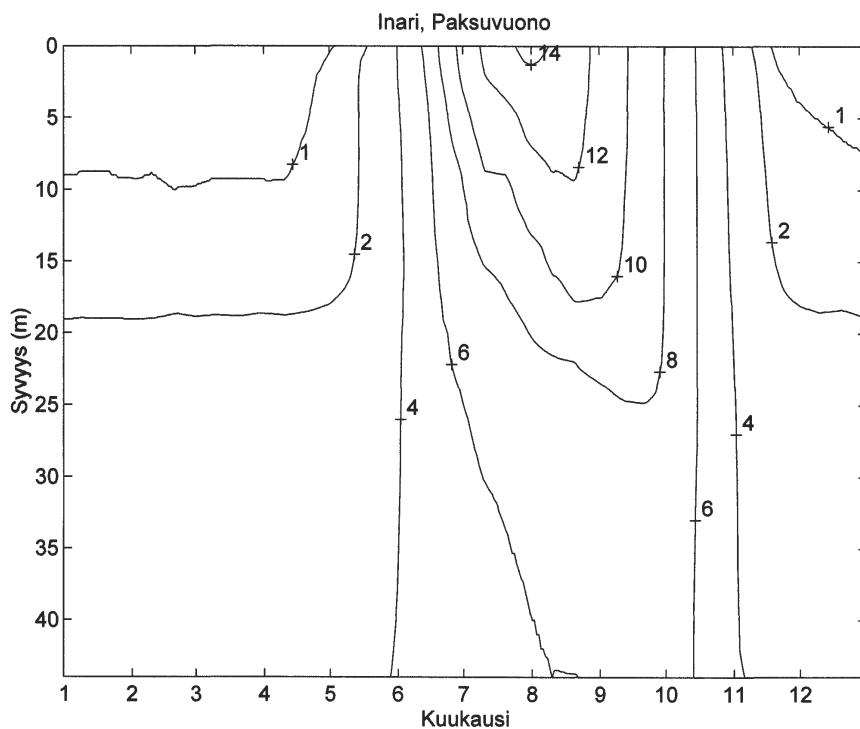
Kuvassa 21 on esitetty Kallaveden Säyneensalon keskimääräinen lämpötilan kulku eri syvyyksillä. Talvella käänteinen kerrostuneisuus kestää lähes kuusi kuukautta. Keväällä koko vesipatsas on tasalämpöinen keskimäärin toukokuun 10. päivän tienoilla. Kuvasta nähdään lämpötilan keskimääräisen vuosittaisen amplitudin olevan yli 19 °C pinnalla ja vajaat 8 °C pohjalla. Pinnalla maksimi saavutetaan keskimäärin heinä-elokuun vaihteessa ja pohjalla syys-lokakuun vaihteessa. Syyshomogeenisuus alkaa keskimäärin lokakuun alussa (vesi on tällöin 10-asteista) ja kestää lähes marraskuun puoleen väliin saakka. Vesipatsaan keskimääräinen jäähtymisnopeus on 0,15 °C vuorokaudessa.

Inari, Paksuvuono

Inarin Paksuvuonon syvänteen keskimääräinen lämpötilan kulku kaudella 1981-2000 on esitetty samanarvonkäyrinä kuvassa 22. Inarin Paksuvuonossa talvella jääpeitteen ja käänteisen kerrostuneisuuden aikaan pintaveden lämpötila on keskimäärin 0,4 °C. 1 °C:een isotermi sijaitsee 9 metrin tuntumassa ja 2 °C:een isotermi 19 metrissä. Pohjan läheisyydessä lämpötila on keskimäärin 3,6 °C. Keväällä jääpeitteen sulaessa pintaveden lämpötila nousee nopeasti. Toukokuun alussa syvänteen pintaveden lämpötila on keskimäärin 1 °C, ja toukokuun puolessa välissä vesi on lämmennyt ja sekoittunut pinnasta 19 metriin saakka 2-asteiseksi. Touko-kesäkuun vaihteessa syvänteessä saavutetaan tiheysmaksimi, koko vesipatsaan ollessa 4 °C. Kesäkuun puoleenväliin saakka vesimassa lämpenee tasaisesti, ja hiljalleen alkaa muodostua kerrostuneisuutta. Heinäkuun alussa syvänteen pintaveden lämpötila on 11 °C, ja pohjalla vesi on noin 5 °C. Kymmenen metrin syvyydellä lämpötila on tällöin keskimäärin 9 °C. Syvänteen pintaveden keskilämpötilan maksimi (14,5 °C) saavutetaan heinä-elokuun vaihteessa, tällöin pohjan läheisen veden lämpötila on noin 6 °C ja 8 °C:een isotermi on 20 metrin syvyydellä. Koko vesipatsaan lämpö määrän maksimi saavutetaan keskimäärin elokuun lopulla, mistä eteenpäin vesi alkaa sekoittua ja jäähtyä hiljalleen. Syyskuun lopussa vesi on sekoittunut pinnasta 25 metriin saakka 8-asteiseksi ja pohjalla vesi on 6,5 °C. Lokakuun alkupuolella alkaa syyshomogeenisuuden aika, jolloin koko vesimassa on tasalämpöistä ja jäähtyy hiljalleen kohti tiheysmaksimiaan. Lokakuun puolivälissä vesi on kauttaaltaan 6 °C. Loka-marraskuun vaihteessa saavutetaan tiheysmaksimi 4 °C, jonka jälkeen alkaa käänteinen kerrostuneisuus. Marraskuun alkupuolella syvänteen pintavesi on keskimäärin 2 °C ja pohjassa reilut 3 °C. Jääpeiteajan alettua 2 °C:een isotermi asettuu 19 metriin ja 1 °C:een isotermi 8...9 metrin syvyyteen.

Inarin Paksuvuonon lämpötilan kulku eri syvyyksillä on esitetty kuvassa 23. Kuvasta nähdään, että pintaveden lämpötilan keskimääräinen vuotuinen amplitudi on 14 °C ja pohjassa vajaat kolmisen astetta. Mitä syvemälle mennään, sen myöhemmäksi maksimin ajankohta siirtyy. Pinnassa lämpötilan maksimi saavutetaan heinä-elokuun vaihteessa ja pohjassa vasta lokakuun alussa. Keväällä koko vesipatsas on tasalämpöistä kesäkuun alkupuolella (4,3 °C) ja syksyllä lokakuun puolivälissä. Syyshomogeenisuusajan alkaessa (n. 10.10.) vesi on kauttaaltaan 6,3 °C. Syyshomogeenisuus aika kestää ainoastaan kaksi viikkoa. Vesimassan jäähtymisnopeus on syksyllä noin 0,1 °C päivässä. Eri käyrien suuri väli kesäaikana tarkoittaa harppauskerrosta näiden kerrosten välillä. Loppukesästä harppauskerros on näin ollen parinkymmenen metrin syvyydellä. Kuvaajassa näkyvät poikkeamat heinäkuussa syvyyksillä 6-12 metriä johtuvat vesipatsaan täydellisestä sekoittumisesta vuoden 1983 heinäkuussa (ks. kappale 5.2.3). Lämpötilakäyrät nousivat tasaisesti, jos sekoittumistilannetta ei otettaisi mukaan laskuihin.

Kuva 22. Keskimääräinen vuotuinen lämpötilan kulku kaudella 1981-2000 samanarvonkäyrinä Inarin Paksuvuonon syvänteessä. Havainnot puuttuvat vuodelta 1995. Samanarvonkäyrät koskevat lämpötiloja 1...14 °C. Kuukausi 1 vastaa tammikuun 1. päivää, kuukausi 2 helmikuun 1. päivää jne. Figure 22. The annual course of water temperature (°C) during the period 1981-2000 as isotherms in lake Inari at the Paksuvuono deep. The records from the year 1995 and the beginning of the year 1996 are missing.



Kuva 23. Vuotuinen lämpötilan kulku eri syvyyksillä jaksolla 1981-2000 Inarin Paksuvuonossa. Vuoden 1995 ja alkuvuoden 1996 havainnot puuttuvat laskelmista. Selitteessä 0 m tarkoittaa pintaveden lämpötilaa, 2 m lämpötilaa kahden metrin syvyydellä jne. Käyrät on esitetty pinnasta 20 metriin kahden metrin välein ja siitä syvemmällä neljän metrin välein. Figure 23. Average water temperatures at different depths during the period 1981-2000 in lake Inari at the Paksuvuono deep. The observations from the year 1995 and the beginning of the year 1996 are missing. In the legend, 0 m represents the surface water temperature, 2 m the temperature at two meters depth etc. Curves are presented from the surface to 20 meters at every two meters and, for greater depths, at every 4 meters.

5.2.2 Lämpötilan vaihtelut eri syvyyksillä

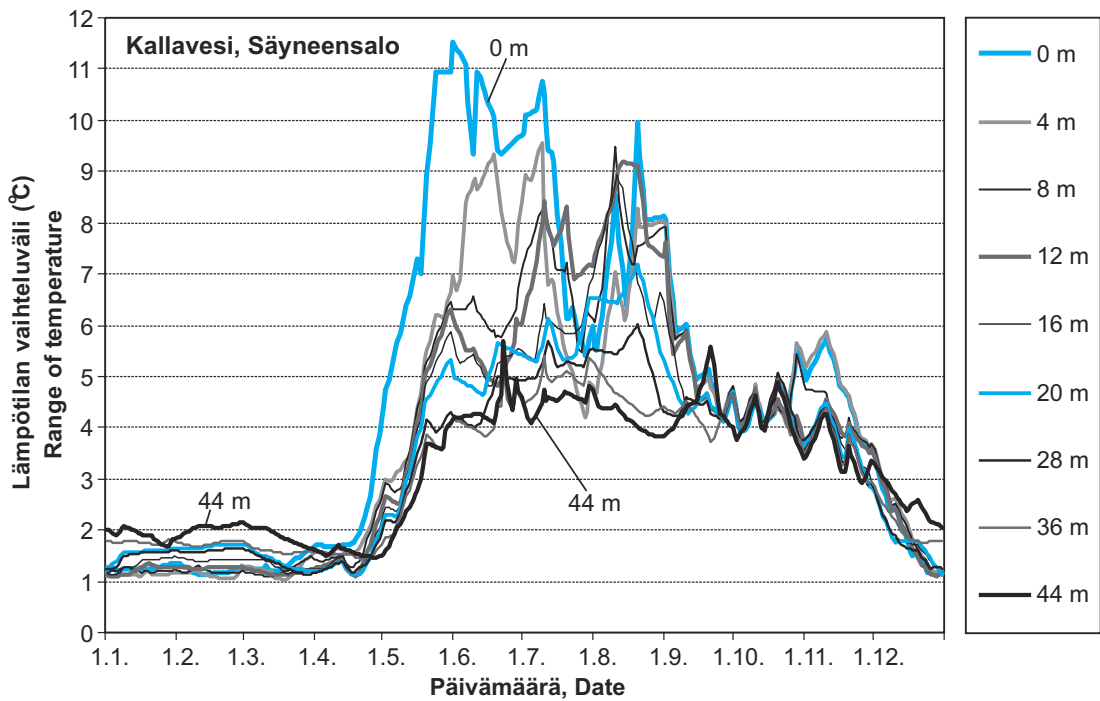
Edellisessä kappaleessa esitetyt vuotuiset keskimääräiset kulut ovat eri vuosien lämpötilamittausten keskiarvoja. Lämpötilan kulku ei yleensä koskaan noudata edellä kuvatusti vuotuista sykliä. Kesällä kerrostuneisuus saattaa muotoutua pariin otteeseen, koska tuuli voi sekoittaa koko vesimassan välillä kokonaan. Välttämättä koko vesimassa ei sekoitu täysin aina keväällä tai syksyllä, vaan pohjan vesi saattaa jäädä sekoittumatta ja näin talven aikaiset pohjan lämpötilat voivat jäädä melko korkeiksikin. Sinänsä lämpötilan vuotuiset vaihtelut eri syvyyksillä ovat melko suuria ja sitä asiaa tarkastellaan tässä kappaleessa.

Kallavesi, Säyneensalo

Kallaveden Säyneensalon lämpötilan vaihteluja vuosina 1981-2000 eri syvyyksillä on esitetty kuvissa 24 ja 25. Kallaveden syvänteen eri vuosien väliset lämpötilan vaihtelut ovat maksimissaan pinnalla reilut 11 °C, ja keskihajonta on pinnalla kesällä vajaat 3 °C. Talvella jääpeitteen aikaan (joulu-huhtikuussa) koko vesipatsaan lämpötilan vaihteluväli on 2 °C tai alle ja keskihajonta 0,5 °C tai alle. Kesäkuussa pintakerroksen lämpötilan vaihtelu on suurimmillaan, vaihteluväli reilut 11 °C ja keskihajonta vajaa 3 °C. Kesällä kerrostuneisuuden aikaan (kesä-elokuussa) pohjan läheisen veden lämpötilan vaihteluväli on 4...5 °C ja vastaava keskihajonta 1...1,5 °C. Kesäkuussa vaihteluvälin 6 °C:een samanarvonkäyrä kulkee noin 10 metrissä, heinäkuussa 15 metrissä ja elokuussa 25 metrissä. Heinä-elokuussa suurin lämpötilan vaihtelu eri vuosien välillä on 10 metrin tuntumassa, mikä johtuu harppauskerroksen syvyyden vaihtelusta. Syyskuun alusta eteenpäin vaihtelu eri syvyyksillä on samaa suuruusluokkaa, vaihteluväli noin 5 °C ja keskihajonta 1,2 °C. Marraskuussa lämpötilan vaihteluväli koko syvänteen vesipatsaassa on 4 °C ja keskihajonta 1 °C. Keskimäärin joulukuun puolivälissä palataan taas jääpeiteaikaan, jolloin lämpötilan vaihteluväli on koko vesipatsaassa 2 °C ja keskihajonta 0,5 °C. Yleisesti ottaen Kallavedellä lämpötilojen vaihtelu on pientä talvella ja suurimmillaan pinnassa kesäkuun alussa. Kesän ajan, elokuun loppuun saakka, vaihtelu on melko suurta.

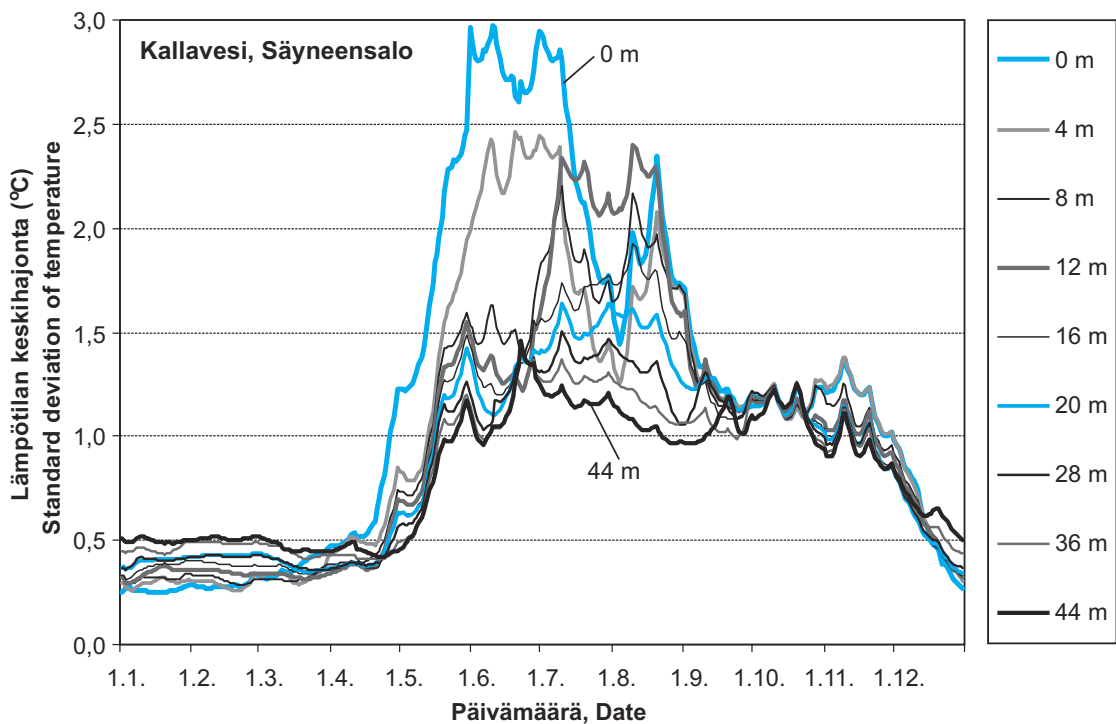
Inari, Paksuvuono

Inarin Paksuvuonon lämpötilan vaihteluja eri syvyyksillä jaksolla 1981-2000 on esitetty kuvissa 26 ja 27. Vaihteluiden suuruudet keskimääräisessä kulussa eivät täsmää loppu- ja alkuvuodelle. Tämä johtuu tarkastelujakson viimeisen syksyn (vuosi 2000) ennätyslämpimistä vesistä. Tällöin pohjan läheinen vesi oli yli 5-asteista vielä vuoden lopulla. Inarin syvänteen eri vuosien väliset lämpötilan vaihtelut ovat maksimissaan kesällä pinnalla vajaat 9 °C ja keskihajonta reilut 2 °C. Talvella jääpeitteen aikana vaihteluväli on pinnan tuntumassa alle 1 °C ja syvemmillä 1...3 °C. Kesäkuussa pinnan läheisen kerroksen eri vuosien välinen lämpötilan vaihtelu on erittäin suurta, koska eri vuosina jäät lähtevät eri aikaan ja pintavedet lämpiävät hyvin erilaisilla sääoloista riippuen. Kesäkuun aikana 5 °C:een vaihteluvälin samanarvonkäyrä syvenee pinnasta 15 metriin ja pysyy 10...15 metrin tuntumassa elokuun puoliväliin saakka. Kesällä 20 metriä syvemmillä lämpötilan vaihteluväli on alle 3 °C ja keskihajonta alle 1 °C, pohjan lähellä jopa alle 0,5 °C. Syys-lokakuun vaihteessa koko syvänteen vesipatsaan vaihteluväli on 3 °C. Marraskuussa vaihteluväli on 5 °C ja keskihajonta noin 1 °C. Talven ja jääkannen tultua lämpötilan vaihtelut pienenevät jälleen. Yleisesti lämpötilan vaihtelut ovat suurimmillaan pintakerroksissa (0...10 m) kesäkuun lopussa ja siitä elokuun loppuun saakka vaihtelu on edelleen melko suurta. Toinen lämpötilan vaihtelun maksimikohta sattuu syyskiertoon, loka-marraskuun vaihteeseen.



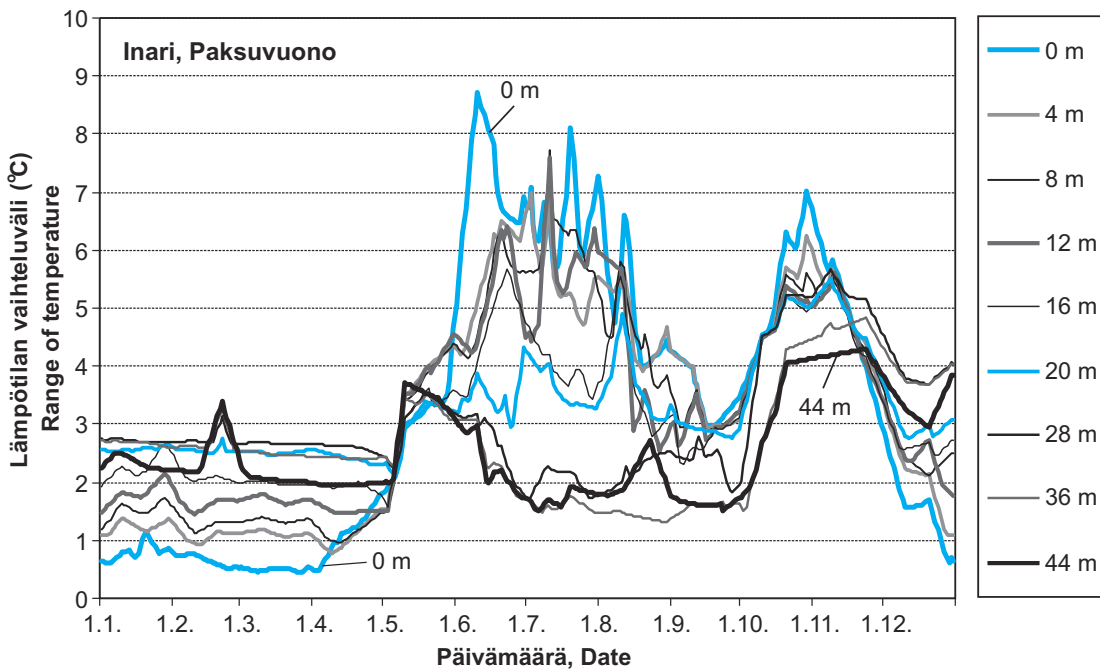
Kuva 24. Veden lämpötilan vuotuinen vaihteluväli eri syvyyksillä 1981-2000 Kallaveden Säyneensalossa. Selitteessä 0 m tarkoittaa pintaveden lämpötilaa, 4 m lämpötilaa neljän metrin syvyydellä jne. Käyrät on esitetty pinnasta 20 metriin neljän metrin välein ja siitä syvemmällä kahdeksan metrin välein.

Figure 24. Annual range of water temperature at different depths during the period 1981-2000 in Kallavesi at the Säyneensalo deep. In the legend 0 m represents surface water temperature, 4 m temperature in four meters depth etc. Curves are presented from surface to 20 meters in every four meters and, for greater depths, at every eight meters.



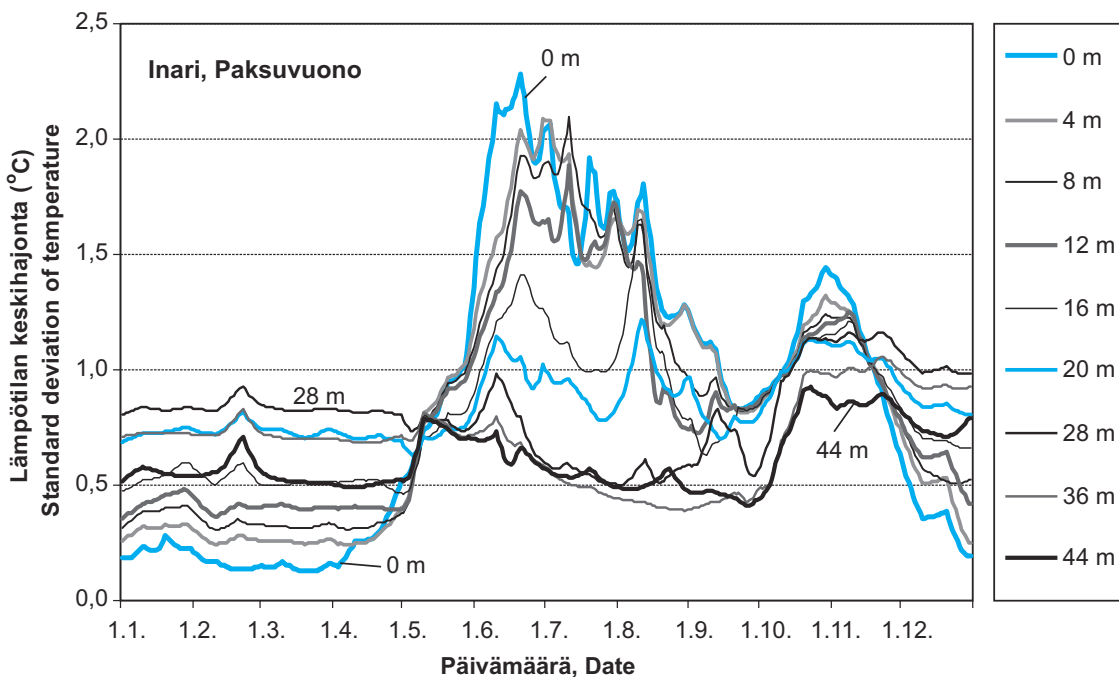
Kuva 25. Veden lämpötilan keskihajonta eri syvyyksillä 1981-2000 Kallaveden Säyneensalossa. Selitteessä 0 m tarkoittaa pintaveden lämpötilaa, 4 m lämpötilaa neljän metrin syvyydellä jne. Käyrät on esitetty pinnasta 20 metriin neljän metrin välein ja siitä syvemmällä kahdeksan metrin välein.

Figure 25. Standard deviation of water temperature at different depths in 1981-2000 in Kallavesi at Säyneensalo deep. In the legend, 0 m represents the surface water temperature, 4 m the temperature at four meters depth etc. Curves are presented from the surface to 20 meters in every four meters and, for greater depths, at every eight meters.



Kuva 26. Veden lämpötilan vuotuinen vaihteluväli eri syvyyksillä 1981-2000 Inarin Paksuvuonossa. Selitteessä 0 m tarkoittaa pintaveden lämpötilaa, 4 m lämpötilaa neljän metrin syvyydellä jne. Käyrät on esitetty pinnasta 20 metriin neljän metrin välein ja siitä syvemmällä kahdeksan metrin välein.

Figure 26. Annual range of water temperature at different depths during the period 1981-2000 in Inari at the Paksuvuono deep. In the legend, 0 m represents the surface water temperature, 4 m the temperature at four meters depth etc. Curves are presented from the surface to 20 meters at every four meters and, for greater depths, at every eight meters.



Kuva 27. Veden lämpötilan vuotuinen keskihajonta eri syvyyksillä 1981-2000 Inarin Paksuvuonossa. Selitteessä 0 m tarkoittaa pintaveden lämpötilaa, 4 m lämpötilaa neljän metrin syvyydellä jne. Käyrät on esitetty pinnasta 20 metriin neljän metrin välein ja siitä syvemmällä kahdeksan metrin välein.

Figure 27. Standard deviation of water temperature at different depths during the period 1981-2000 in Inari at the Paksuvuono deep. In the legend, 0 m represents the surface water temperature, 4 m the temperature at four meters depth etc. Curves are presented from the surface to 20 meters at every four meters and, for greater depths, at deeper every eight meters.

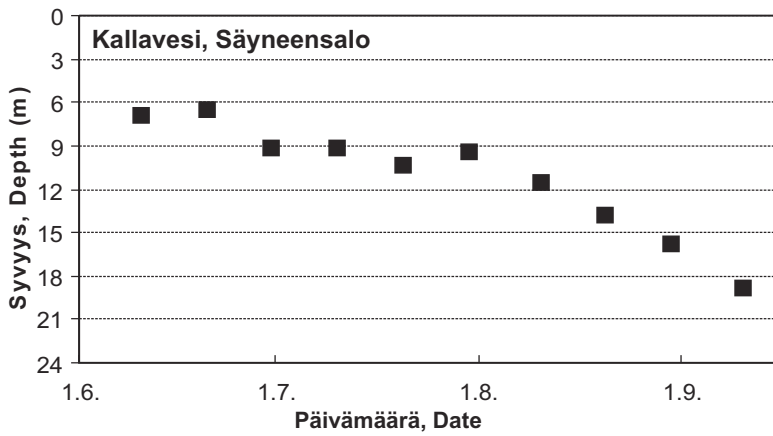
5.2.3 Harppauskerros ja sen vaihtelut

Harppauskerroksen syvyys riippuu suoraan kesän sääoloista. Tyynenä, lämpimänä ja aurinkoisena kesänä harppauskerros kehittyy selväksi rajaksi päällyys- ja alusveden väliin. Toisaalta taas yksikin suuri myrsky saa vesipatsaan sekaisin ja harppauskerroksen katoamaan. Keskimäärin harppauskerros ehtii kehittyä selväksi kesäkuussa. Joinakin vuosina keskikesän jälkeen tuulet sekoittavat vettä ja harppauskerros heikentyy. Loppukesää kohden harppauskerros vahvistuu jälleen ja syvenee aina syyskiertoon saakka.

Kuvassa 28 on esitetty harppauskerroksen keskimääräinen syvyys Kallaveden Säyneensalolla jaksolla 1981-2000. Harppauskerroksen sijainti kunakin vuonna on määritetty maksimigradientin syvyyden avulla ja niistä on laskettu keskiarvo. Harppauskerroksen syvyyden vaihtelu eri vuosien suhteen on suurta, jopa kymmeniä metrejä. Tämä vaihtelu johtuu suuresti sääolojen (tuuli, lämpötila, auringonsäteily) nopeasta ajallisesta vaihtelusta. Kesäkuun alussa harppauskerros on keskimäärin kuudessa metrissä ja syvenee siitä heinäkuun loppuun mennessä noin kymmeneen metriin. Syyskuun puoliväliin mennessä harppauskerros on 20 metrissä ja tämän jälkeen harppauskerros katoaa, kun vesipatsas alkaa sekoittua. Harppauskerroksen katoaminen näkyy maksimigradientin käyrästä (kuva 29). Toukokuussa keskimääräinen maksimigradientti on $0,5 \dots 1 \text{ } ^\circ\text{Cm}^{-1}$ ja nousee maksimissaan heinäkuun lopulla $2,0 \text{ } ^\circ\text{Cm}^{-1}$. Syyskuun lopulla maksimigradientti on pienentynyt arvoon $0,25 \text{ } ^\circ\text{Cm}^{-1}$. Maksimilämpötilagradientin keskiarvon luottamusrajat ovat melko suuret johtuen harvasta havaintovälistä. Tästä johtuen pistekäyrässä on poikkeamia. Suurin mitattu lämpötilagradientti jaksolla 1981-2000 Säyneensalolla oli $5,0 \text{ } ^\circ\text{Cm}^{-1}$. Maksimigradientit ja harppauskerroksen syvyydet on laskettu vain kuukauden 10., 20. ja 30. päiville, jolloin mittauksia yleensä suoritetaan.

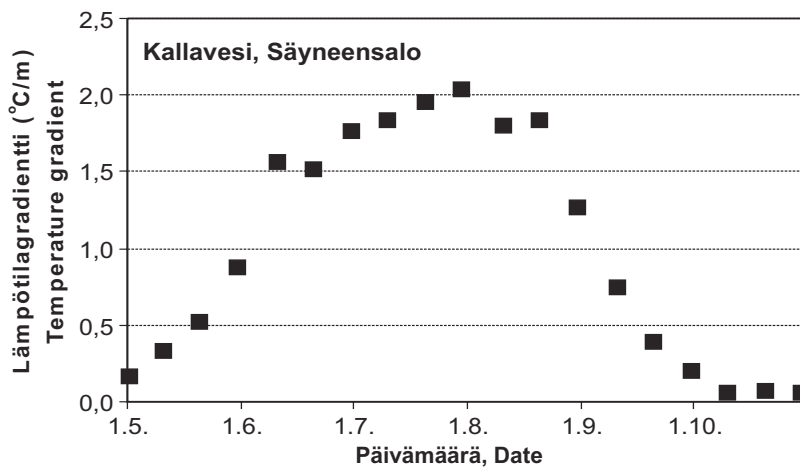
Kuvassa 30 on esitetty Inarin Paksuvuonon harppauskerroksen keskimääräinen syvyys jaksolla 1981-2000. Kesäkuun alussa harppauskerros sijaitsee suunnilleen kuuden metrin syvyydellä ja kesäkuun lopussa yhdeksässä metrissä. Heinäkuun lopulla harppauskerros on keskimäärin madaltunut takaisin kuuteen metriin. Elokuun alusta alkaen harppauskerros syvenee tasaisesti aina syyskuun lopun 25 metriin saakka ja tämän jälkeen vesipatsas alkaa sekoittua, ja harppauskerros katoaa. Kuvassa 31 on esitetty Inarin Paksuvuonon keskimääräinen maksimigradientti. Lämpötilagradientti alkaa muodostua keskimäärin kesäkuun alussa, mutta toisaalta jäät eivät aina ole vielä silloin edes lähteneet. Keskimääräisen maksimigradientin suurin arvo saavutetaan elokuun alussa ja suurin lämpötilagradientti on keskimäärin $1,3 \text{ } ^\circ\text{Cm}^{-1}$. Suurin Paksuvuonossa jaksolla 1981-2000 mitattu lämpötilagradientti oli $3,6 \text{ } ^\circ\text{Cm}^{-1}$. Inarin lämpötilagradientit ovat pienempiä kuin Kallavedellä, koska Inarin vesi on kirkaampaa. Yleensä kerrostuneisuus katoaa syyskuun lopulla, mikä nähdään kuvaajasta maksimigradientin äkillisenä pienenemisenä. Maksimigradientit ja harppauskerroksen syvyys on laskettu vain kuukauden 10., 20. ja 30. päiville, jolloin mittauksia yleensä suoritetaan.

Kuvissa 32 ja 33 on esitetty keskimääräisiä lämpötilaprofiileja Kallavedellä ja Inarissa eri vuodenaikoina. Loppukesällä harppauskerros on Kallavedellä 10 metrissä. Inarissa ei ole yhtä selvää harppauskerrosta kuin Kallavedellä. Tähän ovat syynä Inarin veden kirkaus ja se, että Inarin luotauspaikalla virtaukset ovat kovemmat kuin Kallavedellä. Keväällä toukokuun puolivälissä Kallavedellä harppauskerros on keskimäärin muutamassa metrissä ja Inarissa se on yltänyt pariin metriin vasta kesäkuun puolessa välissä. Talven käännteinen kerrostuneisuus on vahvempi Inarissa. Pinnasta noin 15 metriin vesi on melko tasalämpöistä, mutta syvemmällä huomattavasti lämpimämpää. Kallavedellä talvella vesimassa ei ole näin selvästi kerrostunut.



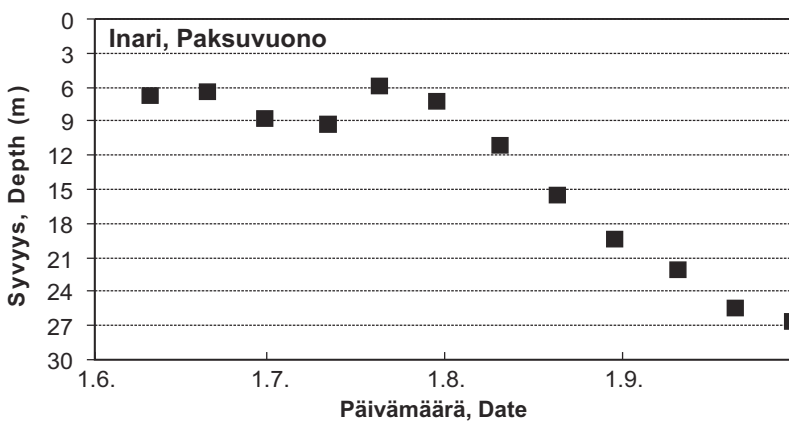
Kuva 28. Harppauskerroksen keskimääräinen syvyys kesäkuukausien 10., 20. ja 30. päivä jaksolla 1981-2000 Kallaveden Säyneensalossa.

Figure 28. Average depth of thermocline in summertime (10th, 20th and 30th day of month) in 1981-2000 in Kallavesi at the Säyneensalo deep.



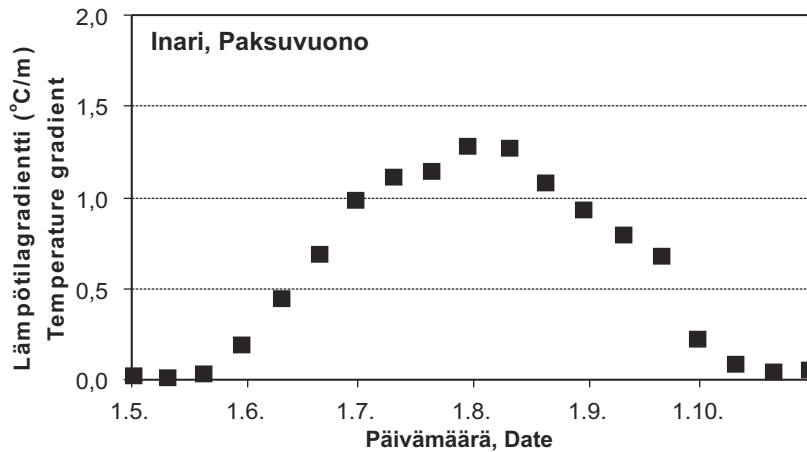
Kuva 29. Keskimääräinen lämpötilan maksimigradientti kesäkuukausien 10., 20. ja 30. päivä jaksolla 1981-2000 Kallaveden Säyneensalossa.

Figure 29. Average maximum temperature gradient in summertime (10th, 20th and 30th day of month) in 1981-2000 in Kallavesi at the Säyneensalo deep.



Kuva 30. Harppauskerroksen keskimääräinen syvyys kesäkuukausien 10., 20. ja 30. päivä kaudella 1981-2000 Inarin Paksuvuonossa.

Figure 30. Average depth of thermocline in summertime (10th, 20th and 30th day of month) in 1981-2000 in Inari at the Paksuvuono deep.

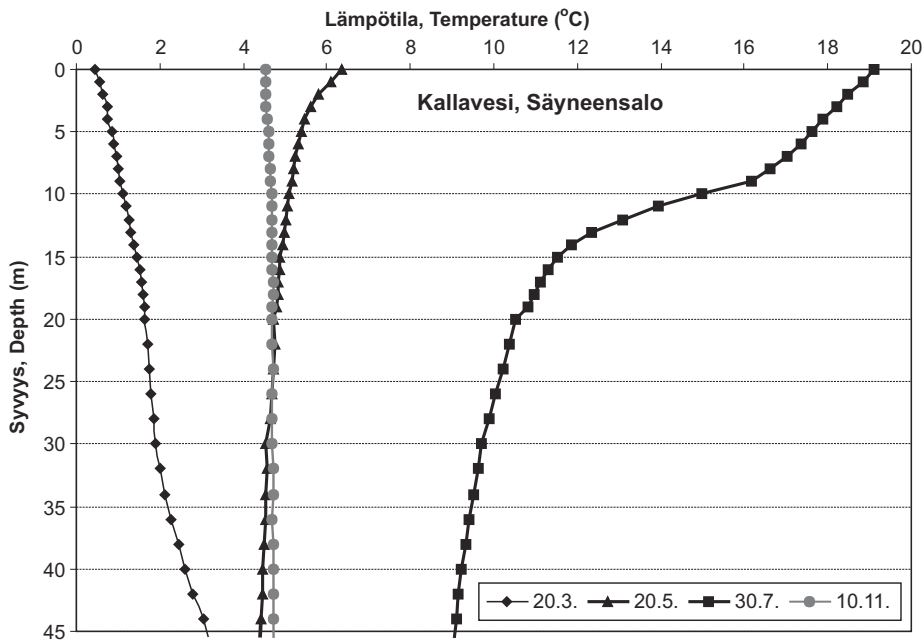


Kuva 31. Keskimääräinen lämpötilan maksimigradientti kesäkuukausien 10., 20. ja 30. päivä jaksolla 1981-2000 Inarin Paksuvuonossa.

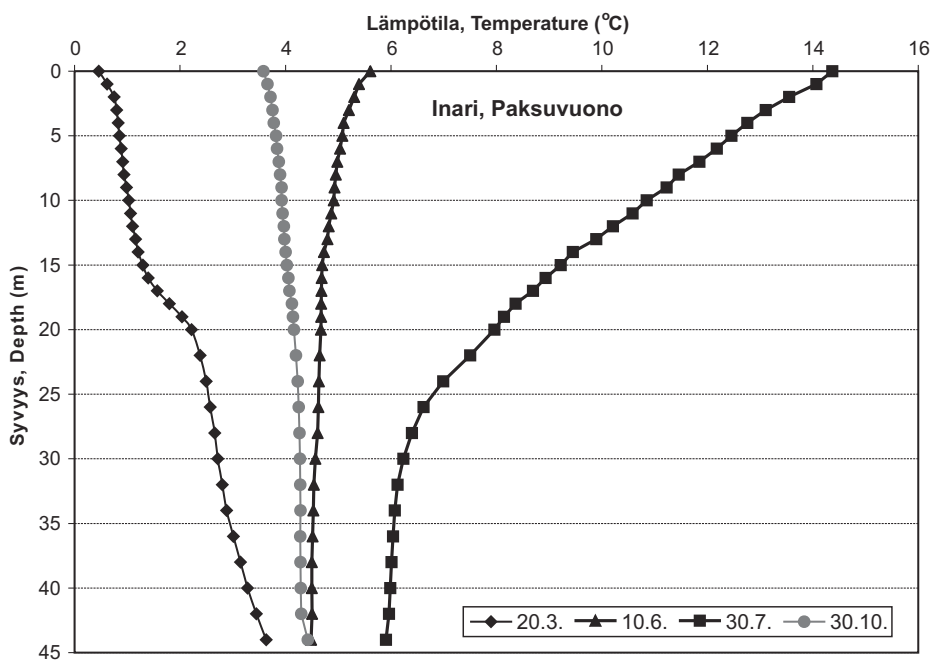
Figure 31. Average maximum temperature gradient in summertime (10th, 20th and 30th day of month) in 1981-2000 in Inari at the Paksuvuono deep.

Kun tuulee tarpeeksi kovaa ja sopivalta ilmansuunnalta, voi järven kerrostuneisuus hävitä kokonaan ja koko vesipatsas sekoittua tasalämpöiseksi. Kallaveden havainnoista löytyi yhdeltä kesältä tällainen tapaus. Inarin havainnoissa ei ollut yhtään tapausta, jolloin koko vesimassa olisi sekoittunut tasalämpöiseksi. Tämä voi johtua siitä, että Inarin havaintopaikka on tuulelta suojaisampi, ja keskimääräiset tuulen nopeudet ovat Kuopiossa Inaria korkeammat (Liite 5). On kuitenkin huomattava, että koska havaintoja tehdään vain kymmenen päivän välein, havaintokertojen välissä on voinut hyvinkin olla useina kesinä täysin sekoittuneita tilanteita, ja kerrostuneisuus on ehtinyt muodostua seuraavaan havaintokertaan mennessä. Seuraavassa esitetään esimerkit vesipatsaan sekoittumisesta Kallavedeltä kesältä 1986 ja Inarista kesältä 1983. Ohessa tarkasteltaviksi tiedoiksi on otettu Kuopion ja Ivalon lentosääasemien ilman lämpötila, tuulen nopeus ja suunta.

Kallaveden Säyneensalon syvänteellä 19.6.1986 tehdyssä lämpötilaluotauksessa on havaittavissa selvä lämpötilakerrostuneisuus (kuva 34). Pintaveden lämpötila on noin 18 °C ja harppauskerros sijaitsee kahdessa metrissä, missä lämpötila on reilut 15 °C. Tästä alaspäin lämpötila laskee siten, että veden lämpötila on 9 °C 15 metrin tuntumassa. Alusveden lämpötila on 7...9 °C. Kesäkuun 22. koko vesipatsas on täysin sekoittunut ja tasalämpöinen, hieman alle 11 °C. Seuraavalla luotaukserralla 1.7. on jälleen muodostunut lämpötilakerrostuneisuus. Pintavesi on tällöin hieman alle 15 °C ja harppauskerros on viiden metrin paikkeilla. Alusveden lämpötila on 8...9 °C. Ilman lämpötilan vuorokausikeskiarvot laskevat 19.-23. kesäkuuta 22 °C:sta alle 11 °C:een. Tämän jälkeen ilman lämpötilat nousevat taas. Kesäkuun 26. saavutetaan ajanjakson maksimi, 23 °C ja sen jälkeen lämpötila laskee jälleen. Heinäkuun alussa ilman lämpötilan vuorokausikeskiarvo on 14 °C. Tuulen nopeus vaihtelee jaksolla välillä 1...6 ms⁻¹ ja on keskimäärin 3...4 ms⁻¹. Kesäkuun 19. päivä tuulee lounaasta, mutta 20.6. tuuli kääntyy pohjois-luoteen puolelle. Illalla 22.6. tuuli kääntyy pohjois-koilliseen ja seuraavana päivänä lounaaseen. Vesipatsaan täydellinen sekoittuminen johtunee pohjoisen puoleisesta tuulesta ja samanaikaisesta ilman lämpötilan laskusta. Havaitaan, että sekoittumisen jälkeisessä lämpötilakerrostuneisuudessa harppauskerros on syvemmillä, pintavesi viileämpää ja alusvesi lämpimämpää kuin ennen sekoittumista.



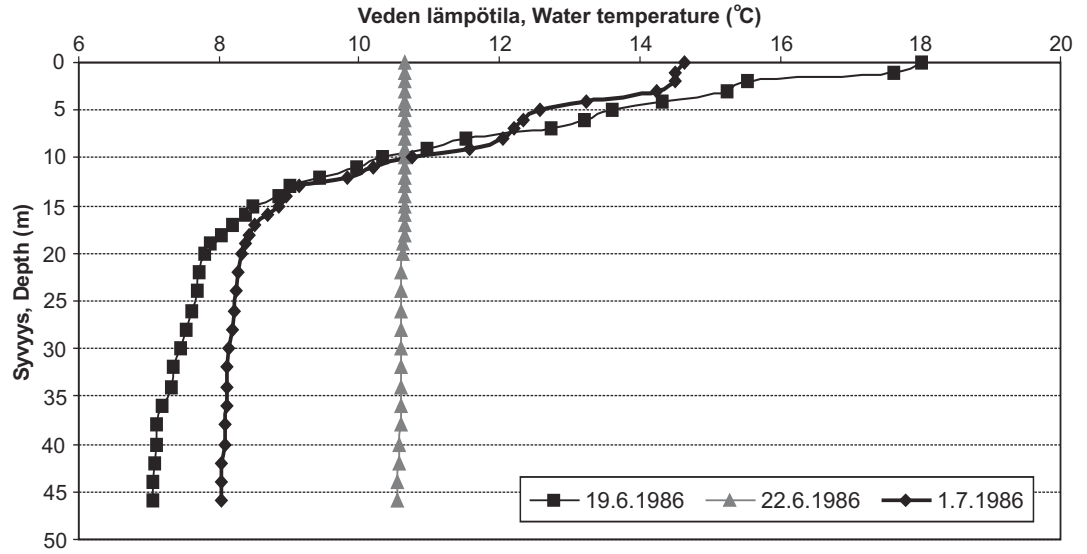
Kuva 32. Keskimääräisiä lämpötilaprofiileja Kallaveden Säyneensalossa eri vuodenaikoina.
 Figure 32. Average water temperature profiles in Kallavesi at different time of year.



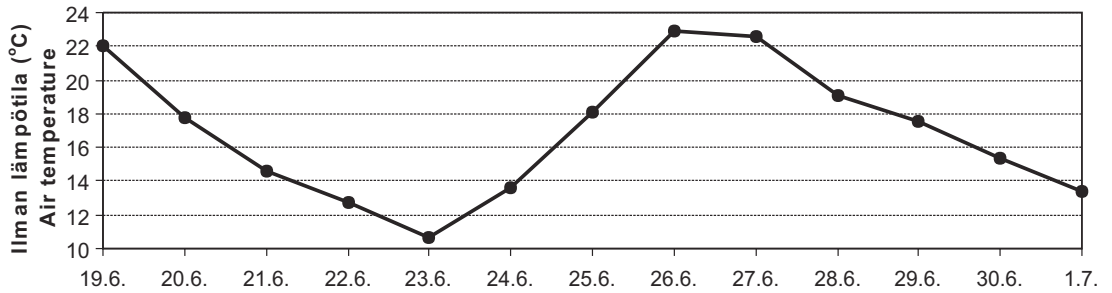
Kuva 33. Keskimääräisiä lämpötilaprofiileja Inarin Paksuvuonossa eri vuodenaikoina.
 Figure 33. Average water temperature profiles in Inari at different time of year.

Inarin Paksuvuonossa 11.7.1983 tehdyssä lämpötilaluotauksessa on nähtävissä selvä kerrostuneisuus (kuva 35). Pinnasta seitsemään metriin lämpötila on noin 15 °C ja harppauskerros sijaitsee noin 15 metrin syvyydessä. Alusvesi on 6...8 °C. Seuraava lämpötilaluotaus on tehty 20.7. Vesipatsas on sekoittunut hieman, eikä enää ole olemassa niin selvää harppauskerrosta. Pinnassa veden lämpötila on 13 °C ja laskee lineaarisesti siten, että 10 metrin syvyydessä lämpötila on 8,5 °C. Kymmenestä metristä pohjaan lämpötila laskee noin 0,1 °Cm⁻¹. Edelleen 30.7. vesipatsas on lähellä samoja

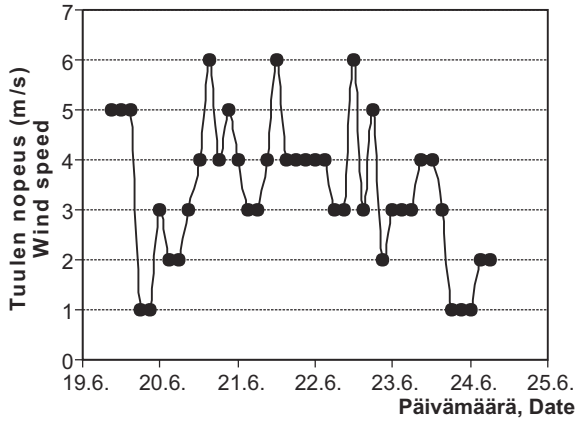
Lämpötilaprofiilit Kallaveden Säyneensalossa 19.6.-1.7.1986
Temperature profile in Kallavesi at Säyneensalo 19.6.-1.7.1986



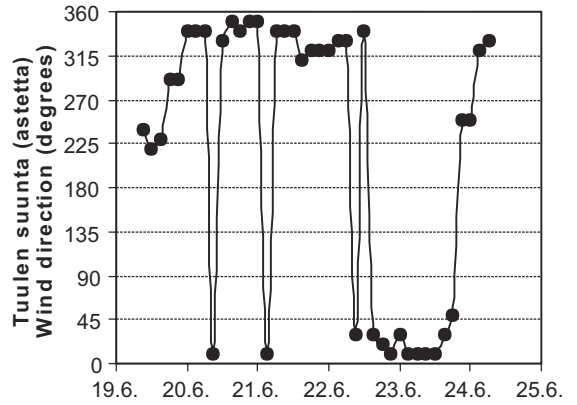
Ilman lämpötila, Air temperature 19.6.-1.7.1986



Tuulen nopeus 19.6.-24.6.1986
Wind speed



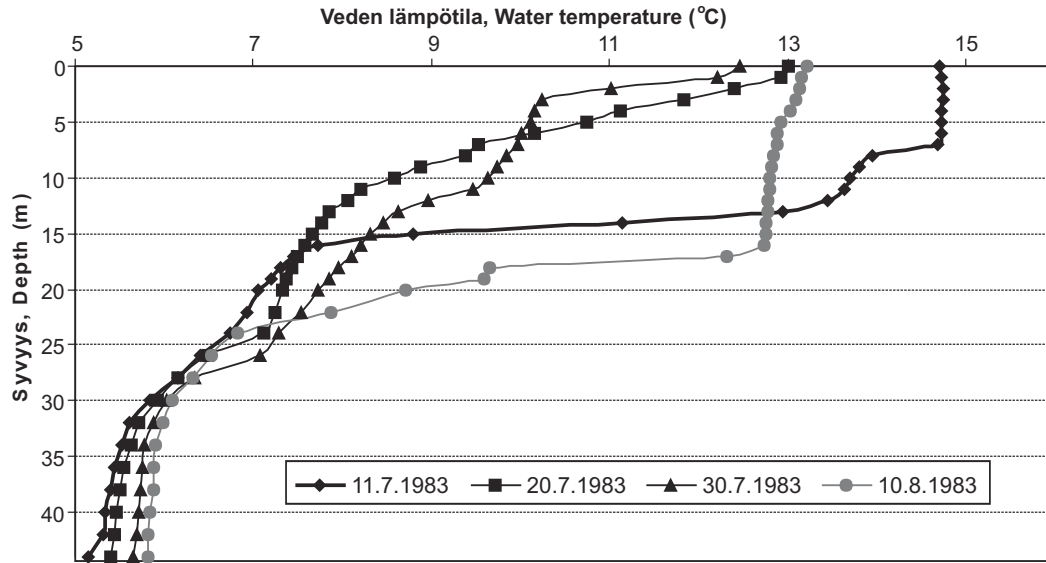
Tuulen suunta 19.6.-24.6.1986
Wind direction



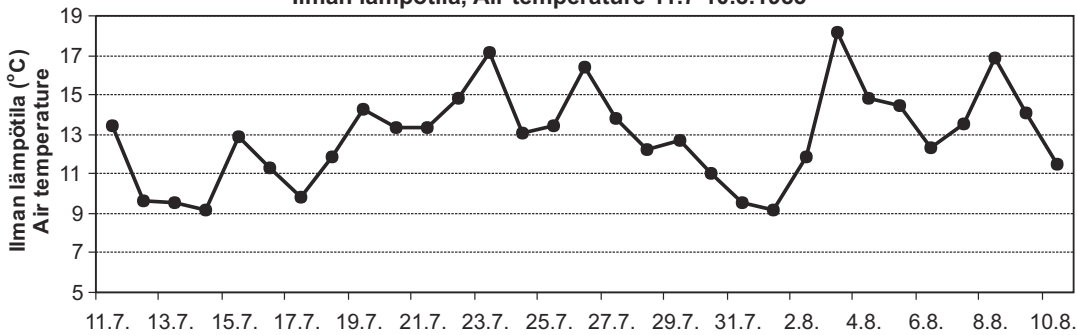
Kuva 34. Veden lämpötilakerrostuneisuuden muutokset Kallaveden Säyneensalossa sekä ilman lämpötila- ja tuulitiedot Kuopion lentokentällä kesä-heinäkuun vaihteessa 1986.

Figure 34. Changes of temperature stratification in Kallavesi at the Säyneensalo deep, and air temperature and wind data from Kuopio airport in June-July in 1986.

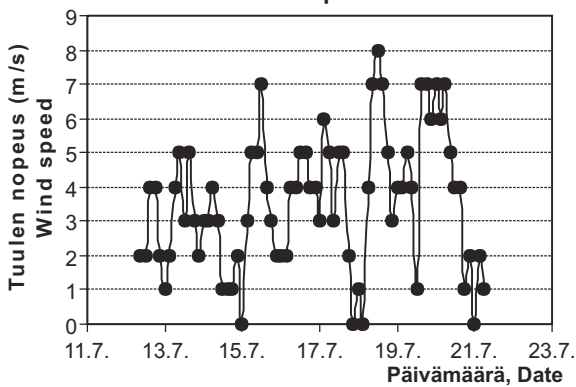
Lämpötilaprofiilit Inarin Paksuvuonossa 11.7.-10.8.1983
Temperature profile in Inari at Paksuvuono 11.7.-10.8.1983



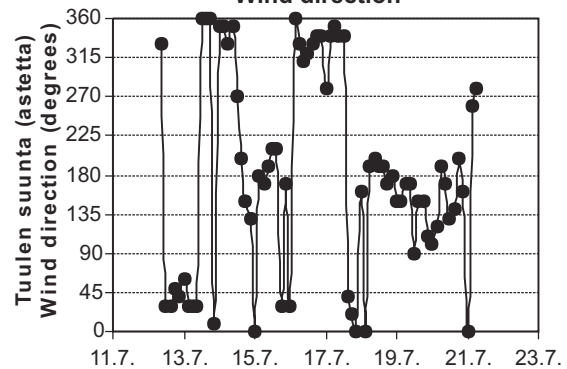
Ilman lämpötila, Air temperature 11.7-10.8.1983



Tuulen nopeus 11.7.-21.7.1983
Wind speed



Tuulen suunta 11.7. -21.7.1983
Wind direction



Kuva 35. Veden lämpötilakerrostuneisuuden muutokset Inarin Paksuvuonossa sekä ilman lämpötila- ja tuulitiedot Ivalon lentokentällä heinä-elokuussa 1983.

Figure 35. Changes of temperature stratification in Inari at Paksuvuono deep, and air temperature and wind data from Ivalo airport in July-August in 1983.

lämpötiloja kuin edellisellä luotaukserällä, mutta pinnan lämpötilat ovat hiukan laskeneet. Seuraava lämpötilaluotaus on tehty 10.8 ja tällöin vesi on jälleen kerrostunut. Pinnasta 17 metriin saakka lämpötila on 13 °C tuntumassa. Harppauskerros sijaitsee 17...18 metrissä. Alusveden lämpötila on 6...8 °C. Ilman vuorokauden keskilämpötilan käyrästä nähdään, että 12.-18.7 lämpötilat ovat alempia kuin 11. päivä heinäkuuta. Heinäkuun 23. päivä vuorokauden keskilämpötila on 17 °C, ja tästä kuun vaihteeseen saakka vuorokausikeskiarvot ovat pienempiä. Ajanjakson alin ilman lämpötilan vuorokausikeskiarvo on 9 °C 1. elokuuta. Tästä eteenpäin lämpötilat ovat korkeampia, ja ajanjakson vuorokauden keskilämpötilan maksimi on yli 18 °C. Jaksolla 11.-15. heinäkuuta tuulen nopeus vaihtelee välillä 1...5 ms⁻¹ ja suuntana on aluksi koillinen ja pohjoinen. Tästä seuraavat kaksi päivää tuulee 2...6 ms⁻¹ aluksi etelän puolelta ja sitten pohjois-luoteesta. Tuulen nopeuden maksimi 8 ms⁻¹ saavutetaan 18.7. ja seuraavat pari päivää tuulen nopeus pysyy välillä 4...7 ms⁻¹. Heinäkuun 18.-21. päivä tuulen suuntana on eteläkaakko. Näyttäisi siis siltä, että pohjoisen puoleinen ja kovempi eteläkaakon puoleinen tuuli on sekoittanut vesimassan. Myös tässä Inarin tapauksessa huomataan, että sekoittumisen jälkeisessä lämpötilakerrostuneisuudessa harppauskerros on syvemmällä, pintavesi viileämpää ja alusvesi lämpimämpää kuin ennen sekoittumista.

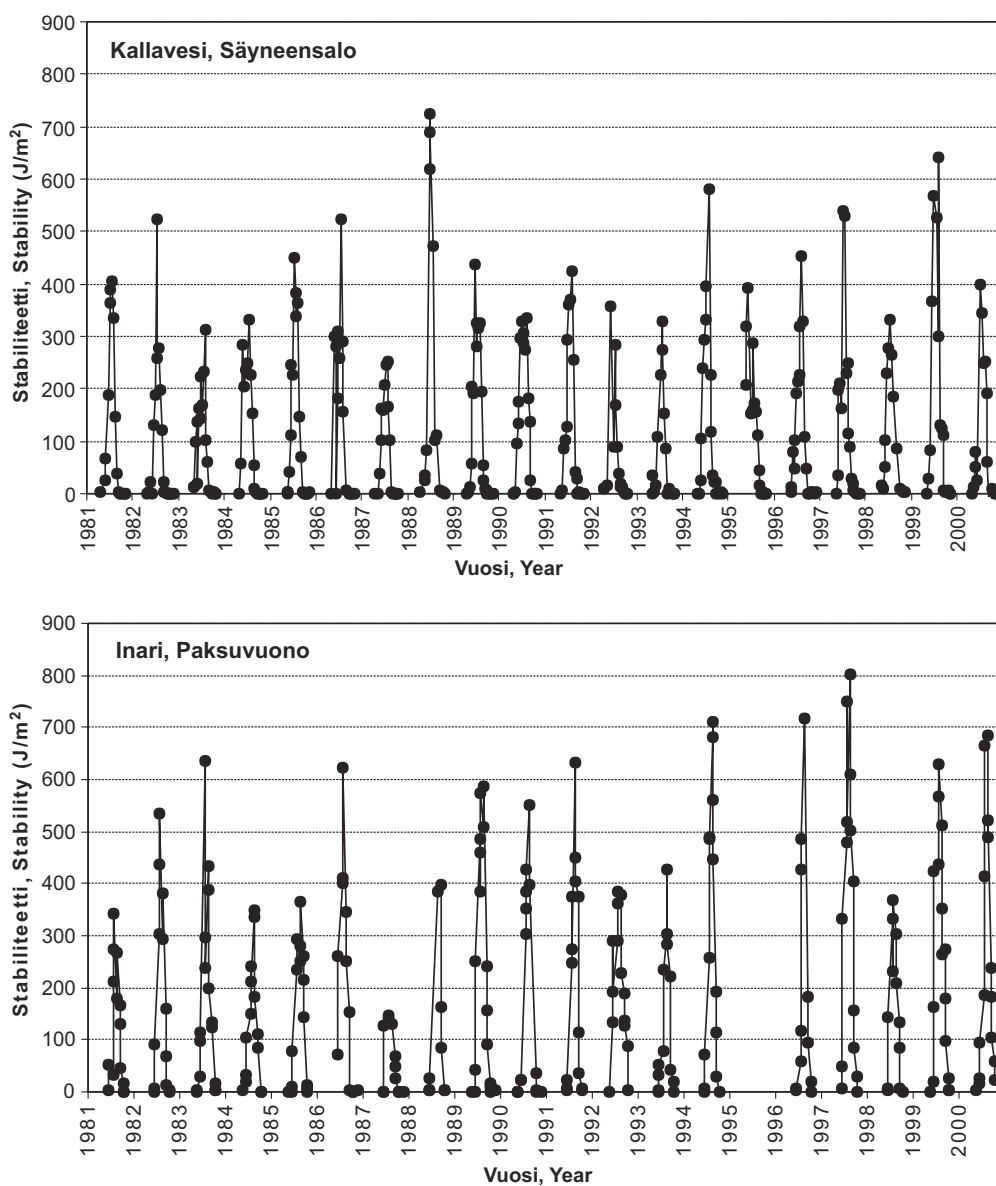
5.2.4 Stabiliateetti ja järven lämpömäärä

Kallaveden ja Inarin stabiliateetit ja lämpömäärät pinta-alaa kohden laskettiin jaksolla 1981-2000 havaintopaikkoja vastaaville edustaville alueille, jotka määriteltiin kappaleessa 2.2.2. Lisäksi suuret laskettiin syvänehavaintoja vastaavalle 44 metrin syvyysselle laatikkoaltaalle, eli ainoastaan havaintopaikan vesipatsaalle. Näin voidaan verrata mittauksien stabiliateetteja ja lämpömääriä suoraan toisiinsa. Laskennassa käytettiin emeritusprofessori Juhani Virralta saatua ohjelmaa, joka laskee stabiliateetin alaa kohden kappaleessa 3.1.4 määriteltyjen kaavojen mukaisesti. Talvelle stabiliateetilaskelmaa ei voida tehdä ihan samoin kuin kesälle, koska tiheyden virhe kasvaa suureksi alle neljän asteen lämpötiloissa. Toisekseen tilanne on talvella sinänsä eri, kun jääkansi estää tuulen vaikutuksen. Talville lämpömäärä on pelkän veden lämpömäärä, jätää ei ole huomioitu. Talvelle luvut ovat siis suuntaantavia tiheyden laskentavirheen takia.

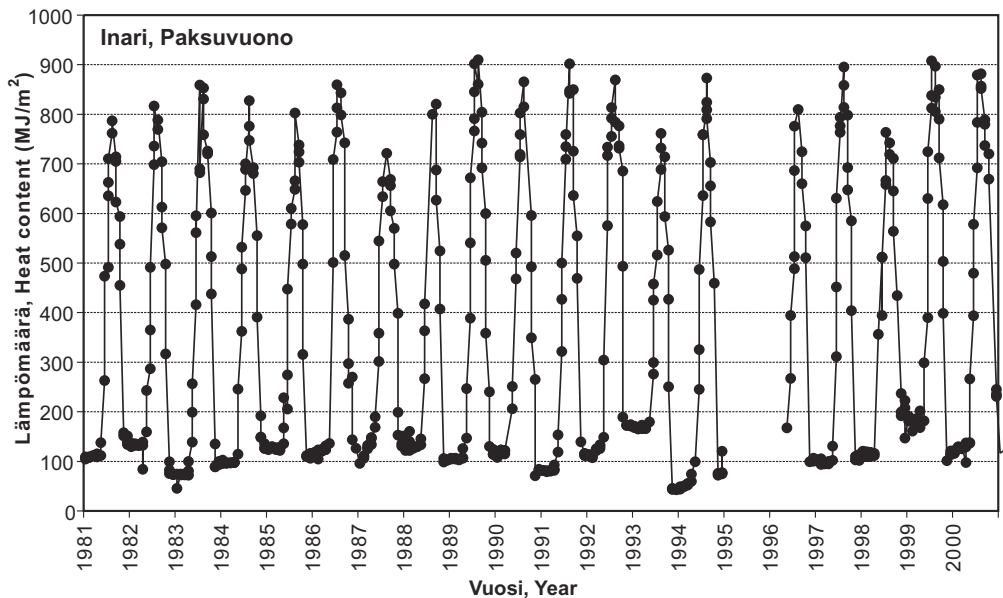
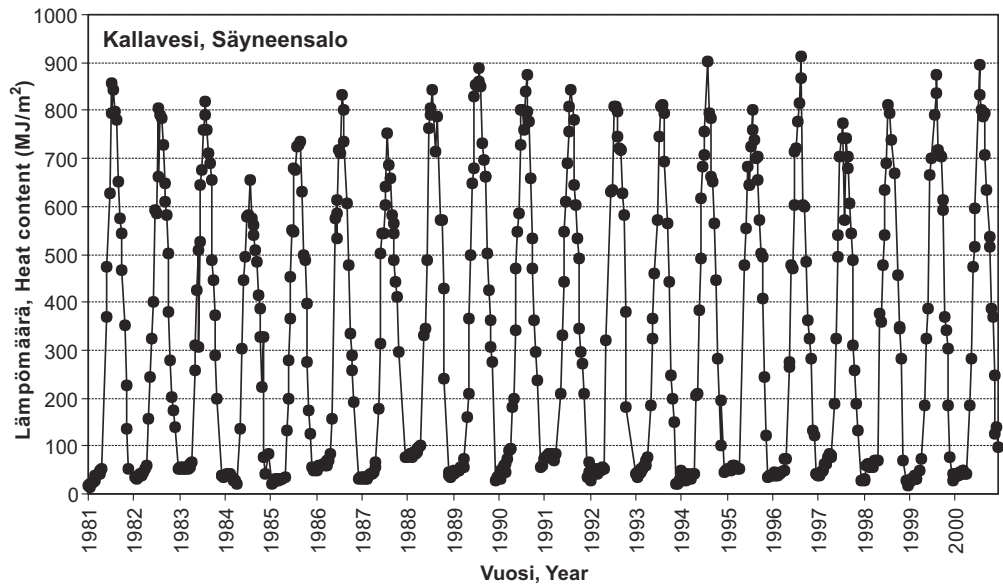
Havaintoja tehdään noin kymmenen päivän välein, joten tälle välille voi hyvinkin sattua paikallisia stabiliateetin tai lämpömäärän maksimeja tai minimejä. Todellisuudessa kesän maksimistabiliateetit ja -lämpömäärät voivat siis olla korkeampia ja talven minimilämpömäärät voivat olla todellisuudessa hieman pienempiä.

Kallaveden ja Inarin stabiliateetit ja lämpömäärät on esitetty kuvissa 36 ja 37. Kallaveden Säyneensalon luotauksia edustavalla alueella stabiliateetti vaihteli täysin sekoittuneen tilanteen nollasta kesän reiluun 700 Jm⁻². Keskimäärin kesän maksimistabiliateetti vaihteli välillä 300...500 Jm⁻². Vain yhtenä kesänä ylitettiin 700 Jm⁻² ja kylmimpänä kesänä 1987 stabiliateetti oli korkeimmillaan vain 250 Jm⁻². Kesän maksimistabiliateetin ajankohta sattui yleensä heinäkuun 20. ja elokuun 20. päivän välille. Lämpömäärät vaihtelivat talven muutamasta kymmenestä megajoulestanieliötä kohden kesän jopa 900 MJm⁻²:een. Kesän maksimilämpömäärät vaihtelivat 650...900 MJm⁻². Kesän maksimilämpömäärän ajankohta osui yleensä heinäkuun 20. ja elokuun 20. päivän välille. Talven minimilämpömäärän ajankohta sattui useimmiten joulukuun puolenvälin ja lopun välille, mutta ei aina. Kallaveden keskimääräinen vuotuinen maksimi- ja minimilämpömäärän välinen erotus edustavalle alueelle oli vajaa 800 MJm⁻² ja pienimmillään erotus oli 640 MJm⁻² ja suurimmillaan vajaa 900 MJm⁻².

Inarin Paksuvuonon luotauksia edustavalla alueella stabiliteetti vaihteli syksyn ja kevään täysin sekoittuneen tilanteen nolasta kesän jopa 800 Jm^{-2} . Yleisesti kesän maksimistabiliteetti vaihteli välillä $350 \dots 650 \text{ Jm}^{-2}$. Kolmena kesänä ylitettiin 700 Jm^{-2} raja ja vuoden 1987 kylmänä ja tuulisena kesänä stabiliteetti oli vain 150 Jm^{-2} . Useina vuosina kerrostuneisuus heikkeni hieman kesän keskellä ja stabiliteetin arvo laski vesimassan sekoituttua. Kesän maksimistabiliteetin ajankohta sijoittui yleensä heinäkuun lopun ja elokuun 20. päivän välille. Lämpömäärät Inarin Paksuvuonon alueella vaihtelevat keskimäärin $100 \dots 800 \text{ MJm}^{-2}$. Kylmimpänä talvena lämpömäärä on ollut 50 MJm^{-2} ja maksimissaan neljänä kesänä 800 MJm^{-2} tai hieman yli. Myös maksimilämpömäärän ajankohta sijoittui heinäkuun lopun ja elokuun 20. päivän välille. Talven minimilämpömäärän ajankohta vaihteli suuresti eri vuosien välillä. Inarin keskimääräinen vuotuinen maksimi- ja minimilämpömäärän välinen erotus on edustavalle alueelle oli reilut 740 MJm^{-2} ja pienimmillään erotus oli 600 MJm^{-2} ja suurimmillaan 830 MJm^{-2} .



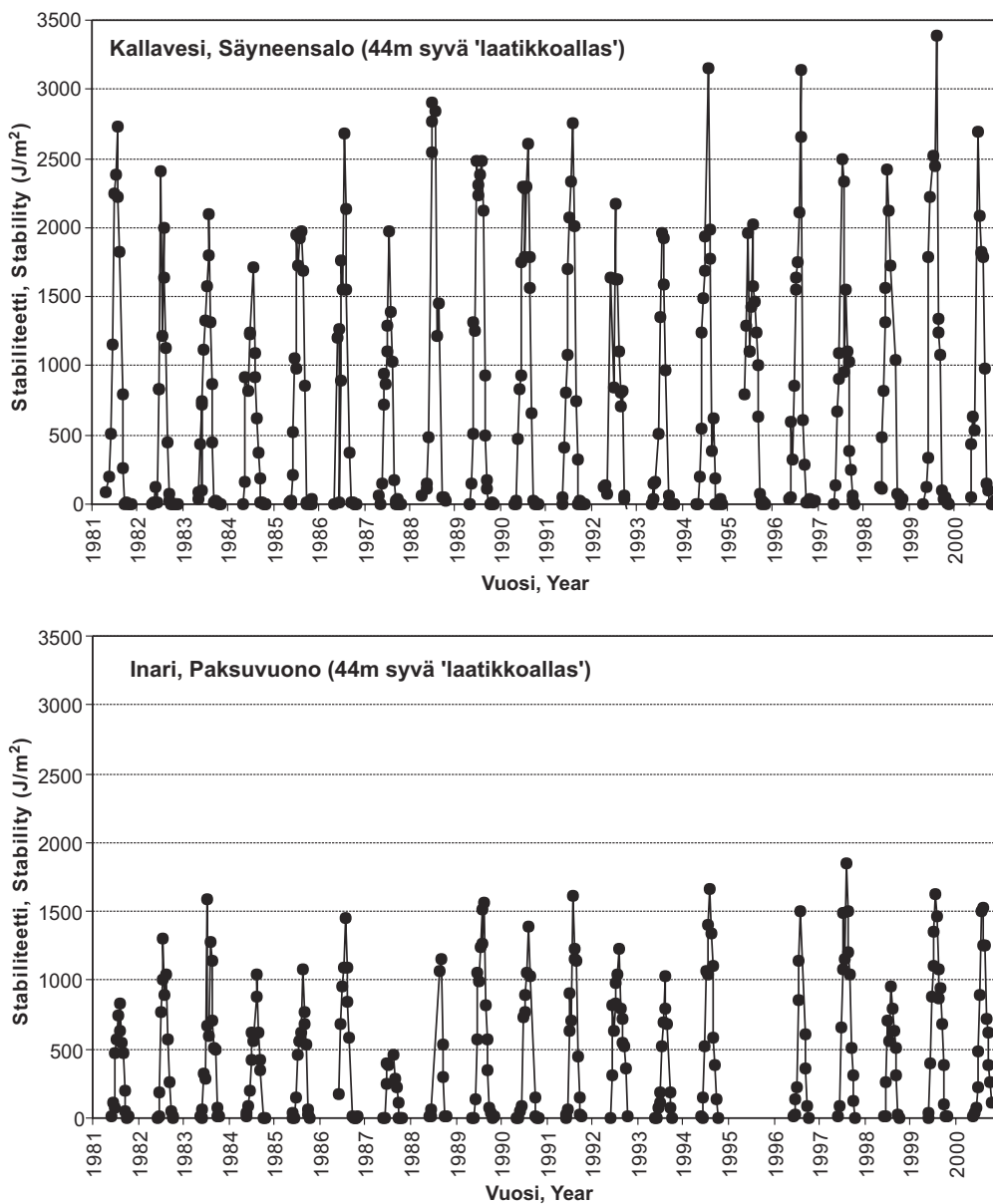
Kuva 36. Stabiliteetti Kallaveden ja Inarin syvänteitä edustavilla alueilla 1981-2000.
 Figure 36. Stability of the representative area in Kallavesi and Inari during the period 1981-2000.



Kuva 37. Veden lämpö määrä Kallaveden ja Inarin syvänteitä edustavilla alueilla 1981-2000.
 Figure 37. Heat content of water of the representative area in Kallavesi and Inari during the period 1981-2000.

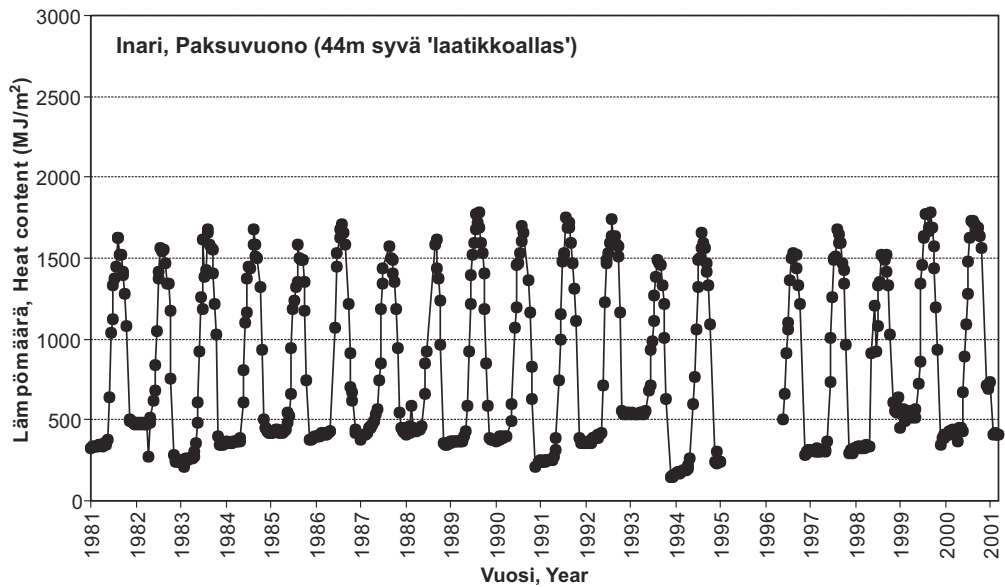
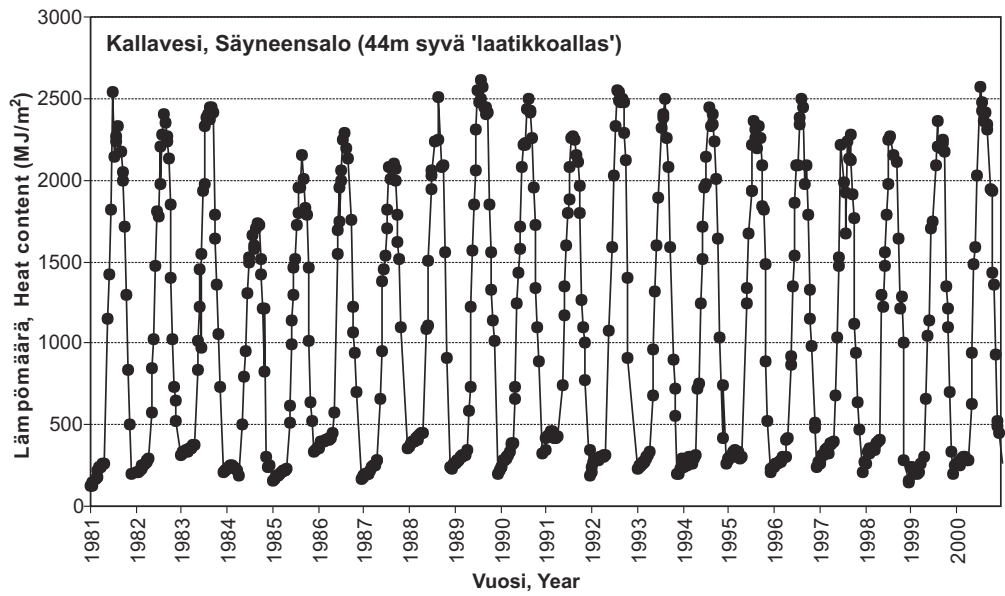
Kallaveden ja Inarin stabiliteetit ja lämpö määrät laskettiin myös yhdenmuotoisille 44 metriä syville laatikkoalustoille eli ainoastaan havaintopaikkaa vastaavalle vesipatsaalle. Tällöin tulosten erot johtuvat ainoastaan lämpötilajakauman eroista (kuvat 38 ja 39). Stabiliteetit ja lämpö määrät ovat näissä laskelmissa huomattavasti suurempia, johtuen suuresta syvyydestä. Inarissa maksimistabiliteetti on hieman yli 1800 Jm⁻² ja Kallavedelle yli 3400 Jm⁻². Kesän maksimistabiliteetit vaihtelevat Inarilla 400...1800 Jm⁻² ja Kallavedellä 1700...3400 Jm⁻². Keskimääräiset maksimit ovat Inarilla noin 1400 Jm⁻² ja Kallavedelle noin 2500 Jm⁻². Huomataan siis, että Kallavesi on kesällä paljon voimakkaammin kerrostunut kuin Inari. Lämpö määrät olivat keskimäärin Inarissa talvella 400 MJm⁻² ja kesällä 1600 MJm⁻². Maksimi- ja minimilämpö määräiden vuotuiset erotukset olivat Inarissa keskimäärin 1320 MJm⁻², pienimmillään 950 MJm⁻² ja suurimmillaan yli 1500 MJm⁻². Kallavedellä lämpö mää-

rät olivat talvella keskimäärin 250 MJm^{-2} ja kesällä 2300 MJm^{-2} . Maksimi- ja minimilämpömaarien vuotuiset erotukset olivat Kallavedellä keskimäärin 2100 MJm^{-2} , pienimmillään 1550 MJm^{-2} ja suurimmillaan 2400 MJm^{-2} . Kallavesi on kesällä luonnollisesti lämpimämpi kuin Inari eteläisemmän sijaintinsa takia, mutta talvella Inarin vedet ovat lämpimämpiä kuin Kallaveden. Pohjoisen järvien talvinen lämpimyyden huomattu myös aiemmissa järvien lämpötilaprofiilin tutkimuksissa (Simojoki 1956; Kuusisto 1981b) sekä Ruotsin järvien lämpöluotauksista (Eklund 1998). Asia johtunee siitä, että Lapissa, pohjoisemmalla ilmastovyöhykkeellä jääpeite tulee aiemmin, eikä vesimassa ehdi jäähtyä niin pitkään kuin etelämpänä. Myös havaintopaikan avoimuudella voi olla merkitystä (Kuusisto 1981b). Avoimella ulapalla tuuli pääsee sekoittamaan vesimassaa tehokkaammin kuin suojaisessa havaintopaikassa. Kuvassa 40 on esitetty Kallaveden ja Inarin keskimääräiset lämpömaarat talvikausina jääpeitteen aikaan.

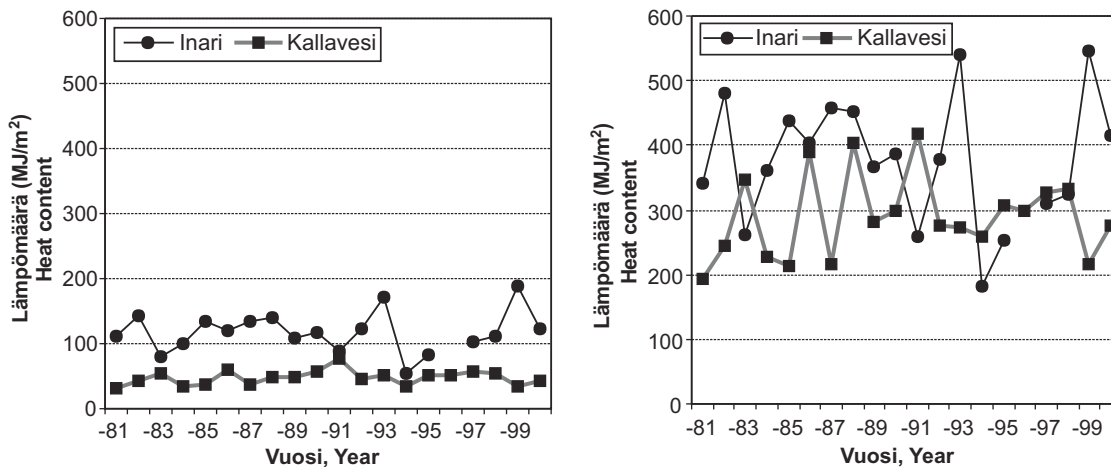


Kuva 38. Stabiiliteetti Kallavedellä ja Inarissa 44 metrin syvyisille vesipatsaille jaksolla 1981-2000.

Figure 38. Stability of a 44 meters deep water column in Kallavesi and Inari during the period 1981-2000.



Kuva 39. Veden lämpömäärä Kallavedellä ja Inarissa 44 metrin syvyisille vesipatsaille jaksolla 1981-2000.
 Figure 39. Heat content of a 44 meters deep water column in Kallavesi and Inari during the period 1981-2000.



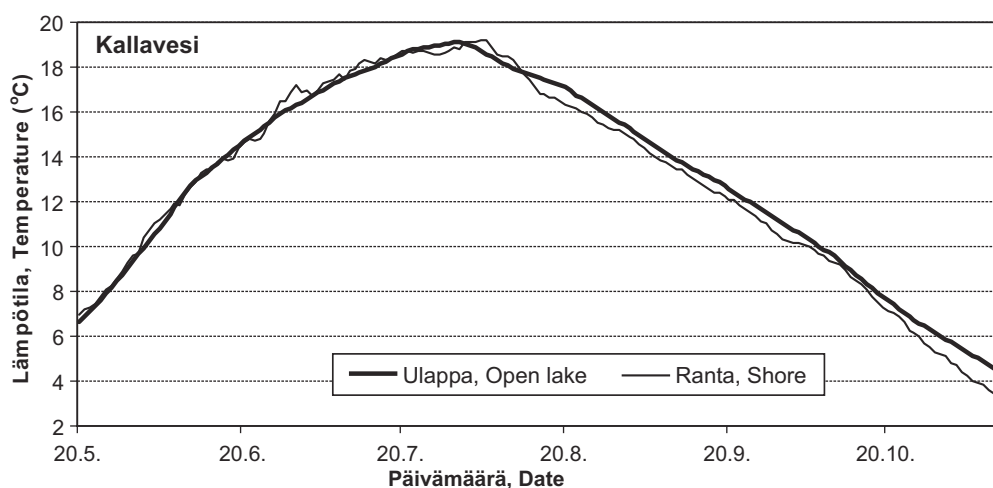
Kuva 40. Kallaveden ja Inarin keskimääräisen lämpö määrän jääpeiteaikana jaksolla 1981-2000. Vasemman puoleisessa kuvassa on esitetty vaihtelut edustaville alueille ja oikean puoleisessa samansyvyisille vesipatsaille. Figure 40. Average heat content of water in wintertime in Kallavesi and Inari during the period 1981-2000. To the left is presented the heat content of the representative area, and to the right, the heat content of 44 meter water column.

5.3 Järven pintalämpötilojen alueellinen vaihtelu

Koska pintaveden lämpötila-, luotaus- ja satelliittimittaukset tehdään eri vuorokaudenaikoina, eivät ne ole suoraan vertailukelpoisia keskenään. Lämpömittarilla tehdyt mittaukset ovat pistemittauksia, ja satelliittihavainnot suuren alueen keskiarvoja. Kuitenkin niistä voi arvioida järven ajallisia ja paikallisia lämpötilavaihtelun suuruusluokkia.

Kallavedellä lämpötilaluotauksia on suoritettu enimmäkseen iltapäivisin, joten mittaukset eivät ole ajallisesti vertailtavissa rannassa klo 8 tehtyjen mittausten kanssa. Kuten kappaleessa 5.1.1 todettiin, pintaveden lämpötilan maksimi saavutetaan iltapäivällä ja minimi aikaisin aamulla. Kallavedellä (kuva 41) ei näy kovin suurta eroa ulappa- ja rantamittausten välillä, koska ulapan pintavesi on ehtinyt lämmetä päivän aikana suunnilleen samoihin lukemiin kuin rannan pintavesi on ollut aamulla. Näin siis alkukesällä ulapan pintaveden lämpötila on iltapäivällä suunnilleen sama kuin rannassa aamulla klo 8. Elokuun alussa vedet ovat yhtä lämpimiä. Elokuun alusta eteenpäin ulapan pintavesi on iltapäivällä keskimäärin 0,5 °C lämpimämpää kuin rannan pintavesi aamuisin.

Inarilla lämpötilaluotaukset tehdään aamupäivisin. Näin ollen rannan ja syvänteiden pintaveden lämpötilan mittaukset ovat ajallisesti vertailukelpoisia. Kuvassa 42 on esitetty rannan ja ulapan pintaveden lämpötilojen keskimääräinen kulku jaksolla 1981-2000. Rannan mittaukset tehdään päivittäin, joten kuvaajassa on nähtävissä pientä satunnaisvaihtelua. Ulapan mittaukset on tehty kymmenen päivän välein, ja välipäivät on interpoloitu, ja tästä johtuen käyrä on niin tasainen. Alkukesällä rannan pintavesi on keskimäärin 2...4 °C lämpimämpää kuin ulapan pintavesi. Rannan ja ulapan pintavedet ovat saman lämpöisiä keskimäärin syyskuun alussa. Tästä eteenpäin ulapan vesi jäähtyy hitaammin, ja lokakuun alussa ulapan pintavesi on keskimäärin 2...3 °C lämpimämpää kuin rannan pintavesi. On huomattava lisäksi se, että rannan mittaukset tehdään suojaisassa ja matalassa Nellimövuonossa ja ulapan mittaukset syvässä ja virtaavassa Paksuvuonossa.

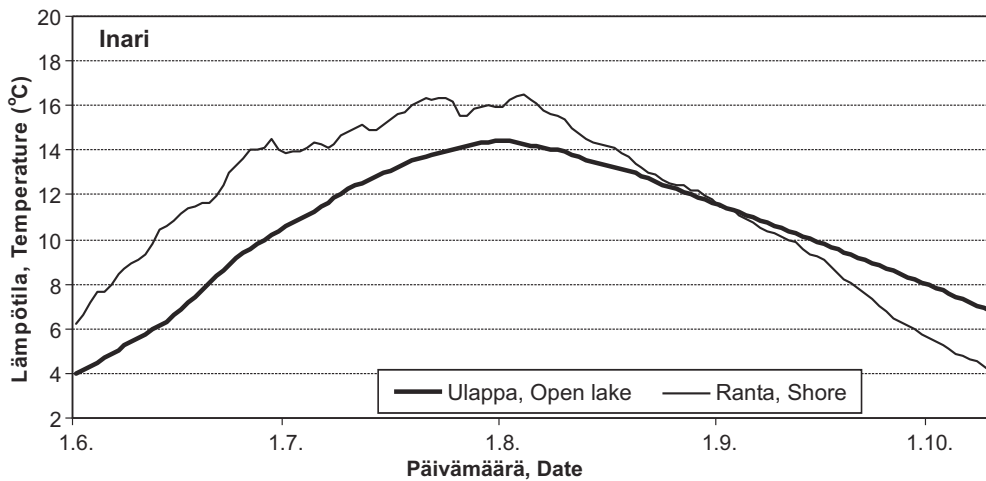


Kuva 41. Rannan ja ulapan pintaveden lämpötilojen keskimääräinen kulku Kallavedellä jaksolla 1981-2000. Ulapan mittaukset on tehty iltapäivisin, kun taas rannan mittaukset aamuisin. Ulapalla mittauksia on tehty kuun 10., 20. ja 30. päivä, ja näiden päivien välillä olevat arvot on saatu interpoloimalla.

Figure 41. The average course of surface water temperature near the shore and in the open lake area of Kallavesi during the period 1981-2000. The open lake temperature is measured in the afternoon, while the temperature near the shore is measured in the morning. The open lake temperature is measured every tenth day and the values between them have been obtained by interpolation.

Satelliittimittauksista pystyttiin tarkastelemaan ainoastaan suuria järviä, koska yhden lämpötilapikselin resoluutio on noin yksi neliökilometri. Suurin osa Suomen järvistä on hyvin saarisia, ja tämä aiheuttaa virhettä satelliitin mittamaan pintalämpötilaan. Satelliittikuvan pikselin lämpötila-arvo vastaa ison alueen keskiarvoa, eikä arvo ole kovin tarkka. Tässä tehdyssä järven alueellisen pintalämpötilan vertailussa on tyydytty määrittämään lämpötilan vaihteluväli asteen tarkkuudella. Ymmärrettävästi lämpötilan alueellinen vaihteluväli on suurin isoille järville kuten Inari, Oulujärvi, Pielinen, Päijänne ja Saimaa ja pienempi pienemmille järville kuten Säkylän Pyhäjärvi ja Lappajärvi. (Kovin pieniä järviä ei pystytä edes tarkastelemaan.) Rannat lämpenevät alkukesästä ensimmäisenä ja ulapat vasta myöhemmin. Millään Suomen järvellä ei ole nähtävissä keväiseen lämpenemiseen liittyvää selvää 'thermal bar' -ilmiötä niin kuin Laatokalla. Inarilla oli usein havaittavissa lounais-koillisuuntainen lämpötilajakauma. Järven lounaisnurkassa pintaveden lämpötila oli korkeampi kuin koillispuolella. Yleensä kaikilla järville rannat lämpenevät keväällä ensin ja syksyllä ulapat olivat rantoja lämpimämpiä. Keskipäivällä tuulet aiheuttivat toisinaan lämpimän veden pakkautumista toiseen päähän ja kylmemmän veden kumpuamista toisessa päässä järveä. Pienissä ja matalissa järvissä alueelliset vaihtelut olivat melko pieniä koko kesän. Taulukossa 9 on esitetty keskimääräiset pintalämpötilan vaihteluvälit eri järvissä. Mittauksia on sekä aamuilta että iltapäiviltä. Minimiarvot on mitattu yleensä aamulla ja maksimiarvot iltapäivällä. Koska kaikilta järviltä ei ole saatu tietoja samoihin aikoihin, ei arvoja voi absoluuttisesti vertailla keskenään. Lämpötilat antavat kuitenkin suuntaa, missä lukemissa ulapan pintalämpötilat liikkuvat eri kuukausina.

Koska luotauspaikat eivät olleet tarpeeksi suurilla ulapoilla satelliitin resoluutioon verrattuna, ei satelliittilämpötilahavaintoja ja pistemittauksia voinut verrata keskenään. Muutamia mittauksia kuitenkin verrattiin erojen suuruusluokan hahmottamiseksi. Erojen suuruusluokaksi saatiin useita asteita kumpaankin suuntaan riippuen ajankohdasta. Keskimäärin satelliittimittaukset näyttivät asteen vähemmän kuin paikan päällä mitatut lämpötilat.



Kuva 42. Rannan ja ulapan pintaveden lämpötilojen keskiarvot Inarissa jaksolla 1981-2000. Ulapalla mittauksia on tehty kuun 10., 20. ja 30. päivä, ja näiden päivien välillä olevat havainnot on interpoloitu.

Figure 42. The average course of surface water temperature near the shore and in the open lake area in Inari during the period 1981-2000. The open lake temperature is measured every tenth day and the values between them have been obtained by interpolation.

Taulukko 9. Keskimääräiset järven pintaveden lämpötilan vaihteluvälit (°C) kesä-syyskuussa Pielisellä, Kallavedellä, Saimaalla, Päijänteellä, Säkyän Pyhäjärvellä, Lappajärvellä, Oulujärvellä ja Inarilla kesinä 2000 ja 2001. Toukokuun havainnot koskevat vain loppukuuta. Minimit mitattiin yleensä aamulla ja maksimit iltapäivällä.

Table 9. The average spatial range of surface water temperatures in May-September in some lakes: Pielinen, Kallavesi, Saimaa, Päijänne, Pyhäjärvi in Säkyä, Lappajärvi, Oulujärvi, and Inari. The temperatures were measured by satellite in the summers 2000 and 2001. The minima were usually measured in the morning and the maxima in the afternoon.

(°C)	Pielinen	Kallavesi	Saimaa	Päijänne	Säkyä	Lappajärvi	Oulujärvi	Inari
V	-	3...13	-	5...13	7...13	6...11	-	-
VI	7...18	12...20	7...19	11...19	11...19	13...20	7...18	2...16
VII	15...21	16...21	15...23	15...21	18...22	15...21	15...20	9...18
VIII	13...17	15...18	14...20	15...19	15...20	15...18	13...17	10...17
IX	8...15	8...16	-	-	-	-	-	-

5.4 Järven koon, sijainnin ja vedenlaadun vaikutus lämpötilaan

Veden lämpötilahavaintopaikan maantieteellisellä sijainnilla on luonnollisesti selvä vaikutus veden lämpötilaan auringon lyhytaaltoisen säteilymäärän kautta. Koska pohjoisemmassa säteilyä tulee maahan vähemmän, se lämmittää myös ilmaa ja vettä vähemmän. Toisaalta mikroilmastolliset seikat, kuten havaintojärven katveisuus, tuulisuus ym. vaikuttavat paljon asiaan. Tuulelta suojaisa pieni järvi kerrostuu selkeästi. Tällöin järven pintalämpötilat voivat kohota hyvinkin korkeiksi, jos tuulet eivät pääse sekoittamaan vettä. Jos puut varjostavat havaintopaikkaa auringonsäteilyltä, jäävät lämpötilat hieman alhaisemmiksi kuin varjottomalla alueella. Mantereellisyydellä ja merellisyydellä on myös vaikutusta. Merellisen ilmastoin ilman lämpötilojen vuosivaihtelut ovat pienempiä kuin mantereisen. Suomessa Itämeren läheisyys viilentää keväällä ja lämmittää syksyllä rannikkoalueilla.

Suuren ja syvän järven vesi lämpenee keväällä hitaammin kuin pienen ja matalan, mutta lämpövarastonsa takia suurempi järvi jäähtyy syksyllä hitaammin kuin pieni. Myös vedenlaadulla on hieman merkitystä lämpötilaan. Vedenlaatuun vaikuttaa merkittävästi valuma-alueen laatu eli alue, josta vedet kerääntyvät järveen. Vedenlaatu on luonnostaan erilainen savimailla (rannikkoalue), hiekka- ja kalliomailla (Järvi- ja Pohjois-Suomi) tai suoperäisillä alueilla (Itä- ja Pohjois-Suomi) sijaitsevilla järvissä. Tummempi, samea ja humuspitoinen vesi absorboi auringon- ja lämpösäteilyä enemmän kuin kirkas vesi. Kirkas vesi toisaalta läpäisee auringonsäteilyä syvemmälle, ja näin ei pääse syntymään niin selvää harppauskerrosta kuin tummemmassa vedessä. Kirkkaan veden loivasta ja syvästä harppauskerroksesta on esimerkkinä Inari, jossa näkösyvyys on hyvinkin suuri, jopa 10 metriä.

5.5 Ilmastonmuutos ja vesistöjen lämpötilat

On tunnettua, että ilmasto on vaihdellut suuresti koko maapallon olemassaolon ajan. Ilmastonvaihtelun syitä on sekä hitaita että lyhyempiä (Houghton 1994). Pitempiäaikaiset vaihtelut johtuvat esimerkiksi mantereiden liikkumisesta, ilmakehän koostumuksen vaihteluista ja maan rataparametrien vaihtelusta. Lyhyemmän aikaskaalan vaihtelut johtuvat merien ja ilmakehän vuorovaikutuksesta, tulivuoritoiminnasta, auringon kirkkauden vaihtelusta ja ihmiskunnan toiminnasta. Ihmiskunnan toiminnasta johtuvana vaikutuksena tunnetuin on hiilidioksidipitoisuuden nousu. Viime aikoina ilmastonmuutos on ollut paljon esillä, ja asiaa on tutkittu ja mallinnettu paljon. Kun puhutaan ilmastonmuutoksesta useimmiten tarkoitetaan juuri ihmisten aiheuttamaa muutosta.

Tässä työssä analysoitiin Suomen ympäristökeskuksen valtakunnallisia pintaveden lämpötilahavaintosarjoja ja niiden mahdollisia trendejä. Havaintosarjat ovat ilmastonmuutos-mittakaavassa suhteellisen lyhyitä, keskimäärin 40 vuotta, ja pisin 80 vuotta (Lauritsala). Ilmastonmuutoksesta johtuva lämpötilojen nousu on hyvin pientä, suuruusluokaltaan asteen kymmenyksiä kymmentä vuotta kohden, ja näin ollen tilastolliset merkitsevyystarkastelut ovat hyvin tärkeitä. Vaikka lämpötilat ovat kohonneet hieman ajan myötä, ainoastaan Saimaan Lauritsalan lämpötilahavainnoissa oli tilastollisesti merkitsevää suuntausta lämpenemiseen usean eri muuttujan osalta. Lisäksi Lappajärven havainnoissa oli merkitsevää positiivista trendiä maksimilämpötiloissa. Lappajärven kohdalla on havaittavissa 0,048 °C:een ($P < 0,05$ t-testi, 2-puol.) trendi vuotta kohden kesän maksimilämpötiloissa ja Saimaan Lauritsalan kesän maksimilämpötiloissa 0,014 °C:een ($P < 0,05$ t-testi, 1-puol.) trendi vuotta kohden koko havaintojaksolle. Rantaveden rehevöityminen ja kasvittuminen sekä jätevesien määrän kasvu Etelä-Saimaalla että Lappajärvellä on saattanut vaikuttaa lämpenemiseen.

1990-luvun tehdyssä laajassa Suomalaisessa ilmakehänmuutosten tutkimusohjelmassa, SILMUssa (Arvola ym. 1996), arvioitiin etenkin Etelä-Suomen vesistöjen pintavesien lämpenevän ilmastonmuutoksen myötä vuodesta 1990 vuoteen 2050 mennessä 1...2 °C. Erityisesti maksimit tulevat nousemaan merkittävästi. Samassa tutkimuksessa arvioitiin pintaveden keskilämpötilojen nousevan joillakin Etelä-Suomen järvillä jopa 5 °C. Yhden...kahden asteen lämpeneminen 60 vuodessa tarkoittaa 0,01...0,03 °C:n nousua vuotta kohden ja viiden asteen nousu puolestaan jopa 0,08 °C lämpötilan nousua vuodessa. SILMU-tutkimuksen mukaan veden lämpötilojen muutokset kohdistuvat avovesikaudella sekä pintakerrokseen, kerrostuneisuuteen että alusveteen. Monet pienet Etelä-Suomen järvet sekoittuvat nykyilmastossa kokonaan vain syksyllä. Ilmaston lämmitessä ja jäänlähdön aikaistuu syntyy normaali kevättäyskierto näilläkin järvillä. On ennustettu, että

suuremmilla Etelä-Suomen järvillä kesäkerrostuneisuus aikaistuu muutamilla viikoilla. Pohjois-Suomessa aikaistuminen on vähäisempää. Kesäkerrostuneisuuskausi pitenee, koska syyskierto siirtyy myöhemmäksi. Siirtymä näyttäisi olevan noin kolme viikkoa koko maassa. Yleisesti näyttäisi siltä, että järvet kerrostuvat edelleen lämpenevässä ilmastossa. Kuitenkin Etelä-Suomen suurilla järvillä, jossa alusveden tilavuus on nykyilmastossa pieni, tuuli sekoittaa joinakin kesinä järven useita kertoja (Huttula ym. 1992). Merkittävää on myös se, että päällysveden keskilämpötila nousee lähes yhtä paljon kuin ilman lämpötila.

5.6 Veden lämpötilan yhteydet ekologiaan

Veden lämpötilalla on suuri merkitys vesistöjen kemiaan ja biologiaan ja tätä kautta eri eliöihin. Jokaisella lajilla on kasvulle sopivat optimivaatimukset. Toiset lajit suosivat lämmintä ja toiset kylmää vettä. Ilmastonmuutoksen myötä vesistöjen lämpötilojen odotetaan nousevan nykyisestään, ja lämmintä vettä suosivat lajit tulevat menestymään tulevaisuudessa kylmiä vesiä suosivia paremmin. Jos vesistöjen lämpötilat nousevat huomattavasti, tietyt viileän veden lajit tulevat katoamaan. Vesistöjen lämpenemisen seuraukset olisivat huomattavimmat rantavyöhykkeellä. Vesimassan lämpötilakerrostuneisuudella on merkitystä happitilanteeseen ja tätä kautta eri eliölajeihin. Kylmässä vedessä hapen liukoisuus on huomattavasti parempi kuin lämpimässä. Kylmässä vedessä hapenkulutus on pienempää kuin lämpimässä. Myös veden viskositeetti riippuu lämpötilasta. Lämpimämmässä vedessä viskositeetti on pienempi, ja eliöiden liikkuminen on nopeampaa. Viskositeetilla on erityisesti merkitystä keijustolle. Viskositeetin takia lämpimämmässä vedessä sedimentoituu enemmän ainesta kuin kylmässä.

Litoraalialueella lämpötilan nousun muutokset tulevat koskemaan lähinnä suuria vesikasveja. Jos ilman lämpötila nousisi 2...3 °C, kasvukausi pitenisi keväällä ja syksyllä muutamia viikkoja sekä pintavesi lämpenisi keskimäärin 1...1,5 °C. Suurten vesikasvien tuotanto kiihtyisi siten, että kahden kasvukauden jälkeen biomassaa olisi lähes kolminkertainen (Arvola ym. 1996). Biomassan lisäys lisää hapenkulutusta ekosysteemissä ja happitilanne huononee. Lisäksi lämpimämmässä vedessä hapenliukoisuus on pienempi. Ilmastonmuutos voi johtaa litoraaliekosysteemin tuottavuuden kasvuun ja koko vesiekosysteemin rehevöitymiseen. Lisääntynyt rehevyys taas nostaa veden lämpötiloja, koska tummempi vesi absorboi enemmän auringonsäteilyä.

Ulappa-alueilla ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat selvästi pienempiä kuin litoraalissa. Ulappa-alueilla olennaista ovat jää-, lämpö-, ja kerrostuneisuusolojen muutokset, jotka riippuvat pinta-alasta ja syvyysuhteista. Etenkin kerrostuneisuusolojen muutoksella on suuri ekologinen vaikutus. Lämpimämmässä ilmastossa lumenpaksuus jäällä tulisi olemaan nykyistä pienempi, ja näin ollen säteilyä pääsisi tunkeutumaan enemmän jään läpi. Tämä lisäisi mahdollisesti joidenkin levien kasvua keväisin (Elo ym. 1998).

5.6.1 Sinilevät

Kesäisin sinilevien runsastuminen herättää paljon huomiota sekä sisävesillä että Itämerellä. Sinilevien ryhmään kuuluu useita myrkyllisiä lajeja, joten niistä voi olla haittaa sekä ihmisille että eläimille. Sinilevät alkavat lisääntyä keväällä ja kasvavat vielä alkukesällä hitaasti. Niiden maksimiaika on heinäkuun lopusta pitkälle syyskuuhun säistä riippuen. Jos syksy jatkuu leutona, sinilevät pystyvät lisääntymään jopa melko vähäisessäkin valaistuksessa.

Sinilevien esiintymiseen vaikuttavat valo ja ravinteet, etenkin fosfori, ja lisäksi sääolosuhteilla on merkitystä. Sateet huuhtovat pintavaluntana lisäravinteita veteen. Kun tuuli sekoittaa vettä, pohjaan kerääntyneitä ravinteita liukenee veteen ja sinilevät lisääntyvät. Jos tuulista sääjaksoa seuraa lämmin ja tyyni sää, sinilevät saattavat nousta laajoina lauttoina vedenpinnalle. Kukinnan jälkeisellä tuulisella säällä levät sen sijaan sekoittuvat tasaisesti syvempiin vähävaloisiin vesikerroksiin, eikä sinilevien massaesiintymää eli kukintaa ole enää havaittavissa.

Ilmaston lämpenemisen myötä vesistöjen lämpötilat nousevat myös pohjan läheisissä vesikerroksissa. Tämä saattaa aiheuttaa hapettomuutta ja ravinteiden vapautumista pohjasedimenteistä. Todennäköisyys, että sinileväkukinnat lisääntyvät kasvaa. Levät yhteyttävät ja lisääntyvät tehokkaammin lämpimässä vedessä verrattuna kylmään veteen. On kuitenkin huomattava, että käytävissä olevat ravinnemäärät vaikuttavat sinileväesiintymien muodostumiseen ja laajuuteen. Leväkukinnat eivät siis välttämättä tule huomattavasti lisääntymään, vaikka veden lämpötilat nousisivat muutamia asteita, mikäli vesiin kohdistuva kuormitus saadaan vesiensuojelutoimenpitein pidettyä alhaisena. Suuri merkitys on kuitenkin vesien pohjasedimentteihin aikojen kuluessa kertyneillä ravinnemäärillä. Ravinteita saattaa vapautua lämpenemisen seurauksena levien käyttöön.

Järvet eri puolella Suomea ovat erilaisia. Sinilevät ovat erityisesti rehevien, ravinnepitoisten vesien eliöitä. Järviä, joissa fosforia on runsaasti verrattuna tyypeen, löytyy rannikkoalueiden savikkoalueilta. Tuusulanjärvi on tyypillinen esimerkki Etelä-Suomen rehevöityneestä järvestä, jossa esiintyy laajoja, toistuvia leväkukintoja. Sen sijaan Keski-, Itä- ja Pohjois-Suomen järvet ovat pääosin karuja, eikä niissä yleensä ole sinileväesiintymiä.

5.6.2 Kalat

Myös kalojen kannalta veden lämpötila on tärkeä tekijä. Kullakin lajilla on omat ympäristövaatimukset sekä lämpötilan että vedenlaadun suhteen. Suomalaiset kalat voidaan jakaa kylmän ja lämpimän veden suosijoihin (Arvola ym. 1996). Kylmän veden kaloihin kuuluvat mm. lohikalat ja made, lämpimämmässä vedessä viihtyvät särkikalat ja kuha. Osalla lajeista lämpötilan sietokyky on laaja (ahven, särki ja hauki), mutta varsinkin nuoruusiässä niiden on todettu suosivan lämmintä vettä. Korkea lämpötila nopeuttaa aineenvaihduntaa ja kasvattaa ravinnontarvetta. Korkea lämpötila kalan ensimmäisenä kesänä edistää kuhan, ahvenen, särjen, lahnan ja hauen voimakkaiden vuosiluokkien syntymistä. Korkean lämpötilan on todettu lisäävän kuhan kasvunopeutta ja vuosiluokkien vahvuutta ja runsautta (Lappalainen 2001). Lisäksi korkea lämpötila lisää poikasten määrää ja alentaa sukukypsyyssikää. Useimmat kalat kutevat melko kapealla lämpötila-alueella. Kuha esimerkiksi aloittaa kudun, kun lämpötila on 12...15 °C. Ilmaston lämmitessä on mahdollista, että kuha voi levitä jopa koko maan alueella (Lehtonen ja Lappalainen 1996). Veden lämpötilan muutokset voivat muuttaa kalojen kutuajankohtaa ja vaikuttaa mädin kehittymisnopeuteen. Poikaset kuoriutuvat, kun tietty lämpösumma on kertynyt hautoutumisen aikana. Lämpötilan äkillinen nousu tuhoaa mätimunat. Liian lämpimässä vedessä poikaset voivat kuoriutua ennen kuin niiden tärkeintä ravintoa, eläinplanktonia, on kehittynyt tarpeeksi.

Vaikka jotkin kalat hyötyvät lämpimästä veden vuosista, toisille ne voivat aiheuttaa jopa kannan katoamisen. Jokaisella lajilla on oma optimilämpötila, jossa kasvu ja viihtyminen ovat parhaimmillaan. Veden lämpötilan ylittäessä kalojen optimilämpötilan kalat pyrkivät vähentämään uimista ja ravinnonottoa. Pitempiaikainen korkeille lämpötiloille altistuminen aiheuttaa kaloille stressiä ja altistaa ne taudeille. Kalojen immuunijärjestelmä on tehokkaimmillaan vedessä, jonka läm-

pötila on noin 15°C (Svobodá ym. 1993). Lämpötilan ylittäessä stressirajan tulee vastaan letaalilämpötila, jossa kala ei selviä enää hengissä. Kalat kestävät huonosti nopeita lämpötilanmuutoksia. Poikaset ovat herkempiä kuin aikuiset, ja niille nopeat 1,5...3 °C muutokset ovat haitallisia. Nopeat lämpötilan muutokset voivat lamauttaa hengityksen ja sydänlihaksen toiminnan sekä pysäyttää ruuansulatuksen (Svobodá ym. 1993).

Tulevaisuuden lämpimämmässä ilmastossa veden lämpötila tulee ylittämään 1...2 kuukauden ajan siian stressirajan ja muutamina päivinä kesässä veden lämpötila ylittää ahvenen, lahnan ja särjen stressirajan. Lämpötilat eivät tule ylittämään kuhan ja lahnan stressirajaa lämpimämmässä ilmastossa. Monet kylmässä viihtyvät arvokalat (lohi, forelli, nieriä ja siika) tulevat kärsimään lämpenemisestä (Lehtonen ja Lappalainen 1996).

5.6.3 Vesipatsaan stabiliteetin vaikutukset ekologiaan

Järven lämpötilakerrostuneisuudella, ja näin myös suurella stabiliteetilla on erityisesti merkitystä pienissä humuspitoisissa metsäjärvisissä (Bowling ja Salonen 1990). Suuri stabiliteetti antaa melkoisen vastuksen tuulen aiheuttamaan sekoittumiseen kesällä. Pinnan kerrostuneisuus vahvistuu tummissa vesissä suuren auringonsäteilyn absorption johdosta (Jones ja Arvola 1984). Myös ympäröivien metsien katveisuus ja topografia vaikuttavat tuulelta suojaavasti. Kun tuuli ei pääse sekoittamaan järveä vahvan lämpötilakerrostuneisuuden johdosta, alusvesi muodostuu helposti hapettomaksi. Kun päällysveden ja hapettoman alusveden sekoittuminen on rajoitettua, alusveden eliöt kärsivät ja saattavat kuolla hapenpuutteeseen ja toisaalta päällysveden eliöt kärsivät ravinteiden puutteesta. Voimakas kerrostuneisuus rajoittaa myös ravinteiden kulkeutumista päällysveden ja alusveden välillä. Vahva kerrostuneisuus helpottaa sinileväesiintymän muodostumista, jos päällysvedessä on ravinteita oikeassa suhteessa. Järven syyskierrolla on suuri merkitys talven hapetilanteen muodostumiseen. Jos ilmasto lämpenee ja järvien jääpeiteaika lyhenee, paranevat talviset happiolot järvisissä (Elo ym. 1998).

5.7 Aikasarjojen luotettavuus, homogeenisuus ja havaintopaikkojen edustavuus

Aikasarja-analyysissä on tärkeää tarkastella ovatko havaintosarjat homogeenisia ja luotettavia. Havaintopaikan, -ajan tai -tavan muutos tekee aikasarjasta epähomogeenisen. Toisaalta havaintopaikan läheisyydessä voi tapahtua muutoksia vaikka havaintopaikka tai -tapa itse ei muuttuisi. Lisäksi on tärkeää arvioida edustavatko havainnot lähialuetta yleisesti vai ainoastaan yksittäistä havaintopaikkaa. Jos havaintosarjojen homogeenisuutta, luotettavuutta ja edustavuutta ei tarkastella, voidaan päätyä väärin johtopäätöksiin väärin perustein.

5.7.1 Pintaveden lämpötila

Tässä työssä tarkasteltujen kahdeksan pintaveden lämpötilahavaintoaseman havainnot on käyty läpi tarkasti ennen tulosten analysointia. Havaintosarjan tekemistä virheitä ei kuitenkaan ole voitu poistaa. Tällaisia virheitä voivat olla esim. lämpömittarivika, väärinkirjattu lukema, väärässä paikassa tai väärään aikaan tehty havainto. Havainnot tulisi tehdä annettujen ohjeiden mukaan, jolloin kaikkien tekemät havainnot olisivat toisiinsa vertailukelpoisia. Kuitenkaan havainto-ohjeet eivät ole olleet yksikäsitteisiä kaikilla asemilla koko havaintoaikaa.

On mahdollista, että havaitsijat eivät ole aina tehneet havaintoja ohjeiden mukaan aamukahdeksalta. Tällöin saman havaintopaikankaan eri päivinä eri aikaan tehdyt havainnot eivät ole vertailukelpoisia. Jos havaitsija on vaihtunut, on havaintoaikakin voinut vaihtua. Havaintoajankohdan yhtenäisyydellä on suurta merkitystä etenkin erilaisia trendejä arvioitaessa. Aamulla tai iltapäivällä mitatun rannan pintaveden lämpötilan ero voi olla jopa useita asteita. Kevojärvellä havainnot ei ole tehty aamulla klo 8, vaan vaihtelevasti puolenpäivän maissa (ainakin 1980-luvulta alkaen). Koska Kevojärvi sijaitsee niin pohjoisessa ja se on läpivirtausjärvi, ei lämpötilan vaihtelu vuorokauden sisällä ole niin suurta kuin esimerkiksi Etelä-Suomen pienissä järvissä. Muilla havaintopaikoilla havainnot on tehty oletettavasti aamulla.

Aiemmin mittaukset tehtiin siten, että vettä otettiin ämpäriin kauempaa järveltä ja lämpötila mitattiin siinä, kun taas nykyisin lämpötila mitataan suoraan rantavedestä. Ämpärimittauksissa lämpötilaan vaikuttivat ämpäriin lämpötila, ja veden lämpötila ehti kenties muuttua alkuperäisestä. On siis mahdollista, että havaintotavan muuttuminen vaikuttaa havaintosarjan homogeenisuuteen. Inarin kesän maksimilämpötilojen aikasarjassa (kuva 14) on nähtävissä selvä muutos maksimien vuotuisessa vaihtelussa 1970-luvun alussa. Tämä voi johtua mittaustavan muutoksesta.

Mittausvälineistö on kehittynyt siitä, mitä se oli havaintojen alkaessa vuosisadan alussa. Havaintojaksojen alkuaikoina mittaukset tehtiin elohopealämpömittareilla, nykyisin digitaalisilla lämpömittareilla. Nykyisten mittareiden mittaustarkkuus on parempi kuin entisaikojen, mutta silti nykyisin käytettävien mittareiden tarkkuus on vain 0,25 °C. Pisimpien aikasarjojen alkuaikojen havainnot eivät ole täysin vertailukelpoisia nykyisiin, sillä noin 1950-luvulle saakka (Lauritsala 1943, Säviä 1953 saakka) lämpötilaa mitattiin asteen tarkkuudella. Tällöin mitatut arvot voivat todellisuudessa olla jopa puoli astetta liian suurina tai pieninä. Keskiarvoja laskettaessa sillä ei ole niin suurta merkitystä, mutta tietyn rajalämpötilan ylityksiä laskettaessa on. Asteen tarkkuudella mitattaessa rajalämpötilan ylityspäiviä tulee todellista määrää enemmän. Koska ilmaston mahdolliseen lämpenemiseen viittaavat trendit ovat hyvin pieniä, asteen kymmenyksiä kymmentä vuotta kohden, on mittausvirheillä ja mittaustarkkuudella suuri merkitys.

Joidenkin havaintopaikkojen ympäristö on muuttunut joko ihmisten toimesta tai luonnollisista syistä aikojen saatossa. Tämä asia saattaa vaikuttaa joissakin tapauksissa myös veden lämpötilan kehitykseen. Vesirakentaminen tai ruoppaus, joka muuttaa havaintopaikan virtausoloja vääristää aikasarjoja. Aikasarja ei ole homogeeninen, jos havaintopaikan katveisuus, kasvillisuus tai vedenkorkeus muuttuu huomattavasti. Aikasarjan homogeenisuuden selvittäminen voi olla vaikeaa, jos tietoja ei ole merkitty selkeästi ylös ja asiasta tietäviä henkilöitä ei ole enää tavoitettavissa. Toisekseen paikkojen arviointi on hankalaa, kun tutkimuksen tekijä ei ole edes koskaan käynyt havaintopaikalla. Monilla tarkasteltavista havaintopaikoista on tapahtunut muutoksia ihmisten toimesta havaintojakson aikana. Selkein näistä paikoista on Pielaveden Säviä. Havaintopaikan olosuhteet muuttuivat 1970-luvulla kun viereen rakennettiin uusi kanava. Kanava on laskeutunut vedenkorkeutta, ja näin myös luultavasti muuttanut virtauksia. Myös Saimaan ja Lappajärven alueella on rakennettu havaintojakson aikana. Lauritsalassa havaintopaikan lähellä on tehty Saimaan kanavan laajennustöitä ja Lappajärven havaintopaikan lähelle on kaivettu kanava lahdesta jokeen. Lauritsalan havaintopaikan läheinen lahti on täytetty Saimaan kanavasta kaivetulla maalla ja samoin uitto paikan edustalla on saattanut vaikuttaa veden lämpötiloihin 1940-1960-luvuilla (Laasanen 1980). Muilla havaintopaikoilla ei tiettävästi ole tapahtunut suuria muutoksia havaintopaikan ympäristössä.

Havaintopaikkojen edustavuutta käsiteltiin jo paikkojen esittelyn yhteydessä. Kuten siellä mainittiin, monet pintaveden lämpötilahavaintopaikat sijaitsevat vedenkorkeushavaintopaikkojen yhteydessä paikoissa, jotka ovat suotuisia vedenkorkeushavainnoille. Nämä suojaisat paikat eivät kuitenkaan välttämättä anna keskimääräistä kuvaa lämpötilan vaihteluista kyseisessä järvässä. Inarin havaintopaikka on hyvin suojaisassa lahdessa, ja niinpä siellä mitatut lämpötilat ovat huomattavasti korkeampia kuin aukeammissa lahdissa Inarissa (Peltonen ym. 2000). Mikään muu tarkasteltavista havaintopaikoista ei ole näin selkeästi suojaisassa liian suojaisassa paikassa.

5.7.2 Syvänveden lämpötila

Syvänveden lämpötilaluotauksissa itse mittaustapa aiheuttaa hieman virhettä lämpötiloihin. Kun lämpömittaria lasketaan tai nostetaan vedessä, vesimassa sekoittuu hieman ylempien ja alempien kerrosten välillä. Näin ollen luotaamalla ei saada mitattua aivan tarkasti harppauskerroksen sijaintia ja luotausprofiileihin saattaa muodostua keinotekoisia lämpötila-anomaliaita. Mittauspaikat ovat oletettavasti pysyneet koko ajan samoina ja syvännemittausten tapauksessa ei pienellä havaintopaikan siirtymisellä ole merkitystä, jos kuitenkin mitataan samasta syvännelästä.

Syvänveden lämpötila-aikasarjat ovat osittain epähomogeenisia mittausajankohdan vaihtelun takia. Syvänveden lämpötilaluotauksille ei ole määrätty tiettyä kiinteää havaintoaikaa, vaan mittauksia tehdään eri aikaan päivästä havaintopaikasta riippuen. Kuten kappaleessa 5.1.1 todettiin pintaveden lämpötilalla on vuorokautinen kulku. Pintaveden minimi saavutetaan yleensä varhain aamulla ja maksimi myöhään iltapäivällä. Maksimin ja minimin erotus on usein yli 1 °C vuorokaudessa, joten eri päivän aikaan tehtyjen luotauksen pintakerrosten lämpötiloissa voi olla suuriakin eroja.

Syvänveden lämpötilaluotauksia tehdään vain kolme kertaa kuussa. Vuotuisen lämpötilan kulun havainnollistamiseksi havainnot interpoloitiin havaintokerrosten väliltä. Todellisuudessa lämpötila on vaihdellut luotauksen välillä huomattavasti ja näin paikallisia minimeitä ja maksimeitä voi jäädä väliltä huomioimatta. Todelliset keskimääräiset maksimit ovat siis hieman korkeampia kuin havainnoista lasketut. Syksyn ja kevään jäätyksen ja jäänlähdon ajalta havainnot ovat useilta vuosilta puutteellisia, joten näiltä ajankohdilta lämpötilan keskimääräinen kulku on jokseenkin epävarma. Syksyn ja kevään täyskiertojen ajankohdat ja kestot saattavat siis todellisuudessa olla hieman erilaiset.

6

Johtopäätökset

Vesistöjen lämpötilat avovesikaudella riippuvat pääosin säästä. Tärkeimmät veden lämpötilaan vaikuttavat tekijät ovat ilman lämpötila ja auringon säteily. Kuten kappaleen 5.1.3 korrelaatioanalyysillä todettiin, ilman lämpötila selittää suuren osan veden lämpötilan kulusta. Tuulella on merkitystä veden sekoittumiseen, joten tuulisuus vaikuttaa myös veden lämpötilan vaihteluihin. Lisäksi havaintopaikan paikalliset tekijät vaikuttavat oleellisesti veden lämpötilaan ja erityisesti sen vaihteluun. Veden lämpötila noudattaa vuorokausirytmää. Kuten ilman lämpötilankin, veden lämpötilan vuorokausiamplitudi riippuu pilvisyydestä. Pilvisellä säällä vuorokauden sisäiset vaihtelut ovat huomattavasti pienempiä kuin selkeällä säällä.

Järven pintaveden lämpötiloissa voi olla suuria alueellisia vaihteluita riippuen järven koosta ja syvyydestä. Lämpötilaerot rannan ja ulapan pintaveden välillä ovat suurimpia keväisin ja syksyisin. Keväällä rantavedet lämpenevät nopeammin kuin ulapan vesi. Syksyllä ulapan lämpötila on korkeampi kuin rantaveden, koska matalat rannat jäähtyvät syvempiä osia nopeammin.

Monet tässä työssä tarkastellut havaintopaikat sijaitsevat suurissa tai keskikokoisissa järvissä. Pienissä järvissä lämpötilan kulku on hieman erilainen ja maksimilämpötilat ovat korkeampia. Keväisin pienet järvet lämpenevät suurempia nopeammin, mutta toisaalta myös jäähtyvät suuria järviä nopeammin sekä jäätyvät aiemmin syksyllä. Lähekkäin sijaitsevat ja samankokoiset järvet käyttäytyvät lämpötilan kulultaan melko samalla lailla, jos paikalliset sään vaihtelut eivät eroa paljon toisistaan. Havaintopaikan ja -järven ominaispiirteet (virtaukset, rannan suojaisuus, veden väri ym.) vaikuttavat lämpötilan kulkuun.

Vesistöt alkavat lämpenemään heti jäiden lähdön jälkeen. Jäiden lähtö ajoittuu Etelä-Suomessa toukokuun alkuun, Keski-Suomessa jäät lähtevät toukokuun aikana ja Lapissa viimeistään kesäkuun aikana. Pintaveden lämpötilan vuosittainen vaihtelu on suurinta alkukesästä. Jaksolla 1961-2000 Saimaan Lauritsalassa pintaveden lämpötilan lukemat vaihtelivat kesäkuun 1. päivä välillä 10...18 °C, Lappajärvellä 7...19 °C, Kallavedellä, Pielisellä ja Pielavedellä 7...18 °C, Tornionjossa 5...14 °C, Inarissa 1...13 °C ja Kevojärvellä 1...16 °C.

Havaintopaikan sijainnilla on suuri merkitys lämpötilan vaihteluväliin. Hyvin sekoittuvassa vedessä vaihtelu on pientä. Eri vuosien väliseen lämpötilan vaihteluun on merkitystä myös sillä kuinka syvää vesi on havaintopaikalla. Matalassa paikassa vaihtelu on suurempaa kuin syvemmässä. Tarkastelluista havaintopaikoista Saimaan Lauritsalassa lämpötilan eri vuosien välinen vaihtelu oli pienin. Suurimmat lämpötilan vaihtelut olivat Pielisellä ja Tornionjoella. Saimaan havaintopaikalla veden syvyys on puolitoistametriä, kun taas Pielisellä ja Tornionjoella muutamia kymmeniä senttejä. Pielisen alkukesän suuren vaihteluvälin selityksenä lienee myös järven ominaisheilahtelu, joka aiheuttaa etenkin keväisin kylmän alusveden kumpuamista päällysveteen. Tornionjoki, Kevojärvi ja Pielaveden kanava ovat virtaavia paikkoja. Näissä paikoissa vaihteluvälin olettaisi olevan sekoittumisen takia pieni. Tällaisissa paikoissa virtaukset voivat kuitenkin tuoda havaintopaikalle muualta kylmempää tai lämpimämpää vettä. Advektion takia virtaavien paikkojen vaihteluväli on melko sama koko kesän ajan, kun taas heikosti sekoittuvilla järvihavaintopaikoilla vaihtelu pienenee selvästi loppukesää kohti.

Etelä- ja Keski-Suomen suurissa järvissä heinäkuun keskilämpötilat ovat 18...20 °C ja Lapin vesistöissä 13...16 °C. Pintaveden maksimilämpötila saavutetaan keskimäärin heinäkuun lopulla. Etelä- ja Keski-Suomen suurten järvien keskimääräinen maksimilämpötila on 21...22 °C ja Lapissa 17...19 °C. Saimaan Lauritsalassa veden lämpötila ylittää 20 °C keskimäärin 17 päivänä kesässä, Lappajärvellä, Kallavedellä, Pielavedellä ja Pielisellä noin 10 päivänä kesässä. Tornionjoen vesi on yli 20-asteista muutaman päivän kesässä. Inarissa ja Kevojärvellä vesi ei yleensä ylitä 20 °C koko kesänä. Vesistöjen jäähtyminen tapahtuu melko tasaisesti, johtuen veden suuresta lämpökapasiteetista. Virtaavat paikat jäähtyvät nopeammin kuin suuren lämpövaraston sisältävät järvet. Syyskuun keskimääräinen jäähtymisnopeus pintavesissä on noin 0,2 °Cd⁻¹. Syyskuun lopussa pintaveden lämpötila on keskimäärin Saimaalla 11 °C, Kallavedellä 10 °C, Lappajärvessä ja Pielisellä 9 °C, Tornionjoessa 4 °C, Kevojärvellä 6 °C ja Inarissa 5 °C.

Tarkasteltavina oleville havaintopaikoille laskettiin kesän maksimilämpötilan toistuvuudet Gumbelin jakaumaa käyttäen. Lappajärven Halkosaassa 23 °C ylittyy keskimäärin kerran neljässä vuodessa, Kallavedellä Kuopiossa ja Nurmeksessa Pielisellä kerran kuudessa vuodessa, Saimaan Lauritsalassa ja Pielaveden Säviällä joka yhdeksäs vuosi. Tornionjoen Kukkolankoskessa 23 °C ylittyy keskimäärin kerran 11 vuodessa, Inarin Nellimissä kerran 35 vuodessa ja Kevojärvellä kerran sadassa vuodessa. Saimaan Lauritsalassa maksimilämpötilat eivät ole olleet kovin korkeita, ja tästä johtuen toistumisaika on melko pitkä eteläiseen sijaintiin nähden. Tämä viittaisi siihen, että Saimaan Lauritsalassa rantavesi sekoittuu koko ajan kohtalaisesti, eikä erittäin lämmintä pintakerrosta pääse syntymään. Saimaan Lauritsalan havaintopaikalla veden syvyys on yli metrin suurempi kuin Lappajärvellä.

Pintaveden lämpötiloissa on havaittavissa lämpötilojen olleen hieman korkeampia jaksolla 1991-2000 kuin jaksolla 1961-2000 Etelä- ja Keski-Suomen havaintopaikoilla. Veden hellepäivien lukumäärä oli 1990-luvulla korkeampi kuin jaksolla 1961-1990 kaikilla muilla paikoilla, paitsi pohjoisen havaintopaikoilla Tornionjoella, Kevojärvellä ja Inarissa. Kesäkuun keskilämpötilat olivat 1990-luvulla korkeampia Pielisellä, Kallavedellä ja Saimaalla. Heinäkuun keskilämpötilat olivat korkeampia muilla havaintopaikoilla, paitsi Pielisellä, Lappajärvellä ja Kevojärvellä. 1990-luvulla elokuut olivat lämpimämpiä kuin jaksolla 1961-1990 kaikilla tarkastelluilla havaintopaikoilla. Näistä kaikista lämpenemistrendeistä ainoastaan Saimaan Lauritsalan lämpötilojen nousu (useiden eri muuttujien osalta) ja Lappajärven maksimilämpötilojen nousu olivat tilastollisesti merkitseviä. Syynä voi olla ilmastonmuutoksen aiheuttama veden lämpeneminen, mutta myös paikallisilla muutoksilla voi olla osuutta asiaan. On hyvinkin mahdollista, että Etelä-Saimaan ja Lappajärven rehevöityminen on aiheuttanut veden lämpötilojen nousun. Kasvittuneella rannalla veden vaihtuminen on heikompaa. Lisäksi vesi, jonka näkösyvyys on pienentynyt ja on näin ollen tummempaa, absorboi enemmän auringonsäteilyä kuin kirkkaampi vesi ja näin rantavesi lämpenee enemmän.

Koko järven vesimassa lämpenee pääosin pinnan kautta, koska advektio ja lämpövuoto veden ja sedimentin välillä ovat yleensä vähäisiä. Kallaveden Säyneensalossa koko vesimassan kevään tiheysmaksimi saavutetaan toukokuun puolessa välissä. Pintaveden lämpötilan maksimi, keskimäärin 19 °C, saavutetaan heinäkuun lopussa. Pohjan läheisen veden maksimilämpötila, hieman yli 10 °C, saavutetaan vasta syyskuun lopulla. Harppauskerros alenee keskimäärin melko tasaisesti koko kesän ajan. Syyskuun puolessa välissä harppauskerros on syventynyt keskimäärin 20 metriin. Syyshomogeenisuusaika alkaa Kallavedellä lokakuun alussa ja kestää noin 1,5 kuukautta. Jääpeiteaikana vallitsee käänteinen kerrostuneisuus, jolloin pinnan läheisen veden lämpötila on keskimäärin lähellä nollaa astetta ja pohjan lähellä veden lämpötila on keskimäärin 2,5 °C.

Inarin Paksuvuonossa koko vesimassa on tiheysmaksimissaan keskimäärin touko-kesäkuun vaihteessa. Ulatan pintaveden lämpötilan maksimi, keskimäärin reilut 14 °C, saavutetaan elokuun alussa. Syvemmällä maksimi siirtyy myöhemmäksi siten, että pohjan maksimi, keskimäärin 6,5 °C, saavutetaan vasta lokakuun alkupuolella, juuri ennen syyshomogeenisuuden alkamista. Inarissa ei muodostu jyrkkää harppauskerrosta veden kirkkaudesta johtuen. Harppauskerros alkaa syvetä heinäkuun lopussa. Syyskuun puolella välissä harppauskerros on keskimäärin 25 metrissä. Syyshomogeenisuus aika kestää noin 2 viikkoa. Talven käänteinen kerrostuneisuus kestää yleensä marraskuusta toukokuuhun. Tällöin pintavesi on keskimäärin 0,4 °C ja pohjan läheinen vesi 3,5 °C. Talvella eri vuosien välinen lämpötilan vaihtelu eri syvyyksillä on pientä. Suurinta lämpötilan vuotuinen vaihtelu on keväällä jäiden lähdettyä. Inarissa veden lämpötilat ovat talvella hieman korkeampia kuin Kallavedellä. Tämä johtunee siitä, että pohjoisessa talvi tulee nopeammin kuin etelässä, ja vesimassa ei ehdi jäähtyä kovin viileäksi ennen jäiden tuloa. Asiaan vaikuttaa myös tuulisuuden maantieteelliset erot. Syksyiset tuulen nopeudet ovat Inarissa alhaisempia kuin Kuopiossa. Avovesikauden tuulen nopeuden kuukausikeskiarvon maksimi ajoittuu Etelä- ja Keski-Suomessa lokakuulle ja Pohjois-Suomessa kesäkuulle.

Lämpötilaluotauksista laskettiin stabiliteetti ja vesimassan lämpömäärä pinta-alayksikköä kohden. Stabiliteetti kertoo kuinka kerrostunutta vesi on tiheyden (lämpötilan) suhteen. Täysin sekoittuneen vesimassan stabiliteetti on nolla. Stabiliteetilla ja niin myös lämpötilakerrostuneisuudella on merkitystä järven biologialle. Suurella stabiliteetilla harppauskerros on selvä ja voimakas. Tällöin alusveden ja päällysveden välinen veden vaihtuminen on pientä. Tällä on merkitystä eliöiden ravinteiden ja hapen saantiin. Stabiliteetit laskettiin Inarin Paksuvuonon ja Kallaveden Säyneensalon havainnoista. Sekä Inari että Kallavesi ovat suuria ja rikkonaisia järviä, eivätkä luotaukset edusta koko järven lämpöoloja. Tämän vuoksi stabiliteettia ei siksi voitu laskea koko järvelle, vaan luotauksia edustavan alueen rajauksessa päädyttiin 10 metrin kynnyssyvyyteen. Lisäksi stabiliteetit laskettiin ainoastaan luotauspaikan vesipatsaalle. Edustavan alueen kesän maksimistabiliteetit vaihtelivat eri vuosien välillä useita satoja jouleja neliötä kohden.

Inarissa kesän maksimistabiliteetti oli pienimmillään 150 Jm⁻² viileänä ja tuulisenä kesänä ja maksimissaan 800 Jm⁻² lämpimänä ja tyynenä kesänä. Kallavedellä kesän maksimistabiliteetti oli minimissään vajaan 300 Jm⁻² ja maksimissaan reilut 700 Jm⁻². Kevään ja syksyn täysin sekoittuneen tilanteen stabiliteetit olivat luonnollisesti nollan lähetyillä. Vastaavasti pelkän luotauspaikan stabiliteetit vaihtelivat Inarissa välillä 500...1800 Jm⁻² ja Kallavedellä välillä 1700...3400 Jm⁻². Näin ollen Kallaveden syvänteen vesipatsas on huomattavasti voimakkaammin kerrostunut kuin Inarin. Lämpömäärän laskennassa otettiin huomioon ainoastaan veden lämpömäärä, jäätä ei ole laskettu mukaan. Inarissa edustavan alueen lämpömäärä vaihteli talvella välillä 50...200 MJm⁻² ja kesällä välillä 750...900 MJm⁻². Kallaveden edustavaa aluetta vastaava lämpömäärä vaihteli talvella välillä 25...100 MJm⁻² ja kesällä välillä 700...900 MJm⁻². Vastaavasti luotauspaikan vesipatsaan lämpömäärä vaihteli Inarissa talvella välillä 200...500 MJm⁻² ja kesällä 1500...1800 MJm⁻². Kallavedellä luotauspaikan vesipatsaan lämpömäärä vaihteli talvella välillä 150...450 MJm⁻² ja kesällä välillä 1800...2600 MJm⁻². Inarin Paksuvuonossa veden lämpömäärä on siis talvella keskimäärin suurempi kuin Kallaveden Säyneensalossa. Kesän todelliset maksimit ovat tässä esitettyjä korkeampia ja talven todelliset minimiä alempia johtuen siitä, että luotaukset tehdään 10 vain päivän välein.

Suomessa systemaattisia veden lämpötilahavaintoja on tehty pisimmillään jo yli 80 vuotta. Tuona aikana havaitsijat, mittalaitteet ja -tavat ovat muuttuneet. Myös havaintopaikalla on saattanut tapahtua muutoksia. Jotta havaintosarja olisi täysin homogeeninen, tulisi havainto-olosuhteiden pysyä samoina koko havaintojakson ajan. Tämä on tuskin koskaan mahdollista pitkien havaintoaineistojen

kohdalla. Pienillä havainto-olosuhteiden muutoksilla ei ole suurta merkitystä tarkasteltaessa keskiarvoja ja vuotuisia vaihteluja. Kuitenkin analysoitaessa trendejä on otettava huomioon mittausolosuhteiden muutokset ennen kuin vedetään suuria johtopäätöksiä ilmaston lämpenemisestä.

Ilman keskilämpötilojen on ennustettu nousevan ilmastonmuutoksen myötä. Ilman lämpötilojen nousun kautta myös vesistöjen lämpötilat kohoaisivat nykyistä korkeammiksi. 1990-luvulla SILMU-tutkimuksessa tehtyjen arvioiden perusteella Etelä-Suomen järvien pintalämpötilat kohoaisivat vuoden 1990 lukemista 1...2 °C vuoteen 2050 mennessä. Tässä työssä analysoiduista havainnoista vesistöjen pintaveden lämpenemistrendiä tukevat Saimaan Lauritsalan havainnot. Veden lämpötilan muutokset kohdistuvat avovesikaudella sekä pintakerrokseen, kerrostuneisuuteen että alusveteen. Veden lämpötilan kohoamisella on vaikutusta eliöstölle. Tietyt lajit hyötyvät ja toiset kärsivät veden lämpötilan noususta. Kalalajeista mm. kuha hyötyy veden lämpötilan noususta. Lämpenemisellä on vaikutusta järven happioloihin, sillä hapen liukoisuus ja kulutus riippuvat veden lämpötilasta. Eniten vesistöjen lämpenemisellä on vaikutusta rantavyöhykkeellä. Tuotavuus kasvaa ja vedet rehevöityvät. Veden rehevöityminen nostaa veden lämpötilaa, koska tummempi vesi absorboi paremmin auringonsäteilyä. Olosuhteet sini-leväkukinnan syntymiseen ovat paremmat lämpimämmässä kuin kylmässä vedessä, mutta ravinnepitoisuuksilla on myös suuri merkitys.

7

SYKEN valtakunnallisen lämpötilahavaintoverkon tila

Suomen ympäristökeskuksen valtakunnallisen pintavesien lämpötilahavaintoverkon pitkäaikaiset havaintopaikat sijaitsevat pääosin suurissa järvissä ja ovat keskittyneet erityisesti Järvi-Suomeen. Kaikki havaintopaikat eivät sijaitse järven edustavimmassa paikassa lämpötilan vaihtelun kannalta. Entiset pitkäaikaiset havaintopaikat tulee säilyttää valtakunnallisessa havaintoverkossa, koska pitkät homogeeniset aikasarjat ovat tärkeitä etenkin ilmastonmuutoksen tutkimuksen kannalta. On tärkeää, että havaintopaikka, -aika ja -tapa pysyvät samanlaisena, eikä pitkiä havaintokatkoksia pääse syntymään. Suomen ympäristökeskuksen valtakunnallinen pintavesien lämpötilahavaintoverkko kattaa tällä hetkellä koko maan kohtalaisen hyvin. Huonosti edustettuja alueita ovat etelä-, länsirannikon ja Lapin järvet sekä koko maan osalta joet. Joista on ollut aikaisemmin saatavilla vesivoimalaitoksien lämpötilatietoja, mutta havaintojen käyttö lopetettiin 1990-luvun lopussa epäluotettavien havaintojen vuoksi. Joitakin uusia havaintopaikkoja on perustettu viime vuosina sekä etelärannikolle että Lappiin, mutta vielä voisi lisätä muutaman uuden havaintopaikan näille alueille mahdollisimman kattavan havaintoverkon ylläpitämiseksi.

Kattavan havaintoverkon ylläpitämisessä vaikeutena on sekä rahoitus että päivittäiseen luotettavaan havainnontekoon sitoutuvan henkilön saaminen. Tulevaisuudessa tullaan lisäämään automaattiasemien määrää. On kuitenkin tärkeää, että automaatti korvaa havaintosijan vasta sitten, kun on varmistettu automaattiaseman riittävästä toimivuudesta ja luotettavuudesta. Tällä hetkellä valtakunnallisessa käytössä on ollut vasta Saimaan Lauritsalan automaattiasema ja sen toimivuudessa ja havaintojen luotettavuudessa on ollut ongelmia. Automaattiasemien etuna on, niiden toimiessa luotettavasti, säännölliset havainnot vuorokauden ympäri. Sen lisäksi, että havainnontekijöitä korvataan automaateilla, tulevaisuudessa tullaan kenties käyttämään tietokonemalleja ja kaukokartoitusta havaintojen korvaamisessa. Tulisi kuitenkin muistaa, että vaikka malleilla ja kaukomittausmenetelmin saataisiinkin hyviä tuloksia, tarvitaan edelleen 'oikeita' havaintoja mallitulosten verifiointiin ja pitkäaikaisten muutosten kuten ilmaston lämpenemisen todentamiseen.

SYKEN lämpötilaluotaushavaintopaikkoja on kymmenen eri puolella Suomea. Näistä Inarin ja Kallaveden luotauspaikat ovat vanhimpia. Lämpötilaluotauksia ei ole vielä viety viralliseen rekisteriin, mutta tulevaisuudessa näin tullaan tekemään. Lämpötilaluotausten tekemisessä on ollut eroja ajankohdan suhteen eri paikkojen välillä. Luotausajankohta tulisi yhtenäistää; jos ei aivan tarkkaan kellon aikaan, niin edes koskemaan joko aamupäivää tai iltapäivää. Luotausajankohdalla on merkitystä pintaveden lämpötiloihin, kuten Inarin ja Kallaveden havaintojen vertailussa todettiin. Lämpötilaluotauksissa puuttuu usein havaintoja syksyisin jäätyneen ja keväisin jäänlähdon aikaan. Olisi kuitenkin tärkeää saada havaintoja lämpötilaprofiilista myös näinä ajankohtina. Ratkaisu tähän voisi olla lämpötilaluotausten automatisointi. Havaintopaikalle voitaisiin asentaa termistoriketju, joka tallentaa lämpötiloja muistiin halutuina väliajoin. Termistoriketjun avulla vältyttäisiin anturin laskemisen aiheuttamasta veden sekoittumisesta ja havaintoja saataisiin säännöllisesti samaan aikaan, ilman kelirikkokatkoja. Lisäksi termistoriketjun avulla voitaisiin havaita paremmin harppauskerroksen liikkeitä, sekoittumista ja mahdollisia järven sisäisiä heilahteluja. Termistoriketjun mahdolliselle hankinnalle lieinee kuitenkin esteenä suuret kustannukset.

Water temperature conditions of lakes and rivers in Finland in the 20th century

8

8.1 Introduction

The first measurements of water temperature in Finland were made in the lakes Kallavesi and Ladoga and in some other lakes during 1883-1886 (Nordqvist 1886). At the beginning of the 20th century there were a few water temperature studies conducted in some lakes (Homen 1903). The first extensive data on the temperature conditions in the lakes were gathered by Simojoki (1940; 1956; 1960). The first systematic surface water observations began in lake Saimaa at Lauritsala in 1916 (the data can be considered homogeneous since 1924). These observations are still continuing (nowadays the station is automated) and thus they represent the longest continuous observation series in Finland. A significant increase in the number of surface water temperature stations took place in 1961, when many water temperature stations were established. In the 1990's many stations were discontinued due to financial scarcity. In the summer 2000 there were 30 national surface water temperature stations managed by the Finnish Environment Institute. The first continuous systematic vertical water temperature profile measurements began in the 1950's. In the summer of 2000 water temperature profiles were measured at 10 different sites. The previous publications of water temperature observations in Finnish lakes and rivers was published at the beginning of the 1980's (Kuusisto 1981, Laasanen 1982).

8.2 Data and methods

This study is based on the data of the Finnish Environment Institute's eight long-time surface water temperature sites and on two water temperature profile sites located in different parts of Finland. In addition, also some other data of long-time surface water temperature stations are presented in appendices. The surface water temperature was measured at 8 am every day in the summertime. The water temperature profile was measured every tenth day around the year. The data was processed mainly by statistical methods. For surface water observations the time period was 1961-2000, but also entire observation periods were used for time series analysis. The mean annual water temperature profiles were calculated only for the period 1981-2000.

The surface water temperature sites in the lake district are: lake Pielinen (Nurmes 63°32' N, 29°08' E), lake Kallavesi (Kuopio 62°54' N, 27°44' E), lake Saimaa (Lauritsala 61°05' N, 28°16' E), lake Pielavesi (Säviä 63°13' N, 26°40' E) and in Lapland: river Tornionjoki (Kukkolankoski 65°58' N, 24°03' E), lake Kevojärvi (Kevoniemi 69°45' N, 27°00' E), lake Inari (Nellim 68°51' N, 28°17' E) and one in Ostrobothnia: lake Lappajärvi (Halkosaari 63°16' N, 23°38' E). The water temperature profile sites are situated in lake Kallavesi (62° 52'N, 27° 46'E) and lake Inari (68° 52'N, 28° 16'E). The observation sites are indicated on the map in Appendix 1.

For the surface water temperature sites, the averages, minima, and maxima of the water temperature were calculated. Besides some other variables (the number of days when the water temperature exceeded 20 °C, monthly mean temperatures, maximum temperatures, date of the maximum, etc.) were calculated. Also the trends

of the time series and the return periods of temperature maxima were analysed. The characteristics of the observation sites and some meteorological variables were examined in order to explain the behaviour of water temperature behaviour at different observation sites. The homogeneity of the time series and the representativeness of the observation sites were also discussed. The annual temperature profiles were presented for Kallavesi and Inari.

8.3 Results and discussion

The averages, minima, and maxima of surface water temperature for eight observation sites are presented in Fig. 6. During the period 1961-2000 in southern Finland, the surface water temperature of lake Saimaa on the 1st of June was 10...18 °C, in western Finland in lake Lappajärvi 7...19 °C, in the lakes Kallavesi, Pielinen and Pielavesi 7...18 °C, in river Tornionjoki 5...14 °C, while in the lakes of Lapland the range was lower: in Kevojärvi 1...16 °C and in Inari 1...13 °C. The year to year variation of the surface water temperature was smallest in lake Saimaa and largest in lake Pielinen and in river Tornionjoki. The variation was largest in early summer, due to the considerable variation of the ice break-up date.

In the large lakes of southern and central Finland the average surface water temperatures in July during 1961-2000 were 18...20 °C and in the lakes of Lapland 13...16 °C. The surface water maximum occurred at the end of July. In the large lakes of southern and central Finland, the average maximum temperatures of water were 21...22 °C and in Lapland 17...19 °C. In September, the average cooling rate of surface water was about 0.2 °Cd⁻¹ at all observation sites.

The observation site characteristics explain some of the water temperature behaviour. At the observation site in lake Saimaa, the water mixes quite well, so that the temperature variation is not very large. The reason for the large variation in Pielinen might be the lake seiche which causes upwelling of cold water. The observation site in Inari is sheltered, and water temperatures observed in Nellim do not represent the whole lake Inari. In Kevojärvi, Säviä and Tornionjoki, the water of the observation site is more or less flowing. If the water at the observation site is flowing rapidly, the advection is of importance to the temperature variation.

The monthly average temperatures in June, July, and August, as well as the number of days when the water temperature exceeded 20 °C and 15 °C, during different time periods at different observation sites, are presented in Appendix 4. In 1961-2000 in lake Saimaa, the number of days when the water temperature exceeded 20 °C was near 20 on average, in Lapland it was only 0...1.

The correlation between air and surface water temperature was calculated for the lakes Kallavesi and Inari using the period 1961-1999. For Kallavesi the average Pearson's correlation coefficient was 0.78 and for Inari 0.82 (Tables 4 and 5). In a warm summer the correlation was better than in a cold and windy summer. The average air and water temperature during the period 1961-1990 at five observation sites are presented in Fig. 9.

The return periods of maximum surface water temperatures (Gumbel's distribution) are presented in Fig. 12. Based on this return period analysis the surface water temperature exceeds 23 °C about once in four years in Lappajärvi, once in six years in Kallavesi and Pielinen, once in nine years in Saimaa and Pielavesi, once in eleven years in Tornionjoki, once in 35 years in Inari and once in 100 years in Kevojärvi.

The time series of maximum surface water temperature in Lappajärvi and the average temperature of August in Saimaa are presented in Fig. 14 and Fig. 18. In both figures, significant trend lines can be seen (t-test, two-tailed). Based on the time series analysis for lake Saimaa many variables (average temperature of June,

July, August, the number of days exceeding 10 °C, 15 °C, and 18 °C, temperature sum of June-September) had significant trends of warming. Lappajärvi had only one significant warming trend, the maximum water temperatures of the summer. None of the other observation sites had significant warming trends, though at several observation sites the period of 1991-2000 was warmer than the period of 1961-1990 according to many variables.

The average annual courses of water temperature in Kallavesi and Inari in 1981-2000 are presented in Fig. 20 and Fig. 22. In lake Kallavesi, the spring turnover occurs in the middle of May and in lake Inari at the end of May. In summertime the thermocline is steeper in lake Kallavesi than in lake Inari. This can be explained in terms of the better visibility of water in lake Inari. The summertime temperatures are higher in Kallavesi, due to its southern location. At both observation sites, the surface water maximum occurs at the beginning of August while the bottom water maximum occurs at the end of September. In lake Kallavesi, autumn homothermy begins in early October and inverse stratification starts in late November. In lake Inari, autumn homothermy also begins in early October while inverse stratification starts in early November. During the winter months, water temperatures in Inari are on the average slightly higher than in Kallavesi. The explanation for this is that at the latitude of lake Inari the winter comes faster. The time period for mixing and cooling of the water mass is shorter in lake Inari than in lake Kallavesi. There is also the possibility that the Inari observation site is more efficiently sheltered from winds than the Kallavesi site.

The water mass stability and the heat content of water per area for the lake Kallavesi and lake Inari representative areas and for the water column of the observation site (depth, 44 meters) in 1981-2000 are presented in Fig. 36-39. The stability tells how stratified the water is with respect to density (Idso 1973). When the water mass is totally isothermal, the stability is zero (Jm^{-2}). In lake Kallavesi, the maximum stability in summertime for the representative area varied from 300 Jm^{-2} to 700 Jm^{-2} , and for the water column of 44 meters from 1700 Jm^{-2} to 3400 Jm^{-2} . In lake Inari, the maximum stability in summertime for the representative area varied from 150 Jm^{-2} to 800 Jm^{-2} and for the water column of 44 meters from 500 Jm^{-2} to 1800 Jm^{-2} . The heat content of the representative area in lake Kallavesi varied from wintertime 25...100 MJm^{-2} to summertime 700...900 MJm^{-2} and that of the water column of 44 meters from wintertime 150...450 MJm^{-2} to summertime 1800...2600 MJm^{-2} . The heat content of the representative area in lake Inari varied from wintertime 50...200 MJm^{-2} to summertime 750...900 MJm^{-2} and that of the water column of 44 meters from wintertime 200...500 MJm^{-2} to summertime 1500...1800 MJm^{-2} . In many years in wintertime, the heat content of water in lake Inari was higher than in Kallavesi.

8.4 Conclusions

The temperature of the surface water depends mainly on the weather. In addition, the amount of the solar radiation, the air temperature, the winds and the observation site characteristics have an influence on the water temperature. If the water at the observation site is mixing efficiently, the maxima of the surface water temperature are not very high in any year. If the observation site is sheltered, the temperatures measured do not describe the average values of the lake. The large and deep lakes warm and cool more slowly than small and shallow ones.

Only in the southernmost site of lake Saimaa, significant warming trends were found for many variables. These trends might have been affected by global warming, but also the change of optical properties in water due to eutrophication, and the increment of shore vegetation of the lake might have caused the increase of the

surface water temperature. The period of 1991-2000 was slightly warmer than the period of 1961-1990, also at some other observation sites in central Finland, though the differences were not significant. The average temperature of August was higher in 1991-2000 than in 1961-1990 at all eight observation sites, but the difference was statistically significant only in lake Saimaa at Lauritsala.

Lake Kallavesi, situated in the lake district, is more strongly stratified and warmer in summer time than lake Inari in Lapland. This is an obvious result from the lakes' geographical location. The visibility of water in Inari is higher than in Kallavesi, therefore the stratification of Inari is not so strong. Usually the water temperatures in lake Inari are warmer in winter time than those in Kallavesi. This might be a result from the shorter autumn mixing/cooling period in Lapland and the local features of the surroundings in Kallavesi and Inari water temperature profile observation sites.

Kiitokset

Tämä tutkimus on tehty SYKEN valtakunnalliseen lämpötilahavaintoaineistoon perustuen. Työn ovat rahoittaneet Maa- ja metsätalousministeriö, Maa- ja Vesitekniikan tuki ry. ja Suomen ympäristökeskus. Haluan kiittää työnohjaajaa, FT Esko Kuusistoa ja FK Veli Hyväristä hyvistä ohjeista, kommentteista ja työnohjauksesta. Suuret kiitokset emeritusprofessori Juhani Virralle stabiliteetin laskentaohjelmasta ja aiheeseen liittyvistä neuvoista. Kiitokset myös kaikille muille tutkimuksen valmistumiseen vaikuttaneille.

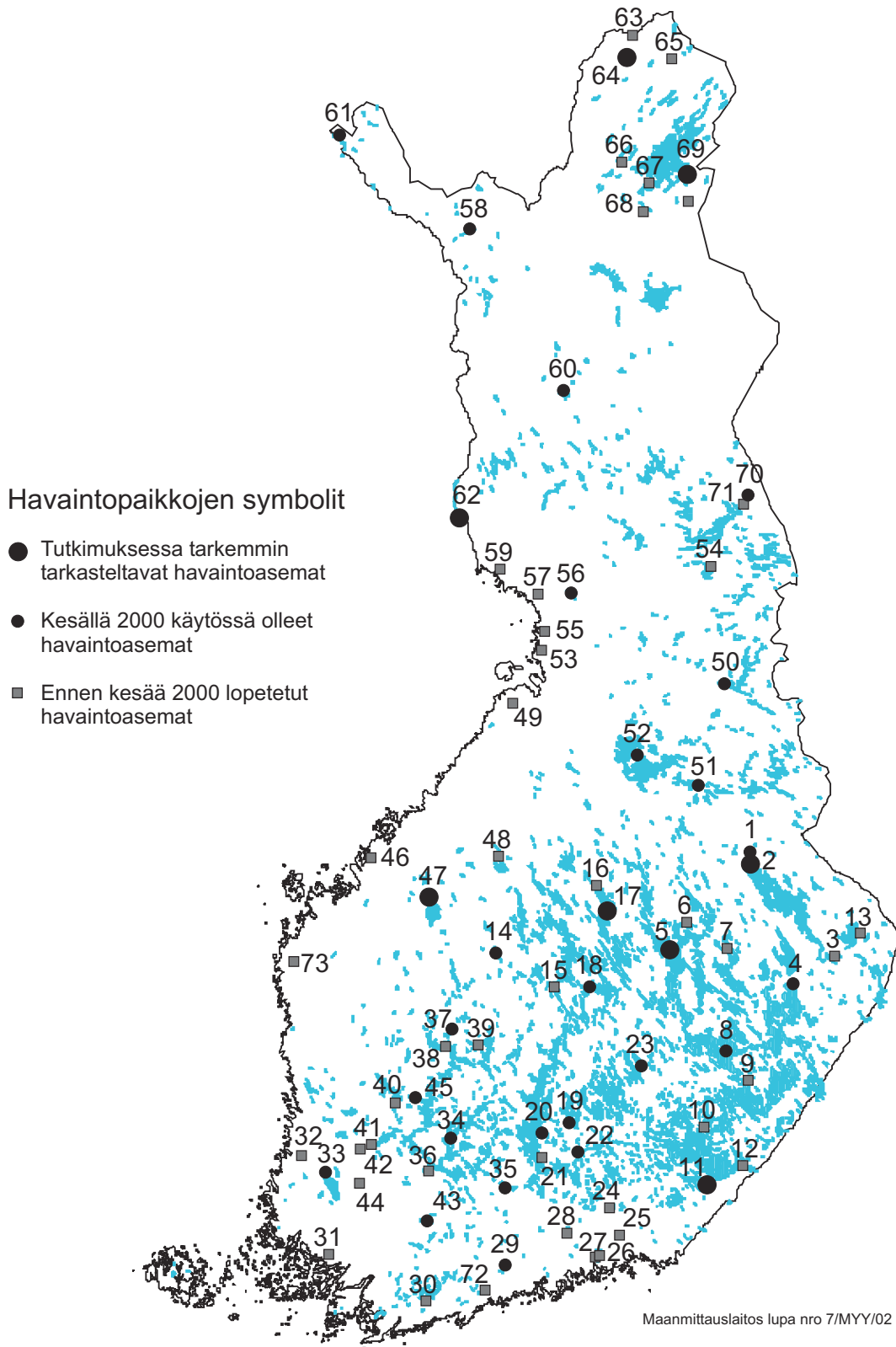
Kirjallisuus

- Arvola, L., Bilaledtin, Ä., Frisk, T., Haapala, J., Huttula, T., Hyvärinen, V., Kallio, K., Kauppi, L., Kuikka, S., Kuivalainen, P., Kuosa, H., Kuusisto, E., Kämäri, J., Lehtonen, H., Lepistö, A., Leppäranta, M., Ojala, A., Rekolainen, S., Varis, O. & Vehviläinen, B. 1996. Vedet (toim. Kauppi, L. & Kämäri, J.), Julk: Kuusisto, E., Kauppi, L. & Heikinheimo, P. (toim.) Ilmastonmuutos ja Suomi. Helsinki, Yliopistopaino. S. 147-178.
- Bengtsson, L. & Svensson, T. 1996. Thermal Regime of Ice Covered Swedish Lakes. *Nordic Hydrology*, 27: 39-56.
- Bowling, L. C. & Salonen, K. 1990. Heat Uptake and Resistance to Mixing in Small Humic Forest Lakes in Southern Finland. *Austr. J. Mar. Freshwater Res.* 41:747-759.
- Brutsaert, W. 1975. On a Derivable Formula for Long-wave Radiation from Clear Skies. *Water Resour. Res.* 11:742-744.
- CRC Handbook of Chemistry and Physics: a Ready-Reference Book of Chemical and Physical Data 1989-1990. 1989. Robert C. Weast (toim.). Boca Raton : CRC Press.
- Eklund, A. 1998. Vattentemperaturer i sjöar, sommar och vinter –resultat från SMHIs mätningar. *Rapporter Hydrologi* 74. Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut. 20 s.
- Elo, A-R. 1994. A Sensitivity Analysis of a Temperature Model of a Lake Examining Components of the Heat Balance. *Geophysica* 30, 1-2: 79-92.
- Elo, A-R., Huttula, T., Peltonen, A. & Virta, J. 1998. The Effects of Climate Change on the Temperature Conditions of Lakes. *Boreal Env. Res.* 3: 137-150.
- Elo, A-R. & Koistinen, A. 2002. Järven lämpötilan ja järvihaihdunnan laskenta Mäntyharjun vesistömallissa. Julk: Kari Rantakokko (toim.) Vesistömallijärjestelmän kaukokartoitustietojen käytön ja prosessimallien kehittäminen. Suomen ympäristökeskuksen moniste 248. S. 70-80.
- Elomaa, E. 1976. Pääjärvi Representative Basin in Finland: Comparative Studies of Climatological Conditions Over a Lake and the Surrounding Land Areas in 1969-70, *Fennia*, 146. 40 s.
- Elomaa, E. 1977. Pääjärvi Presentative Basin Finland: Heat Balance of a Lake. *Fennia*, 149. 33 s.
- Falkenmark, M. 1973. Dynamic Studies in Lake Velen. *Swedish IHD Report* 31: 15-21, 79-118.
- Fischer, H. B., List, E. J., Koh, R. C. Y., Imberger, J. & Brooks, N. H. 1979. *Mixing in Inland and Coastal Waters*. San Diego. Academic Press.
- Friehe, C. & Schmitt, K. 1976: Parametrization of Air-Sea Interface Fluxes of Sensible Heat and Moisture by Bulk Aerodynamic Formulas. *Journal of Physical Oceanography* 6: 801-809.
- Gu, R. & Stefan, H. 1990: Year-round Temperature Simulation of Cold Climate Lakes. *Cold Regions Science and Technology* 18: 147-160.
- Hartmann, D. 1994. *Global physical climatology*. San Diego. Academic Press. 441 s. (Viitt. Ruosteenoja, K. 1998).
- Heino, R. & Ruosteenoja, K. 1996. Havaintojen tilastollisen käsittelyn perusteet. Opetusmoniste. Meteorologian laitos, Helsingin yliopisto. 102 s.
- Homen, T. 1903. Die Temperaturverhältnisse in den Seen Finnlands. *Förh. V. Nat. Forsk. Mötet i Helsingfors* 1902. 11 s. (Viitt. Kuusisto, E. 1981b).
- Houghton, J. 1994. *Global Warming. The Complete Briefing*. Cambridge University Press.
- Idso, S. B. 1973. On the Concept of Lake Stability. *Limnol. Oceanogr.* 18: 681-683.
- Ilmatieteen laitos 1991. Tilastoja Suomen ilmastosta 1961-1990. Helsinki. Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan. Osa 1-1990. 125 s.
- Ilmatieteen laitos 1993. Suomen meteorologinen vuosikirja 81-90. Osa 4:1 Auringonsäteilyhavainnot 1981-1990. Helsinki. 129 s.
- Johnson, N. M., Eaton, J. S. & Richey, J. E. 1978. Analysis of Five North American Lake Ecosystems. II. Thermal Energy and Mechanical Stability. *Verh Intern. Verein. Limnol.* 20: 562-567.
- Jones, R. I. & Arvola, L. 1984. Light penetration and some related characteristics in small forest lakes in southern Finland. *Verh Intern. Verein. Limnol.* 22: 811-816.
- Järnefelt, H. 1958. *Vesiemme luonnontalous*. WSOY. 325 s.
- Järvinen, J. & Huttula, T. 1982. Estimation of Lake Evaporation by Using Different Aerodynamical Equations. *Geophysica* 19,1: 87-99.
- Hutchinson, G. E. 1957. *A Treatise on Limnology. Vol I. Geography, Physics, and Chemistry*. New York, John Wiley & Sons, Inc. 1015 s.

- Huttula, T. 1976. Tuulen vaikutus harppauskerroksen liikkeisiin Lammin Pääjärvellä. Pro Gradu-tutkielma. Helsingin yliopisto, geofysiikan laitos. 52 s.
- Huttula, T., Peltonen, A., Biletdin, A. & Saura M. 1992. The Effects of Climatic Changes on Lakes Ice and Water Temperature. *Aqua Fennica* 22, 129-142.
- Huttula T., Peltonen A. & Kaipainen H. 1996. Effects of climatic changes on ice conditions and temperature regime in Finnish lakes (sensitivity analysis of wind forcing and other climatic variables) Julk: The Finnish Research Programme on Climate Change. Final Report. Publications of the Academy of Finland 4/96, s. 167-173.
- Kalojen vedenlaatuvaatimukset. Päivitetty 8.12.2000. Oulu, Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus. <http://www.vyh.fi/ympysuo/projekti/lifeppo/kalat/lampotil.htm> [WWW, viitattu 19.2.2002.]
- Kato, H. & Phillips, O. M. 1969. On the Penetration of Turbulent Layer into Stratified Fluid. *J. Fluid Mech.* 37, 4: 643-655. (Viitt. Huttula, T. 1976).
- Kauranne, T. 1983. Computer program documentation for the lake model FINNECO and the river model QUAL-II. *Vesihallituksen monistesarja* 1983:163. 425 s.
- Kinnunen, K., Nyholm, B., Niemi, J., Frisk, T., Kylä-Harakka, T. & Kauranne, T. 1982. Water quality modeling of Finnish water bodies. Publications of the Institute for Water Research 46. Helsinki. 99 s.
- Kuusisto, E. 1981a. On Water Temperatures of Lakes in Finland. *Geophysica* 17, 1-2: 167-176.
- Kuusisto, E. 1981b. Suomen vesistöjen lämpötilat kaudella 1961-1975. Helsinki. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 44. 40 s.
- Kuusisto, E. 1992. Suomen järvien tilavuus. *Terra*, vol. 104, nro 1.
- Kuusisto, E., Kauppi, L. & Heikinheimo, P. (toim.) 1996. Ilmastonmuutos ja Suomi. Yliopistopaino, Helsinki. 256 s.
- Kuusisto, E. & Laasanen, O. 1980. Jäänpaksuuden ja lämpötilan vaihteluista järvissä talvella. *Vesitalous* 21, 3: 25-28.
- Kuusisto, E. & Lemmelä, R. 1976. On the Surface Water Temperatures of Lakes in Finland. *Aqua Fennica* 6, 18-25.
- Kuusisto, E. 1986. Tilastomatematiikan menetelmien käyttö hydrologiassa. Sovellettu hydrologia (toim. S. Mustonen). *Vesiyhdystys*, s. 291-321.
- Laaksonen, R. 1972. Järvisyvänteet vesiviranomaisen 1965-1970 maaliskuussa tekemien havaintojen valossa. Helsinki. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 4. 80 s.
- Laasanen, O. 1980. Veden lämpötilan toistuvuuksista Suomessa. *Vesitalous* 21, 6: 19-21.
- Laasanen, O. 1982. Vesistöjen jäätyminen, jäänlähtö, jäänpaksuus ja pintaveden lämpötilatila-
toja. Helsinki. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 47. 67 s.
- Lappalainen, J. 2001. Effects of Environmental Factors, Especially Temperature, on the Population Dynamics of Pikeperch (*Stizostedion lucioperca* (L.)). Väitöskirja. Helsingin yliopisto, limnologian ja ympäristönsuojelun laitos. <http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/maa/limno/vk/lappalainen/effectso.pdf>. [Verkkójulkaisu.]
- Lehtonen, H. & Lappalainen, J. 1996. Potential Effects of Climate Warming on Fish Populations, Their Distribution Ranges and Fisheries in Finland. Julk: Roos, J. (toim.) Final Report. SILMU: The Finnish Research Programme on Climate Change. Publications of the Academy of Finland 4/96. S. 208-214.
- Leppäjärvi, R. (toim.) 1987. Hydrologinen vuosikija 1981-1983: vertailujaksone 1961-1980. Helsinki. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 66. 238 s.
- Malm, J. & Jönsson, L. 1993. A Study of the Thermal Bar in Lake Ladoga Using Water Surface Temperature Data from Satellite Images. *Remote Sens. Environ.*, Vol. 44, 35-46.
- Mortimer, C. H. 1953. The Resonant Response of Stratified Lakes to Wind. *Schweiz. Z. Hydrol.* 15: 94-151. (Viitt. Huttula, T. 1976).
- Nordqvist, O. 1886. Om insjöarnes temperatur. Aftryck ur Finska Vetensk.-Soc. Forhandl. B. XXIX. Helsinki. 10 s.
- Odenwall, E. 1934. Lake Lappajärvi. *Meddelanden från Hydrografiska Byrån* 6. Helsinki. 24 s.
- Palmén, E. 1941. Zur Frage des Windstaus im einem geschichteten Meer. *Soc. Sci. Fennica. Comment Phys. Math.* 11, 7:1-11. (Viitt. Huttula, T. 1976).
- Peltonen, A., Huttula, E. & Huttula, T. 2000. Inarijärven Peskanlahden lämpötila- ja virtaustutkimus. Lapin ympäristökeskuksen moniste 24. 56 s.
- Pivovarov, A. A. 1973. Thermal Conditions in Freezing Lakes and Rivers. Halsted press. John Wiley & Sons, New York. 136 s.

- Pyh lahti, T. 1998. Satellite Measurements of Sea Surface Temperatures. Department of electrical and Communication Engineering, Laboratory of Space Technology. Helsinki University of Technology. Master's Thesis. 154 s.
- Raatikainen M. & Kuusisto E. 1988. Suomen järviä lukumäärä ja pinta-ala. *Terra* 102: 2, 97-110.
- Ruosteenoja, K. 1998. Fysikaalinen klimatologia. Opetusmoniste. Helsingin yliopisto, meteorologian laitos. 133 s.
- Sahlberg, J. 1983. A Hydrodynamical Model for Calculating the Vertical Temperature Profile in Lakes During Cooling. *Nordic Hydrology* 14: 239-254.
- Schmidt, W. 1928. Über Temperatur- und Stabilit tsverh ltnisse von Seen. *Geogr. Ann.* 10:531-540. (Viitt. Idso, S. B. 1973).
- Sellers, W. B. 1965. *Physical Climatology*. Chicago University Press, 272 s. (Viitt. Ruosteenoja, K. 1998).
- Seuna, P. 1969. Pintaveden lämpötila er iss  Suomen vesistöissä. *Maalaiskunta* 12:772-775. (Viitt. Kuusisto, E. 1981b).
- Simojoki, H. 1940.  ber die Temperaturverhältnisse der Finnischen Seen Im Winter, Fennia 67:2. 22 s.
- Simojoki, H. 1956. Über die Temperaturverh ltnisse einiger Finnischen Seen, Fennia, 80:3. 37 s.
- Simojoki, H. 1960. Hydrologische und Termische Untersuchung des Sees Päijänne, Fennia, 83:2. 22 s.
- Solantie, R. 1976. Suomen vesitase kaudella 1931-1960. Helsingin yliopisto, geofysiikan laitos. 130 s. (Viitt. Kuusisto, E. 1981b).
- Svensson, U. 1978a. A Mathematical Model of Seasonal Thermocline. Lund Institute of Technology. Report No. 1002, Lund, Sweden.
- Svensson, U. 1978b. Examination of the Summer Stratification. *Nordic Hydrology* 9: 105-120.
- Svensson, U. 1986. PROBE An Instruction Manual. SMHI rapporter Oceanografi 10.
- Svobodá, Z., Lloyd, R., M chov , J. & Vykusov , B. 1993. Water Quality and Fish Health. EIFAC Technical Paper 54. 67 s. (Viitt. Kalojen vedenlaatuvaatimukset. 2000).
- Swinbank, W.C., 1963. Long-wave radiation from clear skies. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 89, 339-348.
- Tourula, T., Heikinheimo, M., Ven l inen, A. & Tattari, S. 1997. Micrometeorological Measurements on Lakes T mnaren and Råksjö during CFE1 and CFE2. NOPEX Technical Report No. 24.
- Vesihallitus 1984. Hydrologiset havainto- ja mittausmenetelmät. Helsinki. Vesihallituksen julkaisuja 47. 88 s.
- Vesihallitus 1981. Hydrologinen vuosikirja 1978-1979: lisänä vuosien 1931-1960 ja 1961-1975 keskiarvoja. Helsinki. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 45. 205 s.
- Virta, J. 1997. Hydrologian perusteet. Opetusmoniste. Helsingin yliopisto, geofysiikan laitos. 79 s.
- Voutilainen, V., Kolehmainen, P. & Hammar, T. 2001. Pinta- ja pohjaveden kaukomittausj rjestelm n kehittäminen. Alueelliset ympäristöjulkaisut 226. Pohjois-Savon ympäristökeskus. Kuopio. 36 s.
- Wetzel, R. G. 1975. *Limnology*. W. B. Saunders Co., Phil. 743 s.

Liite 1. Kartta ja luettelo edelleen käytössä olevista ja lopetuista pintaveden lämpötilan havaintopaikoista



Havaintopaikkakartan numerointia vastaavat pintaveden lämpötilahavaintopaikat ja tunnuksat

Numero	Tunnus	Nimi	
1	0401110	Roukkajankoski	Lm
2	0401410	Pielinen, Nurmes	Lm
3	0402850	Pamilo	
4	0405100	Pyhäselkä, Joensuu, Ala	
5	0407920	Kallavesi	Lm
6	0407940	Suuri-Pieksä	
7	0408410	Kaavinjärvi, Kaavinkoski	
8	0410200	Haukivesi, Oravi	
9	0410310	Savonlinna, Ylä	
10	0411100	Puumala	
11	0411210	Lauritsala	
12	0411450	Tainionkoski	
13	0499902	Koitere, Kontiolahti	
14	1401500	Pääjärvi	U
15	1402210	Äänekoski, Ala, Koivuniemi	Y
16	1402520	Koivujoki	Lm
17	1402710	Säviä	
18	1403900	Konnevesi, Etelä	U
19	1405700	Jääsjärvi	
20	1406000	Sysmä	
21	1406510	Päijänne, Kalkkinen	
22	1406800	Ala-Rieveli	U
23	1407400	Kyyvesi, Haukivuori	U
24	1409550	Kuusankoski	
25	1410050	Anjala	
26	1411110	Kläsarö, Ala	Y
27	1411220	Kuuskoski	Y
28	1600110	Pyhäjärvi	Lm
29	2199001	Tuusulanjärvi	
30	2300930	Åkerfors	Y
31	2800700	Aurajoki, Halinen	
32	3400450	Pappilankoski	
33	3499001	Säkylän Pyhäjärvi	
34	3500600	Längelmävesi, Kaivanto	U
35	3501800	Pääjärvi, Biologinen Asema	U
36	3503100	Jalantijärvi	
37	3504800	Kitusjärvi	
38	3505000	Visuvesi	Lm
39	3505500	Kolho	
40	3508210	Kyrösjärvi, Etelä	Y
41	3508750	Hartolankoski	
42	3509000	Äetsä, Ylä	Y
43	3509110	Loimijoki, Saari	U
44	3509310	Sallila, Ylä	Y
45	3599001	Näsijärvi, Kyrönlahti	
46	4400910	Uusikaarlepyy, Ala	Y
47	4700320	Lappajärvi, Halkosaari	Lm
48	5100200	Lestijoki	

Numero	Tunnus	Nimi	
49	5700700	Länkelä	Lm
50	5900180	Pesiöjärvi	U
51	5902500	Nuasjärvi, Vuokatti	
52	5903320	Manamansalo	Lm
53	6000300	Kiiminkijoki	
54	6100320	Kuoliojoki	
55	6101950	Raasakka	
56	6300100	Oijärvi	Lm
57	6300210	Kuivajoki	Lm
58	6503000	Ounasjärvi	U
59	6504450	Isohaara	
60	6599001	Unari	U
61	6700100	Kilpisjärvi	
62	6702200	Kukkolankoski	
63	6801000	Onnelansuvanto	Lm
64	6801100	Kevoniemi	Lm
65	6899002	Pulmankijärvi	
66	7100700	Mutusjärvi	
67	7100950	Kirakkaköngäs	
68	7101300	Toloskoski	
69	7101610	Inari, Nellim	
70	7300100	Oulankajoki	Lm
71	7300220	Käylä	
72	8199001	Pitkäjärvi, Espoo	
73	8399001	Hinjärvi	

Kirjainten selitykset:

Lm = Limnigrafiasema

U = havainnot aloitettu vasta vuonna 2000

Y = Vesivoimalaitos

Liite 2. Pintaveden lämpötilan havaintopaikkojen havaintoaikajat

Edelleen käytössä olevat pintaveden lämpötilahavaintoasemat (ei vuonna 2000 aloitettuja)

Tietojärjestelmän mukaan (v. 2000)

	1910-luku	1920-luku	1930-luku	1940-luku	1950-luku	1960-luku	1970-luku	1980-luku	1990-luku	2000-luku
Lauritsala 0411210	→									
Säviä 1402710			→	→						
Pielinen, Nurmes 0401410				→		→	→			
Pyhäselkä, Joensuu, Ala 0405100				→		→	→			
Kallavesi, Lm 0407920				→		→	→			
Inari, Nellim 7101610					→	→				
Kukkolankoski 6702200						→		→	→	
Lappajärvi, Halkosaari, Lm 4700320						→		→	→	
Oijärvi, Lm 6300100						→		→		→
Kevoniemi, Lm 6801100						→		→	→	
Oulankajoki, Lm 7300100							→	→		
Manamansalo, Lm 5903320							→		→	
Jääsjärvi 1405700							→	→		
Kitusjärvi 3504800							→		→	→
Sysmä 1406000							→		→	→
Haukivesi, Oravi 0410200								→		→
Nuasjärvi, Vuokatti 5902500								→	→	
Tuusulanjärvi 2199001								→	→	→
Kilpisjärvi 6700100									→	→
Näsijärvi, Kyrölänsaari 3599001									→	→
Säkylän Pyhäjärvi 3499001									→	→

Käytöstä poistetut pintaveden lämpötilan havaintopaikat

Tietojärjestelmän mukaan (v. 2000)

	1910-luku	1920-luku	1930-luku	1940-luku	1950-luku	1960-luku	1970-luku	1980-luku	1990-luku	2000-luku
Roukkajankoski, Lm 0401110							→	→		
Pamilo 0402850							→			→
Suuri-Pieksä 0407940								→	→	→
Kaavinjärvi, Kaavinkoski 0408410								→	→	→
Savonlinna, Ylä 0410310								→	→	→
Puumala 0411100						→	→			
Tainionkoski 0411450						→	→	→		

Tietojärjestelmän mukaan (v. 2000)

	1910-luku	1920-luku	1930-luku	1940-luku	1950-luku	1960-luku	1970-luku	1980-luku	1990-luku	2000-luku
Koitere, Kontiolahti 0499902								—		
Äänekoski, Ala, Koivun., Y 1402210			—						—	
Koivujoki, Lm 1402520						—	—			
Päijänne, Kalkkinen 1406510								—		
Kuusankoski 1409550						—				
Anjala 1410050			—						—	
Klåsarö, Ala, Y 1411110			—							
Kuuskoski, Y 1411220						—	—		—	—
Pyhäjärvi, Lm 1600110						—	—			
Åkerfors, Y 2300930						—	—		—	
Aurajoki, Halinen 2800700								—		
Pappilankoski 3400450						—			—	—
Jalantijärvi 3503100						—	—	—	—	—
Visuvesi, Lm 3505000						—	—	—	—	—
Kolho 3505500						—	—	—	—	
Kyrösjärvi, Etelä, Y 3508210						—	—	—		
Hartolankoski 3508750						—			—	
Äetsä, Ylä, Y 3509000						—			—	
Sallila, Ylä, Y 3509310						—			—	
Uusikaarlepyy, Ala, Y 4400910						—				
Lestijoki 5100200								—	—	
Länkelä, Lm 5700700						—	—	—	—	
Kiiminkijoki 6000300								—	—	
Kuoliojoki 6100320						—	—	—	—	
Raasakka 6101950						—	—			
Kuivajoki, Lm 6300210						—	—	—		
Isohaara 6504450						—	—	—	—	
Onnelansuvanto, Lm 6801000						—	—	—		
Pulmankijärvi 6899001									—	
Mutusjärvi 7100700								—	—	—
Kirakkaköngäs 7100950						—	—			
Toloskoski 7101300						—	—			
Käylä 7300220								—		
Hinjärvi 8399001								—	—	

Liite 3. Pintaveden lämpötilan keskiarvo-, minimi- ja maksimitaulukko

Pintaveden lämpötilan keskiarvot, minimit ja maksimit - The averages, minima and maxima of surface water temperature

Havaintopaikka ja puuttuvat vuodet Observation site and missing years	Jakso Period	V			VI			VII			VIII			IX			X			
		10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	
0401410	1961-2000																			
Pielinen, Nurmes järvi - lake	ka, mean				12,6	15,1	16,6	17,3	17,9	18,5	17,6	16,3	14,7	13,1	11,2	9,2	7,6	5,4	3,2	
1951-1967	min				6,6	10,1	10,7	11,7	13,1	14,0	13,4	13,4	11,4	11,4	8,0	6,3	4,6	2,4	0,2	
	max				18,5	22,5	24,3	24,7	26,1	21,7	21,8	20,8	18,5	15,7	13,4	12,2	9,8	8,9	5,7	
	1945-2000																			
	ka, mean				12,9	15,2	16,8	17,6	18,2	18,3	17,7	16,4	14,7	13,2	11,3	9,1	7,3	5,2	3,0	
	min				6,6	10,1	10,7	11,7	13,1	14,0	13,4	13,4	11,2	10,9	8,0	5,0	2,9	1,0	0,2	
	max				19,5	22,5	24,3	24,7	26,1	21,7	23,0	20,8	18,5	15,7	13,4	12,2	9,8	8,9	5,7	
	1991-2000																			
	ka, mean				13,2	15,0	16,4	16,5	18,0	18,5	17,7	16,3	15,4	13,3	11,7	9,7	8,4	6,2	4,1	
	min				8,5	12,0	10,9	11,7	13,1	15,6	14,1	14,3	13,3	11,5	9,8	7,8	7,2	3,8	1,8	
	max				18,5	19,4	23,2	20,4	22,1	21,6	21,7	18,6	18,5	14,6	13,4	12,2	9,5	8,9	5,7	
0407920	1961-2000																			
Kallavesi, Kuopio järvi - lake	ka, mean	6,5	9,6		12,8	14,7	16,9	17,5	18,2	18,7	17,9	16,3	15,3	13,8	11,9	10,2	8,7	6,7	4,9	
1951-1959	min	2,7	5,8		7,8	9,5	12,9	12,9	14,2	15,2	13,9	12,3	12,0	10,8	9,1	7,4	5,4	3,9	0,9	
	max	14,1	15,9		18,9	20,7	23,5	22,3	24,9	23,8	21,6	21,2	19,2	16,4	14,8	12,5	11,6	10,0	8,2	
	1945-2000																			
	ka, mean	6,5	9,5		12,8	14,6	17,0	17,7	18,5	18,7	18,0	16,5	15,4	13,8	12,1	10,3	8,6	6,7	4,8	
	min	2,7	5,8		7,8	9,5	12,5	12,9	14,2	14,8	13,9	12,3	12,0	10,8	9,1	7,4	5,4	3,9	0,9	
	max	14,1	15,9		18,9	20,7	23,5	22,3	24,9	23,8	21,6	21,3	19,2	16,4	14,8	12,5	11,6	10,0	8,2	
	1991-2000																			
	ka, mean	6,8	9,1		13,4	14,4	17,7	17,3	18,4	18,9	18,6	16,4	16,0	13,9	12,7	10,9	9,7	7,2	5,3	
	min	2,7	6,1		10,6	9,9	14,4	13,6	16,3	17,0	15,3	12,4	14,2	12,1	10,4	8,9	8,2	5,7	0,9	
	max	13,2	13,2		17,3	19,3	21,2	20,0	20,7	23,7	21,6	21,2	19,2	14,8	14,8	12,1	11,6	10,0	8,0	
0411210	1961-2000																			
Saimaa, Lauritsala järvi - lake	ka, mean	7,3	10,8	13,4	15,6	16,9	17,8	18,9	19,3	19,7	19,4	18,1	16,9	15,2	13,2	11,1	9,5	7,3	5,4	
	min	4,6	8,2	9,8	12,1	12,3	14,7	15,6	16,1	17,1	15,0	14,3	13,8	12,2	10,1	7,7	6,1	3,4	2,2	
	max	14,4	15,8	18,4	19,6	21,3	24,0	22,2	23,5	23,0	23,4	20,9	19,8	17,6	16,1	13,7	12,7	10,6	9,6	
	1924-2000																			
	ka, mean	6,5	9,9	12,5	14,8	16,4	17,6	18,7	19,2	19,4	19,0	18,1	16,7	14,9	12,9	10,8	8,8	6,7	5,0	
	min	1,0	2,0	6,8	8,0	12,0	13,0	15,0	16,1	16,0	15,0	14,3	13,8	11,5	9,0	7,0	4,0	2,0	1,0	
	max	15,0	15,8	18,4	20,2	21,3	24,0	22,2	23,8	23,0	23,4	21,4	20,2	17,8	16,4	13,7	12,7	10,6	9,6	
	1991-2000																			
	ka, mean	7,2	11,0	13,4	16,2	16,7	18,7	19,4	19,6	19,9	20,0	18,8	17,8	16,0	14,1	12,0	10,4	8,2	6,1	
	min	5,3	8,5	11,7	13,7	15,3	17,0	16,9	16,3	18,3	18,3	17,4	15,5	13,4	11,7	9,7	8,7	5,8	2,9	
	max	10,2	15,8	17,5	18,8	19,5	24,0	21,4	22,0	21,5	23,4	20,9	19,8	17,6	16,1	13,7	12,7	10,6	8,4	

Havaintopaikka ja puuttuvat vuodet	Jakso	V			VI			VII			VIII			IX			X		
		10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30
1402710	1961-2000																		
Pielavesi, Säviä salmi - strait	ka, mean				13,6	15,6	17,5	17,9	18,2	18,7	17,9	16,5	15,0						
	min				10,4	11,6	14,7	12,8	15,6	15,9	14,4	14,0	11,7						
1972-1974	max				19,8	20,6	24,1	21,8	22,8	22,8	21,7	19,2	18,9						
	1935-2000																		
	ka, mean				13,2	15,4	17,3	18,2	18,4	18,6	17,9	16,7	15,2						
	min				5,0	11,0	12,0	12,8	14,0	15,9	14,4	14,0	11,7						
	max				25,0	24,0	24,1	23,0	23,0	22,8	21,7	20,0	20,0						
	1991-2000																		
	ka, mean				13,9	15,3	17,9	17,7	18,3	18,6	18,3	16,6	15,3						
	min				11,1	12,0	15,6	15,6	15,7	17,1	16,2	14,7	13,2						
	max				19,6	18,5	23,0	19,1	21,4	21,0	20,9	19,2	18,9						
4700320	1961-2000																		
Lappajärvi, Halkosaari	ka, mean	9,2	11,8		14,8	15,8	17,4	17,7	18,3	18,6	17,8	16,6	15,0	13,0	10,8	8,7	7,0	5,4	3,7
järvi - lake	min	4,5	6,8		8,7	10,5	14,6	14,4	15,0	15,2	12,6	12,9	11,7	9,8	7,6	4,4	2,1	2,0	1,2
1964	max	16,2	19,0		21,6	23,1	24,0	22,4	26,1	23,2	22,1	21,1	18,9	17,4	15,4	12,5	11,3	9,1	7,2
	1991-2000																		
	ka, mean	8,7	10,6		15,2	15,2	17,3	17,0	18,2	18,7	18,1	17,0	15,9	14,0	11,8	9,9	8,1	6,3	4,5
	min	5,2	7,4		10,4	13,3	14,6	14,4	15,3	16,8	15,6	14,8	14,3	11,6	8,9	8,1	6,3	3,3	2,4
	max	15,9	16,4		20,7	23,1	22,7	19,0	21,0	22,6	22,1	21,1	18,9	16,5	15,4	12,5	10,2	9,1	5,8
6702200	1961-2000																		
Tornionjoki, Kukkolankoski	ka, mean				11,4	14,0	16,1	16,6	16,9	17,0	15,5	13,9	12,1	9,7	6,7	4,8			
joki - river	min				5,3	9,7	11,6	10,9	11,9	12,2	10,1	9,8	8,0	4,3	3,6	0,1			
	max				17,6	21,4	23,2	21,0	25,8	21,2	20,0	19,1	15,3	13,5	9,6	10,1			
	1991-2000																		
	ka, mean				11,4	12,9	15,7	15,9	17,5	16,8	16,0	13,8	12,7	9,4	6,5	4,9			
	min				8,4	10,2	12,0	12,4	14,1	12,5	11,8	11,3	9,7	5,7	3,6	2,2			
	max				16,2	15,8	19,0	19,4	21,8	19,3	20,0	17,3	15,3	12,2	9,6	9,0			
6801100	1961-2000																		
Kevojärvi, Kevoniemi	ka, mean				6,7	9,9	12,4	13,5	14,3	14,7	13,8	12,5	11,1	9,4	7,5	5,8			
järvi - lake	min				2,9	5,3	8,2	10,1	10,3	11,3	10,6	9,2	8,9	7,4	4,1	2,7			
1961, 1985	max				12,8	16,1	20,5	22,4	19,0	16,8	17,1	15,6	14,3	12,1	12,7	10,2			
	1991-2000																		
	ka, mean				6,4	9,1	11,9	12,5	14,9	14,9	14,7	12,5	11,4	9,6	7,7	6,1			
	min				3,6	5,5	9,1	10,3	12,5	13,1	11,7	9,2	8,9	8,1	6,5	4,9			
	max				12,8	12,7	16,8	15,8	18,0	16,5	17,1	14,7	14,3	12,1	9,4	7,7			
7101610	1961-2000																		
Inari, Nellim järvi - lake	ka, mean				9,4	12,6	14,3	15,1	15,9	16,0	15,1	13,5	12,0	10,0	7,7	5,5	3,7		
	min				4,2	7,3	10,1	11,4	11,1	11,6	11,4	10,4	9,4	6,7	4,7	2,8	0,7		
	max				17,1	22,1	20,4	20,5	19,7	19,2	19,9	17,8	15,2	13,1	10,0	9,5	8,2		
	1950-2000																		
	ka, mean				9,5	12,7	14,3	15,0	16,0	16,0	15,0	13,8	12,1	10,0	7,7	5,6	3,7		
	min				4,2	7,3	10,1	11,1	11,1	11,6	11,0	10,4	9,4	6,7	4,7	2,8	0,5		
	max				17,1	22,1	20,4	21,7	22,5	21,5	19,9	18,4	15,3	13,1	10,0	9,5	8,2		
	1991-2000																		
	ka, mean				9,3	11,7	14,3	14,2	16,7	16,4	15,8	13,7	12,7	10,3	7,9	6,0	4,1		
	min				4,2	7,6	10,1	11,4	14,2	14,6	13,6	11,3	10,9	7,5	5,7	4,1	2,4		
	max				14,5	15,4	18,9	16,4	19,7	19,2	18,6	15,8	15,2	13,1	10,0	9,5	8,2		

LIITE 3/3

Havaintopaikka	Jakso	V			VI			VII			VIII			IX			X		
ja puuttuvat vuodet	Period	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30
Observation site	and missing years																		
0405100	1961-2000																		
Pyhäselkä,	ka, mean	5,7	8,7	11,1	13,9	15,7	17,0	17,7	18,2	18,5	17,8	16,2	14,9	13,1	10,6	8,6	7,1	4,6	2,7
Joensuu	min	3,0	5,7	6,4	9,8	10,0	14,0	12,6	14,4	14,0	13,2	13,0	11,4	10,9	7,6	5,3	3,0	0,8	0,0
joki - river	max	10,2	13,2	16,6	18,6	19,6	22,6	22,7	23,0	21,8	21,3	21,1	18,9	16,1	13,7	11,7	10,3	8,4	7,6
1951-1960	1991-2000																		
	ka, mean	5,4	8,2	10,6	14,0	15,9	17,0	17,8	19,2	18,7	18,1	16,5	15,8	13,4	10,9	9,0	7,9	4,8	3,0
	min	3,3	5,7	8,4	10,5	13,3	14,2	15,0	14,5	17,6	16,6	15,0	13,1	11,4	8,0	6,0	5,6	1,7	0,0
	max	8,8	12,4	13,9	17,8	19,6	22,6	19,4	23,0	21,2	21,1	21,1	18,9	15,7	13,7	11,3	10,3	8,4	5,2
0411100	1961-1992																		
Puumala	ka, mean	3,5	5,7	8,3	11,2	13,3	15,0	16,3	17,3	18,1	18,0	17,3	16,3	14,8	13,2	11,5	9,9	8,2	6,6
salmi - strait	min	1,7	3,7	6,0	8,0	9,2	11,6	12,6	14,0	15,4	15,0	14,5	14,0	11,2	10,3	9,0	7,9	6,0	4,0
	max	6,7	9,0	12,6	15,4	16,4	19,0	19,8	22,4	21,4	20,2	19,1	18,2	17,4	15,8	13,9	12,0	10,4	9,0
1405700	1972-2000																		
Jääsjärvi	ka, mean	7,7	10,7	12,8	15,5	16,3	18,4	18,7	18,9	19,1	18,3	16,7	14,9	12,6	10,3	8,4	6,7	4,7	2,9
luusua - outlet	min	4,0	6,0	7,9	11,1	10,3	14,1	14,7	15,0	16,4	12,1	12,6	11,1	8,6	5,5	4,2	3,1	0,5	0,2
	max	13,0	16,1	16,7	20,5	21,2	24,2	22,6	23,5	24,2	22,5	20,0	19,3	16,0	14,7	12,0	9,8	8,2	5,5
	1991-2000																		
	ka, mean	8,0	10,8	12,8	15,9	16,1	18,8	18,2	19,0	19,1	18,2	16,8	15,5	12,6	10,2	8,6	7,4	4,7	3,2
	min	5,4	6,9	10,1	11,3	13,3	15,8	14,7	15,0	16,7	15,5	13,6	11,1	8,6	5,5	5,4	3,6	0,5	0,2
	max	13,0	15,0	16,7	13,0	21,2	23,6	21,3	23,5	24,2	22,5	20,0	19,3	15,9	14,7	11,0	9,8	8,2	5,5
1406000	1971-2000																		
Päijänne, Sysmä	ka, mean	9,0	12,9	15,2	17,2	18,3	19,9	20,1	19,9	20,1	19,3	17,7	15,8	13,9	11,5	9,1	7,5	5,2	3,3
lahti - bay	min	4,6	9,0	11,3	12,2	12,4	16,4	16,5	16,0	17,0	15,8	15,4	12,8	11,0	7,6	5,2	4,0	0,4	0,3
1991, 1994-1995	max	16,0	19,1	21,2	23,0	22,4	26,7	24,2	25,2	24,8	23,1	21,2	19,5	17,0	14,3	12,0	10,8	8,8	7,6
	1991-2000																		
	ka, mean	9,9	12,8	15,4	18,0	18,6	20,1	19,8	19,8	19,4	19,5	18,1	17,3	14,8	12,4	9,9	8,5	5,4	4,3
	min	8,0	9,0	12,6	14,2	16,0	16,8	16,5	16,7	18,3	17,8	15,7	14,6	12,8	9,9	8,4	6,3	1,9	1,5
	max	12,4	19,1	21,2	21,2	22,3	23,9	22,2	22,9	20,6	23,1	21,2	19,5	17,0	14,3	12,0	10,8	8,8	7,6
1600110	1970-1990																		
Pyhäjärvi, Lm	ka, mean	4,6	7,4	10,9	13,5	15,9	17,4	19,0	18,7	19,6	18,8	17,7	15,8	13,8	12,1	10,3	8,6	7,3	5,4
luusua - outlet	min	1,8	4,9	6,5	8,2	11,0	14,1	16,7	15,6	16,7	15,0	14,2	13,1	11,4	9,6	7,3	6,1	5,0	3,0
1981-1982	max	7,2	11,1	16,1	20,2	20,5	23,3	23,2	23,7	26,2	23,2	20,2	17,8	16,7	13,9	13,4	12,8	9,6	6,9
3503100	1971-1999																		
Jalantijärvi	ka, mean	8,3	11,6	14,6	16,7	18,1	19,0	20,1	19,2	19,6	18,5	16,9	14,9	12,8	10,4	7,9			
lahti - bay	min	1,0	1,0	8,0	12,0	14,0	15,0	16,0	15,0	16,0	12,9	13,8	12,1	9,9	7,0	3,0			
1981-1982, 1991	max	17,0	19,5	22,0	22,2	22,3	28,8	25,0	26,2	26,1	23,8	21,3	20,5	17,3	14,2	11,0			
	1992-1999																		
	ka, mean	9,6	12,9	15,1	18,4	18,4	20,3	20,5	19,8	19,8	19,3	18,0	15,7	13,5	11,4	9,0			
	min	6,1	9,1	12,6	14,1	15,1	16,2	16,1	15,9	16,9	16,3	15,3	13,1	10,6	9,0	7,0			
	max	13,3	18,8	20,9	22,2	22,1	28,8	25,0	21,9	26,1	23,1	21,3	20,5	15,7	14,0	10,5			

Havaintopaikka ja puuttuvat vuodet	Jakso	V			VI			VII			VIII			IX			X		
		10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30
3504800	1971-2000																		
Kitusjärvi	ka, mean				15,6	17,0	18,5	19,0	18,3	18,9	17,7	16,1	14,3	12,2	9,7	7,1			
lahti - bay	min				12,1	13,3	14,6	15,0	13,8	15,2	12,4	13,4	11,1	8,3	6,6	2,8			
1981-1982, 1991	max				22,2	22,6	24,5	22,4	24,9	22,8	22,3	20,3	19,4	15,2	12,8	11,2			
	1992-2000																		
	ka, mean				16,2	16,1	18,9	18,1	18,7	18,8	17,9	16,4	15,2	12,9	9,9	8,0			
	min				12,1	13,3	16,1	15,5	15,6	16,4	16,3	14,3	12,4	10,1	6,7	5,1			
	max				19,7	20,6	23,4	21,1	21,3	22,4	22,3	20,3	19,4	15,2	12,5	10,3			
3505000	1967-1999																		
Visuvesi	ka, mean	5,2	8,4	11,3	14,3	16,3	17,6	18,3	17,9	18,8	18,3	16,9	15,2	13,5	11,5	9,2	7,8	5,9	4,0
kanava - canal	min	2,2	4,3	7,5	9,1	10,6	12,1	14,3	14,0	16,2	13,5	13,7	12,2	11,1	9,2	6,9	4,9	2,9	0,4
1981-1982	max	10,5	18,2	18,4	22,0	21,4	24,0	21,3	22,5	23,3	22,3	20,8	18,5	15,5	15,2	12,0	10,7	8,2	6,5
	1991-1999																		
	ka, mean	5,6	8,7	10,8	14,0	15,1	17,4	17,5	17,6	18,7	18,7	17,0	15,8	13,9	11,8	10,0	8,7	6,0	4,1
	min	3,4	5,5	7,5	9,1	10,6	12,1	15,1	14,0	16,8	16,0	15,1	14,0	12,1	9,5	8,1	7,3	3,8	0,4
	max	10,5	18,2	18,4	18,5	21,4	22,8	20,2	21,0	23,3	22,3	20,8	18,5	15,1	13,5	12,0	10,7	8,2	6,5
5902500	1983-2000																		
Nuasjärvi	ka, mean	4,1	7,3	10,4	14,1	15,6	17,3	17,8	18,7	18,5	17,9	15,9	14,1	12,6	10,1	8,0	6,7	4,2	2,6
lahti - bay	min	1,5	3,5	7,2	9,4	11,9	13,8	15,0	15,2	14,5	13,4	12,5	10,0	9,9	3,4	4,6	3,2	0,7	0,4
	max	6,3	10,5	16,2	19,1	18,7	22,1	20,4	24,4	21,3	21,7	19,1	17,1	15,2	12,4	10,9	9,7	7,0	4,7
	1991-2000																		
	ka, mean	4,2	7,3	10,1	14,3	15,5	17,3	17,9	19,0	18,8	18,5	16,5	15,0	13,1	10,2	8,5	7,4	4,0	3,0
	min	3,2	4,0	7,5	9,5	11,9	13,8	15,0	15,9	17,2	15,0	14,2	11,5	10,1	3,4	4,6	4,5	0,7	0,4
	max	5,5	9,5	12,7	19,1	18,7	22,1	20,4	21,7	21,3	21,7	19,1	17,1	14,6	12,4	10,9	9,7	7,0	4,7
5903320	1970-2000																		
Manamansalo	ka, mean				14,0	15,8	17,8	18,5	17,7	18,9	16,9	15,5	13,5	11,8	9,2	6,7	5,2		
salmi - strait	min				8,3	10,5	14,7	15,4	10,0	14,1	13,4	11,0	9,0	7,0	4,5	2,2	0,4		
1981-1982	max				20,2	22,1	23,2	24,7	24,0	24,0	21,4	21,0	19,4	14,8	12,9	11,5	9,7		
	1991-2000																		
	ka, mean				14,7	14,5	17,5	17,2	17,8	19,0	17,4	15,7	14,6	11,9	9,1	7,4	6,5		
	min				9,5	10,5	15,1	15,4	15,1	14,1	14,5	13,0	12,6	10,0	5,8	5,1	4,1		
	max				20,2	19,0	22,3	20,3	21,6	22,1	21,4	19,7	19,4	13,8	11,3	10,3	9,7		
6300100	1961-1999																		
Oijjärvi	ka, mean		11,7		13,8	16,3	17,4	17,6	18,0	17,8	15,9	14,4	12,2	10,5	7,6	5,5	4,5		
lahti - bay	min		6,7		8,8	11,4	12,2	12,9	12,5	11,7	10,2	10,8	8,2	5,8	3,1	2,0	1,2		
1981-1982,	max		20,2		21,0	23,4	25,4	22,3	24,4	21,1	19,6	18,8	16,8	14,2	11,0	9,7	9,7		
1995-1999																			
6801000	1961-1988																		
Onnelansuvanto	ka, mean				7,6	10,6	12,4	13,8	13,9	13,8	12,4	10,8	9,2	7,5	5,0	3,2			
joki - river	min				3,2	5,2	8,8	9,2	10,4	10,3	8,8	8,5	6,4	3,5	0,6	0,0			
1983	max				13,5	17,3	21,2	18,8	19,4	17,4	17,2	14,8	12,4	10,8	8,9	7,5			
7300100	1970-2000																		
Oulankajoki	ka, mean	4,2	7,6		11,4	13,7	15,8	16,5	16,8	17,1	16,1	14,4	12,5	10,6	8,6	6,1	4,3	2,1	0,9
joki - river	min	0,3	3,8		6,9	8,6	11,6	12,8	13,4	14,6	13,1	10,7	9,5	8,5	5,8	3,3	1,7	0,1	0,0
	max	9,9	14,5		16,1	19,4	20,9	23,0	21,9	19,4	19,5	17,2	15,1	13,3	10,8	8,8	8,3	7,3	4,0
	1991-2000																		
	ka, mean	3,6	7,4		11,5	13,3	15,1	15,5	16,8	16,9	16,1	14,4	13,0	11,0	8,6	6,5	4,8	2,5	1,0
	min	0,3	4,4		8,8	10,0	12,1	12,8	13,4	15,4	13,1	10,7	9,5	8,6	5,8	4,2	3,1	0,3	0,1
	max	6,8	12,3		15,8	16,8	20,1	18,2	18,9	19,1	19,0	17,2	15,1	13,3	10,8	8,5	8,3	7,3	2,7

Liite 4. Taulukko pintavesien keskilämpötiloista, rajalämpötilojen ylityksistä, maksimin ja isothermien ajankohdista

Pintavesien lämpötilojen keskiarvot (tiettyjen rajalämpötilojen ylitykset) sekä maksimin ja isothermien ajankohdat
Averages of surface water temperature and average occurring date of isotherms and maximum temperature

Havaintopaikka Ajanjakso Observation site Time periods	Päivien lukumäärä, jolloin T ≥ 20°C ≥ 18°C ≥ 15°C ≥ 10°C Number of days, when T				Keskilämpötila (°C) Kesäkuu Heinäkuu Elokuu Mean temperature of June July August			Maksimin ajankohta Date of Maximum	Isotermin ajankohta Date of isotherm							
	5°C	10°C	15°C	18°C												
Pielinen, Nurmes																
1945-2000	10	29	63	119	13,8	17,8	16,7	16.7.								
1968-2000	10	27	62	118	13,6	17,7	16,7	18.7.	17.5.	22.10.	31.5.	26.9.	22.6.	27.8.	21.7.	7.8.
1968-1990	9	28	61	117	13,5	17,7	16,6	17.7.	15.5.	21.10.	29.5.	24.9.	22.6.	25.8.	18.7.	7.8.
1991-2000	11	26	64	119	13,9	17,5	16,9	19.7.								
Kallavesi, Kuopio																
1945-2000	9	31	69	123	13,6	18,0	17,1	21.7.								
1961-2000	8	30	68	123	13,7	17,8	17,0	22.7.	17.5.	29.10.	1.6.	2.10.	21.6.	1.9.	18.7.	9.8.
1961-1990	8	29	67	122	13,6	17,8	16,8	21.7.	17.5.	28.10.	1.6.	30.9.	20.6.	31.8.	18.7.	7.8.
1991-2000	11	34	71	128	13,9	18,0	17,4	25.7.								
Saimaa, Lauritsala																
1924-2000	16	49	90	137	15,5	18,9	18,3	23.7.								
1961-2000	17	52	94	142	16,2	19,1	18,6	26.7.	3.5.	1.11.	17.5.	6.10.	6.6.	11.9.	30.6.	21.8.
1961-1990	14	49	92	140	16,1	18,9	18,3	25.7.	3.5.	31.10.	17.5.	4.10.	6.6.	10.9.	3.7.	19.8.
1991-2000	24	61	102	148	16,5	19,6	19,3	28.7.								
Pielavesi, Säviä																
1935-2000	10	34	76	119	14,4	18,3	17,0	19.7.								
1961-2000	7	30	76	118	14,8	18,1	17,0	20.7.	13.5.	19.10.	28.5.	23.9.	17.6.	30.8.	18.7.	9.8.
1961-1990	7	30	75	117	14,8	18,0	16,9	20.7.	14.5.	17.10.	29.5.	23.9.	17.6.	30.8.	14.7.	8.8.
1991-2000	8	32	77	119	14,7	18,2	17,1	21.7.								
Lappajärvi, Halkosaari																
1961-2000	11	31	75	124	15,4	18,1	17,0	18.7.	7.5.	22.10.	23.5.	23.9.	14.6.	29.8.	13.7.	9.8.
1961-1990	11	30	74	123	15,4	18,1	16,9	19.7.	7.5.	20.10.	22.5.	22.9.	16.6.	27.8.	14.7.	8.8.
1991-2000	13	34	76	127	15,1	18,1	17,5	17.7.								
Tornionjoki, Kukkolankoski																
1961-2000	4	14	44	93	12,8	16,6	14,4	17.7.	21.5.	28.9.	3.6.	7.9.	24.6.	11.8.	-	-
1961-1990	4	14	44	93	13,1	16,6	14,2	14.7.	21.5.	28.9.	2.6.	8.9.	23.6.	11.8.		
1991-2000	3	15	44	93	12,2	16,7	14,8	25.7.								
Kevojärvi, Kevonniemi																
1962-2000	0	1	17	78	8,6	13,9	13,0	22.7.	3.6.	2.10.	20.6.	6.9.	3.8.	-	-	
1962-1990	1	1	16	79	8,8	14,0	12,9	21.7.	3.6.	2.10.	19.6.	5.9.				
1991-2000	0	1	18	75	8,0	13,7	13,4	25.7.								
Inari, Nellim																
1950-2000	1	6	32	89	10,9	15,3	14,2	20.7.								
1961-2000	1	5	32	89	10,9	15,3	14,1	18.7.	28.5.	3.10.	12.6.	10.9.	9.7.	10.8.	-	-
1961-1990	1	5	31	88	11,0	15,3	13,9	17.7.	28.5.	2.10.	12.6.	9.9.	7.7.	8.8.		
1991-2000	1	7	35	90	10,6	15,5	14,6	20.7.								

Havaintopaikka Ajanjaksot Observation site Time periods	Päivien lukumäärä, jolloin T ≥ 20°C ≥ 18°C ≥ 15°C ≥ 10°C Number of days, when T				Keskilämpötila (°C)			Isotermin ajankohta		Date of isotherm					
					Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	5°C	10°C	15°C	18°C				
					June	July	August								
Pyhäselkä, Joensuu, Ala															
1945-2000	7	28	71	120	14,7	18,0	16,8								
1961-2000	7	28	72	122	14,7	17,9	16,8	8.5.	18.10.	26.5.	22.9.	17.6.	28.8.	15.7.	9.8.
1961-1990	6	27	71	122	14,7	17,8	16,7	8.5.	18.10.	25.5.	21.9.	17.6.	26.8.	18.7.	8.8.
1991-2000	10	31	77	122	14,6	18,3	17,3								
Puumala															
1961-1992	3	20	70	125	12,2	16,8	17,5	17.5.	9.11.	5.6.	9.10.	30.6.	9.9.	29.7.	10.8.
Pyhäjärvi, Lm															
1970-1990	14	36	82	125	14,8	18,8	17,9	12.5.	6.11.	27.5.	1.10.	18.6.	3.9.	2.7.	14.8.
Jääsjärvi															
1972-2000	15	40	80	129	16,1	18,8	17,2	2.5.	19.10.	17.5.	22.9.	7.6.	28.8.	27.6.	11.8.
1991-2000	19	39	80	128	16,2	18,9	17,4								
Päijänne, Sysmä															
1971-2000	28	61	94	136	17,8	20,1	18,2	2.5.	21.10.	12.5.	26.9.	29.5.	4.9.	18.6.	17.8.
1991-2000	30	62	93	134	18,1	20,0	18,6								
Jalantijärvi															
1971-1999	26	50	88	132	17,4	19,6	17,3	2.5.	16.10.	14.5.	23.9.	1.6.	29.8.	20.6.	12.8.
1991-1999	33	58	94	135	18,3	20,1	18,3								
Kitusjärvi															
1971-2000	16	37	76	122	16,3	18,8	16,7	7.5.	13.10.	20.5.	19.9.	6.6.	24.8.	28.6.	7.8.
1991-2000	17	41	77	123	16,2	18,8	17,0								
Visuvesi															
1967-1999	13	33	78	123	15,4	18,2	17,3	9.5.	24.10.	27.5.	27.9.	14.6.	31.8.	8.7.	11.8.
1991-1999	14	33	74	126	15,3	18,0	17,6								
Oulujärvi, Manamansalo															
1970-2000	12	30	65	114	14,8	18,2	16,0	11.5.	11.10.	26.5.	16.9.	15.6.	22.8.	8.7.	6.8.
1991-2000	9	28	63	113	14,4	17,8	16,5								
Nuasjärvi, Vuokatti															
1983-2000	9	29	70	116	14,6	18,2	16,6	14.5.	16.10.	29.5.	20.9.	16.6.	25.8.	13.7.	9.8.
Kemijoki, Isohaara															
1970-1999	4	18	57	102	12,3	17,2	16,3	22.5.	12.10.	6.6.	19.9.	25.6.	24.8.	30.7.	4.8.
1991-1999	5	25	61	106	12,1	17,1	16,6								
Oijärvi, Lm															
1961-2000	9	24	61	108	15,2	17,7	15,0	12.5.	6.10.	25.5.	11.9.	15.6.	13.8.	24.7.	1.8.
Onnelansuvanto, Lm															
1961-1988	0	2	13	64	9,1	13,5	11,5	31.5.	19.9.	18.6.	24.8.	-	-	-	-
Oulankajoki, Lm															
1970-2000	2	11	48	98	12,5	16,7	15,0	22.5.	6.10.	5.6.	13.9.	25.6.	16.8.	-	-
1991-2000	1	10	46	99	12,2	16,3	15,0								

Liite 5. Taulukko ilman lämpötiloista ja tuulen kuukausikeskiarvoista eri paikkakunnilla

Veden lämpötilahavaintopaikkojen läheisten sääasemien ilman lämpötilan ja tuulen kuukausikeskiarvoja jaksolla 1961-1990

Lähde: Tilastoja Suomen ilmastosta 1961-1990 (Ilmatieteen laitos 1991)

JUUKA		Tuuli (%)										
Kuukausi	T, KA	T, Klo 8	Tyyni	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	KA, M/S
5	8,0	8,2	6,0	9,0	16,0	15,0	9,0	11,0	13,0	10,0	12,0	3,3
6	13,6	14,0	7,0	9,0	15,0	13,0	8,0	11,0	13,0	11,0	14,0	3,2
7	15,6	16,1	9,0	8,0	12,0	13,0	10,0	14,0	13,0	10,0	10,0	2,7
8	13,2	13,4	11,0	7,0	12,0	10,0	10,0	13,0	13,0	11,0	12,0	2,8
9	8,0	7,4	10,0	5,0	8,0	7,0	11,0	16,0	17,0	13,0	15,0	3,3
10	2,7	1,9	6,0	4,0	5,0	5,0	12,0	16,0	19,0	15,0	16,0	3,7
		Keskiarvo	8,2	7,0	11,3	10,5	10,0	13,5	14,7	11,7	13,2	3,2

KUOPIO LENTOAS.		Tuuli (%)										
Kuukausi	T, KA	T, Klo 8	Tyyni	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	KA, M/S
5	8,8	7,6	5,0	11,0	7,0	17,0	12,0	13,0	12,0	13,0	11,0	3,4
6	14,6	13,8	4,0	11,0	7,0	12,0	10,0	14,0	13,0	15,0	14,0	3,4
7	16,8	15,9	4,0	11,0	7,0	13,0	12,0	16,0	13,0	13,0	12,0	3,2
8	14,5	13,5	3,0	11,0	8,0	12,0	12,0	15,0	11,0	14,0	13,0	3,4
9	9,1	8,0	3,0	9,0	5,0	9,0	12,0	18,0	14,0	16,0	13,0	3,7
10	3,7	2,9	2,0	7,0	4,0	8,0	12,0	21,0	15,0	18,0	12,0	4,1
		Keskiarvo	3,5	10,0	6,3	11,8	11,7	16,2	13,0	14,8	12,5	3,5

LAPPEENRANTA LENTOAS.		Tuuli (%)										
Kuukausi	T, KA	T, Klo 8	Tyyni	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	KA, M/S
5	9,8	8,8	4,0	17,0	11,0	14,0	9,0	14,0	14,0	9,0	9,0	3,6
6	14,8	14,2	3,0	17,0	10,0	11,0	8,0	13,0	19,0	11,0	9,0	3,6
7	16,7	16,1	4,0	15,0	8,0	12,0	9,0	16,0	17,0	10,0	10,0	3,2
8	14,8	13,9	3,0	13,0	8,0	13,0	10,0	15,0	16,0	12,0	9,0	3,3
9	9,5	8,4	4,0	11,0	6,0	12,0	11,0	16,0	16,0	16,0	10,0	3,5
10	4,2	3,3	3,0	8,0	4,0	9,0	12,0	17,0	19,0	18,0	11,0	3,8
		Keskiarvo	3,5	13,5	7,8	11,8	9,8	15,2	16,8	12,7	9,7	3,5

MAANINKA		Tuuli (%)										
Kuukausi	T, KA	T, Klo 8	Tyyni	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	KA, M/S
5	8,5	7,8	5,0	12,0	9,0	10,0	13,0	19,0	11,0	8,0	13,0	3,1
6	14,2	13,9	6,0	11,0	8,0	8,0	11,0	16,0	13,0	13,0	14,0	3,1
7	16,2	16,0	9,0	10,0	9,0	9,0	12,0	18,0	11,0	10,0	11,0	2,6
8	13,9	13,5	6,0	13,0	10,0	11,0	13,0	15,0	11,0	11,0	11,0	2,8
9	8,7	7,9	8,0	11,0	6,0	8,0	12,0	19,0	12,0	13,0	11,0	3,1
10	3,6	2,8	5,0	9,0	6,0	9,0	9,0	22,0	14,0	15,0	12,0	3,3
		Keskiarvo	6,5	11,0	8,0	9,2	11,7	18,2	12,0	11,7	12,0	3,0

KAUHAVA LENTOASEMA				Tuuli (%)								KA, M/S
Kuukausi	T, KA	T, Klo 8	Tyyni	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
5	8,7	7,6	5,0	18,0	10,0	12,0	6,0	14,0	14,0	10,0	11,0	3,6
6	13,8	13,3	5,0	18,0	7,0	9,0	6,0	15,0	15,0	13,0	13,0	3,5
7	15,5	14,9	6,0	17,0	8,0	8,0	8,0	17,0	14,0	10,0	11,0	3,1
8	13,5	12,1	6,0	18,0	9,0	9,0	8,0	16,0	14,0	10,0	11,0	3,1
9	8,5	6,6	7,0	11,0	6,0	9,0	11,0	21,0	16,0	11,0	9,0	3,3
10	3,7	2,4	4,0	8,0	6,0	7,0	11,0	25,0	18,0	12,0	8,0	3,6
		Keskiarvo	5,5	15,0	7,7	9,0	8,3	18,0	15,2	11,0	10,5	3,4

YLITORNIO, PORTIMOJÄRVI				Tuuli (%)								KA, M/S
Kuukausi	T, KA	T, Klo 8	Tyyni	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
5	6,6	6,0	2,0	7,0	21,0	5,0	17,0	11,0	15,0	6,0	15,0	4,0
6	13,0	12,7	2,0	8,0	17,0	5,0	15,0	12,0	14,0	6,0	21,0	4,2
7	15,1	14,8	1,0	5,0	18,0	6,0	19,0	12,0	15,0	5,0	16,0	3,6
8	12,5	11,5	4,0	6,0	19,0	6,0	18,0	10,0	13,0	7,0	16,0	3,3
9	7,2	5,5	5,0	5,0	11,0	5,0	19,0	12,0	16,0	7,0	19,0	3,4
10	1,3	0,1	5,0	4,0	12,0	4,0	20,0	11,0	15,0	11,0	17,0	3,5
		Keskiarvo	3,2	5,8	16,3	5,2	18,0	11,3	14,7	7,0	17,3	3,7

UTSJOKI, KEVO				Tuuli (%)								KA, M/S
Kuukausi	T, KA	T, Klo 8	Tyyni	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
5	3,2	3,1	9,0	18,0	5,0	8,0	12,0	18,0	6,0	11,0	15,0	3,1
6	9,6	9,1	6,0	30,0	6,0	7,0	11,0	13,0	4,0	6,0	17,0	3,6
7	12,7	12,1	8,0	30,0	5,0	6,0	13,0	19,0	4,0	6,0	10,0	3,1
8	10,3	9,1	11,0	24,0	5,0	5,0	14,0	19,0	4,0	5,0	12,0	2,8
9	5,3	3,8	12,0	14,0	2,0	3,0	15,0	29,0	6,0	7,0	12,0	2,7
10	-1,2	-2,1	11,0	11,0	2,0	2,0	14,0	37,0	5,0	7,0	11,0	2,9
		Keskiarvo	9,5	21,2	4,2	5,2	13,2	22,5	4,8	7,0	12,8	3,0

INARI, NELLIM				Tuuli (%)								KA, M/S
Kuukausi	T, KA	T, Klo 8	Tyyni	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
5	4,0	4,0	8,0	4,0	12,0	13,0	10,0	8,0	12,0	10,0	23,0	3,1
6	10,5	10,1	6,0	6,0	15,0	10,0	10,0	8,0	9,0	9,0	27,0	3,3
7	13,6	13,3	7,0	6,0	18,0	13,0	11,0	11,0	9,0	8,0	18,0	2,9
8	11,2	10,9	10,0	6,0	15,0	15,0	12,0	9,0	12,0	7,0	15,0	2,8
9	6,2	5,6	11,0	5,0	5,0	11,0	14,0	15,0	17,0	8,0	15,0	3,0
10	0,1	-0,4	9,0	3,0	5,0	10,0	13,0	13,0	24,0	10,0	12,0	3,1
		Keskiarvo	8,5	5,0	11,7	12,0	11,7	10,7	13,8	8,7	18,3	3,0

Kuvailulehti

Julkaisij	Suomen ympäristökeskus	Julkaisu-aika	15.7.2002
Tekijä(t)	Johanna Korhonen		
Julkaisun nimi	Suomen vesistöjen lämpötilaolot 1900-luvulla		
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut	http://www.ymparisto.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy566/sy566.htm		
Tiivistelmä	<p>Tässä julkaisussa tarkastellaan Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) valtakunnallisia pintaveden ja syvänveden lämpötilahavaintosarjoja. Pisin SYKEN (ent. Hydrologian toimisto) lämpötilahavaintosarja on Saimaan Lauritsalasta, missä päivittäiset avovesikauden havainnot alkoivat jo vuonna 1916. Suurin osa systemaattisista lämpötilahavainnoista alkoi kuitenkin vasta 1960- ja 1970-luvun alussa. Useiden pintaveden lämpötila-asemien havainnointi lopetettiin 1980- tai 1990-luvulla taloudellisten resurssien supistuessa. Kesällä 2000 valtakunnalliseen pintaveden lämpötilahavaintoverkkoon kuului 30 havaintoasemaa. Samana kesänä syvänveden lämpötilaluotauksia tehtiin kymmenessä eri havaintopaikassa. Varhaisimmat systemaattiset lämpötilaluotaukset aloitettiin 1950-luvulla.</p> <p>Työssä keskitytään pintaveden osalta kahdeksaan pitkäaikaiseen havaintosarjaan. Havaintopaikat sijaitsevat Pielisellä, Kallavedellä, Saimaalla, Pielavedellä, Lappajärvellä, Tornionjoella, Kevojärvellä ja Inarissa. Myös muutamien muiden asemien lämpötilahavaintoja on esitetty keskiarvo- ym. taulukkoina. Tarkastelujaksona on käytetty vuosia 1961-2000. Lisäksi aikasarjatarkaste-luissa on käsitelty niin pitkää havaintojaksoa kuin kultakin asemalta on saatavilla. Keskiarvojen, minimeiden ja maksimeiden lisäksi on laskettu kuukausikeskiarvoja, tietyn lämpötilan ylittäviä kausia sekä esitetty näistä aikasarjoja. Aikasarjoista analysoitiin mahdollisia pitkäaikaisia muutoksia sekä niiden merkitsevyyttä. Työssä tarkasteltiin myös aikasarjojen edustavuutta, luotet-tavuutta sekä homogeenisuutta.</p> <p>Syvänveden luotauksista käsitellään vain kahta havaintojärveä, Kallavettä ja Inaria. Tarkastelu-jaksona on 1981-2000. Havainnoista on laskettu mm. lämpötilan keskimääräinen vuotuinen kul-ku ja vaihtelu, harppauskerroksen syvyys, järven stabiliteetti ja lämpö määrä.</p> <p>Suuria pitkäaikaismuutoksia pintaveden lämpötiloissa ei noussut näkyville. Etelä- ja Keski-Suo-men havaintopaikoilla jaksolla 1991-2000 veden lämpötilat olivat hieman korkeampia kuin jak-solla 1961-1990, mutta ainoastaan Saimaan Lauritsalan havainnoissa oli tilastollisesti merkitsevä lämpenemistrendi mm. kesä-elokuun keskilämpötiloissa ja tietyn rajalämpötilan ylittävien päi-vien lukumäärässä. Pohjoisen havaintopaikoilla ei ollut havaittavissa muutoksia.</p>		
Asiasanat	järvet, joet, vesistöt, vesi, pintavesi, lämpötila, tilastot, aikasarjat, Suomi		
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristö 566		
Julkaisun teema	Luonto ja luonnonvarat		
Projektihankkeen nimi ja projektin numero			
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Suomen ympäristökeskus		
Projektiryhmään kuuluvat organisaatiot			
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-1194-1 (nid.)	ISBN 952-11-1195-X (PDF)
	Sivuja 116	Kieli Suomi	
	Luottamuksellisuus Julkinen	Hinta 15 e	
Julkaisun myynti/ jakaja	Edita Publishing Oy, PL 800, 00043 EDITA, vaihde 020 450 00. Asiakaspalvelu: puh. 020 450 05, telefax 020 450 2380, sähköpostiosoite: asiakaspalvelu@edita.fi, www-palvelin: http://www.edita.fi/netmarket		
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus PL 140, 00251 Helsinki		
Painopaikka ja -aika	Edita Prima Oy, Helsinki 2002		

Presentationsblad

Utgivare	Finlands miljöcentral	Datum 15.7.2002
Författare	Johanna Korhonen	
Publikationens titel	Vattentemperaturer av sjöar och åar i Finland på 1900-talet	
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma project	http://www.ymparisto.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy566/sy566.htm	
Sammandrag	<p>Denna publikation handlar om de observationer av ytvatten- och djupvattentemperatur som ingår i Finlands miljöcentral (SYKE) nationella nätverk. De första mätningarna av ytvattnets temperatur påbörjades år 1916 i Saimen i Lauritsala. De flesta av de systematiska mätningarna av ytvattnets temperatur inleddes i början av 1960- och 1970-talet. På många mätningstillfällen upphörde observationerna på 1980- eller 1990-talet i och med att de finansiella resurserna sina- de. På sommaren 2000 hörde 30 observationstillfällen till det nationella nätverket för ytvattentem- peratur. Under samma sommar utfördes profilmätningar av djupvattentemperatur på tio mät- ningstillfällen. De första systematiska temperaturlodningarna inleddes på 1950-talet.</p> <p>I denna studie behandlas åtta långvariga ytvattenserier. Observationstillfällena ligger i Pielinen, Kallavesi, Saimen, Pielavesi, Torne älv, Kevojärvi och Enare träsk. Också temperaturresultat från några andra observationstillfällen, bland annat medelvärden, har presenterats i tabellerna. Analysen har gjorts för perioden 1961-2000. För tidsserieanalyserna användes hela den tillgäng- liga tidsserien. Förutom medelvärden, minima och maxima beräknades också månadsmedel- värden och perioder när ytvattnets temperatur överskrider ett visst värde; också dessa variab- ler presenteras som tidsserier. Utgående från tidserierna har trender, långtidsförändringar och deras signifikans analyserats. I studien behandlas också representativiteten, pålitligheten och homogeniteten av tidserierna. Av djupvattentemperaturerna behandlas bara två sjöar, Kallavesi och Enare träsk. Perioden för analysen var 1981-2000. Utgående från observationerna beräkna- des bl.a. temperaturens genomsnittliga utveckling under en sommar och dess årliga fluktuation, djupet av termoklinen, stabiliteteten och det termiska energiinnehållet av vattenmassan.</p> <p>Den statistiska analysen av observationerna visade inga stora förändringar i ytvattentempera- turer. I södra och central Finland var ytvattentemperaturerna vid observationsstillfällena något högre under perioden 1991-2000 än under perioden 1961-1990, men endast i Saimen vid Laurit- sala fanns signifikanta positiva trender för många variabler. Vid norra Finlands observationstil- len noterades inga förändringar.</p>	
Nyckelord	sjöar, åar, ytvatten, vattentemperatur, statistik, tidserier, Finland	
Publikationsserie och nummer	Miljön i Finland 566	
Publicationens tema	Natur och naturtillgångar	
Projektets namn och nummer		
Finansiär/ uppdragsgivare	Finlands miljöcentral	
Organisationer i projektgruppen		
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-1194-1
	Sidantal 116	ISBN 952-11-1195-X (PDF)
	Offentlighet Offentlig	Språk Finska
		Pris 15 EUR
Beställningar/ distribution	Edita Publishing Ab, PB 800, FIN-00043 EDITA, Finland Postförsäljningen: Telefon +358 20 450 05, telefax +358 20 450 2380 e-mail: asiakaspalvelu@edita.fi , www-server: http://www.edita.fi/netmarket	
Förläggare	Finlands miljöcentral PL 140, 00251 Helsingfors	
Tryckeri/ tryckningsort och -år	Edita Prima Ab, Helsingfors 2002	

Documentation page

Publisher	Finnish Environment Institute	Date	15.7.2002
Author(s)	Johanna Korhonen		
Title of publication	Water temperature conditions of lakes and rivers in Finland in the 20 th century		
Parts of publication/ other project publications	http://www.ymparisto.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy566/sy566.htm		
Abstract	<p>This publication deals with surface water and deep water temperature observation series of the national network of the Finnish Environment Institute (SYKE). The longest surface water temperature records are those from lake Saimaa, Lauritsala, where daily summertime surface water temperature observations were started in 1916. A major part of the surface water observations did not start until early 1960's and 1970's. The observations at many stations were discontinued in the 1980's and 1990's due to financial scarcity. In the summer of 2000 there were 30 national surface water temperature stations managed by the Finnish Environment Institute. At ten observation sites, the vertical distribution of temperature was also measured. The first systematic temperature profile measurements started in the 1950's.</p> <p>In this study, eight long-time surface water temperature time series from different parts of Finland are considered. The observation sites are situated in the following lakes or rivers: Pielinen, Kallavesi, Saimaa, Pielavesi, Lappajärvi, Tornionjoki, Kevojärvi and Inari. In addition, results from some other observation sites (averages, minima, maxima) are presented in the tables. The observation period 1961-2000 was used. In addition, in time series analyses the longest possible observation series for each site was used. In addition to averages, minima and maxima, some other variables were calculated, such as monthly averages, or the number of days when the temperature exceeded a certain value. The time series were used for an analysis of long-term changes and their significance. Also the representativeness, the reliability and the homogeneity of the time series were examined. Only two lakes (Kallavesi and Inari) with vertical temperature profile measurements were examined. The time period for the vertical temperature profile study was 1981-2000. From the observations, the average course of water temperature, its annual variation, the depth of the thermocline, the stability and the heat content of the water mass were calculated.</p> <p>The statistical analysis of the observation did not show many significant long-time changes in the surface water temperature. In southern and central Finland, water temperatures were slightly higher in 1991-2000 than during the period of 1961-1990, but only the Saimaa observation site had statistically significant trends in several variables. In northern Finland, no changes were detected.</p>		
Keywords	lakes, rivers, surface water, temperature, statistics, time series, Finland		
Publication series and number	The Finnish Environment 566		
Theme of publication	Nature and natural resources		
Project name and number, if any			
Financier/ commissioner	Finnish Environment Institute		
Project organization			
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-1194-1	ISBN 952-11-1195-X (PDF)
	No. of pages 116	Language Finnish	
	Restrictions Public	Price 15 EUR	
For sale at/ distributor	Edita Publishing Ltd.- P.O.BOX 800, FIN-00043 EDITA, Finland, Phone +358 20 450 05, telefax +358 20 450 2380, e-mail: asiakaspalvelu@edita.fi, www-server: http://www.edita.fi/netmarket		
Financier of publication	Finnish Environment Institute P.O. BOX 140, FIN-00251 Helsinki, Finland		
Printing place and year	Edita Prima Ltd, Helsinki 2002		



LUONTO JA LUONNONVÄRAT

Suomen vesistöjen lämpötilaolot 1900-luvulla

Monikohan on tullut ajatelleeksi tai tietää, että pintaveden lämpötila ylittää ilman vuorokauden keskilämpötilan keskimäärin kesäkuusta syksyyn, aina vesistöjen jäätymiseen saakka? Seikalla on suuri merkitys sekä vesien ekologialle että Suomen ilmastoon.

Käsillä oleva, Suomen vesistöjen lämpötiloja koskeva laaja julkaisu palvelee niin vesistötutkijoita kuin suurta yleisöäkin.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan Suomen ympäristökeskuksen (SYKEN) valtakunnallisia pintavesien lämpötilahavaintoja ja syvänveden lämpötilaluotaushavaintoja 1900-luvulla. Pintaveden lämpötilaoloja selvitetään perusteellisesti kahdeksan, eri puolilla Suomea sijaitsevan havaintopaikan pitkiä aikasarjoja analysoimalla. Syvänveden lämpötilaluotauksista tarkastellaan ainoastaan kahta havaintopaikkaa. Pintaveden lämpötilan tarkastelujakso on 1961-2000, mutta lisäksi tarkastellaan koko olemassa olevaa havaintojaksoa kultakin havaintopaikalta. Lämpötilaluotauksien tarkastelujakso on 1981-2000. Havainnoista esitetään monenlaisia tunnuslukuja sekä aikasarjoja. Lisäksi esitellään havaintoasemat ja niiden ominaispiirteet, veden lämpötilaan vaikuttavat fysikaaliset prosessit, ilmastonmuutoksen vaikutukset veden lämpötilaan, veden lämpötilan merkitys vesien eliöstölle sekä havaintojen käsittelyn menetelmiä.

Julkaisu on saatavana myös internetistä:
<http://www.ymparisto.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy566/sy566.htm>

ISBN 952-11-1194-1 (nid.)
ISBN 952-11-1195-X (PDF)
ISSN 1238-7312

Edita Publishing Oy
PL 800, 00043 EDITA, vaihe 020 450 00
Asiakaspalvelu:
puhelin 020 450 05, faksi 020 450 2380
Edita-kirjakauppa Helsingissä:
Annankatu 44, puhelin 020 450 2566

