

**ESKO KUUSISTO**

**SUOMEN VESISTÖJEN LÄMPÖTILAT  
KAUDELLA 1961—1975**

Summary

**Water temperatures of lakes and rivers in Finland in the period 1961—1975**

Tekijä on vastuussa julkaisun sisällöstä, eikä siihen voida vedota vesihallituksen virallisena kannanottona.

The author is responsible for the contents of the publication.  
It may not be referred to as the official view or policy of the National Board of Waters.

ISBN 951-46-6068-4  
ISSN 0355-0982

Helsinki 1982. Valtion painatuskeskus

## SISÄLLYS

1.	Johdanto	5
2.	Pintaveden lämpötila	6
2.1	Pintalämpötilan avovesikautinen kulku	7
2.2	Pintaveden lämpötilan arviointimallit	14
3.	Koko vesimassan lämpöolot	17
3.1	Järven energiatase	17
3.1.1	Lämmönvaihto järven pinnalla	17
3.1.2	Lämpöenergian siirtyminen vesimassassa	19
3.2	Havaintoaineisto	20
3.3	Järven termisen vuoden osat	21
3.3.1	Jäänlähtö	21
3.3.2	Vesimassan lämpeneminen	23
3.3.3	Vesimassan jäähtyminen	25
3.3.4	Jäätyminen	26
3.3.5	Jääpeiteaika	27
3.3.6	Koko termisen vuosi	28
3.4	Eräitä lisätarkasteluita	35
	Lopputiivistelmä	37
	Päätösmaininnat	38
	English summary	38
	Kirjallisuutta	40



## SUOMEN VESISTÖJEN LÄMPÖTILAT KAUDELLA 1961–1975

Esko Kuusisto

KUUSISTO, E. 1981. Suomen vesistöjen lämpötilat kaudella 1961-1975. Water temperatures of lakes and rivers in Finland in the period 1961-1975. Publications of the Water Research Institute, National Board of Waters, Finland, No. 44.

---

Water temperature observations operated by the Hydrological Office of National Board of Waters in the period 1961–1975 are analyzed. Both surface water temperature and the vertical distribution of temperature are discussed. Some regression models for the estimation of surface water temperature are presented. The different phases of the annual thermal cycle of lakes are separately considered. Finally, some aspects of the thermal stratification and the representativity of the observation stations are discussed.

---

Index words: Water temperature, lakes, ice conditions, thermal stratification.

---

### 1. JOHDANTO

Suomen järvien ensimmäiset, systemaattiset lämpötilamittaukset ovat jaksolta 1892–1906, jolloin tutkittiin Lohjanjärven, Laatokan, Päijänteen ja Inarin lämpöoloja (Homen 1903). Vuosina 1910–1926 teki hydrografinen toimisto Lapajärveltä yli 1 200 lämpötilaluotausta (Odenwall 1934). Päijänteen Tehinselän lämpöoloja seurattiin systemaattisesti vuosina 1911–1918 sekä uudelleen vuosina 1950–1959 (Simojoki 1956, 1960). Vuonna 1916 aloitettiin pintalämpötilan mittaukset Lauritsalassa; ne jatkuvat edelleen muodostaen pisimmän yhtenäisen veden lämpötilan havaintosarjan maassamme. Erityisesti jääpeiteajan lämpöoloja selvitettiin Kallavedellä talvella 1937–1938 (Simojoki 1940).

Järnefelt (1958) on käsitellyt laajasti vesistöjen lämpöoloja sekä kuvaillen että esimerkein. Ryhänen (1962) on todennut Kokemäenjoen alueella tehdyissä tutkimuksissa, että järvi-altaiden talvinen lämpötila riippuu ensi sijassa myö-

häissyksyn säästä. Seuna (1969) on esittänyt yhteenvedon pintaveden lämpötiloista eräissä Suomen vesistöissä. Erityisesti hän on tarkastellut tietyn rajalämpötilan ylittävien kausien pituuksia sekä maksimilämpötiloja. Laaksonen (1972) on analysoinut järvisyvänteiden tilan seurantahavaintoja, ja laskenut jaksolla 1965–1970 keskimääräisiä maaliskuun lämpötiloja eri syvyyksillä.

Hydrologian toimiston suorittamien virtaus-tutkimusten yhteydessä on myös tehty lämpötilamittauksia. Niissä on käytetty sekä normaalia lämpötilaluotausta että magneettinauhalle rekisteröiviä laitteita. Tutkimuskohteista tärkeimpiä ovat olleet Asikkalanselkä (Sarkkula 1976) ja Korospohjan lahti (Sarkkula 1977).

Harppauskerroksen liikettä on tutkittu mm. Lammin Pääjärvellä (Huttula 1976). Tutkimuksessa on kehitetty mallit harppauskerroksen kalistumille eri havaintopisteissä.

Hydrologian toimistolla on veden lämpötilahavaintoja yhteensä yli 60 asemalta. Näistä valtaosa on pintaveden lämpötilan mittauspaiikkoja –

lämpöluotauksia on systemaattisesti tehty vain 9 asemalla.

Tämä tutkimus perustuu yllämainittuun hydrologian toimiston aineistoon lähinnä vuosilta 1961–1975. Sekä pintaveden että koko vesimassan lämpöoloja tarkastellaan tilastollisin menetelmin.

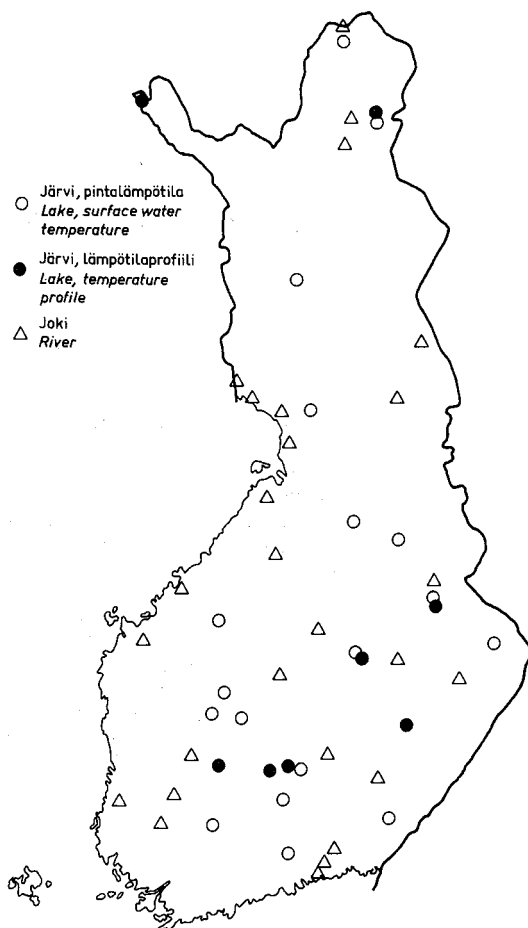
## 2. PINTAVEDEN LÄMPÖTILA

Hydrologian toimisto mittaa pintaveden lämpötilaa 27 järvi- ja 27 jokiasemalla. Nämä havaintopaikat on esitetty kuvassa 1.

Ennen vuotta 1961 oli pintaveden lämpötila-asemia vain muutamia. Saimaalla Lauritsalassa havainnot oli aloitettu jo 1916, Kyrösjärvellä 1931, Pielaveden luusuaassa (Säviä) 1935 ja Inarin Nellimissä 1951. Kymijoella aloitettiin 1930-luvun alkupuolella havainnot Anjalassa, Kläsarössä ja Kuusankoskella sekä Kokemäenjoella Äetsässä. Vuonna 1961 käynnistyivät havainnot 21 asemalla. Sen jälkeen on asemien lukumäärä vielä kaksinkertaistunut – eniten uusia asemia liitettiin havaintoverkkoon 1970-luvun alussa. Keskimääräinen havaintosarjan pituus oli vuoden 1975 lopussa järviasemilla 14,7 vuotta ja jokiasemilla 11,3 vuotta. Aineistoa oli siten kertynyt yhteensä yli 700 havaintovuotta.

Havainnot tehdään joko upottamalla lämpömittari suoraan veteen tai ottamalla pinnan läheltä vesinäyte astialla. Havainto-ohjeissa on varoitettu virhelähteistä, joita ovat mm. liian lyhyt mittausaika, liian korkealla pidetty mittari, ämpäriin tai käden lämpövarasto, mittaus liian lähellä rantaa, kiviä tai rakenteita. Karkeita virheitä esiintyy joskus, mutta ne havaitaan yleensä helposti. Sen sijaan pienemmät systemaattiset virheet voivat jäädä huomaamatta.

Käytetyn mittausmenetelmän voidaan siten katsoa antavan veden lämpötilan ylimmässä 10–30 cm kerroksessa. Havaintoaika on klo 8 aamulla. Tämä ajankohta ei ole vuorokausikeskilämpötilaa ajatellen paras mahdollinen, mutta koska havaitsija lukee vedenkorkeusasteikon tällöin, ei erilliseen havaintoaikaan ole voitu mennä. Saatu lukema on varsinkin alkukesällä lämpötilan vuorokausikeskiarvoa alaisempi. Suppeaan vertailuaineistoon ja eräisiin lisätarkasteluihin perustuen Solantie (1976) on esittänyt seuraavat korjaukset eri kuukausille vuorokausikeskiarvojen määrittämiseksi klo 8 havainnoista:



Kuva 1. Pintaveden lämpötila-asetat.  
Fig 1. Surface water temperature stations.

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

Nämä arvot ovat keskimääräisiä; asemakohtainen korjaus riippuu paikan suojaisuudesta, tuulesta, virtauksista ja vallitsevasta säätyypistä.

Havaintopaikkojen edustavuutta ei ole tarkoin selvitetty. Asemaverkkoa luotaessa ei edustavuuteen ole voitu kiinnittää suurtakaan huomiota, koska havaintopaikat ovat vedenkorkeusasteikkojen yhteydessä. Suojaisa lahti, joka on hyvä vedenkorkeushavainnoille, ei todennäköisesti edusta järven pintaveden lämpötilaa kovinkaan hyvin. Näin on asia nimenomaan keväällä, jolloin vesi suojaisissa paikoissa lämpenee nopeasti.

Paitsi ao. järveä, havaintopaikan tulisi edustaa myös alueelle tyypillisiä pintaveden lämpöoloja.

Tämä asemien alueellinen edustavuus on vielä vaikeammin selvitettävissä — todennäköisesti se on korkeintaan tyydyttävä. Useimmat havaintosarjat ovat peräisin keskisuurista tai suurista järivistä. Pienissä järvissä tuulen sekoittava vaikutus on vähäisempi ja pintaveden lämpötila vastaavasti korkeampi. Toisaalta vuorokautinen lämpötilan vaihtelu on pienissä järvissä suurempi. Näin ollen klo 8 aamulla tehty havainto kuvanee suurissa järvissä lämpötilan vuorokausikeskiarvoa paremmin kuin pienissä.

Pintaveden lämpötilan vaihtelua suuren järven eri osissa ei meillä ole myöskään riittävästi tutkittu. Perinteisellä mittausmenetelmällä mahdollisuudet tällaisen tutkimuksen suorittamiseen olisivatkin huonot. Käytettävissä on tosin nykyään muitakin menetelmiä. Esim. Ruotsissa on mitattu Vänern-järven pintaveden lämpötilaa lentokoneesta rekisteröimällä vedenpinnan lähettämä 8–14  $\mu\text{m}$  säteily (Wennerberg 1972). Mittaukset tehtiin kesällä 1971; eri mittausajankohtina pintaveden lämpötila vaihteli järven eri osissa seuraavasti:

	lämpötila °C
12.5.	3–10
17.6.	7–13
20.7.	10–12
16.8.	14–16
25.9.	8–12
25.10.	7–9
5.12.	1–5

Vaihtelu on siis varsin suuri erityisesti alkukesällä. — Samaa suuruusluokkaa oleva vaihtelu havaittiin Huron-järvellä kesällä 1966 (Bolsenga 1976). Mittaukset tehtiin tutkimusalueelta käytäen.

Alhaisimmat lämpötilat esiintyivät em. tutkimuksissa keväällä ja kesällä yleensä järven keskiosissa, syksyllä lähellä rantoja. Tämä lienee suurille järville melko yleispätevä tulos, joskin pitkäaikainen samansuuntaisena pysyvä tuuli voi saada kylmän veden kumpuamaan esiin suojanpuoleisella rannalla. — Molemmat ylläesitetyt tutkimukset tehtiin Suomen oloja ajatellen ”ylisuurilla” järvilla, mutta vaihtelu saattaa pääjärvisämme olla silti huomattavaa. Niinpä esim. Suur-Saimaan Lauritsalan ja Puumalan havaintoasemilla pintalämpötilan kuukausikeskiarvotkin poikkeavat toukokuussa noin 4 °C toisistaan (Kuusisto 1978). Tämä antaa käsityksen vaihtelun suuruusluokasta, vaikka kylmemmän aseman, Puumalan, alueellinen edustavuus onkin kyseenalainen.

## 2.1 Pintalämpötilan avovesikautinen kulku

Pintaveden lämpeneminen keväällä jäänlähdon jälkeen riippuu sääolojen lisäksi oleellisesti järven syvyydestä. Se riippuu myös jonkin verran järven koosta ja veden laadusta. Kuitenkin syvyys on ratkaiseva tekijä varsinkin tuulille alttiissa järvissä.

Kuvissa 2 on esitetty pintaveden lämpötilan keskimääräinen kulku 18 havaintoasemalla jaksolla 1961–1975. Kuviin on myös merkitty kerran 10 vuodessa toistuvat alhaisimmat ja korkeimmat lämpötilat, jotka on määritetty graafisesti normaalijakauman todennäköisyyspaperia käytäen. Kaikilta kuvan 2 asemilta on lähes täydellinen 15 vuoden havaintojakso, joten tulokset ovat keskenään vertailukelpoiset.

Kuvista 2 ilmenee selvästi, että paikalliset tekijät vaikuttavat oleellisesti pintaveden lämpötilaeroihin eri asemien välillä. Tämä merkitsee sitä, että vasta melko kaukana toisistaan olevilla asemilla voidaan ilmastollisen eron vaikutus havaita. Samoin on merkittävää, että lämpötilan vaihtelu vuodesta toiseen on eri asemilla hyvin erisuuruista.

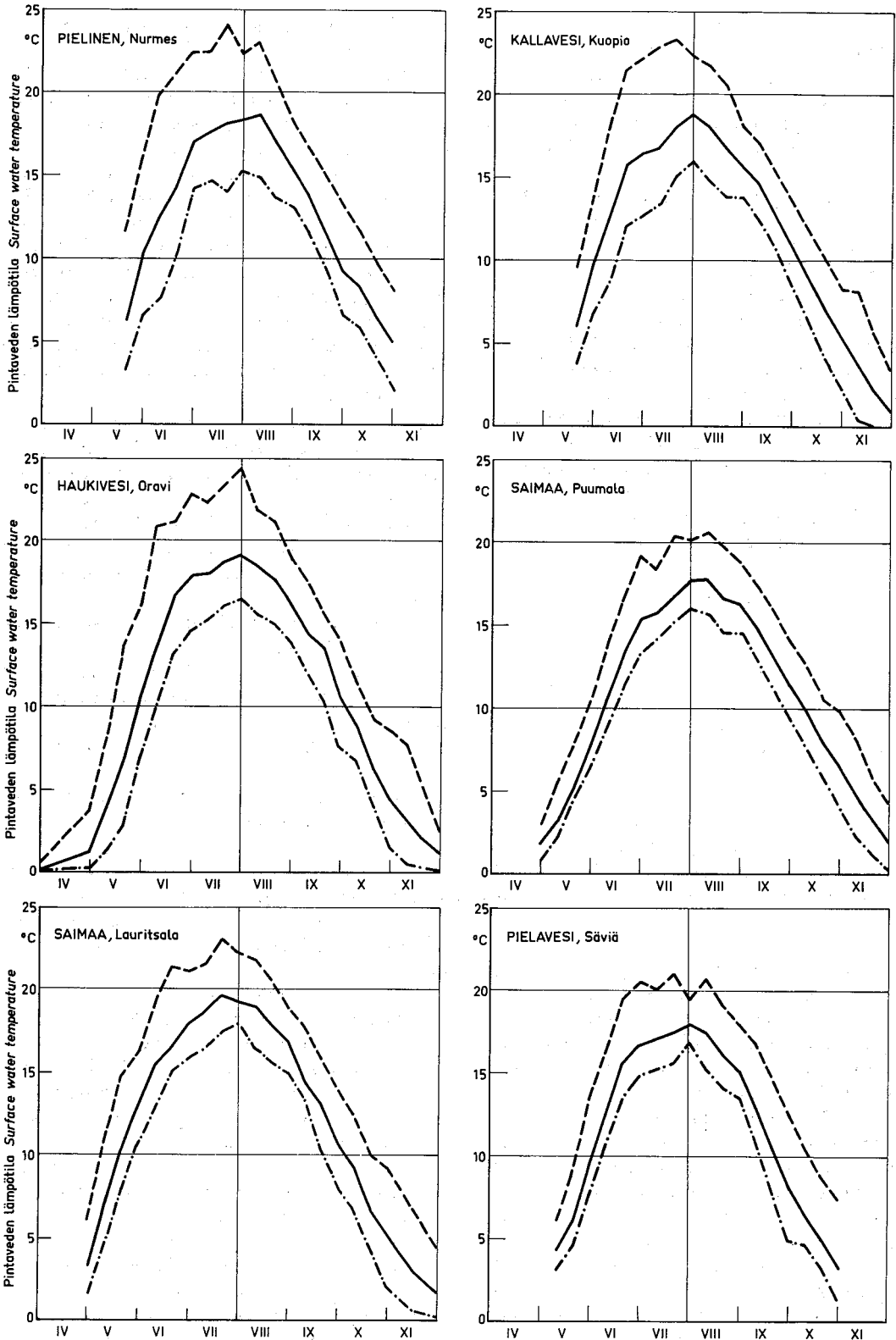
Kuvien 2 poikkeuksellisia lämpötiloja edustavia käyriä ei voida tulkita niin, että kerran 10 vuodessa vesi pysyttelisi koko avovesikauden ko. käyrän tuntumassa. Toistuvuusanalyysi on tehty erikseen kullekin päivämäärälle, ja saadut pisteet on yhdistetty vain havainnollisuuden vuoksi.

Järvi- ja jokiasemien vertailu osoittaa jokien pintalämpötilan muutosten olevan hitaampia ja vähäisempiä kuin järvien. Keskimääräinen maksimi on joissa kuitenkin lähes sama kuin alueen suurehkoissa järvissä. Tämä on suora seuraus siitä, että järvien pintavesi on lähes tasalämpöistä huomattavasti luusuan kynnyskorkeutta syvemällä.

Ilmastolliset erot ovat itä-länsisuunnassa vähäiset. Sen sijaan sekä avovesikauden pituus että pintalämpötilan maksimi muuttuvat merkittävästi etelä-pohjoissuunnassa. Etelä- ja Keski-Suomen järvissä keskimääräinen pintaveden maksimilämpötila on noin 18–20 °C, Lapissa vain 14–16 °C. Joissa erot ovat pienemmät.

Kuvissa 3 on esitetty Suomen järvien pintaveden lämpötilakartat kesä-lokakuulle. Karttojen perustana on havaintojakso 1961–1975. Myös osan tätä jaksoa toimineet asemat on otettu huomioon nimenomaan sellaisilla alueilla, missä havaintoverkko on harva tai ilmeisen epäedustava.

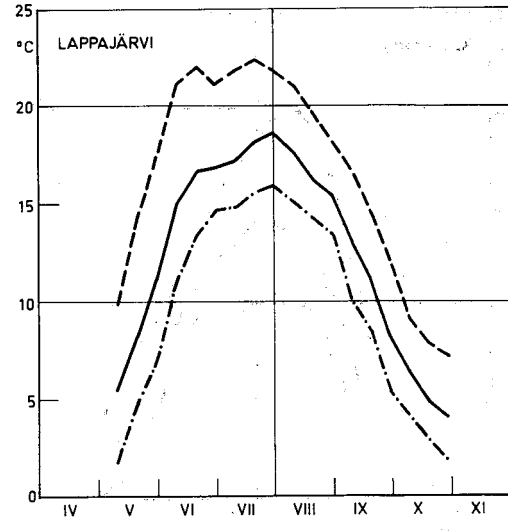
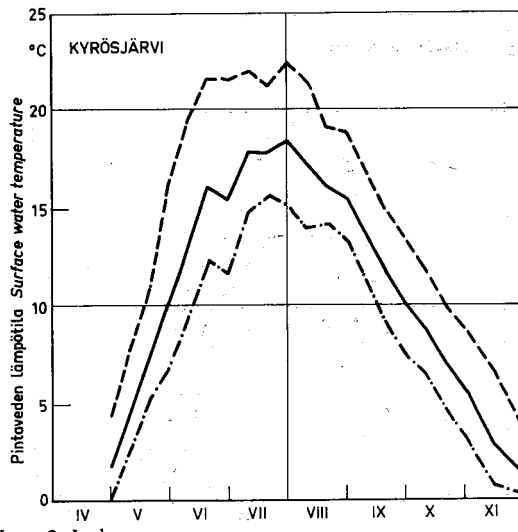
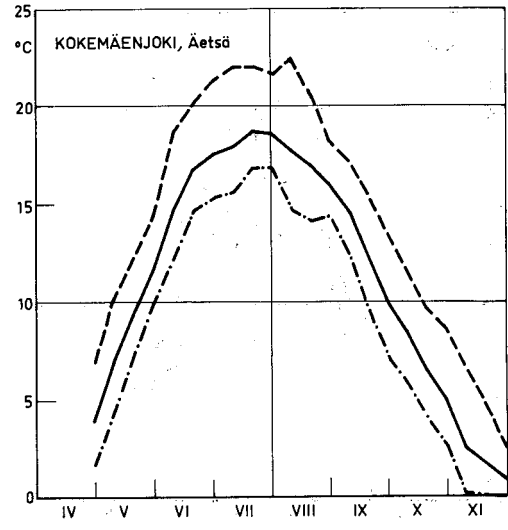
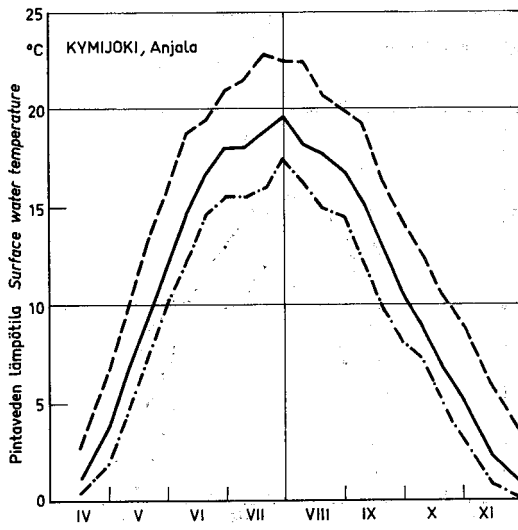
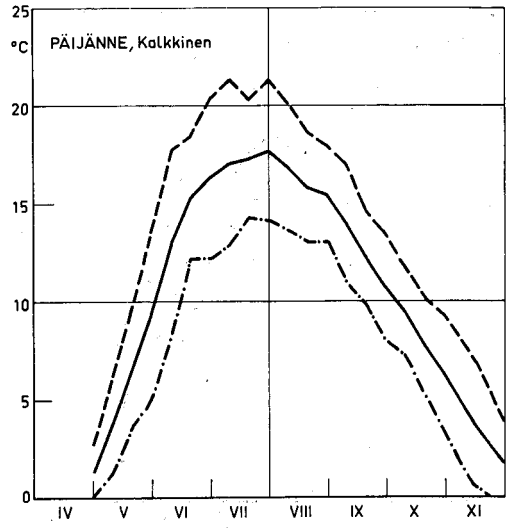
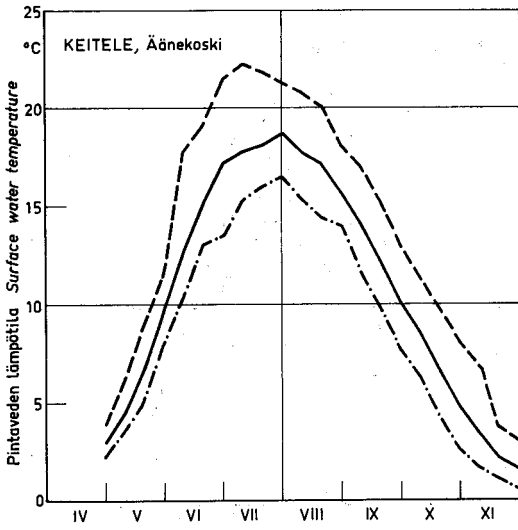
Karttoja laadittaessa on paikallisia eroja jouduttu tasoittamaan. Parhaiten kartoissa esitetyt



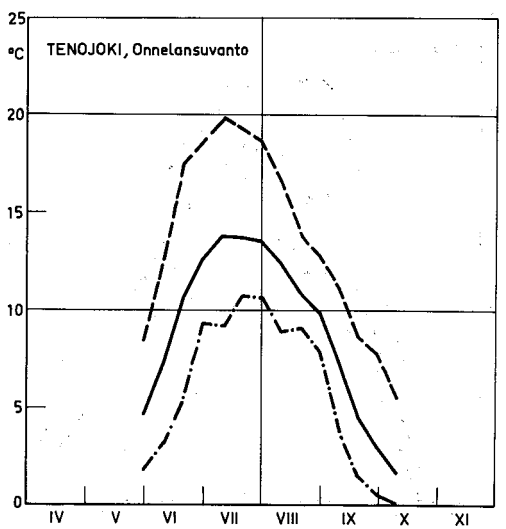
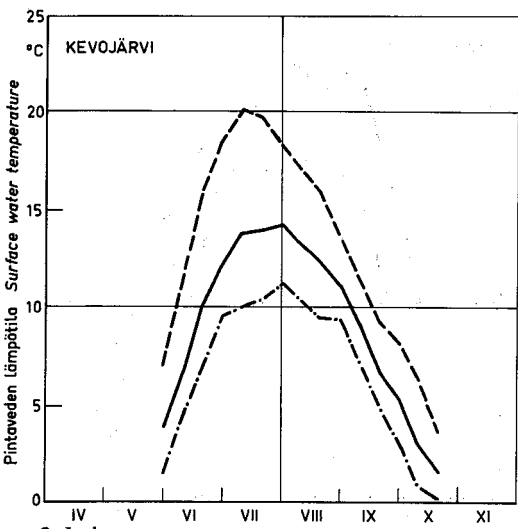
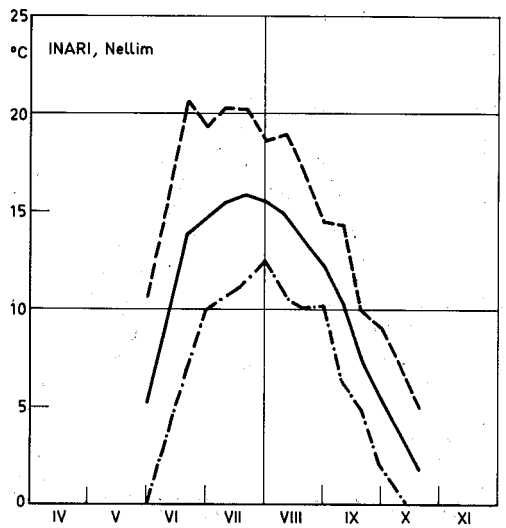
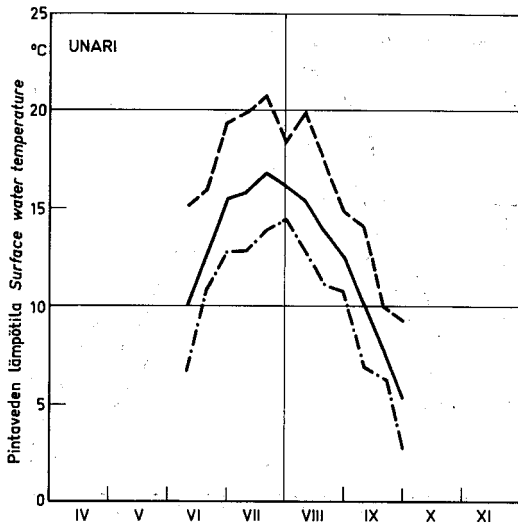
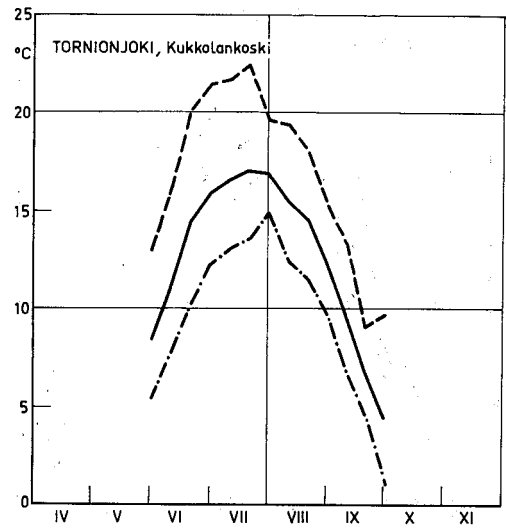
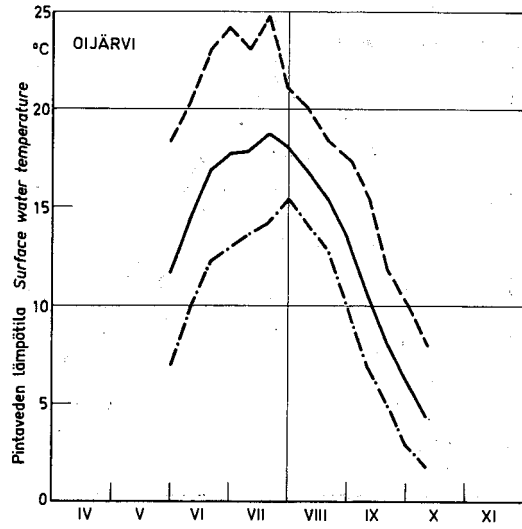
Kuva 2. Pintaveden lämpötilän keskimääräinen kulku sekä 90 % vaihtelurajat eräillä havaintoasemilla jaksolla 1961-1975.

Fig 2. The average course and 90 % confidence limits of surface water temperature at some stations in 1961-1975.

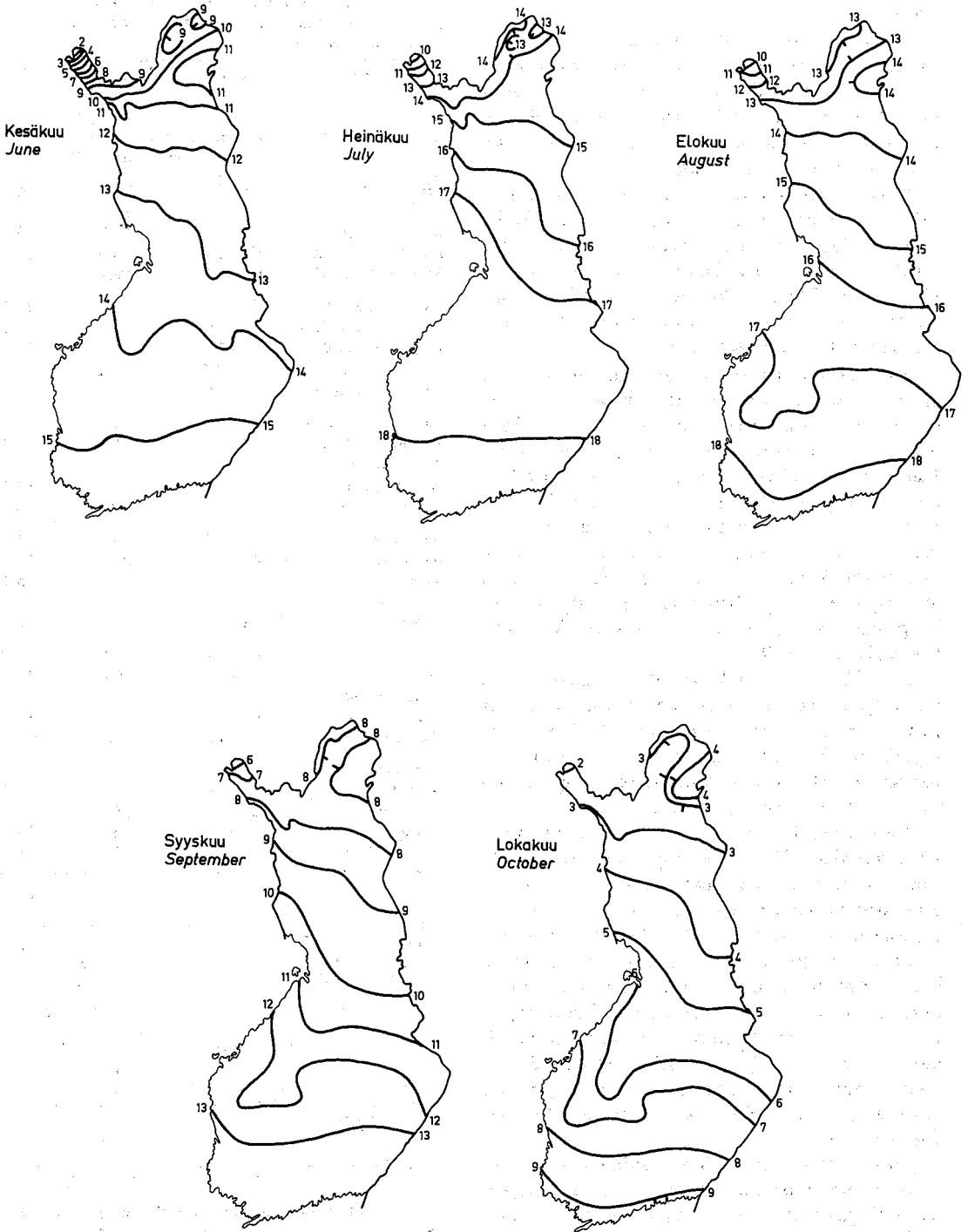




Kuva 2. Jatkuu  
Fig 2. Continued



Kuva 2. Jarkuu  
Fig 2. Continued



Kuva 3. Pintaveden keskimääräinen lämpötila Suomen järvissä kesä-lokakuussa jaksolla 1961-1975.  
 Fig 3. The average monthly temperature of surface water in the Finnish lakes in June-October in 1961-1975.

lämpötilat edustavat kooltaan ja syvyydeltään keskimääräisiä järviä. Näin on asianlaita varsinkin kesäkuun ja toisaalta syys-lokakuun kartakkeiden osalta.

Kesäkuussa pintavedet ovat Lapissa vielä hyvin kylmiä; pohjoisimmassa osassa jäänlähtökin tapahtuu useimmiten vasta kesäkuussa. Etelä- ja Keski-Suomessa pintalämpötilan kuukausikeskiarvo on kuitenkin jo 14–15 °C ja Oulu- sekä Iijoen vesistöalueillakin noin 13 °C.

Keskikesällä pintaveden lämpötilaerot samankaltaisissa järvissä ovat varsin pienet koko Etelä- ja Keski-Suomessa. Heinäkuussa 18 °C lämpötiläkäyrä kulkee järviolueen eteläosan halki ja 17 °C käyrä Tornionjokilaaksosta Oulujoen vesistön latvoille. Sen sijaan Lapissa pintavedet pysyvät melko viileinä keskikesälläkin.

Elokuussa pintavesien jäähtyminen on vielä melko hidasta. Kähdeksantoista asteen käyrä siirtyy heinäkuuhun nähden vain 100 km etelämäksi ja 17 °C käyrä Järvi-Suomen pohjoisosaan. Jäähtyminen kiihtyy kuitenkin kuukauden loppua kohti, ja syyskuun keskiarvot ovat jo koko maassa 4–5 °C elokuun keskiarvoja alhaisemmat. Lähes samansuuruinen lasku tapahtuu syyskuusta lokakuuhun, jolloin Lapin järvet alkavat jo jäätyä. Etelä- ja Keski-Suomessa pintaveden lämpötila on lokakuun lopussa kuitenkin vielä keskimäärin 5–6 °C.

Kartakkeissa 3 tarkasteltiin pintalämpötilan kuukausikeskiarvoja eikä lämpötiloja tiettyinä päivämäärinä. Näin meneteltiin lähinnä siitä syystä, että havaintojakso on vain 15 vuotta; satunnaisvaihtelu eri päivämäärien lämpötilojen välillä on näin ollen melkoinen.

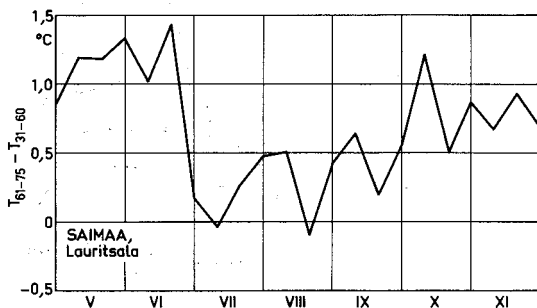
Taulukossa 1 on esitetty keskimääräinen maksimilämpötila eräillä havaintopaikoilla sekä maksimin keskimääräinen ajankohta. On ilmeistä, että satunnaiskomponentin osuus näissäkin muutujissa on havaintosarjan lyhydestä johtuen melkoinen. Tämä pitää vieläkin selvemmin paikkansa koko havaintosarjan maksimeihin nähden, joten niitä ei ole edes esitetty. Useimmilla havaintopaikoilla korkeimmat lämpötilat on mitattu heinäkuussa vuonna 1972 tai 1973. Monissa etelän järvissä lukemat olivat tällöin 22–25 °C; Lapissa ne olivat Kilpisjärveä lukuunottamatta vain 1–2 °C alhaisemmat.

Jakson 1961–1975 edustavuuden arvioimiseksi verrattiin Saimaan tämän jakson pintaveden lämpötiloja kauden 1931–1960 arvoihin (kuva 4). Poikkeama on suurin kesäkuun puolivälissä – tällöin vesi oli jaksolla 1961–1975 lähes 2 °C lämpimämpää. Tämä selittyy ainakin osittain ilman

Taulukko 1. Pintaveden lämpötilan keskimääräinen maksimi ja sen keskimääräinen ajankohta eräillä havaintopaikoilla.

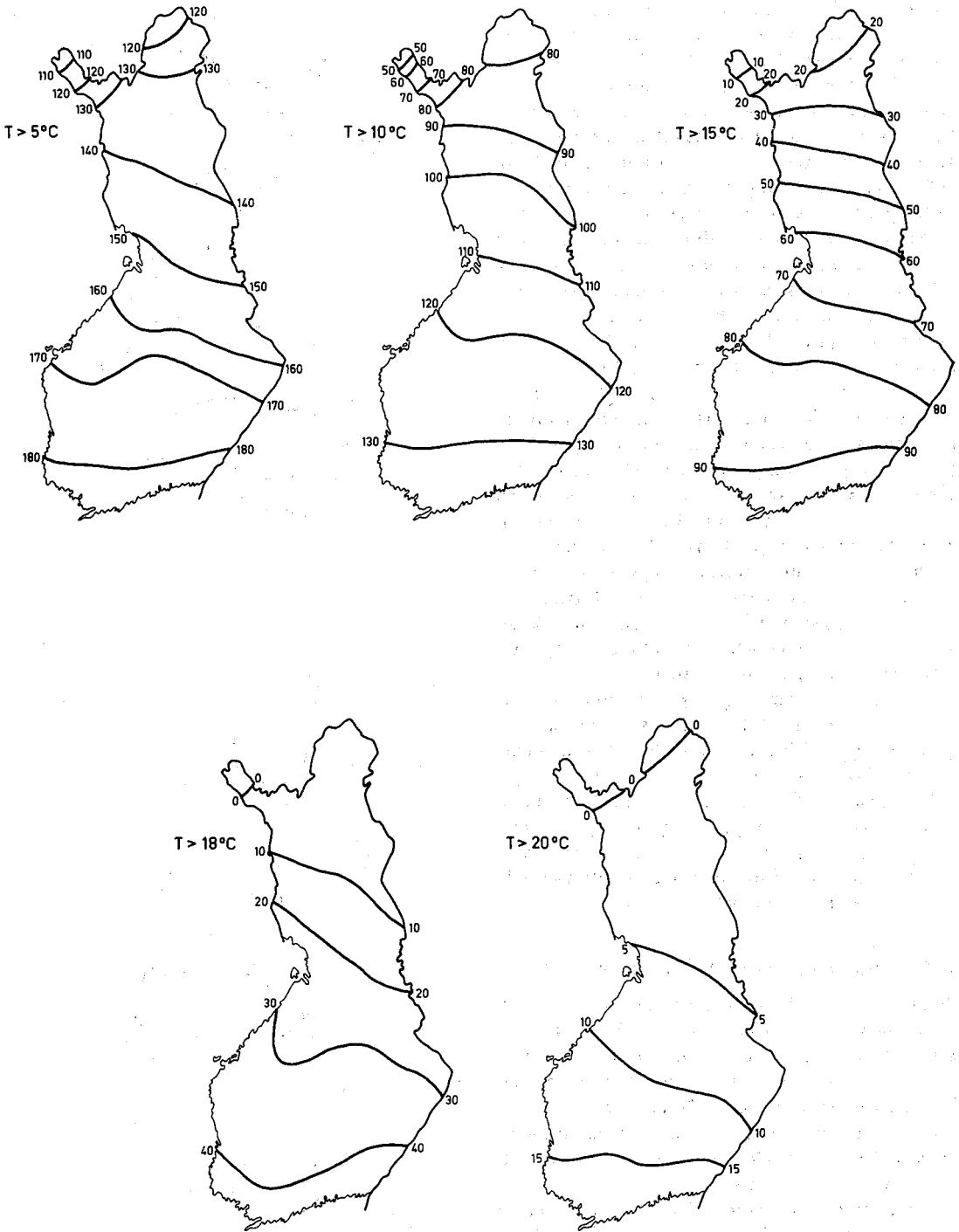
Table 1. The average annual maximum temperature of surface water and its average date of occurrence at different observation sites.

Havaintopaikka	Jakso	Keskimääräinen maksimi-lämpötila (°C)	Päivämäärä
Observation site	Period	Average maximum temperature (°C)	Date
Pielinen, Nurmes	61–75	20,4	14.7.
Pyhäselkä, Joensuu	61–75	20,6	21.7.
Kallavesi, Kuopio	61–75	19,7	15.7.
Haukivesi, Oravi	61–75	20,9	20.7.
Saimaa, Puumala	61–75	19,1	01.8.
Saimaa, Lauritsala	61–75	21,5	23.7.
Keitele, Ääneskoski	61–75	20,5	21.7.
Pielavesi, Säviä	61–75	20,5	19.7.
Päijänne, Tehi L	61–75	18,2	05.8.
Päijänne, Tehi P	61–75	19,4	19.7.
Päijänne, Kalkkinen	61–75	20,5	19.7.
Kymijoki, Anjala	61–75	21,4	24.7.
Tarjannevesi, Kaivoskanta	63–75	20,9	13.7.
Näsijärvi, Tampere	61–75	20,2	19.7.
Kyrösjärvi	61–75	20,8	16.7.
Kokemäenjoki, Aetsä	61–75	20,7	26.7.
Seinäjoki	63–75	22,2	15.7.
Lappajärvi	61–75	21,5	15.7.
Iijoki, Ii	61–70	19,8	17.7.
Oijärvi	61–75	22,8	13.7.
Unari	61–73	19,0	19.7.
Tornionjoki, Kukkolanoski	61–75	20,8	13.7.
Kilpisjärvi	61–75	13,9	03.8.
Tenojoki, Onnelansuvanto	61–75	17,7	22.7.
Kevojärvi	62–75	15,4	21.7.
Rahajärvi	61–75	16,6	31.7.
Inari, Nellim	61–75	17,8	15.7.



Kuva 4. Pintaveden lämpötilojen keskimääräinen erotus Saimaassa jaksoilla 1961–1975 ja 1931–1960.

Fig 4. The mean difference of surface water temperatures in Lake Saimaa between periods 1961–1975 and 1931–1960.



Kuva 5. Sen kauden keskimääräinen pituus (d), jolloin järvien pintavesi on tietyn rajalämpötilan yläpuolella.  
 Fig 5. The average length of the periods (in days), when the surface temperature of lakes exceeds a given value.

lämpötilojen perusteella: jaksolla 1961–1975 kesäkuun keskilämpötila Lappeenrannassa oli 15,1 °C, kun se jaksolla 1931–1960 oli 14,6 °C. — Myös pintaveden ylimmät lämpötilat olivat tässä tutkimuksessa käytetyllä jaksolla jonkin verran korkeammat kuin vertailujaksolla. Nämä erot on tuloksia arvioitaessa syytä ottaa huomioon. Tilastollisesti merkittävämpää kuin yksittäisten maksimilämpötilojen käsittely on sen kauden pituuden tarkastelu, jolloin pintaveden lämpötila on tietyn arvon yläpuolella. Tällä on myös vesistön lämpötalouden kannalta suurempi merkitys kuin yksittäisillä maksimiarvoilla. Kuviissa 5 on esitetty tämän kauden pituus keskimääräisenä vuotena, kun rajalämpötilat ovat 5, 10, 15, 18 ja 20 °C.

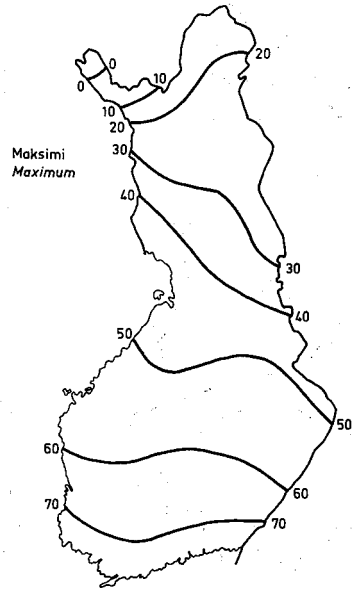
Samoin kuin karttakeiden 3 osalta, esitetyt kausien pituudet vastaavat parhaiten tilannetta keskisyvissä ja keskikokoisissa järvissä. Arvon 5 °C yläpuolella pintavesi pysyttelee etelärannikon järvissä yli 180 päivää, Oulujoen alueella noin 150 päivää ja Lapin tunturialueilla alle 110 päivää. Ero etelärannikon ja Tunturi-Lapin välillä on siten yli 2 kuukautta. Kun rajalämpötila on 10 °C tai 15 °C, ero on vieläkin suurempi. Rajalämpötilaa 18 °C ei Tunturi-Lapissa enää keskimääräisenä vuotena ylitetäkään — etelässäkin ylityskauden pituus on supistunut 40 päiväksi.

Jos uimakauden rajalämpötilana pidetään 18 °C, jää tämä kausi koko maassa siten verraten lyhyeksi keskimääräisenä vuotena. Sen sijaan kerran 10 vuodessa sattuvana suotuisimpana vuotena (kuva 6, yläosa) pintaveden lämpötila on Etelä- ja Keski-Suomessa 50–70 päivän ajan lämpimämpää kuin 18 °C. Vastaava karttake kerran 10 vuodessa sattuvan epäsuotuisimman vuoden osalta (kuva 6, alaosa) on sitä vastoin melko lohduton.

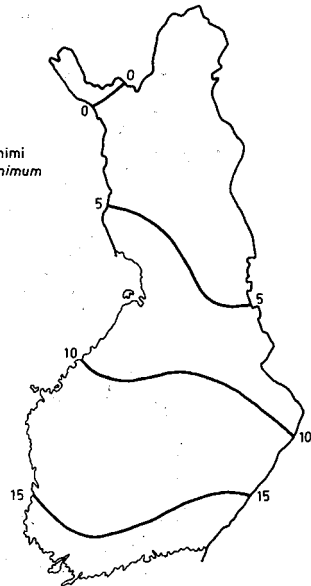
## 2.2 Pintaveden lämpötilan arviointimallit

Pintaveden lämpötilan riippuvuuteen järven syvyydestä ja pinta-alasta on jo edellä viitattu. Tämä riippuvuus tunnetaan kvalitatiivisesti — sen sijaan sen kvantitatiivinen määrittäminen on hankalaa. Tämä johtuu siitä, että useiden muiden tekijöiden vaikutus pintaveden lämpötilaan on merkittävä. Näitä ovat lähinnä ilman lämpötila, nettosäteily ja tuulennopeus.

Pelkästään näitä meteorologisia tekijöitä käyttäen on mahdollista laskea havaintopaikkakohtaisia malleja. Voidaan esimerkiksi tutkia, miten pintaveden lämpötila tietyn kuukauden lopussa riippuu ko. kuukauden ilman lämpötilasta. Tälle riippuvuudelle saatiin kuudella havaintopaikalla taulukon 2a mukaiset lineaariset regressiomallit.



Minimi  
Minimum



Kuva 6. Niiden päivien lukumäärän kerran 10 vuodessa toistuvat ääriarvot, jolloin järvien pintaveden lämpötila ylittää 18 °C.

Fig 6. The maximum and minimum number of days with a recurrence interval of 10a, when the temperature of surface water in lakes exceeds 18 °C.

Taulukko 2a. Pintaveden lämpötilan riippuvuus ilman lämpötilasta.

TA<sub>6</sub> = ilman keskilämpötila kesäkuussa, °C  
 TA<sub>7</sub> = ilman keskilämpötila heinäkuussa, °C  
 TS<sub>30.6.</sub> = pintaveden lämpötila kesäkuun lopussa, °C  
 TS<sub>31.7.</sub> = pintaveden lämpötila heinäkuun lopussa, °C  
 R = korrelaatiokerroin  
 S<sup>2</sup> = jäännösvarianssi

Table 2a. The dependence of surface water temperature on air temperature.

TA<sub>6</sub> = mean air temperature in June, °C  
 TA<sub>7</sub> = mean air temperature in July, °C  
 TS<sub>30.6.</sub> = surface water temperature at the end of June, °C  
 TS<sub>31.7.</sub> = surface water temperature at the end of July, °C  
 R = correlation coefficient  
 S<sup>2</sup> = residual variance

Havaintoasema Observation site	Regressiomallit Regression models	R	S <sup>2</sup> (°C) <sup>2</sup>
Pielinen, Nurmes	TS <sub>30.6.</sub> = 8,29+0,656 TA <sub>6</sub>	0,50	1,95
	TS <sub>31.7.</sub> = 7,26+0,728 TA <sub>7</sub>	0,76	1,06
Kallavesi, Kuopio	TS <sub>30.6.</sub> = 6,20+0,705 TA <sub>6</sub>	0,63	1,49
	TS <sub>31.7.</sub> = 7,28+0,704 TA <sub>7</sub>	0,75	1,17
Päijänne, Tehi P	TS <sub>30.6.</sub> = 5,84+0,734 TA <sub>6</sub>	0,47	2,32
	TS <sub>31.7.</sub> = 11,76+0,365 TA <sub>7</sub>	0,36	1,54
Päijänne, Tehi L	TS <sub>30.6.</sub> = 2,16+0,901 TA <sub>6</sub>	0,59	2,08
	TS <sub>31.7.</sub> = 6,95+0,625 TA <sub>7</sub>	0,62	1,30
Näsijärvi, Tampere	TS <sub>30.6.</sub> = 1,76+1,016 TA <sub>6</sub>	0,57	2,45
	TS <sub>30.7.</sub> = 4,44+0,816 TA <sub>7</sub>	0,76	1,14
Inari, Nellim	TS <sub>30.6.</sub> = 5,68+0,905 TA <sub>6</sub>	0,80	1,75
	TS <sub>31.7.</sub> = 10,67+0,346 TA <sub>7</sub>	0,54	1,34

Taulukon 2a mallit perustuvat havaintosarjaan 1961–1975. Koska vapausasteita on siten vain 14, korrelaatiokerroin on melkein merkitsevä, jos se on suurempi kuin 0,497 ja merkitsevä, jos se on suurempi kuin 0,623. Useimmat esitetyt mallit ovat näin ollen ainakin melkein merkitseviä. Laajempaa käyttöä niillä ei kuitenkaan ole, koska niitä ei voida yleistää muille järville eikä edes ao. järven muihin osiin.

Yleistämiskelpoisia malleja etsittäessä päädyttiin kokeilemaan järven pinta-alan (F) ja leveysasteen (Lat) vaikutusta sen pintalämpötilamuutuksiin. Aineistona oli 20 järven tiedot eri puolilta Suomea.

Selittäjinä käytettiin myös ilman lämpötilan kesä- ja heinäkuun keskiarvoja (TA<sub>6</sub>, TA<sub>7</sub>) jaksolla 1961–1975. Eri selittäjien keski- ja ääriarvot aineistossa olivat seuraavat:

	keskiarvo	max	min
F (km <sup>2</sup> )	260	1 100	1
Lat °	64,0	61,1	69,7
TA <sub>6</sub> (°C)	13,4	15,3	7,6
TA <sub>7</sub> (°C)	15,2	16,7	10,4

Selitettävänä olivat pintaveden keskimääräinen maksimilämpötila (TS<sub>max</sub>) sekä pintaveden keskimääräinen lämpötila kesä- ja heinäkuun lopussa (TS<sub>30.6.</sub>, TS<sub>31.7.</sub>) jaksolla 1961–1975. Käyttämällä pelkästään ilman lämpötilaa selittäjänä saatiin seuraavat mallit:

$$TS_{\max} = 4,8 + 1,00 TA_7 \quad R = 0,72$$

$$TS_{30.6.} = 3,4 + 0,93 TA_6 \quad R = 0,79 \quad (1)$$

$$TS_{31.7.} = 1,8 + 1,02 TA_7 \quad R = 0,86$$

Koska pintaveden lämpötilamaksimi saavutetaan usein heinäkuun loppupuolella tai elokuun alussa, selitettiin sitä ilman lämpötilan heinäkuun keskiarvolla. — Kaikki kolme mallia ovat erittäin merkitseviä, joten pintaveden lämpötilan riippuvuus ilman lämpötilasta on varsin selvä. Kun yllä esitettyihin malleihin lisättiin toiseksi selittäjäksi järven ala F (km<sup>2</sup>), saatiin seuraavat mallit:

$$TS_{\max} = 2,2 + 1,20 TA_7 - 0,00181 F \quad R = 0,76$$

$$TS_{30.6} = 2,1 + 1,06 TA_6 - 0,00161 F$$

$$R = 0,82 \quad (2)$$

$$TS_{31.7} = 0,1 + 1,16 TA_7 - 0,00118 F$$

$$R = 0,88$$

Järven ala on näissä malleissa suuntaa-antava tai jokseenkin merkitsevä selittäjä. Mallien kokonaiskorrelaatiokerroin paranee 0,02–0,04 yksikköä tämän selittäjän ansiosta. Kuitenkin pintalan kerroin on malleissa niin pieni, että vaikutus selitettävään alkaa ilmetä vasta noin arvosta  $F = 100 \text{ km}^2$  ylöspäin. Logaritimuunnoksella saadaan vaikutus esille jo pienemmillä selittäjän  $F$  arvoilla; se kuitenkin pienentää kokonaiskorrelaatiokertoimet mallien (1) tasolle.

Leveysasteen lisääminen malliryhmiin (1) ja (2) huononsi kaikissa tapauksissa kokonaiskorrelaatiokerrointa. Pelkästään leveysastetta käyttäen saatiin merkitsevät mallit, jotka olivat kuitenkin selvästi huonommat kuin ilman lämpötilaan perustuvat. Myös leveysastetta ja järven alaa käyttäen saadut mallit olivat heikommalla kuin ryhmän (2) mallit.

Ilman ja pintaveden lämpötilojen vertailu voidaan myös tehdä suoraan kuukausikeskiarvojen

erotusten avulla (taulukko 2b). Avovesikauden kahtena ensimmäisenä kuukautena vesi on yleensä ilmaa kylmempää, mutta myöhemmin avovesikaudella selvästi lämpimämpää. Havaintopaikkojen väliset erot ovat suuret: niinpä aavalla Tehinselällä pintavesi on toukokuussa lähes  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  kylmempää, mutta marraskuussa  $7 \text{ }^\circ\text{C}$  lämpimämpää kuin ilma. Sitä vastoin suojaisella Lauritsalan havaintopaikalla ilman ja veden lämpötila on toukokuussa keskimäärin lähes sama.

Jos ilman ja pintaveden lämpötilan kulku taositetaan sinikäyräksi, voidaan käyrien maksimi- ja leikkauspisteitä verrata keskenään. Tällainen vertailu tehtiin 8 havaintopaikalle (taulukko 3). Matalissa ja suojaisissa Nellimin, Oravin ja Nurmeksen havaintopisteissä veden lämpötila ylittää ilman lämpötilan keskimäärin jo kesäkuun 10. päivän tienoilla. Sitä vastoin avoimella Tehinselällä tämä tapahtuu vasta 8. heinäkuuta. Maksimien erotus jää pienemmäksi Tehillä: vesi on siellä lämpimimmillään ollessaan vain asteen ilmaa lämpimämpää, Nurmeksessa, Nellimissä ja Oravissa vastaava ero on noin  $2,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Veden lämpötila saavuttaa maksiminsa 7–19 päivää myöhemmin kuin ilman lämpötila.

Taulukko 2b. Ilman ja pintaveden kuukausikeskilämpötilojen erotus jaksolla 1961–1975.  
Table 2b. The differences of monthly mean temperatures of air and surface water in 1961–1975.

Havaintopaikka Observation site	Lämpötilaero ( $^\circ\text{C}$ ) Temperature difference ( $^\circ\text{C}$ )						
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Saimaa, Lauritsala	0,5	-1,3	-2,3	-3,4	-4,2	-3,6	
Kallavesi, Kuopio	3,2	0,2	-2,2	-3,5	-4,6	-3,8	-5,1
Haukivesi, Oravi	2,5	-0,3	-2,2	-3,4	-3,9	-3,6	-4,6
Pielinen, Nurmes	2,2	0,2	-2,5	-3,4	-3,8	-3,1	-5,8
Keitele, Ääneskoski	2,2	0,1	-2,3	-3,6	-4,4	-3,9	
Pielavesi, Säviä	2,0	0,0	-1,3	-2,8	-2,9	-2,0	
Päijänne, Tehi L	4,8	3,2	0,3	-1,6	-3,6	-5,0	-7,0
Päijänne, Tehi P	2,8	1,6	-0,6	-2,0	-3,6	-4,3	-6,1
Tarjannevesi, Kaivoskanta	1,7	-1,0	-2,5	-3,0	-3,4	-2,8	
Näsijärvi, Tampere	3,7	0,8	-1,3	-2,4	-3,6	-4,1	-5,3
Kyrösjärvi	2,2	-0,3	-1,8	-2,9	-3,5	-3,5	
Seinäjärvi		-2,9	-3,1	-2,7	-2,4	-1,5	
Lappajärvi	0,9	-1,4	-2,5	-3,2	-3,3	-2,0	
Oijärvi		-2,9	-3,3	-3,1	-2,1		
Unari		0,6	-1,6	-2,0	-2,1		
Kilpisjärvi		1,5	-0,7	-2,3	-2,8	-4,1	
Kevojärvi		0,7	-1,4	-2,5	-2,6	-3,7	
Rahajärvi		3,4	0,1	-2,6	-4,0	-5,5	
Inari, Nellim		1,0	-1,5	-2,6	-2,4	-3,8	



Taulukko 3. Ilman ja pintaveden lämpötilan sinikäyrien vertailu.  
 Table 3. The comparison of the sinus-curves of air and surface water temperatures.

Havaintopaikka Observation site	Käyrien leikkauspiste The transect of the curves		Maksimien erotus (°C) The difference of maxima (°C)	Maksimien ajan- kohdan erotus (d) The difference of the dates of maxima (d)
	Päivämäärä Date	T (°C)		
	Näsijärvi, Tampere	16.6.		
Päijänne, Tehi L	8.7.	15,8	-1,0	16
Päijänne, Tehi P	22.6.	15,0	-1,5	11
Haukivesi, Oravi	08.6.	13,7	-2,5	10
Kallavesi, Kuopio	22.6.	15,2	-1,9	13
Pielinen, Nurmes	11.6.	13,1	-2,7	14
Inari, Nellim	06.6.	8,8	-2,7	7
Kilpisjärvi	13.7.	11,0	-1,2	19

### 3. KOKO VESIMASSAN LÄMPÖOLOT

#### 3.1 Järven energiatase

Lämpötilan vertikaalinen jakautuminen on huomattavasti tärkeämpi tutkimuskohde kuin pelkkä pintalämpötila. Pintalämpötila on tosin veden ja ilman rajapintailmiöiden keskeinen muuttuja, mutta järven biologisten prosessien kannalta sillä on vähäinen merkitys. Sen sijaan lämpötila eri syvyyksillä määrää mm. hapen ja hiilidioksidin liukoisuuden ja vaikuttaa oleellisesti biokemiallisten reaktioiden nopeuteen. Lisäksi lämpötilaan kytkeytyvä tiheysgradientti ja erityisesti harppauskerroksen sijainti ovat vesimassan sekoittumisen kannalta ratkaisevan tärkeät.

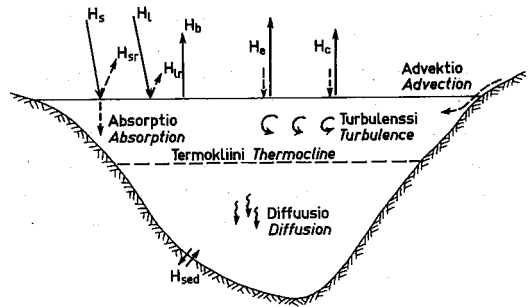
Lämpötilan vertikaalinen jakautuminen määräytyy kahden tekijän perusteella:

1. Vesimassan ja sen ympäristön energianvaihto.
2. Energian siirtyminen vesimassassa.

Suurin osa järven vesimassan ja sen ympäristön energianvaihdosta tapahtuu ilman ja veden rajapinnalla. Läpivirtausjärvissä voi tosin tulo- ja menovirtaaman mukana siirtyvä lämpöenergia olla huomattava. Talvikautena on useissa järvissä pohjasedimenttien luovuttaman lämmön osuus kokonaisenergianvaihdosta merkittävä. Kuitenkin tämä lämpö määrä on absoluuttiarvoltaan pieni.

#### 3.11 Lämmönvaihto järven pinnalla

Kuvassa 7 on esitetty tärkeimmät fysikaaliset prosessit, jotka vaikuttavat järven lämpöoloihin. Keskeisin merkitys on järven pinnalla tapahtuvala lämmönvaihdolla, jossa voidaan erottaa seuraavat komponentit (Octavio ym. 1977):



Kuva 7. Järven lämpöoloihin vaikuttavat fysikaaliset prosessit.

Fig 7. The physical processes affecting the thermal conditions of a lake.

1. Tuleva lyhytaaltainen säteily ( $H_s$ ). Maapallon kohtaavasta auringonsäteilystä osa hajaantuu, heijastuu ja absorboituu ilmakehässä. Näin ollen maanpinnalle tuleva säteily koostuu sekä lyhyt- että pitkäaaltoisesta ja sekä suoranaisesta että diffuusista komponentista. Lyhytaaltoisen säteilyn osuus voidaan mitata pyrheliometrillä tai laskea empiirisillä kaavoilla. Suoranainen mittaaminen on tärkeää, jos vaadittu tarkkuus on parempi kuin  $\pm 15\%$ .
2. Heijastuva lyhytaaltainen säteily ( $H_{sr}$ ). Noin 5–10 % tulevasta auringonsäteilystä heijastuu veden pinnasta. Auringon ollessa matalalla heijastuneen komponentin osuus on suurimmillaan. Yleensä vakio-osuus eri kuukausille katsotaan riittäväksi approksimaatioksi, koska tehty virhe on pieni verrattuna komponentin  $H_s$  mittaus- tai arviointivirheeseen.

3. Tuleva pitkäaaltoinen säteily ( $H_I$ ). Tämä komponentti koostuu pääasiassa ilmakehän vesihöyryn, hiilidioksidin ja otsonin emittoimasta säteilystä, joka on alunperin niiden absorboimaa auringonsäteilyä.  $H_I$  riippuu Stefan-Boltzmannin lain mukaisesti ilman lämpötilasta; lisäksi se riippuu mm. vesihöyryn osapaineesta ja pilvisyydestä. Tunnetun empiirisen kaavan tämän komponentin laskemiseksi ovat esittäneet Jirka ym. (1975):

$$H_I = 5,31 \cdot 10^{-13} T_a^6 (1 + 0,17 C^2) \quad (3)$$

$H_I$  = tuleva pitkäaaltoinen säteily,  $W m^{-2}$

$T_a$  = ilman lämpötila, K

$C$  = pilvisuus (0–1)

4. Heijastuva pitkäaaltoinen säteily ( $H_{I_r}$ ). Sen osuus on noin 3 % tulevasta pitkäaaltoisesta säteilystä. Tämä on useimmissa sovellutuksissa riittävän tarkka approksimaatio.
5. Vedenpinnan takaisinsäteily ( $H_b$ ). Vedenpinta säteilee lähes mustan kappaleen tavoin. Poikkeama ideaalisesta mustasta kappaleesta johtuu heijastumisesta veden ja ilman rajapinnalla. Koska takaisinsäteily on pitkäaaltoista, sen suuruus voidaan näin ollen laskea lausekkeesta

$$H_b = 0,97 \sigma T_s^4 \quad (4)$$

$H_b$  = takaisinsäteily,  $W m^{-2}$

$T_s$  = vedenpinnan lämpötila, K

$\sigma$  = Stefan-Boltzmannin vakio  
( $5,67 \cdot 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$ )

6. Latentti lämmönvaihto ( $H_e$ ). Vettä haihtuu pinnasta ylläolevaan ilmaan tai ilmasta tiivistyy kosteutta vedenpintaan. Tätä massavuota arvioidaan tavallisimmin Daltonin kaavalla

$$E = \rho_w (e_s - e_a) f(v_a) \quad (5)$$

$E$  = haihdunta,  $kg m^{-2} s^{-1}$

$\rho_w$  = veden tiheys,  $kg m^{-3}$

$e_s$  = kyllästetyn vesihöyryn paine vedenpinnan lämpötilassa, mb

$e_a$  = ilman vesihöyryn paine, mb

$f(v_a)$  = tuulen nopeuden funktio,  $m s^{-1} mb^{-1}$

Massavuon muuttamiseksi lämpövuoksi se pitää kertoa veden höyrystymislämmöllä  $L$ :

$$H_e = L_v E \quad (6)$$

$H_e$  = latentin lämmön vuo,  $W m^{-2}$

$L_v$  =  $2501 - 2,37 (T_s - 273) kJ kg^{-1}$

Tuulen nopeuden funktio  $f(v_a)$  oletetaan tavallisesti lineaariseksi. Sen kertoimet riippuvat paitsi mittauskorkeudesta myös monista muista tekijöistä, ja eri järville on saatu huomattavan erilaisia kertoimia (Elomaa 1976).

7. Konvektiivinen lämmönvaihto ( $H_c$ ). Vedenpinnan ja ilman lämpötilaeron takia lämpöenergiaa siirtyy johtumalla lämpimämmästä kylmempään väliaineeseen. Usein tämä lämpövuoto arvioidaan Bowenin suhteen  $R$  perusteella konvektiivisesta massavuosta:

$$H_c = R E = 269 \cdot \frac{T_s - T_a}{e_s - e_a} E \quad (7)$$

Kaikki lausekkeen (7) symbolit yksiköineen on esitetty edellä. — Bowenin suhteen käytön lähtökohtana on oletamus lämpövuon ja massavuon turbulენტtisten diffuusiokerrointen yhtäsuuruudesta.

Edellä esitetyistä komponenteista  $H_b$ ,  $H_e$  ja  $H_c$  edellyttävät järven pintaveden lämpötilan mittaamista sekä meteorologisia havaintoja edustavassa paikassa. Käytännössä määrittäisiin sisältyy parhaimmillaankin useita epävarmuustekijöitä, joista merkittävin on muuttujien vaihtelu järven eri osissa. Tämä koskee niin ilman vesihöyryn painetta, tuulen nopeutta kuin pintaveden lämpötilaa. On ilmeistä, että käytettävissä tulisi olla useita havaintoasemia ja jatkuva rekisteröinti, jotta eri tilanteissa saataisiin edustavat havaintosarjat.

Säteilykomponenttien  $H_s$  ja  $H_l$  summaa mitataan Suomessa noin 10 paikkakunnalla. Suuret laitekustannukset ja tietojenkäsittelyn työläys estävät tiheimmän havaintoverkon muodostamisen (Saurio 1977). Lisäksi säteilymittauksiin liittyy edelleen monia tuntemattomia tekijöitä, jotka pakottavat turvautumaan suhteellisiin mittauksiin tai käytettävissä oleviin säätieloihin perustuviin arvioihin.

Eri lämpövoiden suuruudesta ja vaihtelusta voidaan esittää seuraava yhteenveto (lähinnä Thendrup 1978):

	$W m^{-2}$
$H_s$ (hetkelliset arvot)	0–1 000
$H_s$ (vuorokausikeskiarvot)	60– 300
$H_{sr}$ (vuorokausikeskiarvot)	7– 20
$H_l$ (vuorokausikeskiarvot)	200– 450
$H_{lr}$ (vuorokausikeskiarvot)	5– 15
$H_b$ (vuorokausikeskiarvot)	250– 500
$H_e$ (vuorokausikeskiarvot)	–50– 350
$H_c$ (vuorokausikeskiarvot)	–70– 200

Heijastuvan lyhyt- ja pitkäaaltoisen säteilyn merkitys on yleensä vähäinen, mutta kaikki muut

komponentit voivat olla merkittäviä. Samassakin järvässä niiden keskinäinen tärkeys vaihtelee kuitenkin olennaisesti ajankohdasta ja säätyypistä riippuen.

Järven vesimassan ja pohjasedimenttien välillä vallitsee myös tietty lämpöenergiavuo, jonka suunta ja suuruus riippuu pääasiassa lämpötila-erosta niiden rajapinnalla. Tämä puolestaan riippuu erityisesti sedimentin lämpökapasiteetista ja lämmönjohtokyvystä. Yleensä sedimentteihin varastoituva ja niistä vapautuva lämpömäärä ei ole kovin suuri: esimerkkinä mainittakoon Prästhomselet-järven tutkimus Ruotsissa, jossa tämä lämpövuo oli keskitalvella noin  $2 \text{ W m}^{-2}$  (Bengtsson 1978). Järven kokonaislämpötaloudelle tällä vuolla voi kuitenkin talvella olla suurikin merkitys, koska energiavaihto jääkannen läpi on vähäistä.

### 3.12 Lämpöenergian siirtyminen vesimassassa

Järven energiataseen ohella on tärkeää tarkastella niitä prosesseja, jotka aiheuttavat vesimassan sekoittumista ja siten myös lämpöenergian siirtymistä sekä horisontaali- että erityisesti vertikaalisuunnassa. Pääpiirteissään useimmat näistä prosesseista on tunnettu melko pitkään, mutta monet yksityiskohdat ja keskinäiset riippuvuudet ovat vieläkin arvoituksellisia.

Seuraavassa käsitellään keskeisiä lämpöenergian siirtymistapoja vesimassassa (lähinnä Stefan ja Ford 1975).

1. Säteilyenergian absorptio. Tuleva pitkäaaltoinen säteily absorboituu kokonaisuudessaan hyvin lähellä pintaa. Sen sijaan lyhytaaltoinen säteily vaimenee eksponentiaalisesti syvyyden funktiona:

$$H_S(z) = (H_S - H_{SR}) e^{-kz} \quad (8)$$

$$H_S(z) = \text{syvyydelle } z \text{ tunkeutuva lyhytaaltoinen säteily, } \text{W m}^{-2}$$

$$k = \text{ekstinktiokerroin, m}^{-1}$$

Ekstinktiokerroin voidaan arvioida esim. näkösyvyyden avulla (Octavio ym. 1977). — Jos mitattua kokonaissäteilyä ( $H_S + H_I$ ) käytetään laskettaessa säteilyenergian absorboitumista eri syvyyksille, pitää lyhyt- ja pitkäaaltoinen komponentti pystyä erottamaan. Tyypillisesti  $H_I$  on noin 40 % kokonaissäteilystä (Dake ja Harleman 1969); tätä voidaan käyttää karkeana approksimaationa. — Lyhytaaltoista säteilyenergiaa tunkeutuu merkittä-

vässä määrin 3–30 m syvyyteen riippuen vesimassan sameudesta.

2. Tuulen aiheuttama sekoittuminen. Kun tuuli puhaltaa järven yllä, syntyy vedenpintaan kohdistuva leikkausjännitys. Tämä aiheuttaa tuulen suuntaisen pintavirtauksen, jonka nopeus on tyypillisesti noin 3 % tuulen nopeudesta (Ottesen Hansen 1978). Tätä merkittävämpi on kuitenkin aallokko ja siihen liittyvä turbulenssi, joka siirtää liike-energiaa syvemmälle. Kovalla tuulella syntyy myös kennonomainen Langmuir-virtaus, joka edelleen tehostaa tuulen aiheuttamaa sekoittumista ylemissä vesikerroksissa. Jos järvi on kerrostunut, sekoittuminen rajoittuu pääosin termokliinin yläpuoliseen vesimassaan jonka lämpötila säteilyenergian eksponentiaalisesta absorptiosta huolimatta voi olla lähes vakio pinnasta termokliiniin. Tuulen energiasta suuri osa muuttuu turbulenssissa lämmöksi, mutta osa kasvattaa järven potentiaalienergiaa. Tämä voi ilmetä termokliinin siirtymisenä syvemmälle, jolloin vesimassan painopiste siis nousee.

Tuulen vaikutuksesta termokliini kallistuu ja se pyrkii myöhemmin palaamaan horisontaaliseksi. Näin syntyvät sisäiset aallot (seiches) aiheuttavat sekoittumista myös hypolimnionissa, jonne tuulen suoranainen vaikutus ei kerrostuneessa järvässä ulotu (Virta 1979).

3. Advektio. Järveen laskevien jokien suissa, järven luusuassa ja kapeikoissa esiintyy advektiovirtauksia. Nämä horisontaaliset virtaukset voivat aiheuttaa myös veden vertikaalista siirtymistä. Pienehköissä läpivirtausjärjestelmissä advektiolla voi olla suurikin merkitys erityisesti talvella.

4. Konvektio. Kun epästabiili tiheysgradientti valitsee, syntyy konvektiivista turbulenssia, joka pyrkii palauttamaan stabiilin tilan. Epästabiili tiheysgradientti esiintyy säännöllisesti keväisin pintakerrosten lämmitessä  $4 \text{ }^\circ\text{C}$ :een.

5. Diffuusio. Molekyläärinen diffuusio kuljettaa lämpöä aina kun lämpötilagradientti on olemassa. Yleensä tämä lämmönsiirtymismuoto on kuitenkin vähämerkityksinen. Jos vesimassa on turbulenti ja lämpötilagradientti on olemassa, syntyy turbulenti diffuusio, joka voi sitä vastoin olla tärkeäkin lämmön siirtymismuoto.

Edellämainitut energian siirtymistavat ovat teoreettisesti monimutkaisia ja niiden simulointi edellyttää työläitten mallien käyttöä. Tällaisia malleja on kuitenkin lisääntyvässä määrin kehitely (esim. Svensson 1978, Thendrup 1978).

Spalding ja Svensson (1976) ovat luokitelleet nämä mallit kolmeen ryhmään:

1. Mallit, jotka korostavat säteilyn merkitystä ja jättävät tuulen vaikutuksen huomioonottamatta.
2. Mallit, joissa verrataan tuulesta vesimassaan siirtyvää liike-energiaa ja vesimassan potentiaalienergian muutosta.
3. Turbulenttien kuljetuskerrointen käyttöön perustuvat mallit.

Ykkösyryhmän mallit soveltuvat pienille järville, joilla tuulen vaikutus on vähäinen. Kakkosryhmään kuuluu suurin osa kehitellyistä malleista. Esitettyä jaottelua ei voida pitää kovin perustavana, sillä eräissä malleissa on kaikkienkin tyyppien piirteitä.

### 3.2 Havaintoaineisto

Hydrologian toimisto on tehnyt lämpöluotauksia jaksolla 1961–1975 yhdeksällä havaintopaikalla.

Näiden paikkojen sijainti ilmenee kuvasta 1 ja a. järvien tärkeimmät ominaisuudet taulukosta 4.

Kilpisjärveä ja Kevojärveä lukuunottamatta havaintopisteet ovat suurissa järvissä. Koska nämä suuret järvet ovat monialtaisia ja rikkonaisia, eivät niiden havaintopisteet edusta koko järveä. Tämän vuoksi on pyritty määrittämään sen järven osan ominaisuudet, jonka lämpöoloista ko. havainnoilla saadaan luotettavia tietoja. Nämä ominaisuudet on esitetty taulukossa 5.

Näsijärven havaintopiste on pääosan jaksoa 1961–1975 sijainnut lähellä Siilinkaria. Se edustaa melko hyvin koko Nänsinselän aluetta, jonka pituus on noin 12 km ja leveys 3–6 km. Iso-Otavan saari ja Ykspetäjän matalikot erottavat Nänsinselän altaan Koljonselästä. Vaikka yläpuolisten reittien vedet virtaavat Koljonselältä Nänselkään ja pohjoistuulet puhaltavat melko voimakkaasti, ovat nämä selät termisesti kuitenkin erillisiä altaita.

Päijänteen Linnansaaren ja Päijätsalon havaintopisteet ovat molemmat Tehinselällä, edellinen

Taulukko 4. Lämpöluodattujen järvien ominaisuuksia.

Table 4. Characteristics of the lakes with vertical temperature measurements.

	Pinta-ala Surface area (km <sup>2</sup> )	Valuma-alue Drainage area (km <sup>2</sup> )	Tilavuus Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Keskisyvyys Mean depth (m)	Suurin syvyys Maximum depth (m)	Keskiveden korkeus Mean water level (masl)
Näsijärvi	260	7 500	3 600	14,1	63	95
Päijänne	1 100	26 500	17 800	16,2	96	78
Haukivesi	510	50 800	6 100	12	57	76
Kallavesi	890	12 700	7 900	8,9	70	81
Pielinen	870	13 700	8 500	9,9	61	94
Inari	1 050	14 500	15 100	14,4	92	119
Kilpisjärvi	39	290	780	20	60	463
Kevojärvi	1,1	1 470	12	11,1	35	74

Taulukko 5. Kunkin mittauspaikan edustaman järven osan ominaisuudet.

Table 5. The characteristics of the part of the lake represented by each observation site.

Havaintopaikka Observation site	Pinta-ala Surface area (km <sup>2</sup> )	Tilavuus Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Keskisyvyys Mean depth (m)	Suurin syvyys Max. depth (m)	Syvyys havaintopaikalla Depth at the observation site (m)	Leveysaste Latitude
Näsijärvi, Tampere	93	1 430	15,4	61	50	61°31'
Päijänne, Linnansaari	134	3 400	18,1	70	69	61°28'
Päijänne, Päijätsalo	134	3 400	18,1	70	40	61°29'
Haukivesi, Oravi	11	80	7	35	11	61°06'
Kallavesi, Kuopio	70	820	11,7	53	46	62°55'
Pielinen, Nurmes	35	280	8	40	28	63°32'
Inari, Nellim	10	120	12	52	42	68°52'
Kilpisjärvi	24	420	17,7	48	39	69°03'
Kevojärvi	1,1	12	11,1	35	33	69°46'

sen S-osan syvänteessä ja jälkimmäinen lähellä E-rantaa. Tehinselän yhteys N-puolella olevaan Judinsalonselkään ja S-puoliseen Virmailanselkään on melko avoin: selkien väliset kynnykset ovat 20–40 m syvyydessä. Kuitenkin taulukoon 5 on otettu edustavaksi alueeksi vain Tehinselkä, vaikka altaiden pintakerrokset erityisesti N- ja S-tuulilla muodostavat termisen kokonaisuuden.

Oravin havaintopaikan edustavuuden määrittäminen on hyvin hankalaa, koska se sijaitsee rikkonaisen altaan reuna-altaalla, noin 200 metrin päässä Oravin kanavan suulta. Kuitenkin on selvää, ettei asema anna edustavaa kuvaa Ison Haukiveden lämpötiloista. Edustavuus rajoittuu Issakkasaareen, Satulasaarten, Petäjäsaarten, Louhisaarten ja Hanhisaaren rajoittamalle alueelle, jonka ala on noin 1 km<sup>2</sup> ja suurin syvyys 35 m. Tämänkin rajaus voi olla liian väljä, koska syvyys havaintopaikalla on vain 11 m.

Kallaveden havainnot on tehty Säyneensalon SW-puolisessa syvänteessä. Myös tässä tapauksessa edustavan alueen rajaaminen on vaikeaa; suppein rajaus kulkisi Hietasalon kautta etelässä ja Suosaaren-Tikkalansaaren kautta N-puolella. Laajemmassa rajauksessa alueen eteläreuna ulotetaan Luhastensalon-Suorollin-Ritoniemen linjalle, jota pidetään Keski-Kallaveden N- ja S-osan rajana. Tämä rajaus valittiin, vaikka alueen terminen yhtenäisyys ei olekaan kovin selvä.

Nurmeksen havaintopaikka on sijainnut kaupungin edustalla olevassa lahden keskellä. Kuusi- ja sen NW-puolinen matalikko erottavat lahden ulompina olevasta selästä; kuitenkin selälle johtava salmi on lähes 30 m syvyinen. Näin ollen Nurmeksen mittauspaikan edustama alue on rajattu vasta Uramosaaren kohdalta.

Inarin havainnot tehdään Paksuvuonon suulta, Postisaaren N-puolella. Havaintopaikka on Kaikunuoran ja Lusmanuoran muodostaman, yli 30 km pitkuisen syvänteen E-osassa. Virtaus Pattsjokeen tapahtuu pääasiassa tämän syvänteen kautta, mutta Paatsvuono erkanelee syvänteestä koilliseen 1–2 km mittauspaikan W-puolella. Virtaus vaikeuttaa kuitenkin mittauksen edustaman vesialueen määrittelyä. Tämä alue on ulotettu lähinnä vain Speinniemen ja pohjoisessa Tiaisniemen S-kärjen kohdalle.

Kilpisjärven havainnot tehdään Pikku-Mallan ja Saanan välisen lahden suulla. Paikka edustaa tyydyttävästi varsinaista Kilpisjärveä; sitä vastoin Alajärvi on selvästi erillinen allas, vaikka sen vedenpinta on samassa tasossa.

Kevojärven havaintopiste sijaitsee järven W-

osan syvänteessä, joka on samalla järven syvin kohta. Vaikka Kevojärvi on alaltaan vain 1,1 km<sup>2</sup>, on siinä kuitenkin useita erillisiä syvänteitä. Mittauspaikan voitaneen siitä huolimatta katsoa edustavan koko järven olosuhteita.

### 3.3 Järven termisen vuoden osat

Järven termisessä vuodessa voidaan Suomen oloissa erottaa seuraavat tärkeät ajankohdat:

1. Jäänlähtö. Käänteinen kerrostuneisuus häviää ja pintaveden nopea lämpeneminen alkaa.
2. Keskilämpötilan maksimi. Vesipatsaan lämpöenergia on suurimmillaan.
3. Syyshomogeenisuuden alkaminen. Koko vesimassa saavuttaa pintakerrosten jäähtyessä saman lämpötilan.
4. Syksyn tiheysmaksimi. Koko vesimassan lämpötila on 4,0 °C.
5. Jäätyminen. Talvitilanne alkaa.
6. Keskilämpötilan minimi. Vesipatsaan lämpöenergia on pienimmillään.

Nämä ajankohdat on pyritty määrittämään kullekin havaintopaikalle jokaisena jakson 1961–1975 vuotena. Keskimääräiset ajankohdat mainitulla jaksolla on esitetty kuvassa 8.

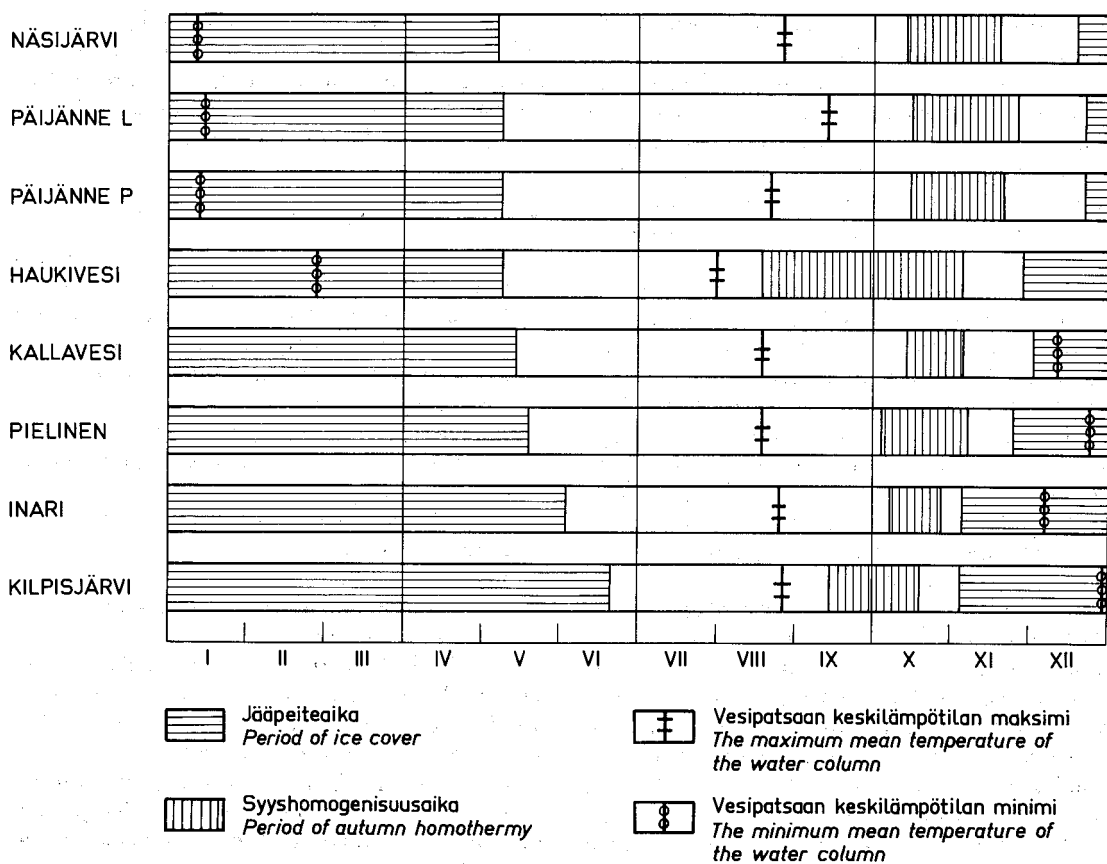
Ajankohtien määrittämisessä on jouduttu interpoloimaan havaintopäivämäärien välillä ja täydentämään puuttuvia havaintoja. Lisäksi on jouduttu käyttämään eräitä apukriteereitä: niinpä syyshomogeenisuus on katsottu alkaneeksi, kun ylimmän ja alimman vesipatsaassa mitatun lämpötilan ero on ollut pienempi kuin 0,5 °C. Tällöin on kuitenkin edellytetty, ettei ero muodostu äkillisesti kahden mittausvyöhyiden välillä, vaan että se vaikuttaa satunnaiselta.

Kevojärven havainnot ovat niin puutteelliset, että vain jäätymis- ja jäänlähtöpäivät on voitu luotettavasti määrittää.

Taulukossa 6 on yhteenvedona esitetty termisen vuoden eri osien keskipituudet ja pituuksien keskihajonnat. Kunkin havaintopaikan erityispiirteet vaikuttavat selvästi aikavälien pituuksiin. Saman järven eri havaintopisteissäkin erot ovat melkoiset: Päijänteessä Linnansaaren luona kuluu jäänlähdistä vesipatsaan keskilämpötilan maksimiin 128 vuorokautta, kun Päijätsalon luona vastaava aikaero on 104 vuorokautta.

#### 3.31 Jäänlähtö

Jääpeitteen merkittävä heikkeneminen alkaa lumen sulaessa jäältä. Lumipeite heijastaa 60–80 %



Kuva 8. Termisen vuoden keskimääräiset tärkeät päivämäärät eri havaintojärvissä jaksolla 1961-1975.  
Fig 8. The important dates of the thermal year in different lakes in 1961-1975.

Taulukko 6. Termisen vuoden eri osien pituuksien keskiarvot ja keskihajonnat jaksolla 1961-1975.  
Table 6. The means and standard deviations of the lengths of different parts of thermal years in 1961-1975.

Järvi Lake	Aikavälin pituuden keskiarvo m ja keskihajonta s vuorokausina The mean m and standard deviation s of the length of time interval in days											
	D <sub>1</sub> -D <sub>2</sub>		D <sub>2</sub> -D <sub>3</sub>		D <sub>3</sub> -D <sub>4</sub>		D <sub>4</sub> -D <sub>5</sub>		D <sub>5</sub> -D <sub>6</sub>		D <sub>6</sub> -D <sub>1</sub>	
	m	s	m	s	m	s	m	s	m	s	m	s
Näsijärvi	110	12	49	12	36	10	29	11	24	20	117	22
Päijänne L	128	13	31	16	43	8	25	11	30	18	108	22
Päijänne P	104	16	55	13	35	12	33	11	20	19	118	15
Haukivesi	83	15	17	16	80	18	24	10	88	38	73	34
Kallavesi	97	12	56	11	22	6	27	12	9	13	154	23
Pielinen	92	14	32	12	50	12	14	5	30	16	147	19
Inari	86	8	43	14	19	6	10	10	29	22	178	20
Kilpisjärvi	65	11	19	12	33	13	16	9	57	56	175	55

D<sub>1</sub> jäänlähtöpäivä  
break-up date

D<sub>2</sub> vesipatsaan keskilämpötilan maksimin ajankohta  
the date of maximum mean temperature of the water column

D<sub>3</sub> syyshomogeneisuuden alkamisen ajankohta  
the date of the beginning of the autumn homothermy

D<sub>4</sub> syksyn tiheysmaksimin ajankohta  
the date of the density maximum

D<sub>5</sub> jäätymispäivä  
freezing date

D<sub>6</sub> vesipatsaan keskilämpötilan minimin ajankohta  
the date of minimum mean temperature of the water column

tulevasta auringonsäteilystä, mutta paljas jäänpinta vain 10 %. Tällöin alkaa auringon säteilyenergia myös tunkeutua jään läpi ja lämmittää ylempiä vesikerroksia. Läpätunkeutuvan säteilyn määrä ei suurestikaan riipu teräsjään paksuudesta: 10 cm paksuinen, ilmakehän teräsjää läpäisee noin 50 % ja 50 cm paksuinen noin 40 % jään yläpintaan absorboituneesta säteilystä (Johnsson 1946).

Vesimassassa säteilyenergia absorboituu voimakkaammin välittömästi jään alla olevaan vesikerrokseen. Koska jään ja veden rajapinnalla lämpötila on kuitenkin 0 °C, syntyy hyvin selvä lämpötilagradientti. Eräiden tutkimustulosten mukaan (Pinovarov 1973) noin puolen metrin syvyydessä esiintyy lämpötilamaksimi, joka useina vuosina ylittää 4 °C. Sen alapuolella lämpötila laskee kohotakseen jälleen hitaasti syvemmällä.

Taulukossa 7 on esitetty ilman positiivisista vuorokausikeskilämpötiloista lasketun lämpösumman suuruus eri havaintopaikoilla jäänlähtöpäivänä. Tämä lämpösumma on keskimäärin pienin Oravissa (123 d°C) ja suurin Kilpisjärvellä (212 d°C). Luonnollisesti sulamiseen vaadittava lämpösumma kasvaa jään maksimipaksuuden ollessa suurempi, mikä selittää Inarin ja Kilpisjärven suurehko arvot. Kevojärvellä läpivirtaus vaikuttaa jääpeitettä heikentävästi.

### 3.32 Vesimassan lämpeneminen

Edellä on jo tarkasteltu niitä fysikaalisia prosesseja, jotka tuovat järven pinnalle energiaa ja johdavat tämän energian siirtymiseen syvemmälle. Näiden prosessien yksityiskohtainen käsittely ei käytettävissä olevan havaintoaineiston puitteissa ole kuitenkaan mahdollista.

Heti jäänlähdon jälkeen pintavesi alkaa ulapallakin sijaitsevilla havaintopisteissä lämmitä nopeasti. Monena keväänä syntyy yli 4-asteinen pintakerros jo ennen kuin lämpötila syvemmällä kohoaa tähän arvoon. Näin ollen vesimassa ei keväällä välttämättä saavuta tasalämpöisyyttä, vaan siirtyy talven käänteisestä lämpötilakerrostuneisuudesta epästabiilin tilanteen kautta kesätilanteeseen.

Useimmille havaintopaikoille mittausvyökyksen väli on ollut 5 m, joten mahdollisuudet harppauskerroksen kehityksen seuraamiseen ovat rajoitetut. Taulukoissa 8–10 on kuitenkin esitetty tietoja, joiden perusteella voidaan arvioida lämpötilakerrostuneisuuden voimakkuutta eri havaintopaikoilla.

Taulukko 7. Lämpösumman keskiarvo ja vaihtelukerroin jäänlähtöpäivänä.

Table 7. The mean and variation coefficient of degree-day sum at break-up date.

Havaintopaikka Observation site	Lämpösumma jäänlähtöpäivänä Degree-day sum at break-up date	
	Keskiarvo (d°C) Mean (d°C)	Vaihtelukerroin Coefficient of variation
Näsijärvi, Tampere	138	0,18
Päijänne, Linnansaari	146	0,22
Päijänne, Päijätsalo	146	0,22
Haukivesi, Oravi	123	0,43
Kallavesi, Kuopio	147	0,14
Pielinen, Nurmes	144	0,20
Inari, Nellim	171	0,32
Kilpisjärvi	212	0,14
Kevojärvi	148	0,16

Taulukossa 8 on esitetty kunkin kuukauden kaikkien havaintokertojen perusteella lasketut keskimääräiset lämpötilan maksimigradientit. Jotta eri asemia voitaisiin verrata keskenään, on tulokset esitetty kaikille asemille käyttäen yksikköä °C/5 m.

Toukokuussa lämpötilakerrostuneisuus on vielä heikko Järvi-Suomenkin havaintopaikoilla. Kesäkuussa se voimistuu nopeasti: keskiarvo kaikille kuudelle eteläiselle asemalle oli 3,3 °C/5 m. Kaikkein voimakkainta lämpötilakerrostuneisuus on kesäkuussa kuitenkin Inarin havaintopaikalla johon sen tuulensuojaisesta sijainnista. Heinäkuussa kerrostuneisuus on useimmilla järvillä voimakkainta ja heikkenee sitten yhä nopeammin syys-homogeenisuutta lähestyttäessä.

Taulukossa 9 on esitetty yli 5 °C/5 m suuruisen lämpötilagradienttien esiintymiskertojen osuus kaikista havaintokerroista. Eniten niitä on esiintynyt Näsijärvellä, missä ne muodostavat noin 30 % kesä-elokuun havaintokerroista. On kuitenkin todettava, että taulukon 9 antama kuva kerrostuneisuuden voimakkuudesta eri havaintopaikoilla on melko karkea. Mittausvyökyiden osuminen keskelle harppauskerrosta saattaa esim. jakaa gradientin 8 °C/m kahteen osaan, joista kumpikin on 4 °C/5 m. Havaintojen suuren lukumäärän (keskimäärin 45 havaintokertaa kuukautta kohti) huomioonottaen taulukkoa 9 voidaan kuitenkin pitää suuntaa-antavana.

Taulukossa 10 on pyritty selvittämään harppauskerroksen syvyyden kehitystä. Siinä on esitetty keskisyvytydet lämpötilan maksimigradientin esiintymisvälien keskipisteille kunakin kuukautena. Jos suurin gradientti on löytynyt esim.

Taulukko 8. Lämpötilan keskimääräinen maksimigradi-  
entti touko-lokakuussa.

Table 8. The average maximum temperature gradient  
in May-October.

Havaintopaikka Observation site	Lämpötilan keskimääräinen maksimigradietti (°C/5 m) The average maximum gradient (°C/5 m)					
	V	VI	VII	VIII	IX	X
	Näsijärvi, Tampere	0,9	4,0	4,6	3,9	1,7
Päijänne, Linnasaari	0,6	2,9	3,6	3,0	1,1	0,3
Päijänne, Päijätsalo	1,2	3,4	4,2	3,3	1,6	0,3
Haukivesi, Oravi	0,8	2,6	1,9	0,7	0,2	0,1
Kallavesi, Kuopio	0,6	3,5	4,1	3,8	2,0	0,5
Pielinen, Nurmes	1,0	3,2	3,9	3,1	1,1	0,1
Inari, Nellim	0,4	5,0	4,8	3,0	2,0	0,2
Kilpisjärvi	0,0	1,0	2,5	1,5	0,4	0,0
Kevojärvi	0,0	1,9	3,1	3,0	1,0	0,1

Taulukko 9. Lämpötilagradientin  $T \geq 5,0$  °C/5 m esiintymiskertojen osuus kaikista havaintokertoista touko-lokakuussa.

Table 9. The percentage of occurrence of a temperature  
gradient  $T \geq 5,0$  °C/5 m of all observations in May-October.

Havaintopaikka Observation site	Lämpötilagradientin $T \geq 5,0$ °C/5 m suhteellinen frekvenssi (%) The relative frequency of a tem- perature gradient $T \geq 5,0$ °C/5 m (%)					
	V	VI	VII	VIII	IX	X
	Näsijärvi, Tampere	2	38	33	18	0
Päijänne, Linnasaari	0	20	13	4	0	0
Päijänne, Päijätsalo	5	27	29	9	0	0
Haukivesi, Oravi	2	13	4	0	0	0
Kallavesi, Kuopio	0	20	27	27	0	0
Pielinen, Nurmes	0	12	24	24	0	0
Inari, Nellim	5	39	36	2	0	0
Kilpisjärvi	0	4	4	0	0	0
Kevojärvi	0	9	8	17	0	0

Taulukko 10. Lämpötilan maksimigradientin esiintymis-  
välin keskipisteiden keskiyvyys touko-lokakuussa.

Table 10. The average depth of the centers of the inter-  
vals of maximum temperature gradient in May-October.

Havaintopaikka Observation site	Väljen keskipisteiden keskiyvyys (m) The average depth of the centers of the intervals (m)					
	V	VI	VII	VIII	IX	X
	Näsijärvi, Tampere	6,3	6,1	9,1	13,1	24,2
Päijänne, Linnasaari	4,9	8,9	8,8	15,1	33,6	54,7
Päijänne, Päijätsalo	4,1	6,9	8,6	14,2	26,6	33,8
Haukivesi, Oravi	4,4	5,4	6,2	5,4	5,7	5,9
Kallavesi, Kuopio	4,5	6,9	10,3	13,0	20,9	29,6
Pielinen, Nurmes	5,0	7,0	9,6	16,1	17,3	21,5
Inari, Nellim	2,5	2,7	5,9	15,2	25,0	30,2
Kilpisjärvi	-	2,7	5,5	16,0	22,4	-
Kevojärvi	-	9,7	11,7	15,6	15,5	-

syvyysväliltä 5–10 m, on esiintymisvälin keski-  
piste siten ollut 7,5 m.

Kaikkien havaintopaikkojen keskiarvona las-  
kettu harppauskerros painui kesäkuusta heinä-  
kuuhun 2,1 m syvemmälle. Heinäkuusta elo-  
kuuhun vastaava muutos oli 5,3 m ja elokuusta  
7,5 m. Havaintopaikkojen erilaisuus on kuitenkin  
ilmeinen, ja jo syvyysuhteiden takia Hauki-  
vettä ei voida verrata muihin asemiin.

Taulukossa 11 on esitetty keskimääräinen  
maksimilämpötila eri syvyyksillä kaikilla havain-  
topaikoilla. Syvyydet on otettu 5 m välein 20  
metriin saakka ja sen jälkeen 10 m välein. Puu-  
tuvia havaintosyvyyyksiä (Näsijärvi) ei ole inter-  
poloitu.

Järvi-Suomen kuudella havaintopaikalla pinta-  
veden lämpötilan keskimaksimit olivat 18,2–  
20,9 °C ja Lapin asemilla 13,9–17,8 °C. Maksimien  
ajankohdissa (taulukko 1) ei ollut selviä  
alueellisia eroja.

Lämpötilan keskimaksimien aleneminen ylim-  
män 5 m matkalla oli pienintä Kallavedellä (1,2 °C)  
ja suurinta Inarilla (4,0 °C). Alenemisen erot ha-  
vaintopaikkojen välillä johtuvat selvästi paikalli-  
sista tekijöistä, jotka vaikuttavat sekoittumisen  
voimakkuuteen. Välillä 5–10 m maksimilämpötilan  
lasku on selvästi pienempää kuin ylimmän  
5 m kerroksessa, mutta välillä 10–15 m se kas-  
vaa lähes yhtä suureksi kuin ylimmäisessä kerrok-  
sessa. Sen jälkeen lasku hidastuu, ja havainto-  
paikkojen väliset erot tasoittuvat jonkin verran.

Vuotuisen maksimilämpötilan vaihtelukerroin  
ei näytä riippuvan syvyydestä (taulukko 12).  
Useimmilla havaintopaikoilla se on tosin suurin  
pinnassa, jossa tyynillä, aurinkoisilla säillä saattaa  
joinakin vuosina esiintyä epätavallisen korkeita  
lämpötiloja.

Viive pintalämpötilan maksimin ajankohdasta  
eri syvyysien maksimilämpötilan ajankohtaan  
vaihtelee suuresti eri järvilla (taulukko 13). Kes-  
kimäärin tämä viive oli 5 m syvyydellä 13 d ja  
10 m syvyydellä 21 d. Päijänteellä Linnansaaren  
luona viive oli 60 m syvyydellä 64 d, mutta Näsi-  
järvellä jo 20 m syvyydellä 65 d. Päijänteen Päi-  
jätsalon havaintopisteessä saavutetaan lähellä  
pohjaa, 40 m syvyydellä, maksimilämpötila huo-  
mattavasti aikaisemmin kuin 30 m syvyydellä.  
Päijätsalon pohjalämpötilojen kulku on syyske-  
sällä hyvin epäsäännöllistä. Ilmeistä syytä tähän  
ei ole löydettävissä – havaintoja voidaan joka  
tapauksessa pitää luotettavina.



Taulukko 11. Keskimääräinen maksimilämpötila eri syvyyksillä.  
 Table 11. Average maximum temperature at different depths.

Havaintopaikka Observation site	Keskimääräinen maksimilämpötila (°C) syvyydellä ... m Average maximum temperature (°C) at the depth of ... m								
	0	5	10	15	20	30	40	50	60
Näsijärvi, Tampere	20,2	17,7	16,0	14,1	12,8			9,2	
Päijänne, Linnansaari	18,2	16,8	15,7	13,8	12,9	11,8	11,3	10,5	9,7
Päijänne, Päijätsalo	19,4	17,6	15,8	14,2	12,9	11,6	9,9		
Haukivesi, Oravi	20,9	19,0	18,2						
Kallavesi, Kuopio	19,7	18,5	17,6	14,0	12,4	10,1	8,2		
Pielinen, Nurmes	20,4	18,9	17,3	14,8	13,0				
Inari, Nellim	17,8	13,8	12,8	11,7	10,3	7,9	7,1		
Kilpisjärvi	13,9	11,9	11,2	10,8	10,3	9,6			
Kevojärvi	15,4	13,6	12,6	11,9	10,0	7,8			

Taulukko 12. Maksimilämpötilan vaihtelukerroin eri syvyyksillä.  
 Table 12. The coefficient of variation of the maximum temperature at different depths.

Havaintopaikka Observation site	Maksimilämpötilan vaihtelukerroin (%) syvyydellä ... m The coefficient of variation (%) of maximum temperature at the depth of ... m								
	0	5	10	15	20	30	40	50	60
Näsijärvi, Tampere	10	9	5	8	7			9	
Päijänne, Linnansaari	8	7	8	7	7	5	6	7	6
Päijänne, Päijätsalo	12	8	8	7	5	5	9		
Haukivesi, Oravi	10	7	6						
Kallavesi, Kuopio	8	6	8	6	4	7	10		
Pielinen, Nurmes	11	11	10	10	9				
Inari, Nellim	12	10	9	6	6	11	12		
Kilpisjärvi	15	13	10	9	10	10			
Kevojärvi	14	14	14	22	19	18			

Taulukko 13. Viive pintalämpötilan maksimin ajankohdasta eri syvyyksien maksimilämpötilan ajankohtaan.  
 Table 13. The delay of the date of maximum temperature at different depths as compared to the date of the maximum temperature at the surface.

Havaintopaikka Observation site	Viive (d) syvyydellä ... m Delay (d) at the depth of ... m							
	5	10	15	20	30	40	50	60
Näsijärvi, Tampere	24	39	51	65			88	
Päijänne, Linnansaari	7	15	34	38	51	57	60	64
Päijänne, Päijätsalo	10	26	39	49	66	57		
Haukivesi, Oravi	12	18						
Kallavesi, Kuopio	15	23	41	58	62	71		
Pielinen, Nurmes	5	11	32	34				
Inari, Nellim	19	25	33	43	40	47		
Kilpisjärvi	9	13	18	22	25			

### 3.33 Vesimassan jäähtyminen

Vesimassan jäähtyminen syyskesän maksimilämpötiloista tasalämpöiseksi tapahtuu termisen konvektion, turbulentsin sekoittumisen ja diffuusion seurauksena. Jäähtyminen on nopeinta tuulisella säällä, mutta ilman ja vedenpinnan väliset lämpötila- ja kosteusgradientit sekä vedenpinnan

säteilytase vaikuttavat myös merkittävästi jäähtymisnopeuteen. Harppauskerros estää tuulen aiheuttaman turbulenssin suoranaisten vaikutuksen alapuolellaan olevissa vesikerroksissa. Sitä vastoin tuulen välillinen vaikutus erityisesti sisäisten aaltojen muodossa tuntuu diffuusion ohella myös harppauskerroksen alapuolella.

Taulukko 14. Syyshomogeenisuuden ominaisuuksia eri havaintopaikoilla jakson 1961–1975 keskiarvoina.  
Table 14. The characteristics of the autumn homothermy at different observation sites. The results are averages for the period 1961–1975.

Havaintopaikka	Alkamispäivä	Kesto (d)	Veden lämpötila alkamispäivänä (°C)	Jäähtymisnopeus (°C d <sup>-1</sup> )
Observation site	Date of beginning	Duration (d)	Water temperature at the date of beginning (°C)	Rate of cooling (°C d <sup>-1</sup> )
Näsijärvi, Tampere	13.10.	36	9,0	0,14
Päijänne, Linnansaari	14.10.	43	9,1	0,12
Päijänne, Päijätsalo	14.10.	36	8,2	0,12
Haukivesi, Oravi	16.08.	80	17,4	0,17
Kallavesi, Kuopio	13.10.	22	7,8	0,17
Pielinen, Nurmes	18.09.	50	11,4	0,15
Inari, Nellim	06.10.	20	6,8	0,14
Kilpisjärvi	14.09.	33	9,2	0,16

Kun vesimassa on jäähtynyt tasalämpöiseksi, turbulenttinen sekoittuminen ulottuu pohjaan saakka. Taulukossa 14 on esitetty syyshomogeenisuuden keskimääräiset alkamisajankohdat eri havaintopaikoilla. Näsijärvellä, Päijänteellä ja Kallavedellä syyshomogeenisuus alkaa keskimäärin lähes samana päivänä. Haukiveden matalissa vesissä se alkaa jo elokuun puolivälissä.

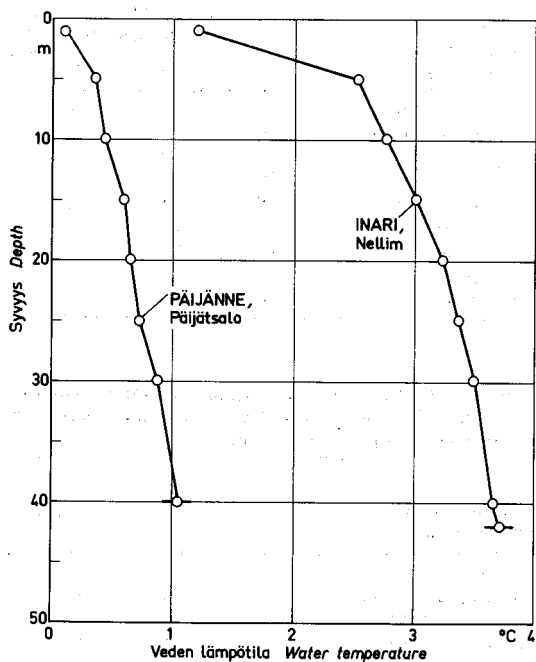
Veden lämpötila syyshomogeenisuuden alkamispäivänä on selvästi korkein Haukivedellä: 17,4 °C. Pielisellä se on 11,4 ° ja muilla Järvi-Suomen havaintoasemilla 8–9 °C. Inarilla homogeenisuus saavutetaan keskimäärin vasta lämpötilassa 6,8 °C – siellä myös homogeenisuuden kesto-aika on lyhyin.

Erot vesimassan keskimääräisissä jäähtymisnopeuksissa ovat eri havaintopaikkojen välillä pienet. Nopeimmin jäähtyvät Haukivesi ja Kallavesi: niissä keskimääräinen jäähtymisnopeus on 0,17 °C d<sup>-1</sup>. Hitainta jäähtyminen on Päijänteen molemmilla havaintopaikoilla: 0,12 °C d<sup>-1</sup>.

### 3.34 Jäätyminen

Kun vesimassa on jäähtynyt 4 °C:een, synnyttää lisäjäähtyminen heti käänteisen lämpötilakerrostuneisuuden. Tuulen aiheuttaman sekoittamisen voimakkuus ja ilman syksyisen jäähtymisen nopeus vaikuttavat eniten siihen, millaiseksi vertikaalinen lämpötilajakauma jäätyshetkellä muodostuu.

Kuvassa 9 on esitetty keskimääräinen lämpötilajakauma kahdella havaintopaikalla välittömästi jäätyksen jälkeen. Päijänteen Päijätsalon luona veden lämpötila on lähes kauttaaltaan alle 1 °C, kun taas Inarin Nellimissä se on jo 5 m-syvyydessä 2,5 °C ja pohjalla jopa 3,7 °C.



Kuva 9. Veden lämpötilan keskimääräinen vertikaalinen jakauma Päijänteen Päijätsalon ja Inarin Nellimin havaintopisteissä jäätyispäivää seuraavalla havaintokerralla.  
Fig 9. The average vertical distribution of water temperature at the observation sites of Päijänne, Päijätsalo and Inari, Nellim after the formation of ice cover.

Kuvan 9 lämpötilaero selittyy, kun tarkastellaan ko. havaintopaikkojen avoimuutta. Vapaa vesimatka Tehinselän länsirannalta Päijätsaloon on 15–20 km, mutta Inarin havaintopisteen ympärillä vain 1–3 km. Lisäksi ilman lämpötilan nopeampi aleneminen lyhentää sekoittumiseen käytettävissä olevaa aikaa Pohjois-Suomessa.

Taulukko 15. Vesipatsaan keskimääräinen lämpötila ja sen keskihajonta jäätyamisen jälkeisellä mittauskerralla.  
Table 15. The mean and standard deviation of the average temperature of the water column after the formation of ice cover.

Havaintopaikka Observation site	Vesipatsaan lämpötila (°C) jäätyamisen jälkeen Average temperature of the water column (°C) after the formation of ice cover	
	Keskiarvo Mean	Keskihajonta Standard deviation
	Näsijärvi, Tampere	1,6
Päijänne, Linnansaari	2,1	0,9
Päijänne, Päijätsalo	0,7	0,6
Haukivesi, Oravi	0,8	0,3
Kallavesi, Kuopio	1,4	0,8
Pielinen, Nurmes	2,5	1,1
Inari, Nellim	3,1	0,8
Kilpisjärvi	3,0	1,4
Kevojärvi	3,1	0,8

Taulukko 16. Pakkassumman keskiarvo ja vaihtelukerroin jäätymisspäivänä.  
Table 16. The mean and variation coefficient of frost-sum at freezing date.

Havaintopaikka Observation site	Pakkassumma jäätymisspäivänä Frost-sum at freezing date	
	Keskiarvo (d°C) Mean (d°C)	Vaihtelukerroin Coefficient of variation
	Näsijärvi, Tampere	121
Päijänne, Linnansaari	185	0,29
Päijänne, Päijätsalo	185	0,29
Haukivesi, Oravi	89	0,41
Kallavesi, Kuopio	93	0,24
Pielinen, Nurmes	79	0,34
Inari, Nellim	59	0,78
Inari, ulappa (open)	154	0,31
Kilpisjärvi	103	0,26
Kevojärvi	40	0,45

Taulukossa 15 on esitetty vesipatsaan keskimääräinen lämpötila jäätymistä seuraavalla havaintokerralla. Jos havainto on tehty huomattavasti jäätymisspäivän jälkeen, on a.o. vuosi jätetty keskiarvoa laskettaessa pois. — Lapin järvissä vesipatsaan keskilämpötilat ovat huomattavasti korkeammat kuin Järvi-Suomen havaintopaikoilla. Todennäköisesti alueelliset erot Järvialueen ja Pohjois-Suomen välillä eivät kuitenkaan ole niin suuret kuin taulukosta 15 voisi päätellä, sillä kaikki Pohjois-Suomen havaintopaikat ovat varsin suojaisia verrattuna Järvialueen havaintopaikoihin.

Taulukossa 16 on vielä tarkasteltu pakkassumman suuruutta jäätymisspäivänä. Laaja Tehinselkä

vaatii eniten astepäiviä jäätyäkseen, pieni Kevojärvi vähiten. Vertailun vuoksi on Inarin osalta esitetty myös ulapan jäätymiseen tarvittu pakkassumma, joka on lähes yhtäsuuri kuin Tehinselällä.

### 3.35 Jääpeiteaika

Järven pinnan energiatase muuttuu äkillisesti jääpeitteen muodostuessa. Jään säteilyominaisuudet ovat erilaiset kuin veden ja turbulenssin mahdollisuudet vaikuttaa vesimassaan lakkaavat kokonaan. Lämmön johtuminen ja säteilyenergian tunkeutuminen jääpeitteen ja sen päälle kertyvän lumen läpi ovat uuden energiataseen komponentteina. Koska jääpeite voi näiden komponenttien suuruuden mukaan oheta tai paksuuntua, ilmakehän prosessien vaikutukset järven vesimassan lämpötiloihin suodattuvat hyvin pieniksi.

Pohjasedimentteihin kesän aikana varastoitunut lämpö alkaa vapautua heti syksyllä veden alkaessa viiletä pohjan läheisissä kerroksissa. Talvella tällä lämpö määrällä voi olla huomattava merkitys vesimassan lämpötilan muutoksille. Turbulenssin voimakkuudesta ja veden syvyydestä riippuu, kuinka lähelle pintaa pohjasedimenteistä vapautuvan lämmön vaikutus ulottuu. Stabiiliin lämpötilakerrostuneisuuden takia konvektio ei pysty lämpöä siirtämään. Turbulenssikin on yleensä heikkoa; sitä esiintyy lähinnä advektion sekä pohjan epätasaisuuksien vaikutuksesta.

Vesimassan jäähtyminen jatkuu vielä jonkin aikaa jääpeitteen muodostumisen jälkeen, vaikka jäähtymisnopeus jäätymishetkellä merkittävästi hidastuu. Taulukossa 6 esitettiin jo sen aikavälin pituus, mikä kuluu jäätymisspäivästä vesipatsaan keskilämpötilan minimien ajankohtaan. Useimilla havaintojärvillä tämän aikavälin pituus oli 20–30 vuorokautta. Taulukossa 17 on esitetty minimilämpötilan keskimääräinen ajankohta eri syvyyksillä ja taulukossa 18 vastaavat keskimääräiset minimilämpötilat.

Koska veden lämpötila on mitattu vain 0,1 °C tarkkuudella, voi minimilämpötilan ajankohdan määrittäminen eräissä tapauksissa olla vaikeaa. Sama alin lämpötilalukema on voinut esiintyä tietyllä syvyydellä talven aikana useampiakin kertoja. Tällöin on yleensä laskettu näiden havaintopäivämäärien keskiarvo ja katsottu sen edustavan a.o. minimilämpötilan ajankohtaa. Kuitenkin taulukon 17 päivämäärissä ilmenee satunnaisvaihtelua, joskin pääpiirteissään tulos on selvä: syvemmällä minimilämpötila saavutetaan aikaisemmin eli vesi alkaa syvällä lämmitä nopeammin kuin ylemmissä vesikerroksissa. Ero

Taulukko 17. Minimilämpötilan keskimääräinen ajankohta eri syvyyksillä.  
 Table 17. The average date of the minimum temperature at different depths.

Havaintopaikka Observation site	Minimilämpötilan keskimääräinen ajankohta syvyydellä ... m The average date of minimum temperature at the depth of ... m								
	1	5	10	15	20	30	40	50	60
Näsijärvi, Tampere	11.02.	14.01.	10.01.	28.12.	02.01.			27.01.	
Päijänne, Linnansaari	27.01.	29.01.	22.01.	24.01.	25.01	21.01.	20.01.	22.01.	21.01.
Päijänne, Päijätsalo	21.01.	11.01.	13.01.	19.01.	14.01.	04.01.	04.01.		
Haukivesi, Oravi	20.02.	22.02.	18.02.						
Kallavesi, Kuopio	26.01.	04.01.	01.01.	24.12.	17.12.	16.12.	13.12.		
Pielinen, Nurmes	06.02.	22.02.	30.01.	04.01.	14.02.				
Inari, Nellim	11.01.	14.01.	22.02.	18.02.	30.01.	25.01.	22.12.		
Kilpisjärvi		20.01.	30.12.	30.12.	24.01.	23.12.			

Taulukko 18. Keskimääräinen minimilämpötila eri syvyyksillä.  
 Table 18. Average minimum temperature at different depths.

Havaintopaikka Observation site	Keskimääräinen minimilämpötila (°C) syvyydellä ... m Average minimum temperature (°C) at the depth of ... m							
	5	10	15	20	30	40	50	60
Näsijärvi, Tampere	0,7	1,0	1,2	1,2			1,1	
Päijänne, Linnansaari	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,1	1,2
Päijänne, Päijätsalo	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8		
Haukivesi, Oravi	0,3	0,7						
Kallavesi, Kuopio	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4		
Pielinen, Nurmes	0,5	0,9	1,2	1,4				
Inari, Nellim	0,5	0,9	1,2	1,9	2,6	2,9		
Kilpisjärvi	1,6	1,9	2,0	2,2	2,4			

esim. 5 metrin ja suurimman havaintosyvyyden välillä on useimmilla järvillä 1–3 viikkoa.

Keskimääräinen minimilämpötila kasvaa vähitellen syvemmälle mentäessä. Järvialueella se jää suurimmillakin havaintosyvyyksillä kuitenkin alle 1,5 °C. Sitä vastoin Inarilla ja Kilpisjärvellä se on havaintopisteissä pohjan lähellä 2,5–3,0 °C.

Vesimassan lämpeneminen alkaa taulukon 17 mukaan siis yleensä joulutammikuussa. Tämän lämpenemisen syynä on aluksi ilmeisesti pohjasedimenteistä vapautuva lämpö, mutta myöhemmin yhä lisääntyvässä määrin vesimassaan absorboitua auringon säteilyenergiaa.

Taulukoissa 19 ja 20 on tarkasteltu lämpövaraston kuukausittaisia muutoksia kunkin havaintopaikan vesipatsaan ylemmässä ja alemmassa puoliskossa. Tulokset eivät sikäli ole täysin vertailukelpoisia, että vesipatsaitten korkeudet havaintopaikoilla vaihtelevat.

Tammikuussa vesipatsaan ylemmän puoliskon lämpövarasto vielä pienenee useimmilla havaintopaikoilla: keskimääräinen muutos on  $-0,5 \text{ kJ cm}^{-2}$ . Sitä vastoin alemman puoliskon lämpövarasto kasvaa keskimäärin  $0,2 \text{ kJ cm}^{-2}$ . Helmijä maaliskuussa muutokset ovat kaikki havaintopaikat huomioonottaen lähes yhtä suuret

vesipatsaan alemmassa ja ylemmässä puoliskossa. Huhtikuussa pintakerrosten lämpeneminen kasvaa voimakkaasti Järvialueen havaintopaikoilla, koska lumipeite ei enää estä säteilyenergian tunkeutumista vesimassaan.

### 3.36 Koko terminen vuosi

Veden lämpötilan keskimääräinen vuotuinen kulku kaikilla syvyyksillä ja kaikilla havaintopaikoilla on esitetty kuvissa 10. Näiden kuvien perusteella voidaan arvioida mm. veden lämpenemisen ja jäähtymisnopeutta, lämpötilan tyypillistä kulkua sekä tyypillisiä lämpötilagradientteja eri syvyyksillä ja eri vuodenaikoina.

Lämpötilan keskimääräinen vuotuinen amplitudi pienenee luonnollisesti syvemmälle mentäessä (taulukko 21). Pinnassa se on sama kuin keskimääräinen maksimilämpötila. Ylimmän 5 m matkalla amplitudi pienenee 1,7–4,5 °C ja seuraavan 5 m matkalla 1,0–2,0 °C. Sen jälkeen amplitudin pieneminen nopeutuu, mutta alkaa sitten hidastua. Syvyydellä 50 m amplitudi on Näsijärvellä 7,1 °C ja Päijänteellä 9,4 °C.

Taulukosta 21 ei voida päätellä, kuinka paljon veden lämpötilan amplitudi vaihtelee eri vuo-

Taulukko 19. Vesipatsaan ylemmän puoliskon lämpövaraston keskimääräinen muutos tammi-huhtikuussa.  
Table 19. The average change of the heat energy storage of the upper half of the water column in January-April.

Havaintopaikka Observation site	Lämpövaraston muutos (kJ cm <sup>-2</sup> ) The change of heat energy storage (kJ cm <sup>-2</sup> )			
	I	II	III	IV
Näsijärvi, Tampere	-0,1	0,8	1,5	9,0
Päijänne, Linnansaari	-2,4	2,5	3,1	9,6
Päijänne, Päijätsalo	0,0	1,4	3,0	8,5
Haukivesi, Oravi	-0,2	-0,1	0,2	3,1
Kallavesi, Kuopio	-0,2	0,8	2,3	7,3
Pielinen, Nurmes	-1,1	-0,0	0,4	1,6
Inari, Nellim	0,3	-0,5	0,1	1,4
Kilpisjärvi	-0,0	0,3	0,0	-0,1
Keskiarvo Mean	-0,5	0,6	1,3	5,0

Taulukko 20. Vesipatsaan alemman puoliskon lämpövaraston keskimääräinen muutos tammi-huhtikuussa.  
Table 20. The average change of the heat energy storage of the lower half of the water column in January-April.

Havaintopaikka Observation site	Lämpövaraston muutos (kJ cm <sup>-2</sup> ) The change of heat energy storage (kJ cm <sup>-2</sup> )			
	I	II	III	IV
Näsijärvi, Tampere	-0,8	1,8	3,3	4,7
Päijänne, Linnansaari	-0,2	1,9	2,8	7,0
Päijänne, Päijätsalo	2,3	1,8	3,2	6,4
Haukivesi, Oravi	-0,1	-0,2	0,2	3,0
Kallavesi, Kuopio	0,4	1,4	2,5	5,0
Pielinen, Nurmes	-0,3	-0,2	0,5	1,5
Inari, Nellim	0,6	-0,1	0,5	0,3
Kilpisjärvi	0,0	0,2	0,3	0,6
Keskiarvo Mean	0,2	0,8	1,7	3,6

Taulukko 21. Lämpötilan keskimääräinen vuotuinen amplitudi eri syvyyksillä.  
Table 21. The average annual amplitude of temperature at different depths.

Havaintopaikka Observation site	Lämpötilan vuotuinen amplitudi (°C) syvyydellä ... m The annual amplitude of temperature (°C) at the depth of ... m								
	0	5	10	15	20	30	40	50	60
Näsijärvi, Tampere	20,2	17,0	15,0	12,9	11,6			7,1	
Päijänne, Linnansaari	18,2	16,5	15,3	13,2	12,2	10,9	10,2	9,4	8,5
Päijänne, Päijätsalo	19,4	17,4	15,5	13,8	12,4	11,0	9,1		
Haukivesi, Oravi	20,9	18,7	17,5						
Kallavesi, Kuopio	19,7	18,0	16,9	13,2	11,4	8,9	6,8		
Pielinen, Nurmes	20,4	18,4	16,4	13,6	11,6				
Inari, Nellim	17,8	13,3	11,9	10,5	8,4	5,3	4,2		
Kilpisjärvi	13,9	10,3	9,3	8,8	8,1	7,2			

sina. Kuvissa 11 on esitetty veden keskimääräinen maksimi- ja minimilämpötila eri syvyyksillä ääriarvoineen. Paitsi amplitudin vaihtelua, kuva 11 antaa tiedot maksimi- ja minimilämpötilojen erilaisuudesta eri vuosina kullakin havaintopaikalla.

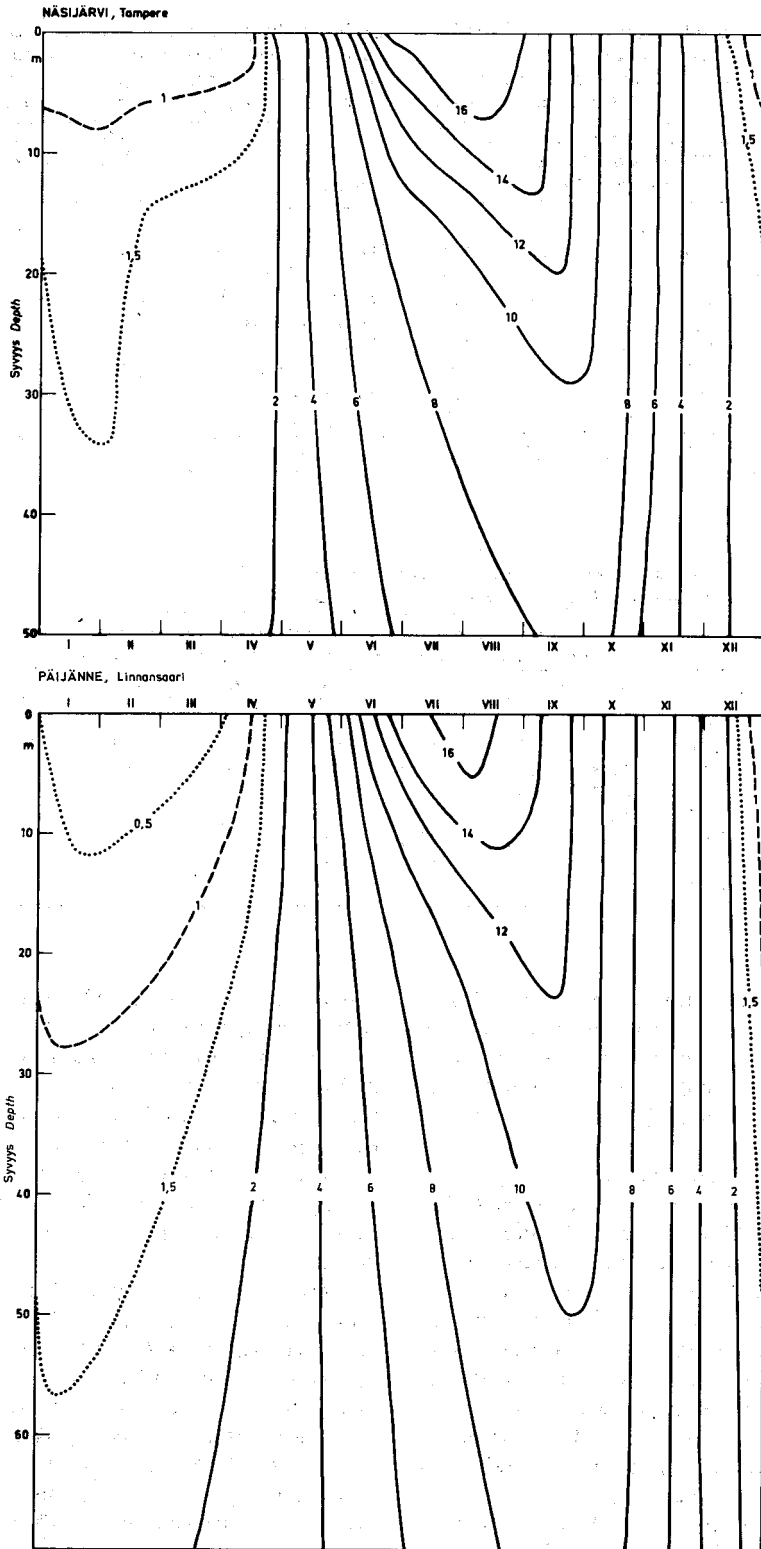
Erityisesti minimilämpötilojen osalta vuosien välinen vaihtelu poikkeaa eri havaintopaikoilla. Inarilla, Kilpisjärvellä ja Kallavedellä minimilämpötilat ovat hyvin erilaiset eri talvina. Sitä vastoin nimenomaan Päijänteellä ja Haukivedellä talven alimmat lämpötilat eivät suuresti vaihtelee. Syynä tähän lienee sekoittumisen voimakkuus: näillä havaintopaikoilla tehokas sekoittuminen ennen jääpeitteen tuloa on jokasyksyinen ilmiö.

Veden vuotuinen keskilämpötila vaihtelee yllättävän vähän syvyyden funktiona (taulukko 22) Inarilla ja Kevojärvellä vuosikeskiarvot ovat lähes samat pinnalta pohjaan saakka. Järvialueella pintaveden keskilämpötila on kaikilla havaintopaikoilla noin 7 °C ja laskee 20 m syvyyteen mentä-

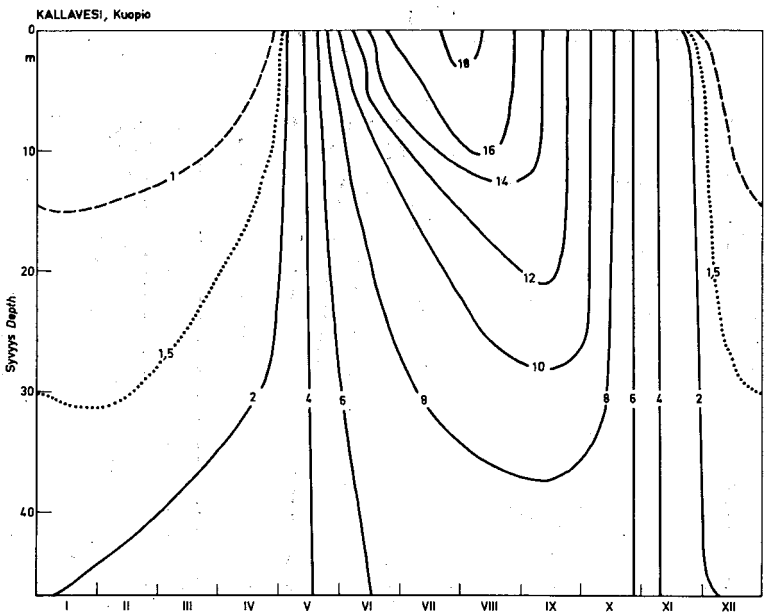
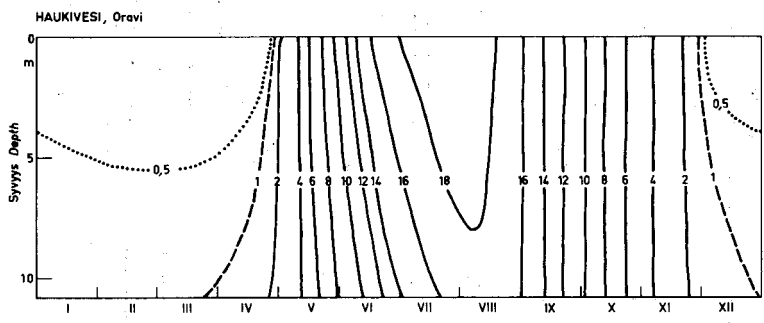
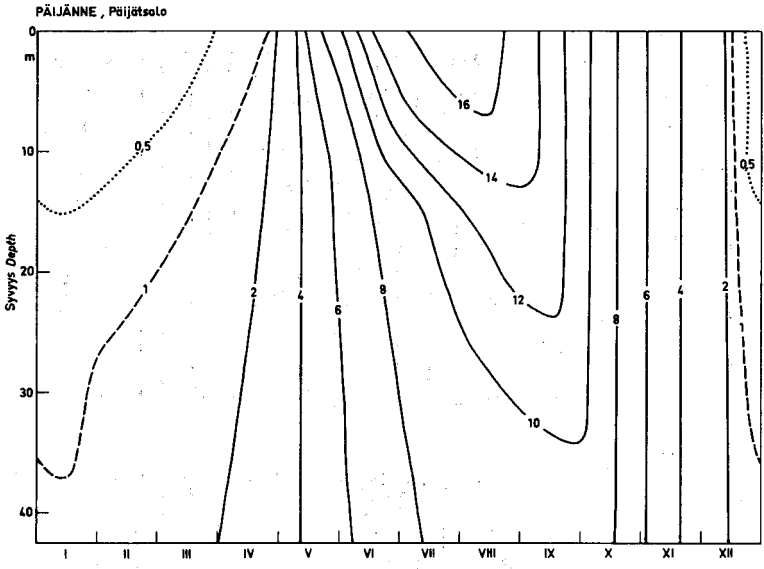
essä keskimäärin 1,4 °C. Näsijärven, Päijänteen ja Kallaveden syvänteissä se on noin 4,5 °C.

Koko vesipatsaan keskimääräiset vuotuiset keski-, maksimi- ja minimilämpötilat on esitetty taulukossa 23. Keskilämpötilojen erot ovat melko pienet. Maksimilämpötilat riippuvat selvästi maantieteellisen sijainnin ohella syvyydestä havaintopaikalla. Keskimääräiset minimilämpötilat ovat Inarissa ja Kilpisjärvessä selvästi muita korkeammat.

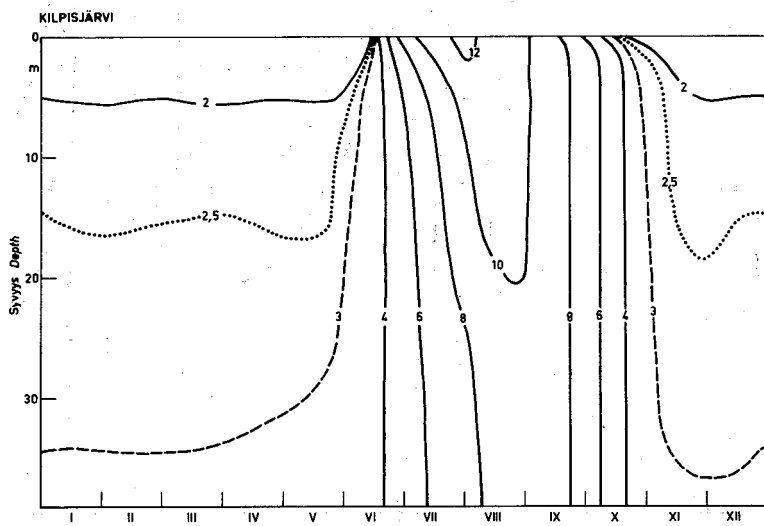
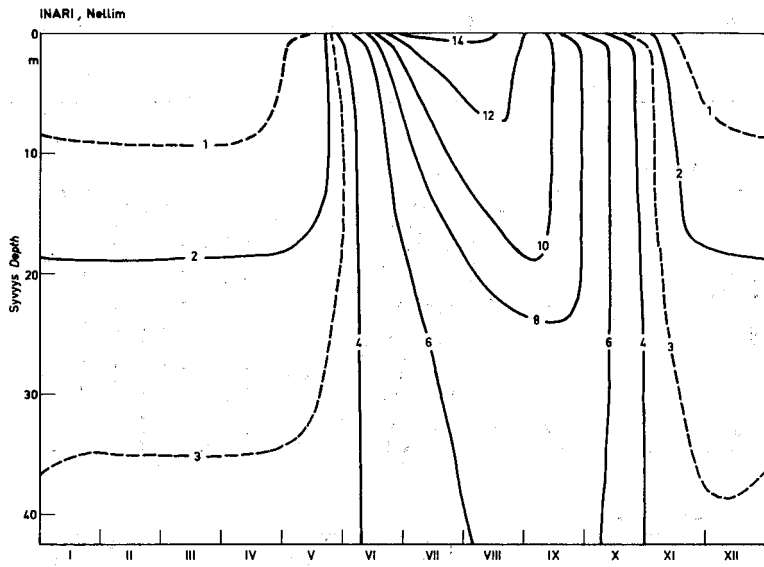
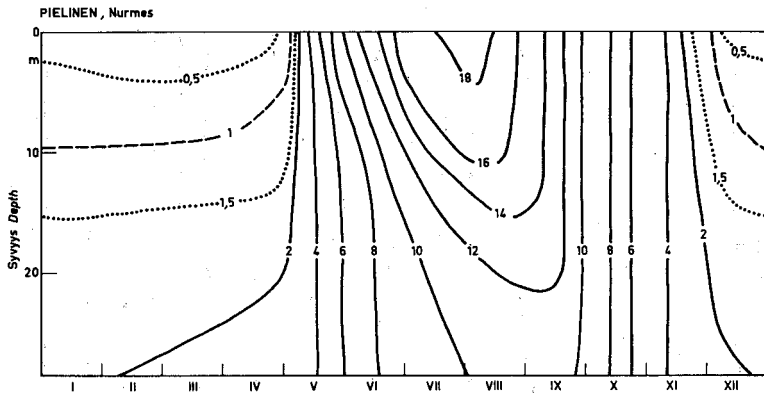
Keskimääräinen vuotuinen lämpövaraston vaihtelu vesipatsaassa kasvaa selvästi havaintopaikan syvyyden kasvaessa (taulukko 24, keskiarake). Sitä vastoin yksikkötilavuutta kohti lasketut lämpövaraston vaihtelut ovat suuremmat Haukiveden ja Pielisen matalilla havaintopaikoilla (oikeanpuoleinen sarake). Näissä lukuarvoissa myös Lapin kesän lyhyys ja talven tulo äkillisyys tulee esille: Inarilla ja Kilpisjärvellä lämpövaraston vaihtelu on vain noin 3 kJ cm<sup>-2</sup> m<sup>-1</sup>.



Kuva 10. Veden lämpötilan keskimääräinen vuotuinen kulku eri havaintopaikoilla jaksolla 1961-1975.  
 Fig 10. The average annual course of water temperature at different observation sites in 1961-1975.

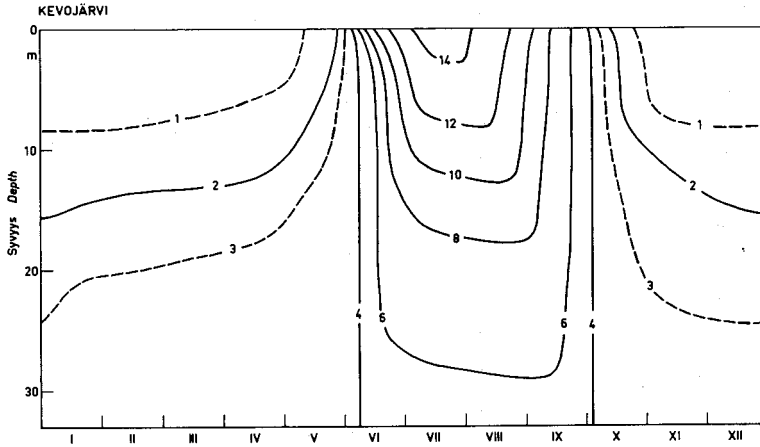


Kuva 10. Jatkuu  
Fig 10. Continued



Kuva 10. Jatkuu  
Fig 10. Continued





Kuva 10. Jatkuu  
Fig 10. Continued

Taulukko 22. Veden vuotuinen keskilämpötila eri syvyyksillä.  
Table 22. The mean annual temperature of water at different depths.

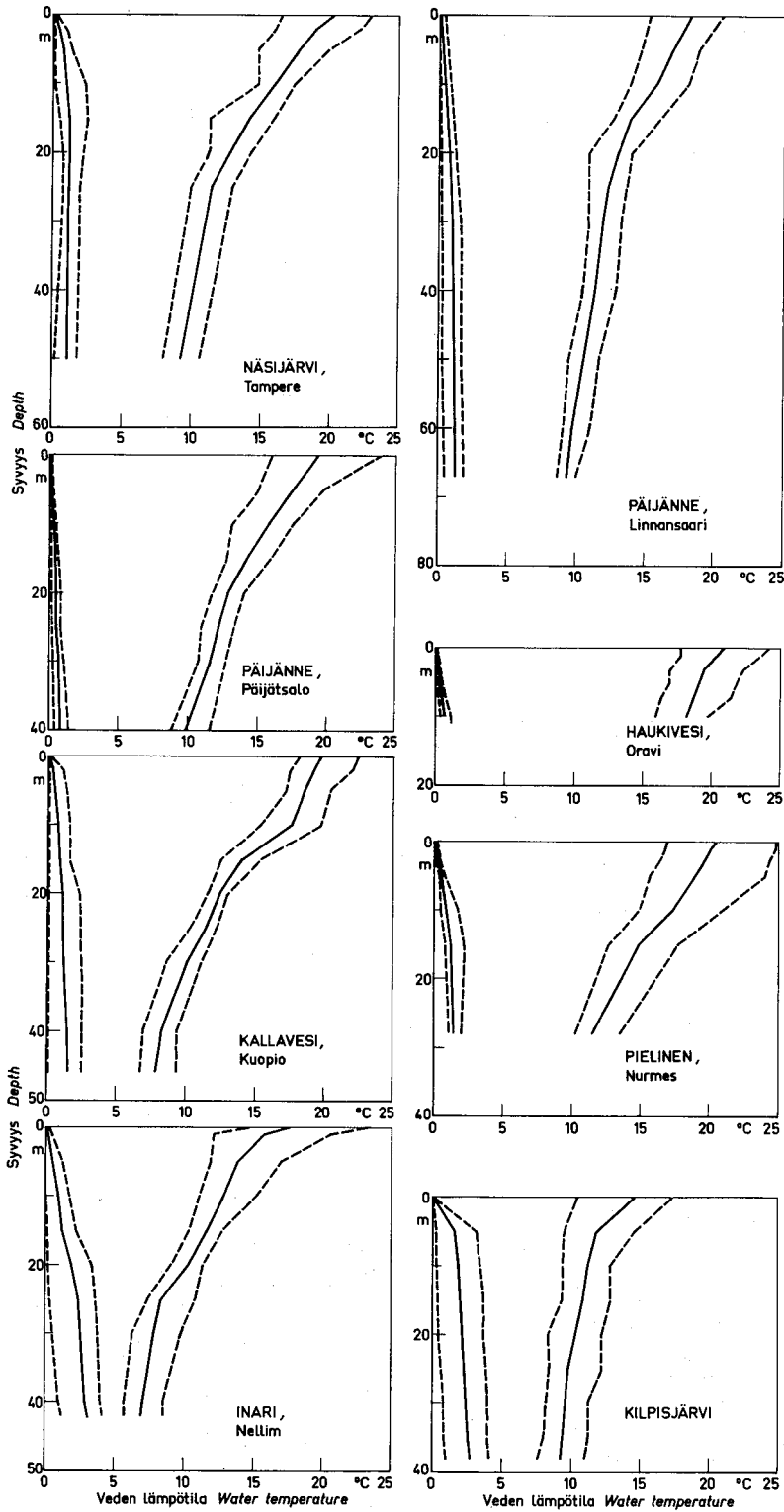
Havaintopaikka Observation site	Vuotuinen keskilämpötila syvyydellä ... m Mean annual temperature at the depth of ... m								
	0	5	10	15	20	30	40	50	60
Näsijärvi, Tampere	7,1	6,7	6,2	5,8	5,4			4,4	
Päijänne, Linnansaari	6,7	6,4	6,0	5,6	5,4	5,2	5,0	4,8	4,7
Päijänne, Päijätsalo	6,9	6,5	6,0	5,6	5,4	5,1	4,8		
Haukivesi, Oravi	7,0	6,8	6,6						
Kallavesi, Kuopio	6,7	6,5	6,1	5,5	5,2	4,6	4,3		
Pielinen, Nurmes	6,5	6,3	6,0	5,7	5,5				
Inari, Nellim	4,8	4,4	4,2	4,1	4,3	4,1	4,3		
Kilpisjärvi	3,0	4,3	4,3	4,4	4,4	4,4			
Kevojärvi	4,3	4,2	4,3	4,4	4,3	4,2			

Taulukko 23. Vesipatsaan keskimääräinen vuotuinen keski-, maksimi- ja minimilämpötila.  
Table 23. The average annual mean, maximum and minimum temperature of the water column.

Havaintopaikka Observation site	Lämpötila (°C) Temperature (°C)		
	Keskiarvo Mean	Maksimi Maximum	Minimi Minimum
Näsijärvi, Tampere	5,3	11,2	1,09
Päijänne, Linnansaari	5,3	11,2	0,89
Päijänne, Päijätsalo	5,5	12,3	0,52
Haukivesi, Oravi	6,8	19,0	0,38
Kallavesi, Kuopio	5,2	11,6	0,99
Pielinen, Nurmes	5,8	15,0	1,09
Inari, Nellim	4,2	9,2	1,91
Kilpisjärvi	4,4	10,1	2,18

Taulukko 24. Keskimääräinen vuotuinen lämpövaraston vaihtelu vesipatsaassa.  
Table 24. Mean annual variation of the heat energy storage of the water column.

Havaintopaikka Observation site	Vuotuinen lämpövaraston vaihtelu Annual variation of heat storage	
	$\text{kJ cm}^{-2}$	$\text{kJ cm}^{-2} \text{m}^{-1}$
Näsijärvi, Tampere	210	4,2
Päijänne, Linnansaari	300	4,3
Päijänne, Päijätsalo	210	4,9
Haukivesi, Oravi	88	8,1
Kallavesi, Kuopio	200	4,3
Pielinen, Nurmes	170	6,0
Inari, Nellim	130	3,0
Kilpisjärvi	130	3,3



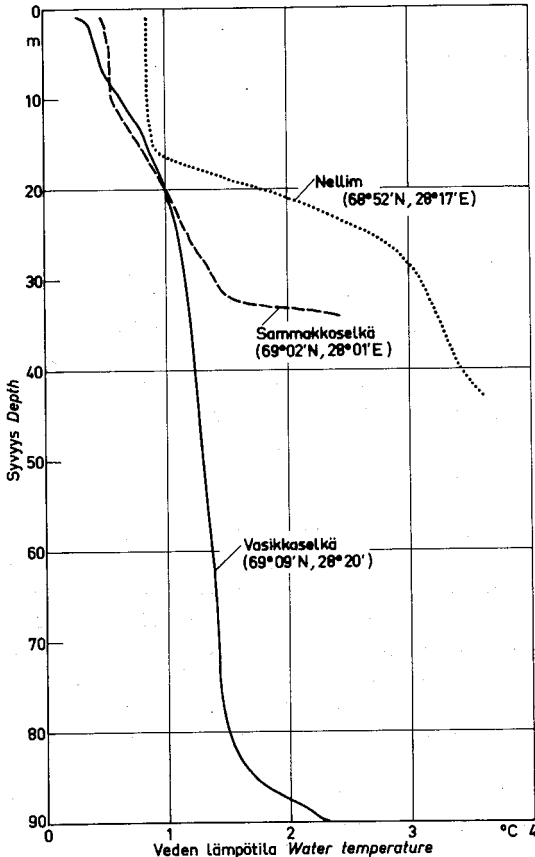
Kuva 11. Veden keskimääräinen vuotuinen maksimi- ja minimilämpötila ääriarvoineen eri syvyyksillä jaksolla 1961-1975.

Fig 11. The average annual maximum and minimum temperatures and their extremes at different depths in 1961-1975.

### 3.4 Eräitä lisätarkasteluita

Useaan kertaan on jo todettu, että tulosten yleistäminen havaintopisteestä jopa saman järven muihin osiin on uskaliaasta. Havainnollisena esimerkkinä tästä on kuvassa 12 esitetty veden lämpötila 5.5.1980 kolmessa Inarin havaintopisteessä. Yksi niistä on normaalisti käytetty mittauspaikka, Nellim; kaksi muuta ovat Inarin suurilla selillä. Vasikkaselän piste on Inarin syvimässä kohdassa Turvesaarten SW-puolella, missä suurin vedensyvyys mittauspäivän vedenkorkeudella oli 91,0 m.

Nellimissä veden lämpötila on ylimmän 15 m matkalla 0,9 °C ja kohoaa sen jälkeen melko taiseisesti niin, että se 30 m syvyydellä on jo yli 3 °C. Selillä vesi on pintakerroksissa noin puoli-



Kuva 12. Vertikaalinen lämpötilajakauma 5.5.1980 kolmessa Inarin havaintopisteessä.

Fig. 12. The vertical temperature distribution on May 5th, 1980, at three observation points of Lake Inari in northern Finland.

asteista ja lämpenee sitten 20 m syvyydelle mentäessä asteeseen. Matalassa Sammakkoselän pisteessä lämpötilan nousu jatkuu tämän jälkeenkin, ja pohjalla tapahtuu voimakas, ilmeisesti sedimentin lämpövaraston aiheuttama nousu. Vasikkaselällä lämpötila kohoaa hyvin hitaasti, ja vasta syvänteen pohjalla tapahtuu merkittävämpi nousu.

Ilmeistä on, että Inarin selillä talvikautiset lämpötilat ovat huomattavasti alemmat kuin Nellimissä havaintopaikalla, Paksuvuoren suulla.

Puutteellisia Kevojärven havaintoja lukuunottamatta syvänveden lämpötilamittaukset on tehty suurissa järvissä, joskin osittain niiden suojaisissa osissa. Pienten järvien ja lampien lämpöoloista näiden havaintojen perusteella ei voida vetää luotettavia johtopäätelmiä.

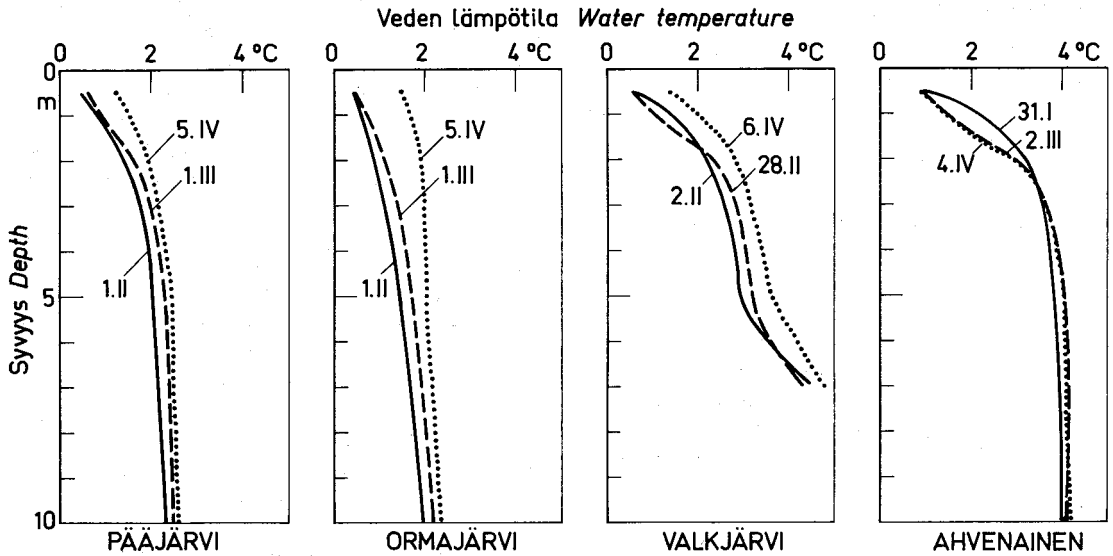
Kesäaikana pienten järvien pintakerrokset lämpivät usein voimakkaammin kuin suurten järvien. Toisaalta lämpöenergian siirtyminen syvemmälle on varsinkin suojaisissa metsälammissa hitaampaa. Jos ne ovat vielä syviä pinta-alansa nähden, voi vuotuinen lämpötilan amplitudi jäädä syvemmällä hyvinkin pieneksi.

Kuvassa 13 on tarkasteltu lämpötiloja neljässä järvessä Lammilla kevättalvella 1979. Pääjärvi ja Ormajärvi ovat keskisuuria – niiden alat ovat 12,5 ja 6,7 km<sup>2</sup>. Valkjärvi on loivarantainen pyöreähkö järvi, jonka ala on 0,70 km<sup>2</sup>. Ahvenainen on Salpausselkääalueen harjujärvi – sen ala on 0,07 km<sup>2</sup> ja suurin syvyys 19 m.

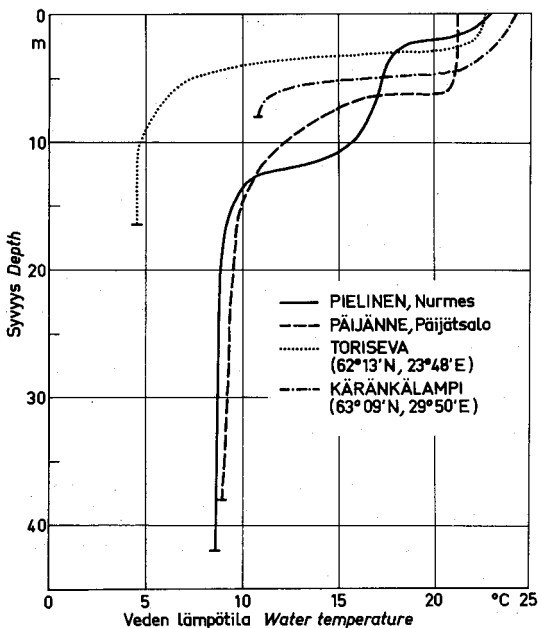
Pääjärvellä ja Ormajärvellä vesi on lämmennyt kevättä kohti kaikilla syvyyksillä. Helmikuun aikana lämpeneminen on ollut vielä hidasta, vain 0,1–0,3 °C. Sitä vastoin maaliskuussa veden lämpötila on kohonnut erityisesti Ormajärvässä voimakkaasti.

Valkjärvässä lämpötilan kehitys on ollut samansuuntainen kuin Pääjärvässä ja Ormajärvässä. Ahvenainen on sitä vastoin poikennut täysin muista järvistä; lähellä pintaa vesi on jäähtynyt selvästi. Lisäksi lämpötila on ollut epätavallisen korkea vastaten jopa epästabiilia tilannetta. Aivan ilmeisesti Ahvenaiseen purkautuu runsaasti pohjavettä.

Lammin järvien etäisyys Päijänteen Päijätsalon havaintopaikalta on noin 50 km. Ilmastolliset erot ovat tällä matkalla pienet. Päijätsalon luona vesipatsaan keskilämpötila kohosi talvella 1979 helmimaaliskuussa arvosta 0,6 °C arvoon 1,7 °C. Veden lämpeneminen oli siten Päijätsalon havaintopaikalla voimakkaampaa kuin Lammin järvissä, mutta vielä huhtikuun alunkin lämpötilat olivat alhaisemmat alueen pieniin ja keskisuuriin järviin verrattuna.



Kuva 13. Veden lämpötilan kehitys eräillä Lammin järvillä talvella 1979.  
 Fig 13. The course of water temperature in some lakes at Lammi in winter 1979.



Kuva 14. Vertikaalinen lämpötilajakauma eräillä järvillä heinäkuun lopulla 1980.  
 Fig 14. The vertical temperature distribution in some lakes at the end of July in 1980.

Harppauskerroksesta voidaan tässä tutkimuksessa käsitellyn aineiston perusteella saada vain likimääräisiä tietoja, koska mittauspisteiden väli on ollut 5 m. Useimmilla syvänveden lämpötilojen mittauspaikeilla on nykyään käytössä nopeita digitaalimittareita, joilla lämpötilat voidaan mitata metrin välein. Tulevaisuudessa tämä havaintoverkko palvelee siten myös harppauskerrosta koskevaa tutkimusta.

Kuvassa 14 on esitetty eräillä järvillä heinäkuun lopussa 1980 tehtyjä mittaustuloksia. Säätyyppi oli tuolloin vähätuulinen ja lämmin. Pintaveden lämpötilat kohosivat useilla Etelä- ja Keski-Suomen havaintoasemilla kerran 10–20 vuodessa toistuviin maksimiarvoihin. Koska heinäkuun alkupuolella vedet olivat olleet ajankohtaan nähden viileitä, kehittyi harppauskerros poikkeuksellisen voimakkaaksi.

Pielisen havaintopaikalla – joka on siirtynyt vuoden 1975 jälkeen – esiintyi kaksi erillistä harppauskerrosta. Välillä 1,5–2,5 m lämpötilagradientti oli  $3,2 \text{ } ^\circ\text{C m}^{-1}$  ja välillä 11,5–12,5 m se oli  $3,1 \text{ } ^\circ\text{C m}^{-1}$ . Päijänteessä Päijätsalon luona oli voimakas harppauskerros ( $5,6 \text{ } ^\circ\text{C m}^{-1}$ ) välillä 6–7 m. Pinta-alaltaan  $0,5 \text{ km}^2$  suuruisessa, vaarojen ympäröimässä Käränkälammessa välillä 4,5–

5,5 m esiintynyt lämpötilagradientti oli vielä suurempi:  $8,4\text{ }^{\circ}\text{C m}^{-1}$ . Kaikkein voimakkain kerrostuneisuus ( $9,9\text{ }^{\circ}\text{C m}^{-1}$ ) tavattiin kuitenkin Torisevan rotkojärvestä Virroilta 2,8–3,8 m syvyydeltä. Tässä erittäin suojaisessa järvestä veden lämpötila oli 11 metrin syvyydeltä pohjaan saakka vain  $4,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## LOPPUTIIVISTELMÄ

Tässä tutkimuksessa on tarkasteltu Suomen järvien lämpöoloja lähinnä kaudella 1961–1975. Tärkeimmät tulokset ovat seuraavat:

1. Paikalliset tekijät vaikuttavat oleellisesti pintaveden lämpötiloihin eri järvihavaintopaikkojen välillä. Tämän vuoksi ilmastollisten erojen vaikutus ilmenee vasta toisistaan melko kaukana olevilla asemilla.
2. Keskimääräinen pintaveden maksimilämpötila oli Etelä- ja Keski-Suomen järvissä noin  $19\text{--}21\text{ }^{\circ}\text{C}$ , Lapissa  $15\text{--}17\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
3. Keskikesällä pintaveden lämpötilaerot samankaltaisissa järvissä olivat varsin pienet koko Etelä- ja Keski-Suomessa. Heinäkuussa  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$  lämpötilakäyrä kulki järviolueen eteläosan halki ja  $17\text{ }^{\circ}\text{C}$  käyrä Tornionjokilaaksosta Oulujoen vesistön latvoille.
4. Pintaveden lämpötila kuukauden lopussa riippuu ainakin kesä- ja heinäkuussa merkitsevästi ko. kuukauden ilman lämpötilasta. Järven pinta-alan lisääminen toiseksi selittäjäksi paransi näiden lämpötilamuuttujien välisten regressiomallien kokonaiskorrelaatiokertoimia  $0,02\text{--}0,03$  yksikköä.
5. Jäänlähdon riippuvuus positiivisten vuorokausilämpötilojen summasta on hyvin selvä. Tutkituilla 8 havaintopaikalla jäänlähdtön vaadittu keskimääräinen lämpösumma vaihteli välillä  $123\text{--}212\text{ d}^{\circ}\text{C}$ .
6. Monina keväänä syntyy yli 4-asteinen pinta-kerros jo ennen kuin lämpötila syvemmällä vesimassassa kohoaa tähän arvoon. Näin ollen talven käänteinen lämpötilakerrostuneisuus muuttuu kesätilanteeksi epästabiliin tiheysgradientin kautta.
7. Harppauskerros painui kaikkien 8 lämpöluotauspaikan 15 vuoden keskiarvona laskettuna kesäkuusta heinäkuuhun  $2,1\text{ m}$ , heinäkuusta elokuuhun  $5,3\text{ m}$  ja elokuusta syyskuuhun  $7,5\text{ m}$ .
8. Keskimääräinen vuotuinen maksimilämpötila aleni eri havaintopaikoilla ylimmässä 5 metrin kerroksessa  $1,2\text{--}4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja seuraavan 5 metrin matkalla  $0,7\text{--}1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Syvyydellä  $20\text{ m}$  keskimääräinen maksimilämpötila oli Järvi-Suomen havaintopaikoilla  $12,4\text{--}13,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja Lapin havaintopaikoilla  $10,0\text{--}10,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Päijänteellä Linnansaaren luona keskimääräinen maksimilämpötila oli  $60\text{ m}$  syvyydellä  $9,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
9. Viive pintalämpötilan maksimin ajankohdasta eri syvyyksien maksimilämpötilan ajankohdtaan vaihteli suuresti eri järvillä. Päijänteellä Linnansaaren luona viive oli  $60\text{ m}$  syvyydellä  $64\text{ d}$ , mutta Näsijärvellä jo  $20\text{ m}$  syvyydellä  $65\text{ d}$ .
10. Syyshomogeenisuuden alkaessa veden lämpötila oli Päijänteellä, Kallavedellä ja Näsijärvellä  $8\text{--}9\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja Inarilla  $6,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Syyshomogeenisuuden keskimääräinen kesto vaihteli eri havaintopaikoilla välillä  $19\text{--}80\text{ d}$ .
11. Vesimassan keskimääräinen jäähtymisnopeus oli pienin Päijänteellä,  $0,12\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$ , ja suurin Haukivedellä ja Kallavedellä,  $0,17\text{ }^{\circ}\text{C m}^{-1}$ . Erot jäähtymisnopeuksien eri havaintopaikkojen välillä olivat siten varsin pienet.
12. Vesipatsaan keskilämpötila jäätymisen tapahtuessa oli Järvi-Suomen havaintopaikoilla  $0,7\text{--}2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja Lapin havaintopaikoilla  $3,0\text{--}3,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Lapin järvissä vesi oli siten jääpeitteen muodostuessa lämpimämpää kuin Etelä- ja Keski-Suomen järvissä.
13. Vesipatsaan keskimääräinen minimilämpötila oli Järvi-Suomen havaintopaikoilla  $0,4\text{--}1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja Lapin havaintopaikoilla  $1,9\text{--}2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Järvi-alueella minimi olivat suurimmillakin havaintosyvyyksillä alle  $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , Inarilla ja Kilpisjärvellä sitä vastoin  $2,5\text{--}3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
14. Minimilämpötilan ajankohta oli useimmilla havaintopaikoilla kaikilla syvyyksillä joulutammikuussa. Vesipatsaan lämpövarasto kasvoi kaikkien havaintopaikkojen keskiarvona helmikuussa  $1,4\text{ kJ cm}^{-2}$ , maaliskuussa  $3,0\text{ kJ cm}^{-2}$  ja huhtikuussa  $8,6\text{ kJ cm}^{-2}$ . Huhtikuussa pintakerros lämpenee jo voimakkaasti, nimenomaan järviolueella, koska lumipeite ei enää estä säteilyn energian tunkeutumista vesimassaan. Aiemmin talvella pohjasedimenteistä vapautuvan lämmön osuus vesimassan lämpenemisessä on huomattava.
15. Lämpötilan keskimääräinen vuotuinen amplitudi pieneni ylimmässä 5 metrin kerroksessa  $1,7\text{--}4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja seuraavassa 5 metrin matkalla  $1,0\text{--}2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Sen jälkeen amplitudin pieneminen nopeutui, koska voimakas harppauskerros

- ros ei useimpina vuosina ulottunut paljon 10 metriä syvemmillä.
16. Veden vuotuinen keskilämpötila vaihtelee vain vähän eri syvyyksillä. Järviolueella pintaveden keskilämpötila oli kaikilla havaintopaikoilla noin 7 °C; mentäessä 20 metrin syvyyteen se laski keskimäärin 1,4 °C. Inarilla ja Kilpisjärvellä keskilämpötila oli pintaa lukuunottamatta lähes sama (4,1–4,4 °C) kaikilla havaintosyvyyksillä.
17. Järvi-Suomen ja Lapin havaintopaikkojen lämpöolojen erilaisuus johtuu osittain niiden erilaisesta luonteesta. Tuulen merkitys vesimassan sekoittajana jää sekä Inarin, Kevojärven että Kilpisjärven havaintopaikalla pienemmäksi kuin avoimilla Järvi-Suomen havaintopaikoilla. Näin ollen esim. talvikauden minimilämpötilojen erot ovat samanlaisilla havaintopaikoilla pienemmät kuin tässä tutkimuksessa saadut erot.

## PAÄTÖSMÄININNAT

Tutkimusaineisto perustuu tie- ja vesirakennushallituksen hydrologisen toimiston ja vesihallituksen hydrologian toimiston suorittamiin kenttähavaintoihin.

Tutkimus on suoritettu vesihallituksen vesientutkimuslaitoksen hydrologian toimistossa. Vesientutkimuslaitoksen johtaja prof. Seppo Mustonen ja hydrologian toimiston päällikkö fil.lis. Risto Lemmelä ovat ohjanneet tutkimustyötä ja esittäneet siihen täydennyksiä.

Kuvien puhtaaksi piirtämisen on suorittanut piirtäjä Terttu Halme ja puhtaaksikirjoituksen konekirjoittaja Tuula Matilainen. Taitosta on huolehtinut julkaisusihteeri Raili Malinen. Alustavan konekirjoitustyön on tehnyt toimistoapul. Eeva-Liisa Alanne. Laskentatehtävät, jotka muodostavat työn laajimman osan, on pääosin tehnyt fil.yo. Olli Laasanen.

Esitän edellämainituille ja muille asiaan vaikuttaneille henkilöille parhaat kiitokseni osallisuudesta tämän työn valmistumiseen.

Helsingissä, joulukuussa 1980

Esko Kuusisto

## ENGLISH SUMMARY

The first systematic measurements of water temperature were made in the lakes Lohjanjärvi, Ladoga, Päijänne and Inari during the period 1892–1906 (Homen 1903). From 1910 to 1926 over 1200 vertical measurements of water temperature were carried out in Lake Lappajärvi by the Hydrographical Office (Odenwall 1934). The observations of surface water temperature began in 1916 in Lake Saimaa at Lauritsala; they still continue and thus they represent the longest continuous observation series of water temperature in Finland.

The first extensive data on the temperature conditions in a lake in winter were gathered in Lake Kallavesi in 1937–1938 (Simojoki 1940). Comparisons between the water temperature of different parts of a lake were included in the observations in Lake Päijänne during the period 1950–1959 (Simojoki 1960).

A significant increase in the number of water temperature stations took place in 1961, when 21 new stations were established by the Hydrological Office. Today there are 27 stations in lakes and 27 in rivers (Fig. 1). At most stations only surface water temperature is measured. At eight observation sites the vertical distribution of temperature is also measured.

The increase of surface water temperature after the break-up of ice depends on weather conditions and the characteristics of the lake. Temperature differences between neighbouring lakes can be several degrees; these differences usually diminish later during summer but increase again towards autumn.

The average course of surface water temperature at some stations during open water period is shown in Fig. 2. Also the extreme temperatures with a return period of 10 years are shown. They are estimated graphically on normal probability papers.

It is obvious that the characteristics of the observation site have an essential effect on surface water temperatures. This means that the climatic differences are indicated only when the stations are far apart. It is further evident that the variations from year to year are quite different at different stations.

The comparison between the lake and river stations does not reveal any significant differences. The average maximum temperature in rivers is almost as high as that of major lakes in the same region. This is a consequence of the fact that the vertical mixing of water in lakes leads to a homo-

genous surface layer, which extends beyond the threshold level of the outlet.

In Fig. 3, the average surface water temperature of lakes in Finland in June-October is shown. The regional differences are rather small in southern and central parts of the country. In Lapland surface waters stay cool throughout the summer.

The most essential meteorological variable affecting the temperature of surface water is the air temperature of the preceeding period. The following regression models were obtained:

$$TS_{30.6.} = 3.4 + 0.93 TA_6 \quad r = 0,79 \quad (1a)$$

$$TS_{31.7.} = 1.8 + 1.02 TA_7 \quad r = 0.86 \quad (1b)$$

where

$TS_{30.6.}$  = surface water temperature at the end of June, °C

$TS_{31.7.}$  = surface water temperature at the end of July, °C

$TA_6$  = average air temperature in June, °C

$TA_7$  = average air temperature in July, °C

Both models are significant at the level of 99.9 per cent. When the area of the lake was included in the models, the multiple correlation coefficient increased by 0.03 and 0.02, respectively. Major lakes had lower surface water temperatures — however, the influence of the area of the lake was actually smaller than could have been anticipated.

Although the temperature of surface water is important e.g. in the estimation of evaporation, it is of minor importance for the biological processes in the lake. The temperature at different depths essentially affects the kinetics of biochemical reactions and the solubility of different gases in the water. The temperature gradient and especially the depth of the thermocline play an important role in the energy balance and mixing of the water in the lake.

The important dates in the annual course of water temperatures in a lake are as follows:

1. The ice break-up date. The mixing of water due to wind and rapid increase of water temperature begin.
2. The date of maximum mean temperature of the water mass. The amount of heat energy stored in the water mass reaches its maximum.
3. The date of the beginning of the autumn homothermy.
4. The date of the water density maximum, i.e. the whole water mass has a temperature 4.0 °C.

5. The freezing date. The wind mixing effect ceases and winter conditions begin.

6. The date of the minimum mean temperature of the water mass. The amount of heat energy stored in the water mass reaches its minimum.

These dates have been estimated for each observation site in each year for the period 1961–1975 (Fig. 8). However, because most observation sites are located in major lakes with a complicated bottom topography, it has not been possible to determine the dates of maximum and minimum temperature of the whole water mass. Therefore the maximum and minimum mean temperatures of the vertical water column at the observation site are used instead.

The ice break-up date is mainly dependent on the sum of positive degree-days of air temperature in spring, and thus it occurs considerably later in northern Finland. The length of the period from the ice break-up date to the maximum mean temperature of the water column is a function of the water depth and the area of the lake represented by the observation site. In the shallow Haukivesi station (11 m) the length of this period is only 83 d, but in the deep Päijänne Linnansaari station (69 m) it is 128 d. The length of the autumn homothermy tends to be more at shallow observation sites, but other factors also affect; thus in northern Finland the rapid decrease of air temperatures leads to a short period of homothermy.

The average annual mean, maximum and minimum temperatures of the water column at each observation site are given in Table 23. The shallow observation site at Haukivesi has the highest mean and maximum temperature and the lowest minimum temperature. The means and maxima are lower at the two observation sites in Lapland, Inari and Kilpisjärvi, than in southern and central Finland. On the other hand, their minimum temperatures are considerably higher than in other lakes. This is mainly due to the rapid freezing in the lakes in northern Finland.

The mean annual variation of the heat energy storage in the water columns at each observation site were also compared. This variation was largest at Päijänne Linnansaari, 300 kJ cm<sup>-2</sup>, and smallest at Haukivesi, 88 kJ cm<sup>-2</sup>. However, it is more relevant to compare the variation of heat energy per one meter of the water column. The largest variation occurs at Haukivesi, 8.1 kJ cm<sup>-2</sup> m<sup>-1</sup>. At all observation sites in southern and central Finland, the variation exceeds 4 kJ cm<sup>-2</sup> m<sup>-1</sup>, but at Inari and Kilpisjärvi it

is only 3.0 and 3.3 kJ cm<sup>-2</sup> m<sup>-1</sup>, respectively.

The annual course of water temperature at different depths at eight observation sites is shown in Fig. 10. After the ice break-up, the temperature of surface layers increases rapidly. It reaches its maximum at the end of July, but the deepest layers warm up until the end of September. The average temperature of the vertical water column at the freezing date varies from 0.7 to 3.1 °C. The minimum temperature is reached in December or January through all depths. Thereafter, a slight increase of water temperature occurs: in February the heat energy storage of the water column increases on the average by 1.4 kJ cm<sup>-2</sup>, in March by 3.0 kJ cm<sup>-2</sup> and in April by 8.6 kJ cm<sup>-2</sup>. In the lower half of the water column, the increase of heat energy storage in February to April is almost twice as much as in the upper half of the column.

## KIRJALLISUUTTA

- Bengtsson, L. 1978. Winter stratification in a lake dominated by throughflow. Univ. of Luleå, Research Report, Serie A 10:24-45.
- Bolsenga, S. 1976. Lake Huron surface temperature May-November, 1966. Water Resources Bulletin 12, 1:147-156.
- Dake, J. & Harleman, D. 1969. Thermal stratification in lakes: analytical and laboratory studies. Water Resources Research 5, 2:484-495.
- Elomaa, E. 1976. Comparative studies of climatological conditions over a lake and the surrounding land areas in 1969-1970. 40 s. Helsinki. Fennia 146.
- Homen, T. 1903. Die Temperaturverhältnisse in den Seen Finnlands. Förh. v. Nat. forsk. mötet i Helsingfors 1902. 11 s.
- Huttula, T. 1976. Tuulen vaikutus harppauskerroksen liikkeisiin Lammin Pääjärvellä. 52 s. Helsinki. Pro gradu-tutkielma, Helsingin yliopiston geofysiikan laitos.
- Jirka, G., Ryan, S. & Stolzenbach, B. 1975. Basic physical processes in heat transport. European Course on Heat Disposal from Power Generation in the Water Environment. 135 s. Delft. Delft Hydraulics Laboratory.
- Johnsson, O. 1946. Termisk-hydrologiska studier i sjön Klämningen. Geografiska annaler, häft 1-2, 155 s.
- Järnefelt, H. 1958. Vesiemme luonnontalous. 315 s. Helsinki.
- Kuusisto, E. 1978. Suur-Saimaan vesitase ja tulovirtaaman ennustaminen. 66 s. Helsinki. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 26.
- Laaksonen, R. 1972. Järvisyvänteet vesiviranomaisen 1965-1970 maaliskuussa tekemien havaintojen valossa. 80 s. Helsinki. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 4.
- Octavio, K., Jirka, G. & Harleman, D. 1977. Vertical heat transport mechanisms in lakes and reservoirs. 131 s. MIT, Dept. of Civil Engineering, Cambridge, Mass., USA.
- Odenwall, E. 1934. Lake Lappajärvi. 24 s. Helsingfors. Meddelanden från Hydrografiska Byrån VI.
- Ottesen-Hansen, N-E. 1978. Mixing processes in lakes. Nordic Hydrology 9, 2:57-74.
- Pinovarov, A. 1963. Thermal conditions in freezing lakes and rivers. Israel Program for Scientific Translations, 170 s. New York, Wiley & Sons.
- Ryhänen, R. 1962. Über den Zustand der Gewässer im südlichen Einzugsgebiet des Kokemäenjoki (Finnland) III A-B. Ann. Acad. Sci. Fenn., Series A, III: 64-65.
- Sarkkula, J. 1976. Lämpötilamittaukset Asikkalanselällä kesällä 1975. 23 s. Helsinki. Hydrologian toimisto 28.4.1976.
- Sarkkula, J. 1977. Korospohjan lahden hydrologinen tutkimus. 22 s. Helsinki. Vesihallitus, hydrologian toimisto.
- Saurio, P. 1977. Tunnittaisen kokonaissäteilyn arvioiminen synoptisista säähavaintotiedoista regressiomenetelmällä. 64 s. Helsinki. Ilmatieteen laitos, tutkimus-estoste 71.
- Seuna, P. 1969. Pintaveden lämpötila eräissä Suomen vesistöissä. Maalaiskunta 12:772-775.
- Simojoki, H. 1940. Über die Temperaturverhältnisse der Finnischen Seen im Winter. Fennia 67, 2. 26 s.
- Simojoki, H. 1956. Über die Temperaturverhältnisse einiger Finnischen Seen, Fennia, 80, 3. 37 s.
- Simojoki, H. 1960. Hydrologische und thermische Untersuchung des Sees Päijänne. 22 s. Helsinki. Fennia 83, 2.
- Solantie, R. 1976. Suomen vesitase kaudella 1931-1960. 130 s. Helsinki. Helsingin yliopisto, geofysiikan laitos.
- Spalding, D. & Svensson, U. 1976. Development and erosion of the thermocline 16 s. und Univ. of Lund, Dept. of Water Resources engineering. Report 3004.
- Stefan, H. & Ford, D. 1975. Temperature dynamics of dimictic lakes. ASCE Journal of the Hydraulics Division 101, HY 1:34-41.
- Svensson, U. 1978. Examination of the thermal structure of stratified lakes. Univ. of Luleå, Research Report, Series A, 10:8-23.
- Thendrup, A. 1978. Matematiske modeller for temperaturstudier i innsjøer. Nordisk expertmöte om matematiska modellens användelse i hydrologi. Nordic IHP Report 1:197-224.
- Virta, J. 1979. Long internal waves and their influence on stratification in a lake. 15 s. Oslo. Nordic workshop on the dynamics of lakes, Lillehammer, Norway, March 1979.
- Wennerberg, G. 1972. Yttertemperaturkartering med strålningstermometer från flygplan över Väneren under 1971. 20 s. Stockholm. SMHI, Notiser och preliminära rapporter, Serie Hydrologi 20.