



**Vattentemperaturer i sjöar,  
sommars och vinter**  
-resultat från SMHIs mätningar

**Anna Eklund**



**Vattentemperaturer i sjöar,  
sommar och vinter  
-resultat från SMHIs mätningar**

**Anna Eklund**



## Förord

Rapporten ”Vattentemperaturer i sjöar, sommar och vinter - resultat från SMHIs mätningar” är framtagen inom Analysenheten på affärsområde samhälle vid SMHI. Detta är den inledande, beskrivande delen i en undersökning av vattentemperaturer i sjöar. Den kommer att följas av en modelleringsdel där modellen PROBE kommer att användas för beräkning av vattentemperaturer.

Jag vill tacka Birgitta Raab, Maja Brandt och Jörgen Sahlberg, som har varit till stor hjälp vid både analyser och utformning av rapporten.

Till grund för arbetet ligger många års mätningar av vattentemperatur. Jag vill även tacka alla de som utfört dessa mätningar.

Norrköping i april 1998

Anna Eklund

Omslagsfoton: Sommarbild från Åsunden 1994 och vinterbild från Vättern 1986.  
Maja Brandt.

© SMHI 1998

Citera oss gärna och använd materialet, men glöm inte att ange källan.

Tryckeri: CA-tryck, Norrköping.

ISSN 0282-7722



## Innehåll

INLEDNING	1
BAKGRUND	2
Temperaturens skiftningar under året	2
Mätningarna	4
Beräkningar av sjöarnas omsättningstid	4
Beräkning av sjöarnas energiinnehåll	5
DE STUDERADE SJÖARNA	6
RESULTAT	9
Jämförelse mellan olika sjöar	9
Jämförelse mellan olika mätpunkter i samma sjö	13
Jämförelse mellan olika år	14
Jämförelse mellan lufttemperatur och vattentemperatur	14
Energiinnehållet i sjöarna	15
DISKUSSION	19
REFERENSER	20





## **Inledning**

Mätningar av vattentemperaturen på olika djup i sjöar har utförts av SMHI sedan 1950-talet. De flesta mätningar har ingått i SMHIs uppdragsverksamhet i samband med vattenkraftutbyggnad. Under 1980-talet var det av stort intresse att utvinna energi från sjövattnen med hjälp av värmepumpar. I samband med detta utfördes ett antal undersökningar av värmeinhåll i sjöar där SMHIs vattentemperaturmätningar kom till användning (Broman 1982, Sahlberg 1987, Zachrisson och Broman 1984 samt Lindahl, Svensson och Moberg 1987). I dessa undersökningar undersöktes dock endast vattentemperaturen under vintern.

Sedan början av 1980-talet har SMHI ett stationsnät med 11 sjöar i södra Sverige där vattentemperaturen mäts två gånger per år, dels under sommaren, i juli till augusti, dels under vintern, i februari till mars. För de flesta av dessa sjöar finns även mätningar före början av 1980-talet.

I denna rapport analyseras vattentemperaturen i sjöar och hur vattentemperaturen varierar mellan sjöar med olika egenskaper som djup, area, läge i landet och vindutsatthet. Jag har också studerat hur vattentemperaturen skiljer sig mellan olika år samt beräknat sjöarnas energiinhåll. Analysen har gjorts för de elva sjöar som ingår i nuvarande stationsnät samt två sjöar som är belägna längre norrut. Det är tänkt att rapporten ska användas som ett uppslagsmaterial för de som arbetar med vattentemperaturer i sjöar och närliggande frågor. Rapporten är också ett hjälpmedel vid utformningen av SMHIs framtida stationsnät för vattentemperaturmätningar i sjöar.

## Bakgrund

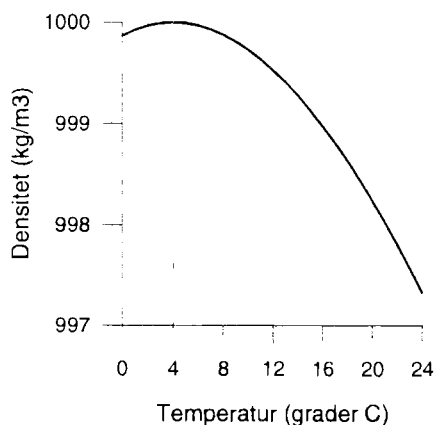
Vattentemperaturen i en sjö beror på en mängd faktorer. Varje sjö är unik och det är svårt att göra jämförelser mellan olika sjöars temperatur. Nedan följer en uppräknig av de viktigaste faktorerna av betydelse för vattentemperaturen i sjöar.

Sjöspecifika faktorer:      Geografiskt läge  
                                    Höjd över havet  
                                    Volym-, areal- och djupförhållanden  
                                    Typ av sediment  
                                    Genomströmning  
                                    Vindutsatthet

Meteorologiska faktorer:  Lufttemperatur  
                                    Strålningsförhållanden  
                                    Vindförhållanden  
                                    Luftfuktighet

### *Temperaturens skiftningar under året*

Temperaturens årliga gång i insjöar i vårt klimat kan delas in i fyra olika faser, sommarstagnation, höstcirkulation, vinterstagnation och vårcirkulation (Johnsson, 1946 och Falkenmark, 1972). Det som främst styr temperaturförändringar och skiftningar är vind-, lufttemperatur- och strålningsförhållanden under året samt det faktum att vatten i insjöar har sin högsta densitet vid +4°C (figur 1). Nedan följer en beskrivning av de olika faserna och som illustration visas temperaturvertikaler för olika tider under året för Locknesjön i Jämtland (figur 2).

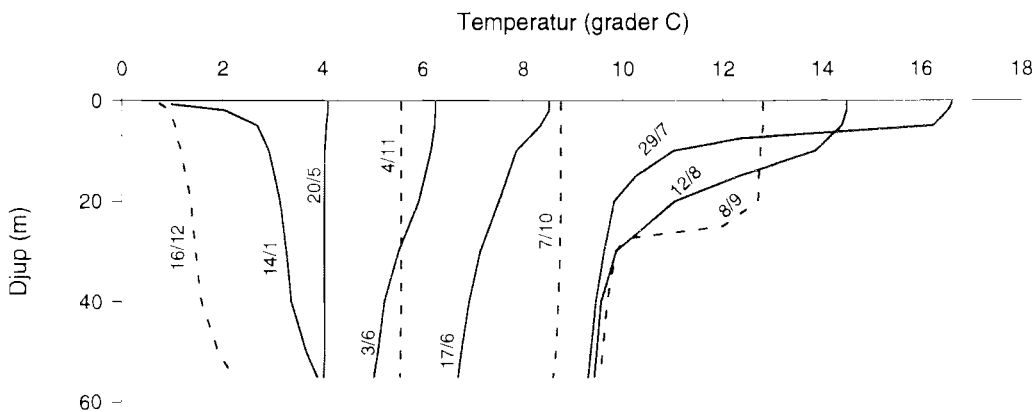


Figur 1. Vattnets densitet vid olika temperatur.

### Sommarstagnation

På sommaren värms sjöns ytligaste skikt upp av solstrålningen. Eftersom vattnet har sin högsta densitet vid +4°C är det varma ytvattnet lättare och blandas inte med det kallare bottenvattnet. Sjön delas upp i två skikt, det övre uppvärmda skiktet, epilimnion, och ett kallare botten-skikt, hypolimnion. Båda skikten har relativt homogena temperaturförhållanden.

I övergångszonen mellan skikten ändras temperaturen språngartat med djupet och skiktet har därför fått benämningen språngskikt. Språngskiktet fungerar som en spärrzon som förhindrar omblandning mellan vattnet i epilimnion och hypolimnion. En viss värmetransport sker dock mellan de olika skikten. Språngskiktet flyttas under sommaren successivt nedåt i sjön och även i hypolimnion sker en svag uppvärmning av vattnet under sommaren. I vissa sjöar som är grunda eller mycket vindutsatta blir språngskiktet ottydligt eller saknas helt. I exemplet Locknesjön (figur 2) varar sommarskiktningen från början av juli till början av september.



Figur 2. Vattentemperaturens växling med årstiderna i Locknesjön år 1957.

### Höstcirkulation

Under början av hösten kyls vattnet i ytlagren ner och blandas om alltmer, främst genom vindens påverkan. Då ytvattnet har avkylts till samma temperatur som bottenvattnet blandas vattnet om i hela vertikalen. När vattnet cirkulerar i djupled transporteras syre, som finns löst i ytvattnet ner till sjöns botten, till stor nytta för sjöns djurliv. Hur hög temperaturen är då höstcirkulationen börjar bestäms i första hand av temperaturen i bottenvattnet under sommaren. Den varierar mellan olika sjöar och olika somrar. Oftast ligger temperaturen långt över  $+4^{\circ}\text{C}$  när höstcirkulationen börjar. För exemplet Locknesjön sommaren 1957 var vattentemperaturen cirka 9 grader när sjön började cirkulera (figur 2). Ytvattnet fortsätter att avkylas och cirkulera till dess att temperaturen i hela vertikalen avkylts till  $+4^{\circ}\text{C}$ .

### Vinterstagnation

Då ytterligare avkyllning av ytvattnet sker när hela vertikalen har en temperatur av cirka  $+4^{\circ}\text{C}$  får det en lägre densitet än bottenvattnet och cirkulationen avtar. Istället sker åter en skiktning av vattnet med kallare vatten i ytlagren och varmare längre ner. Genom vindomblandning fortsätter vattenmassan att avkylas så länge sjön är isfri. Vinterskiktningen är inte lika tydlig som sommarskiktningen och något språngskikt uppkommer i allmänhet inte. Undantaget är sjöar med kraftig genomströmning, där ett språngskikt kan uppkomma genom att det kalla vattnet från vattendraget strömmar över det varmare sjövattnet (Bengtsson, 1978).

Temperaturskillnaden mellan ytliga och djupa lager är i allmänhet mindre under vinterskiktningen än under sommarskiktningen. Isen lägger sig på sjön då temperaturen i ytlagret har sjunkit till noll grader och det är tämligen vindstilla. Efter att isen lagt sig på sjön ändras vattnets temperatur ganska lite och sjön har i stort sett samma temperatur hela vintern som den hade vid isläggningstillfället. Om det inte förekommer något istäcke på sjön och

lufttemperaturen är låg blir värmeutbytet stort mellan luft och vatten, vilket leder till att sjön avkyls kraftigt. Om sjön är utsatt för stor vindpåverkan förstärks denna nedkyllning. Under vintern ökar temperaturen i sjöns djupare delar på grund av att värme som finns lagrat i sjöns sediment avges till vattnet.

### Vårcirkulation

Före och efter islossningen värms ytvattnet till dess att det får samma temperatur som bottenvattnet. Då börjar vattnet i sjön med vindens hjälp åter cirkulera och syre transporteras ner till sjöns botten. När cirkulationen börjar är bottenvattnet ofta kallare än +4°C och värms upp till och förbi denna nivå innan sommarskiktningen åter kan börja byggas upp.

### ***Mätningarna***

SMHI har mätt vattentemperaturen i sjöar sedan 1950-talet. Det har främst varit som uppdragsverksamhet i samband med vattenkraftutbyggnad. De flesta sjöar där vattentemperaturmätningar tidigare utförts är därför belägna i Norrlands inland. I de flesta sjöar har mätningar utförts en gång på sommaren och en gång på vintern, men i ett fåtal sjöar har temperaturmätningar gjorts varje eller varannan vecka under några år (Moberg, 1981). Sommarmätningarna har utförts under den varmaste perioden i slutet av juli eller början av augusti. Vintermätningarna har av mättekniska skäl utförts i februari, trots att vattnet i många sjöar har lägst temperatur just vid isläggningen. Det gäller framförallt de sjöar, som påverkas mycket av uppvärmning från bottensedimenten under vintern. Sjöar med stor genomströmning har dock sin lägsta vattentemperatur i februari, då en stor del av det relativt varma sjövattnet hunnit bytas ut mot kallare tillrinnande vatten. Långa mätserier (minst 10 år) finns för cirka 80 sjöar. Till denna rapport har dock endast mätningar från 13 sjöar använts, dels för att undersöka dagens stationsnät mer noggrant, dels för att mätningar från övriga sjöar inte finns digitaliserade. Vattentemperaturmätningarna har tidigare utförts med termistorbrygga, men de senaste cirka tio åren har man övergått till så kallade kabelljuslod.

Ett problem med mätningarna är att det finns luckor, framförallt i vintermätningarna. I vissa sjöar, främst Vättern, har mätningar enbart skett de vintrar då isen varit tillräckligt tjock för att kunna göra mätningar från.

### ***Beräkning av sjöarnas omsättningstid***

Med en sjös omsättningstid menas den tid det skulle ta för allt vatten som finns i sjön vid en viss tidpunkt att lämna sjön och ersättas av tillrinnande vatten, förutsatt att hela vattenmassan deltog i strömningen. Omsättningstiden är ett mått på den genomsnittliga genomströmningen genom sjön och beräknas som

$$T = \frac{V}{Q_{medel}}$$

där  $V$  är sjöns volym ( $m^3$ ) och  $Q_{medel}$  är medelavrinningen från sjön under året ( $m^3/s$ ).

I några av de studerade sjöarna mäter SMHI vattenföringen vid sjöns utlopp. För övriga sjöar har medelvattenföringen beräknats utifrån avrinningen per ytenhet (specifika avrinningen),  $q$  ( $l/(s \text{ km}^2)$ ), och storleken på avrinningsområdet uppströms sjöns utloppspunkt,  $A$  ( $\text{km}^2$ ).

$$Q_{medel} = q \cdot A$$

Den specifika avrinningen avser medelvärdet över sjöns avrinningsområde.

En sjös omsättningstid kan ha betydelse för temperaturen i sjön, dels för omblandningen av vatten i sjön, dels om det tillrinnande vattnet har en annan temperatur än sjöns vatten.

### ***Beräkning av sjöarnas energiinnehåll***

I sjöarnas vatten finns värmeenergi (även kallad termisk energi) lagrad. Det termiska energiinnehållet,  $H$ , beräknas som

$$H = \rho c_p \int_0^{z_{\max}} A(z) T(z) dz$$

där  $A(z)$  är sjöns area på olika djupnivåer i  $\text{m}^2$  (motsvarar sjöns hypsograf),  $T(z)$  är sjöns temperatur på olika djupnivåer i  $^\circ\text{C}$  (motsvarar temperaturvertikal),  $z$  är djupet i  $\text{m}$ ,  $c_p$  är vattnets specifika värmeinnehåll i enheten  $\text{Joule}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$  och  $\rho$  är vattnets densitet i enheten  $\text{kg}/\text{m}^3$ . Både  $\rho$  och  $c_p$  varierar något med vattentemperaturen, men i dessa beräkningar har de antagits konstanta.

Energiinnehållet beräknas i enheten Joule. För att beräkna sjöarnas medelenergiinnehåll användes sjöarnas medeltemperaturvertikal, sommar respektive vinter. För att praktiskt göra denna beräkning delades sjön in i olika djupskikt och en summering gjordes av energiinnehållet i olika skikt i sjön. Energiinnehållet i en sjö beräknas alltid i förhållande till en viss referenstemperatur. I detta fall är referenstemperaturen noll grader.

## De studerade sjöarna

I denna studie har temperaturen i de 11 sjöar som ingår i det nuvarande stationsnätet studerats. Dessa sjöar ligger alla i södra Sverige (figur 3) och för att få bättre täckning i hela landet valdes också två sjöar i norra Sverige, Locknesjön och Tängvattnet. I dessa sjöar utförde SMHI mätningar på 1950- och 1960-talet (tabell 1). Vattentemperaturen har mätts i den djupaste punkten i sjön. I Siljan har dessutom mätningar gjorts i en vertikal belägen i Rättviken (figur 3). För jämförelsen med andra sjöar har temperaturmätningarna från den djupaste punkten öster om Sollerön använts. Mätningarna har utförts en gång under vintern, i februari till mars och en gång under sommaren, i juli till augusti. I de flesta av sjöarna finns både sommar- och vintermätningar för cirka tio till tjugio år (tabell 1). Det finns i allmänhet fler sommarmätningar. Eftersom mätperioden är relativt kort och innehåller luckor har det inte varit möjligt att göra analyserna på standardnormalperioden 1961-1990. Istället har alla de utförda mätningarna använts.



Figur 3. Sjöarnas läge. Temperaturen mäts i sjöarnas djupaste punkt. I Siljan mäts temperaturen förutom i djuphålan öster om Sollerön även i en punkt i Rättviken.

Sjöarna i dagens stationsnät är alla relativt stora och arean varierar från 18 km<sup>2</sup> (Åsunden) till 1860 km<sup>2</sup> (Vättern)(tabell 2). I SMHIs sjöregister är Sveriges sjöar indelade i fem olika storleksklasser, klass A > 100 km<sup>2</sup>, klass B 10-100 km<sup>2</sup>, klass C 1-10 km<sup>2</sup>, klass D 0,1-1 km<sup>2</sup> och klass E 0,01-0,1 km<sup>2</sup>. Av de studerade sjöarna tillhör Vättern, Siljan och Sommen klass A och de övriga klass B. Sjöar mindre än 10 km<sup>2</sup> är alltså inte representerade.

Tabell 1. Antal mätningar i de undersökta sjöarna.

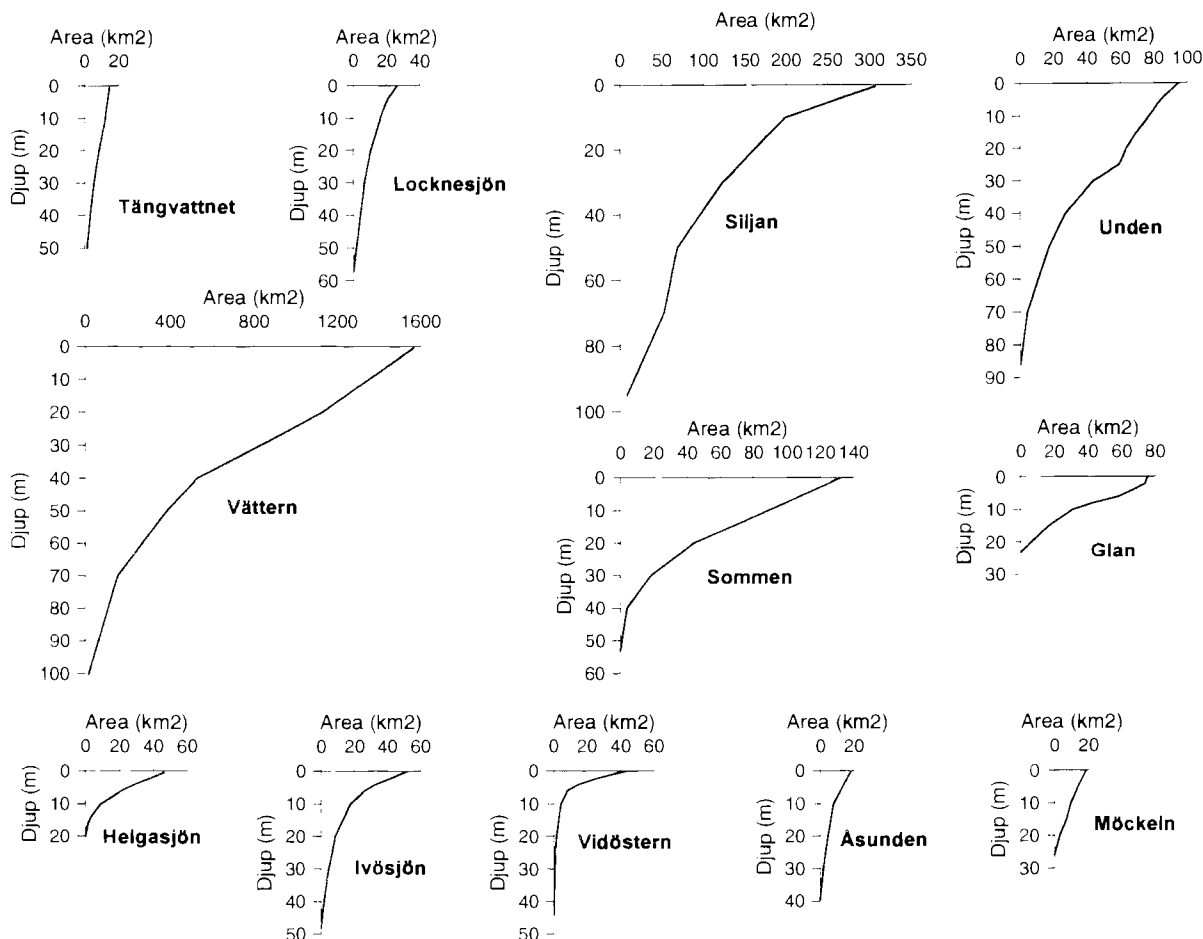
Sjö	Vintertemperaturer		Sommartemperaturer	
	Antal mätn.	Mellan år	Antal mätn.	Mellan år
Tängvattnet	14	1956-1969	10	1956-1965
Locknesjön	11	1952-1962	12	1951-1962
Siljan	13	1981-1997	19	1961-1997
Väsman	10	1981-1996	22	1961-1997
Unden	12	1959-1996	25	1959-1997
Vättern	6	1982-1996	25	1959-1997
Sommen	12	1980-1997	19	1962-1997
Glan	5	1984-1996	21	1957-1997
Helgasjön	6	1984-1997	17	1977-1997
Ivösjön	14	1959-1996	25	1964-1997
Vidöstern	10	1980-1997	19	1963-1997
Åsunden	20	1956-1997	26	1963-1997
Möckeln	14	1976-1996	13	1985-1997

De sjöar som har störst genomströmning är Glan, Möckeln och Vidöstern. Minst genomströmning har Vättern, Unden, Locknesjön och Sommen (tabell 2). Den största flikigheten har Sommen, Helgasjön och Ivösjön. Den sjö som har det mildaste klimatet är Ivösjön och kallast klimat har Tängvattnet och Locknesjön. Vättern skiljer sig mycket från övriga sjöar på grund av sin storlek, som gör att sjön är utsatt för stor vindpåverkan. Det förekommer också så kallade seicher i Vättern. Efter hård blåst kan hela vattenmassan i sjön komma i svängning och stående vågor uppkommer (Bergsten 1926). Dessa seicher gör att kallare djupvatten sommartid kan transporteras upp till ytan.

Tabell 2. Karakteristiska egenskaper hos de studerade sjöarna. I den sista kolumnen anges storleken på avrinningsområdet uppströms sjöns utloppspunkt. För Väsman finns inga värden på medeldjup, volym och omsättningstid.

Sjö	Avr. omr	Area (km <sup>2</sup> )	Maxdjup (m)	Medeldjup (m)	Volym (milj m <sup>3</sup> )	H. ö. havet (m)	Omsättn.tid (år)	Avr. omr. storlek (km <sup>2</sup> )
Tängvattnet	Umeälven	14	54	25	350	471	1,6	194
Locknesjön	Ljungan	26	57	19	501	328	15	134
Siljan	Dalälven	317	134	28	8 089	159	1,7	11 964
Väsman	Mälaren	39	56	-	-	155	-	1 149
Unden	Motala ström	95	86	31	2 920	117	42	309
Vättern	Motala ström	1 557	120	40	77 640	89	62	6 377
Sommen	Motala ström	132	53	17	2 211	146	6	1 904
Glan	Motala ström	75	23	10	730	22	0,3	15 361
Helgasjön	Mörrumsån	50	25	6	303	163	1,1	1 224
Ivösjön	Skråbleån	52	48	11	553	6	2,3	994
Vidöstern	Lagan	44	35	4	211	143	0,4	1 375
Åsunden	Ätran	18	40	13	270	164	0,8	645
Möckeln	Göta älv	19	26	12	215	89	0,3	4 345

Vattentemperaturen är beroende av sjöns areal-, volym- och djupförhållanden. Ett sätt att åskådliggöra dessa förhållanden är att rita upp så kallade hypsografer, som visar hur stor area sjön har på olika djup. Kartläggning av djupförhållanden och framtagandet av hypsografer har tidigare gjorts för alla sjöar utom Väsman (figur 4). Vidöstern har en stor volym i de ytliga lagren och en begränsad djuphåla. Möckeln däremot har relativt stor del av sin volym i djupare lager.



Figur 4. Hypsografer för de undersökta sjöarna. Kurvorna visar hur stor areal sjön har på olika djup. Vättern och Siljan har andra skalor på x-axeln än övriga sjöar.

Vattentemperaturen vintertid är mycket beroende av vattentemperaturförhållandena vid isläggningen och därmed vilken tid på vintern sjöarna isläggs. SMHI utför observationer av isläggnings- och islossningstidpunkt i cirka 300 sjöar i Sverige, däribland samtliga av de som ingår i denna studie. I tabell 3 visas normala isläggnings- och islossningsdatum under perioden 1960 till 1990. Södra delen av Vättern och Ivösjön är isbelagda cirka 7 vintrar av 10. De övriga sjöarna är isbelagda varje vinter.

Tabell 3. Normala isläggningsdatum från SMHIs statistik. Islossningsdatumen för Siljan avser området öster om Sollerön och för Vättern den södra delen.

Sjö	Islägningsdatum	Islossningsdatum
Tångvattnet	24 nov.	7 juni
Locknesjön	8 dec.	17 maj
Siljan	8 jan.	2 maj
Väsman	19 dec.	2 maj
Uden	15 jan.	15 apr.
Vättern	10 feb.	10 apr.
Sommen	8 jan.	14 apr.
Glan	29 dec.	14 apr.
Helgasjön	28 dec.	29 mars
Ivösjön	11 jan.	1 apr.
Vidöstern	20 dec.	7 apr.
Åsunden	29 dec.	13 apr.
Möckeln	8 dec.	24 apr.



## Resultat

### *Jämförelse mellan olika sjöar*

För att få en bild av sjöarnas temperatur uppritades temperaturvertikalerna från samtliga mätningar (figur 5). Då kan man dels jämföra temperaturerna mellan sjöarna, dels få en bild av spridningen mellan olika mättillfällen i samma sjö. För att lättare kunna göra jämförelser mellan temperaturer i olika sjöar beräknades medelvärde och standardavvikelser på olika djup i samtliga sjöar (tabell 4 och 5).

#### Tängvattnet

Sjön har ofta en relativt hög temperatur under vintern på grund av att sjön isläggs tidigt innan vattnet har hunnit avkylas så kraftigt. Spridningen i temperatur mellan olika vintrar är mycket stor. Under sommaren är vattentemperaturen låg på grund av läget i landet med sen islossning och relativt låg lufttemperatur under försommaren.

#### Locknesjön

Locknesjön är den sjö som har varmast vatten vintertid på grund av att sjön isläggs tidigt. Detta förstärks också genom att sjön har en liten genomströmning och en stor del av det varma vattnet stannar kvar i sjön under vintern. Under sommaren är yttemperaturen låg, men sjön är relativt varm på större djup. Sjön har ett djupt språngskikt och spridningen mellan yttemperaturen olika år är liten.

#### Siljan

Sjön har under vintern en låg temperatur på grund av att sjön är stor och därför utsatt för vindpåverkan och har sen isläggning. Vissa vintrar förekommer ett ytligt språngskikt i sjön, vilket kan vara en följd av att genomströmningen är stor vintertid på grund av vattenregleringar uppströms Siljan. Spridningen hos temperaturen i sjön är relativt stor mellan olika somrar och temperaturvertikalernas utseende varierar mycket. Även detta är en följd av att sjön är utsatt för stor vindpåverkan.

#### Väsman

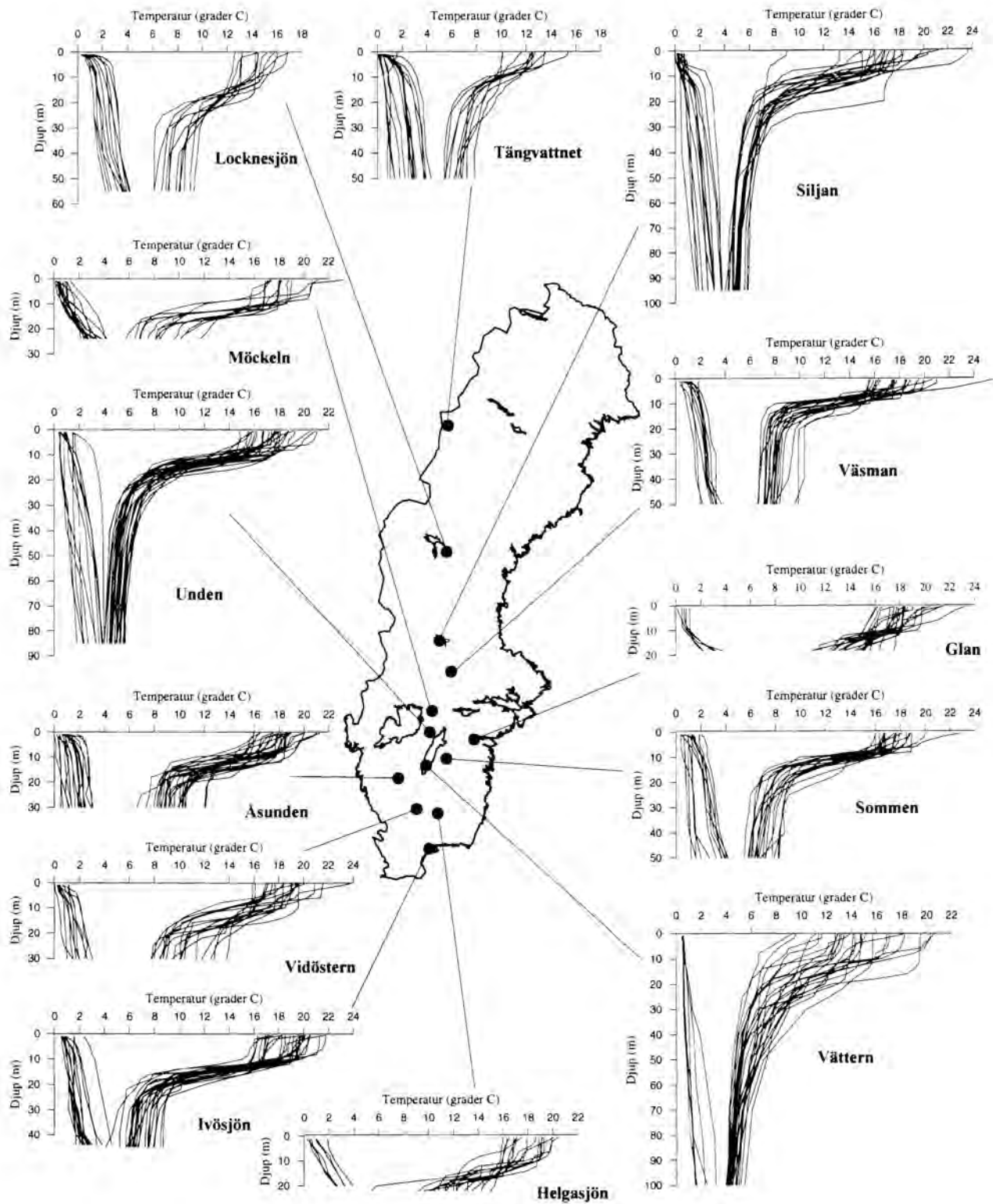
Sjön är relativt varm på vintern på grund av tidig isläggning. Under sommaren är temperaturen vid ytan relativt låg. Väsman har ett förhållandevis ytligt och tydligt språngskikt som ligger på cirka 10 till 15 meters djup. Språngskiktet återkommer ungefär på samma djup varje sommar.

#### Unden

Unden har liten spridning i temperaturen mellan olika somrar. Temperaturvertikalerna följer varandra väl och ett tydligt språngskikt uppkommer på nästan samma djup varje sommar. En orsak till detta kan vara att sjön har en liten genomströmning. Den är antagligen också vindskyddad, trots att den är relativt stor.

#### Vättern

Temperaturen i hela sjön är låg både sommar- och vintertid. Att vintertemperaturen är låg beror på att sjön isläggs sent eller inte alls och kyls därför ner. Detta förstärks på grund av att Vättern är utsatt för stor vindpåverkan som gör att det avkylda vattnet blandas ner i sjön. Att vattnet är kallt sommartid beror på att sjöns medeldjup är stort (40 m) och att det därmed tar



Figur 5. Samtliga uppmätta temperaturvertikaler i de studerade sjöarna

lång tid att värma sjön. Utseendet på Vätterns temperaturvertikaler varierar starkt mellan olika somrar och temperaturen har stor spridning. Detta är en följd av att sjön är mycket utsatt för vindens påverkan och vattnet blandas om olika mycket olika somrar. Under sommaren förekommer det så kallade seicher i sjön, det vill säga stora svängningar som för med sig kallt djupvatten upp till ytan och påverkar temperaturvertikalens utseende.

### Sommen

På sommaren har Sommen ett ytligt och tydligt språngskikt som återkommer på ungefär samma djup varje sommar. Det kan bero på att genomströmningen genom sjön är liten och att sjön är mycket flikig så man kan anta att vinden inte har så stor påverkan på sjön.

### Glan

I Glan uppkommer ett språngskikt vintertid. En orsak är att Glan har varmt bottenvatten sommartid och att mycket värme lagras i sedimenten och sedan avges till bottenvattnet vintertid. En annan förklaring är att genomströmningen genom sjön är stor och det kalla genomströmmande vattnet strömmar över det varmare sjövattnet. Vattentemperaturen i Glan vintertid ändras kraftigt med djupet, det vill säga temperaturgradienten är stor. Liksom andra sjöar har Glan ett nollgradigt ytvatten och varmt bottenvatten som värms upp av lagrad värme i sedimenten. Eftersom sjön är grund blir temperaturändringen per meter stor. Sommartid bildas det sällan något tydligt språngskikt i sjön och temperaturskillnaden mellan ytvattnet och bottenvattnet är oftast mindre än fem grader. Skälen till detta kan vara dels att sjön är relativt stor och grund och hela vattenmassan därför är utsatt för vindpåverkan, dels att det är en genomströmningssjö. Troligen är det påverkan från vinden som är den viktigaste orsaken. Glan är den sjö som har varmest bottenvatten sommartid (tabell 4).

### Helgasjön

I likhet med Glan har Helgasjön en stor temperaturgradient vintertid. Eftersom sjön är grund värms sjön sommartid i hela vertikalen och något tydligt språngskikt uppkommer sällan. Spridningen av ytemperaturen mellan olika somrar är liten.

### Ivösjön

Ivösjön har den högsta sommartemperaturen i ytvattnet av de undersökta sjöarna. Temperaturvertikalerna är relativt lika mellan olika somrar och det finns ett tydligt språngskikt som återkommer på ungefär samma djup varje sommar.

### Vidöstern

Vidöstern har kallt djupvatten vintertid. Temperaturen ligger alltid under 3°C. Ytvattnet är sommartid varmare än i andra sjöar.

### Åsunden

Även i Åsunden är djupvattentemperaturen låg vintertid. Temperaturen ligger alltid under 3°C och som lägst har uppmätts 0,5°C i bottenvattnet. Spridningen mellan ytemperaturer olika somrar är inte så stor, vilket kan vara en följd av att sjön har en liten area och inte är så vindutsatt.

### Möckeln

Under vintern har Möckeln en stor temperaturgradient, liksom de andra grunda sjöarna Glan och Helgasjön. Under sommaren uppkommer ett tydligare språngskikt i Möckeln än i de båda andra sjöarna, vilket kan vara en följd av att Möckeln är liten och därmed inte lika vindutsatt.

Tabell 4. Medeltemperaturer och standardavvikelse för sommarmätningarna på olika djup.

<b>Sommar</b>	<i>Ytemp (°C)</i>		<i>Temp. 10 m (°C)</i>		<i>Temp. 20 m</i>		<i>Temp. 30 m (°C)</i>		<i>Bottentemp (°C)</i>	
	<i>Medel</i>	<i>Std</i>	<i>Medel</i>	<i>Std</i>	<i>Medel</i>	<i>Std</i>	<i>Medel</i>	<i>Std</i>	<i>Medel</i>	<i>Std</i>
Tängvattnet	12,4	1,6	10,0	0,8	7,8	1,0	7,0	0,9	6,3	0,8
Locknesjön	14,8	1,4	13,9	0,9	10,8	1,2	8,4	1,1	7,6	1,1
Siljan	17,1	3,1	13,3	2,7	8,4	2,3	6,6	0,7	4,9	0,5
Väsman	18,1	2,4	12,1	2,2	8,3	0,9	8,0	0,9	7,7	0,8
Unden	17,6	1,7	15,2	1,7	7,6	0,9	6,0	0,6	4,7	0,5
Vättern	14,6	3,1	12,9	3,2	9,3	2,2	7,3	1,3	4,4	0,4
Sommen	17,9	1,6	13,8	1,8	8,4	1,2	7,4	0,9	6,7	0,8
Glan	18,7	1,8	17,0	1,1	13,8	1,7	-	-	13,8	1,7
Helgasjön	18,2	1,4	17,1	1,4	12,0	2,2	-	-	12,0	2,2
Ivösjön	19,2	1,6	17,8	1,4	8,7	1,2	7,1	1,0	6,7	1,1
Vidöstern	18,8	2,0	16,1	1,9	11,1	1,9	9,9	1,8	9,9	1,8
Åsunden	18,3	1,4	15,7	1,8	9,9	1,2	9,3	1,3	9,3	1,3
Möckeln	18,8	1,8	16,5	2,3	8,8	1,9	-	-	8,3	1,7

Tabell 5. Medeltemperaturer och standardavvikelse för vintermätningarna på olika djup.

<b>Vinter</b>	<i>Ytemp (°C)</i>		<i>Temp. 10 m (°C)</i>		<i>Temp. 20 m (°C)</i>		<i>Temp. 30 m (°C)</i>		<i>Bottentemp. (°C)</i>	
	<i>Medel</i>	<i>Std</i>	<i>Medel</i>	<i>Std</i>	<i>Medel</i>	<i>Std</i>	<i>Medel</i>	<i>Std</i>	<i>Medel</i>	<i>Std</i>
Tängvattnet	0,30	0,14	1,70	0,93	2,04	1,03	2,34	1,03	2,73	0,99
Locknesjön	0,68	0,36	1,88	0,63	2,16	0,70	2,35	0,71	3,40	0,67
Siljan	0,34	0,25	1,08	0,61	1,57	0,73	1,75	0,76	2,83	0,73
Väsman	0,90	0,48	1,71	0,47	2,10	0,45	2,38	0,50	3,00	0,52
Unden	0,84	0,41	1,31	0,76	1,60	0,87	1,93	0,90	3,10	0,76
Vättern	0,51*	0,04*	0,63*	0,07*	0,78*	0,20*	0,90*	0,31*	2,11*	0,64*
Sommen	1,05	0,54	1,62	0,64	1,97	0,76	2,15	0,84	2,98	1,11
Glan	0,66*	0,36*	0,98*	0,17*	2,85*	0,67*	-	-	2,85*	0,67*
Helgasjön	0,85*	0,60*	1,82*	0,52*	3,04*	0,55*	-	-	3,04*	0,55*
Ivösjön	0,98	0,50	1,46	0,64	1,71	0,70	2,01	0,75	2,68	0,81
Vidöstern	0,51	0,38	1,33	0,55	1,65	0,64	2,03	0,63	2,03	0,63
Åsunden	0,84	0,50	1,61	0,78	1,80	0,81	2,00	0,82	2,00	0,82
Möckeln	0,51	0,39	1,24	0,62	2,48	0,62	-	-	3,09	0,68

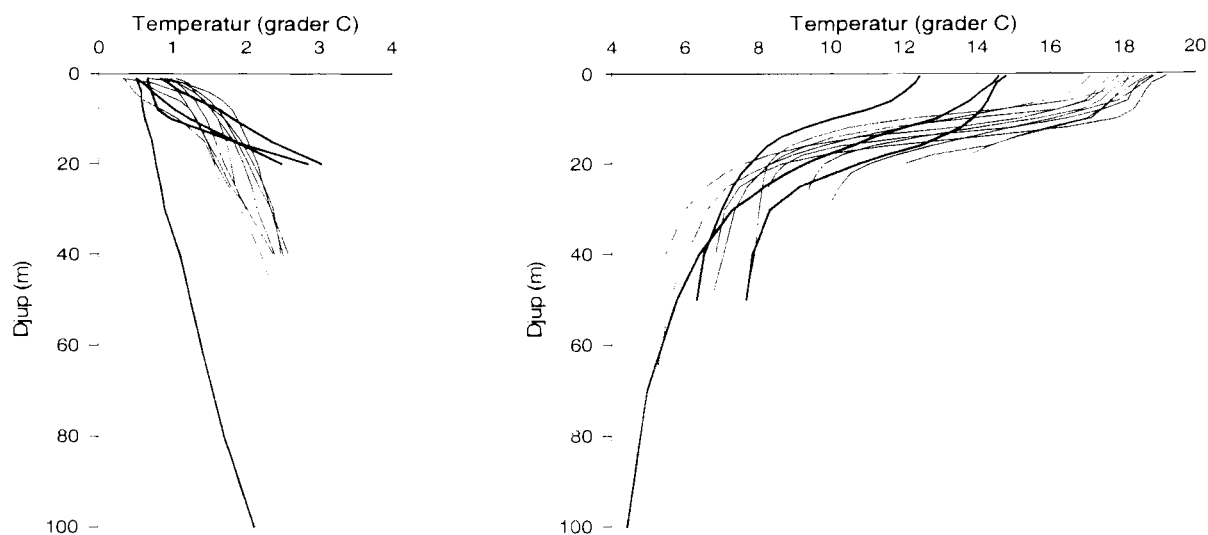
Vintertid ligger temperaturen hos djupvattnet i samtliga sjöar oftast mellan 1°C och 3°C. Bara i några fall går temperaturen upp till 4°C.

Spridningen mellan temperaturer uppmätta olika vintrar är liten i de ytliga delar av sjöarna (tabell 5) på grund av att isen gör att temperaturen i ytliga lager håller sig nära 0°C varje vinter. Under vintern är spridningen mellan olika mätningar istället störst vid botten. Spridningen mellan temperaturer uppmätta olika somrar är större i ytliga lager än djupare (tabell 4). I djupvattnet är spridningen mellan olika vintrar nästan lika stor som spridningen mellan olika somrar.

I figur 6 har samtliga sjöars medeltemperaturvertikaler uppritats för sommar och vinter. För vintertemperaturerna finns det fyra sjöar som avviker från de övriga, dels de grunda Glan, Helgasjön och Möckeln, som har en kraftig temperaturgradient, dels Vättern, som är betydligt kallare än alla de övriga. Glan, Helgasjön och Möckeln har dock ungefär samma temperatur vid botten jämfört med de djupare sjöarnas bottentemperatur. För sommartemperaturen finns det tre sjöar som avviker från de övriga, Tängvattnet, Locknesjön och Vättern, som alla är betydligt kallare i ytliga lager. Locknesjön och Tängvattnet ligger långt norrut och har sen

\* Osäkra värden. Statistiken bygger enbart på 5 eller 6 mätningar.

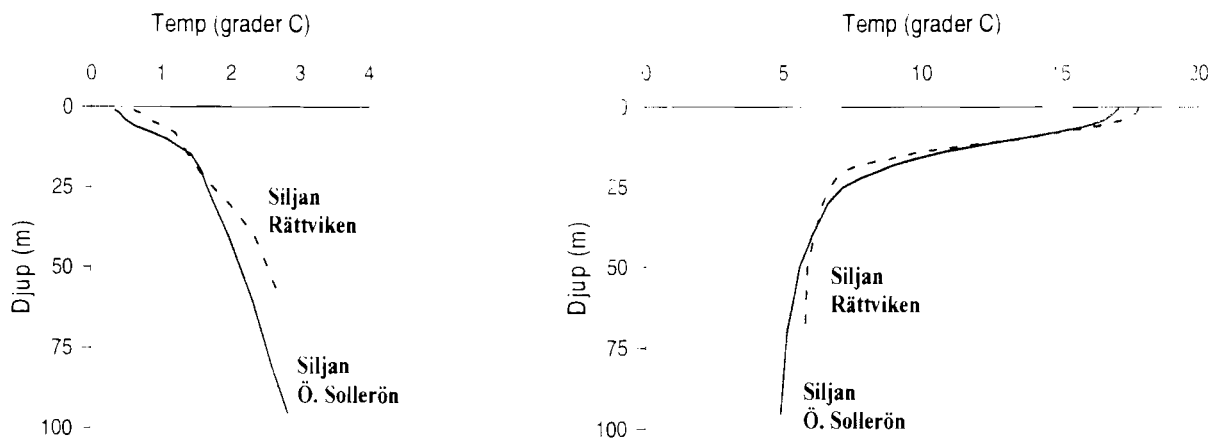
islossning och har inte värmts upp lika mycket som andra sjöar under försommaren. Vättern är en stor och vindutsatt sjö och är därför kall. Det finns en tendens att grunda sjöar är varmare vid botten än djupare sjöar är vid samma djup. Även när sjön är stabilt skiktad förekommer ett visst värmeutbyte mellan sjöns ytliga och djupare delar och vattnet i hela vertikalen värms upp under sommaren. I djupa sjöar transporteras en del av värmen ner till botten och vattnet under språngskiktet värms inte upp lika mycket som i en grundare sjö.



Figur 6. Medeltemperaturvertikaler för alla sjöarna vinter respektive sommar. De tjocka linjerna markerar de temperaturvertikaler som avviker mest från de övriga.

### Jämförelse mellan olika mätpunkter i samma sjö

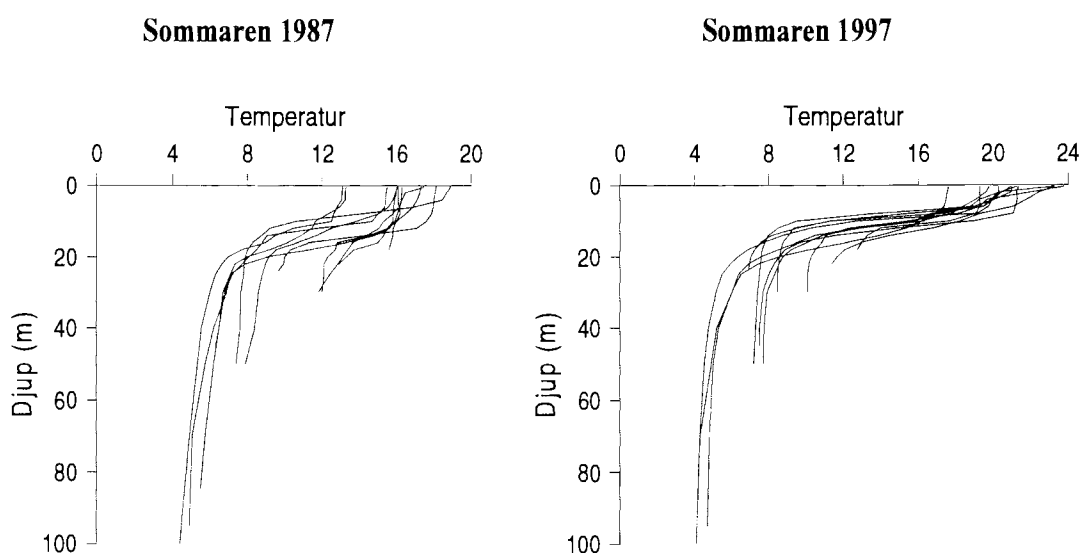
I Siljan har mätningar utförts i två vertikaler, dels i Rättviken, dels i sjöns djupaste punkt belägen i sjöns centrala delar, öster om Sollerön. I figur 7 visas medeltemperaturvertikalerna för de båda mätpunkterna. Under vintern är temperaturen i Rättviken högre, vilket antas bero på att isen i viken lägger sig tidigare än i de centrala delarna av sjön. Därmed kyls inte vattnet ner lika kraftigt. Sommartid är yttemperaturen högre och språngskiktet tydligare i Rättviken, vilket antas bero på att varmt ytvatten transporteras in i viken och kallare djupvatten transporteras ut. En annan orsak kan vara att genomströmningen är relativt stor genom mätpunkten vid Sollerön.



Figur 7. Medeltemperaturvertikal sommar och vinter för de båda mätpunkterna i Siljan.

### **Jämförelse mellan olika år**

För jämförelse av vattentemperaturen mellan olika somrar valdes en kall sommar, 1987, och en varm sommar, 1997 (figur 8). Temperaturen i sjöarnas ytlager var betydligt högre 1997. Längre ner, redan på 10 till 20 m djup, är dock vattentemperaturen högre den kalla sommaren 1987 än den varma sommaren 1997. Det beror på att sommaren 1987 var blåsig och det uppvärmda vattnet i ytan blandades effektivt med kallare bottenvattnet. Det märks också tydligt att spridningen mellan temperaturen i olika sjöar är större 1987 på grund av att det blåste mycket och sjöar påverkas olika mycket av vinden. Temperaturvertikalerna 1997 följer varandra väl och till och med i sjöar som Glan och Vättern uppkom tydliga språngskikt.



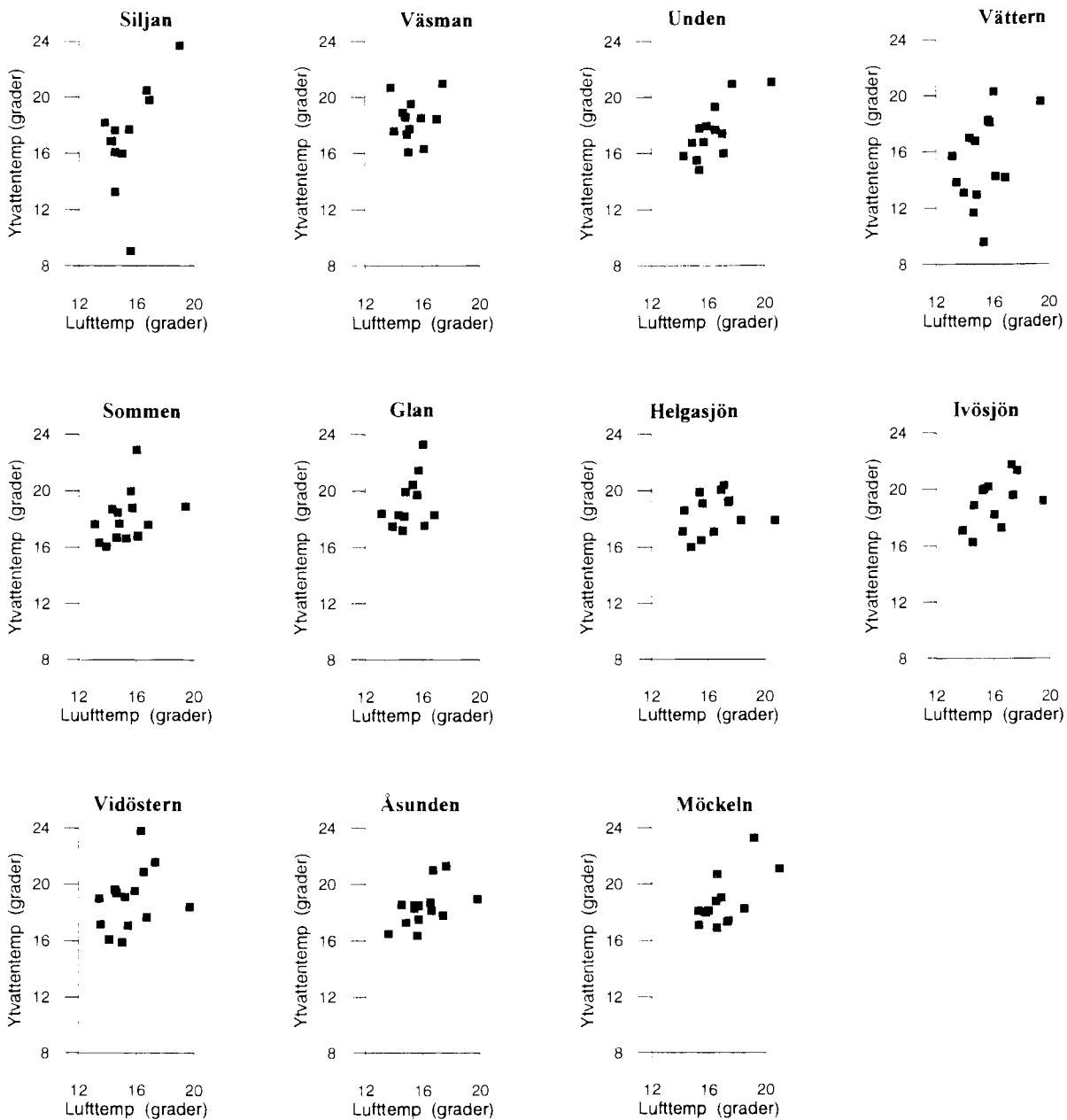
Figur 8. Jämförelse mellan vattentemperaturerna en kall sommar, 1987, och en varm sommar, 1997.

### **Jämförelse mellan lufttemperatur och vattentemperatur**

För jämförelser mellan sommarvattentemperatur och lufttemperatur har lufttemperaturvärden använts från en meteorologisk station i närheten av varje sjö. Lufttemperaturen har angetts som ett medelvärde under juli månad respektive år. Eftersom vattentemperaturen i regel mäts i slutet av juli eller i början av augusti, så bör medellufttemperaturen för juli vara ett bra mått på lufttemperaturen veckorna före mätningen.

I sjöarna Uden, Ivösjön, Möckeln och Åsunden finns ett svagt samband mellan ytvattentemperatur och lufttemperatur (figur 9). I övriga sjöar märks inget samband. Koucheiki (1995) analyserade korrelationen mellan lufttemperatur och vattentemperatur i rinnande vatten och fann ett tydligt samband mellan lufttemperatur och älvtemperatur. Att korrelationen mellan lufttemperatur och vattentemperatur i sjöar är så svag beror på att vattentemperaturen beror på en rad andra faktorer som vindförhållanden och sjöns djupförhållanden.

I den fortsatta undersökningen av vattentemperaturer i sjöar kommer en modell användas för beräkning av vattentemperaturer. I den studien återkommer jag till att analysera vilka faktorer vattentemperaturen beror på.



Figur 9. Sambandet mellan ytvattentemperaturen i de olika sjöarna sommartid och medellufttemperaturen under juli vid närliggande meteorologisk station.

### **Energiinnehållet i sjöarna**

Energiinnehållet har beräknats för de tolv sjöar för vilka noggranna djupkarteringar gjorts (tabell 6,7 och 8). Medelvärden för energiinnehållet har beräknats för sommarmätningarna och vintermätningarna samt för skillnaden mellan dessa. Beräkningarna har gjorts i tre olika enheter, i Joule, i Joule/m<sup>2</sup> och i Joule/m<sup>3</sup>. Det totala energiinnehållet är störst i Vättern, som är en djup sjö med stor vattenvolym att lagra värme i. Det minsta energiinnehållet både sommar och vinter har Tängvattnet, Vidöstern, Möckeln och Åsunden, som också är de sjöar som har minst volym. Energiinnehållet per kubikmeter är sommartid störst i Glan, som är en grund sjö utan mycket kallt bottenvatten. Den sjö som sommartid har minst energiinnehåll per kubikmeter är Tängvattnet, som sommartid har mycket kallare vatten än övriga sjöar.

Vintertid har Locknesjön stort energiinnehåll per kubikmeter, eftersom sjön har tidig isläggning och hög vattentemperatur. Den sjö som har störst skillnad i energiinnehåll per kubikmeter mellan sommar och vinter är Glan, på grund av att hela sjön värms upp kraftigt under sommaren och kyls ner kraftigt under vintern. Om man enbart tar hänsyn till energiinnehållet skulle Locknesjön vara den lämpligaste sjön för utvinning av energi med hjälp av värmepumpar eftersom den vintertid har högst energiinnehåll per kubikmeter.

Tabell 6. Energiinnehållet i sjöar, medelvärde sommar (energimax under året).

Sjö	Energiinnehåll • $10^{15}$ J	Energiinnehåll • $10^8$ J/m <sup>2</sup>	Energiinnehåll • $10^6$ J/m <sup>3</sup>
Tängvattnet	13,7	9,3	37,2
Locknesjön	25,3	9,4	50,5
Siljan	374	12,0	41,0
Unden	126	13,2	43,0
Vättern	2190	13,9	39,6
Sommen	121	7,7	54,9
Glan	55,3	7,4	75,7
Helgasjön	20	4,1	67,9
Ivösjön	35,1	6,5	63,5
Vidöstern	14,3	3,3	68,0
Åsunden	14,5	8,0	53,6
Möckeln	14,3	7,9	66,4

Tabell 7. Energiinnehållet i sjöar, medelvärde vinter (energimin under året).

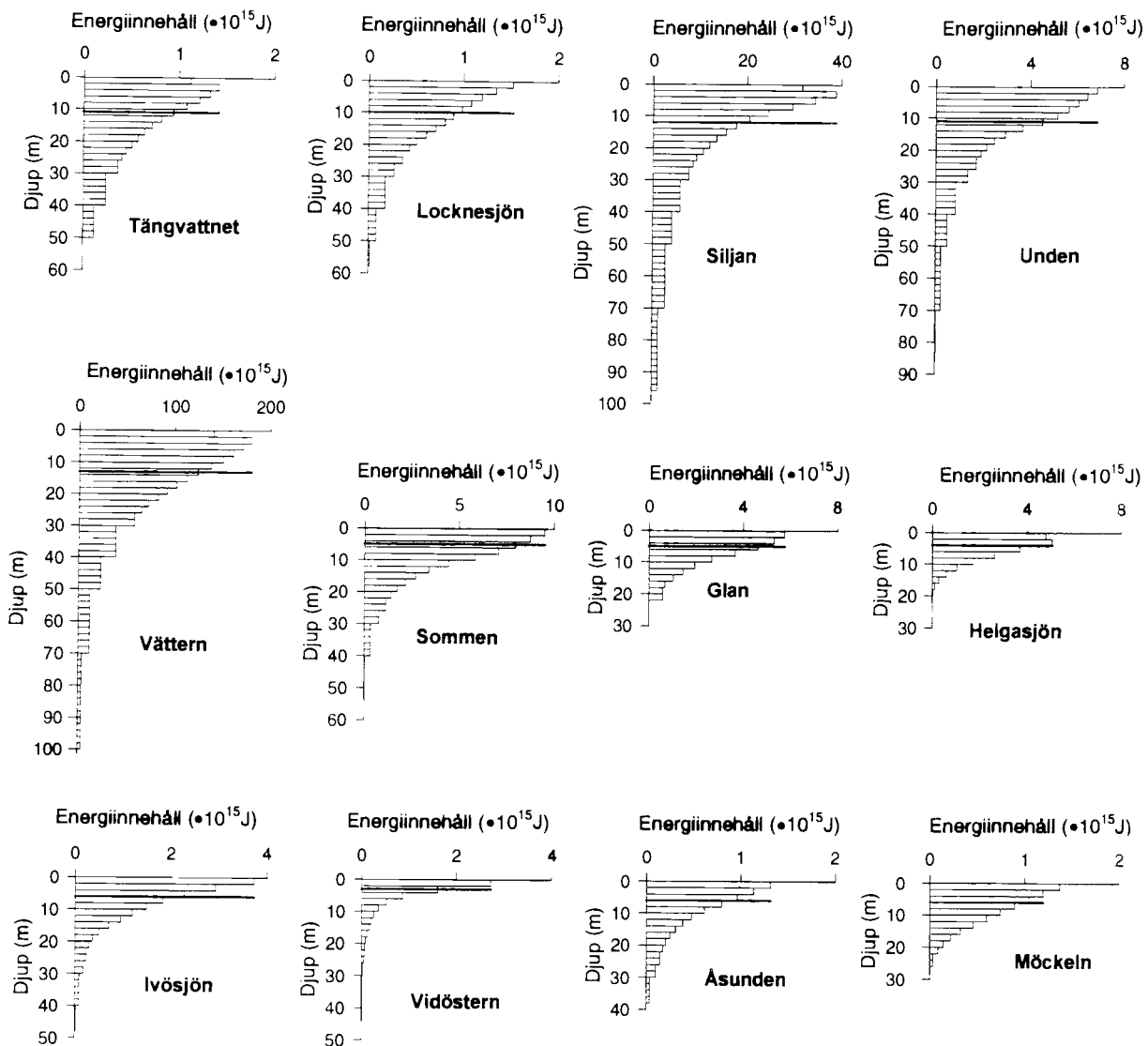
Sjö	Energiinnehåll • $10^{15}$ J	Energiinnehåll • $10^8$ J/m <sup>2</sup>	Energiinnehåll • $10^6$ J/m <sup>3</sup>
Tängvattnet	2,7	1,8	7,3
Locknesjön	4,0	1,5	8,0
Siljan	57,3	1,8	6,3
Unden	20,1	2,1	6,9
Vättern	197	1,2	3,6
Sommen	14,9	0,9	6,7
Glan	3,0	0,4	4,2
Helgasjön	1,38	0,3	4,7
Ivösjön	3,2	0,6	5,7
Vidöstern	0,7	0,2	3,4
Åsunden	1,4	0,8	5,3
Möckeln	1,0	0,6	4,8

Tabell 8. Skillnad i energiinnehåll mellan medelvärde för sommar (energimax) och vinter (energimin).

Detta mått kallas för sjöns värmeomsättning.

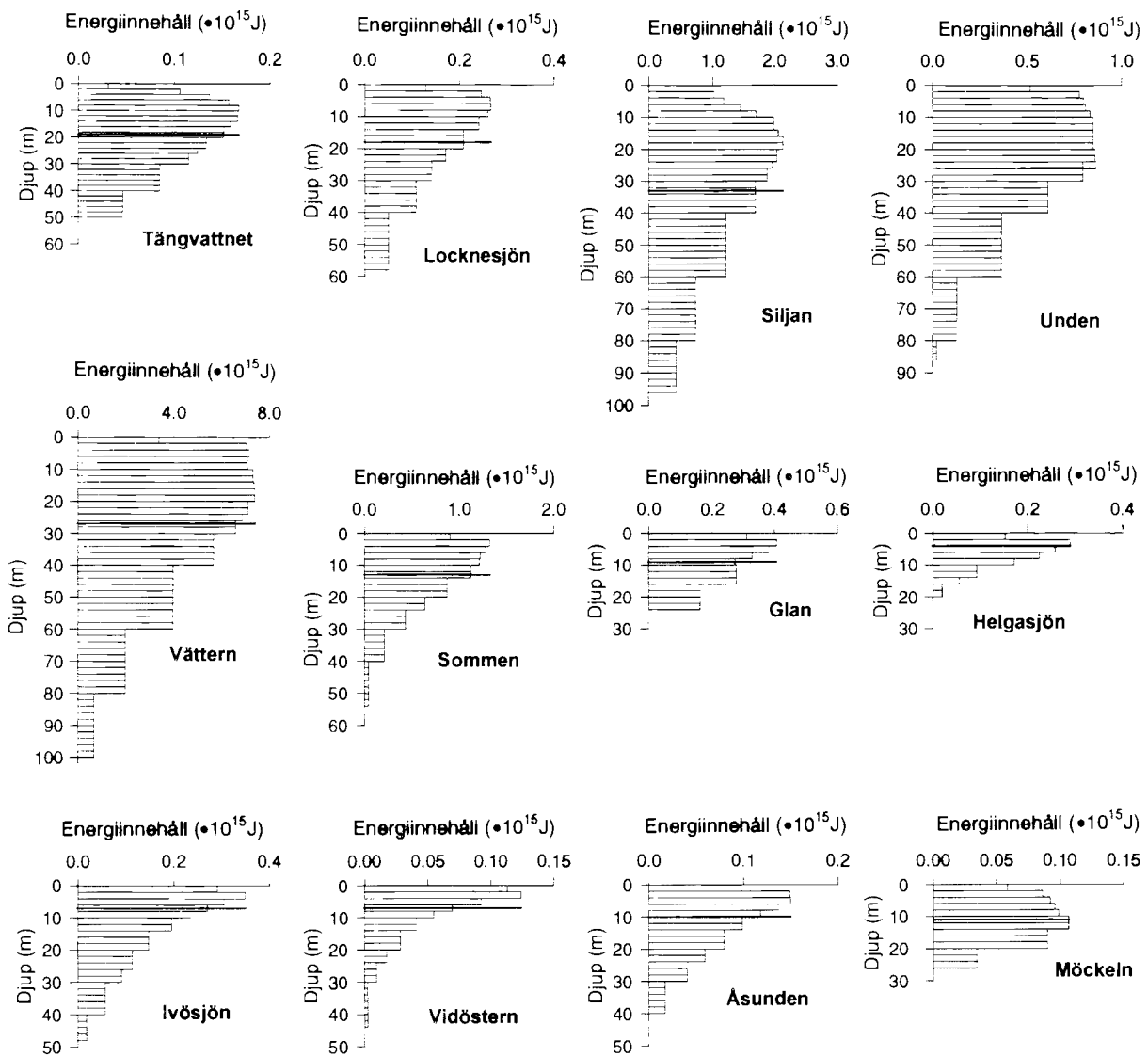
Sjö	Energiinnehåll • $10^{15}$ J	Energiinnehåll • $10^8$ J/m <sup>2</sup>	Energiinnehåll • $10^6$ J/m <sup>3</sup>
Tängvattnet	11,0	7,5	29,9
Locknesjön	21,3	7,8	42,5
Siljan	317	10,2	34,7
Unden	105	11,1	36,1
Vättern	1993	12,7	36,0
Sommen	106	6,8	48,2
Glan	52,2	7,0	71,5
Helgasjön	18,6	3,8	63,2
Ivösjön	32	5,9	57,8
Vidöstern	13,6	3,1	64,6
Åsunden	13,1	7,3	48,3
Möckeln	13,2	7,4	61,6





Figur 10. Sjöarnas energiinnehåll i olika lager sommartid. De grövre strecken visar det djup under vilket hälften av sjöns energi finns. Observera att diagrammen har olika skala på x-axeln.

Energiinnehållet har även beräknats i olika skikt i sjöarna (figur 10 och 11). Det märks tydligt att sjöarna sommartid har en stor del av den lagrade energin i de ytligaste lagren. Mest extrem är Vidöstern som har hälften av sitt energiinnehåll i de översta tre metrarna. Även under vintern finns den mesta energin i sjöarna lagrade i den övre delen, trots att vattnet i botten är varmare. Det beror på att sjöarna har stor area i de ytliga lagren.



Figur 11. Sjöarnas energiinnehåll i olika lager vintertid. De grövre strecken visar det djup under vilket hälften av sjöns energi finns. Observera att diagrammen har olika skala på x-axeln.

## Diskussion

### *Framtidens stationsnät för vattentemperatur i sjöar*

Det är svårt att förutse vilka mätningar av vattentemperaturen som kommer att behövas i framtiden. Jag anser att det för denna studie varit tillräckligt med de 10 till 20 års mätningar som finns. Det hade varit av större vikt att ha mätningar från flera sjöar än mätningar från fler säsonger i dessa sjöar. För många andra studier kan det dock vara av intresse att ha långa tidsserier, till exempel för att jämföra temperaturen för den aktuella säsongen med normalvärden eller för att undersöka trender hos vattentemperaturen.

Om någon förändring av stationsnätet ska ske är ett alternativ att samordna mätningarna av vattentemperatur och istjocklek till samma sjöar. Det nuvarande stationsnätet för istjockleksmätningar i sjöar omfattar 31 sjöar där mätningar sker varannan vecka eller var 14:e dag under vintern. I det nuvarande stationsnätet för vattentemperatur i sjöar finns fyra av de sjöar som också ingår i stationsnätet för istjocklek, Vättern, Åsunden, Vidöstern och Siljan.

För de sjöar som ska ingå i ett framtida stationsnät bör noggranna djupkarteringar finnas. I dagens stationsnät finns en sjö, Väsman, där noggranna djupmätningar ej utförts för hela sjön.

## Referenser

- Bengtsson, Lars, (1978). Modelling of dynamic phenomena in lakes. Div. Water Resources Engineering, Univ. of Luleå. Series A no. 10.
- Bergsten, Folke, (1926). The seiches of Lake Vettern. Geografiska Annaler nr 8.
- Broman, Barry, (1982). Kartläggning av energiinnehåll i svenska sjöar vintertid. SMHI
- Broman, Barry och Zachrisson, Gun, (1984). Värmeuttag ur Helgasjön. Möjligheter och konsekvenser. SMHI HO-rapport nr12.
- Falkenmark, Malin, (1972). Dynamic Studies in Lake Velen. International Hydrological Decade Sweden, Report 31.
- Johnsson, O. H., (1946). Termisk-Hydrologiska studier i sjön Klämningen. Geografiska Annaler 28-29.
- Koucheiki, Behzad (1995). Älvtemperaturers variationer i Sverige under en 10-årsperiod. SMHI Hydrologi Nr 61.
- Lindahl, Sture, Svensson, Johnny och Moberg, Mats, (1987). Ökad sjövärme på vintern. Byggeforskningsrådet Rapport R8:1987.
- Lindh, Gunnar och Falkenmark, Malin, (1972). Hydrologi. En inledning till vattenresursläran. Studentlitteratur.
- Moberg, Arne, (1981). Mätningar av sjötemperatur vid SMHI. HB-rapport nr 45.
- Sahlberg, Jörgen, (1987). A hydrodynamic model for heat contents calculation on lakes and sediments. Byggeforskningsrådet Rapport D19:1987.

SMHI ger ut sex rapportserier. Tre av dessa, R-serierna är avsedda för internationell publik och skrivs därför oftast på engelska. I de övriga serierna används det svenska språket.

<b>Seriernas namn</b>	<b>Publiceras sedan</b>
RMK (Rapport Meteorologi och Klimatologi)	1974
RH (Rapport Hydrologi)	1990
RO (Rapport Oceanografi)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985

I serien HYDROLOGI har tidigare utgivits:

- |   |   |
|---|---|
| 1 Bengt Carlsson (1985)<br>Hydrokemiska data från de svenska fältforskningsområdena.  | 9 Lennart Funkquist (1987)<br>Numerisk beräkning av vågor i kraftverksdammar.   |
| 2 Martin Häggström och Magnus Persson (1986)<br>Utvärdering av 1985 års vårflödesprognoser.   | 10 Barbro Johansson, Magnus Persson, Enrique Aranibar and Robert Llobet (1987)<br>Application of the HBV model to Bolivian basins.          |
| 3 Sten Bergström, Ulf Ehlin, SMHI, och Per-Eric Ohlsson, VASO (1986)<br>Riktlinjer och praxis vid dimensionering av utskov och dammar i USA. Rapport från en studieresa i oktober 1985. | 11 Cecilia Ambjörn, Enrique Aranibar and Roberto Llobet (1987)<br>Monthly streamflow simulation in Bolivian basins with a stochastic model. |
| 4 Barbro Johansson, Erland Bergstrand och Torbjörn Jutman (1986)<br>Skåneprojektet - Hydrologisk och oceanografisk information för vattenplanering - Ett pilotprojekt.                  | 12 Kurt Ehlert, Torbjörn Lindkvist och Todor Milanov (1987)<br>De svenska huvudvattendragens namn och mynningspunkter.                      |
| 5 Martin Häggström (1986)<br>Översiktlig sammanställning av den geografiska fördelningen av skador främst på dammar i samband med septemberflödet 1985.                                 | 13 Göran Lindström (1987)<br>Analys av avrinningsserier för uppskattning av effektivt regn.   |
| 6 Barbro Johansson (1986)<br>Vattenföringsberäkningar i Södermanlands län - ett försöksprojekt.   | 14 Maja Brandt, Sten Bergström, Marie Gardelin och Göran Lindström (1987)<br>Modellberäkning av extrem effektiv nederbörd.                  |
| 7 Maja Brandt (1986)<br>Areella snöstudier.   | 15 Håkan Danielsson och Torbjörn Lindkvist (1987)<br>Sjökarte- och sjöuppgifter. Register 1987.   |
| 8 Bengt Carlsson, Sten Bergström, Maja Brandt och Göran Lindström (1987)<br>PULS-modellen: Struktur och tillämpningar.  | 16 Martin Häggström och Magnus Persson (1987)<br>Utvärdering av 1986 års vårflödesprognoser.  |

- 17 Bertil Eriksson, Barbro Johansson, Katarina Losjö och Haldo Vedin (1987)  
Skogsskador - klimat.
- 18 Maja Brandt (1987)  
Bestämning av optimalt klimatstationsnät för hydrologiska prognoser.
- 19 Martin Häggström och Magnus Persson (1988)  
Utvärdering av 1987 års vårflödesprognoser.
- 20 Todor Milanov (1988)  
Frysförluster av vatten.
- 21 Martin Häggström, Göran Lindström, Luz Amelia Sandoval and Maria Elvira Vega (1988)  
Application of the HBV model to the upper Río Cauca basin.
- 22 Mats Moberg och Maja Brandt (1988)  
Snökartläggning med satellitdata i Kultsjöns avrinningsområde.
- 23 Martin Gotthardsson och Sten Lindell (1989)  
Hydrologiskt stationsnät. Svenskt Vattenarkiv.
- 24 Martin Häggström, Göran Lindström, Luz Amelia Sandoval y Maria Elvira Vega (1989)  
Aplicacion del modelo HBV a la cuenca superior del Río Cauca.
- 25 Gun Zachrisson (1989)  
Svåra islossningar i Torneälven. Förslag till skadeförebyggande åtgärder.
- 26 Martin Häggström (1989)  
Anpassning av HBV-modellen till Torneälven.
- 27 Martin Häggström and Göran Lindström (1990)  
Application of the HBV model to six Centralamerican rivers.
- 28 Sten Bergström (1990)  
Parametervärden för HBV-modellen i Sverige. Erfarenheter från modellkalibreringar under perioden 1975 - 1989.
- 29 Urban Svensson och Ingemar Holmström (1990)  
Spridningsstudier i Glan.
- 30 Torbjörn Jutman (1991)  
Analys av avrinningens trender i Sverige.
- 31 Mercedes Rodriguez, Barbro Johansson, Göran Lindström, Eduardo Planos y Alfredo Remont (1991)  
Aplicacion del modelo HBV a la cuenca del Río Cauto en Cuba.
- 32 Erik Arnér (1991)  
Simulering av vårflöden med HBV-modellen.
- 33 Maja Brandt (1991)  
Snömätning med georadar och snötaxeringar i övre Luleälven.
- 34 Bent Göransson, Maja Brandt och Hans Bertil Wittgren (1991)  
Markläckage och vattendragstransport av kväve och fosfor i Roxen/Glan-systemet, Östergötland.
- 35 Ulf Ehlin och Per-Eric Ohlsson, VASO (1991)  
Utbyggd hydrologisk prognos- och varningstjänst.  
Rapport från studieresa i USA  
1991-04-22--30.
- 36 Martin Gotthardsson, Pia Rystam och Sven-Erik Westman (1992)  
Hydrologiska stationsnät/Hydrological network. Svenskt Vattenarkiv.
- 37 Maja Brandt (1992)  
Skogens inverkan på vattenbalansen.
- 38 Joakim Harlin, Göran Lindström, Mikael Sundby (SMHI) och Claes-Olof Brandesten (Vattenfall Hydropower AB) (1992)  
Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer för dimensionering av hel älv.
- 39 Sten Lindell (1993)  
Realtidsbestämning av arealnederbörd.
- 40 Svenskt Vattenarkiv (1995)  
Vattenföring i Sverige. Del 1. Vattendrag till Bottenviken.
- 41 Svenskt Vattenarkiv (1995)  
Vattenföring i Sverige. Del 2. Vattendrag till Bottenhavet.
- 42 Svenskt Vattenarkiv (1993)  
Vattenföring i Sverige. Del 3. Vattendrag till Egentliga Östersjön.

- 43 Svenskt Vattenarkiv (1994)  
Vattenföring i Sverige. Del 4. Vattendrag till Västerhavet.
- 44 Martin Häggström och Jörgen Sahlberg (1993)  
Analys av snösmältningsförlopp.
- 45 Magnus Persson (1993)  
Utnyttjande av temperaturens persistens vid beräkning av volymsprognoser med HBV-modellen.
- 46 Göran Lindström, Joakim Harlin och Judith Olofsson (1993)  
Uppföljning av Flödeskommitténs riktlinjer.
- 47 Bengt Carlsson (1993)  
Alkalinitets- och pH-förändringar i Ume-älven orsakade av minimitappning.
- 48 Håkan Sanner, Joakim Harlin och Magnus Persson (1994)  
Application of the HBV model to the Upper Indus River for inflow forecasting to the Tarbela dam.
- 49 Maja Brandt, Torbjörn Jutman och Hans Alexandersson (1994)  
Sveriges vattenbalans. Årsmedelvärden 1961 - 1990 av nederbörd, avdunstning och avrinning.
- 50 Svenskt Vattenarkiv (1994)  
Avrinningsområden i Sverige. Del 3. Vattendrag till Egentliga Östersjön och Öresund.
- 51 Martin Gotthardsson (1994)  
Svenskt Vattenarkiv. Översvämningskänsliga områden i Sverige.
- 52 Åsa Evremar (1994)  
Avdunstningens höjdberoende i svenska fjällområden bestämd ur vattenbalans och med modellering.
- 53 Magnus Edström och Pia Rystam (1994)  
FFO - Stationsnät för fältforskningsområden 1994.
- 54 Zhang Xingnan (1994)  
A comparative study of the HBV model and development of an automatic calibration scheme.
- 55 Svenskt Vattenarkiv (1994)  
Svenskt dammregister - Södra Sverige.
- 56 Svenskt Vattenarkiv (1995)  
Svenskt dammregister - Norra Sverige. Under utgivning.
- 57 Martin Häggström (1994)  
Snökartering i svenska fjällområdet med NOAA-satellitbilder.
- 58 Hans Bertil Wittgren (1995)  
Kvävetransport till Slätbaken från Söderköpingsåns avrinningsområde
- 59 Ola Pettersson (1995)  
Vattenbalans för fältforskningsområden.
- 60 Barbro Johansson, Katarina Losjö, Nils Sjödin, Remigio Chikwanha and Joseph Merka (1995)  
Assessment of surface water resources in the Manyame catchment - Zimbabwe.
- 61 Behzad Kouchehi (1995)  
Älvtemperaturers varianter i Sverige under en tioårsperiod.
- 62 Svenskt Vattenarkiv (1995)  
Sänkta och torrlagda sjöar.
- 63 Malin Kanth (1995)  
Hydrokemi i fältforskningsområden.
- 64 Mikael Sundby, Rikard Lidén, Nils Sjödin, Helmer Rodriguez, Enrique Aranibar (1995)  
Hydrometeorological Monitoring and Modelling for Water Resources Development and Hydropower Optimisation in Bolivia.
- 65 Maja Brandt, Kurt Ehlert (1996)  
Avrinningen från Sverige till omgivande hav.
- 66 Sten Lindell, Håkan Sanner, Irena Nikolushkina, Inita Stikute (1996)  
Application of the integrated hydrological modelling system IHMS-HBV to pilot basin in Latvia
- 67 Sten Lindell, Bengt Carlsson, Håkan Sanner, Alvina Reihan, Rimma Vedom (1996)  
Application of the integrated hydrological modelling system IHMS-HBV to pilot basin in Estonia
- 68 Sara Larsson, Rikard Lidén (1996)  
Stationstäthet och hydrologiska prognoser.

- 69 Maja Brandt (1996)  
Sedimenttransport i svenska vattendrag  
exempel från 1967-1994.
- 70 Svenskt Vattenarkiv (1996)  
Avrinningsområden i Sverige. Del 4.  
Vattendrag till Västerhavet.
- 71 Svenskt Vattenarkiv (1996)  
Svenskt sjöregister. 2 delar
- 72 Sten Lindell, Lars O Ericsson, Håkan  
Sanner, Karin Göransson (1997)  
Integrated Hydrological Monitoring and  
Forecasting System for the Vistula River  
Basin.
- 73 Maja Brandt, Gun Grahn (1998)  
Avdunstning och avrinningskoefficient i  
Sverige 1961-1990. Beräkningar med HBV-  
modellen.



## SMHIs publications

SMHI publishes six report series. Three of these, the R-series, are intended for international readers and are in most cases written in English. For the others the Swedish language is used.

<b>Names of the Series</b>	<b>Published since</b>
RMK (Report Meteorology och Climatology)	1974
RH (Report Hydrology)	1990
RO (Report Oceanography)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985

## Earlier issues published in serie RH

1. Sten Bergström, Per Sandén and Marie Gardelin (1990)  
Analysis of climate-induced hydrochemical variations in till aquifers.
2. Maja Brandt (1990)  
Human impacts and weather-dependent effects on water balance and water quality in some Swedish river basins.
3. Joakim Harlin (1992)  
Hydrological modelling of extreme floods in Sweden.
4. Sten Bergström (1992)  
The HBV model - its structure and applications.
5. Per Sandén and Per Warfvinge (1992)  
Modelling groundwater response to acidification.
6. Göran Lindström (1993)  
Floods in Sweden — Trends and occurrence.
7. Sten Bergström and Bengt Carlsson (1993)  
Hydrology of the Baltic Basin. Inflow of fresh water from rivers and land for the period 1950 - 1990.
8. Barbro Johansson (1993)  
Modelling the effects of wetland drainage on high flows.
9. Bengt Carlsson och Håkan Sanner (1994)  
Influence of river regulation on runoff to the Gulf of Bothnia. Gulf of Bothnia Year 1991.
10. Göran Lindström, Marie Gardelin and Magnus Persson (1994)  
Conceptual modelling of evapotranspiration for simulations of climate change effects.
11. Bengt Carlsson (1996)  
Modelling fresh water runoff to Baltic Sea.
12. Göran Lindström, Marie Gardelin, Barbro Johansson, Magnus Persson och Sten Bergström (1996)  
HBV-96 - En areellt fördelad modell för vattenkrafthydrologin.
13. Berit Arheimer, Maja Brandt, Gun Grahn, Elisabet Roos och Allan Sjöo (1997)  
Modellerad kvävetransport, retention och källfördelning för södra Sverige.







Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut  
601 76 Norrköping  
Tel 011-495 80 00 Fax 011-495 80 01