



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

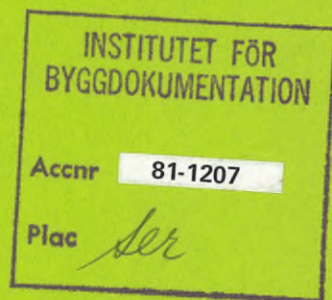
This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Bebyggelselandskapets klimat

Nybebyggelsens påverkan på
lokalklimatet

Björn Holmer
Sven Lindqvist



R81:81

BEBYGGELSELANDSKAPETS KLIMAT

Nybebyggelsens påverkan på
lokalklimatet.

Björn Holmer
Sven Lindqvist

Denna rapport hänförs sig till forskningsanslag
790905-2 från Statens råd för byggnadsforskning
till BERGAB Klimatundersökningar, Göteborg.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R81:81

ISBN 91-540-3542-2

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm.

LiberTryck Stockholm 1981 153957

INNEHÅLL

FÖRORD	5	
SAMMANFATTNING	6	
1	PROBLEMSTÄLLNING OCH MÅLSÄTTNING	8
2	VÄRMEÖAR OCH KALLLUFTSSJÖAR	12
2.1	Värmeöar	12
2.2	Kallluftssjöar	13
2.3	Samvariation mellan värmeöar och kall- luftssjöar	13
3	UNDERSÖKNINGSOMRÅDEN	15
3.1	Kärra	15
3.2	Torslanda - Nolered	15
3.3	Bua Västergård - Åkerred	19
3.4	Angered centrum	19
3.5	Åby	22
4	UNDERSÖKNINGSMETODIK	23
4.1	Mätfärder	23
4.1.1	Temperatur	23
4.1.2	Vind	24
4.2	Fasta stationer	24
4.3	Referensvärden	24
5	TEMPERATURMÄTFÄRDER	26
5.1	Redovisningssätt	26
5.2	Angered centrum	27
5.3	Åby	29
5.4	Kärra	31
5.4.1	Natt, klart och lugnt	31
5.4.2	Natt, klart och svag vind	33
5.4.3	Natt, klart-halvklart och måttlig vind	33
5.4.4	Dag, klart-halvklart och måttlig vind	35
5.4.5	Molnigt	35
5.4.6	Väderberoendet	35

5.4.7	Spridningen för enskilda mätpunkter	37
5.4.8	Uppkomsten av värmeön och kallluftssjöarna	38
5.4.9	Ändrat lokalklimat p g a ökad bebyggelse	40
5.5	Bua Västergård - Åkerred	42
5.6	Torslanda - Nolered	44
6	TERMOGRAFREGISTRERINGAR	46
6.1	Medeltemperatur	46
6.2	Kallluftssjöns intensitet och frekvens	48
7	VINDMÄTNINGAR	50
7.1	Kärra	50
7.2	Angered centrum och Åby	50
7.3	Torslanda - Nolered	52
7.4	Bua Västergård - Åkerred	54
8	SAMMANFATTANDE DISKUSSION	56
8.1	Temperatur	56
8.2	Vind	59
8.3	Effekter av ändrat lokalklimat	60
9	SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER	61
	LITTERATUR	63

FÖRORD

Denna studie av hur lokalklimatet förändras då ett område bebygges utgör en direkt fortsättning och uppföljning av ett tidigare arbete "Lokalklimatförändring - inverkan av bebyggelse", R59:1973. Den tidigare undersökningen omfattade till viss del några områden där ett primärt lokalklimat, främst temperatur, före byggnation bestämdes. Eftersom det har tagit längre tid än väntat innan samtliga områden blivit färdigställda har uppföljningen blivit försenad några år. Vid utvärderingen av den lokalklimatiska informationen har vi kunnat konstatera att undersökningen behövde kompletteras med mätningar inom ytterligare några provytor, för att få bättre kunskaper om hur olika bebyggelse typer påverkar klimatet.

Mätningarna har genomförts av Nils Ryrholm och Ulf Hammarberg. Från den sistnämndes sammanställning från ett av testområdena i form av uppsats vid Naturgeografiska institutionen i Göteborg, har vissa sammanställningar hämtats. Utskriften av rapporten har utförts av Ingela Andersson och ritarbetet av Frida Emanuelsson.

Undersökningen har bedrivits vid BERGAB Klimatundersökningar, Göteborg.

SAMMANFATTNING

Detta arbete är delvis en uppföljning av hur nybyggnation påverkat lokalklimatet inom några områden kring Göteborg. Syftet har också varit att studera förhållandet mellan det lokalklimat som topografin ger upphov till och det som orsakas av bebyggelsen. Mätningarna har i huvudsak inriktats på temperaturförhållandena. Några få vindmätningar har även utförts.

Värmeöar har konstaterats även i mindre områden (10-20 ha), liksom att intensiteten ökar ju tätare bebyggelsen är. I kuperade landskap kan det vara svårt att observera värmeöar från bebyggelsen på grund av att kallluftflöden tränger in i bebyggelsen. Kallluftssjöarna är emellertid mer vindkänsliga än värmeöarna. Vid svag vind kan därför värmeeffekten bli mer framträdande.

Den nytillkomna bebyggelsen ger om den är tillräckligt omfattande och tät upphov till värmeeffekter. Den kan också dämna upp kallluftflöden så att nya kallluftssjöar skapas.

Vindhastigheten reduceras genomsnittligt mycket kraftigt i bebyggelsen. Även om vindökning kan förekomma i trånga passager eller intill högre hus.

Ändringarna i lokalklimatet har betydelse för energiförbrukningen, klimatkomforten och luftförorenings-situationen.

Några rekommendationer för planerare kan vara:

1. Även små grupper av bebyggelse kan ge en värmeö om de är tätt uppbyggda.
2. Kallluftssjöarnas dominans gör att lägen på dalbottenarna är ogynnsamma. Sluttningslägen är bättre ur klimatsynpunkt.

3. Låga och jämnstora hus som ligger tätt ger en kraftig vindreduktion.
4. Även om ogynnsamt läge måste väljas kan lokalklimatet i viss utsträckning påverkas i positiv riktning.
5. Förutsättningarna för att kunna planera med lokalklimat på ett effektivt sätt är att det primära lokalklimatet är väl känt. I enklare fall är det tillräckligt med en bedömning, men ofta krävs vissa mätningar.

1 PROBLEMSTÄLLNING OCH MÅLSÄTTNING

De lokala klimatförhållandenas inverkan på boendemiljön och energiförbrukning för uppvärmning har uppmärksamats under senare tid, men mer systematiskt utnyttjande av lokalklimatisk information vid planering förekommer knappast inte.

De topografiska förhållandena är ofta avgörande för det ursprungliga lokalklimatet inom ett område som skall bebyggas, bl a vad gäller temperatur och vind. Som exempel kan nämnas att extrema lokalklimatmiljöer ofta förekommer i dalgångar, speciellt på natten eller under hela dygnet på vinterhalvåret. Vid lugnt och klart väder kan temperaturdifferenser uppgående till 8-10°C utbildas mellan dalgångens botten och sidor. Dalgångens utformning och möjligheterna till kallluftstillskott från sidorna är därvid avgörande. Kallluftsjöarna åtföljes ofta av andra klimatiska följd effekter som förhöjd luftfuktighet, med ökad frekvens av lokal dimma och utbildande av dalinversioner som kan ge besvärliga luftföroreningssituationer.

Andra extrema lokalklimatmiljöer utgöres av yttre kustzoner och sol- och skugglägen i anslutning till topografi och vegetation.

Mestadels kan det primära lokalklimatet bestämmas med tillräcklig noggrannhet. För praktiska tillämpningar är det dock det slutliga lokalklimatet efter byggnation som är av intresse. Det kan exempelvis gälla för alternativa områdesplaner. Efter mångåriga studier av bebyggelseklimat har vi tillräckliga erfarenheter för att kunna göra en prognos för klimatet efter byggnation, men exaktheten är inte i alla avseenden tillfredställande. När det gäller vind kan vindtunnelstudier ge en ökad information. Svårare är det simulera ex temperatur- och dimförhållanden. Den här genomförda studien medger därvidlag vissa förbättringar.

Under decennier har det speciella klimat som utbildas i städer varit föremål för studier. Det stora kunskapsförrådet utnyttjas dock endast i ringa omfattning vid planering eller gestaltning av bebyggelse. Makroklimatet beaktas i vissa avseenden i vad gäller exempelvis dimensionering och isolering, men det är trots detta förvånande hur litet bebyggelsen avviker mellan olika klimatzoner, såväl när det gäller de enskilda husens utformning som planerna för hela städer.

Fortfarande är det sällsynt att lokalklimatet på ett seriöst sätt inkluderas i planeringsarbetet. Vi har tidigare framfört åsikten att detta beror på att kunskaperna om lokalklimat ur miljö- och energisynpunkt är begränsade. Den bristande insikten om de stora differenser i lokalt klimat som kan uppträda beror ej enbart på att planerare och arkitekter försummat att tillgodogöra sig denna information. Det finns ingen sammanställning av bebyggelseklimat som är direkt tillämpbar vid planering. En utväg skulle kunna vara att sprida en allmän information till de som aktivt arbetar med planering och att dessa därefter hade möjligheter att kontakta klimatologer för speciella utredningar.

När programmet för detta i tiden utdragna projekt skrevs för mer än 10 år sedan påstod vi, att det trots förekomst av ett stort antal arbeten rörande stadens särpräglade temperaturklimat, ej finns någon tillförlitlig metod för prognostisering av temperaturklimatet inom en planerad stadsdel. En klimatolog med erfarenheter från bebyggelseklimatiska studier kan med utgångspunkt från en systematisk diskussion av de för temperaturklimatets utbildande viktigaste faktorerna göra en tämligen god prognos. Ett sådant förfaringssätt är dock ej helt tillfredställande, då prognoserna bygger mer på kvalitativa diskussioner än kvantitativa bestämningar. Det är sålunda önskvärt att finna modeller efter vilka prognoserna kan utföras. Dessa synpunkter gäller fortfarande.

En av de främsta anledningarna till att det saknas lämpligt grundmaterial för sådana modeller är, att det utförts få systematiska studier av lokalklimatändringar vid nybyggnation. Nästan alla undersökningar bedrivs i redan färdigställda områden med närmaste omgivningar, och konstaterade temperaturdifferenser får utgöra ett mått på bebyggelsens inverkan. Det är dock väsentligt att utreda den kombinerade verkan som bebyggelse och terrängfaktorer, som topografi och vegetation, har på temperaturklimatet.

Endast vid nybyggnation ges möjligheter att dels på ett konsekvent sätt tillämpa klimatologiska kunskaper vid planeringen, dels att erhålla värdefulla data om lokalklimatförändringar som bebyggelsen orsakar.

I den tidigare undersökningen konstaterades i ett fall (i Malmö) en påtaglig värmeöeffekt i den nya bebyggelsen där det tidigare i det flacka landskapet varit en viss kallluftssamling vid utstrålningssituationer. (Lindqvist & Rylander 1973, jfr t ex plansch 7C med 7aA och 7aB)

I Botkyrka var det i ett av delområdena före exploateringen en central del av en kallluftssjö (ibid, plansch 5E). Efter att området bebyggts med höghus kan man ibland observera en värmeö (plansch 5aB) och ibland inte (ibid, plansch 5aA) vid utstrålningssituationer.

I kuperad terräng är det emellertid sällan möjligt att urskilja värmeöeffekter i bebyggelsen, vilket var något överraskande med tanke på bebyggelsens storlek och täthet.

Målsättningen med det aktuella forskningsprojektet har varit att bli en utgångspunkt från de ovan nämnda resultaten bedriva systematiska studier av bebyggelsens inverkan på det primära lokalklimatet, så att lokalklimatmiljön inom ett bebyggelselandskap kan förutsägas och hänsyn härtill tagas vid planeringen. Huvudvikten

har lagts vid temperaturstudier, framförallt samspelet mellan av topografi beroende kallluftssjöar och av bebyggelse genererande värmeöar. Viss hänsyn har också tagits till vinden.

Undersökningen skulle delvis leda fram till en metod att med utgångspunkt från bebyggelseplan och en studie av det primära lokalklimatet kunna prognostisera lokalklimatmiljön på en plats efter byggnation. Detta ger möjlighet att redan på planeringsstadiet förutsäga, om exempelvis risk föreligger att bebyggelsen kommer att ligga i en kallluftssjö, där strålningsdimma är vanlig, där luftföroreningar ej lämnar bebyggelsens närhet och där konstnaderna för uppvärmning ökar. Det är då också tänkbart att planera området på ett sådant sätt, att de negativa faktorerna motverkas.

2 VÄRMEÖAR OCH KALLLUFTSSJÖAR

2.1 Värmeöar

Värmeöar uppträder i anslutning till alla större bebyggelsekoncentrationer. Det anses finnas ett visst samband mellan värmeöns intensitet, skillnaden i temperatur mellan bebyggelsens centrum och omgivande landsbygd och städernas storlek. Intensiteten är då approximativt proportionell med logaritmen för befolkningstalen (Oke 1978). Den redovisade sammanfattningen omfattar dock mestadels relativt stora städer. Erfarenhetsmässigt vet vi att även små bebyggelsekoncentrationer kan ge upphov till tydliga värmeöar. Det verkar då som bebyggelsens struktur betyder mer än antalet invånare. Detta stöds också av japanska undersökningar som visar på linjära samband mellan bebyggelsens densitet och värmeöns intensitet (Yoshino 1975).

Det ligger utanför ramen för detta arbete att mer i detalj beskriva orsakerna till de övertemperaturer i bebyggelselandskapet som brukar benämnas värmeö (urban heat island). En faktor är strålningsdifferenser, skillnader i förluster av långvågig strålning mellan stad och landsbygd, beroende på olika halt av luftföroreningar. Bebyggelselandskapet ger även i övrigt ett komplext strålningsmönster som bidrar till övertemperaturer. En annan faktor är värmestillskott från förbränningsprocesser och en tredje återstrålning av värme som lagrats i byggnader och gator under dagen.

Temperaturkontrasterna är tydligast utbildade under lugna och klara nätter med relativt låg luftfuktighet. Vid ändrad väderlek uppstår variationer i värmeöns utseende och intensitet. Höga vindhastigheter och molntäckt himmel medför en utjämning av temperaturkontrasterna. Generellt kan dock konstateras att staden alltid är varmare än omgivande landsbygd på natten. Under dagen är temperaturskillnaderna mindre tydligt utvecklade och negativa differenser stad - landsbygd kan förekomma.

Den dagliga gången i temperaturdifferenserna stad - landsbygd uppvisar sålunda ett maximum några timmar efter solnedgången och ett minimum, som kan ha negativt värde, några timmar efter soluppgången. Temperaturdifferenserna torde vara bäst utvecklade under vår och höst.

2.2 Kallluftssjöar

På natten bildas kallluft i de marknära skikten över många ytor främst på grund av att dessa snabbt avkyles genom utstrålning och detta påverkar temperaturen i den intilliggande luften. Den kalla luften är tyngre än omgivande varm luft och på sluttningar sätts den därför i långsam rörelse och följer svackor i terrängen till de större dalstråken.

Kallluftens långsamma flöde nära marken är känsligt för hinder i sin väg. Den kan dämmas upp mot buskridåer, långsträckta byggnader och andra hinder på sluttningarna.

I dalgångar och andra låglänta partier samlas kallluften och stagnerar i form av s k kallluftssjöar. En del av kallluften har bildats på platsen. Kallluftssjöarna utmärkes bl a av att temperaturen ökar med höjden över markytan, s k inversion. De når ofta sin maximala maktighet redan på kvällen och kan framträda genom dimma som bildas särskilt i kallluftens övre skikt. Kallluftssjöarna kan också orsaka riklig dagg och ökad rimfrost.

2.3 Samvariationen mellan värmeöar och kallluftssjöar

Värmeöar och kallluftssjöar finns var för sig behandlade i åtskilliga klimatologiska handböcker (t ex Geiger 1965, Yoshino 1975, Oke 1978 och Mattsson 1979). De undersökta städerna har emellertid mestadels haft små topografiska höjdskillnader och dalgångarna där kallluftssjöar undersökts har i stort sett saknat bebyggelse. Samspelet mellan kallluften som kan samlas i en dal och den värmeö som en där liggande tätort skapar är

därför ofullständigt känt.

Ofta har man tänkt sig att man kan bygga bort kallluftssjöarna med bebyggelsen i dalarna. Tydliga värmeöar har också kunnat observeras i såväl medelstora som små tätorter (Sekiguti 1973). Uppmätningar av den vertikala temperaturfördelningen och beräkningar av värmeproduktionen i Calgary i Kanada visade emellertid att värmeön reducerades med 40% genom kallluftens inverkan (Nkemdirim 1980).

I komplex terräng kan det, som det ovan nämnda exemplet från Botkyrka visade, ibland vara svårt att överhuvudtaget påvisa någon bebyggelseeffekt. Storleken av den nytillkomna bebyggelsen kan dock vara av sådan storlek och täthet att den i ett slättområde torde ha gett en tydlig värmeö.

Mätningar har utförts i fem mindre bostadsområden i Göteborgsområdet (fig 3.1). Kärra, Torslanda - Nolered och Bua Västergård - Åkerred undersöktes också 1969, men har sedan dess byggts ut i olika utsträckning. I Kärra har expansionen varit omfattande medan de övriga områdena fått mindre tillskott av ny bebyggelse. Nya mätningar har utförts i Åby i Mölndals södra utkant och i Angereds centrum.

3.1 Kärra

Området ligger i Göta älvdalen ca 1 mil norr om Göteborgs centrum. Flera mindre sprickdalar strålar här samman och ger en lokal breddning av huvuddalgången, som är ca 1,5 km bred och har förhållandevis plan botten. I väster når bergen upp till 80 m ö h medan den branta östra dalsidan når något över 110 m ö h.

1969 hade utbyggnaden av det gamla samhället knappt påbörjats. Bebyggelsen bestod i stort sett av ett antal villor kring Kärra kapell. Tio år senare är den bebyggda arealen ca tio gånger större (ca 110 ha) och folkmängden hade ökat från 500 personer 1970 till 5900 år 1980. Befolkningstätheten var år 1980 ca 54 personer/ha. Bebyggelsen (fig 3.3) består av en kärna av flerfamiljshus i 2-4 våningar, och är kringgårdad av ett fåtal 6-våningshus och av villor och radhus, vilka särskilt i sydöstra delen upptar stor areal.

3.2 Torslanda - Nolered

Området är beläget ca 1 mil väster om Göteborgs centrum i ett oroligt landskap med höjdskillnader på ca 40 m. I norr finns en något mer markerad dal i ost-västlig riktning.

Bebyggelsen (fig 3.4) ligger i en ring kring ett cen-

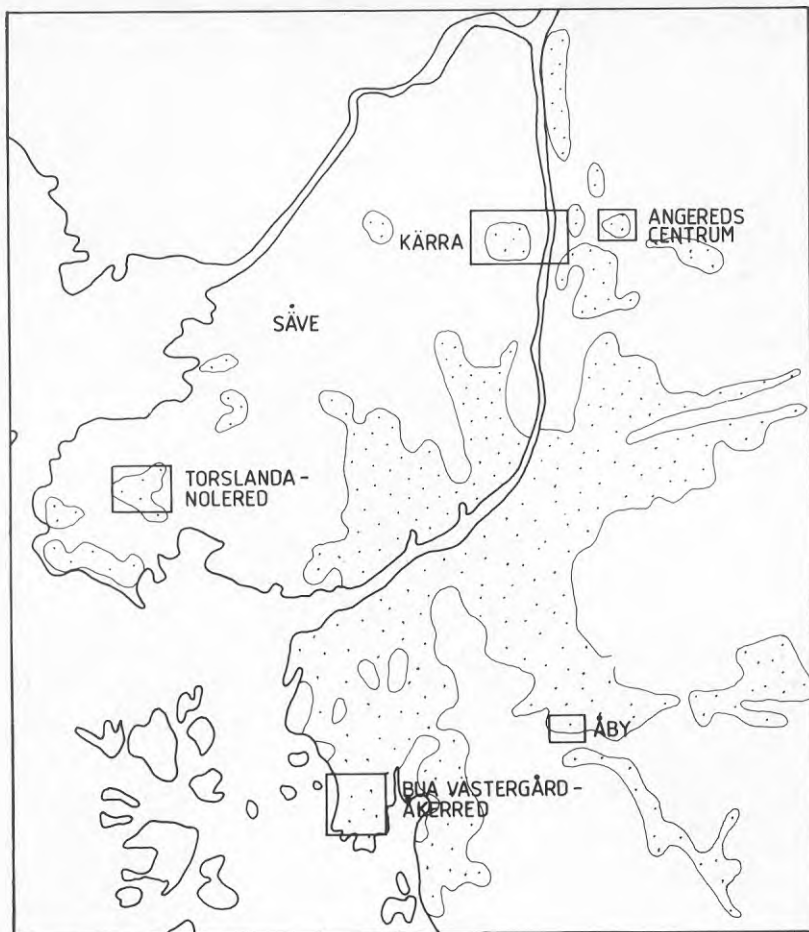


Fig 3.1 De undersökta områdena.



Fig 3.2 Kärre, år 1970. Foto mot väster.

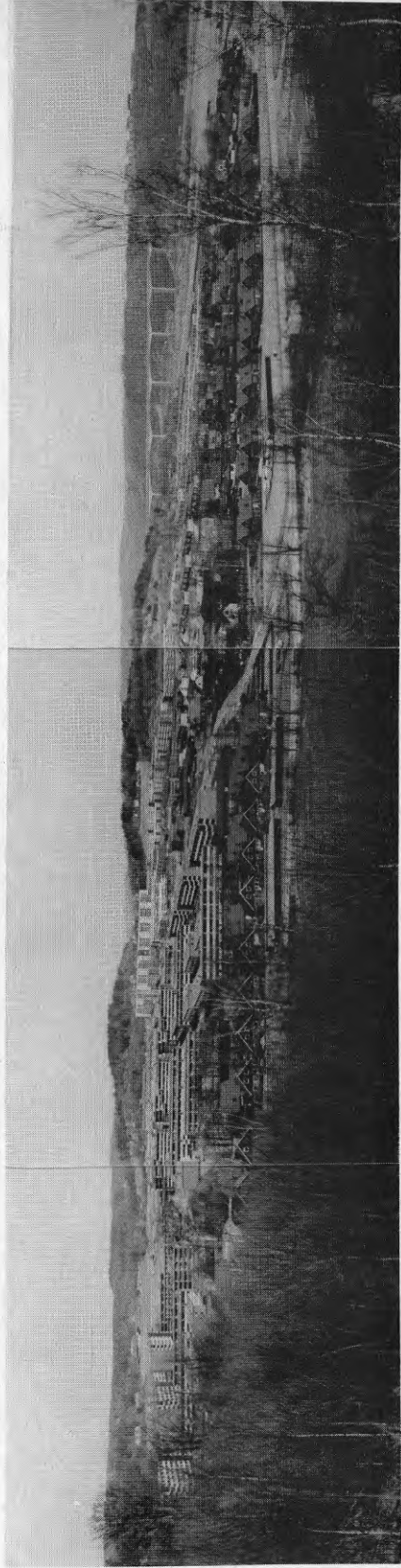
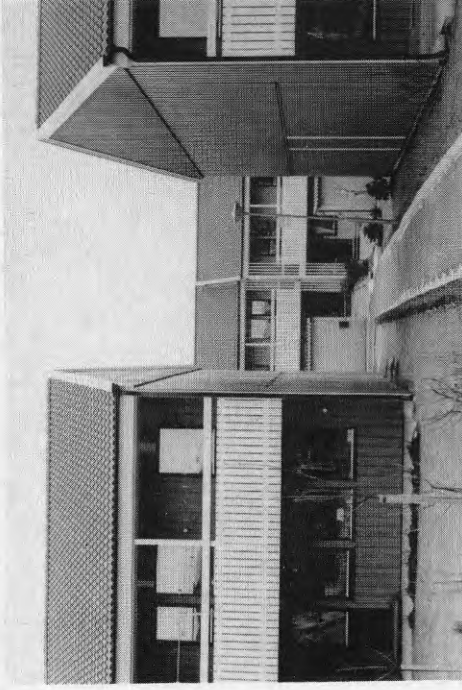


Fig 3.3 Kärra år 1981. Översiktspild från berget i söder. Till höger syns Angeredsbron och Göta älv. I övre vänstra delen ansluter en av sidodalarna, som kan leda fram kallluft mot bebyggelsen.

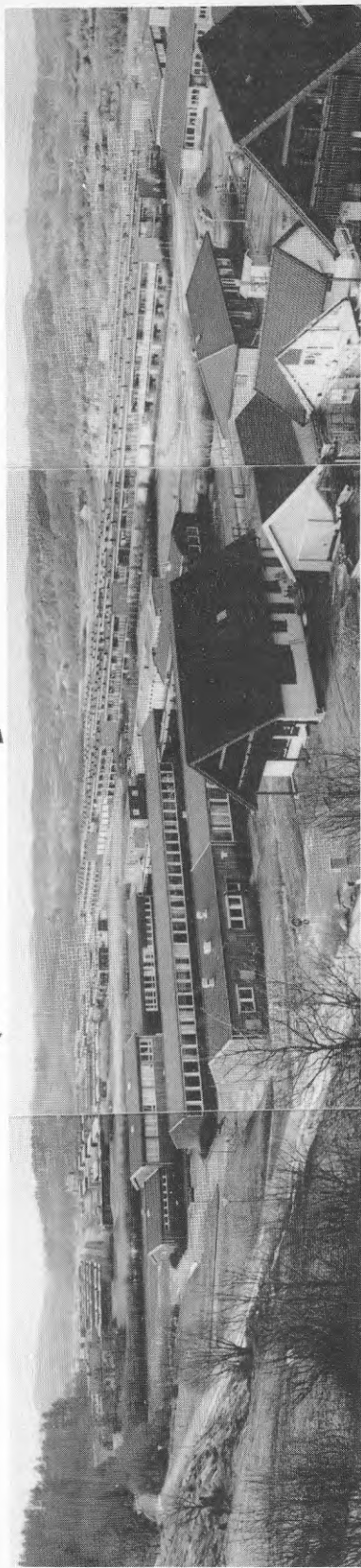
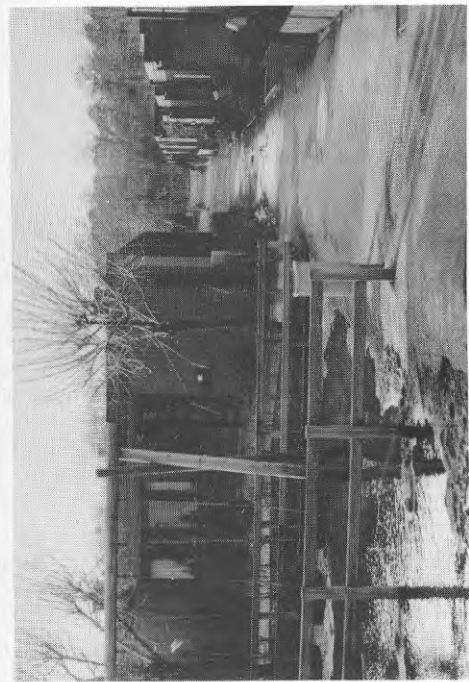


Fig 3.4 Torslanda - Nolered. Översiktsbilden visar den nordvästra delen av bebyggelsen. Bilden är tagen mot nordväst. De övre bilderna är tagna i de områden som bebyggt sedan 1969.

tralt höjdparti och består huvudsakligen av radhus och låga flerfamiljshus. Den nya bebyggelsen är i första hand knuten till den norra dalgångens västra del. Den bebyggda arealen utgör ca 115 ha. Befolkningen var 3700 personer 1970 och 5500 år 1980. Befolkningsstätheten var 1980 ca 48 personer/ha.

3.3 Bua Västergård - Åkerred

Området ligger ca 1 mil sydväst om Göteborgs centrum. I nordöstra delen bildar flera korsande dalstråk, där särskilt ett nordväst-sydostligt dominerar, en slättyta. Området har i övrigt, liksom Torslanda, en orolig relief.

Bebyggelsen (fig 3.5) består på höjdpartierna mest av villor, medan radhus och låga flerfamiljshus dominerar i de lägre partierna. Nybyggnationen sedan 1969 har skett dels i områdets centrala del dels i östra delen. Totalt uppgår den mestadels glest bebyggda arealen till drygt 200 ha. År 1970 var befolkningen 2900 personer och 4600 år 1980. Befolkningsstätheten var 1980 ca 23 personer/ha.

3.4 Angereds centrum

Området ligger ca 1,5 mil norr om Göteborgs centrum på en slättyta som svagt lutar mot Lärjeån och dess ravinsystem. I norr gränsar det mot ett måttligt kuperat landskap.

Bebyggelsen (fig 3.6) är förhållandevis tät och den bebyggda arealen är liten. I nordvästra delen finns en rad butiker och serviceinrättningar och husen är här 4-6 våningar höga. Mot söder och öster ligger flerfamiljshus i en avtagande höjdskala. Den bebyggda ytan är ca 10 ha. Befolkningen bestod 1980 av 750 personer. Befolkningsstätheten var ca 75 personer/ha.

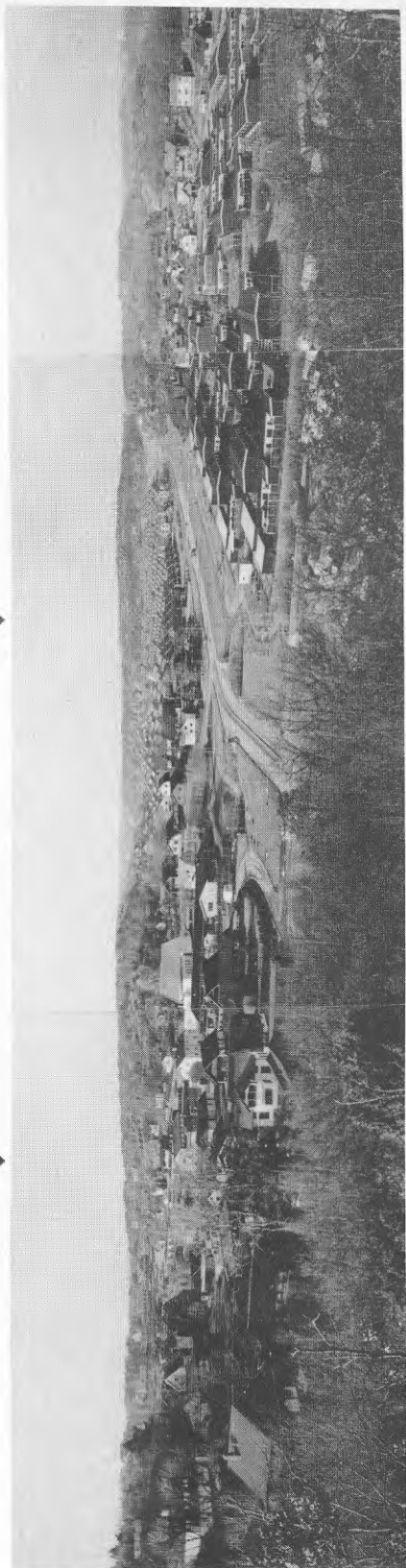
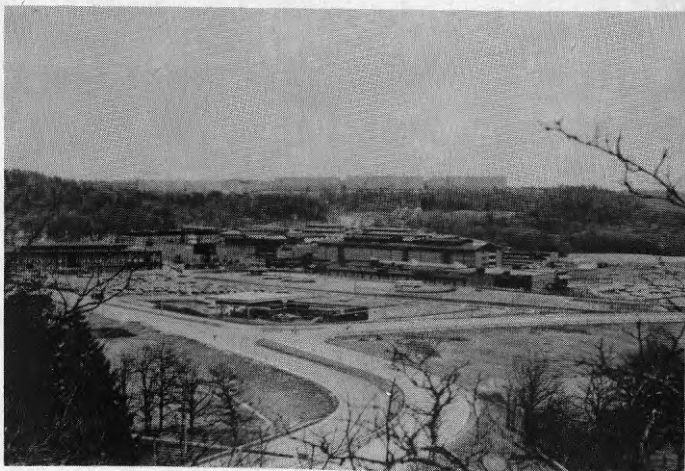


Fig 3.5 Bua Västergård - Åkerred. Översikt bilden visar de delar som har radhus och kedjehus. Bilden är tagen mot NNV. Den övre vänstra bilden visar nybebyggelse sedan 1969 i den centrala sänkan.

Fig 3.6

Angereds centrum.
Översiktsbilden är
tagen mot nordost.
Höghusen i bakgrun-
den är en del av
Rannebergen.
Den mellersta bilden
visar bebyggelsen i
den tätare västra
delen och den undre
den glesare i öster.



3.5 Åby

Området ligger i Mölndals södra utkant på en sluttning i korsningen mellan breda dalstråk i nord-syd och ost-väst. Bebyggelsen (fig 3.7) består av 4-vånings flerfamiljshus i en gles gårdsgruppering i bågform. I de högre delarna i nordväst finns villor och radhus och mot de låga partierna i syd och öst förekommer dels öppna ytor dels småindustrier. Den bebyggda arealen utgör ca 20 ha.



Fig 3.7 Bebyggelsen i Åby.

Mätningarna har huvudsakligen genomförts i form av mätfärder. I första hand har vi undersökt temperaturförhållandena och i andra hand har vi, sporadiskt, mätt upp vinden. I Kärra har vi dessutom haft fasta stationer för registrering av temperaturen.

4.1 Mätfärder

4.1.1 Temperatur

För att erhålla ett tätt nät av observationer har vi i delområdena utfört mätfärder omfattande 30-80 mätpunkter. Mätpunkterna har placerats för att täcka in variationerna inom bebyggelsen och också de variationer i temperaturen som topografin inom och strax utanför bebyggelsen ger upphov till.

Mätutrustningen har varit av märket Tastoterm. Känslökroppen har varit placerad ca 1,5 m ovan marken på en bil. Avläsningar har utförts antingen när bilen stannat vid mätpunkten eller passerat denna i låg fart. Vissa punkter har fått besökas till fots eftersom farbara vägar saknats. Mätprecisionen kan uppskattas till $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$.

Tidsåtgången för en mätfärd har varit 20 min-2,5 timmar. Eftersom temperaturen i stort hinner ändras under den tid det tar att genomföra en mätfärd har en mätpunkt passerats två gånger under de korta mätfärderna och 3-4 mätpunkter under de längre. Ur dessa värden har sedan temperaturen korrigerats till en gemensam tidpunkt för att bli direkt jämförbara i olika delar av de undersökta områdena. I förhållande till de erhållna temperaturvariationerna har korrektionerna varit av måttlig storlek ($<1^{\circ}\text{C}$).

4.1.2 Vind

Medan temperaturmätningarna skulle tjäna som underlag för isotermkartor var avsikten med vindmätningarna att visa vindförhållandena längs profiler genom bebyggelsen. Varannan mätpunkt mättes på vägen bort från startpunkten och de mellanliggande på vägen tillbaka. Dessutom utfördes en sista mätning vid startpunkten. På detta sätt erhålls kontroll på huruvida det skett någon systematisk vindändring under den tid mätningar utförts.

Den använda mätaren har varit av märket Fuess 91R. Mätthöjden har varit 1,6 m. Mätaren registrerar vindvägen. Division med mättiden ger således vindens medelhastighet. Vi har använt 5 minuters mättid som en kompromiss mellan att få noggrannt bestämda medelvärden och att hinna med många mätpunkter. Under ca 1,5 timme har 10-12 mätpunkter avverkats. Med den använda mättiden är mätprecisionen p g a vindens naturliga variationer ca $\pm 0,5$ m/s.

Vindriktningarna har observerats var 15:e sek i de åtta huvudvindriktningarna. På grundval av dessa observationer har vindrosor konstruerats för att visa medelvindriktning och turbulens.

4.2 Fasta stationer

I Kärra användes två termografer av märket Lambrecht. Mätprecisionen kan uppskattas till $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Den ena var placerad på ett höjddparti ca 60 m ö h och den andra på dalbotten ca 2 m ö h och ca 200 m från Göta älv. Avsikten var att ur registreringarna undersöka frekvensen och varaktigheten av den vertikala temperaturvariationen i dalgången.

4.3 Referensvärden

Den närmast belägna klimatstationen är Säve flygplats. Uppgifter om vindförhållanden och molnighet var 6:e timma har tillsammans med observatörernas egna väder-

notiser utgjort bas för grupperingen av mätresultaten
i olika väderklasser.

5 TEMPERATURMÄTFÄRDER

5.1 Redovisningssätt

För varje enskild mätomgång har isotermkartor konstruerats. Vid redovisningen i denna rapport har vi emellertid lagt tonvikt vid att visa på medelförhållandena för olika vädersituationer. Antalet mätomgångar för de olika beräkningarna har mestadels inte varit mer än 3-6 mätomgångar. Eftersom lokalklimatet oftast utmärks av stor konstans vid en viss vädersituation, torde de redovisade isotermmönstren ändå vara tillförlitliga. Jämfört med de enskilda mätomgångarna blir det ändå en något utjämnad bild i medelvärdesbilden. I de enskilda omgångarna finns ju trots allt tillfälliga avvikelser även om grunddragen är likartade.

De temperaturer som anges på isotermkartorna är avvikelserna från medeltemperaturen från alla mätomgångar för en viss vädersituation, dvs samma förfarande som tidigare använts av en av oss (Lindqvist 1970). På detta sätt framträder tydligt områden med över- och underskott i temperaturen.

På isotermkartorna har intervallet mellan isotermerna varierat. Vi har använt $0,2^{\circ}$, $0,5^{\circ}$ och 1° beroende på hur stora temperaturdifferenser som förekommit i resp område. Det innebär att man vid jämförelser mellan olika områden inte enbart kan se på isotermernas täthet utan man måste också kontrollera det använda intervallet.

Som mått på variationen i temperaturen har vi beräknat standardavvikelsen för varje enskild mätpunkt vid en viss vädersituation. Detta ger ett mått på olika punkter som är känsliga för de skiftningar i vädret som ändå förekommer mellan olika mätomgångar även om referensstationens värden kan synas identiska. Dessa känsliga punkter visar således vilka delar av bebyggelselandskapet man bör vara försiktig med vid tolkningen

av enskilda mätomgångar och var man vid planeringen av undersökningar bör vara särskilt uppmärksam vid utplaceringen av mätpunkterna.

Beräkningar av standardavvikelsen vid lokalklimatundersökningar av temperaturen har tidigare utnyttjas av Sundborg (1951). Utgångspunkterna för hans resonemang och därmed även resultaten har avvikit från våra, liksom förmodligen även beräkningsmetodiken.

Redovisningen av områdena börjar med Angereds centrum och Åby. Dessa områden är små och skiljer sig genom tätheten i uppbyggnaden. Den omgivande topografin har liten effekt på temperaturen. Sedan följer Kärra, Torslanda - Nolered och Bua Västergård - Åkerred, vilka har tio till tjugo gånger större areal. Områdena är så kuperade att topografin har stor betydelse för temperaturförhållandena. Kärra har ett relativt stort inslag av flerfamiljshus, vilket är gynnsamt för uppkomsten av en värmeö medan Torslanda - Nolered och Bua Västergård - Åkerred har lägre och glesare bebyggelse.

5.2 Angereds centrum

Fig 5.1 visar medelvärden av sex utstrålningssituationer under sommaren och hösten. Någon årstidsvariation har inte kunnat spåras, därför presenteras endast den samlade fördelningsbilden.

Det bebyggda området har liten yta. Den kompakta uppbyggnaden ger emellertid en liten men tydlig värmeö-effekt i särskilt den västra delen. I öster är den mindre markerad på grund av lägre och glesare bebyggelse. Ett kalluftflöde från en mindre dal i norr strömmar genom bebyggelsen och delar värmeön i två delar. Kalluften samlas sedan i ravinsystemet söder om bebyggelsen till en tydlig kalluftssjö. Ett annat kalluftflöde kommer från en liten dal i nordväst men detta passerar över parkeringsplatsen alldeles väster om bebyggelsen.

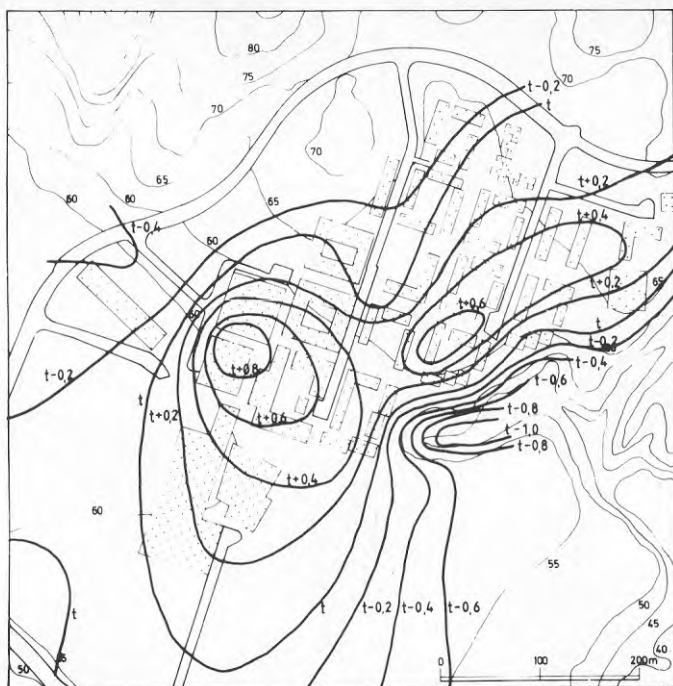


Fig 5.1 Temperaturdifferenser i Angereds centrum under nätter med klart och lugnt - svag vind.

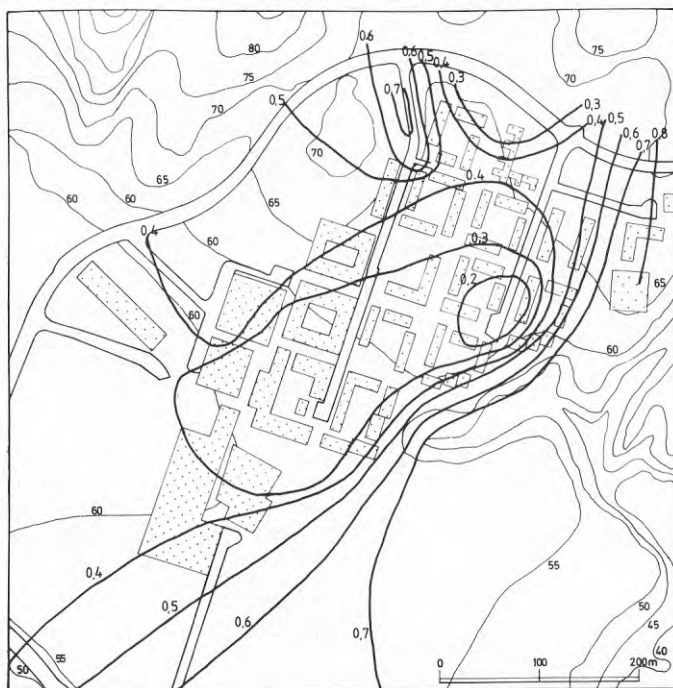


Fig 5.2 Precisionen (standardavvikelsen) för mätningarna.

Standardavvikelsen (fig 5.2) har sitt minimum inom bebyggelsen. De obebyggda områdena har liten variation mellan mätomgångarna på vissa något högre belägna punkter, där den är av samma storlek som inom bebyggelsen. De obebyggda plana ytorna har högre värden än bebyggelsen och de största värdena finner man i sänkorna där det bildas mer eller mindre intensiva kallluftssjöar. De högsta värdena i kallluftssjön i öster ligger sex gånger högre än de lägsta värdena inom bebyggelsen.

5.3 Åby

Det bebyggda området i Åby är större än i Angereds centrum. I gengäld är det betydligt glesare uppbyggt. Uppmätningarna skedde vid samma tillfällen som mätningarna i Angereds centrum, vilket innebär att de är direkt jämförbara.

En svag värmeöeffekt kan spåras i 4-våningsbebyggelsen (fig 5.3). Intensiteten är knappt hälften av den som observerades i Angereds centrum, vilket måste bero på den glesare uppbyggnaden. Radhusområdet i nordväst är något svalare, vilket förmodligen både beror på den lägre bebyggelsetypen och att husen är placerade längs höjdkurvorna. Härigenom uppdämnes den kallluft som produceras över en öppen gräsyta strax norr om radhusen. De något högre temperaturvärdena i övergången till den flacka gräsytan och slutningen med radhusen kan tolkas som ett termalbälte. Kallluft samlas också till en kallluftssjö i dalgångens centrala del söder om det bebyggda området. Denna kallluftssjö tycks delvis infiltrera i bebyggelsen, eftersom värmeöns centrum är förskjutet mot de högre liggande delarna av området med fyra våningshusen.

Temperaturspridningen för de enskilda mätpunkterna visar samma tendenser som i Angereds centrum. Spridningsvärdena är lägst i bebyggelsen med värmeön ($0,20^{\circ}\text{C}$), radhusen och andra punkter utanför värmeön har något högre värden ($0,25^{\circ}\text{C}$) och kallluftssjön de högsta ($0,36^{\circ}\text{C}$).

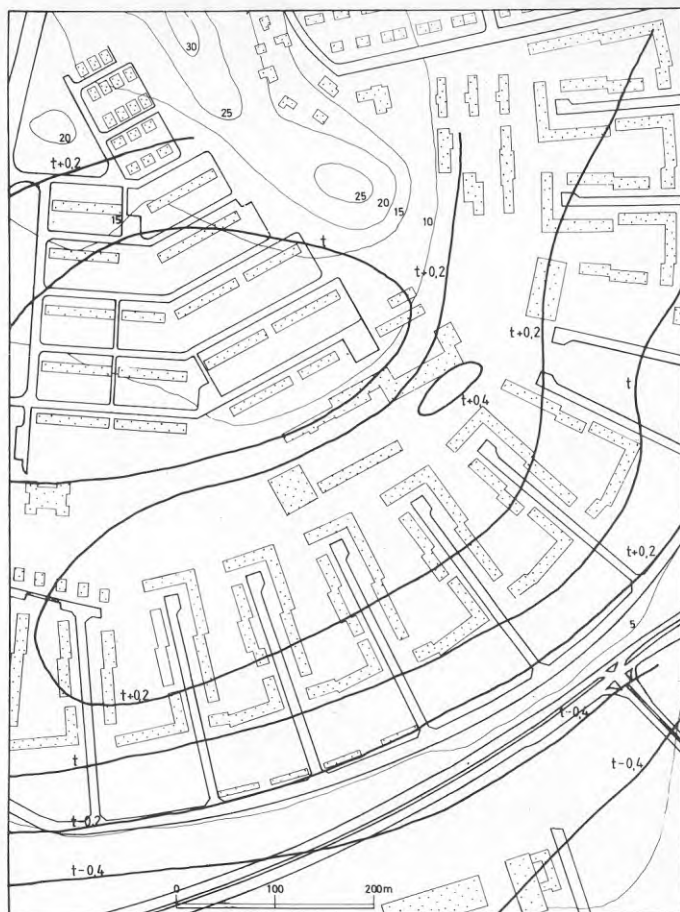


Fig 5.3 Temperaturdifferenser i Åby under nätter med klart och lugnt - svag vind

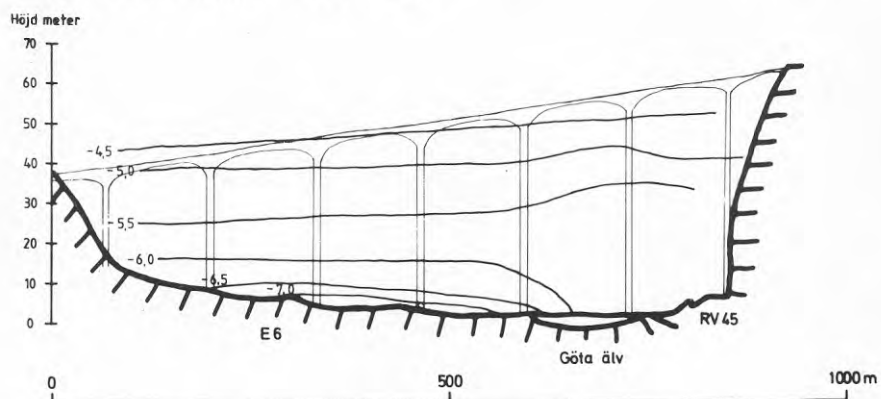


Fig 5.4 Temperaturfördelning i Göta älvs dalgång vid Angeredsbron. 1980-01-15 kl 22. Väder: klart och lugnt.

5.4 Kärra

Kärra är det område som har det mest omfattande mätmaterial. Detta har delats upp på olika vädersituationer för att belysa hur isotermmönstret förändras beroende på hur de yttre förutsättningarna ändras.

5.4.1 Natt, klart och lugnt

Vid dessa situationer är hela Göta älvs dalgång en kallluftssjö. Fig 5.4 visar en specialmätning som utförts från Angeredsbron. Längs fyra vertikaler uppmättes temperaturen var femte meter över marken. Av figuren framgår att temperaturen 50 meter över marken var 3^o varmare än på dalbotten. Figuren visar också den uppvärmande effekten av Göta älvs vatten. Uppvärmningen märks såväl nere vid vattenytan som på 50 meters höjd, men finns endast i anslutning till älven och påverkar inte dalgången som helhet. Vid de rutinmässiga mätningarna mättes temperaturen både på bron och vid marken under bron. Det har därför varit möjligt att studera den vertikala temperaturgradienten i Göta älvs kallluftssjö vid varje enskild mätomgång. På isotermkartorna har temperaturgradienten vid bron lagts in i ett insprängt diagram.

Isotermerna i fig 5.5 bygger på medelvärdet av fyra mätomgångar med mycket goda utstrålningsförhållanden. I Göta älvs dalgång finns en tydlig kallluftssjö vilket framgår både av de uppmätta temperaturerna vid bron och av en jämförelse mellan temperaturerna på dalbotten och temperaturen på de omgivande höjdpartierna.

Öster om motorvägen, E6, kan en något högre temperatur spåras, än för obebyggda områden väster om denna. Detta skulle kunna tyda på ett visst inflytande från älvens vatten.

De mest framträdande dragen i isoterm bilden är dock de mycket intensiva kallluftssjöarna som bildas i de mindre dalgångar som sträcker sig in mot Kärra från väster och nordväst. Trots obetydliga höjdskillnader inom dal-



Fig 5.5 Temperaturdifferenser i Kärra; natt, klart och lugnt.



Fig 5.6 Temperaturdifferenser i Kärra; natt, klart och svag vind.

gångarna sänks temperaturen med 3-4^o beroende på stor tillförsel av kallluft.

Effekten av bebyggelsen är måttlig. De perfekta utstrålningssituationerna till trots blir temperaturöverskottet i värmeön inte mer än 1^oC. Denna del av området ligger dessutom lite högre varför värmeöns maximum inte enbart beror på bebyggelsen, utan också på högre och således varmare nivå inom den stora kallluftssjön. Höjdynflytandet och minskad påverkan av kallluft framgår också tydligt om man jämför med bebyggelsen i västra Kärren som är likartad, men som endast har en värmeö på några tiondels grader. Det tycks vara så att den kraftiga tillförseln av kallluft från de mindre dalgångarna i det närmaste utplånar bebyggelsens värmeö.

5.4.2 Natt, klart och svag vind

Isoterm bilden (fig 5.6), som bygger på fem mätomgångar, är i allt väsentligt lik föregående bild. En svag vind orsakar dock en viss omblandning, vilket medför att differenserna är något mindre. Höjddpartierna är inte fullt så varma, inversionen vid Angeredensbron är mindre och kallluftssjöarna är inte lika kalla som tidigare. Bebyggelsens värmeö är dock minst lika kraftig som tidigare. Förmodligen beror detta på att den svaga vinden ej förmår tränga ner bland husen och transportera bort värme, medan viss omblandning kan ske på de obebbyggda områdena.

5.4.3 Natt, klart-halvklart och måttlig vind

Isoterm bilden (fig 5.7) bygger endast på tre mätomgångar. Resultatet visar dock på en rimlig fördelning jämfört med tidigare isotermkartor. Kallluftssjön i Göta älvs dalgång är knappt märkbar. Kallluftssjöarna i sidodalarna är också kraftigt reducerade. Värmeön i bebyggelsen har minskats till mindre än hälften i intensitet. Orsaken till de utjämnade temperaturvärdena är den ökade vindomblandningen som i detta fall påverkar både kallluftssjöarna och värmeön. Den minskade tillförseln av kallluft medför att värmeön flyttas till ett centralare

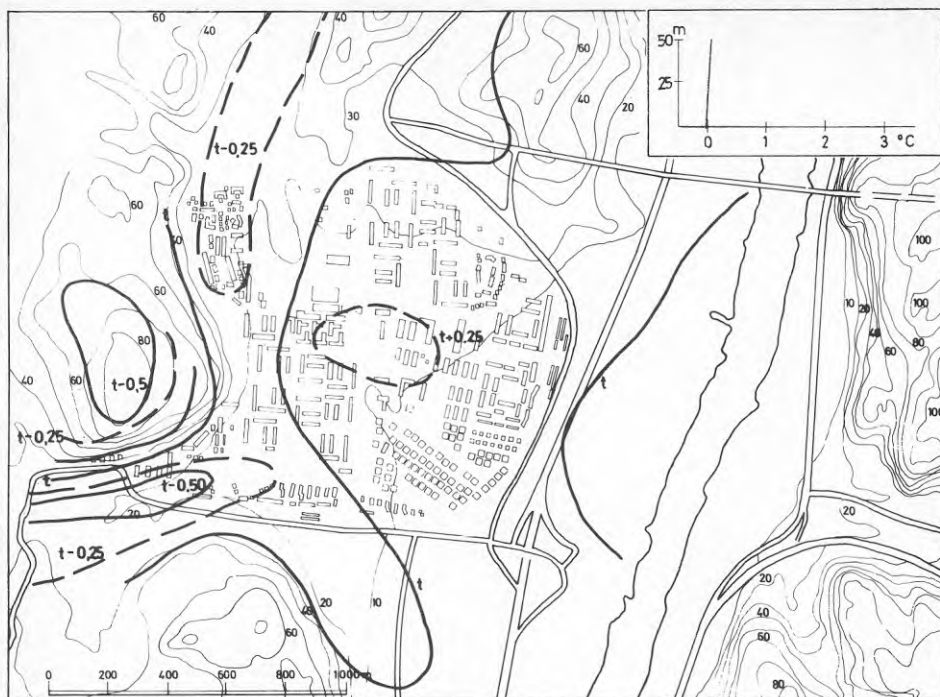


Fig 5.7 Temperaturdifferenser i Kärre; natt, klart-halvklart och måttlig vind.

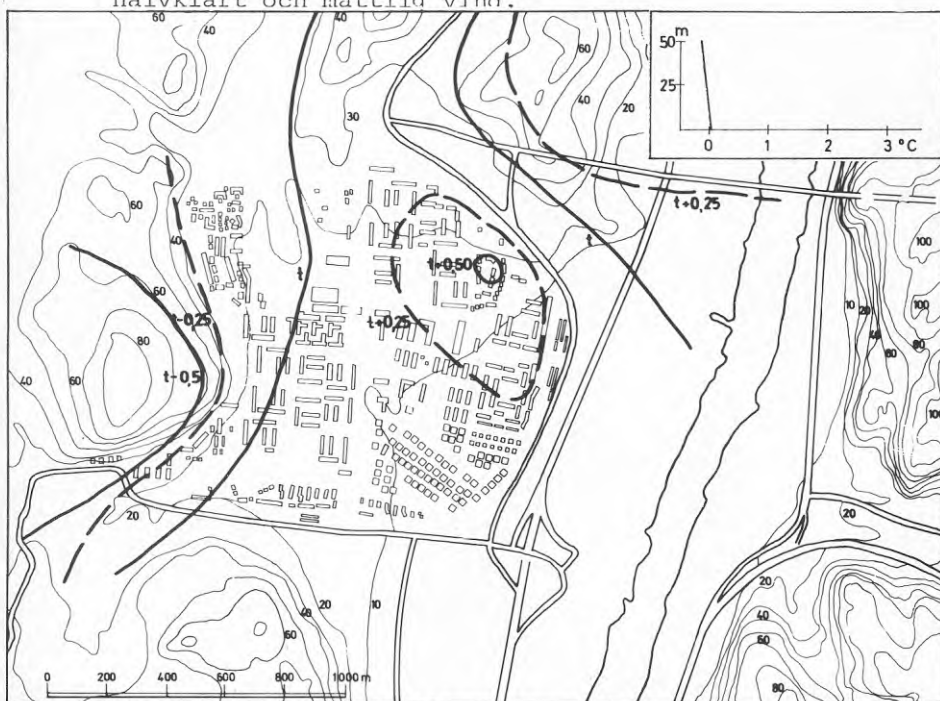


Fig 5.8 Temperaturdifferenser i Kärre; dag, klart-halvklart och måttlig vind.

läge inom bebyggelsen.

5.4.4 Dag, klart-halvklart och måttlig vind

Isoterm bilden (fig 5.8) är ett medelvärde av fyra mätomgångar. I Göta älvs dalgång avtar förmodligen temperaturen med höjden, dvs har en normal temperaturskiktning. och kallluftssjön har försvunnit från huvuddalgången. Sidodalarna har emellertid en svag kallluftsansamling. Bebyggelsen har en viss värmeöeffekt, förmodligen beroende på att de vertikala väggarna lätt kan fånga upp den lågt stående solens strålning. För detta talar också att det är husen på det något högre partiet i nordost som har den högsta temperaturen.

5.4.5 Molnigt

Är det mulet hindras utstrålningen under natten och instrålningen under dagen. Följden blir att det inte kan skapas några nämnvärda temperaturskillnader. I Kärra är temperaturdifferensen vid mulet väder mindre än 1° och den är inte heller särskilt systematiskt fördelad.

5.4.6 Väderberoendet

Av det ovan framförda framgår skillnaden mellan dag- och nattsituationer och att vindförhållandena är viktiga för hur stora temperaturvariationer som kan förekomma. För att ytterligare belysa detta beräknades standardavvikelsen för samtliga mätningar inom varje mätomgång som mått på temperaturvariationerna. Genom detta förfarande kan hänsyn tas till hur samtliga mätpunkter inom området påverkar temperaturvärdenas spridning. Fig 5.9 visar tydligt hur vinden starkt påverkar nattsituationerna.

Vid lugnt och klart väder är det stor variation mellan olika punkter inom undersökningsområdet medan de blåsiga nätterna ger små variationer. I figuren finns också spridningen från en halvklar och en mulen mätomgång med svag vind. Med ökad molnighet följer helt klart

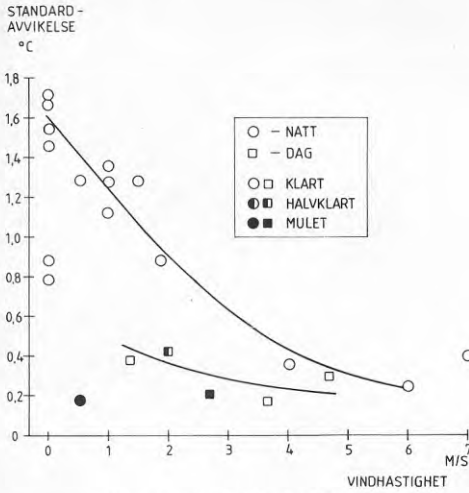


Fig 5.9 Lokalklimatets storlek uttryckt som standardavvikelsen för mätfärderna.

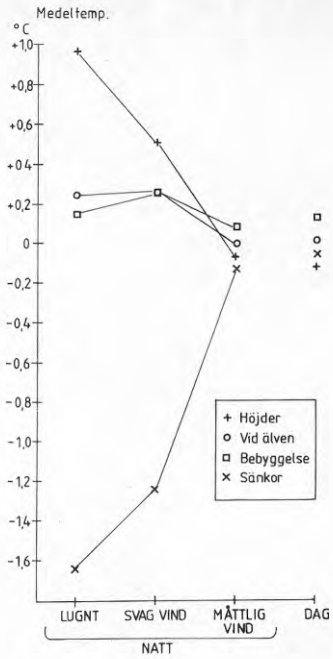


Fig 5.10 Temperaturavvikelsen i olika områdestyper.

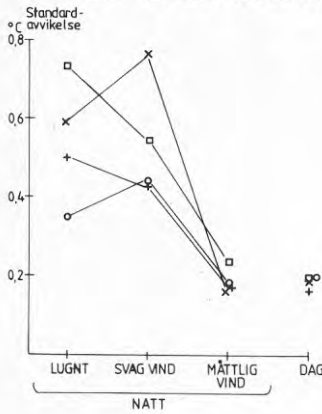
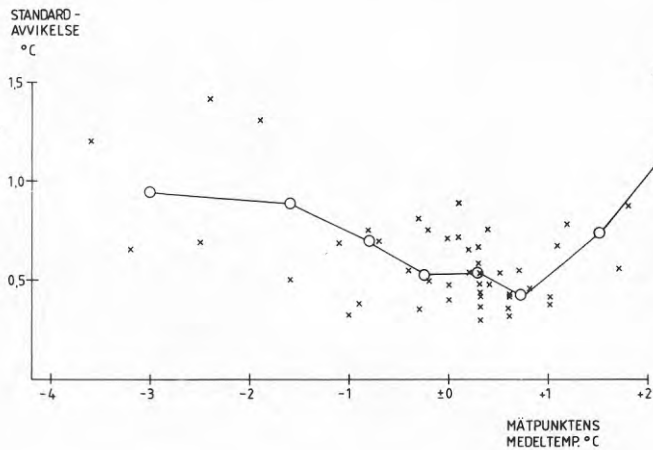


Fig 5.11 Precisionen (standardavvikelsen) för mätningar i olika områdestyper.

Fig 5.12

Samband mellan standardavvikelse och mätpunktens medeltemperatur.



en kraftig minskning av temperaturvariationerna.

Även dagsituationerna påverkas av vindhastigheten, men i mindre grad än nattmätningarna. Dagsituationerna har vid svaga vindar mycket mindre spridning medan skillnaderna är obetydliga vid måttliga vindhastigheter.

Olika delområden är emellertid olika väderkänsliga. I fig 5.10 har medelvärde beräknats för olika delområden. De topografiskt betingade temperaturdifferenserna är betydligt större än de som är beroende av bebyggelsen under utstrålningssituationer. Blåsiga nätter och dagsituationer har små differenser. Värmeön i bebyggelsen är bäst utvecklad under vindsvaga nätter, dvs när kallluftansamlingen är något hämmad genom vindomblandningen, men när vinden har ringa inverkan på luften mellan husen. Ett visst värmeöverskott har också området närmast älven

5.4.7 Spridningen för enskilda mätpunkter

Den genomsnittliga standardavvikelsen för mätpunkter inom olika typområden visas i fig 5.11. Under klara och vindsvaga nattsituationer har bebyggelsen minst spridning och därefter kommer höjdområden. Sänkorna och slättytor vid älven har likstora men något högre värden. Blåsiga nattsituationer och dagsituationer har liten variation mellan olika områdestyper och överhuvud taget liten standardavvikelse.

Blandas mätomgångar från olika vädertyper vid beräkningarna ökar standardavvikelsen. I Kärra är effekten liten för bebyggelsen men tydligt märkbar för sänkorna, vilket beror på att medeltemperaturen där varierar avsevärt mellan olika vädertyper. Ser man till de enskilda mätpunkterna är det i synnerhet de punkter som ligger centralt inom kallluftssjöarna som har störst standardavvikelse (mer än $1,2^{\circ}\text{C}$), dvs de punkter där det under de gynnsammaste utstrålningssituationerna kan bli allra lägst temperatur men som redan vid svag vind kan få vindutjämning av temperaturen. Standardavvikelsen har

en klar tendens att öka ju mer mätpunktens medeltemperatur avviker från medeltemperaturen för hela området (fig 5.12).

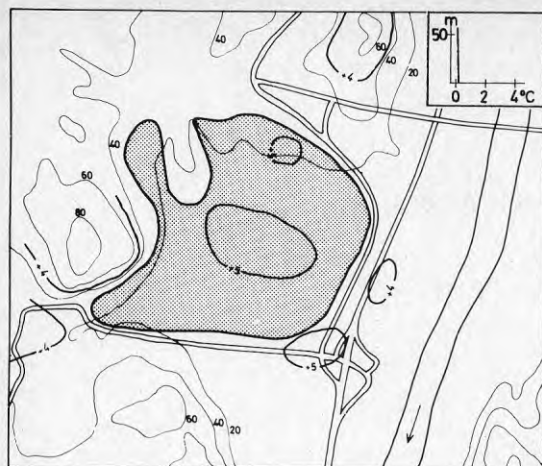
Standardavvikelsen visar således väderkänsligheten både för de små variationer som förekommer mellan olika mätningar vid en bestämd vädertyp och de större variationer som kan uppkomma när man blandar olika vädertyper.

5.4.8 Uppkomsten av värmeöer och kallluftssjöarna
Värmeöar och kallluftssjöar bildas genom att avkylningshastigheten varierar inom bebyggelselandskapet. För att analysera det uppkomna temperaturmönstret är det därför av vikt att observera denna differentierade avkylningsprocess. Detta är emellertid något som inte genomförts särskilt ofta (Sundborg 1951, Lindqvist 1968, Oke & Maxwell 1975). Vid två tillfällen har vi följt uppkomsten av temperaturvariationerna genom att tre mätfärder utfördes med tvåtimmarsintervall (17, 19 och 21).

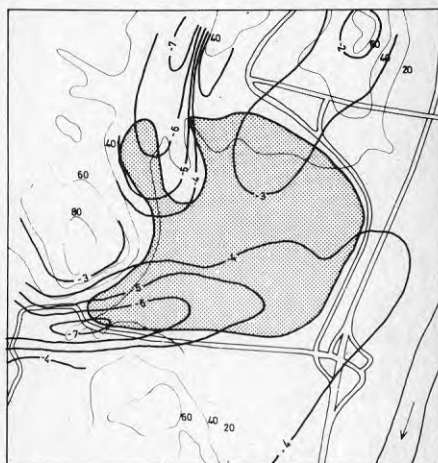
Vid de mätfärder som utfördes 24 mars 1980 var det kl 17 (fig 5.13a) små temperaturvariationer beroende på att solen ej gått ner. Bebyggelsen hade en svag centralt placerad värmeö. I Göta älvs dalgång fanns som helhet en svag kallluftssjö, men i sidodalarna märktes knappast någon kallluftansamling.

Under de följande två timmarna (fig 5.13b) fylls kallluft snabbt på i sidodalarna. Under dessa timmar sjunker temperaturen mer än 7°C i de känsligaste partierna. Inom bebyggelsen är sänkningen endast hälften så stor och på höjderna är sänkningen bara ca 2° .

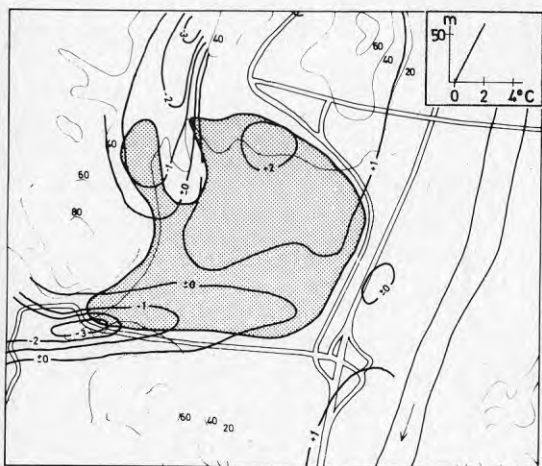
Resultatet (fig 5.13c) blir att Göta älvdalen får en markerad temperaturinversion och att de för goda utstrålningssituationer typiska kallluftssjöarna bildas i sidodalarna. En viss värmeö kan urskiljas i bebyggelsens norra del.



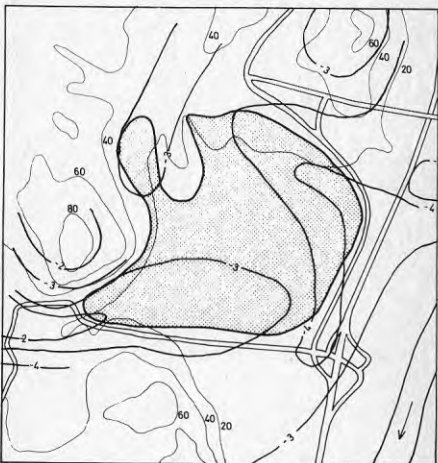
a. Temp kl 17



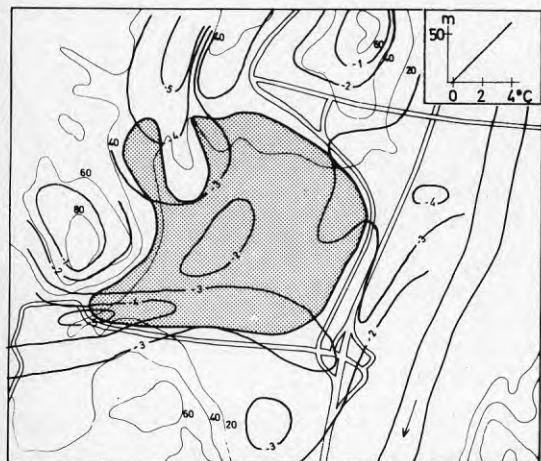
b. Differens 17-19



c. Temp kl 19



d. Differens 19-21



e. Temp kl 21

Fig 5.13 Temperaturförhållanden i Kärra 1980-03-24.

Mellan kl 19 och 21 (fig 5.13d) fortsätter avkylningen. Temperatursänkningen är nu störst inom bebyggelsen. Sänkor och höjdparter har ungefär samma måttliga avkylning och den är någon grad mindre än i bebyggelsen. I norra delen av Göta älvdalen, vilken inte påverkats av kalluft i någon större utsträckning tidigare, sker nu en kraftig avkylning.

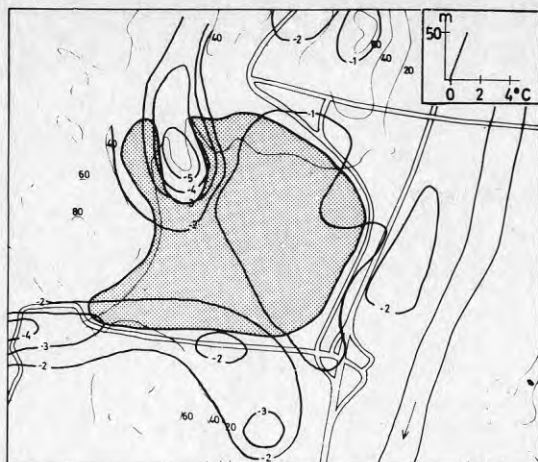
Resultatet (fig 5.13e) blir att inversionen i den stora dalgången blir än mer tydlig. En viss utjämning har skett mellan kalluftssjöarna och värmeön.

Den andra mätserien (fig 5.14) från 21 feb 1980 visade ett likartat förlopp. Kl 17 hade solen redan gått ned och det fanns således redan kalluftssjöar i sidodalarna. Den följande tvåtimmarsperioden skedde en tydlig temperatursänkning i sänkorna medan bebyggelsen behöll sin värme i hög grad. Den näst följande tvåtimmarsperioden var det bebyggelsen som förlorade mest värme medan temperaturen i kalluftssjön sänktes mindre.

Även i detta fall reagerade potentiella kalluftssjöar snabbt på den första avkylningen och utbildades tydligt. Den mycket stabilt skiktade luften hindrar sedan ytterligare tillförsel av kalluft till dalbotten. I stället ökas förmodligen mäktigheten av det avkylda skiktet. Bebyggelsen däremot behåller sin värme längre, vilket till stor del kan bero på att luftrörelserna hindras mellan husen och att avkyld luft inte kan strömma till i nämnvärd omfattning. Det mesta av temperatursänkningen sker istället genom utstrålning. I de intensiva kalluftssjöarna däremot kommer temperatursänkningen till största delen att ske genom tillförsel och koncentration av den tillströmmande kalluften. Utstrålningen däremot kommer efter hand att förlora i effekt p g a de låga temperaturerna.

5.4.9 Ändrat lokalklimat p g a ökad bebyggelse

Det av bebyggelsen opåverkade lokalklimatet i Kärra observerades i några mätfärder i 1969 års undersökning.



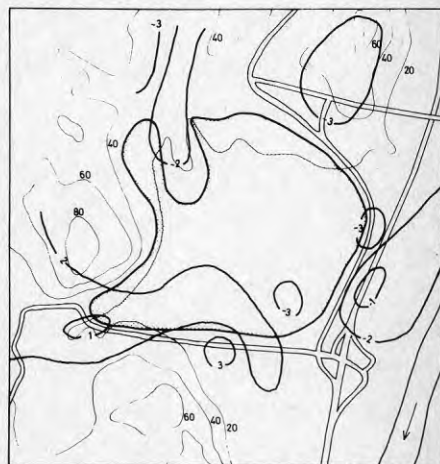
a. Temp kl 17



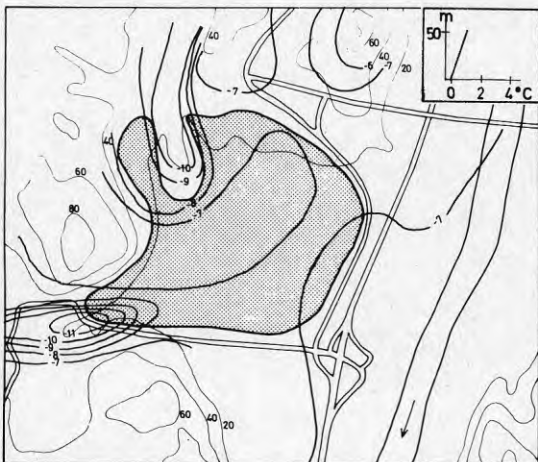
b. Differens 17-19



c. Temp kl 19



d. Differens 19-21



e. Temp kl 21

Fig 5.14 Temperaturförhållanden i Kärre 1980-02-21.

Av de isotermkartor som finns för mätningar på natten när det varit klart och lugnt att döma har det inte varit riktigt goda utstrålningssituationer. Isotermerna är inte heller ritade med särskild hänsyn till topografin, vilket även det gör direkta jämförelser med de senare uppmätningarna svårare. I 1969 års observationer kan man se att kallluft samlas i dalgången mot väster. Däremot tycks kallluften som nu finns i dalen från nordväst saknas liksom en värmeö i bebyggelsen. Den ringa bebyggelsen 1969 är förmodligen i båda fallen orsak till de uteblivna effekterna. Värmeön uteblir eftersom tillräcklig mängd bebyggelse saknas. Kallluftssjön i nordväst bildas inte på grund av att kallluften strömmar utför den ner mot Göta älv sluttande ytan som ett tunnt kallluftflöde medan den tio år senare däms upp av bebyggelsen.

5.5 Bua Västergård - Åkerred

Fig 5.15 bygger på fyra mätomgångar från nätter med klart-halvklart och lugnt - svag vind. Det helt dominerande draget i isotermbilden är den topografiska effekten. Höjderna är varma och det har samlats kallluft i sänkorna. Särskilt framträdande är kallluften i norr på den större dalytan. Några bebyggelseeffekter är svåra att finna, radhus och villor tycks helt enkelt inte kunna bevara tillräckligt med värme för att det skall uppstå någon värmeö.

Möjligen kan en viss effekt spåras i de täta nybyggda områdena i den nordväst-sydostliga dalgången i figurens mitt och kanske även i området öster därom. Temperaturen i dessa kallluftstråk är högre än inom obebyggda sänkor av motsvarande storlek, dvs det blir en viss försvagning av kallluftssjön även om det fortfarande är den som sätter sin prägel på temperaturförhållandena.

Jämför man med mätningarna från 1969 erhålles ytterligare stöd för tanken att den tätare radhusbebyggelsen haft en viss värmebevarande effekt. I nattmätningarna

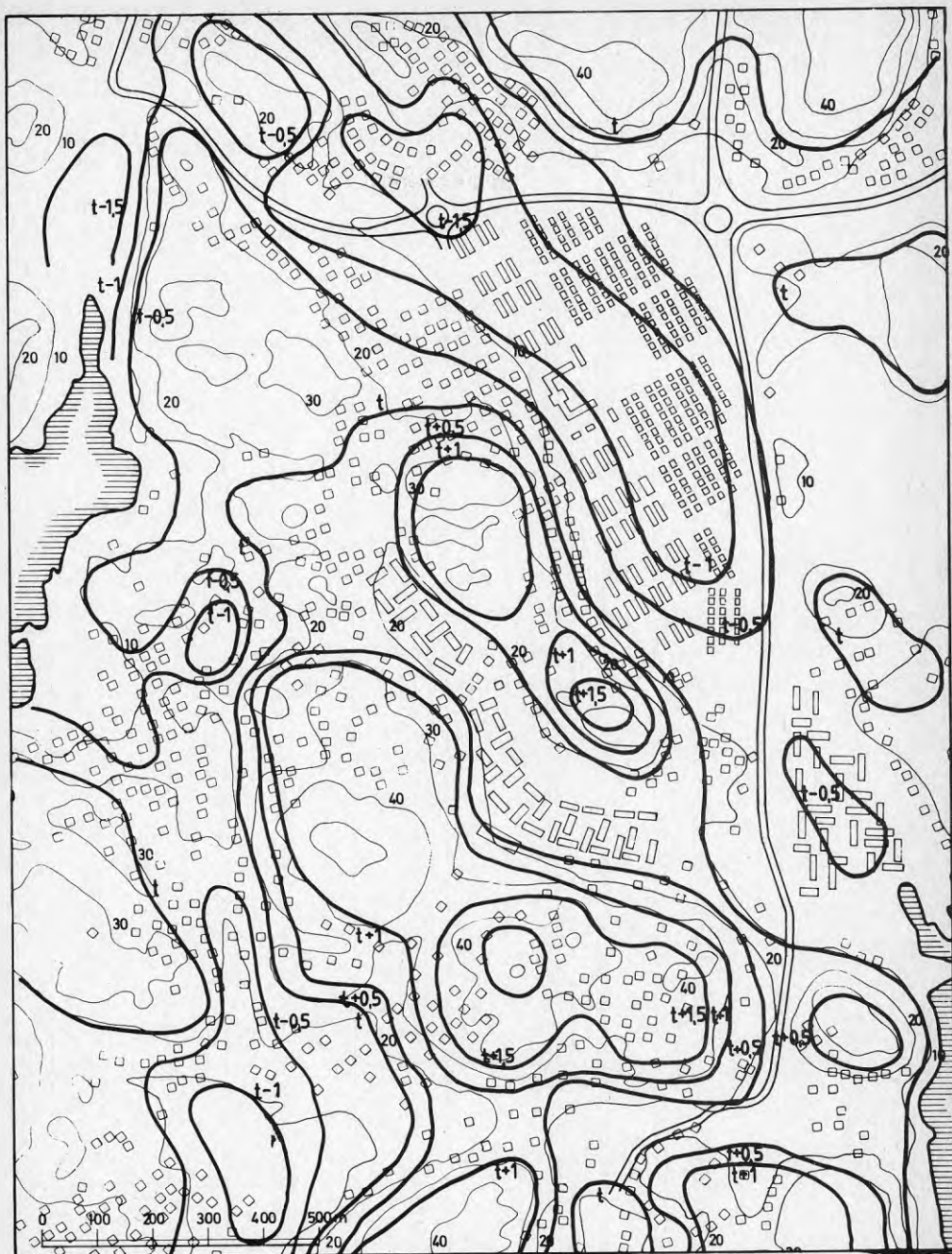


Fig 5.15 Temperaturdifferenser i Bua Västergård - Åkerred;
natt, klart, lugnt-svag vind.

från 1969 var den centrala lilla dalgången den kallaste platsen. Det var inte vindstilla, vilket medförde att kalluften kunde vädras bort från den större dalgången medan den fanns kvar i de mindre och skyddade stråken. Detta försvårar jämförelsen något.

Spridningen för enskilda mätpunkter visar inga tydliga drag beroende på att bebyggelse och topografi växelverkar med varandra i många olika kombinationer. Värdena varierar mellan 0,2 och 0,8°C för de flesta mätpunkterna.

5.6 Torslanda - Nolered

Fig 5.16 bygger på fyra mätomgångar med samma väder som i föregående. Även i detta område är det topografien som helt dominerar isoterm bilden. Det centrala höjdpartiet har ett kraftigt temperaturöverskott. Den norra dalgången samlar mycket kallluft. En liten kallluftssjö finns också i bebyggelsens östra del.

Bebyggelseeffekter kan svårligen utläsas. Möjligen kan de glesare liggande isotermerna över bebyggelsen i norr och söder peka på att bebyggelsen kanske inte bildar någon värmeö, men en viss försvagning av kalllufttillförseln.

I 1969 års mätningar var det obebyggda området i norra dalgångens västra del ibland kallt. Denna kallluftbildning framträder inte lika tydligt på mätningarna 10 år senare, vilket måhända kan tolkas som påverkan av bebyggelsen.

I och med att landskapet inte är fullt lika sönderstyckat och bebyggt kommer spridningen av temperaturvärdena mellan olika mätomgångar att visa en del systematiska variationer. Mätpunkterna inom bebyggelsen är mindre känsliga. Den genomsnittliga standardavvikelsen var 0,44° jämfört med 0,73° för de obebyggda delområdena. Olika topografiska lägen medför olika grad av känslighet för små variationer i vädret vid olika mättillfällen.

Höjder har en standardavvikelse på $1,10^{\circ}$ medan sänkor har något lägre, $0,82^{\circ}$. Sluttningslägen däremot har en standardavvikelse på $0,45^{\circ}$ vilket är samma storlek som för spridningen inom bebyggelsen. Den likstora standardavvikelsen på sluttningar och i bebyggelse, och den mindre känsligheten, kan kanske bero på att dessa båda områdestyper befinner sig på ungefär samma höjd. Även inom bebyggelsen kan man spåra samma tendens till att sluttningslägen ger mindre variation hos temperaturmätningarna.

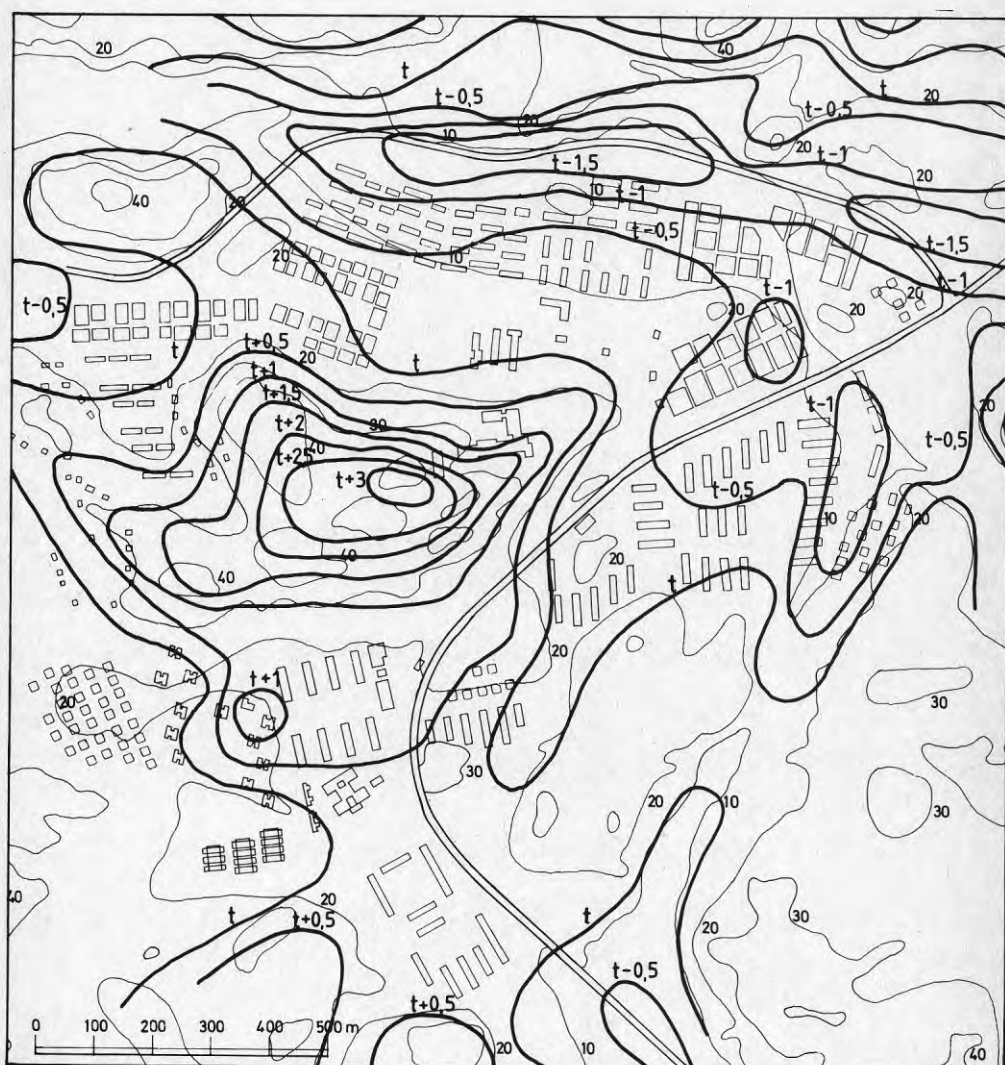


Fig 5.16 Temperaturdifferenser i Torslanda - Nolered; natt, klart och lugnt-svag vind.

Mätfärderna ger endast ögonblicksbilder av temperaturförhållandena i ett område. För att få en kontinuerlig uppföljning av hur temperaturen ändrades, utnyttjades i Kärra de båda termograferna. Höjdskillnaden mellan den var ca 60 m. Ur dessa registreringar kan medeltemperatur och kallluftssjöarnas intensitet och varaktighet beräknas.

6.1 Medeltemperatur

Medeltemperaturen för de båda termograferna räknas ut för varje jämn timme. Dygnsmedeltemperaturen bestämdes som ett medelvärde av dessa tolv värden. Resultatet redovisas i fig 6.1.

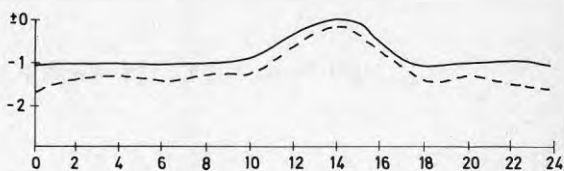
I december håller sig dalen ca $0,5^{\circ}$ under höjdens temperatur nattetid för att under dagen stiga upp till i det närmaste samma nivå. Att daltemperaturen inte är högre under dagtid beror till stor del på ett par inversionssituationer, där inversionen legat kvar även under dagen. Den 19, t ex, var dalen kl 14 5° kallare än höjden. Under december uppmättes den största konstaterade temperaturskillnaden 7° natten mellan 19 och 20.

Januari bjöd på fler utstrålningssituationer än december och detta avspeglar sig tydligt i en större skillnad nattetid mellan termograferna. Den största skillnaden $1,1^{\circ}$ - $1,2^{\circ}$ uppmättes sent på kvällen och tidigt på morgonen. Kl 14 var dalen fortfarande $0,3^{\circ}$ kallare än höjden. Orsaken till detta var till största delen densamma som i december, dvs under dagen kvarliggande inversioner.

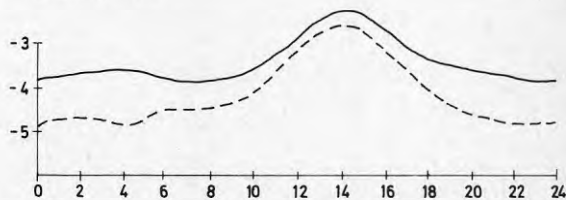
I februari uppmättes något mindre skillnader mellan dalen och höjden med januari. Största differensen $0,9^{\circ}$ uppmättes kl 08 på morgonen. Dalen var något varmare än höjden kl 12, men fortfarande kallare på eftermiddagen.

Fig 6.1
Medeltemperatur
under dygnet i
Göta älvs dalgång

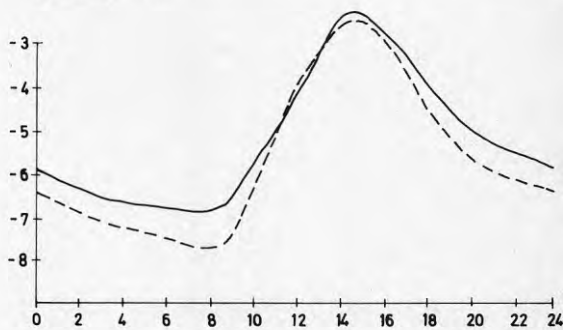
December 1979



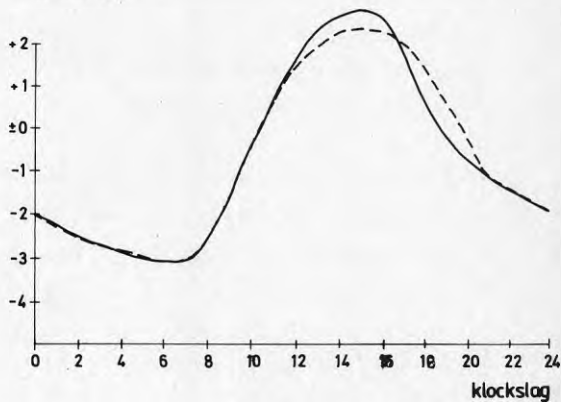
Januari 1980



Februari 1980



Mars 1980



— HÖJDEN
- - - DALEN

klockslag

Mars uppvisar en något mer svårförklarad bild. Temperaturen vid de båda termograferna är i det närmaste identiska under natten. På tidiga eftermiddagen är sedan höjden ca $0,5^{\circ}$ varmare än dalen. På kvällen inträffar det underliga att dalen helt plötsligt är nästan en grad varmare än höjden. Till detta har vi inte funnit någon förklaring.

Sammanfattning av termografregistreringarna

TERMOGRAF 1 (Höjden)

	dec	jan	feb	mars
Dygnsmedeltemp	$-0,9^{\circ}$	$-3,7^{\circ}$	$-5,2^{\circ}$	$-0,7^{\circ}$
Dygnsmedelmax	$+0,8^{\circ}$	$-1,6^{\circ}$	$-1,9^{\circ}$	$+3,2^{\circ}$
Dygnsmedelmin	$-2,7^{\circ}$	$-5,4^{\circ}$	$-8,2^{\circ}$	$-3,8^{\circ}$

TERMOGRAF 2 (Dalen)

	dec	jan	feb	mars
Dygnsmedeltemp	$-1,2^{\circ}$	$-4,1^{\circ}$	$-5,7^{\circ}$	$-0,7^{\circ}$
Dygnsmedelmax	$+0,9^{\circ}$	$-1,8^{\circ}$	$-2,2^{\circ}$	$+3,0^{\circ}$
Dygnsmedelmin	$-3,6^{\circ}$	$-6,9^{\circ}$	$-9,6^{\circ}$	$-4,3^{\circ}$

6.2 Kallluftssjöns intensitet och frekvens

I fig 6.2 redovisas temperaturdifferensernas storlek och frekvens utvärderade efter avläsningarna från termografremsan för varje jämn timme. Avläsnings- och instrumentprecisionen är ju inte den allra bästa hos termografregistreringar. Små differenser bör därför bedömmas med försiktighet.

En kanske något i underkant hållen uppskattning är att under de undersökta månaderna hade december och mars inversioner och kallluftssjöar ca 30% av tiden.

Under mätfärderna hade mätpunkterna närmast intill termograferna en genomsnittlig temperaturskillnad på $1,8^{\circ}$ under lugna och klara mätter och $1,4^{\circ}$ under vind-

svaga och klara nätter. Det innebär att ca 15% av tiden har det funnits förutsättningar för intensiva kallluftssjöar i de mindre dalstråken vid Kärra och också för bildningen av en värmeö i bebyggelsen. En översiktlig jämförelse mellan inversionsintensiteten vid Kärra och vindhastigheten vid Säve visar att bildningen av en kallluftssjö i Göta älvs dalgång är allvarligt störd när vindhastigheten överskrider ca 3 m/s.

Normal temperaturskiktning, dvs med höjden avtagande temperatur, förekom kanske inte mer än en tredjedel av tiden under de undersökta månaderna.

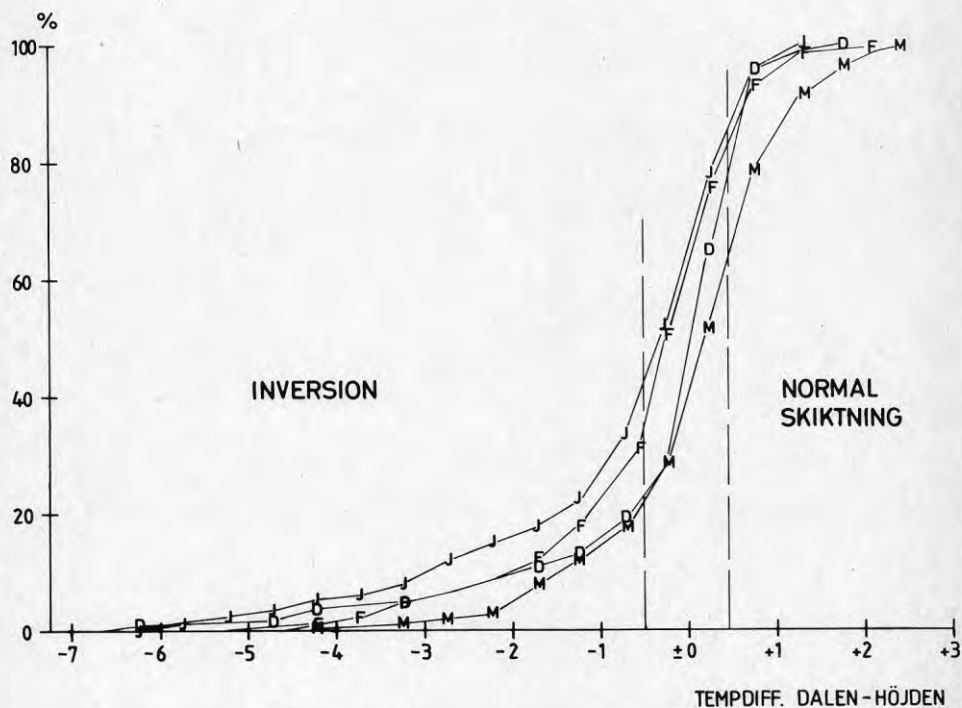


Fig 6.2 Kumulativ frekvens av temperaturskiktningen i Göta älvs dalgång under dec 1979 - mars 1980.

Vindmätningarna ger endast några exempel på hur bebyggelse och topografi påverkar vindförhållandena. Vindens naturliga variationer gör att man inte bör fästa sig för mycket vid små differenser.

7.1 Kärra

Fig 7.1 visar två mätningar med sydvind och en med vind från nordost.

I söder är det mest öppna ytor men här finns också några småindustrier, vilka ibland påverkar vindhastigheten. Bortsett från denna inverkan är vindhastigheten hög (1, 2). I villaområdet sker en mycket kraftig vindreduktion (3). Sedan följer två mer öppna belägna punkter, även om bebyggelsen inte är långt borta, där vinden återhämtar sig en del (4, 5). Tättliggande radhus sänker vindhastigheten (6). En större lekplats ger plats för högre vindhastighet (7). Mellan de parallella blocken av fyravåningshus kan vinden dämpas kraftigt, även om det ibland kan bli en viss ökning av vinden, t ex när den blåser parallellt med huskropparna (8, 9). Höghus kan föra ned vinden med hög vindhastighet mot marken (10, 11). På den öppna ytan kommer vinden att ha varierande hastighet beroende på om det föreligger läverkan från bebyggelsen eller ej (12).

Vindriktningarna kommer särskilt intill de högre och långsträckta husblocken att visa stor variation beroende på virvelbildning mot, mellan och bakom huskropparna (fig 7.2).

7.2 Angereds centrum och Åby

Fig 7.3 visar ett exempel från vardera området. Vindreduktionen inom bebyggelsen är mycket påtaglig i Angereds centrum (fig 7.3a). Den lilla vindökningen som syns i kurvan beror på att mätpunkten ligger intill en

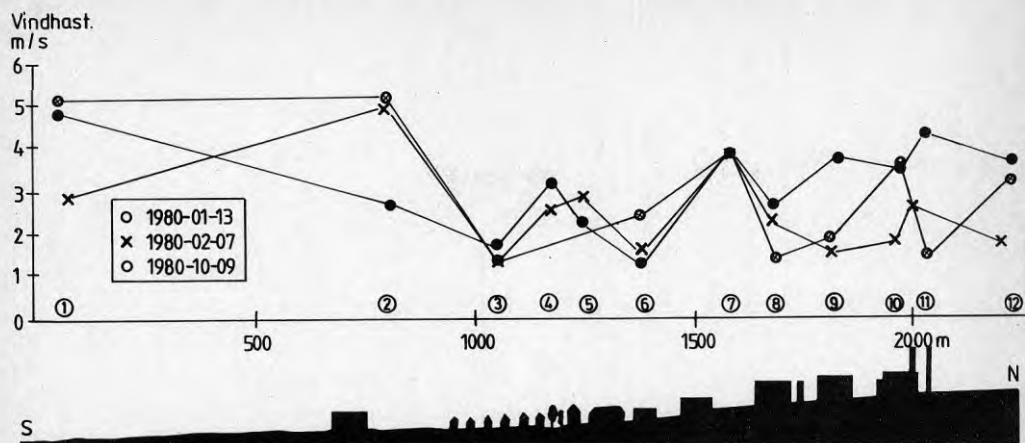


Fig 7.1 Vindhastigheten i Kärra 1,6 m över marken. Säve hade 1980-01-13 SV 9 m/s, 1980-02-07 NO 3-4 m/s och 1980-10-09 S 9 m/s.

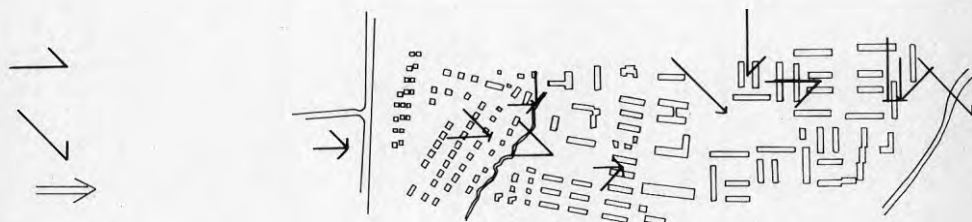


Fig 7.2 Vindriktningen i Kärra 1980-01-13. Säve hade under mätningen SV 8 m/s.

Öppen parkeringsplats.

I Åby (fig 7.3b) syns inte bebyggelsens vindreduktion lika tydligt beroende på att några mätpunkter är placerade i trånga passager som vetter mot vinden. Dessa kan då ibland få vindhastigheter som till och med överstiger hastigheten över öppna ytor. Mätpunkter i mer typiska positioner i bebyggelsen visar en kraftig vindreduktion.

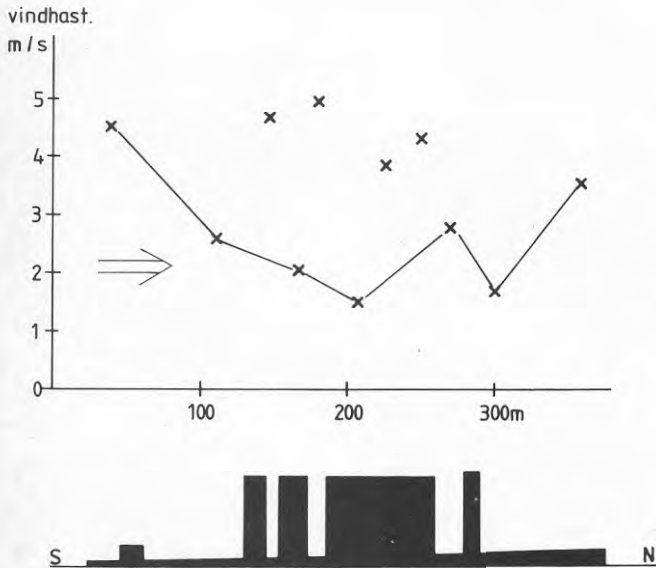
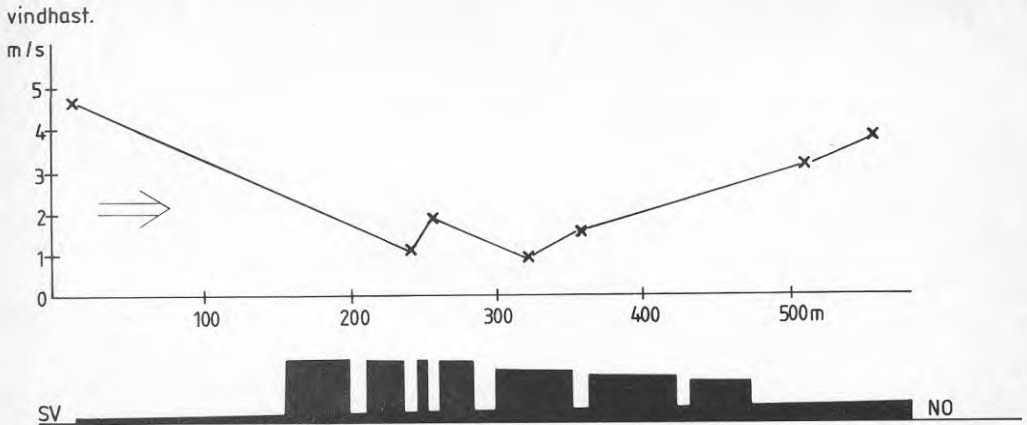


Fig 7.3
Vindhastigheter
i a/ Angereds
centrum 1980-10-08
b/ Åby 1980-10-10
Säve hade samtidigt
SSV 9 m/s vid båda
tillfällena

7.3 Torslanda - Nolered

Mätningarna utfördes en dag med kraftig vind från NV. De uppstickande höjdpartierna var kraftigt vindutsatta. På den centrala höjden, strax norr om Torslanda kyrka (mät punkt 4), uppmättes 10,3 m/s och på höjden alldeles norr om den yta fig 7.4 visar blåste det 12,9 m/s. I bebyggelsen som ligger i topografiskt sett mindre utsatta lägen var vinden åtskilligt svagare (2-3 m/s)

beroende både på topografin och bebyggelsens reducerande effekt. Exempel på hur olika utformning av bebyggelsen kan påverka vinden erhålles om man jämför mätpunkterna 2 och 3. Mät punkt 2 har parallella hus och öppna gräsytor vilket ger måttlig reduktion av vindhastigheten. Den med många vinklar formade bebyggelsen vid mät punkt 3 slår däremot sönder vinden effektivt och ger en avsevärd minskning av vindhastigheten.

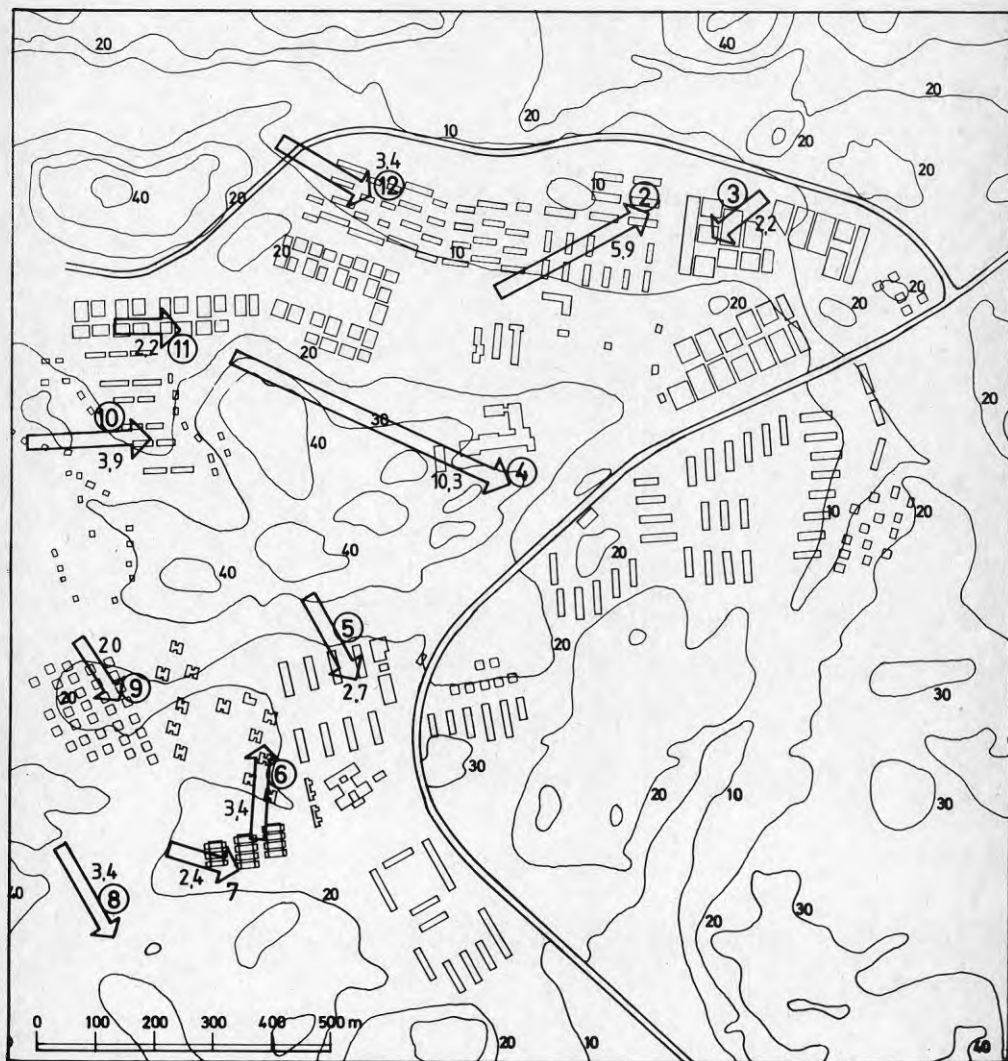


Fig 7.4 Vindhastigheter i Torslanda - Nolered 1980-04-19. Säve hade samtidigt NV 10 m/s.

7.4 Bua Västergård - Åkerred

Mätningen utfördes samma dag som i Torslanda - Nolered (fig 7.5). Höjddpartier utan bebyggelse (mätpunkt 1, 2, 5, 7) hade som i föregående område högre vindhastighet än övriga punkter även om differanserna inte var lika stora, förmodligen beroende på mindre topografiska skillnader och mer vegetation. Bebyggelse på låga slättområden (mätpunkt 3 och 10) hade hög vindhastighet, nästan i klass med de obebyggda höjderna. Orsaken torde vara fri anblåsning och (åtminstone för mätpunkt 10) en utpräglad parallellstruktur hos bebyggelsen. Låga vindhastigheter hade mätpunkterna 6, 8 och 9. Dessa orsakades av en kombination av topografiskt skydd, och vegetationslä och i någon mån av bebyggelsens utformning. Topografins effekt visas tydligt av mätpunkterna 3 och 8 där mätpunkt 8 ligger i en halvsluten sänka medan mätpunkt 3 är öppet belägen för den aktuella vindriktningen.

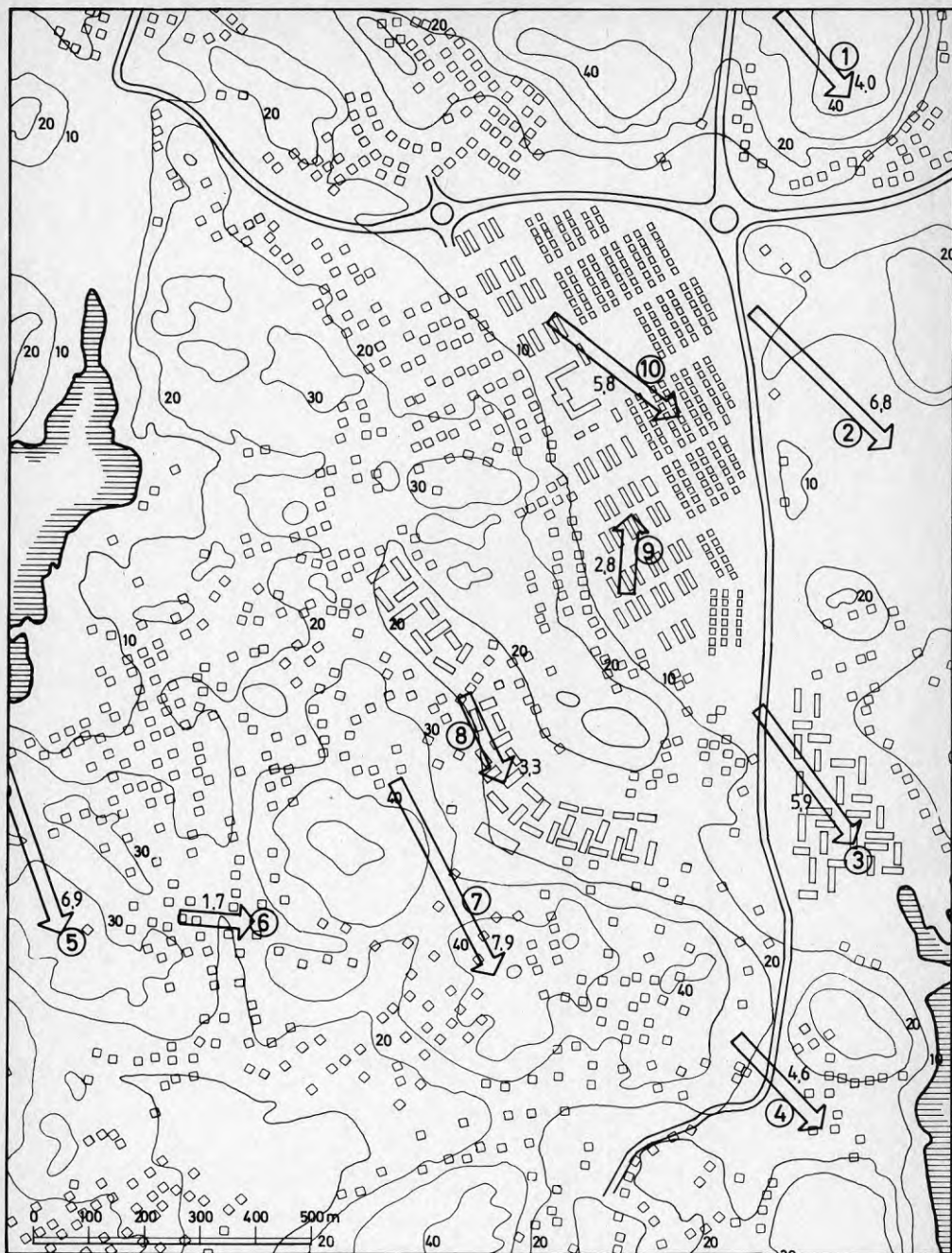


Fig 7.5 Vindhastigheter i Bua Västergård - Åkerred
1980-04-19. Säve hade samtidigt NNV 11 m/s.

8.1 Temperatur

Angereds centrum är ett litet men koncentrerat uppbyggt område. Under klara och vindsvaga nätter kan värmeön bli 1°C varmare än omgivningen.

I Åby som täcker dubbelt så stor yta blir värmeön under samma yttre förutsättningar knappt $0,5^{\circ}\text{C}$, beroende på den glesare uppbyggnaden.

Bebyggelsen i Kärra är mer omfattande än i de ovan nämnda områdena. Flerfamiljshus har ungefär samma täthet som i Åby och till detta kommer villor och radhus. Värmeön blir ca 1° . Den större bebyggda ytan borde ha gett en kraftigare värmeö. En tätort av Kärras storlek borde enligt Okes (1973) sammanställning av värmeöars storlek i olika städer i Nordamerika och Europa ha en värmeö på åtminstone 4°C under klara, och lugna nätter. Tillrinnande kallluft från omgivande sluttningar och dalar har emellertid dämpat värmeön.

I Torslanda - Nolered och Bua Västergård - Åkerred är landskapet så sönderstyckat och bebyggelsen så gles att det knappast går att spåra någon värmeöeffekt direkt. Däremot finns det tendenser till att intensiteten i kallluftssjöarna bara bli något mindre i de tätast uppbyggda delområdena.

Samma minskning i intensiteten hos kallluftssjöar kan observeras i en temperaturprofil som i annat sammanhang mättes genom Göteborg en klar och vindsvag kväll (fig 8.1). Värmeön gör att temperaturprofilen välver sig som en kupol över det bebyggda området. Eftersom bebyggelsen är tät och omfattande blir värmeön med centrum kring Avenyen, som har den mest koncentrerade bebyggelsen, åtskilligt större än i de undersökta områdena kring Göteborg. Man kan också se att kustområdet är varmare än inlandet p g a havets värmeberoende effekt.

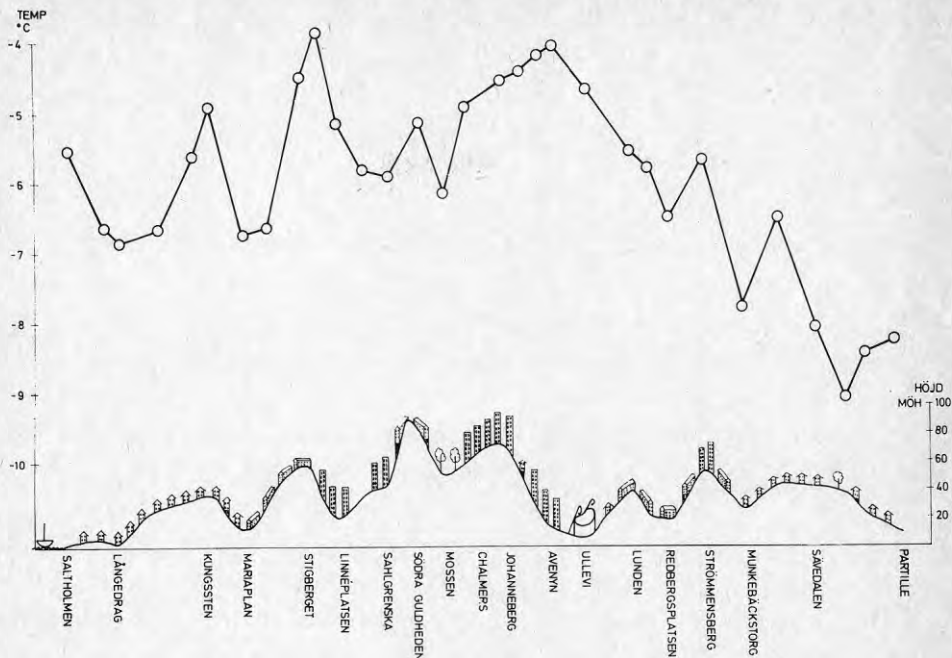


Fig 8.1 Temperaturprofil genom Göteborg 1979-12-12 på kvällen vid lugnt och klart väder. Efter Holmer (1980).

Den rådande utstrålningssituationen gör också att det samlas kallluft i alla dalstråk utom kring Avenyn där värmeeffekten dominerar. Intensiteten i kallluftansamlingen dämpas emellertid av bebyggelsen.

Överfört till Torslanda - Nolered och Bua Västergård - Åkerred kan då konstateras att bebyggelsens värmebevarande effekt inte märks direkt genom ett temperaturmaximum utan genom att kallluftssjön i det bebyggda området är mindre intensiv än för ett motsvarande obebyggt läge.

Kallluftflöden och kallluftssjöar har i samtliga undersökta delområden visat sig påverka temperaturfördelningen. I Angereds centrum och Åby har effekten varit

måttlig och Torslanda - Nolered samt Bua Västergård - Åkerred har den nästan helt raderat ut bebyggelseeffekterna. Den intensivaste kalluftansamlingen har dock Kärroområdet. Läget i Göta älvs dalgång och i korsningen mellan mindre dalstråk medför en omfattande tillförsel av kalluft.

Orsak till att kalluften så lätt påverkar och får större effekt på temperaturen än bebyggelsen torde vara att kalluften produceras över stora ytor. Tyngdkraften och svaga lufttrycksskillnader gör sedan att kalluften rör sig utför sluttningarna och transporteras till mindre områden där temperaturen närmast marken blir mycket låg och den vertikala mäktigheten på kalluften stor.

Bebyggelsens värmeö beror väsentligast på större värmekapacitet och reducerad utstrålning och omfattar således mindre luftvolym, vilket medför att tillströmmande kalluft i stora mängder kan vantilera bort varmluften mellan husen.

Kallufttillströmningen påverkas starkt av även en svag vind. Värmeön är däremot mindre känslig på grund av bebyggelsens vindreducerande effekt. Värmeön tycks därför framträda tydligare under nätter som inte är helt vindstilla. Denna effekt kan spåras både i de tidigare mätningarna (B-situationer i t ex Botkyrka, Torslanda - Nolered och Bua Västergård - Åkerred) och i de här presenterade mätningarna för vindsvaga nätter i Kärro.

Kalluftens rörlighet medför också att kalluftssjöar snabbt kan byggas upp. De framträder således snabbt när avkylningen påbörjas och kan ge stora och snabba temperaturfall. Bebyggelsen är däremot genom den reducerade luftomblandningen trögare. Temperaturfall blir därför litet i början av avkylningsperioden för att senare under kvällen bli större än i de snabbt nästan färdigbildade kalluftssjöarna.

Bebyggelsen försvagar i de flesta fall kallluftssjöarna. I vissa lägen kan emellertid bebyggelsen skapa kallluftssjöar genom att kallluftflöden däms upp. Så har fallet varit i nordvästra Kärra där intensiva kallluftssjöar kan konstateras efter exploateringen 1979 medan man under den tidigare undersökningen 1969, då marken utnyttjades som åker, inte kunde se någon särskild kallluftssjö.

Kallluften gör att dalgångsläget i Kärra är olämpligt ur temperatursynpunkt. Registreringarna från termografena visar att inversioner förekommer mer än 50% av tiden under fyra undersökta vintermånader, vilket medför att dalgången genomsnittligt är kallare än omgivningarna. Det är i första hand nattens lägsta temperaturer som bidrar till detta men inversionerna kan även kvarstå hela dygnet så att även maxtemperaturen under dygnet är lägre i dalen.

8.2 Vind

Underlaget för vinddiskussionen är litet. Tendenserna är emellertid tydliga och de erhållna resultatet stämmer väl överens med dem som tidigare observerades av en av oss i Göteborg (Holmer 1978). Vinden reduceras kraftigt i bebyggelsen som medeltal.

Vinden påverkas kraftigt av bebyggelsen. I Angeredens centrum reduceras vinden med ca 70% jämfört med den öppna ytan på vindsidan. Bortsett från smala passager var vindreduktionen i Åby drygt 50%. Även i Kärra dämpades genomsnittligt med drygt 50%. Det var emellertid en viss skillnad mellan olika bebyggelse typer. I villa- och radhusområden sänktes vindhastigheten med 60% och i området med flerfamiljshus i 3-6 våningar med 45%.

Öppna ytor i bebyggelsen, uppstickande höga hus och trånga passager mot vinden ger dock tillfälliga ökning av vindhastigheten eller till och med överhastigheter jämfört med omgivande obebyggda ytor.

Topografin påverkar också vindförhållandena. Krönlägen är utsatta. Små topografiska skillnader i höjd- eller sidled kan emellertid reducera vinden avsevärt i delområden som i stort kan anses vara utsatta för högre vindhastighet än omgivningen.

8.3 Effekter av ändrat lokalklimat

Bebyggelsen påverkar det ursprungliga lokalklimatet inom ett område. Vad gäller temperatur blir effekten särskilt stor under vindsvaga klara nätter. Temperaturdifferensen kan då också ge upphov till lokala vindsystem - kallluftflöden på sluttningar och omlandsbris, som blåser in mot värmeöar om dessa är tillräckligt intensiva. Även om de tydligaste termiska effekterna inte förekommer mer än ca 10% av tiden är dessa så stora att de kan påverka medelförhållandena. I andra fall, t ex vindreduktionen i bebyggelsen, är effekten nästan ständigt närvarande, vilket medför att även en ganska måttlig storlek på lokalklimateffekten kan påverka medelförhållandena.

Det avvikande lokalklimatet kan ha betydelse för:

1. Komforten inom området, dvs hur kyla eller vind i ett område påverkar humör och välbefinnande. Forsök har också gjorts att utreda komfortindex, t ex för vindkomfort (Penwarden 1973).
2. Energiåtgången för uppvärmning. För Boråsområdet har vi beräknat att tämligen måttliga kallluftssjöar eller måttligt vindutsatta lägen ger en ökning av energiåtgången för uppvärmning med 5-10% (Holmer & Lindqvist 1980). I kuperade inlandsområden kan kallluftavkylningen antas bli större och i kust- och slättområden vindavkylningen.
3. Luftföroreningssituationen. De termiska vindsystemen - kallluftflöden i områden med måttlig relief, berg- och dalvind i mer storkuperade områden, land- och sjöbris i kustområden och omlandsbris kring bebyggelsen - kan både förbättra eller försämra föroreningsbilden inom området beroende på var utsläppspunkterna är belägna. De termiska vindsystemen medför också svårigheter i och med att beräkningen med spridningsmodeller kan bli behäftade med allvarliga fel under de mest kritiska situationerna.

9 SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

Uttryckt i punktform har våra undersökningar visat följande:

1. Villa- och radhusbebyggelse ger inte upphov till någon tydlig värmeoeffekt (om inte husen ligger mycket tätt).
2. Flerfamiljshus ger en svag värmeoeffekt i gles gruppering och en tydlig om det är små ytor mellan husen.
3. Även mindre grupper av hus (i vår undersökning ca 10 ha bebyggd yta) kan, om strukturen är någorlunda tät ge en värmeö.
4. I sänkor och dalar utbildas lätt kallluftsjöar som ofta ger så stor temperatursänkning att den undertrycker bebyggelsens värmeoeffekt.
5. Där ett topografiskt styrt kallluftflöde infiltrerar i bebyggelsen kommer värmeön att dämpas eller utplånas.
6. Kallluftssjöarna är mer vindkänsliga än värmeöarna.
7. Vindhastigheten reduceras i de undersökta områdena med ca 50-70% av bebyggelsen. Vindökning kan emellertid förekomma i trånga passager.

Vid planeringen av ett område bör följande synpunkter beaktas:

- A. Med tanke på kallluftens dominans, såväl ur komfort- som energisynpunkt, undviks lägen i anslutning till betydande kallluftssjöar. I stället är ej alltför vindutsatta lägen i söderslutningar att föredra. Även andra slutningar eller högre partier kan vara

lämpliga för lokalisering av bebyggelse men de bör ej vara vindutsatta.

- B. Kalluftflöden får ej dämmas upp i anslutning till bebyggelse eftersom den kan infiltrera mellan husen. Antingen kan husgrupperingar undvikas i sådana lägen eller också kan man genom planteringar eller med bebyggelsens form leda kalluften förbi området. I båda fallen visar en undersökning av det primära lokalklimatet vad som kan vara lämpligt.
- C. Genom en kompakt uppbyggnad av området kan värmeöns förstärkas vilket minskar uppvärmningsbehovet.
- D. En kompakt uppbyggnad ger också en kraftig vindreduktion och således mindre avkylningsförluster. I vissa fall kan en nackdel emellertid vara att bortvädringen av luftföroreningar försvagas.

LITTERATUR

Geiger, R, 1965, The climate near the ground. Harvard Univ. Press. 611 p. Cambridge.

Hammarberg, U, 1979, Studier av temperaturklimatet i Kärra. Naturgeogr. inst, Göteborgs univ. Opublicerad seminarieuppsats. 35 p. + bilagor. Göteborg.

Holmer, B, 1978, Vindklimatet i Göteborg. Naturgeogr. inst, Göteborgs univ. GUNI Rapport 11. 224 p. Göteborg.

Holmer, B, 1980, Omlandsbris - stadens termiska vind-system. Geografiska notiser 38. p 105-108. Lund.

Holmer, B & Lindqvist, S, 1980, Energihushållning i stadsplanen - lokalklimatologiska studier. Statens råd för byggnadsforskning. T6. 69 p. Stockholm.

Lindqvist, S, 1968, Studies on the local climate in Lund and its environs. Geografiska anualer 50A. p. 79-93. Stockholm.

Lindqvist, S, 1970, Bebyggelseklimatiska studier. Medd. fr. Lunds univ. geogr. inst. Avhandlingar LXI. 205 p.

Lindqvist, S & Rylander, B, 1973, Lokalklimatförändring - inverkan av bebyggelse. Statens råd för byggnadsforsk. Rapport 59. 38 p + bilagor. Stockholm.

Mattsson, J.O, 1979, Introduktion till mikro- och lokalklimatologin. Liber Läromedel Malmö. 201 p. Malmö.

Nkemdirim, L, 1980, Cold air drainage and temperature fields in an urban environment: A case study of topographical influence on climate. Atmospheric environment 14. p. 375-381. London.

Oke, T.R, 1973, City size and the urban heat island. Atmospheric environment 7. p 769-779. London.

Oke, T.R, 1978, Boundary layer climates. Methuen & Co. 372 p. London.

Oke, T.R & Maxwell, G.B, 1975, Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver. Atmospheric environment 9. p 191-200. London.

Penwarden, A.D, 1973, Acceptable wind speeds in towns. Building Science 8, p

Sekiguti, T, 1973, Basin and city climate complex. Japanese progress in climatology, nov 1973. p 3-14. Tokyo.

Sundborg, A, 1951, Climatological studies in Uppsala, with special regard to the temperature conditions in the urban area. Geographice 22. p 111P. Uppsala.

Yoshino, M.M, 1975, Climate in a small area, an introduction to local meteorology. Univ. of Tokyo press. 549 p. Tokyo.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
790905-2 från Statens råd för byggnadsforskning
till BERGAB Klimatundersökningar, Göteborg.**

R81: 1981

ISBN 91-540-3542-2

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700381

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirka pris: 25 kr exkl moms