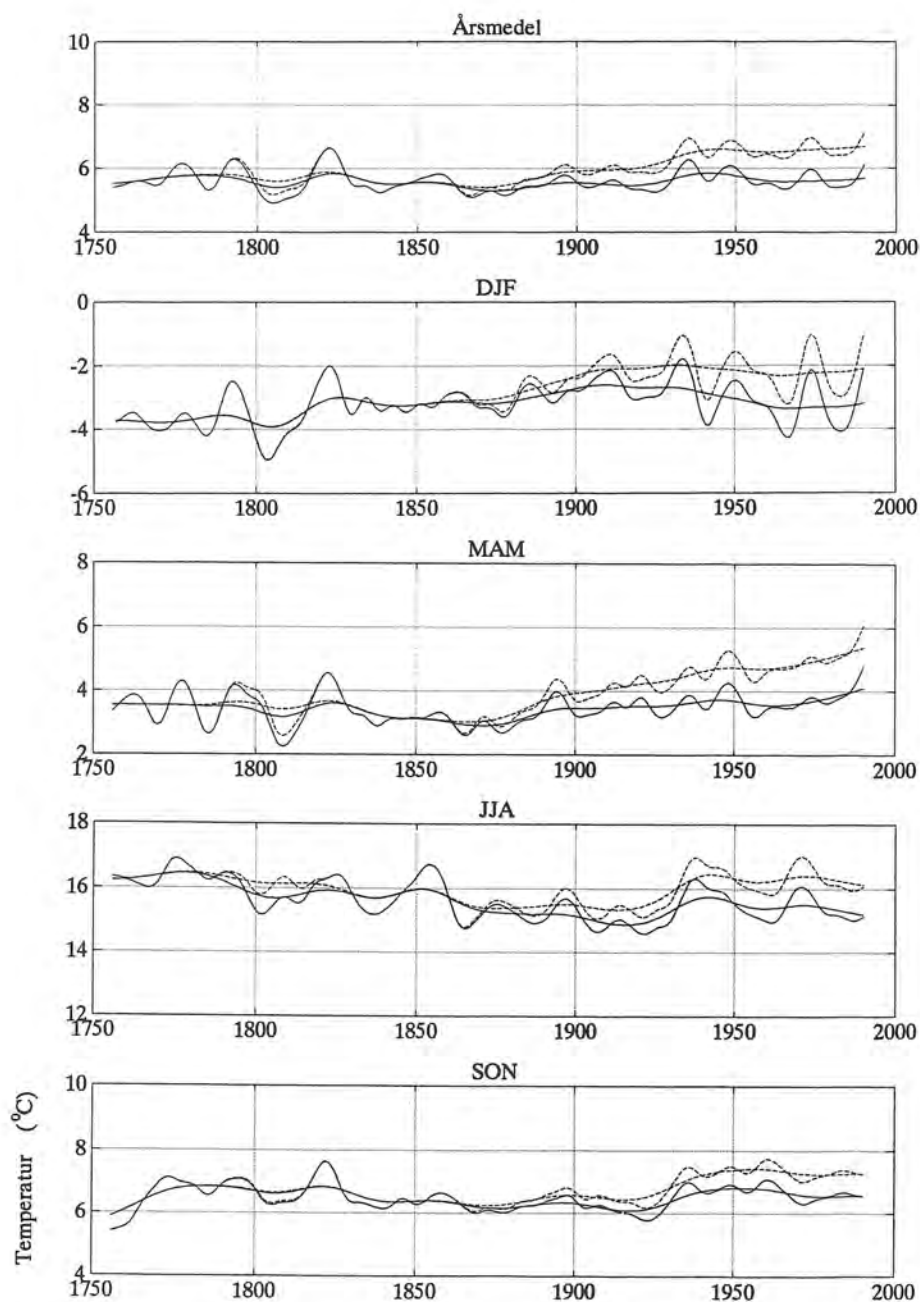
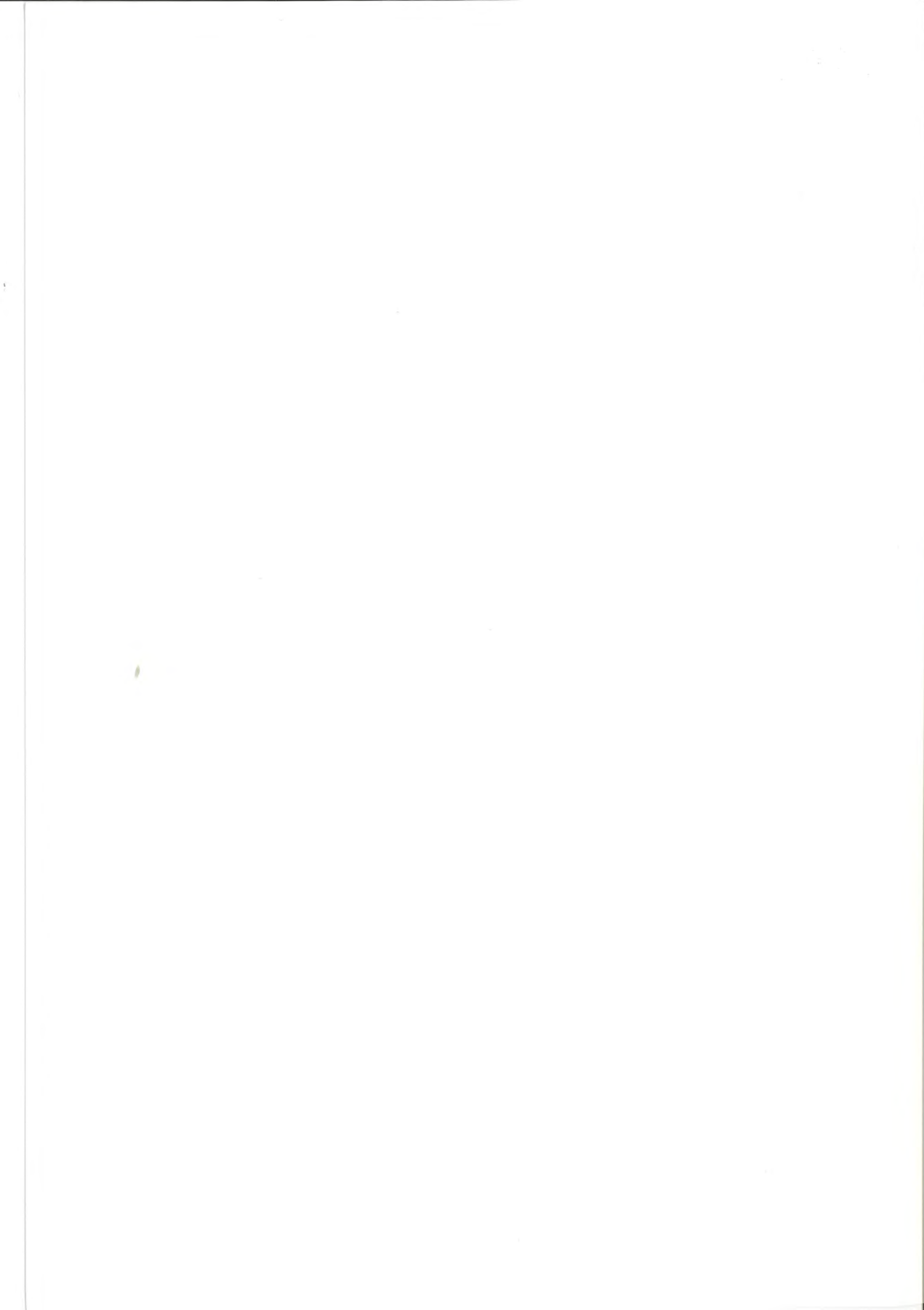




Lufttemperaturer i Stockholm 1756-1990

Historik, inhomogeniteter och urbaniseringseffekt

Anders Moberg





**STOCKHOLMS
UNIVERSITET**

Naturgeografiska institutionen

STOCKHOLM UNIVERSITY

Department of Physical Geography

ANDERS MOBERG

LUFTTEMPERATUREN I STOCKHOLM 1756-1990

HISTORIK, INHOMOGENITETER OCH URBANISERINGSEFFEKT

SMHI:s FÖRORD

Denna rapport är veterligen den första som publicerats i vår rapportserie Meteorologi av en författare som inte är verksam vid SMHI. Att just denna uppsats blev föregångare känns naturligt, eftersom den uppehåller sig vid Stockholms unika, mer än 200-åriga temperaturserie, för vilken SMHI känner ett speciellt ansvar. Den fullständiga genomgång av originalhandlingarna och nyberäkning av alla medelvärden, som författaren efterlyser, var också redan beslutad, när vi erhöll manuset. I en tid då klimatförändringar diskuteras så livligt som nu, är observationsserien från Stockholm aktuellare än någonsin.

Författaren kan nås under adress

Stockholms universitet
Naturgeografiska institutionen
106 91 STOCKHOLM

INNEHÅLL

ENGLISH ABSTRACT	2
1 INLEDNING	3
2 HISTORIK	4
3 STOCKHOLMS TEMPERATURKLIMAT 1756-1990	8
4 INHOMOGENITETSAKTORE	12
4.1 Temperaturserier - allmänt	12
4.2 Stockholms temperaturserie	12
4.2.1 Instrument och instrumentplacering	12
4.2.2 Observationstider	13
4.2.3 Beräkningsmetoder	14
4.2.4 Slutsatser	16
5 URBANISERINGSEFFEKT	17
5.1 Urbana värmeöar	17
5.1.1 Orsaker	17
5.1.2 Tidigare resultat	18
5.2 Bebyggelsen i Stockholm - utveckling från ca 1750	19
5.3 Urbaniseringseffekten i Stockholm 1860-1990	21
5.3.1 Metodik	22
5.3.2 Urval av stationer	23
5.3.3 Resultat och diskussion	25
5.3.4 Slutsatser	35
6 DISKUSSION OCH REKOMMENDATIONER	37
7 SAMMANFATTNING	41
8 TILLKÄNNAGIVANDEN	42
9 REFERENSER	43

ENGLISH ABSTRACT

A continuous record since 1756 of monthly temperature data exist at the old observatory in Stockholm. The thermometer has only been moved twice since the beginning, and not more than ten meters. In ancient times the instruments were probably not of today's quality, but were of good European standard. The period 1756-1815 is characterized by variability of observation times and less safe calculations of monthly means. From 1816 and onwards the measurements are well documented, but not until 1859 were modern formulas used. The annual temperature in Stockholm has increased since the middle of the 19th century. The linear increase between 1860 and 1990 is 1.6°C . A comparison with surrounding stations indicates that urban bias is responsible for about 1.0°C of this increase. Around 1970 the urban bias seems to have reached a stable level, and since then no further urban heating occurs. The temperature record is presented in diagrams displaying the annual temperature and the four seasons separately. The quality of the series is discussed.

1 INLEDNING

Den globala temperaturen beräknas ha ökat med ca 0.5 °C sedan slutet av 1800-talet. En ingående diskussion av temperaturökningen genomförs i en aktuell sammanställning av flera forskarlags resultat (Folland et al. 1990). Orsakerna till denna ökning är föremål för livlig debatt både bland forskare, i politiska sammanhang och i massmedia. Temperaturökningen sätts ofta i samband med den tilltagande växthuseffekten på grund av ökat utsläpp av antropogena växthusgaser till atmosfären. Fortsatt förändring av klimatet i samma riktning anses få stora konsekvenser för världens befolkning, och frågan om mekanismerna bakom klimatets förändringar är därför en av de viktigaste mänskligheten ställts inför.

För att kunna beräkna globala förändringar i klimatet behövs mätdata med hög kvalitet från ett stort antal lokaler fördelade över hela jorden. Från och med omkring 1860 finns ett nät av meteorologiska observationsplatser runt jorden, som gör det möjligt att göra realistiska bedömningar av den globala temperaturens förändring. Före 1860 är tillgången till observationer mer sparsam. Observationer från 1700-talet är begränsade till främst Europa och östra Nordamerika. Tidsgränsen för tillgången till temperaturdata sätts av tidpunkten för termometerns uppfinnande omkring år 1650.

De äldsta observationerna representerar inte en tillräckligt stor del av jordens yta för beräkningar av den globala temperaturen, men är av mycket stort värde vid studier av regionala temperaturförändringar. Vi måste dock ha god kunskap om icke klimatbetingade faktorer som har påverkat dessa mätseriers kvalitet. Detta är en förutsättning för att de överhuvud taget skall kunna användas som mått på klimatets förändringar.

Den 1 januari 1754 påbörjades, under ledning av Kungliga Svenska Vetenskapsakademien, meteorologiska observationer vid Stockholms gamla observatorium. Mätningarna har under alla år utförts vid samma plats, och från och med 1756 fram till idag finns månadsmedelvärden av lufttemperaturen i en obruten följd. Temperaturmätningarna i Stockholm anses av många vara av mycket god kvalitet. Stockholmsseriens vetenskapliga värde som mått på klimatförändringar under de senaste 250 åren är därför stort.

Avsikten med denna uppsats är att samla ett material som underlag för bedömning av stockholmsseriens kvalitet. Kap. 2 och 4 utgör en litteraturoversikt om förhållandena kring temperaturobservationerna i Stockholm genom åren. Tidigare beskrivningar av Stockholms temperaturklimat sammanfattas i kap. 3 tillsammans med temperaturdiagram och några kommentarer om klimatets utveckling fram till idag. I kap. 5 redovisas en undersökning av urbaniseringseffekten. Jämförelse görs med ett flertal stationer inom en radie av 20 mil från Stockholm för åren 1860 till 1990. Uppsatsen avslutas med en diskussion och rekommendationer för forstätt arbete (kap. 6) samt en sammanfattning i tabellform (kap. 7).

2 HISTORIK

De äldsta observationerna

Sedan termometern och barometern uppfunnits och blivit tillgängliga vid 1600-talets mitt, hade meteorologien kommit på modet i 1700-talets Europa. Pionjär för de svenska meteorologiska observationerna var uppsalaastronomen Erik Burman. Den äldsta bevarade journalen från Uppsala är från 1722. År 1729 efterträddes Burman av den unge Anders Celsius, som ansvarade för de meteorologiska observationerna fram till 1743. Kompletta journaler i Uppsala finns dock inte före 1773 (Bergström 1990).

1739 grundades Kungliga Svenska Vetenskapsakademien. En av dess första uppgifter var att, liksom andra nationella vetenskapsakademier i Europa, leda arbetet med insamlande av meteorologiska data. Pehr Wilhelm Wargentin, Kungl. Vetenskapsakademiens sekreterare och astronom åren 1749-1783, fick uppdraget att ansvara för de första meteorologiska observationerna i Stockholm under Vetenskapsakademiens ledning. Han skrev år 1778 i Vetenskapsakademiens Handlingar:

Ifrån början af år 1754, til närvarande tid, har jag, på Kongl. Academiens Observatorium här i Staden, anställt, eller, när jag på kårt tid varit opasslig eller frånvarande, låtit anställa dageliga Meteorologiska Observationer, och i synnerhet varit upmärksam på Thermometern. De första 7 åren, anmärkte jag dess högd allenast 2 gånger om dagen, nemligen om morgonen i dagningen, och klockan vid pass 1 efter middagen. Men emedan jag om Somrarna, då Solen här går up kl. 3 à 4, ej alltid kunde uthärda med Morgonobservationernes bevakande så tidigt, började jag, år 1761, at om Somrarna ej uptekna Thermometer-högden om morgnarna förr, än kl. vid pass 6, men at i det stället äfven observera dess högd om qvällarna, kl. omkring 11, då jag märkt, at Thermometern här plägar vara nära sin medelhögd för det dygnet.

Man brukar ange 1756 som begynnelseår för Stockholms temperaturserie. De två första årens observationer är alltför sporadiska för att månadsmedeltemperaturer skall kunna beräknas ur materialet med god noggrannhet. Wargentin skrev själv att han från 1754 utförde observationerna två gånger dagligen. I själva verket finns för de två första åren ganska summariska anteckningar om vädret en gång per dygn. Den första anteckningen från den 1 januari 1754 lyder: *Snö och urväder med tre eller fyra graders köld*. Inte förrän 1756 började Wargentin verkligen utföra observationerna två gånger dagligen, och journalerna blev hädanefter alltmer noggranna med åren (Nordenmark 1939a och 1939b).

Wargentin förde oavbrutet sina journalanteckningar ända till två dagar före sin död den 10 dec 1783. Journalerna gav i sitt definitiva skick upplysningar om temperatur och barometerstånd tre respektive två gånger dagligen och dessutom löpande femdygnsmedelvärden för temperaturen.

Meteorologiska observationer i Stockholms Weckoblad

Ett intressant faktum är att redan 1747 publicerades i Stockholms Weckoblad, eller omväxlande i dess bilaga Politie- och Commerce Tidningen, noggranna dagliga meteorologiska observationer. Förutom lufttemperatur och lufttryck antecknades iakttagelser om molnighet, dimma, regn, snö, tordön, norrsken m m. Observationer utfördes tre gånger per dygn fram till den 3 maj 1751, varefter tidningen upphörde att publicera observationerna. Intresset från allmänheten, främst på landsbygden, föranledde dock tidningen att återuppta publiceringen den 1 dec 1754. Temperaturen angavs därefter kl. 8, 14 och 21. Temperaturen avlästes enligt förklaringar i Weckobladet på en kvicksilvertermometer "hängandes i fria luften uti fjärde våningen

af et hus i sielfwa staden". Mätinstrumenten var sannolikt av lika god kvalitet som Vetenskapsakademiens. Både Akademiens och Weckobladets observatörer använde termometrar tillverkade av skickliga instrumentmakare i staden (Nordenmark 1939b).

Dessa mätningar utfördes av en anonym observatör, och offentliggjordes i varje nummer av tidskriften fram till och med ingången av år 1770. Från och med lördagen den 5 januari 1771 infördes i stället "Utdrag av Kungl. Wetenskaps Academiens Meteorologiska Observationer, hållne på Observatorium Astronomicum", dvs de av Wargentin utförda.

Väderprognoser i Almanackan

Vid mitten av 1700-talet fanns tydligen ett allmänt intresse för väderobservationer. För Vetenskapsakademien fanns också ett klart praktiskt syfte med insamlandet av meteorologiska data. År 1747 fick Vetenskapsakademien ensamrätt på utgivningen av almanackor i Sverige. Sedan gammalt trycktes i almanackorna förutsägelser om det kommande årets väder. Dessa väderspådomar var eftertraktade av bönderna, som planerade sådd och skörd efter dem, och ansågs oumbärliga. I själva verket angav väderprognoserna den väderlek som rått på orten nitton år tidigare, allt enligt tron på nittonårscykler som skulle ha samband med månens skiften. Väderprognoserna krävde alltså att man samlade in uppgifter om vädret kontinuerligt.

Vetenskapsakademien insåg givetvis det bedrägliga i dessa prognoser och hade från början avsett att avskaffa dem ur almanackan. Rådslan för ett alltför stort missnöje bland allmogen vid ett avskaffande gjorde dock att man behöll prognoserna långt in på 1800-talet. Almanacksförsäljningen var akademiens viktigaste inkomstkälla vid denna tid, och man vågade därför inte bryta den gamla traditionen.

Wargentins slutsats om klimatets periodicitet

Observationerna förtjena dock något rum, i anseende til den uplysning de kunna gifva, både i Naturkunnigheten och Hushållningen. I synnerhet synes mig både nyttigt och nöjsamt, at ... jämföra flera år på en gång, för at, liksom i et ögne-kast, se, huru mycket det ena året i något afseende skiljer ifrån det andra; om samma slags väderlek kommer igen, efter vissa års omlopp; om Climatet med tiden blir mildare eller hårdare, och så vidare. (Wargentin 1778)

Wargentins förhoppning var att genom noggrant insamlande av meteorologiska data, få en större kunskap om klimatets växlingar. Med ett sådant vetande skulle man kunna ersätta de gamla nittonårsprofetierna i almanackan med nya, vetenskapligt grundade prognoser. I Handlingarna 1778 presenterade Wargentin medelvärden för 10-dygnsperioder av temperaturen i Stockholm för tiden 1758-1777. I tidigare handlingar, 1757, hade han redovisat en liknande sammanställning över Uppala-temperaturen för åren 1739-1757. Han jämförde resultaten av alla dessa temperaturmätningar och konstaterade att:

Genom alla 39 årens jämförelse sig imellan, har jag ej kunnat utleta någon viss Period af år, efter hvars förlopp års-tiderne kommit något när like igen. Man har haft någon anledning at tro, at det skulle ske efter 19 år, emedan Månens skiften, efter 19 år, åter infalla på samma dagar i månaderne; men det har, åtminstone hvad köld och varme angår, ej inträffat. Emot 1740 års kalla vinter, svarade en mycket blid, 1759; och emot 1753 års lindriga, en ovanligt bitter, 1772. Man bör dock ej underlåta at fortfara med flitigt observerande, til dess flere naturens lagar häruti kunna upptäckas, som visserligen gifvas: ty all ting sker i naturen, efter vissa lagar.

Europeiskt samarbete

Wargentin övertygade, som synes, sig själv om felaktigheten i den gamla tron på nittonårsperioder. Han insåg också att för klimatbeskrivningar och säkra väderleksprognoser krävdes jämförande material från flera orter, grundade på likvärdigt utförda observationer. Initiativet till ett sådant observationsnät, inte bara nationellt utan också över gränserna, togs av Societas Meteorologica Palatina i Mannheim. När Vetenskapsakademien våren 1781 mottog en officiell anmaning från sällskapet i Mannheim att medverka, var man inte senfärdig med att förklara sig beredd att hjälpa till. Mannheimsällskapet distribuerade samma slags instrument och formulär till alla observatörer. Wargentins efterträdare, Henric Nicander, blev den som fick i uppdrag att leda de meteorologiska observationerna vid observatoriet i Stockholm enligt tyskarnas föreskrifter.

Vetenskapsakademien hade redan tidigare samlat in meteorologiska journaler från olika observatörer i landet. Dessa journaler hade mycket olika utformning och kvalitet. I Mannheimskolans anda, startade man år 1785 ett nationellt observationsprogram. Gymnasiernas matematiklektorer jämte några präster utsågs som observatörer. Akademien distribuerade tryckta formulär, och svarade för att observatörerna försågs med likvärdiga instrument. Grundfrågan för hela programmet var väderlekens periodicitet och almanackan. En statistisk bearbetning över en lång följd av år, skulle medge att saken kunde redas ut. Nicander, som liksom Wargentin även var befolkningsstatistiker, var väl skolad att utföra detta, men varken han eller någon annan kom att ta itu med de ständigt växande journalserierna från rikets alla hörn. Därmed fortsatte nittonårsprofetierna att införas i almanackan ända fram till 1869.

Intresset för meteorologien avtog under 1800-talets första hälft. Knappast några meteorologiska arbeten av betydelse publicerades i Handlingarna. Den enda texten av större intresse torde vara "Om Värmens olikhet under en tid af 50 år vid Vetenskaps Akademiens Observatorium i Stockholm", publicerad år 1808, författad av Jonas Överbom. Denne var ansvarig för de meteorologiska observationerna under Nicanders överinseende. Uppsatsen illustreras med ett vackert diagram över den observerade medeltemperaturen för femdygnsperioder samt en "kroklinje" som visar "et hypothetiskt probabilitets medium därpå".

Det svenska observationsnätet och organisationen utvecklas

Data från observatörer ute i landet fortsatte att strömma in till Akademien, men inte förrän vid slutet av 1850-talet tog arbetet ordentlig fart. Fysikern Erik Edlund ivrade för att akademien skulle starta ett fast nationellt observationsnät. Åren 1859-60 inrättades ca 25 meteorologiska stationer i landet. Genom akademiens försorg försågs observatörerna med instruktioner och justerade instrument. De första 12 årens observationer sammanställdes av Edlund i "Meteorologiska iakttagelser i Sverige".

Stationsnätet växte till slutet av 1800-talet, då det omfattade ca 100 temperaturstationer och 500 nederbördsstationer (Alexandersson et al. 1991). Det meteorologiska programmet kom därför snart att bli organisatoriskt krävande, och önskemål om en separat meteorologisk enhet underställd Akademien resulterade i att Meteorologiska Centralanstalten bildades. Den nya organisationen fick från 1873 ansvaret för det meteorologiska arbetet i landet, och leddes från början av Robert Rubenson.

Varje morgon kom rapporter via telegraf från nio stationer i landet och 21 i utlandet. Synoptiska väderkartor ritades varje dag och distribuerades till pressen. Fler väderstationer startades och alltmer detaljerade väderprognoser ställdes. 1905 började stormvarningar utfärdas (Eriksson 1989).

År 1906 är ett betydelsefullt år för Stockholmsserien. Klimatologen H.E. Hamberg publicerade i Vetenskapsakademiens Handlingar ett arbete där han redovisar beräkningar av månadsmedeltemperaturen i Stockholm för åren 1756-1905. Hambergs arbete, som är skrivet på franska, innehåller mycket intressant information om den tidigare delen av Stockholmsserien. I kap. 4 presenteras viktigare delar av Hambergs arbete.

Meteorologiska Centralanstalten ersattes 1919 av Sveriges Meteorologisk-Hydrografiska Anstalt och 1945 av SMHI, Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut.

Genom åren har syftet med meteorologiska observationer varit detsamma; att göra prognoser för väder och klimat till nytta för olika former av samhällsplanering. Människans insikt om de meteorologiska skeendena och deras betydelse för klimatets karaktär, har sedan Wargentins dagar ökat i mycket stor omfattning. Fortfarande finns dock stora luckor i kunskapen om klimatets olika mekanismer, och Wargentins uppmaning att *fortfara med flitigt observerande* står sig än idag.

De historiska uppgifterna ovan är, om inte annat anges, hämtade från Lindroth (1967). Citaten av Wargentin är återgivna med hans egen stavning så som den anges i Handlingarna. Där äldre skrivtecken använts har jag dock ersatt dessa med moderna.

3 STOCKHOLMS TEMPERATURKLIMAT 1756-1990

Flera författare har noggrant beskrivit stockholmsklimatets utveckling sedan 1756. Nedan följer en kort sammanställning av några av de viktigare uppsatserna. Jag har inte haft för avsikt att göra en uppdaterad utförlig statistisk beskrivning av klimatets förändringar, men några egna kommentarer om temperaturklimatets historia inkluderas.

Presentation av data

Före presentationen av tidigare författares beskrivningar, åskådliggörs temperaturrens variationer i diagramform (Fig. 1) som tidsserier för årsmedeltemperatur och för årstiderna var för sig. Årstiderna definieras som tremånadersperioderna december - februari, mars - maj, juni - augusti och september - november. Medeltemperaturen för en årstid definieras som det aritmetiska medelvärdet av de tre bidragande månadernas medeltemperaturer. Årsmedeltemperaturen beräknas på motsvarande sätt. Ingen hänsyn tas således till månadernas olika längd.

Diagrammen visar för varje enskilt år avvikelser ($^{\circ}\text{C}$) från medelvärdet av hela serien. Serierna har också filtrerats med två olika Gauss-lågpassfilter för att utjämna korttidsvariationer. Gaussfiltreringen definieras på följande sätt.

Den ursprungliga temperaturserien X_i (innehållande N st observerade värden) transformeras till en serie G_j (också med N st element) enligt:

$$G_j = \sum_i (W_{ij} \cdot X_i) / \sum_i W_{ij} \quad i, j = 1, \dots, N$$

där

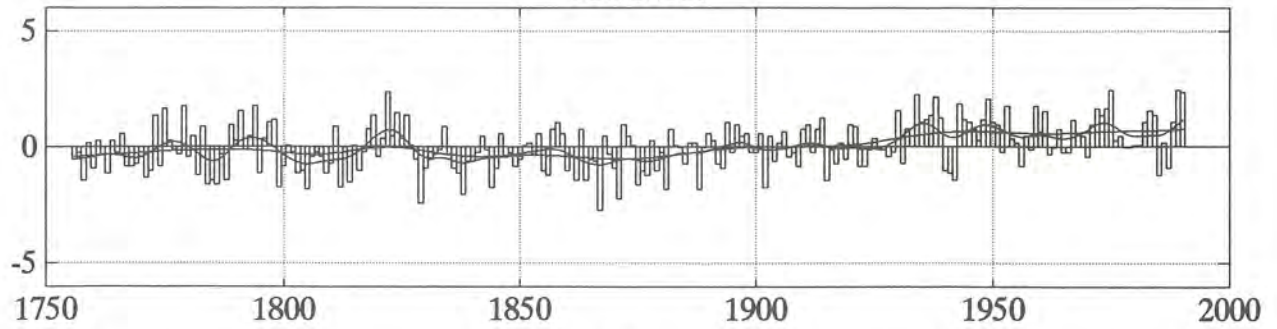
$$W_{ij} = \exp(-(i-j)^2 / (2\sigma^2)) \quad i, j = 1, \dots, N.$$

Observera att vid beräkningen av varje enskilt värde G_j bidrar samtliga värden X_i i den ursprungliga tidsserien. Dessa tilldelas olika vikter definierade av Gauss' normalfördelningskurva. Konstanten σ bestämmer fördelningen av vikterna. Ett litet värde på σ innebär att stor del av vikten fördelas på få närliggande värden, medan ett stort värde fördelar större del av vikten på fler värden. Det är också väsentligt att känna till att nära ändpunkterna finns en osäkerhet beroende på den ensidiga medelvärdesbildningen.

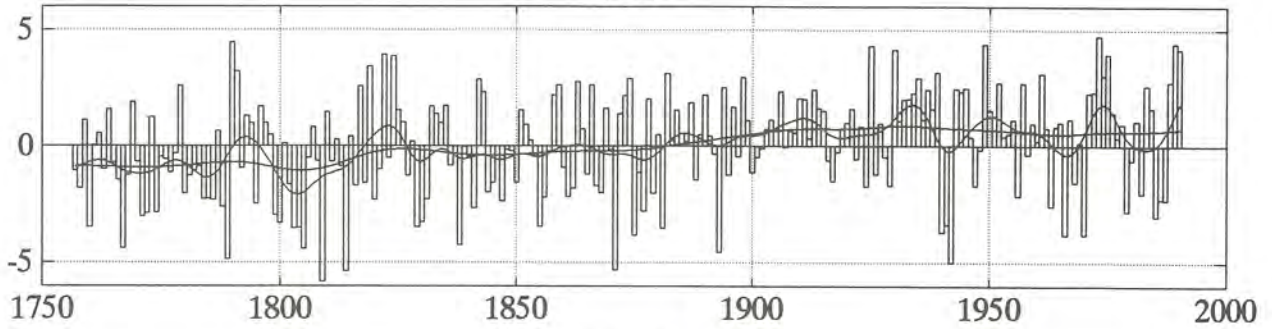
Här har valts $\sigma = 3$ och 9, vilket ungefär motsvarar 10 respektive 30 års "vanligt" löpande medelvärde (Alexandersson och Eriksson 1989). Gaussfiltrering är att föredra framför "vanligt" löpande medelvärde, eftersom den enklare metoden har den oönskade effekten att variationer inom vissa frekvensband kommer att vara i motfas med de verkliga efter filtrering.

Fig. 1. Lufttemperaturen i Stockholm 1756-1990. Staplarna visar temperaturen år för år. Temperaturserien har filtrerats med två Gauss-lågpassfilter ($\sigma = 3$, $\sigma = 9$). Båda dessa markeras med heldragen kurva. $\sigma = 3$ -kurvan fluktuerar snabbare av de två.

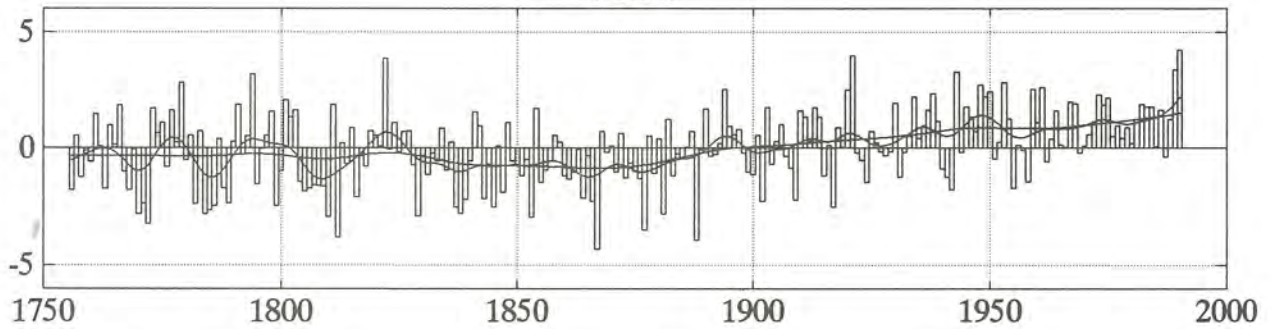
Årsmedel



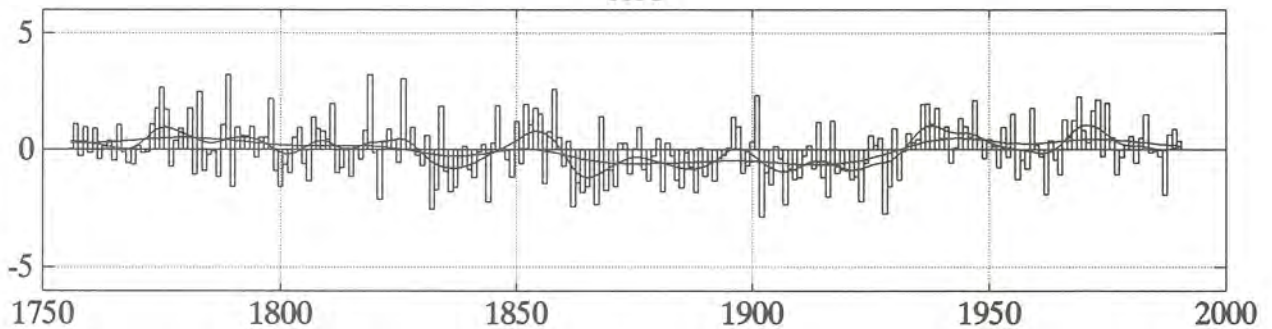
DJF



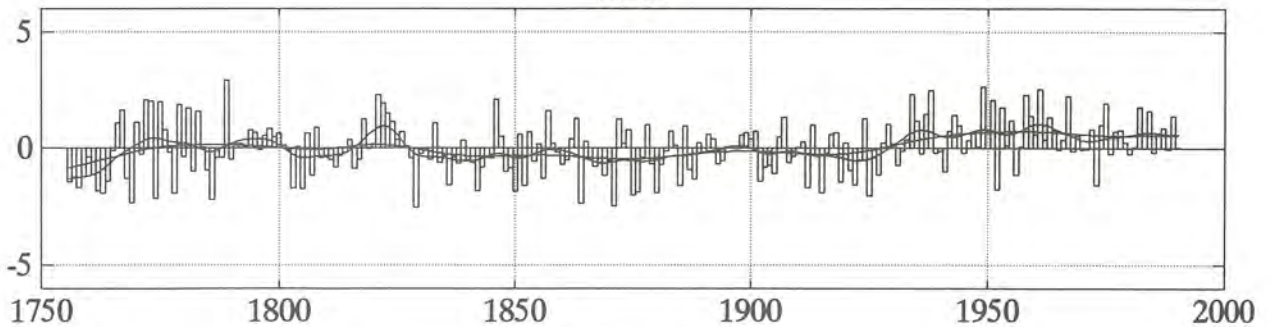
MAM



JJA



SON



Temperaturanomali (°C)

Tidigare klimatbeskrivningar

Wallén (1965) definierar en indelning av år med olika temperaturkaraktistika som varma, kalla, kontinentala, maritima respektive normala år. De varma åren var tämligen talrika under perioden 1790-1830 för att sedan vara väsentligt färre till antalet ända fram till perioden 1931-60 då de förekommit med mycket hög frekvens. De kalla åren förekommer i ganska stor omfattning under seriens äldsta perioder, avtar till ett minimum i frekvens under 1800-talets första hälft och når ett maximum under perioden 1841-70.

Enligt Wallén uppvisar seriens tidigare del väsentligt större kontraster både mellan olika årstider och från år till år jämfört med den senare delen. Varma somrar växlade med kalla vintrar, men ganska ofta förekom både genomgående varma och kalla år. Denna klimattyp efterträddes mot mitten av 1800-talet av en utpräglad kall period, varefter under slutet av seklet klimatet långsamt ökade i maritimitet och blev allt mer utjämnat. Under perioden 1901-30 nådde maritimiteten sitt maximum samtidigt som antalet kalla år åter var relativt högt. Perioden 1931-60 karakteriseras av hög frekvens av varma år samtidigt som maritimiteten åter avtagit.

Liljequist genomförde under 1940-talet två studier av Stockholmsklimatet. Den första (1943) avhandlade vintertemperaturen, och den senare (1949) sommartemperaturen.

Beträffande vintertemperaturen finner Liljequist en ökning som ägt rum sedan 1700-talet och början av 1800-talet. Tydligast är denna ökning mellan perioderna 1851-1880 och 1911-1940. Liljequist delar in perioden 1761-1940 i tre 60-årsperioder och finner att andelen kalla vintrar är hög i de båda tidigare perioderna. Den tidigaste perioden är den kallare av de två. Den tredje perioden kännetecknas av hög frekvens av milda och moderata vintrar. De tre följande vintrarna 1940-42 var dock i många avseenden extremt kalla.

Liljequist noterar tre perioder med särskilt varma somrar; 1770-talet, 1850-talet samt 1930- och 1940-talen. Speciellt utmärkande är 1850-talets varma somrar vilka både föregås och efterträds av kalla somrar. Tiden mellan 1860 och 1930 är den kallaste och domineras av kalla somrar.

Bland övriga författare som behandlar Stockholms temperaturklimat märks Brunt (1937), som jämför Stockholm med London i en analys av eventuella klimatcykler. Eriksson (1979) studerar variationer hos temperaturen för 15-dagars perioder under perioden 1873-1974. I en annan artikel klassificerar Eriksson (1984) sommarvärdet i Stockholm för perioden 1908-1983 enligt ett särskilt index som inkluderar temperatur, nederbörd och solskenstimmar. Han finner att den "bästa" sommaren under denna period var 1959 och den "sämsta" 1962.

Tillägg till tidigare beskrivningar

Vintertemperaturen under den senaste 30-årsperioden har varierat från en relativt kall period under 60-talet till en varm period under 70-talet följt av omväxlande kalla och varma vintrar under 80-talet. De tre senaste vintrarna är bland de varmaste i hela serien. Långtidsnivån hos vintertemperaturen har varit relativt varm under hela 1900-talet.

Sommartemperaturen har gradvis sjunkit sedan början av 1940-talet till ett minimum i början av 60-talet. Därefter följer flera varma somrar under perioden 1965-75, vilka gör denna till en av de varmaste perioderna i hela serien. Efter 1975 har somrarna mestadels varit normala. Frekvensen av varma somrar har alltsedan 1930-talet varit hög, och långtidskurvan visar också att denna period har varit mycket varm. Man måste gå tillbaka till 1700-talet för att finna en period av motsvarande längd med hög frekvens av varma somrar.

Detaljerade beskrivningar av vår- och hösttemperaturklimatet saknas i litteraturen. Här ges därför en sammanställning av deras karaktär, så som jag tolkat diagrammen i Fig. 1.

Diagrammet för vårtemperaturen visar att perioden 1756-1890 domineras av kalla vårar. Speciellt mellan åren 1825-1890 är frekvensen av vårar med temperatur över långtidsmedelvärdet mycket låg. Efter 1890 noteras en gradvis ökning både av frekvensen av varma vårar och medeltemperatur. De senaste 50 åren karakteriseras av mestadels varma vårar.

Hösttemperaturserien inleds med mycket kalla höstar under de första 10 åren. Därefter följer en 20-årsperiod med mestadels mycket varma höstar. Under denna period förekommer dock också flera av de allra kallaste höstarna under hela serien. Sista decenniet av 1700-talet har hösttemperaturer något över långtidsmedelvärdet. Hela 1800-talet fram till 1930 domineras av hösttemperaturer under långtidsmedelvärdet. Ett undantag är 1820-talet med varma höstar. Kontrasten mot de senaste 60 åren är stor. Under denna period är frekvensen av varma höstar hög. De allra flesta har en temperatur över långtidsmedelvärdet. Många höstar under de sista 60 åren tillhör de allra varmaste under serien. Långtidskurvan visar att tiden efter 1930 uppvisar den längsta sammanhängande perioden av varma höstar.

Sammanfattningsvis kan sägas att alla fyra årstiderna i huvudsak varit relativt varma sedan 1930-talet, dock med inslag av kortare perioder med kalla vintrar. För sommaren har även den tidigare delen fram till ca 1825 varit varm och höstarna var varma under en 20-årsperiod i slutet av 1700-talet. Våren och vintern uppvisar en tydlig uppvärmning sedan mätningarna påbörjades. Vintertid har uppvärmningen skett gradvis. Ökningen av temperaturen under våren förefaller ha påbörjats under 1800-talets senare hälft.

Som mått på klimatets förändring kan vanlig linjär regression användas. Den linjära temperaturförändringen mellan 1756 och 1990 för vintern är $+2.12^{\circ}\text{C}$ och för våren $+1.81^{\circ}\text{C}$. För sommaren och hösten är det mindre motiverat att beräkna den linjära trenden över hela observationsperioden, då temperaturen i båda fallen har varit relativt hög i början och slutet av serien, medan den varit relativt låg under en stor del av tiden däremellan. Beräkningen är ändå intressant för att påvisa att årstiderna skiljer sig från varandra med avseende på långsiktig temperaturtrend. Den linjära trenden för hösttemperaturen uppgår till $+0.83^{\circ}\text{C}$ och är således betydligt mindre än för våren och vintern. Sommartemperaturen uppvisar ett linjärt avtagande om -0.16°C .

Årsmedeltemperaturen kännetecknas av att den tidigare delen av serien fram till ca 1890 domineras av temperaturer under långtidsmedelvärdet. Under denna långa period finns några kortare perioder med relativt varma år, framförallt 1770-talet, 1790-talet och början av 1820-talet. Perioden 1890 till 1925 karakteriseras av temperaturer nära långtidsmedelvärdet. Efter 1925 dominerar de varma åren. En stor del av de allra varmaste åren under serien förekommer under denna period. Den linjära uppvärmningen från 1756 till 1990 uppgår till $+1.14^{\circ}\text{C}$.

Aktuell litteratur

Jones och Bradley (1992) studerar 12 långa temperaturserier från Europa, Nordamerika och Asien, däribland Stockholmsserien. Gemensamt för de Europeiska serierna är kalla årtionden under 1740-, 1780-, 1800- och 1810-talen samt de sena 1830- och 1840-talen. De urskiljer endast ett genomgående varmt årtionde, nämligen 1820-talet. Gemensamma trender för alla serierna i de tre världsdelarna är svåra att finna, men författarna finner att den norra hemisfären förefaller ha varit övervägande kall under 1780-, 1810- och sena 1830-talen. Värme dominerade under 1820-talet. Alla orterna uppvisar en uppvärmning under perioden 1851-1980. Det är värt att notera att bland de europeiska serierna är denna uppvärmning störst för Stockholmsserien.

4 INHOMOGENITETSAKTORER

En tidsserie från en väderstation sägs vara homogen om variationerna endast orsakas av variationer hos väder och klimat (Conrad och Pollak 1962). En mängd icke-klimatbetingade faktorer kan dock inverka störande på en klimatserie.

4.1 Temperaturserier - Allmänt

Teoretiskt kan medeltemperaturen definieras som ytan under en kontinuerlig temperaturkurva. I regel föreligger dock endast ett begränsat antal observationer per dygn, utförda vid vissa fastställda tidpunkter. Ur dessa beräknas med en formel ett approximativt mått på luftens medeltemperatur under t ex ett dygn eller en månad. Byte av observationstid och beräkningsformel kan orsaka homogenitetsbrott.

Ett annat problem rör termometerns placering. I det ideala fallet är denna skyddad från omgivningens strålning och väl ventilerad. Även höjden över marken har betydelse. Dagens svenska temperaturobservationer utförs vanligen 1.5 - 2 m över marken i vitmålade spjälburar med god luftväxling, skyddade mot solstrålning och nederbörd samt placerade på gräsunderlag. Längre tillbaka i tiden förekom många olika typer av skydd för och placering av termometern. Byte av instrumentplacering och skydd förorsakar också homogenitetsbrott.

Vad beträffar kvaliteten hos termometern måste vi anta att denna under tidigare år kan ha varit lägre än modern standard. Här finns också skäl att ifrågasätta observatörens noggrannhet. Har han alltid utfört observationerna vid den tidpunkt han anger? Har han antecknat i journalerna omedelbart efter observationernas utförande, eller har han senare antecknat ur minnet? Luckor i serien innebär också en risk för homogenitetsbrott.

En uppenbar inhomogenitetsfaktor är förflyttningar av termometern eller hela stationen. Förändringar i omgivningarna påverkar också. Speciellt påverkas temperaturen då en plats förändras från landsbygd till stad.

I följande avsnitt visas hur ovanstående faktorer har påverkat Stockholms temperaturserie.

4.2 Stockholms temperaturserie

4.2.1 Instrument och instrumentplacering

Stockholms gamla observatorium är beläget 44 m ö h, 59° 21' N, 18° 4' Ö på toppen av en kulle som utgör en del av Stockholmsåsen. De närmaste omgivningarna består av en park med gräsmattor, buskar och lövträd och har i stort sett varit oförändrade genom åren fränsett en naturlig tillväxt av vegetationen. Vid mitten av 1700-talet låg observatoriet utanför själva staden, men idag omgärdas observatorieparken av bebyggelse och gatunät. Att observationsplatsen är högt belägen samt att vegetationen i närheten inte väsentligt förändrats har bidragit till uppfattningen att temperaturmätningarna är relativt opåverkade av stadseffekten (Liljequist 1943, Modén 1963b, Wallén 1965). I kap. 5 redovisas en undersökning av urbaniseringseffekten, där stockholmstemperaturen jämförs med flera omgivande stationer. Resultatet antyder att urbaniseringseffekten vanligen underskattats.

När det gäller termometern och dess placering angav Wargentin själv (1778): *Jag har ständigt utnyttjat den vanliga Svenska Thermometern, ..., Ofta, i synnerhet då varme eller köld varit mycket stark, har jag haft ute och jämfört flera Thermometrar. Den ständigt*

nyttjade, hänger i fria luften, utom et fönster, i andra våningen, på norra sidan af Observatorium, väl betäckt för Morgon-Solen.

Lindroth hävdar att Wargentins tillgång till goda instrument var väl tillgodosedd av Akademiens instrumentmakare.

Instrumentet flyttades den 1 september 1875 från sin plats på andra våningen (5,8 m över marken) till en vitmålad spjälbur av metall utanför ett fönster på första våningen (1,5 till 1,9 m över marken) (Hamberg 1906, Modén 1963a). Den äldre placeringen kan speciellt under sommaren, trots Wargentins försäkras, misstänkas ha varit utsatt för solljus. En jämförelse med temperaturen i Falun, Askersund och Visby från 1860 och framåt visar dock ingen sådan påverkan (se Fig. 5).

Tidpunkten för morgonobservationen ändrades från kl. 8 till kl. 7 år 1947. Metallburen kom då att under sommarhalvåret vara solbelyst. Det märktes genast att detta medförde för höga morgontemperaturer, varför en psykrometertermometer upphängdes i en fristående termometerbur något tiotal meter från observatoriet. 07-temperaturen avlästes därefter på denna termometer under månaderna maj-sep (Modén 1963a).

Hösten 1960 togs en ny uppställning för termometrar (och nederbördsräknare) i bruk. Nordost om huvudbyggnaden på en gräsplan innanför häcken mot Sveavägen uppställdes inom en inhägnad av ståltrådsstängsel en termometerbur tillsammans med en vanlig nederbördsräknare och en registrerande nederbördsräknare. Parallella mätningar utfördes vid de båda instrumentuppställningarna under 1961. Modén (1963a) redovisar resultaten av dessa parallella mätningar, och kommer till slutsatsen att överensstämmelsen mellan de båda är god. Skillnaden i månadsmedeltemperaturer överstiger inte i något fall storleksordningen 0.1 °C. Alltsedan 1961 har mätningarna utförts i den fristående buren.

4.2.2 Observationstider

Temperaturmätningarna under Wargentins ledarskap fram till hans död 1783, har utförts under betydligt mer skiftande förhållanden än vad som idag är fallet. Några fastställda regler för observationstider fanns inte. Wargentin själv angav att före 1761 utfördes observationerna 2 gånger dagligen, på morgonen vid dagningen och ca klockan 1 på eftermiddagen. Hamberg (1906), som ur journalerna sammanställde månadsmedeltemperaturer t o m 1905, anger att observationerna under perioden 1756-1760 utfördes vid soluppgången och strax efter middag. Han noterar att temperaturen då ungefär motsvarar dygnets minimi- respektive maximitemperatur.

Alltsedan 1761 har observationer utförts 3 gånger dagligen. Enligt Wargentins egen uppgift ändrades rutinen år 1761 från det att morgontemperaturen alltid avlästes vid soluppgången till det att den under sommaren avlästes ca kl. 6. Dessutom började han avläsa temperaturen även på kvällen ca kl. 23.

Hamberg skriver att under åren 1761-1781 utfördes morgonobservationerna, att döma av registren, inemot kl. 8 under vintern, kl. 6-7 under våren och hösten samt kl. 6 under sommaren. Sommaren 1761 utfördes morgonobservationerna dock mellan kl. 4-7. Middagsobservationerna utfördes under dessa år mellan kl. 12-14, och kvällsobservationerna kl. 21-23.

Under åren 1782-1796 samt 1816-1858 förefaller det, att döma av registren (Hamberg), att mätningarna utfördes regelmässigt kl. 6, 14 och 21.

För åren 1797-1815 gör Hamberg en mycket märklig iakttagelse: Han förmodar att morgonobservationerna utfördes en timme tidigare än kl. 6, utan att detta noterats i journalerna (!). Som stöd för detta antagande anger han att differensen mellan middags-

och morgontemperaturen är större under denna period jämfört med motsvarande differenser före 1797 och efter 1815. Det förefaller mig mycket märkligt att Vetenskapsakademiens sekreterare, Wargentins efterträdare Nicander, under mer än 15 år systematiskt skulle gå upp en timme tidigare på morgonen och utföra sina observationer (eller låta någon annan utföra dessa) utan att notera detta. Vi minns från historiken i kap. 3 att samarbetsprojektet som utgick från Mannheim hade påbörjats många år tidigare. Vid den här tiden var man medveten om vikten av noggranna mätningar och fasta rutiner.

Åren 1859-1940 utfördes mätningarna kl. 8, 14 och 21. En förändring inträffade dock den 1 jan 1879, då man i Sverige bytte från lokal tid till gemensam tid. För Stockholms del innebar detta att observationerna efter förändringen utfördes 12 minuter senare.

Den 1 jan 1941 tidigarelades morgonobservationen till kl. 7, och från 1 jan 1947 utförs observationerna kl. 7, 13 och 19. Under sommarhalvåret utförs sedan 1980, p g a sommartidens införande i Sverige, observationerna kl. 8, 14 och 20.

Av mätningarna under 1700-talet saknas uppemot 300 observationer. 75 saknas för 1756 med en majoritet under juli och augusti. I Februari 1763 saknas 27 avläsningar, i juli samma år 24 och i oktober och november 1798 saknas 18 respektive 30 observationer. De månatliga medelvärdena har beräknats via interpolation då värden saknats (Hamberg). Efter 1800 är serien komplett.

4.2.3 Beräkningsmetoder

För att erhålla sanna medeltalet av luftens medeltemperatur under en viss tidsrymd, måste man för varje timme avläsa temperaturen (Ekholm, 1916). Ekholm utarbetade den metod för beräkningar av månadsmedeltemperatur som används i Sverige idag. Därvid utnyttjade han timiakttagelser av temperaturen från Uppsala, Kristiania (Oslo), Abisko, Vassijaure och Hamburg, för att ur dessa bestämma formler för beräkning av månadsmedeltemperaturen ur tre observationer per dygn. Ekholm noterade att under sommarmånaderna krävdes även observationer av dygnets minimitemperatur för att uppnå ett fullgott resultat. Hans formel lyder

$$t_m = p t_8 + q t_{14} + r t_{21} + s t_{min}$$

där $p + q + r + s = 1$

och t_8 , t_{14} resp. t_{21} står för månadsmedlet av observationerna kl. 8, 14 resp. 21. t_{min} betecknar månadsmedlet av observerade dygnsminima. Med hjälp av minsta kvadratanpassning bestämde Ekholm värdena på koefficienterna p , q , r och s för årets månader. Eftersom Sverige sedan 1879 använder gemensam tid, vilken avviker från den lokala soltiden utom i omedelbar anslutning till meridianen 15 °Ö där de sammanfaller, måste koefficienter beräknas för olika longituder. Ekholm beräknade koefficienter för varje longitudgrad. Ekholm själv anger att avvikelserna från den sanna medeltemperaturen i 75% av fallen understiger 0.05 °C, och att maximala felet uppgår till 0.15 °C vid användande av hans koefficienter. Senare undersökningar visar dock att avvikelserna i enstaka fall kan vara större (Andersson 1970).

Efter Ekholm har meteorologerna Helge Modén och Bertil Eriksson modifierat koefficienterna då nya observationstider införts.

Ekholms formel (med sentida modifieringar) har använts vid de officiella beräkningarna av stockholmstemperaturen sedan 1906. Månadsmedeltemperaturerna före 1906 beräknades av Hamberg. Av föregående avsnitt förstår vi att hans arbete inte kan ha varit lätt beträffande åren 1756-1815. Hamberg uppger också själv att hans framgång varit tvivelaktig.

För att beräkna månadsmedeltemperaturer ur en observationsserie med två respektive tre observationer dagligen utnyttjade Hamberg timiakttagelser av temperaturen gjorda i Uppsala och Helsingfors. Först beräknades ett approximativt månadsmedel enligt någon av formlerna

$$T = 1/2(t_{\text{morgon}} + t_{\text{middag}}) \quad (1)$$

eller

$$T = 1/3(t_{\text{morgon}} + t_{\text{middag}} + t_{\text{kväll}}), \quad (2)$$

där t_{morgon} står för månadsmedel av morgonobservationerna osv. Utgående från timiakttagelserna i Uppsala och Helsingfors beräknades sedan korrektionstal för årets månader. Hambergs största svårighet torde ha varit osäkerheten och variationen av observationstidpunkt. Vissa generaliseringar (Tab. 1) var nödvändiga för att anpassa korrektionstalen till beräkningarna. Efter förenklingarna beräknades korrektionstal för olika perioder (Tab. 2).

Tab. 1. Hambergs generaliseringar av observationstid vid beräkning av månadsmedeltemperatur. Efter Hamberg (1906).

År	Observationstid
1756-1760	soluppgång och kl. 14
1761-1781	kl. 7, 13 och 22
1782-1796	kl. 6, 14 och 21
1797-1815	soluppgång, kl. 14 och 21
1816-1858	kl. 6, 14 och 21.

Tab. 2. Hambergs korrektionstal vid beräkning av månadsmedeltemperatur enligt formel (1) respektive (2). Efter Hamberg (1906).

	1756-1760	1761-1781	1782-1796 1816-1858	1797-1815
Jan	-0.21	-0.08	-0.11	-0.09
Feb	-0.43	-0.07	-0.22	-0.17
Mar	-0.32	+0.01	-0.13	-0.05
Apr	-0.08	-0.05	+0.05	+0.30
Maj	-	-0.24	-0.15	+0.54
Jun	-	-0.27	-0.28	+0.62
Jul	-	-0.27	-0.19	+0.47
Aug	-	-0.12	+0.02	+0.40
Sep	-0.26	0.00	+0.08	+0.17
Okt	-0.37	-0.04	-0.10	-0.07
Nov	-0.22	-0.07	-0.10	-0.06
Dec	-0.12	-0.08	-0.07	-0.05
År	-0.17	-0.11	-0.10	+0.17

Korrektionstal saknas för sommarmånaderna under de första fem åren. Hamberg ansåg att morgonobservationerna då varit mindre exakta, förmodligen för höga, och avstod från att beräkna korrektioner.

Hambergs antagande att morgonobservationerna under åren 1797-1815 utförts tidigare än vad som framgår av journalerna får mycket stora konsekvenser vid beräkning av medeltemperaturen särskilt under våren och sommaren. Skillnaden mellan korrektionerna är störst för juni månad, och uppgår till 0.9 °C. Hambergs beräknade temperaturer är genomgående högre än de skulle ha varit om han avstått från sitt antagande.

För åren 1859-1905 utnyttjar Hamberg en formel konstruerad av Rubenson. Denna formel är snarlik Ekholms, men saknar användandet av minimitemperaturer under sommarmånaderna. Rubensons formel lyder

$$t_m = p t_8 + q t_{14} + r t_{21},$$

där $p + q + r = 1$.

Koefficienterna p , q och r har beräknats ur timiakttagelser av temperaturen i Uppsala och Helsingfors för årets månader.

Johnson (1965) utför beräkningar av månadsmedeltemperaturen för Stockholm åren 1859-1900 med användande av Ekholms formel.

Jag har jämfört data beräknade med båda formlerna, och finner att skillnaden i medelvärden beräknade med Ekholms respektive Rubensons formler i medeltal är mycket små för Stockholms del. Under perioden 1859-1900 skiljer sig de båda formlerna i medeltal mindre än 0.03 grader för samtliga månader. Enstaka värden kan dock skilja sig flera tiondels grader. Ingen formel ger systematiskt högre eller lägre värden än den andra.

4.2.4 Slutsatser

Beträffande mätinstrument och instrumentplacering är Stockholms temperaturserie av hög homogenitet. En reservation måste dock göras för de äldre instrumentens kvalitet, även om de enligt Lindroth var av god europeisk standard.

Variationen och osäkerheten vid angivande av observationstid gör det svårt att beräkna medeltemperaturer ur de äldsta data. Ända fram till och med 1815 måste homogeniteten ifrågasättas. Från 1816 och framåt är observationstiderna väl dokumenterade, men först från och med 1859 har moderna beräkningsformler använts. Från 1859 har serien god kvalitet.

Seriens kvalitet kan förbättras genom att för perioden före 1859 göra nya beräkningar av månadsmedeltemperaturer med moderna formler. En sådan nyberäkning av temperaturserien i Uppsala för åren 1739-1831 visade att endast 23% av data förblev oförändrade. För 28% var korrektionen 0.3 °C eller mer (Bergström 1990).

Perioden 1756-1781 är det särskilt problematiskt att göra nyberäkningar p g a att observationerna då utfördes oregelbundet. Vidare måste det utredas om Hambergs antagande, att observationstiderna är felaktigt angivna i journalerna åren 1797-1815, är korrekt.

5 URBANISERINGSEFFEKT

Man behöver bara färdas från skärgården eller landsbygden in till en större stad för att med egna sinnen uppleva att storstadsluften har en alldeles egen sammansättning. Lukten och sikten skiljer sig mellan stad och landsbygd, men det finns också andra skillnader. Meteorologiska faktorer som temperatur, luftfuktighet, vindar, markvatten, strålningsbalans etc. påverkas alla av närheten till en storstad. Det är dock inte alltid lätt att avgöra storleken av denna påverkan. Naturliga skillnader mellan staden och dess omgivningar förekommer på grund av skillnad i topografiskt läge, närhet till stora sjöar m m.

5.1 Urbana värmeöar

Den tydligaste klimatiska manifestationen av urbaniseringen är en trend mot högre temperaturer. Slutna isotermer separerar staden från det allmänna temperaturfältet. Detta fenomen benämns på engelska "Urban Heat Islands", och översätts här med urbana värmeöar. En modern sammanställning av stadsklimat och urbana värmeöar görs av Landsberg (1981). I närmast följande avsnitt har fakta hämtats från Landsberg där inte annat anges.

5.1.1 Orsaker

Temperaturskillnaden mellan stad och landsbygd är i högsta grad variabel. Den största skillnaden uppstår då svaga vindar och klar himmel råder. Lokala variationer i de lägre luftlagren får då stor betydelse. Vid friska vindar, hög molninghet och eventuellt nederbörd, dominerar de storskaliga faktorerna över de lokala, och temperaturskillnaden mellan stad och landsbygd minskar.

Variationer förekommer även mellan olika tidpunkter på dygnet och mellan olika årstider. Urbana värmeöar är resultatet av samtliga lokalklimatiska förändringar orsakade av mänsklig påverkan av den urbana miljön.

Även ett enstaka byggnadskomplex uppvisar ett annorlunda mikroklimat än ett jämförbart naturligt landområde. Flera författare anser att "urban" uppvärmning kan förekomma då en plats blir mer skyddad av träd, trädgårdar och byggnader (Alexandersson och Eriksson 1989, Manley 1975).

Temperaturens dygnsrytm påverkas av byggnader och asfalterade gator. Dessa lagrar värme under dagen och kan avge värme till de lägre luftlagren efter solnedgången. Dessutom är avdunstningen mycket liten i städer på grund av att snabb ytavrinning efter nederbörd eliminerar lagring av vatten i jorden. Solstrålning som på landet skulle användas till avdunstning av regnvatten, dagg och frost absorberas i staden direkt i byggnadsmaterialet. Evapotranspirationen är avsevärt mindre i staden på grund av liten areal med växtlighet.

Urbana föroreningar påverkar den inkommande solstrålningen. Partiklar i luften absorberar och sprider strålning. Urbana områden mottager därför mindre solstrålning än omgivningen.

Energibalansen påverkas av albedot. Vanligen uppmäts lägre albedo i städer än utanför. Mer solstrålning absorberas därmed under dagen, vilket medför en potentiell energi för uppvärmning av luften nattetid.

En annan viktig faktor är den energimängd som människan utnyttjar för uppvärmning, transport och industri.

5.1.2 Tidigare resultat

Ett bevis för urbana värmeö-effekten är det faktum att den lokala temperaturen i en stad har ökat jämfört med den i omgivningarna. Landsberg sammanställer resultatet av undersökningar av urban uppvärmning från flera håll i världen. Ett sammandrag ges i Tab. 3.

Tab. 3. Linjär temperaturökning vid utvalda städer jämfört med omgivande landsbygd. Efter Landsberg (1981).

Stad	Tidsperiod	Temperaturökning (°C/år)				
		Årlig	Vinter	Vår	Sommar	Höst
Tokyo	1936-1965	0.032				
Osaka	1936-1965	0.029				
Nemuro	1936-1965	0.005				
Paris	1891-1968	0.011 (1) 0.019 (2)				
Cleveland	1895-1941		0.010	0.021	0.028	0.015
Boston	1895-1933		0.016	0.018	0.026	0.021
(1) Dygnets maximitemperatur						
(2) Dygnets minimitemperatur.						

Ökningen är större under sommaren än under vintern för de amerikanska städerna. Landsberg förklarar detta med att den huvudsakliga orsaken till värmeöar är förändring i strålningsbalans, och att antropogent värmetillskott är av mindre betydelse.

I en världsomfattande undersökning under 90-årsperioden 1871-1960, uppskattas urbaniseringseffekten i medeltal till 0.008 °C per år, eller totalt +0.7 °C under perioden (Dronia 1967).

Karl och Jones (1989) studerar urbaniseringseffektens inverkan på medeltemperaturen för hela USA under perioden 1901-1984. Deras slutsats är att den urbana effekten i medeltal för området uppgår till mellan +0.1 °C och +0.4 °C under perioden, eller mellan 0.001 och 0.005 °C per år.

Landsberg påpekar att värmeöarna även omfattar områden utanför den egentliga staden. Observatoriet i Kew utanför London, beläget i parkmiljö, har under perioden 1880-1960 uppvisat en ökning med 1 °C, eller 0.013 °C per år beroende på urbaniseringen av London.

Några svenska undersökningar av urbaniseringseffekten i Stockholm har också utförts. Eriksson (1988) jämför Stockholm med Svenska Högarna, och visar att förändringen i årsmedeltemperatur är 0.8 °C sedan 1900-talets början, vilket motsvarar 0.01 °C per år. Detta värde är av samma storleksordning som flera av dem som Landsberg redovisar. Eriksson nämner liknande resultat vid jämförelse med Landsort.

Liljequist (1943) finner vid jämförelse med Uppsala att temperaturen i januari och februari ökat i Stockholm med endast 0.04 °C under 80-års perioden 1861-1940, men också Uppsala är påverkat av urbanisering (Sundborg 1951, Taesler 1981). Modén (1963b) finner obetydlig ökning även vid jämförelse med Ultuna åren 1901-60. Vid Ultuna har dock bebyggelsen ökat i närheten av mätplatsen under perioden.

En jämförelse med Experimentalfältet, ca 2.5 km norr om Stockholms gamla observatorium, visar att vintertemperaturen vid observatoriet sjunkit med 0.17 °C relativt Experimentalfältet under perioden 1882-1940 (Liljequist 1943).

Mellan 1882 och 1940 växte bebyggelsen kraftigt i området mellan observatoriet och Experimentalfältet, men nådde inte fram till Experimentalfältet under perioden. Det är möjligt att platsen, på liknande sätt som Kew, påverkats av värmeöns runt Stockholm. Den observerade relativa temperaturminskningen vid observatoriet kan därför tolkas som en indikation på urbaniseringseffekt även vid Experimentalfältet.

5.2 Bebyggelsen i Stockholm - utveckling från ca 1750

När kan utbyggnaden av Stockholm anses ha börjat påverka temperaturmätningarna på Observatoriekullen? Kartmaterial utgivet på 1730-talet och senare kan ge ledtrådar till svar på frågan. Nedan sammanfattas information från kartor tillsammans med uppgifter om Stockholmsbebyggelsens utveckling hämtad från Stockholms Stadsmuseum (1983).

I en karta ritad av stadsingenjören Petrus Tillaeus 1731 framgår att gatukvarter då omgav Observatoriekullen i sydlig och östlig riktning. Den överväldigande delen av malmarnas tomter var bebyggda med timmerhus. Många av dem upptogs också av stora trädgårdstomter. Av de stenhus som fanns låg merparten på Stadsholmen, nedre Norrmalm och norra Södermalm. Norr och väster om Observatoriekullen fanns ren landsbygd.

En i stort sett oförändrad stadsbild rådde under hela 1700-talet. Jämförelse mellan Tillaei karta och Akrels från 1803 visar att bebyggelseområdet under 1700-talet vidgats längs utfartsvägarna. Under hela 1700-talet uppförde framgångsrika borgare malmgårdar på spridda ställen på malmarna. På Stadsholmen och de närliggande delarna av malmarna skedde en förtätning av bebyggelsen. I Stockholms första byggnadsordning från 1725 föreskrevs stenbebyggelse för de viktigaste gatustråken och torgen på malmarna. 1763 utfärdades en ny byggnadsordning som föreskrev att trähus endast skulle få uppföras i utkanterna och där grundförhållandena var dåliga.

Många kvarter var under första halvan av 1800-talet fortfarande glest bebyggda och till och med mitt inne i Klara kunde ännu tomter ligga obebyggda. En förtätning av bebyggelsen skedde inom malmarnas centrala delar, men staden behöll under denna tid i huvudsak sitt 1700-talsutseende. Invånarantalet hade sedan första ordentliga folkräkningen 1749 (55 464 inv.) ökat endast mycket långsamt fram till 1840-talet, då den begynnande industrialismen satte fart på befolkningsutvecklingen (Fig. 2).

Under 1850- och 1860-talen skedde ett kommunalt, socialt, ekonomiskt och industriellt uppsving efter flera decennier av stagnation. Vattenledningsnät och avloppsnät byggdes ut i samband med ordnande av gatubeläggning. I Observatoriekullens närhet skedde en stor nybyggnad av hus i Adolf Fredriks församling. Kartan från 1862-67 utgiven av Brodin och Dahlman visar att bebyggelse i huvudsak förekom endast söder och öster om kullen. Norr och väster om kullen rådde fortfarande landsbygd, men några nya kvarter närmast väster om kullen hade uppförts.

1870-talet inleddes med en ansevärd inflyttning till huvudstaden från landsbygden. Industriinvesteringar skedde på bekostnad av bostadsbyggandet, vilket ledde till bostadsbrist trots att en stor utbyggnad skedde av bostäder i Klara och Jakobs församlingar, i trakten av Humlegården och på Södermalm i Maria församling och på Katarinaberget.

Med fortsatt inflyttning till huvudstaden ökade folkmängden kraftigt under 1880-talet. En utbyggnad av staden skedde med en byggnadsproduktion högre än någonsin tidigare. 1885 nåddes en topp ifråga om byggande (Fig. 3). Under 80-talet omgärdades Observatoriekullen av bebyggelse. Odengatan byggdes ut och Lundgrens karta från 1884 visar att Norrtullsgatan, Vegagatan och Upplandsgatan var bebyggda. Även inom Östermalm skedde stor utbyggnad under 80-talet.

Under 1890-talet och framåt fortsatte utbyggnaden av malmarna. Bentzers karta från 1913 visar att Observatoriekullen då var omgiven av bebyggelse i alla riktningar. Under 1900-talets första decennium byggdes bl a Birkastan, Odengatan, området kring Tegnérslunden och stora delar av Kungsholmen ut. 1930 hade Observatorielundens närmaste omgivning i stort sett sitt nuvarande utseende. Stadsingenjörkontorets karta från 1938-40 visar en stad så gott som helt utbyggd inom tullarna.

Här avbryts historien då avsikten med denna exposé är att få en uppfattning om en rimlig starttid för urbaniseringens inverkan på temperaturmätningarna vid observatoriet.

Min slutsats med ledning av information från kartor och litteratur är att före 1850 är temperaturmätningarna förmodligen i stort sett opåverkade av stadens förändring. Någon gång runt 1860, och speciellt de närmast kommande decennierna, torde stadens utbredning börja ha en märkbar inverkan på mätningarna. Det är en lycklig omständighet att vi från 1860 har möjlighet att jämföra temperaturen i Stockholm med flera andra orter. En sådan jämförelse presenteras i nästa avsnitt.

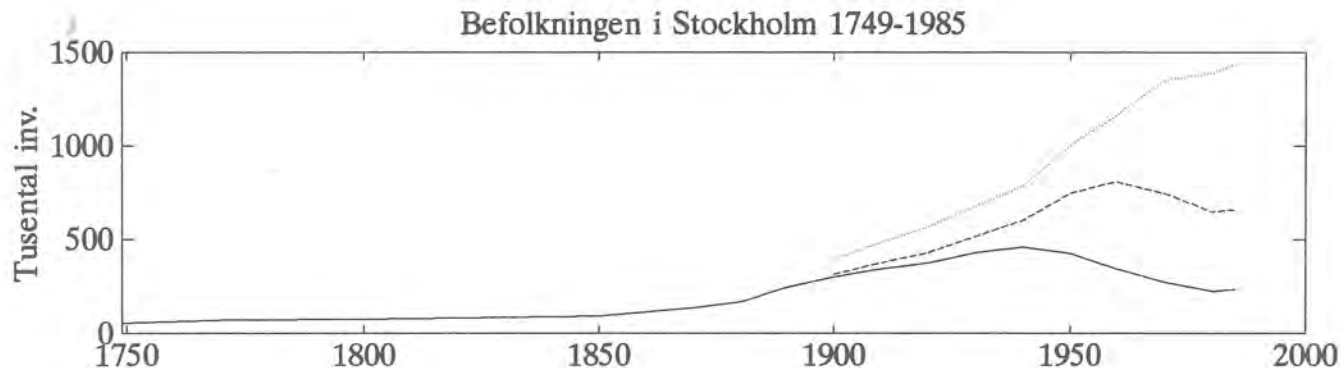


Fig. 2. Befolkningsutvecklingen i Stockholm efter första folkbokföringen 1749: Inre staden (heldragen), hela Stockholm inklusive Västerort och Söderort (streckad) samt Stor-Stockholm (prickad). Efter Stockholms Stadsmuseum (1983) och Johansson (1987).

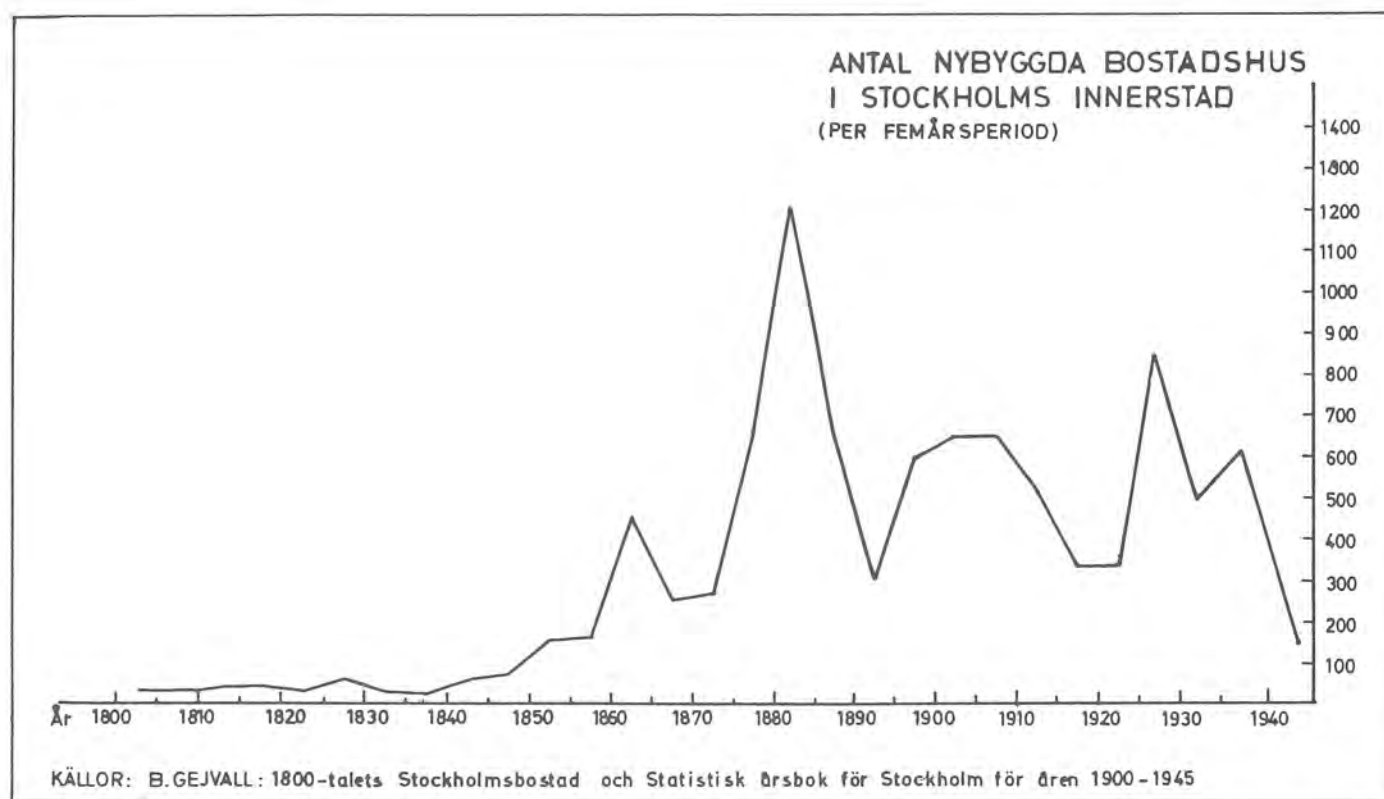


Fig. 3. Nyproduktion av bostadshus i Stockholms innerstad perioden 1800-1945. Efter Stockholms Stadsmuseum (1983).

5.3 Urbaniseringseffekten i Stockholm 1860-1990

Denna rapport handlar om en temperaturserie uppmätt vid en och samma plats under nästan 250 år. Seriens värde som indikator på historiska klimatförändringar är högt. Därför är det viktigt att känna till hur den mänskliga aktiviteten, som en följd av att stadsbebyggelsen förändrats, påverkat serien. Närmast följer här en presentation av en studie där denna påverkan undersöks. För att kunna detektera stadens påverkan, behövs jämförande studier med omgivande lantligt belägna observationsplatser. Förändringar i temperaturskillnad mellan Stockholm och dess omgivningar kan ses som ett mått på urbaniseringseffekten. Flera svårigheter måste dock beaktas.

Naturliga klimatvariationer kan antas påverka skilda platser på olikartat sätt. Därför fordras tillgång till mätstationer inom en sådan närhet till Stockholm att de dels ligger tillräckligt långt borta från staden för att vara opåverkade därav, dels att de ligger så

nära att de naturliga temperaturförändringarna mellan orterna är betydligt mindre än stadseffekten. Här föreligger en klar motsägelse mellan önskemålen.

Vidare behövs serier som tidsmässigt täcker hela eller stora delar av Stockholmsserien. De stationer som används vid en jämförelse får inte heller vara påverkade av förändringar från någon annan större bebyggelse.

Alla de krav på homogenitet som presenterats i föregående kapitel måste uppfyllas av de temperaturserier vi jämför med. Vi kräver således att dessa stationer inte flyttats under åren, att samma beräkningsformler använts som i Stockholm och att instrumenten varit placerade i samma typ burar.

Någon temperaturserie som uppfyller alla dessa krav existerar inte. De enda mätserierna som börjar på 1700-talet är de i Lund och Uppsala. Lund ligger för långt bort från Stockholm för att vara intressant. Uppsala ligger inom ett relevant avstånd, ca 65 km, men även denna mätserie är påverkad av urbanisering (Sundborg 1951, Taesler 1981).

År 1860 påbörjades meteorologiska mätningar vid ca 25 platser i landet, men tyvärr ligger de flesta i eller nära städer. Från 1880 och framåt blir tillgången till mätstationer bättre då observationsnätet utökades.

Ett stort problem är att olika beräkningsformler för månadsmedeltemperatur har använts under de år som undersökningen omfattar. För Stockholmsserien har Rubensons formel använts 1859-1905 och därefter Ekholms. För övriga svenska stationer har en formel av Edlund tillämpats åren 1859-1900 och därefter Ekholms (Andersson 1970).

Edlunds formel lyder (se beteckningar i kap. 4.2.3)

$$t_m = 1/7(t_8 + t_{14} + 5t_{21}).$$

Edlunds formel skiljer sig från både Rubensons och Ekholms i det att den används på samma sätt alla månader, medan de båda andra utnyttjar olika koefficienter olika månader. Johnson (1965) jämför Ekholms och Edlunds formler för flera svenska stationer och finner systematiska skillnader, som i vissa fall överstiger 0.5 °C. Lyckligtvis har Johnson beräknat medeltemperaturen för 15 svenska stationer för åren 1859-1900 med Ekholms formel, nämligen Lund, Karlshamn, Växjö, Visby, Göteborg, Skara, Askersund, Stockholm, Karlstad, Falun, Östersund, Umeå, Stensele, Haparanda och Jokkmokk. Hans arbete underlättar en jämförelse de olika orterna emellan över sekelskiftesgränsen.

5.3.1 Metodik

Ett flertal temperaturserier från stationer inom ett avstånd av 20 mil från Stockholm utvaldes som jämförelseobjekt. Temperaturdifferensen mellan Stockholm och varje utvald station beräknades år för år.

Tidsserier visande temperaturdifferenserna för årsmedel och de fyra årstiderna var för sig plottades i diagram (Fig. 5). I diagrammen markeras de årliga differenserna med kryss. Ett Gauss-lågpassfilter ($\sigma = 9$), heldragen kurva, eliminerar variationer av kortare period än ca 30 år (se kap. 3).

En uppåtgående trend i diagrammen innebär en ökning av temperaturen i Stockholm relativt omgivningarna. Nivån i y-led har justerats så att Gauss-kurvan alltid börjar med värdet noll. Därmed kan den totala förändringen lätt avläsas.

Den långsiktiga trenden och spridningsmönstret hos de årliga observationerna har studerats visuellt. Den linjära trenden under olika perioder har beräknats genom linjär regression, och uppställts i tabeller.

Serier som kan antas vara särskilt bra jämförelseobjekt valdes ut efter tolkning av diagram och tabeller. Jag har därvid tillämpat hypotesen att för de stationer som är relativt lite påverkade av andra faktorer än naturliga storskaliga klimatvariationer, bör diagrammen ha ett likartat utseende. De stationer med olika typer av inhomogeniteter eller kraftiga lokala klimatvariationer förmodas avvika.

Slutligen vägdes några utvalda serier samman till en enda serie omfattande perioden 1860-1990. Förändring i temperaturskillnad mellan Stockholm och denna referensserie betraktas som ett mått på urbaniseringseffekten vid gamla observatoriet.

I denna undersökning har uteslutande temperaturserier beräknade med Ekholms formler använts för stationerna utanför Stockholm. Jag har således ersatt de officiella serierna med de av Johnson beräknade där så varit möjligt. För serier där denna möjlighet saknas, har jag inte tagit med observationer före 1901. För Stockholms del har den officiella serien med Rubensons formel 1860-1905 använts. Jag har jämfört resultatet med det som fås då Ekholms formel används även för Stockholm åren 1860-1900, men finner endast obetydlig skillnad.

5.3.2 Urval av stationer

En stationsförteckning med tillhörande karta (Eriksson 1982) användes vid ett första urval. God hjälp i detta skede hade jag även av meteorologerna Haldø Vedin och Hans Alexandersson. Stationerna utvaldes enligt kriterierna:

- * Närhet till Stockholm
- * Lång observationsserie
- * Liten förmodad urbaniseringseffekt.

Ett ytterligare önskemål var att uppnå lika fördelning mellan kust- och inlandsstationer.

Ingen station uppfyller alla krav tillfullo, varför olika kompromisser måste göras. Nära Stockholm finns endast två stationer med relativt långa serier. Experimentalfältet, ca 2.5 km norr om gamla observatoriet användes åren 1882-1960. Serien har förmodligen en betydlig påverkan av urbanisering (kap. 5.1.2) och har därför inte använts här. Vid Farsta på Värmdölandet, ca 20 km öster om Stockholm, mättes temperaturen 1901-1970. Farstaserien ingår i denna studie.

Några kortare serier i Stockholms närmaste omgivning togs också med i första skedet.

De riktigt långa serierna som startar 1860 finner vi närmast på ett avstånd av ca 200 km från Stockholm.

Sammanlagt utvaldes 17 stationer (Tab. 4 och Fig. 4) vid den första selektionen. Temperaturdifferensen mellan Stockholm och varje station beräknades och plottades i diagram.

Tre serier befanns ha homogenitetsbrott; Idkerberget, Bjärka-Säby och Farsta. De två förstnämnda uteslöts från vidare analys. Däremot behölls Farstaserien då jag bedömde att serien utgör ett gott jämförelseobjekt, bortsett från en diskontinuitet 1935-36.

Jämförelse med de kortaste serierna, som börjar 1942 eller senare, visar i samtliga fall en liten relativ ökning hos Stockholmstemperaturen. Serierna har på grund av sin ringa längd inte närmare analyserats.

Tab. 4. Stationer som valts ut som jämförelseobjekt vid studie av urbaniseringseffekten i Stockholm. Årtal anger period då stationen varit i bruk.

Visby	1860-1983	Högsjö	1904-1990
Falun	1860-1990	Bjärka-Säby	1915-1983
Askersund	1860-1960	Väddö	1916-1971
Sv. Högarna	1880-1990	Idkerberget	1925-1990
Landsort	1880-1990	Ulvhäll	1937-1989
Stjärnsund	1882-1982	Nyckelby	1942-1971
Ultuna	1896-1990	Barkarby	1944-1972
Farsta	1901-1970	Riksten	1950-1984
		Röskär	1953-1978

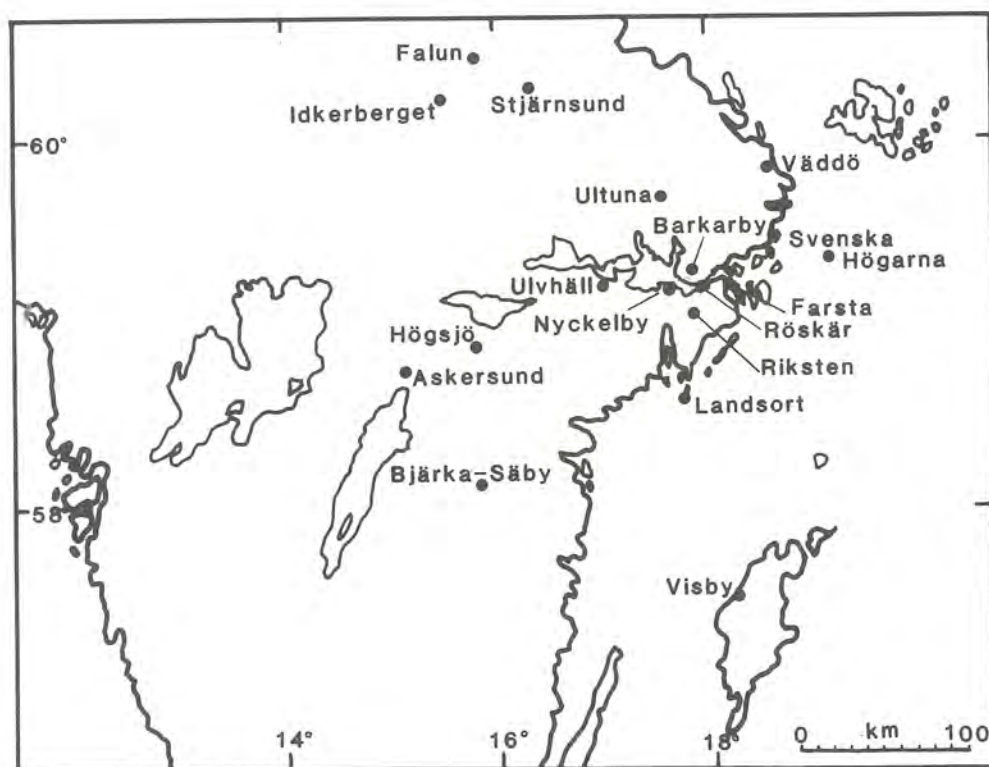


Fig. 4. Positioner för stationerna i Tab. 4.

Resultatet från de åtta längsta serierna visas i Fig. 5 och Tab. 5. Några kommentarer förtjänar också de serier som undersökts, men inte redovisas på grund av mindre längd. Ulvhäll ger liknande resultat som Högsjö, förutom under våren då Stockholm uppvisar större uppvärmning relativt Högsjö. Väddö ger liknande resultat som Svenska Högarna. Även Farstaserien ger ett resultat liknande Svenska Högarna, bortsett från diskontinuiteten 1935-36.

Nedan följer kommentarer om de åtta längsta stationerna. För ytterligare information, se Andersson (1970) och Johnson (1965).

Visby. Stationen bytte läge 1937. Termometern flyttades 5 gånger inom det första läget. Fristående termometerbur infördes i juli 1941. 1860-1900 har jag utnyttjat Johnsons beräkningar av månadsmedel enligt Ekholms formel.

Falun. Stationen bytte läge 1863, 1897, 1903, 1947 och 1984. Under de första 80 åren skedde flera förflyttningar av termometern inom de olika lägena. 1896 infördes fönsterbur, och 1937 fristående bur.

Flyttningen 1947 skedde till ett betydligt kallare läge. Johnson beräknade temperaturskillnaderna:

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	År
0.6	0.9	0.7	0.6	0.6	0.4	0.6	0.2	0.4	0.7	0.7	0.9	0.61

Samtliga månader är kallare på det senare läget. Johnson anger skillnaden för november till 1.7 °C, men jämförelse med närbelägna Stjärnsund visar att detta förmodligen är ett feltryck.

Även förflyttningen 1984 skedde till en svalare plats (Haldo Vedin, pers. komm.). Jag har använt Falu-serien 1860-1983, med Ekholms formel beräknade av Johnson 1860-1900 och med Johnsons korrektion för flyttningen 1947.

Askersund. Före 1931 flyttade stationen mellan ett flertal lägen. 1931 infördes fristående bur. Ekholms formel 1860-1900 enligt Johnson har använts.

Svenska Högarna och Landsort. Utrustades troligen med fristående bur under 1880-talet. Termometerhöjden har ändrats vid några tillfällen. Inga beräkningar enligt Ekholms formel finns före 1901.

Stjärnsund. Inga beräkningar med Ekholms formel finns före 1901. Några luckor i serien under senare år har fyllts via interpolation från närliggande stationer av SMHI.

Ultuna. En del flyttningar har förmodligen medfört smärre homogenitetsbrott. Inga beräkningar med Ekholms formel finns före 1901.

Högsjö. Inga värden finns 1915 och 1921-1924. Jag har fyllt dessa luckor via interpolation från närbelägna Askersund. 30 års överlappande värden har därvid utnyttjats för beräkning av korrektionstal.

5.3.3 Resultat och diskussion

En ökning av årsmedeltemperaturen i Stockholm observeras relativt samtliga stationer (Fig. 5). Ökningen pågår från 1860 fram till ca 1970, varefter en relativt stabil nivå råder. Jag tolkar detta som en indikation på att urban uppvärmning vid Stockholms gamla observatorium pågått åtminstone sedan 1860.

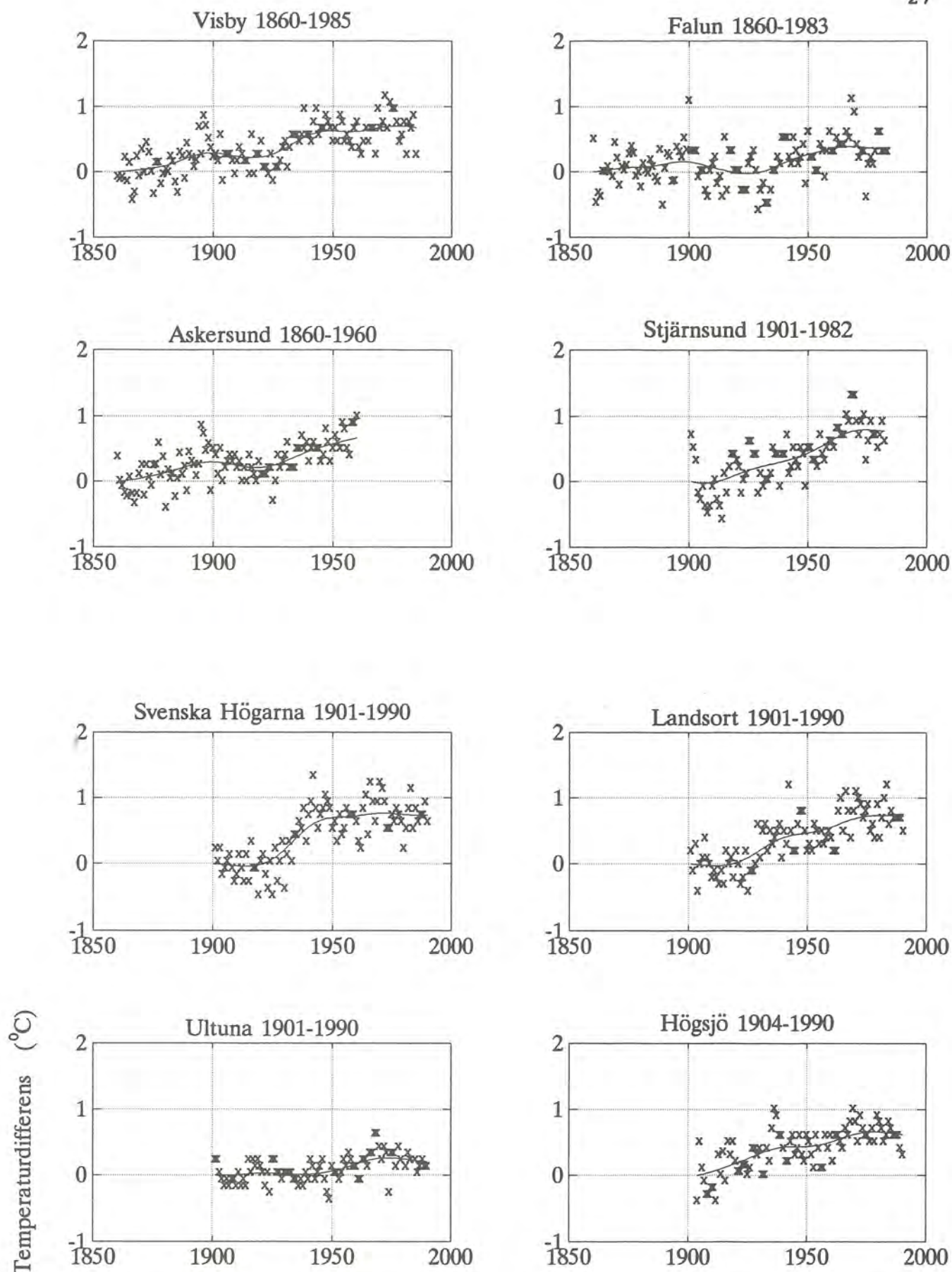
Naturliga klimatförändringar har påverkat olika stationer i olika hög grad. Därför är det svårt att med säkerhet bestämma storleken av urbaniseringseffekten, speciellt då de olika årstiderna betraktas. Även beträffande årsmedeltemperaturen har stationerna påverkats olika. Alexandersson et al. (1991) redovisar skillnader mellan olika regioner inom undersökningsområdet på upp till ca 0.2 °C mellan perioderna 1931-60 och 1961-90.

Tab. 5 visar den linjära ökningen för temperaturskillnaden mellan Stockholm och övriga stationer stationsvis. Perioden 1901-1970 har utvalts som huvudsaklig undersökningsperiod, eftersom ökningen förefaller ha avstannat efter 1970. Stationerna har uppställts efter fallande värden i kolumnen för årsmedelvärden. Den linjära ökningen redovisas också för perioderna 1860-1900, 1860-1970 samt 1971-1990 för de serier som omfattar dessa perioder.

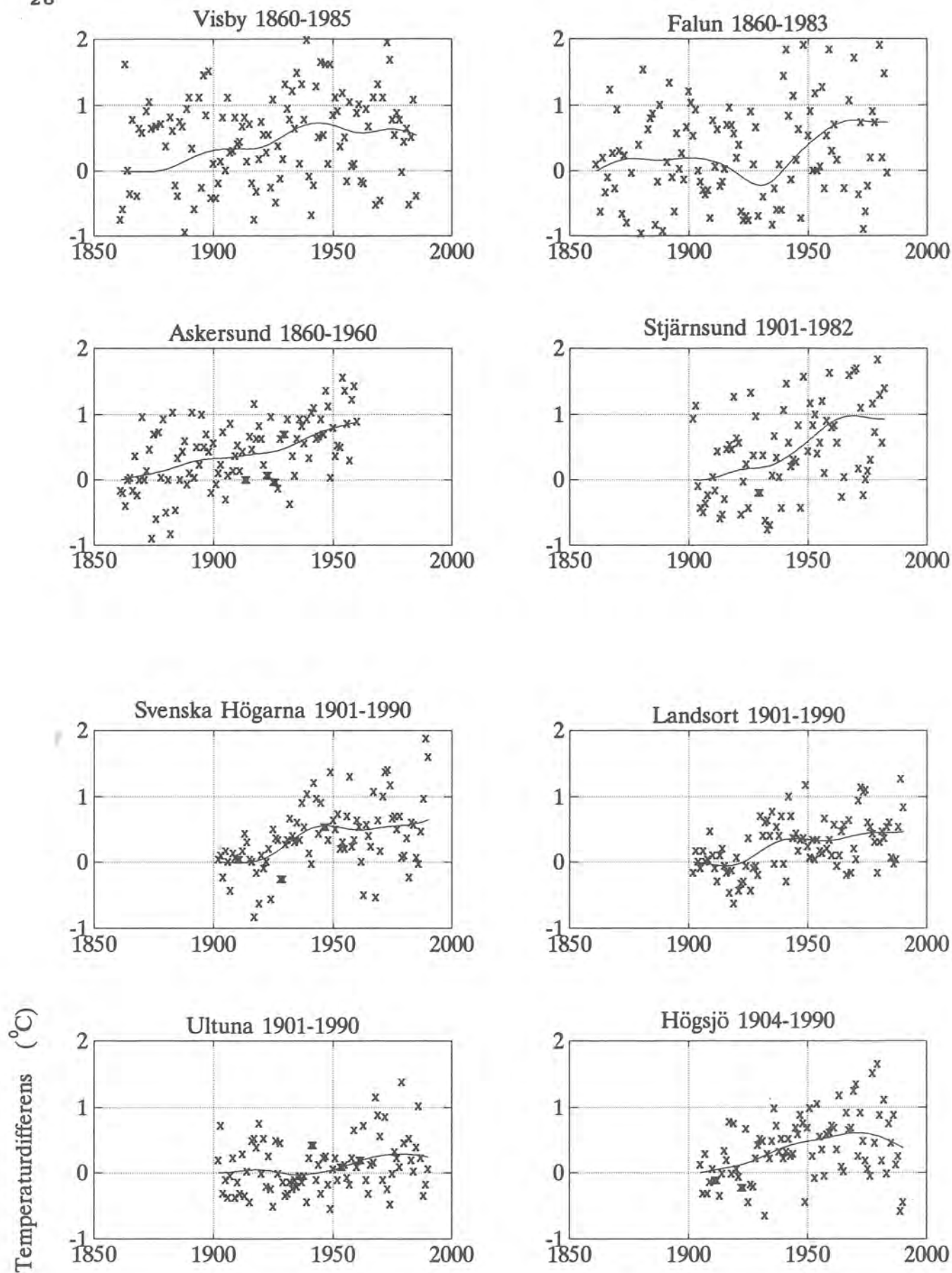
Tab. 5. Linjär ökning ($^{\circ}\text{C}/\text{år}$) av temperaturskillnaden mellan Stockholms gamla observatorium och omgivande stationer.

Station	År	Vinter	Vår	Sommar	Höst
Period 1901-1970					
Svenska Högarna	0.017	0.009	0.028	0.014	0.017
Stjärnsund	0.014	0.021	0.011	0.015	0.008
Landsort	0.012	0.006	0.018	0.014	0.012
Högsjö (1)	0.010	0.013	0.009	0.016	0.003
Askersund (2)	0.010	0.013	0.010	0.009	0.006
Falun	0.009	0.018	0.004	0.013	0.001
Visby	0.008	0.002	0.014	0.005	0.010
Ultuna	0.004	0.004	0.006	0.004	-0.002
Period 1860-1900					
Visby	0.013	0.014	0.018	0.014	0.006
Askersund	0.012	0.015	0.009	0.019	0.010
Falun	0.009	0.009	0.004	0.014	0.013
Period 1860-1970					
Visby	0.006	0.006	0.010	0.003	0.006
Askersund (2)	0.006	0.009	0.005	0.007	0.005
Falun	0.003	0.006	-0.001	0.008	0.001
Period 1971-1990					
Svenska Högarna	-0.002	-0.003	0.016	-0.013	-0.006
Ultuna	-0.006	-0.005	-0.006	-0.011	-0.001
Landsort	-0.007	-0.018	0.019	-0.025	0.004
Högsjö	-0.009	-0.038	0.006	-0.008	-0.000
(1) 1904-1990 (2) 1860-1960					

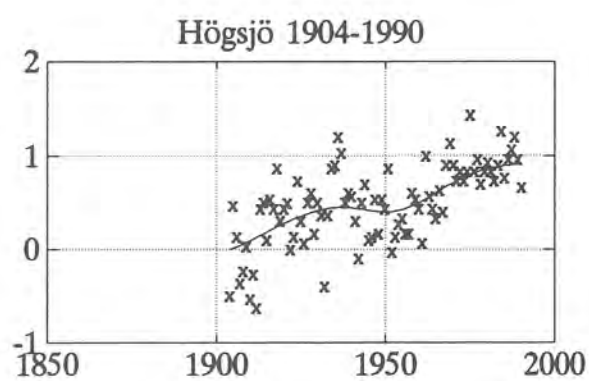
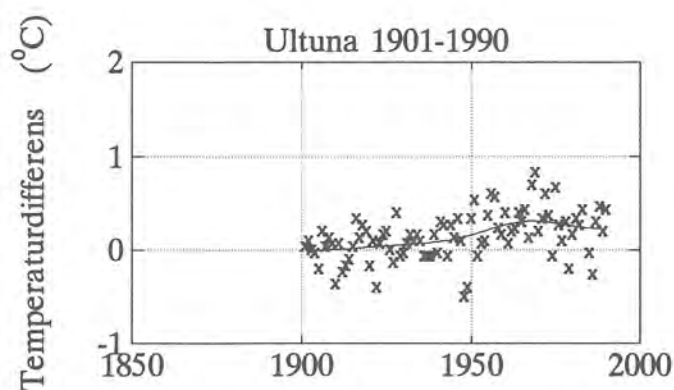
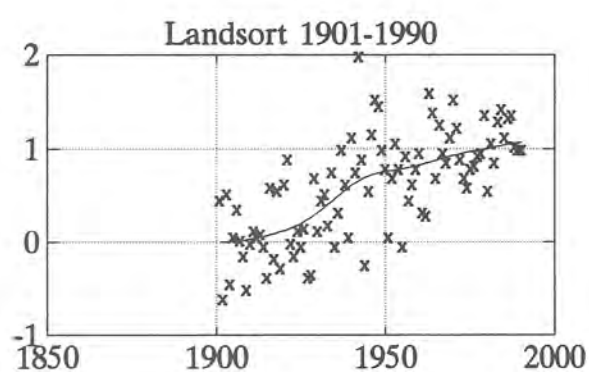
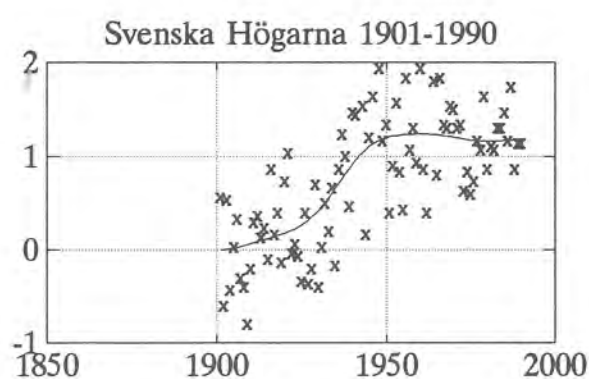
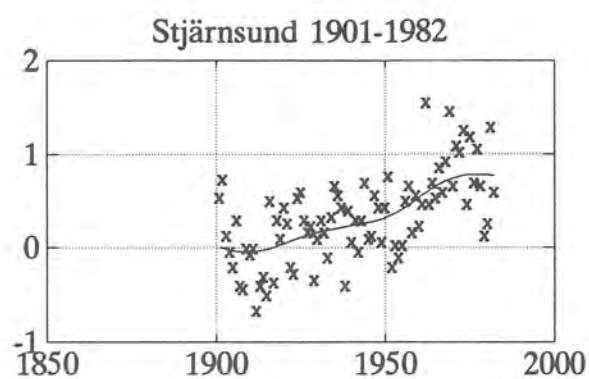
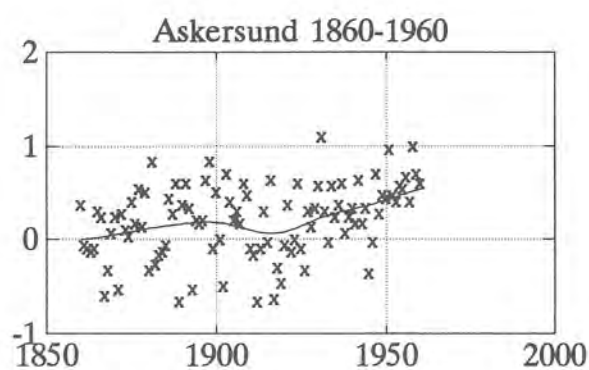
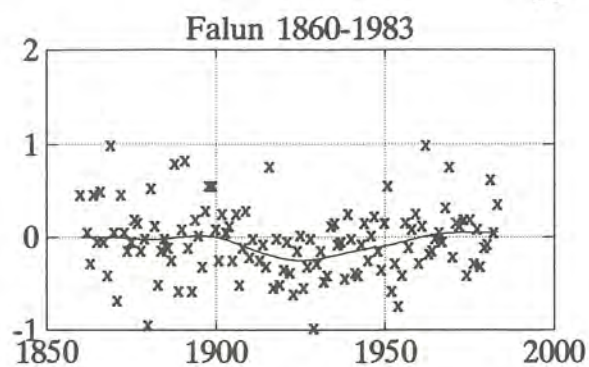
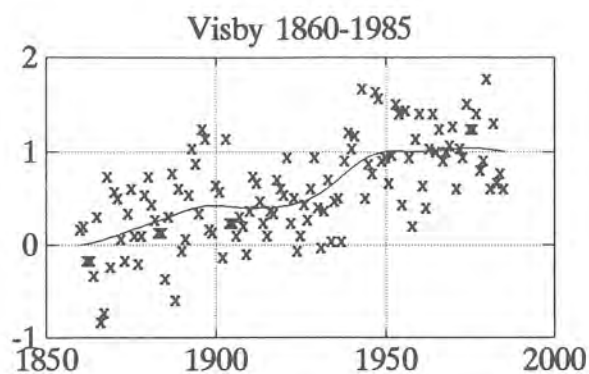
Fig. 5. Temperaturdifferens mellan Stockholm och omgivande stationer. Årlig skillnad markerad med kryss. Gauss-filtrerad kurva ($\sigma = 9$) heldragen. Nivån i y-led är justerad så att Gauss-kurvan alltid börjar med värdet noll. (a) Årsmedel, (b) Vinter, (c) Vår, (d) Sommar, (e) Höst.



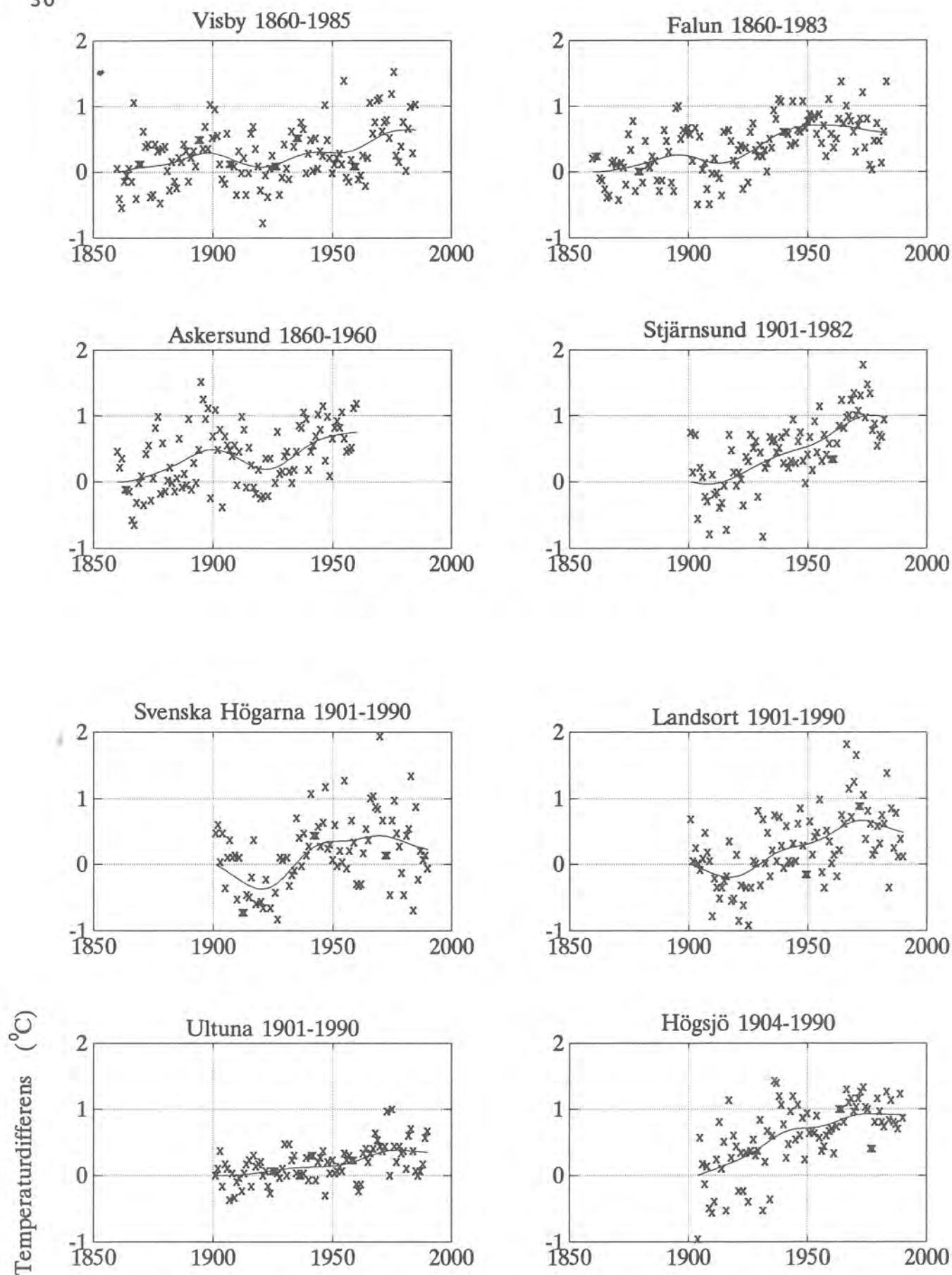
(a) Årsmedel



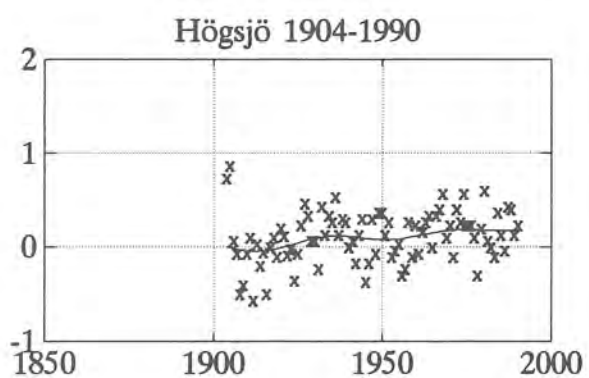
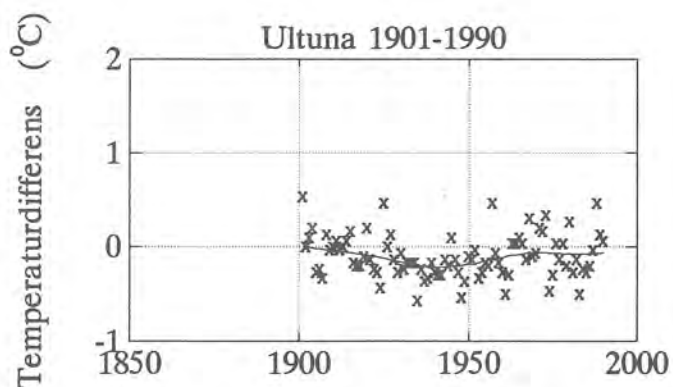
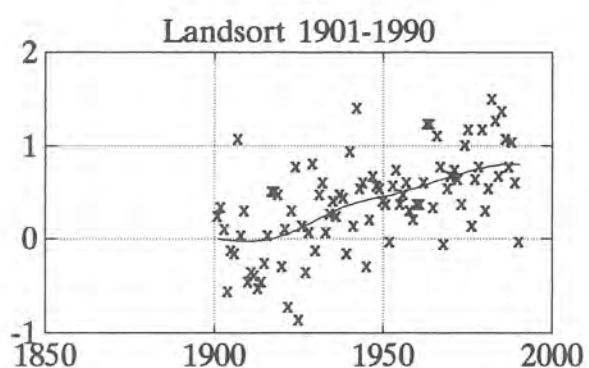
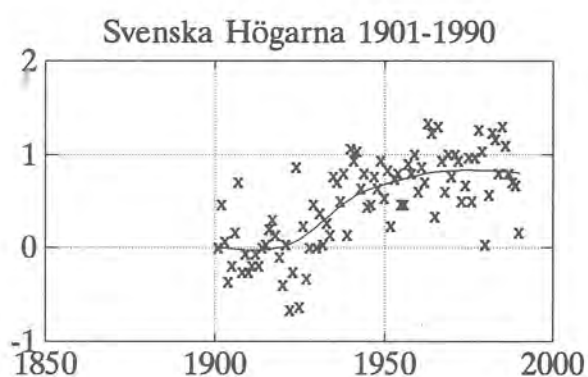
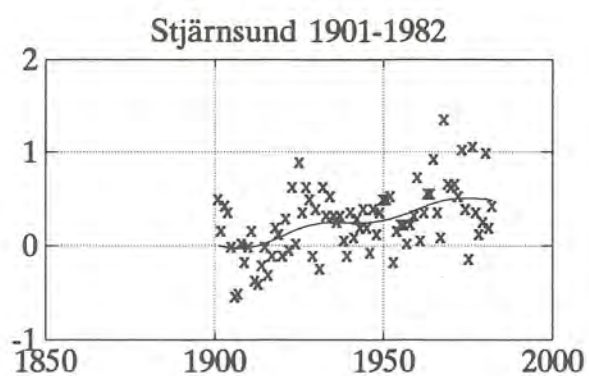
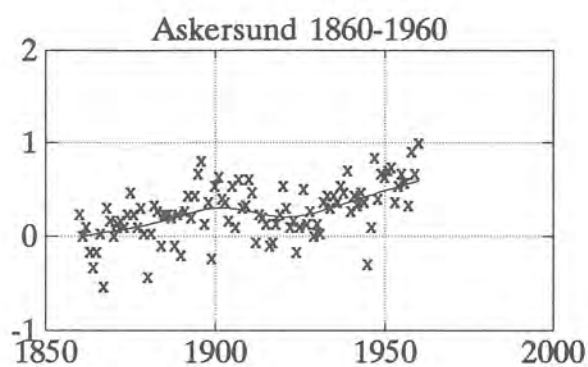
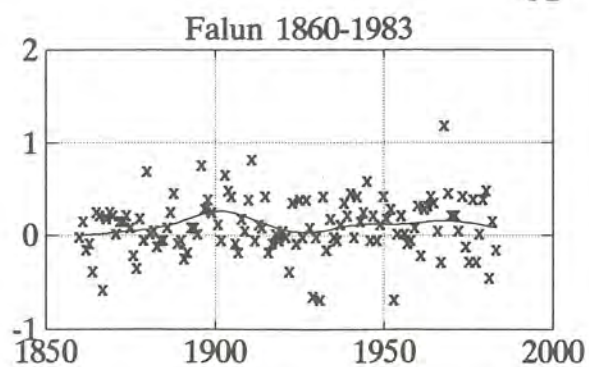
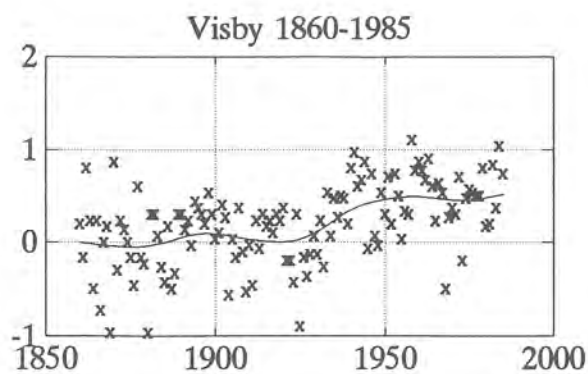
(b) Vinter, DJF



(c) Vår, MAM



(d) Sommar, JJA



(e) Höst, SON

Urbaniseringseffekt i mindre städer

Följande indelning av stationerna i olika grupper gör det lättare att iaktta detaljerna i Tab. 5. Svenska Högarna, Landsort och Visby utgör en grupp som representerar kusten. Falun och närbelägna (ca 35 km) Stjärnsund, som båda ligger i nordvästlig riktning från Stockholm, bildar en grupp och Askersund och Högsjö (ca 45 km avstånd sinsemellan) utgör en grupp i sydvästlig riktning. Ultuna ligger i nordlig riktning, och betraktas separat.

En studie av uppvärmningen i Stockholm relativt övriga stationer visar några systematiska skillnader inom grupperna.

Bland kuststationerna är ordningsföljden samtliga årstider: Svenska Högarna - Landsort - Visby.

Stjärnsund ger samtliga årstider högre värden än Falun.

Högsjö och Askersund ger omväxlande högre respektive lägre värde på relativ uppvärmning.

Falun är den största tätorten i undersökningsgruppen och det finns skäl att misstänka en viss urbaniseringseffekt för stationen. Jämförelsen med Stjärnsund tyder på att så är fallet. Även Visby förefaller ha påverkats av urbanisering, eftersom stationen samtliga årstider ger lägre värden än de övriga kuststationerna. Falun och Visby placerar sig som nummer tre respektive två från slutet i kolumnen för årsmedelvärde i Tab. 5, vilket ytterligare styrker misstanken att de är påverkade av urbanisering. Askersund, den tredje tätorten bland de utvalda stationerna, förefaller inte vara utsatt för någon betydande påverkan av urbanisering eftersom stationen uppvisar stor likhet med Högsjö.

Ultuna ger under perioden 1901-70 för alla årstider det minsta värdet bland samtliga stationer. En tänkbar förklaring är en kombination av ökad bebyggelse i närheten av observationsplatsen tillsammans med att flera förflyttningar av stationen kan ha skett mot något varmare lokaler (Alexandersson, pers. komm.). Närheten till Uppsala kan möjligen också ha betydelse.

Denna studie antyder således att urbaniseringseffekt även hos mindre orter kan utgöra en felkälla vid bestämmandet av effekten i Stockholm.

Skillnader olika årstider

Att bestämma den urbana uppvärmningen i Stockholm årstidsvis är problematiskt på grund av naturliga lokala och regionala klimatförändringar. Vintern är den årstid som vållar de största problemen. Av diagrammen i Fig. 5 framgår tydligt att spridningen hos de årliga differenserna är störst under vintern. Detta är naturligt eftersom temperaturen i Sverige har större varians vintertid än övriga årstider.

Alexandersson och Eriksson (1989) visar att tryckgradienten mellan norra och södra Sverige har minskat vintertid mellan 1910 och 1950. Detta har inneburit en avtagande påverkan av västvindar med mild Atlantluft. Kall luft från norr och öster har istället ökat i betydelse.

Ökad förekomst av kalla luftmassor påverkar inlandsområden mer än kustområden, där öppet hav motverkar avkylning. Förändringen av tryckgradienten skulle alltså kunna leda till att inlandet avkyls mer än kusten. En sådan förändring har också observerats inom undersökningsområdet för december månad mellan perioderna 1931-60 och 1961-90 (Alexandersson et al. 1991). Inlandstemperaturen har blivit ca 0.5 °C kallare jämfört med den i kustområdena.

Johnson (1965) finner å andra sidan att ett brett kustområde från Stockholm ner till Västervik, omfattande även Gotland, mellan perioderna 1901-30 och 1929-58 uppvisat en ökning i kontinentalitet gentemot Svealands och norra Götalands inland, dvs kustområdet har fått lägre vintertemperatur och högre sommartemperatur relativt inlandet.

Även övriga årstider finns lokala och regionala variationer i temperaturklimatets utveckling, men dessa är mer oregelbundna.

De naturliga lokala och regionala skillnaderna påverkar resultatet av denna undersökning. Variationsbredden mellan högsta och lägsta värde på relativ uppvärmning under perioden 1901-70 varierar därför starkt mellan olika årstider, även om vi begränsar oss till de stationer som kan antas vara opåverkade av urbanisering; Svenska Högarna, Landsort, Högsjö och Stjärnsund.

Några systematiska iakttagelser kan göras i Tab. 5:

Jämförelse med de tre kuststationerna ger högsta värdet på relativ uppvärmning under våren och lägsta värdet under vintern. De tre inlandsstationerna Falun, Stjärnsund och Askersund ger istället högsta värdet vintertid, medan lägsta värdet förekommer under hösten.

Ingen station ger högsta värdet på relativ uppvärmning under hösten.

Ingen station ger lägsta värdet under våren eller sommaren.

Vår och höst är uppvärmningen större relativt kuststationerna än relativt samtliga inlandsstationer. Vintertid är förhållandet omvänt (Ultuna undantaget).

Referensserie

För att erhålla ett mått på urbaniseringseffekten i Stockholm, måste ett medelvärde av flera stationer i olika riktningar från Stockholm, representerande både kust- och inlandsområden, användas. Detta är en direkt följd av närmast föregående diskussion. Jag har därför konstruerat en referensserie omfattande hela undersökningsperioden 1860-1990, där sex stationer utnyttjats.

Åren 1860-1900 har stationerna Visby och Askersund använts. Båda stationerna förmodas vara relativt lite påverkade av urbanisering under denna period. Åren 1901-1990 har stationerna Svenska Högarna, Landsort, Högsjö och Stjärnsund använts. Lika fördelning mellan kust- och inlandsstationer har uppnåtts. Stationerna är fördelade i olika riktningar från Stockholm. Ingen station förmodas ha betydande påverkan av urbanisering.

Referensserien består av aritmetiska medelvärdet av de två respektive fyra ingående seriernas månadsmedeltemperaturer. De två delarna har fogats samman till en genom att medelvärdet av temperaturskillnaden under 10 överlappande år har adderats till ena delen. Temperaturdata för Visby åren 1866-90 samt för Stjärnsund 1883-90 har beräknats av SMHI via interpolation från närliggande stationer. Värden för Högsjö 1901-03 har jag interpolerat från Askersund.

Temperaturdifferensen mellan Stockholm och denna referensserie betraktas som ett mått på urbaniseringseffekten vid Stockholms gamla observatorium åren 1860-1990. Resultatet framgår av Fig. 6 samt Tab. 6 och 7.

Noggrannheten i resultatet begränsas främst av inhomogeniteter hos de utnyttjade stationerna och att naturliga regionala klimatförändringar eventuellt inte utjämnats tillräckligt med användande av så få stationer.

Slutresultat

En uppvärmning i Stockholm relativt referensserien observeras alla årstider mellan 1860 och 1970. Efter 1970 förändras trenden, och ingen ytterligare uppvärmning observeras utom för våren. De senaste 20 åren visar i stället en svag minskning relativt referensserien. Framtiden får utvisa om denna minskning blir bestående eller, vilket jag förmodar, är en del av en fluktuation kring ett jämviktsläge.

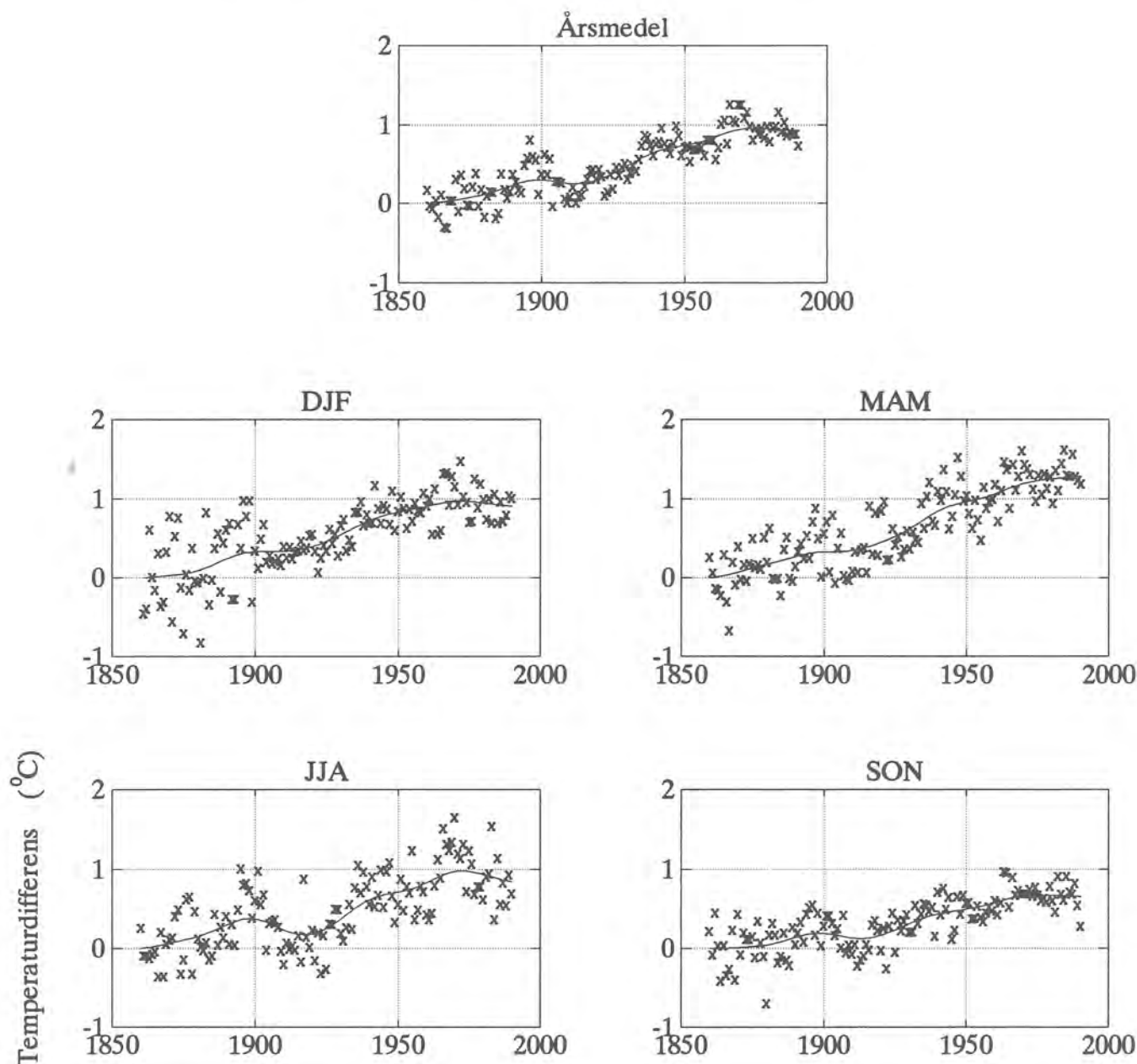


Fig. 6. Temperaturdifferens mellan Stockholm och en referensserie bestående av stationerna Visby och Askersund 1860-1900 samt Svenska Högarna, Landsort, Högsjö och Stjärnsund 1901-1990. Beteckningar som i Fig. 5.

I samtliga diagram syns en utplaning eller minskning av ökningen ca 1900-1920. För sommaren är förändringen så kraftig (t o m en tillfällig negativ trend) att en inhomogenitet av något slag måste misstänkas. Fenomenet kan inte vara en artefakt på grund av att referensserien består av en del före 1901 och en annan därefter, eftersom det kan observeras vid jämförelse med samtliga stationer.

Den linjära relativa uppvärmningen under perioden 1860-1970 omräknad i absolut temperaturökning är $+1.0^{\circ}\text{C}$ för årsmedeltemperaturen. Storleksordningen är jämförbar med de Landsberg redovisar för Paris, Cleveland, Boston och Kew utanför London. Den totala linjära ökningen för de fyra årstiderna visas i Tab. 7.

Tab. 6. Linjär ökning ($^{\circ}\text{C}/\text{år}$) av temperaturskillnaden mellan Stockholms gamla observatorium och en referensserie bestående av data från sex omgivande stationer.

Period	År	Vinter	Vår	Sommar	Höst
1860-1900	0.013	0.014	0.013	0.016	0.008
1860-1970	0.009	0.010	0.012	0.009	0.006
1901-1970	0.013	0.013	0.016	0.014	0.010
1971-1990	-0.007	-0.012	0.008	-0.021	-0.005

Tab.7. Total linjär ökning ($^{\circ}\text{C}$) av temperaturskillnaden mellan Stockholms gamla observatorium och en referensserie bestående av data från sex omgivande stationer under perioden 1860-1970.

År	Vinter	Vår	Sommar	Höst
1.0	1.1	1.3	0.9	0.7

5.3.4 Slutsatser

Den totala effekten av urban uppvärmning av årsmedeltemperaturen vid Stockholms gamla observatorium uppgår troligen till $1,0^{\circ}\text{C}$ under perioden 1860-1990. Jag betraktar talet som en god uppskattning. Detta grundas främst på det visuella intrycket av jämförelsen med de serier som förmodas vara opåverkade av urbanisering. En mindre del av den observerade relativa ökningen kan eventuellt bero på att vegetationen på Observatoriekullen blivit lummigare med tiden (Alexandersson, pers. komm.)

Då de fyra årstiderna studeras var för sig blir osäkerheten större, men det förefaller som om den urbana uppvärmningen är störst på våren och minst på hösten. Landsberg betonar strålningsfaktorernas betydelse, och att hög molnighet i allmänhet medför mindre lokal urban påverkan på temperaturen.

Som mått på molnigheten kan den uppmätta utstrålningen från jordytan mot världsrymden användas. Denna är beroende framförallt av molnigheten. Utstrålningen för Stockholmsområdet varierar under året, med ett flackt maximum under månaderna maj-augusti. Vintermånadernas större molnighet ger ett minimum i december (Ångström 1968).

Jag skall göra ett försök till slutsats beträffande orsakerna till observerade skillnader i urban uppvärmning olika årstider, även om jag anser att de absoluta talen är osäkra.

Vintertid, då molnigheten är hög, kan förmodligen en del av den stora effekten bero på uppvärmning av byggnader. En annan tänkbar betydande faktor är strålningsklimatet. Enstaka nätter med klar himmel under en längre period med molnigt väder kan påverka medelvärdet av temperaturdifferensen gentemot omgivningarna märkbart (Vedin, pers. komm.).

Vårens höga värde beror förmodligen på relativt stor betydelse av vädersituationer med klart väder i kombination med antropogent värmetillskott. Den senare faktorn är förmodligen betydande under den kallaste månaden mars.

Att sommaren får ett högre värde än hösten torde bero på mindre molnighet och mer stabila högtryckssituationer under sommaren.

Höstens låga uppvärmning förmodas bero på kombinationen av hög molnighet och relativt litet antropogent värmetillskott.

6 DISKUSSION OCH REKOMMENDATIONER

Stockholms temperaturserie har skiftande kvalitet under olika perioder. Vad beträffar instrument och instrumentplacering är homogeniteten så god som man kan begära av en så lång serie. När det gäller mätningarnas utförande förekommer under de äldsta delarna både oregelbundenheter och osäkerheter, som gör det svårt att före 1816 beräkna månadsmedeltemperaturen med god precision. Efter 1858 har serien hög kvalitet.

Stockholmsserien har och förtjänar en plats i den internationella litteraturen som en indikator på klimatförändringar i historisk tid. Jag anser att seriens position kan och bör stärkas ytterligare, genom att nyberäkningar av månadsmedeltemperaturer görs till och med 1858. Detta är emellertid ett tidsödande och svårt arbete.

Hambergs antagande

Först måste det utredas om Hamberg verkligen hade rätt när han antog att journalerna är konsekvent felaktigt förda under perioden 1797-1815.

Hamberg har säkert tänkt över problemet ordentligt innan han publicerade sitt antagande, men det är ju ändå möjligt att den förändring i differens mellan morgon- och middagstemperatur han observerar faktiskt beror på en naturlig klimatförändring. Jones och Bradley (1992) noterar att de två första decennierna under 1800-talet förefaller ha varit ovanligt kalla i hela Europa, eventuellt stora delar av norra hemisfären, och att denna kalla period följs av en varm period under 1820-talet. Detta indikerar att det skedde en omfattande regional klimatsvängning under den period Hamberg upplever som problematisk.

Resultatet av Hambergs antagande blir, om det är felaktigt, att för hög temperatur beräknats särskilt under sommaren. Bäst sättet att kontrollera antagandet är att studera originalhandlingar, och leta efter något som antingen stöder eller motsäger Hambergs antagande. Ett enklare, men mer osäkert sätt, är att jämföra med andra gamla temperaturserier och indirekta klimatindikatorer.

Indikationer på kalla somrar i Skandinavien under 1800-talets första decennier finns hos trädringsdata från norra Skandinavien (Briffa et al. 1992) och framryckande glaciärer (Karlén 1988). Temperaturdata från grannstaden Uppsala tyder däremot inte på särskilt kalla somrar under denna period.

Bergström (1990) redovisar nyberäkningar av Uppsalatemperaturen ända tillbaka till 1722. Hans diagram över bl a differensen mellan årsmedeltemperatur i Uppsala och Stockholm, visar inga tydliga tecken på att Hamberg skulle ha fel i sitt antagande.

Uppsalaserien är den geografiskt mest närbelägna serien som existerar från den tiden, så något bättre jämförelseobjekt finns knappast. Tyvärr är en jämförelse de båda serierna emellan inte helt problemfri, då det även för Uppsala råder osäkerhet beträffande exakta observationstider åren 1790-1831.

Nya beräkningar bör göras för perioden 1756-1858

När, och om, vi får klarhet om Hambergs antagande, kan förmodligen en nyberäkning av temperaturen åren 1782-1858 med moderna formler förbättra seriens kvalitet. Först måste nya koefficienter beräknas för observationstiderna kl. 6, 14 och 21. Därefter vidtar ett omfattande studium av journaler från denna tid. Före 1782 är ett sådant arbete mycket svårt, men det är en utmaning!

En möjlighet att testa serien åren 1756-1770 erbjuds i observationerna som publicerades i Stockholms Weckoblad. Nyberg (1992) har jämfört serierna några utvalda år, och drar slutsatsen att Weckobladsserien har väl så god kvalitet.

Korrektion för urbaniseringseffekten och Hambergs antagande

Om serien skall användas som mått på naturliga klimatförändringar, måste den också korrigeras för urbaniseringseffekten. Denna kan bestämmas med större säkerhet om ett större antal stationer utnyttjas än jag använt. Jag anser att det är en angelägen uppgift att parallellt med den officiella temperaturen, den som verkligen observeras vid gamla observatoriet, utge en korrigerad serie som visar den "naturliga" temperaturen, såsom den skulle varit om inte staden funnits.

I Fig. 7 visas hur temperaturkurvan förändras efter korrektioner dels för att Hamberg eventuellt skulle ha fel, och dels för urbaniseringseffekten 1860-1990. I det förra fallet har jag utnyttjat samma korrektion för perioden 1797-1815 som Hamberg använder före och efter. I det senare fallet har jag applicerat en linjär korrektion åren 1860-1970 (enligt andra raden i Tab. 6) och därefter konstant korrektion (enligt Tab. 7). Den ökning av årsmedeltemperaturen som observeras i den "officiella" serien från 1850 och framåt minskar efter korrektionen och den mest utjämnade kurvan indikerar att nivån varit i stort sett oförändrad under hela den tid mätningarna pågått. Korrektionen för urbanisering de olika årstiderna är som sagts mer osäkra. Jag väljer ändå att redovisa dessa, och låter figurerna tala för sig själva. Osäkerheten om Hambergs antagande får stor betydelse för sommaren. Hösten och vintern påverkas knappast alls. För våren och årsmedel blir skillnaden märkbar, men inte av större betydelse.

Långa temperaturserier i globalt perspektiv

I Jones och Bradleys jämförelse av långa temperaturserier utmärker sig Stockholmsserien för den högsta långsiktiga temperaturökningen bland de europeiska serierna från Berlin, Central England, Geneve, Leningrad och Trondheim (Jones och Bradley 1992, Tab. 13.2, sid. 254). Efter korrektion för urbaniseringseffekten placerar sig Stockholmsserien i ett medelläge bland de undersökta serierna.

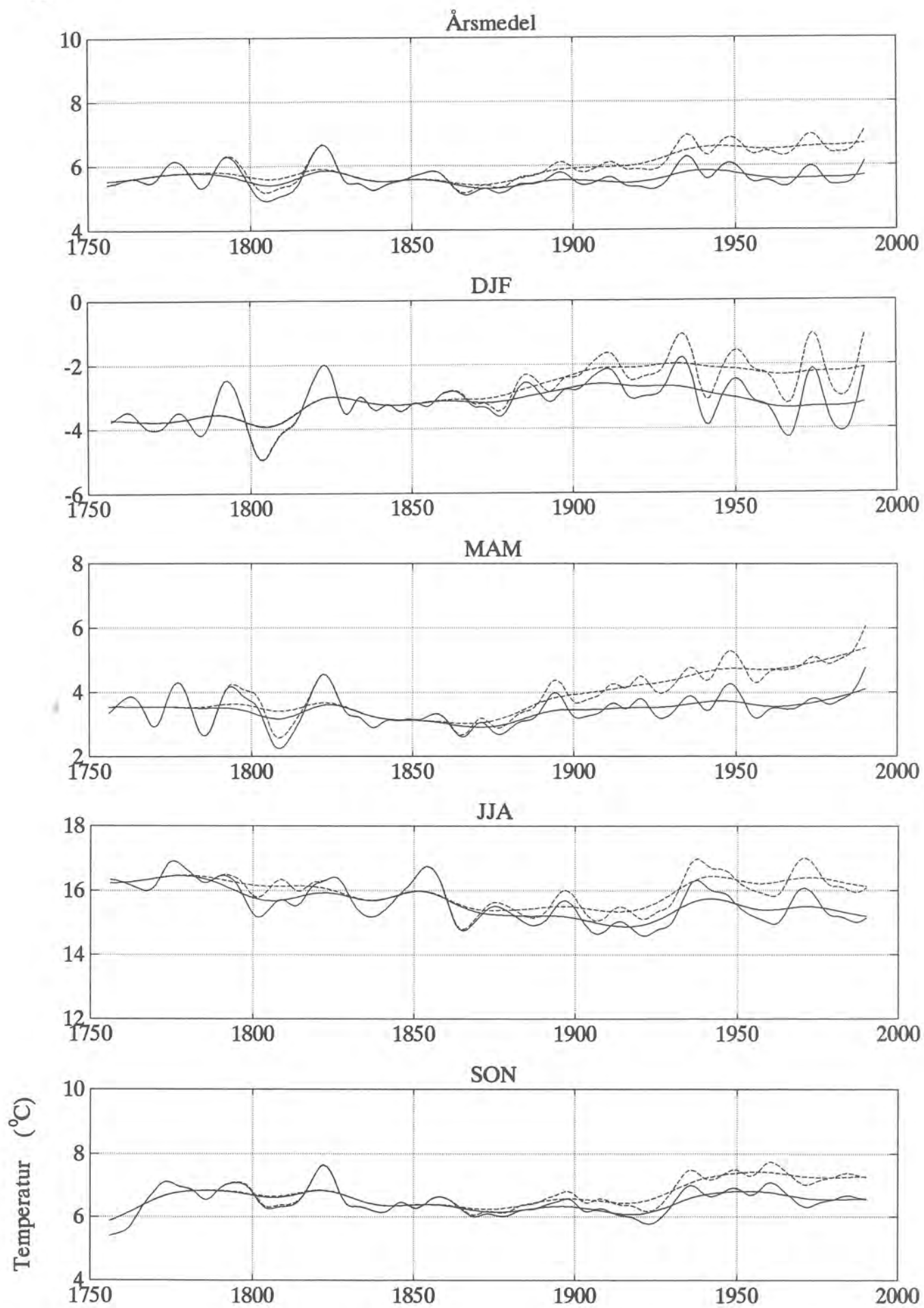
Jones och Bradley noterar att sett över hela perioden från 1700-talet till 1980 uppvisar temperaturserierna endast en mycket liten temperaturökning eller t o m ett avtagande, medan de flesta serierna visar en relativt kraftig ökning efter 1850. Hur skulle denna ökning förändras efter korrektion för urbaniseringseffekten även för de andra städerna? Endast Central England kan förmodas vara opåverkad av urbaniseringseffekten, då ansträngningar har gjorts för att eliminera denna (Manley 1974). För Stockholmsseriens del är den linjära trenden 1.6°C för ökningen av årsmedeltemperatur under perioden 1860-1990. Efter korrektion för urbaniseringen (enligt Fig. 7) reduceras motsvarande temperaturökning till 0.5°C .

Förmodligen är många av de temperaturserier som använts vid beräkning av globala temperaturen påverkade av urbanisering. Den beräknade globala temperaturökningen på 0.5°C kan vara upp till 0.05°C för hög av denna anledning (Folland et al. 1990). Senare påpekar Folland et al. (1992) att problemet kan vara större än man hittills förmodat. Karl och Jones (1989) utförde en studie som visar att för USA kan de globala dataserierna visa en förhöjd temperaturtrend på grund av urbaniseringseffekten på mellan 0.1 och 0.4°C under perioden 1901-84. Urbaniseringseffekten är dock i hög grad lokal och tidsberoende. Jämförelsen mellan Stockholm och omgivande stationer tyder på att temperaturen även i mindre städer kan ha påverkats av urbanisering. Karl et al. (1988) finner att urbaniseringseffekten är påvisbar hos stationer i städer med endast några tusental invånare. Alla så små städer uppvisar dock inte någon urban påverkan av

temperaturmätningarna. Observationsplatsens läge i förhållande till stadskärnan har stor betydelse.

Stockholmsserien är en av de bästa långa temperaturserierna, ändå finns osäkerheter. Förmodligen har alla temperaturserier liknande problem av större eller mindre betydelse. Det går att genom nyberäkningar eliminera en del inhomogeniteter, liksom det går att kompensera för uppvärmning på grund av urbanisering. Arbetet med att samla in data och beräkna globala temperaturförändringar har inneburit stor arbetsinsats. Nästa steg i processen måste bli att varje nation noggrant ser över och reviderar de serier som bidrar till sådana beräkningar.

Fig. 7. Lufttemperaturen i Stockholm 1756-1990. Officiell temperaturserie (streckad) samt efter korrekationer (heldragen) för misstänkt systematisk felberäkning 1797-1815 och urbaniseringseffekt 1860-1990. Tidsserierna är Gauss-filtrerade ($\sigma = 3$, $\sigma = 9$).



7 SAMMANFATTNING

Från 1756 och fram till idag finns en obruten serie med månadsmedeltemperatur vid Stockholms gamla observatorium. Förhållandena kring observationerna har ändrats vid olika tillfällen och de viktigare sammanfattas här.

Instrument och instrumentplacering

1756-1875	Utanför ett fönster i andra våningen på observatoriebyggnaden, skyddad från direkt solstrålning.
1876-1960	Vitmålad spjälbur av metall på första våningen.
1961-	Fristående bur ett tiotal meter från byggnaden.

De äldsta instrumenten kan ha haft sämre kvalitet än dagens, men var av god europeisk standard.

Observationstider

1756-1760	Två gånger per dygn. Ej fastställda observationstider. Vid soluppgången och ca kl. 14.
1761-1781	Tre gånger per dygn. Morgonobservationen i allmänhet mellan kl. 6-8. Middagsobservationen kl. 12-14. Kvällsobservationen kl. 21-23.
1782-1796	Kl. 6, 14 och 21.
1797-1815	Kl. 6, 14 och 21 enligt registren, men misstanke föreligger att morgonobservationerna utförts en timme tidigare eller vid soluppgången.
1816-1858	Kl. 6, 14 och 21.
1859-1940	Kl. 8, 14 och 21.
1941-1946	Kl. 7, 14 och 21.
1947-	Kl. 7, 13 och 19.

1879 byttes i Sverige lokal tid mot gemensam tid. Detta ledde till att observationerna i Stockholm senarelades 12 minuter.

Från och med 1980 utförs observationerna kl 8, 14 och 20 under den del av året då Sverige har sommartid.

Beräkningsmetoder

1756-1858	Medelvärde av två respektive tre observationer per dygn. Till detta månadsmedelvärde har adderats olika korrektionstal beroende av månad och klockslag för observationernas utförande.
1859-1905	Rubensons formel.
1906-	Ekholms formel.

Ca 300 observationer saknas under 1700-talet.

Urbaniseringseffekt

En jämförelse med omgivande stationer visar att årsmedeltemperaturen har ökat 1.0 °C relativt dessa under perioden 1860-1970. Därefter har ökningen avstannat, och en stabil nivå råder. Ökningen förmodas till övervägande delen bero på urbaniseringen. Effekten förefaller störst på våren, näst störst på vintern, därefter sommaren och minst på hösten.

8 TILLKÄNNAGIVANDEN

Först vill jag tacka min handledare Wibjörn Karlén för den entusiasm med vilken han alltid har tagit emot mig, då jag kommit till honom med nya diagram eller delresultat. Wibjörn har också tillsammans med Stig Jonsson, Haldo Vedin, Hans Alexandersson, Roger Taesler, Alf Nyberg och Bengt Dahlström bidragit med värdefulla synpunkter på en tidig version av denna uppsats. Haldo Vedin och Hans Alexandersson har bistått med hjälp vid många telefonkontakter. Karin Weilow ritade kartan. Finansiellt stöd för detta projekt kommer från Axel Lagrelius' fond för geografisk forskning och L. Namowitskys studiefond.

9 REFERENSER

- Alexandersson, H. och Eriksson, B.*, 1989: Climate Fluctuations in Sweden 1860-1987. SMHI Reports. Meteorology and Climatology. 58. Norrköping. 54s.
- Alexandersson, H., Karlström, C. och Larsson-McCann, S.*, 1991: Temperaturen och Nederbörden i Sverige 1961-1990. Referensnormaler. SMHI Rapporter. Meteorologi. 81. Norrköping. 88s.
- Andersson, T.*, 1970: Swedish temperature and precipitation records since the middle of the 19th century. Document D4. National Swedish Building Research. Stockholm. 167s.
- Bergström, H.*, 1990: The early climatological records of Uppsala. *Geogr. Ann.* 72A, 2: 143-149.
- Briffa, K.R., Jones, P.D., Bartholin, T.S., Eckstein, D., Schweingruber, F.H., Karlén, W., Zetterberg, P. och Eronen, M.*, 1992: Fennoscandian summers from AD 500: temperature changes on short and long timescales. *Climate Dynamics*. 7: 111-119.
- Brunt, D.*, 1937: Climatic cycles. *Geogr. J.* 89: 214-238.
- Conrad, V. och Pollak, L. W.*, 1962: Methods in climatology. Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass. 459s.
- Dronia, H.*, 1967: Der Städteinfluss auf den weltweiten Temperaturtrend. *Meteorol. Abh.*, Berlin. 74, 4: 68s.
- Ekholm, N.*, 1916: Beräkning av luftens månadsmedeltemperatur vid de Svenska meteorologiska stationerna. Bihang till meteorologiska iakttagelser i Sverige. 56, 1914. Stockholm. 110s.
- Eriksson, B.*, 1979: Temperaturfluktuationer under senaste 100 åren. SMHI Rapporter. Meteorologi och Klimatologi. 14. Norrköping. 19s.
- Eriksson, B.*, 1982: Data Rörande Sveriges Temperaturklimat. SMHI Reports. Meteorology and Climatology. 34. Norrköping. 34s.
- Eriksson, B.*, 1984: Sommarvädet i Stockholm under 1900-talet. SMHI Reports. Meteorological department. Climatological section. 22. Norrköping. 13s.
- Eriksson, B.*, 1988: Klimatförsämringen på norra halvklotets nordliga latituder. SMHI. *Väder och Vatten*: Mars 1988: 17-19.
- Eriksson, G.*, 1989: The Academy in the Daily Life of Sweden. Ur: Frängsmyr, T. (Ed.): Science in Sweden. The Royal Swedish Academy of Science 1739-1989. Science History Publishers. Canton. MA. USA. 291s.
- Folland, C.K., Karl, T.R. och Vinnikov, K.Y.A.*, 1990: Observed Climatic Variations and Change. Ur: Houghton, J.T. et al. (Ed.): Climate Change. The IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press. Cambridge. 195-238.
- Folland, C.K., Karl, T.R., Nicholls, N., Nyenzi, B.S., Parker, D.E. och Vinnikov, K.Y.A.*, 1992: Observed Climatic Variability and Change. Ur: Houghton, J.T. et al. (Ed.): Climate Change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press. Cambridge. 135-170.

Hamberg, H.E., 1906: Moyennes mensuelles et annuelles de la température et extrêmes de température mensuels pendant les 150 années 1756-1905 à l'observatoire de Stockholm. Kungl. Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar. 40. 1: 5-60. Uppsala & Stockholm.

Johansson, I., 1987: Stor-Stockholms bebyggelsehistoria. Gidlunds.

Johnson, B., 1965: Medeltemperaturens och vegetationsperiodens nutida förändringar i Sverige. Lic. avhandling. Geografiska Inst. Stockholms Universitet. 261s.

Jones, P.D. och Bradley, R.S., 1992: Climatic variations in the longest instrumental records. Ur: Bradley, R.S. och Jones, P.D. (Ed.): Climate Since A.D. 1500. Routledge. London and New York. 246-268.

Karl, T.R., Diaz, H.F. och Kukla, G., 1988: Urbanization: its detection and effect in the United States climate record. *J. Clim.* 1: 1099-1123.

Karl, T.R. och Jones, P.D., 1989: Urban bias in area-averaged surface air temperature trends. *Bull. Am. Met. Soc.* 70 (3): 265-270.

Karlén, W., 1988: Scandinavian glacial and climatic fluctuations during the Holocene. *Quat. Sci. Rev.* 7: 199-209.

Landsberg, H.E., 1981: The Urban Climate. Academic Press. New York. 275 s.

Liljequist, G.H., 1943: The Severity of the Winters at Stockholm 1757-1942. *Geogr. Ann.* 25: 81-104.

Liljequist, G.H., 1949: On fluctuations of the summer mean temperatures in Sweden. *Geogr. Ann.* 31: 159-178.

Lindroth, S., 1967: Kungl. Svenska Vetenskapsakademiens Historia 1739-1818. Kungl. Vetenskapsakademien. Stockholm. 1482s.

Manley, G., 1974: Central England temperatures: monthly means 1659 to 1973. *Quart. J. R. Met. Soc.* 100: 389-405.

Manley, G., 1975: Reply to: Smith, C.G: Central England temperatures; monthly means of the Radcliffe Meteorological Station, Oxford. *Quart. J. R. Met. Soc.* 101: 387-389.

Modén, H., 1963a: Jämförelse mellan olika instrumentuppställningar vid gamla observatoriet i Stockholm. SMHI. Notiser och preliminära rapporter. Meteorologi. 3. Stockholm. 8s.

Modén, H., 1963b: Stockholms temperaturserie. SMHI. Notiser och preliminära rapporter. Meteorologi. 5. Stockholm. 6s.

Nordenmark, N.V.E., 1939a: Pehr Wilhelm Wargentin. Kungl. Vetenskapsakademiens Sekteterare och Astronom 1749-1783. Almqvist & Wiksell. Uppsala. 464s.

Nordenmark, N.V.E., 1939b: De äldsta meteorologiska observationerna i Stockholm. *Astronomisk Tidskrift.* 49-52.

Nyberg, A., 1992: Temperaturobservationer i Stockholm under 1700-talets mitt. *Polarfront* Nr. 72, Årg. 19: 9-12.

Stockholms Stadsmuseum, 1983: Husen på Malmarna. Stockholms Stadsmuseum. 31s.

Sundborg, Å., 1951: Climatological studies in Uppsala. *Geographica* 22. Uppsala. 111s.

Taesler, R., 1981: Urban meteorological studies in Uppsala. Acta Universitatis Upsaliensis. Abstracts of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science. 592. 21s.

Wallén, C. C., 1965: Temperature in Stockholm 1756-1962. Ur: Atlas över Sverige 33-34. Generalstabens Litografiska Anstalt. Stockholm. 8-9.

Wargentin, P., 1778: Ytterligare Anmärkningar om Svenska Climatet, hvad varme och köld angår. Kungl. Vetenskapsakademiens Handlingar. Jan, Feb, Mar. Stockholm. 3-19.

Ångström, A., 1968: Sveriges Klimat. Generalstabens Litografiska Anstalt. Stockholm. 156s.

Öfverbom, J., 1808: Om Värmens olikhet under en tid af 50 år vid Vetenskaps Akademiens Observatorium i Stockholm. Kungl. Vetenskapsakademiens Handlingar. Oct, Nov, Dec. Stockholm. 294-301.



Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 Norrköping. Tel 011-15 80 00. Telex 64400 smhi s.