



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.



Rapport

R116:1985

Klimatberoendet i bebyggelsens energibudget

Data och beräkningsmetoder

Roger Taesler

R
AN

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	
Plac	See

Byggeforskningsrådet

R116:1985

KLIMATBEROENDET I BEBYGGELSENS ENERGIBUDGET

Data och beräkningsmetoder

Roger Taesler

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 780807-6
från Statens råd för byggnadsforskning till SMHI,
Norrköping.

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

R116:1985

ISBN 91-540-4456-1

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1985

INNEHÅLL

1.	INLEDNING	1
2.	METODER FÖR BERÄKNING AV LOKALA KLIMATDATA	5
2.1	Allmänt	5
2.2	Det meteorologiska observationsnätet	8
2.3	Beräkning av lokala vinddata	9
2.3.1	Bakgrund	9
2.3.2	Metodbeskrivning	10
2.3.3	Lokala vindmätningar samt metodtester	13
2.3.4	Sammanfattning och diskussion	28
2.3.5	Produktion av lokal vindstatistik	29
2.4	Beräkning av lokala temperaturdata	34
2.4.1	Bakgrund	34
2.4.2	Metodbeskrivning	36
2.4.3	Sammanfattning och diskussion	43
2.5	Beräkning av lokala solstrålningsdata	43
2.5.1	SOLTIMSYN-modellen i sammandrag	44
3.	KLIMATDATA FÖR ENERGIBERÄKNINGAR	49
3.1	Allmänt	49
3.2	Frekvenser av vindhastighet och temperatur för olika vindriktningssektorer	51
3.3	Frekvenser av vindhastighet och vindriktning med tillhörande medeltemperatur	56
3.4	Förenklad, grafisk representation av komplexa klimatdata	56
4.	MODELLER FÖR ENERGIBERÄKNINGAR	74
4.1	Målsättningar och problemställningar	74
4.2	ENLOSS-modellen	77
4.2.1	Översikt	77
4.2.2	Beräkning av transmissionsförluster	78
4.2.3	Beräkning av infiltrationsförluster	80
4.2.4	Fortsatt beräkningsgång	88
4.3	PHOENICS-modellen	89
4.3.1	Översikt	89
4.3.2	Exempel på beräkningsresultat	91
5.	DISKUSSION	101
5.1	Översikt	101
5.2	Beräkningar av lokala klimatdata	101
5.3	Val av formfaktor-värden	103
5.4	Val av klimatologiska indata	109
5.4.1	Tidsserier eller frekvensstatistik	109
5.4.2	Val av referensstation	111
5.4.3	Beräkningsperiodens längd	113
	REFERENSER	116

SAMMANFATTNING

Lokala omgivningsfaktorer såsom terräng, vegetation eller bebyggelse orsakar förändringar i vind, temperatur, solinstrålning och andra klimatelemt. I synnerhet stadsbebyggelsen har visats påverka så gott som alla klimatelemt. Det idag tillgängliga klimatologiska underlaget för planering och projektering av bebyggelse bygger på observationsserier från meteorologiska stationer, vilka så gott som undantagslöst är belägna utanför tätbebyggelse. Det mest fullständiga och detaljerade observationsmaterialet kommer från flygplatsstationer och representerar en typ av omgivning som avviker starkt från förhållandena i bebyggelse.

Syftet med det projekt, som redovisas i föreliggande rapport, har varit att utveckla metoder för produktion av lokalt representativa klimatdata och för undersökning av effekten av lokala, speciellt urbana, klimatvariationer på bebyggelsens energibehov.

I kapitel 1 redovisas och diskuteras målsättningar och problemställningar för projektet närmare. Lokal korrigerig av vindhastighet och lufttemperatur behandlas därefter i kapitel 2. Metoderna härför har utvecklats med utgångspunkt från tidigare publicerade arbeten. Omräkning av vindhastigheten från meteorologiska stationer till lägen i naturlig och urban omgivning har testats mot fältmätningar i fyra olika fall. Resultaten visar att metoden trots sin relativa enkelhet ger god lokal överensstämmelse utan signifikanta systematiska avvikelser. En relativt stor slumpmässig spridning kan dock förekomma vid svagare vindar. Temperaturomräkningen utförs enligt ett schema som utgör en kombination av teoretiskt beräknade och empiriskt grundade korrektioner.

En ny modell för beräkning av direkt och diffus solinstrålning mot godtyckligt orienterade lutande ytor har utvecklats i projektet. Modellen kan appliceras på alla stationer med fullständiga synoptiska observationer, totalt ca 200. Beräkningarna tar hänsyn till markreflexion och horisontavskärmning från lokala omgivningselement. Tester mot mätningar under 3/4 år har gett utomordentligt god överensstämmelse. Modellen har publicerats separat i svensk och internationell fackpress. I rapporten ges en kortfattad översikt.

I kapitel 3 redovisas nya typer av statistik över samvariationen av vind och temperatur, vilka har utvecklats inom projektet speciellt för beräkningar av vind- och temperaturberoende energiförluster i bebyggelse. Ett mycket omfattande tabellmaterial har producerats och arkiverats på SMHI. Det är omöjligt att publicera tabellmaterialet i sin helhet men kopior kan erhållas från SMHI. Med användande av de ovan nämnda korrektionsmetoderna kan även motsvarande data produceras för en viss, lokal plats. I kapitel 3 beskrivs och exemplifieras också vissa metoder för förenkling och grafisk presentation av den nämnda statistiken.

Kapitel 4 innehåller en ingående beskrivning av den s k ENLOSS-modellen, som utvecklats i projektet för kvantitativa beräkningar av lokalklimatiskt betingade variationer av byggnaders energiförluster genom transmission och infiltration. Som indata till modellen kan användas antingen lokalt korrigerade tidsserier av timvisa observationer under 25-30 år eller därpå baserad klimatstatistik

enligt ovan. I det senare fallet reduceras beräkningstiden med en faktor 100. Härigenom är det möjligt att på ett statistiskt representativt sätt analysera och värdera det klimatberoende energibehovet för olika lokala lägen, områdesplaner eller byggnadsformer och -orienteringar.

I kapitel 4 beskrivs också användningen av programsystemet PHOENICS för 3-dimensionella simuleringar av luftströmning och tryckfördelning runt byggnader. Exempel ges på formfaktor-värden som beräknats med två speciella satellit-program till PHOENICS, avseende dels en friliggande byggnad och dels samma byggnad omgiven av andra, identiska byggnader. Jämförelser görs här med c_p -värden enligt vindtunnelmätningar och enligt SBN 80.

I kapitel 5 diskuteras olika osäkerhetsfaktorer vid ENLOSS-beräkningarna. Härvid görs jämförelser av luftomsättningsberäkningar med olika uppsättningar av c_p -värden. Vidare behandlas felkällor som sammanhänger med valet av klimatologiska indata. Betydelsen av lokala klimatvariationer exemplifieras och diskuteras genom jämförande beräkningar av transmissions- och infiltrationsförlusterna för två olika lägen dels med och dels utan lokal korektion av vindhastighet respektive temperatur. Resultaten visar att lokalklimatiskt betingade variationer i energiförlusterna kan vara betydelsefulla även i byggnader som uppfyller dagens isolerings- och täthetskrav.

Projektet har finansierats med anslag från BFR samt med interna medel vid SMHI.

1. INLEDNING

Klimatet på en ort utgör en av de primära, naturgivna förutsättningarna vid bebyggelseplanering och byggnadsprojektering. De klimatdata, som utgör underlag för beslut i olika stadier av byggprocessen - från översiktlig planering till drift och underhåll av enskilda byggnader - bygger så gott som uteslutande på observationer från meteorologiska stationer belägna utanför tätbebyggda områden. Detta underlag ger alltid en mer eller mindre approximativ och i vissa avseenden systematiskt felaktig bild av klimatförhållandena i stadsbebyggelse.

Så gott som alla klimatelement förändras mer eller mindre kraftigt i bebyggelsen, men i synnerhet vind- och temperaturförhållandena kan avvika kraftigt mellan bebyggd och obebyggd terräng liksom mellan områden med olika bebyggelsestruktur.

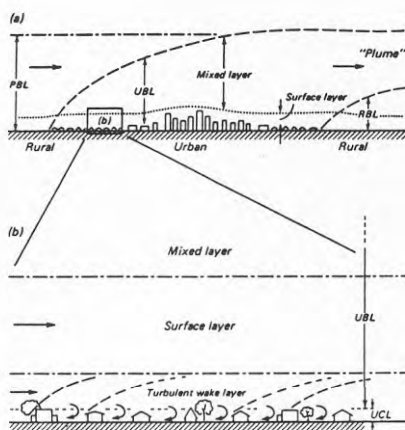
Även utanför tätbebyggelsen förekommer avsevärda lokala klimatvariationer. Dessa kan, på grund av stationsnätets gleshet, endast i mycket begränsad utsträckning fastläggas direkt ur observationerna från de meteorologiska stationerna.

Före energikrisen ägnades de lägesberoende, lokala eller regionala klimatvariationerna endast obetydlig uppmärksamhet i samband med planering och byggande. Under senare år har emellertid intresset vuxit påtagligt av flera skäl. Förbättrad lokal representativitet i det klimatologiska beräkningsunderlaget kan ge bättre energihushållning genom en mer optimal dimensionering av byggnaders energiförsörjningssystem. Energibesparingar kan också uppnås genom lokalisering, gruppering och orientering av byggnader med hänsyn till de lokala klimatförutsättningarna. Dessutom kan vistelseklimatet i bebyggelsen och, speciellt, i byggnadernas närmaste omgivning förbättras genom medvetna planeringsåtgärder.

Lokala, inklusive urbana effekter på vind, temperatur och andra klimatelement är olika starkt utvecklade under olika årstider och allmänna meteorologiska förhållanden eller vädersituationer. För att utvärdera klimatberoende, lokala skillnader i t ex energibehov eller utomhuskomfort måste man därför anlägga ett statistiskt betraktelsesätt, som tar hänsyn både till de lokala klimateffekternas storlek i en viss vädersituation och förekomsten av olika vädersituationer under olika årstider. Problemet kompliceras av att de olika vädersituationernas frekvens och varaktighet varierar starkt från år till år. För en tillförlitlig utvärdering av t ex energibesparingen vid olika planalternativ fordras därför data från flera, i regel minst tio, år.

Lokalt representativa klimatdata måste därför kunna genereras med utgångspunkt från långa meteorologiska observationsserier. Detta kan göras antingen med hjälp av rent empiriskt fastställda lokala korrekationer till de meteorologiska observationerna eller med användande av teoretiska modeller för simulering av atmosfärens marknära skikt. Rent empiriskt bestämda resultat är svåra att generalisera eller applicera i andra situationer. Rent teoretiska modeller å andra sidan blir mycket komplicerade och kräver stor beräkningskapacitet om processerna i marknära luftskikt skall simuleras fysikaliskt korrekt.

Betydande framsteg har skett under de senaste 10-15 åren både ifråga om den teoretiska förståelsen och den numeriska simuleringen av de marknära luftskiktens fysik liksom ifråga om den empiriska kunskapen om processerna i dessa skikt. Inte minst har stadsatmosfären varit föremål för ett stort antal teoretiska och experimentella studier [Oke 1974, 1979, 1984a, Landsberg 1981]. Trots detta måste man konstatera att det fortfarande saknas en generell metodik för beräkning av förhållandena i marknära luftskikt. Stadsatmosfären erbjuder härvidlag i vissa avseenden speciella problem på grund av stadsytans utpräglad tredimensionella struktur men även på grund av ytelementens (byggnadernas) speciella form och material (Oke 1984b, Evans o. Lee 1980, Raupach et al 1980). Andra komplicerande faktorer är förekomsten av källor för värme och föroreningar, vilket direkt eller indirekt påverkar klimatet i stadsområdet. Den allmänna strukturen hos stadsatmosfären kan schematiskt beskrivas enligt följande, jfr figur 1.1. (Här införs vissa internationellt vedertagna beteckningar, vilka kommer att användas i fortsättningen av denna rapport.)



FIGUR 1.1. Principskiss över stadsatmosfärens vertikala struktur, utvisande det allmänna planetära gränsskiktet (PBL), det lokala stadsgränsskiktet (UBL), övergångsskiktet närmast taknivån (Wake layer) samt skiktet under taknivå (UCL). Efter Oke (1984b).

- Inom det allmänna planetära gränsskiktet (Planetary Boundary Layer, PBL) utbildas ett lokalt, internt stadsgränsskikt (Urban Boundary Layer, UBL). Djupet av detta skikt växer nedströms i vindriktningen från övergången mellan landsbygd och stadsbebyggelse. Skiktets undre gräns ligger på en nivå motsvarande 2-3 gånger hushöjden och det når, beroende på stadsytans struktur och utsträckning samt den allmänna vädersituationen, ett djup av < 100 m till > 1 km. Kännetecknande för UBL är en förstärkt termisk och dynamisk turbulent ombländning och modifierad vertikal vind- och temperaturstruktur. Dessa förändringar utgör det integrerade resultatet av stadsytans skrovlighet och energiutbyte. Inom UBL råder i huvudsak horisontellt homogena vind-, temperatur- och fuktighetsförhållanden.

Effekter av individuella byggnader eller andra enstaka ytelement kan inte urskiljas i UBL men däremot påverkas skiktets tillväxt och struktur av variationer i bebyggelsestruktur och urban markanvändning, t ex mellan villaområden, större parker och centrumbebyggelse.

- Skiktet under hustaksnivå (Urban Canopy Layer, UCL) kännetecknas, i motsats till UBL, av utpräglade horisontella variationer i vind- och temperaturförhållandena liksom ifråga om solinstrålning och långvägigt strålningsutbyte. Enstaka byggnader och andra ytelement har här ett dominerande inflytande. Samtidigt finns dock i regel mera storskaliga variationer inom UCL, återspeglade skillnader i bebyggelsestruktur.

I synnerhet temperaturförhållandena inom UCL och speciellt den sk urbana värmeöns har studerats ingående i ett mycket stort antal experimentella undersökningar över hela världen. Trots den mycket omfattande empiriska kunskap, som idag finns, saknas fortfarande en generell teoretisk modell för värmeöns uppkomst eller för energibalansen i UCL. Såsom närmare behandlas i avsnitt 2.4 kan den maximala urbana värmeintensiteten under mycket renodlade förhållanden beräknas med en enkel strålningsgeometrisk modell. Det generella problemet att beräkna urbana temperaturvariationer i olika typer av bebyggelse och under olika allmänna meteorologiska förhållanden är dock mera komplicerat. Härför fordras en modell, som inkluderar både interna processer inom UCL och energiutbytet mellan UCL och UBL.

- Mellan UCL och UBL finns ett övergångsskikt (Urban Wake Layer) närmast ovanför hustaksnivå. I detta skikt påverkas i första hand luftströmningen fortfarande starkt av blockering och virvelbildning från individuella ytelement. Turbulensegenskaperna och den vertikala temperaturstrukturen i detta skikt har troligen stor, kanske avgörande betydelse för energibalansen hos UCL. I motsats till både UCL och UBL är emellertid övergångsskiktet hittills mycket litet studerat både teoretiskt och experimentellt. Denna brist utgör idag kanske det största hindret för en generell förståelse av stadsatmosfärens fysik och uppkomsten av det speciella stadsklimatet.

Målsättningen för de arbeten, som redovisas i föreliggande rapport, har varit att utveckla eller vidareutveckla samt tillämpa metoder för undersökning av lokala, speciellt urbana, klimateffekters betydelse för bebyggelsens energibudget. Detta inkluderar dels beräkning av lokalt representativa klimatdata med utgångspunkt från mångåriga meteorologiska observationsserier, dels kvantitativ analys av lokala variationer i temperatur- och vindberoende energiförluster samt passivt solvärmestillskott.

Projektet har gjort en bas för idé- och metodutveckling inom ämnesområdet. Arbetet har bedrivits parallellt med flera andra närliggande FoU-projekt inom men även utanför SMHI, vilka härvid successivt tillförts metoder och resultat från det aktuella projektarbetet.

Utöver föreliggande rapport har vissa resultat från projektarbetet redovisats tidigare, dels i internationella publikationer [Taesler 1980 a, Taesler och Andersson 1984 a] dels i andra rapporter [Taesler 1984 a, Taesler och Lindahl 1984, Glaumann och Taesler 1985] samt vid ett seminarium i Sverige [Taesler 1984 b].

Arbetet har finansierats till största delen genom anslag från BFR men även i betydande utsträckning med interna utvecklingsmedel vid SMHI.

2. METODER FÖR BERÄKNING AV LOKALA KLIMATDATA

2.1 Allmänt

De vid ett visst tillfälle rådande förhållandena beträffande temperatur, vind, solstrålning, luftfuktighet och andra meteorologiska variabler bestäms primärt av storskaliga (överordnade) skeenden i atmosfären. Lokala avvikelser uppkommer som ett resultat av olika fysikaliska processer i marknära luftskikt.

Underlagets strålningsbalans samt turbulenta utbytesprocesser är här av fundamental betydelse. Dessa styrs både av de allmänna meteorologiska skeendena ("vädersituationen") och av underlagets egenskaper. Samspelet jord-atmosfär är ytterst komplext och inkluderar inbördes kopplade processer med mycket varierande utbredning i tid och rum.

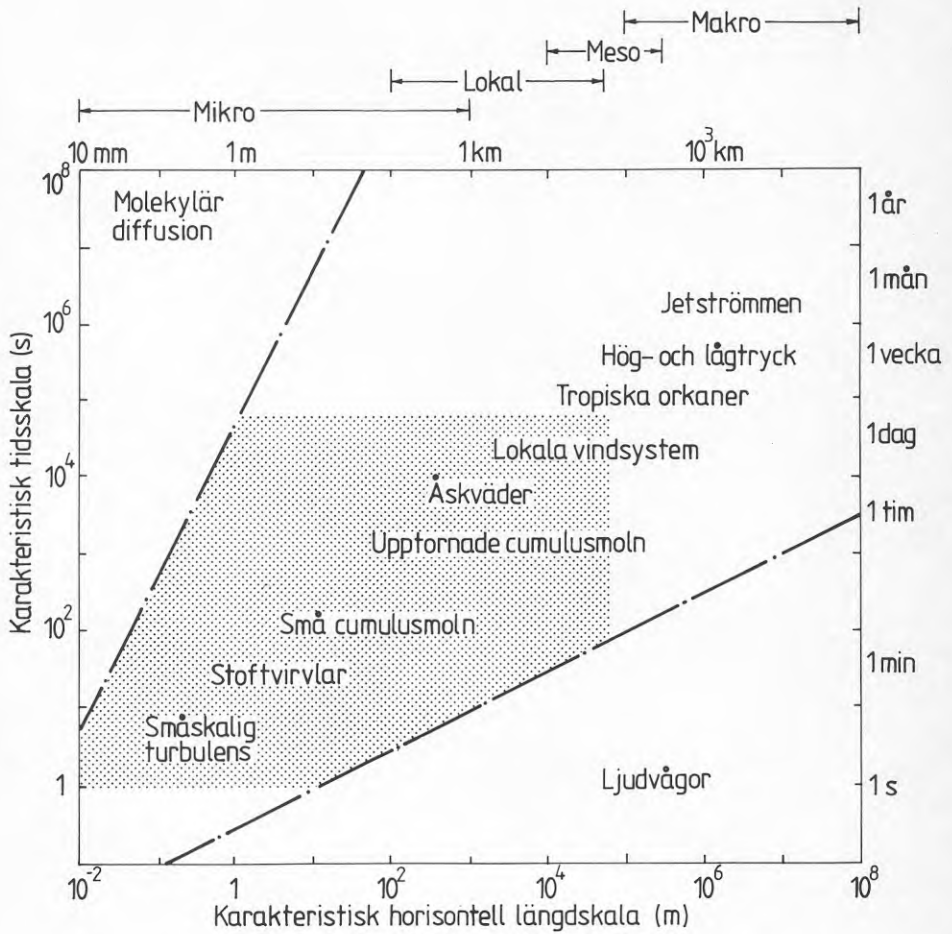
Praktiskt taget alla atmosfäriska variabler är direkt eller indirekt relaterade till luftens strömning, varför det är naturligt att definiera karakteristiska skalor för atmosfären med utgångspunkt från de atmosfäriska rörelsesystemen. En sådan indelning visas i figur 2.1 [Oke 1978]. Beteckningarna *mikro*, *lokal*, *meso*, *makro* i figuren avser de karakteristiska *horisontella* dimensionerna hos olika typer av rörelsesystem. Gränserna är dock något flytande, vilket framgår av att definitionsområdena delvis överlappar varandra.

Rörelsesystemens dimensioner är åtminstone approximativt relaterade till utbredningen av olika landformer eller landskapstyper, terrängformationer och ytelement.

De skuggade området i figuren markerar de system, som (helt eller delvis) orsakas av processer i det planetära gränsskiktet (PBL) och som därför är starkt påverkade i jordytans varierande egenskaper. Med figurens beteckningar motsvarar detta alltså mikroskalan och den lokala skalan samt delvis mesoskalan. Åskväder samt vissa lokala vindsystem har en större vertikal utsträckning och omfattar även nivåer ovanför PBL.

Både den teoretiska och empiriska forskningen om de marknära luftlagrens fysik och karakteristiska egenskaper har gjort stora framsteg under de senaste 15 åren. En stark utveckling har även skett av modeller för numerisk simulering framför allt av strömning och turbulenta processer i PBL. Intresset har dock härvid främst varit riktat mot rörelsesystem på lokal- och mesoskalan. Som exempel kan nämnas land- och sjöbriscirkulationen, det urbana gränsskiktet samt förorenings-spridning från punkt- och ytkällor. På mikroskalan, i det s k "atmosfäriska ytskiktet" eller "konstanta flödesskiktet", kan strömningen och turbulensegenskaperna beskrivas matematiskt med analytiska modeller under ideala förhållanden (horisontellt homogena ytor, stationär strömning).

Däremot är kunskapen om mikroskaliga processer under icke-ideala förhållanden och i synnerhet närmast över utpräglat inhomogena ytor (t ex en stadsyta) eller mellan ytelementen (t ex byggnader) fortfarande i hög grad baserad på mätningar, dels i full skala dels i laboratorieskala (vindtunnel, klimatkammare liksom i modellförsök utomhus). Som framgår i avsnitt 4.3 finns dock sedan ett par år möjligheter till numerisk simulering av turbulent luftströmning under komplexa förhållanden på mikroskalan.



FIGUR 2.1. Karakteristiska dimensioner hos de atmosfäriska rörelsesystemet samt indelning i olika rumsskalor (mikro-makro). Efter Oke (1978).

För att bestämma, hur olika meteorologiska variabler förändras från en plats till en annan under givna, allmänna meteorologiska förhållanden, behöver man kunna beräkna eller bedöma effekten av lokala och mikroskaliga skeenden på båda platserna. Stationerna i det meteorologiska observationsnätet väljs för att så långt möjligt ha jämförbara lägen utan markerade mikroskaliga särdrag. Beroende på omgivande landformer och läge i landskapet kan dock även vissa stationer uppvisa markerade effekter av lokala meteorologiska skeenden. I första hand påverkas vind-, temperatur- och nederbördsförhållandena på den lokala skalan.

De inbördes mest jämförbara omgivningarna uppvisar de stationer, som är placerade vid flygplatser. Dessa stationer har också den högsta tidsupplösningen i observationerna (fullständiga s k synoptiska observationer i regel 24 ggr per dygn) samt håller normalt hög kvalitet. Flygplatsobservationerna utgör därför i de flesta fall det bästa utgångsmaterialer både vid beräkning av klimatologisk långtidsstatistik för en större geografisk region (makroklimatdata) och för omräkning av observationsdata till en annan plats. Landformer samt omgivande landskapstyp måste dock alltid beaktas även beträffande flygplatserna och i vissa fall även den lokala terrängen, vegetationen och eventuell bebyggelse.

En viktig förutsättning vid lokal omräkning av observationsdata är att vissa allmänna (överordnade) meteorologiska variabler (molnighet, turbiditet, stabilitetstyp samt den överlagrade luftströmningen) kan betraktas som konstanta i rummet. De metoder för omräkning från en observationsstation till en lokal plats, som redovisas i avsnitt 2.3-2.5 är troligen tillämpbara över avstånd upp till ett par mil. Det har dock inte varit möjligt att fastlägga gränserna för metodernas tillämpbarhet på grund av avsaknad av relevanta lokala mätdata. Genom den pågående utbyggnaden av ett tätt nät av stationer i Östergötland, ingående i det s k PROMIS 600-projektet vid SMHI, kommer möjligheter att skapas för ett närmare studium av problemet.

Syftet med de olika beräkningsmodeller, som redovisas i rapporten, är att generera statistiskt representativa data dels över lokala - och i viss utsträckning även mikroskaliga - vind-, temperatur- och solinstrålningsförhållanden dels över konsekvenserna härav för bebyggelsens energibehov. Målsättningen innebär att resultaten i första hand skall beskriva lokalt karakteristiska, månads- och årsvisa frekvensfördelningar, summor och medelvärden av olika klimat-element var för sig eller i kombination. Som indata till modellerna används meteorologiska rutinobservationer varje timme (s k TIMSYNOP-data) eller var tredje timme (s k SYNOP-data). Tester och verifieringar av modellerna mot lokala mätningar har inriktats på att identifiera och så långt möjligt eliminera systematiska felkällor. Slumpmässiga fel kan mycket väl uppstå beträffande enskilda, lokalt omräknade timvärden och även i enskilda dygnsvärden. Som framgår i det följande är det dock ofta möjligt att uppnå god lokal överensstämmelse även i värden för enskilda timmar eller dygn.

Statistiska sammanställningar av klimatdata är svåra att redovisa i en enkel och lättöverskådlig form i synnerhet då det gäller samvariationen av flera klimatement (s k komplexa klimatdata). En relativt stor del av projektarbetet har ägnats åt att utveckla modeller och datorprogram för sammanställning och tabellering av komplexa klimatdata. Vissa metoder har även utvecklats för förenklad, grafisk presentation av sådana data, såsom exeplifieras i avsnitt 3.4. Exemplet är hämtade från andra, närliggande projekt där tabeller

av ovan nämnda slag använts som underlag för vidare bearbetning. Vissa av tabelltyperna, speciellt över samvariationen av vind och temperatur, har producerats för ett 30-tal timobservationsstationer över hela landet. Av utrymmesskäl är det omöjligt att inkludera detta mycket omfattande material i rapporten, men kopior av tabellutskrifterna kan erhållas från SMHI.

2.2 Det meteorologiska observationsnätet

Dagliga observationer utförs fortfarande på knappt 900 stationer i landet. Ca 500 av dessa är så kallade *nederbördsstationer*, som endast mäter nederbördsmängd och snödjup. Vid ca hälften av de resterande stationerna mätes temperaturen tre gånger dagligen (samt nederbörd och snödjup). Dessa senare kallas *små klimatstationer*. Återstoden, idag knappt 200 stationer, utför samtida observationer av alla meteorologiska element. Observationsfrekvensen varierar dock från tre gånger per dag vid ett 20-tal så kallade *stora klimatstationer* till åtta gånger per dag vid ca 150 *synoptiska stationer* och upp till 24 gånger per dygn vid ett 30-tal *timsynop-stationer*, främst flygplatser. En del av de sistnämnda gör dock uppehåll under vissa nattimmar. En mera utförlig beskrivning av de olika förekommande stationsnäten i Sverige återfinnes i Eriksson m fl (1973). På grund av statismakternas besparingskrav har en viss nedläggning av stationer skett under de senaste åren. Samtidigt har dock tillkommit ett mindre antal automatiska väderstationer. I samband med det så kallade PROMIS 600-projektet utplaceras fortfarande ett 40-tal automatiska stationer i ett tätt nät inom Östergötlands län. Automatstationerna ger data över vind, temperatur, luftfuktighet och lufttryck samt, i vissa fall, även nederbörd men däremot ej sikt, molnighet och "väder".

Ett tiotal speciella solstrålningsstationer har funnits i drift sedan mitten av 50-talet. Detta nät har de senaste åren rustats upp genom införande av modern mätutrustning och automatisk datainsamling. Nätet är dock fortfarande glest och omfattar endast 12 stationer.

Observationerna utförs med instrument, vilka placeras och exponeras enligt vissa internationellt överenskomna regler. (En närmare beskrivning härav finns till exempel i Taesler 1972.) Vissa element (molnighet, sikt, nederbörds slag samt "väder") bestäms dock genom subjektiva bedömningar. Vindens hastighet och riktning bestäms vid flertalet synoptiska stationer på detta sätt. Vid timsynop-stationer och i vissa kuststationer samt de nya automatstationerna mäts dock värdena med instrument på 10 m höjd över en öppen, horisontell yta och på ett avstånd från närmaste hinder av minst 10 gånger hindrets höjd.

Insamling, kontroll och lagring av data från dessa olika observationsnät är en omfattande och komplicerad procedur. Data lagras primärt på så kallade årsband, innehållande synop- och timsynopdata från alla stationer i landet. I samband med olika klimatologiska bearbetningar sker omlagring till stationsband innehållande mångåriga serier av data för en station. Sådan omlagring har hittills utförts för timsynopstationerna, täckande perioden 1955-83, samt ett mindre antal synopstationer.

2.3 Beräkning av lokala vinddata

2.3.1 Bakgrund

Vinden i marknära luftskikt påverkas starkt av underlagets morfologi och ytråhet (skrovlighet) men även av interna lyftkrafter i strömningen p g a vertikala skillnader i luftens densitet. Medelströmningens struktur karakteriseras av de vertikala temperatur- och vindprofilerna, vilka tillsammans bestämmer strömningens stabilitetsgrad, som kan definieras enligt det s k Richardson-talet,

$$Ri = \frac{g}{\bar{T}} \frac{\partial \bar{T} / \partial z - \gamma}{(\partial \bar{u} / \partial z)^2} \quad (2.1)$$

Här är

- g = gravitationskonstanten (ms^{-2})
- \bar{T} = medeltemperaturen (K)
- z = höjden över marken (m)
- $\bar{u}(z)$ = medelvindhastigheten (ms^{-1})
- γ = torradiabatiska temperaturavtagandet ($-1^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$)

Tre olika huvudtyper av stabilitet förekommer,

stabil skiktning	$Ri > 0$
neutral skiktning	$Ri \approx 0$
instabil skiktning	$Ri < 0$

Richardson-talet avgör förutsättningarna för uppkomsten av turbulens i strömningen. Små hastighetsfluktuationer, som initieras internt i strömningen eller genom kontakten med underlaget, dämpas vid stabil skiktning medan de accelereras vid instabil skiktning. I det första fallet motverkas den vertikala omblandningen av luft och utbytet av impuls, värme, vattenånga liksom av föroreningar mellan olika nivåer blir mer eller mindre starkt reducerat. Detta innebär bl a att strömningens förlust av rörelseenergi genom friktionen mot underlaget inte kompenseras av turbulent, nedåtriktad transport av rörelseenergi från högre nivåer. Vindhastigheten och turbulensintensiteten i marknära luftskikt avtar härigenom successivt. Vid mycket stabil skiktning stagnerar strömningen till sist helt. Instabil skiktning innebär vertikal omblandning av luft genom djupa skikt och kraftig termisk turbulens ("byighet") hos vinden. Turbulens och vertikal omblandning av luft orsakas också av inre skjuvspänningar i strömningen. Denna dynamiska eller mekaniska turbulens förstärks med ökande vindhastighet i marknära skikt.

Den turbulenta omblandningen motverkar samtidigt uppkomsten eller bevarandet både av mycket stabil och instabil skiktning. Vid tillräckligt hög vindhastighet är omblandningen så intensiv att skiktningen blir neutral. Stabil skiktning kan förekomma vid vindhastigheter ($10 \text{ m} \ddot{o} \text{ m}$) upp till ca 7 ms^{-1} , instabil skiktning upp till något högre hastighet.

Temperaturgradienten $\partial T/\partial z$ och därmed stabilitetsgraden ändras i takt med markytans uppvärmning och avkylning. Stabiliteten i marknära nivåer har därför i regel en dygnsvariation med stabil skiktning under natten, neutral eller instabil under dagen. Denna variation återspeglas i en motsvarande variation av vindhastigheten med svagare vind på natten än på dagen.

Stabiliteten i strömningen förändras också vid luftens passage från en typ av underlag till en annan, t ex från en kall landyta ut över öppet, varmare vatten eller från öppna åkerfält in över en stad. Förändringen beror av skillnader i underlagets ytråhet och värmeutbyte med luften. Över olika ytor utbildas härigenom interna gränsskikt, vilka karakteriseras av olika form på de vertikala vind- och temperaturprofilerna. Djupet av dessa interna gränsskikt växer nedströms i vindriktningen i en takt, som bestäms av skrovlighet och stabilitet i förening. Inverkan av lokala skillnader i ytegenskaper avtar med ökande höjd över marken och man kan definiera en referensnivå, H , ovanför vilken de lokala effekterna är försumbara.

Underlagets ytråhet karakteriseras av den skrovlighetsparametern, z_0 [Lettau 1969], som beror av de dominerande ytelementens dimensioner och inbördes avstånd. I skiktet under ytelementens medelhöjd, h , har de individuella elementen en dominerande inverkan på luftens strömning. Även närmast ovanför ytan påverkas strömningen av virvelavlösning från individuella ytelement. Bestämningar av den lokala vindhastigheten genom mätningar och beräkningar bör därför avse en nivå, där effekten av individuella ytelement är försumbar. Det råder ännu osäkerhet om hur en sådan lokal referensnivå skall definieras, men troligen bör den inte väljas lägre än två gånger medelhöjden h .

2.3.2 Metodbeskrivning

Den i det följande beskrivna metoden innebär i princip en beräkning av förändringen i de vertikala medelvindprofilerna mellan en meteorologisk observationsstation och en viss lokal plats med hänsyn till utvecklingen av interna gränsskikt uppströms om de båda platserna under olika stabilitetsförhållanden. Metoden bygger på tidigare arbeten [Pasquill 1972, Smedman och Högström 1978, Taesler och Karlsson 1980] med tillägg av vissa empiriskt grundade modifieringar.

Skrovlighetsparametern z_0 karteras runt båda platserna för olika riktningsektorer och avståndsintervall ut till 5 km avstånd.

Den vertikala medelvindprofilen, $\bar{u}(z)$, beräknas först för observationsstationen upp till en referensnivå, H , där hastigheten kan antagas vara densamma på båda platserna. Beräkningen sker med hänsyn till rådande stabilitet och skrovlighetsförhållanden uppströms om respektive plats. Som stabilitetsparameter användes inte det ovan definierade Richardson-talet eftersom observationerna inte innehåller värden på $\partial T/\partial z$ och $\partial \bar{u}/\partial z$. Istället användes en förenklad stabilitetsparameter, Pasquill-Turner-klassen (PT [Ring m fl 1973]), som kan bestämmas ur observationsdata. Följande klassindelning användes för stabilitetsparametern:

PT = 3	betecknar instabil skiktning
PT = 4	betecknar neutral skiktning
PT = 5	betecknar svagt instabil skiktning
PT = 6	betecknar stabil skiktning
PT = 7	betecknar mycket stabil skiktning

Beräkningen bygger på att den vertikala vindprofilen mellan två nivåer (z_1, z_2) inom ett visst, internt gränsskikt kan beskrivas enligt (jfr figur 2.2),

$$\bar{u}(z_2) = \bar{u}(z_1) \left(\frac{z_2}{z_1}\right)^\alpha \quad (2.2)$$

Exponenten α bestämmer profilens krökning inom skiktet och är en funktion av stabilitet och skrovlighet, se vidare nedan.

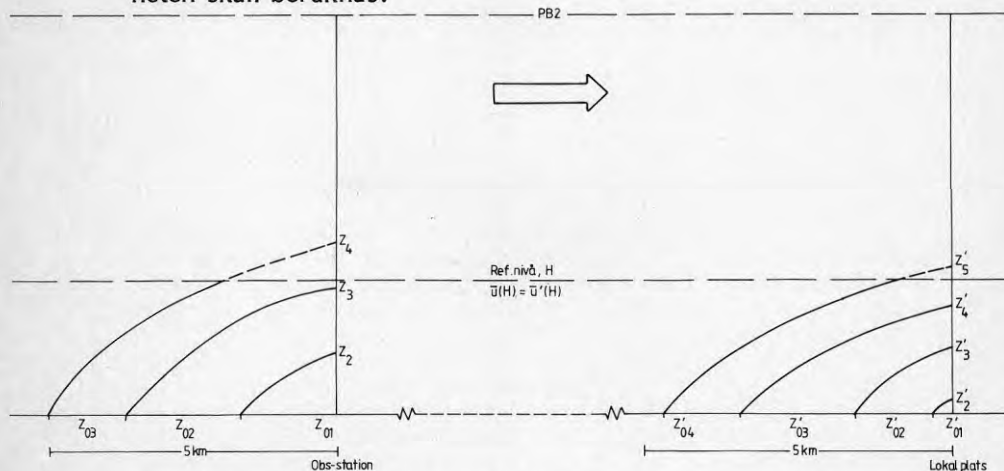
I utgångspunkten (observationsstationen) får z_1 beteckna mätnivån (i regel 10 m ö m). Nivån z_2 väljes som övergångsnivån mellan det understa, marknära gränsskiktet och nästa skikt. Med analoga uttryck för successivt högre skikt erhålles vindhastigheten på referensnivån H enligt,

$$\bar{u}(H) = \bar{u}(z_1) \left(\frac{z_2}{z_1}\right)^\alpha \cdot \left(\frac{z_3}{z_2}\right)^{\alpha_2} \cdot \dots \cdot \left(\frac{H}{z_n}\right)^{\alpha_n} \quad (2.3)$$

För en annan plats erhålles på motsvarande sätt,

$$\bar{u}(H) = \bar{u}'(z'_1) \left(\frac{z'_2}{z'_1}\right)^{\alpha'_1} \cdot \left(\frac{z'_3}{z'_2}\right)^{\alpha'_2} \cdot \dots \cdot \left(\frac{H}{z'_m}\right)^{\alpha'_m} \quad (2.4)$$

I ekv. (2.4) betecknar z'_1 den nivå, för vilken den lokala vindhastigheten skall beräknas.



FIGUR 2.2. Principskiss över indelning av det marknära luftlagret i interna gränsskikt, representerande inverkan av olika skrovlighet z_0 , vid omräkning av vindprofilen från en observationsstation till en lokal plats.

Division av ekvationerna (2.3) och (2.4) ger nu ett uttryck för kvoten mellan den sökta och den observerade vindhastigheten,

$$\frac{\bar{u}'(z_1')}{\bar{u}(z_1)} = \frac{\left(\frac{z_2'}{z_1'}\right)^{\alpha_1'} \cdot \left(\frac{z_3'}{z_2'}\right)^{\alpha_2'} \cdot \dots \cdot \left(\frac{H}{z_m'}\right)^{\alpha_m'}}{\left(\frac{z_2}{z_1}\right)^{\alpha_1} \cdot \left(\frac{z_3}{z_2}\right)^{\alpha_2} \cdot \dots \cdot \left(\frac{H}{z_n}\right)^{\alpha_n}} \quad (2.5)$$

Ekv. (2.5) har egenskapen att kvoten är konstant för en viss stabilitetsklass och vindriktning, oberoende av vindhastigheten. För en viss, lokal plats kan man därför beräkna och tabellera kvoten med stabilitet och vindriktning som parametrar.

För beräkning av kvoten mellan den sökta och den observerade vindhastigheten enligt ekv. (2.5) måste höjderna ($z_2, z_3 \dots z_n$) respektive ($z_2', z_3' \dots z_m'$) till övergångarna mellan de n respektive m interna gränsskikten bestämmas.

Giltigheten av ekv. (2.5) är begränsad till nivåer betydligt högre än ytelementens medelhöjd, \bar{h} . Beräkningen av hastighetsprofilen närmast ovanför en skrovlig yta kan förbättras genom att reducera vertikalkoordinaten med en nollplansförskjutning, $d \approx 0.7 \bar{h}$. För beräkningen av utgångsprofilen användes vindobservationer på 10 m ö m från stationer (företrädesvis flygplatser), där den närmaste omgivningen utgörs av öppna gräsytor eller motsvarande ($z_1 \approx 100 \bar{h}$). Här är nollplansförskjutningen försumbar. Däremot bör den appliceras vid beräkningen av profilen närmast ovanför tätare bebyggelse. Även med denna korrektion kan dock troligen betydande mikroskaliga skillnader i vindprofilen förekomma i skiktet närmast över hustaksnivå. För att de beräknade vindhastigheterna skall kunna betraktas som lokalt representativa bör därför beräkningsnivån inte väljas lägre än $z_1' \approx 2 \bar{h}$.

Tillväxten av ett internt gränsskikt kan beräknas enligt ett uttryck [Pasquill 1972, Smedman och Högström 1978] av formen,

$$z_i = a_i x^{b_i}; \quad i = 2, 3 \dots m(n) \dots \quad (2.6)$$

där x är vindvägen (m) över en yta med visst z_0 .

Koefficienterna a, b finns tabellerade för olika stabilitets- och skrovlighetsintervall [Smedman och Högström 1978]. Vid beräkningen av höjden till ett visst interngränsskikt väljes de värden på a, b , som svarar mot z_0 -värdet för den skrovligaste av två angränsande ytor.

Exponenten α i ekv. (2.2) har studerats som funktion av skrovlighet och stabilitet i ett flertal undersökningar [Irwin 1979, Smedman och Högström 1978, Taesler och Karlsson 1980, Karlsson 1981]. De tre sistnämnda studierna har redovisat experimentella α -värden från mastmätningar upp till 100 m ö m. Vi använder följande empiriska uttryck (Smedman och Högström) för beräkning av α ,

$$\alpha = c_0 + c_1 \cdot {}^{10}\log z_0 + c_2 ({}^{10}\log z_0)^2 \quad (2.7)$$

där c_0 , c_1 beror av stabiliteten (PT-klassen).

Tillämpningen av ekv. (2.6) förutsätter att gränsskikten från de uppströmsytor med olika skrovlighet, som särskiljes i z_0 -karteringen, bevaras över sträckan fram till observationsstationen respektive till den plats, som vindberäkningen avser. Dessutom fordras att α -värdet för respektive skikt enligt ekv. (2.7) är oförändrat. Det är mycket osäkert, över hur långa sträckor dessa förutsättningar är uppfyllda. Turbulent utbyte mellan olika skikt bör successivt utjämna skillnaderna i hastighetsprofilens form mellan olika skikt i en takt, som beror av stabilitetsförhållandena. Med hänsyn härtill har en begränsning införts ifråga om djupet av det skikt, inom vilket olika interna gränsskikt särskiljes vid beräkningarna. Detta maximala djup har valts som den gemensamma referensnivå, H , i ekv. (2.3)-(2.5) enligt följande.

<u>Stabilitetsklass</u>	<u>Referensnivå</u>
PT = 3	H = 400 m
PT = 4	H = 300 m
PT = 5	H = 200 m
PT = 6	H = 100 m
PT = 7	H = 50 m

Beroende på stabilitetsklass och z_0 -värde motsvarar dessa H -värden en vindväg mellan ca 1 000 m och 5 000 m. Inverkan av ytor på längre avstånd uppströms från respektive plats än 5 km beaktas följaktligen inte vid beräkningarna.

Vid beräkning av vindhastigheten från en flygplats till lägen i en omgivning med mycket stor skrovlighet, t ex stadsbebyggelse eller skog (på nivån $2 \bar{h}$), har en korrektion införts för att schematiskt ta hänsyn till att skiktningen i stadsgränsskiktet i regel är mindre stabil än över öppen, obebyggd terräng. Vid ursprunglig stabilitet PT=6 eller 7 enligt flygplatsobservationerna antages den lokala stabiliteten vara en klass lägre, dvs 5 eller 6. Effekten härav är en ökning av den lokala, beräknade vindhastigheten på nivån z_1 vid samma hastighet på referensnivån H .

2.3.3 Lokala vindmätningar samt metodtester

I detta avsnitt redovisas jämförelser dels mellan meteorologiska vindobservationer och lokalt uppmätta vindhastigheter, dels mellan lokalt uppmätta och beräknade vindhastigheter för fyra olika fall. I tre av dessa fall har mätningarna utförts i samband med andra BFR-projekt, vilka redovisats i separata rapporter [Taesler 1984a, Taesler och Lindahl 1984, Glaumann och Taesler 1985]. I det fjärde fallet utfördes mätningarna i samband med ett uppdrag till SMHI från Norrköpings kommun [Laurin, Taesler och Lindgren 1982]. För detaljer beträffande försöksbetingelser m m hänvisas till dessa rapporter.

De lokala mätningarna har i samtliga fall utförts med det mobila mät-system, som byggts upp vid SMHI. Systemet finns beskrivet i ovan-nämnda rapporter (Taesler 1984 a, Glaumann och Taesler 1985) samt i Taesler (1985).

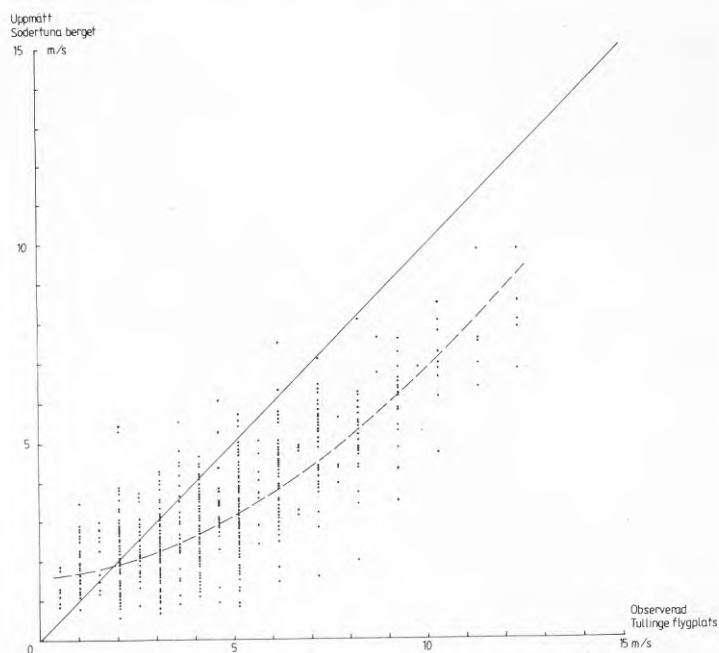
Beräkningen av vindhastigheten har i samtliga fall baserats på TIMSYNOP-data från flygplatsstationer. Vindobservationerna (10-minutersmedelvärden vid hel timme) har omräknats till aktuell mät-plats enligt den i föregående avsnitt beskrivna metodiken samt jäm-förts med motsvarande, samtidigt uppmätta hastigheter.

De fyra testfallen är följande:

1. Södertuna, naturmark. Meteorologiska observationer från Tullinge flygplats.
2. Gustavsberg, naturmark. Meteorologiska observationer från Tullinge flygplats.
3. Tornby (Linköping), gles stadsbebyggelse. Meteorologiska observationer från Malmslätts flygplats.
4. Norrköping, centrumbebyggelse. Meteorologiska observationer från Bråvalla flygplats.

Fall 1, Södertuna (Glaumann och Taesler 1985)

Under perioden april-maj 1981 utfördes lokala klimatmätningar i Södertuna, straxt öster om Järna tätort.



FIGUR 2.3. Samtidigt uppmätta vindhastigheter (10 min.mv.) vid Tullinge flygplats och på lokal bergshöjd i Södertuna.

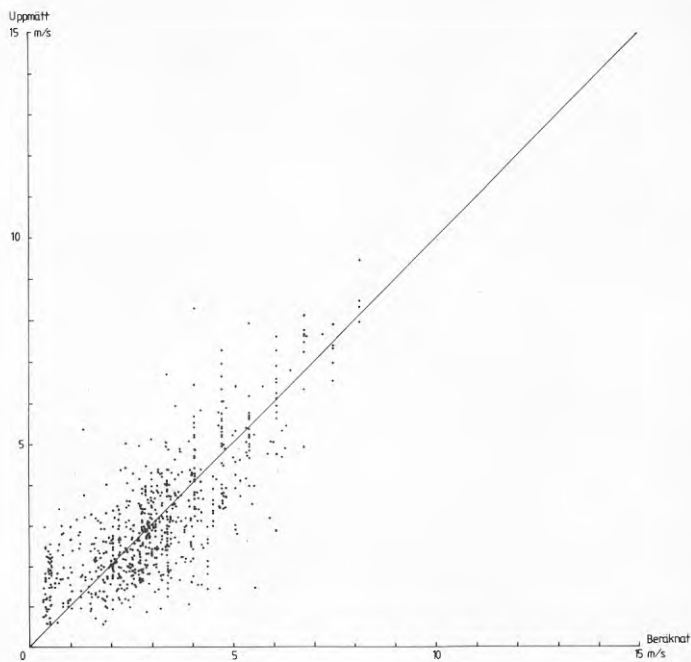
Figur 2.3 visar samtliga värden av observerad vindhastighet på Tullinge flygplats, 10 m ö m, och uppmätt hastighet på toppen av en bergshöjd, 15.6 m ö m, i Södertuna. Denna mätpunkt valdes som lokal referenspunkt för vindhastighet i Södertuna-området. Mätplatsen är belägen på ca 20 km avstånd från Tullinge i måttligt kuperad, delvis skogbevuxen terräng. Hastigheten på 10 m ö m på flygplatsen är systematiskt högre än över bergshöjden i Södertuna trots att den senare mätpunkten ligger på 15.6 m ö m. Punkten omges emellertid av gles, lågbevuxen barrskog, vilket i förening med den omgivande terrängen innebär en väsentligt större skrovlighet.

Tullinge-data i figur 2.3 har en upplösning av endast 0.5 ms^{-1} . Detta beror på att observationerna ges i enheten knop ($1 \text{ knop} \approx 0.5 \text{ ms}^{-1}$). Dessutom ser man att hastigheterna företrädesvis anges som 2, 4, 6... knop, dvs i hela ms^{-1} . Spridningen i figur 2.3 beror dock främst av andra faktorer. Dels har data för alla vindriktningar sammanslagits i figuren, vilket innebär stora inbördes skillnader ifråga om vindvägen fram mot respektive mätpunkt. Dels är data för alla stabilitetsklasser sammanslagna. Slutligen orsakas spridningen till en del av strömningens turbulens. Ett typiskt värde på spridningen i vindhastighetens 10-minutersmedelvärde i en mätpunkt är $\sigma \approx 0.15$. Förutsatt att de turbulenta fluktuationerna i två punkter är inbördes helt okorrelerade kan man även över ett helt homogent underlag därför förvänta att spridningen i hastighetsdifferensen mellan två punkter är $\sigma_{1,2} \approx 0.2$.

Den streckade kurvan är inlagd på fri hand som ett approximativt regressionssamband. Kurvans dragning är osäker men krökningen är reell och visar att en enkel proportionalitet inte råder mellan hastigheterna i de två punkterna (jfr även fall 2 och 4).

Omräkningen av vindobservationerna från Tullinge till Södertuna (15.6 m ö m på berget) ger de resultat, som framgår av figur 2.4. Spridningen är även här avsevärd, speciellt vid lägre vindhastigheter, och de beräknade värdena har fortfarande en tendens att gruppera sig med intervall om 0.5 ms^{-1} . Vid mycket svaga vindar, $< 2 \text{ ms}^{-1}$, finns en viss tendens till underskattning i de beräknade hastigheterna. Orsaken till denna avvikelse är inte klarlagd. Flera förklaringar är möjliga men den troligaste är att stagnationsförhållanden lätt uppstår på Tullinge flygplats på grund av den lokala omgivningen.

Vid högre hastigheter än $\approx 2 \text{ ms}^{-1}$ visar figur 2.4 ingen påtaglig systematisk avvikelse mellan uppmätt och beräknad vindhastighet. En jämförelse mellan figurerna 2.3 och 2.4 visar att beräkningsmodellen ger en bättre uppskattning av den lokala vindhastigheten än vad som erhålles direkt ur Tullinge-observationerna.



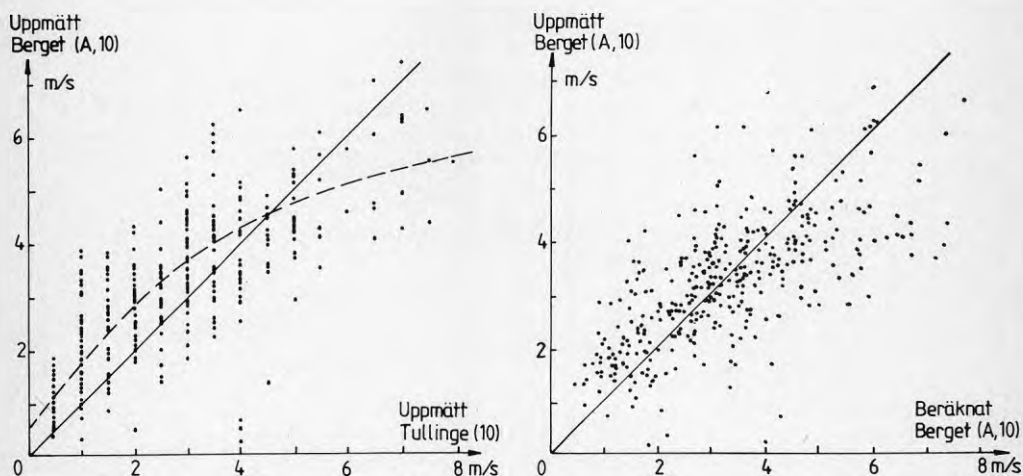
FIGUR 2.4. Vindhastighet på berget (15,6 m ö m) i Södertuna enligt mätningar och enligt beräkningar med observationer från Tullinge som indata (jfr figur 2.3).

Fall 2, Gustavsberg (Taesler och Lindahl 1984)

Försöksområdet Mossen i Gustavsberg, Värmdö kommun, ligger i Stockholms innerskärgård straxt öster om Gustavsbergs tätort. Området har mycket varierande topografi och vegetation med flera branta, övervägande skogbevuxna bergshöjder.

Lokala klimatmätningar utfördes i området under perioden mars-maj 1982. Som lokal referenspunkt för vindhastighet valdes toppen av en markerad bergshöjd, ca 40 m ö m, delvis bevuxen med gles, låg barrskog, i områdets nordvästra del. Vindomräkningen utfördes även i detta fall med utgångspunkt från TIMSYNOP-observationer från Tullinge flygplats. Avståndet dit är ca 35 km.

I figur 2.5a visas samhörande 10-minutersmedelvärden av vindhastigheten på nivån 10 m ö m vid Tullinge respektive på berget i Gustavsberg. Figur 2.5b visar motsvarande beräknade och lokalt uppmätta hastigheter på berget. De samhörande mätvärdena (figur 2.5a) visar i detta fall en tendens till högre hastigheter över berget än på vid Tullinge, speciellt vid hastigheter $\lesssim 4.5 \text{ ms}^{-1}$. Detta kan vara ett resultat av en lokal förstärkning av hastigheten över bergshöjden. Sådana effekter har dock hittills inte inkluderats i beräkningsmodellen.



FIGUR 2.5a,b. Samtidigt observerade (Tullinge) respektive uppmätta (bergshöjd, Gustavsberg) vindhastigheter samt beräknade och uppmätta hastigheter för berget.

De beräknade hastigheterna (figur 2.5b) visar att modellen i detta fall ger en, i jämförelse med Tullinge - data, något förbättrad uppskattning av den lokala vindhastigheten.

Spridningen är, liksom i föregående fall, stor och en viss tendens till underskattning i de beräknade hastigheterna finns vid svagare vindar.

Fall 3, Tornby, Linköping (Taesler 1984a)

I samband med en undersökning av energiförluster vid en luftridåport [Belin m fl 1982] utfördes lokala klimatmätningar vid Motorcentrum i Tornby, Linköping, under fyra veckor i mars-april 1980.

Mätplatsen är belägen i ett område med gles, låg småindustribyggnad i norra utkanten av Linköping. Det omgivande landskapet är flackt med vidsträckt, öppna ytor inom en stor sektor (V-N-SO) och kontrasterar härigenom starkt mot de två föregående fallen.

Vindomräkningen gjordes i detta fall utgående från originalregistreringar från Malmslätts flygplats, belägen ca 5 km sydväst om mätplatsen. Förhållandena i Tornby-området avviker något från flygplatsen dels genom den glesa, låga bebyggelsen dels genom att Tornby-området ligger ca 40 m ö h medan flygplatsen ligger ca 95 m ö h. Landskapet runt flygplatsen är något kuperat med omväxlande skogs- och jordbruksmark samt spridda mindre bebyggelsekoncentrationer. Norr om flygplatsen finns samlad tätbebyggelse (Malmslätts samhälle) på ca 1 km avstånd. Skrovlighetskarteringarna för Malmslätt respektive Tornby-området redovisas i tabellerna 2.1 och 2.2.

På grund av observationsuppehåll nattetid och periodvisa avbrott i de lokala mätningarna är jämförelsematerialet betydligt mindre i detta fall än i de två föregående. Under mätperioden rådde dessutom kraftigt dominans av vindar från västliga riktningar.

Samtidigt uppmätta vindhastigheter (10-minutersmedelvärden) på Malmslätt och Tornby visas i figur 2.6. Lineär regression på samtliga mätdata ger relationen,

$$\bar{u}_{T,m} = -0.30 + 1.036 \bar{u}_{M,m}; r = 0.858 \quad (2.8)$$

där

$\bar{u}_{T,m}$ är uppmätt vindhastighet i Tornby

$\bar{u}_{M,m}$ är uppmätt vindhastighet i Malmslätt

Medelvärden och standarddeviationer för respektive mätserie är,

Tornby: $mv = 3.17 \text{ ms}^{-1}$, $\sigma = 1.29 \text{ ms}^{-1}$

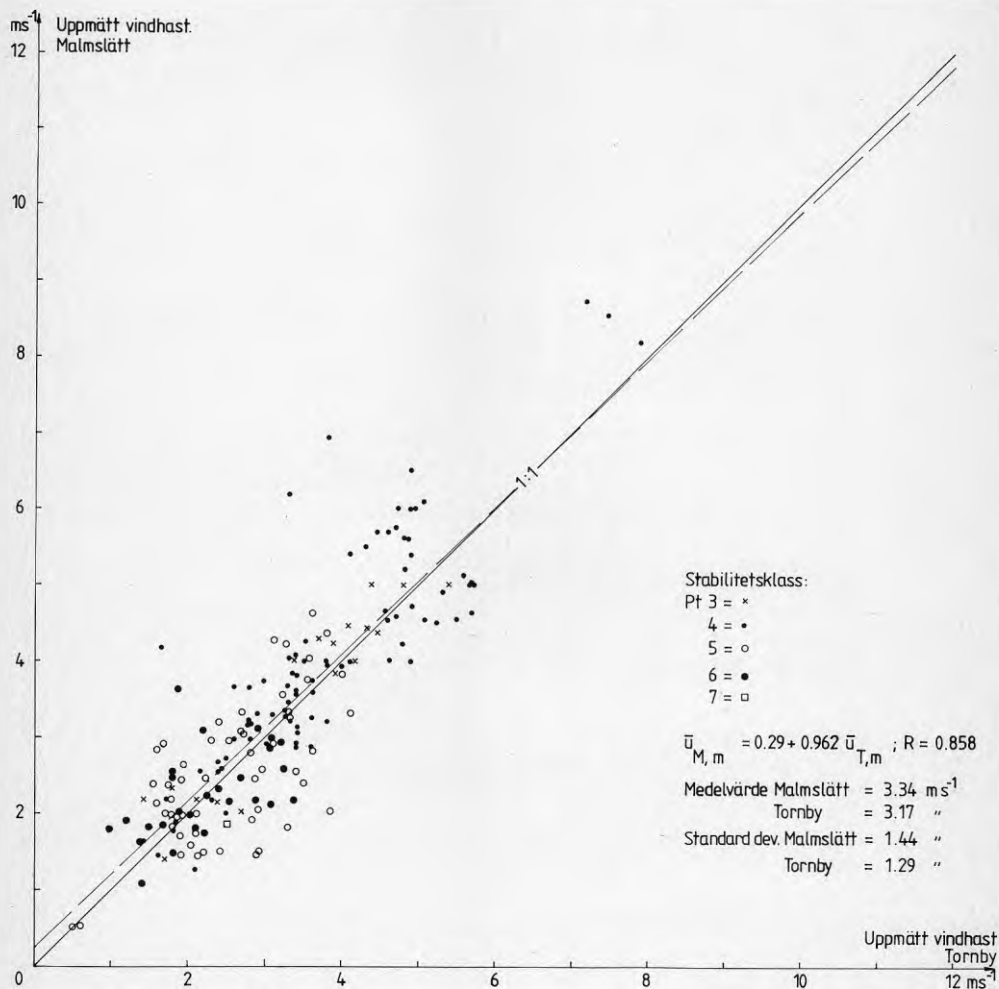
Malmslätt: $mv = 3.24 \text{ ms}^{-1}$, $\sigma = 1.40 \text{ ms}^{-1}$

TABELL 2.1. z_0 -kartering för Malmslätts flygplats.

Vindrikt sektor	Avstånd (m)	z_0 (m)	Avstånd (m)	z_0 (m)	Avstånd (m)	z_0 (m)
0- 10	0-1 500	0.05	1 500-2 100	1.0	2 100-	0.30
11- 20	0-1 000	0.05	1 000-1 500	0.30	1 500-	1.0
31- 40	"	"	"	"	"	"
41- 50	"	"	"	"	"	"
51- 60	"	"	"	"	"	"
61- 70	0-1 700	0.05	1 700-2 000	0.20	2 000-	0.50
71- 80	"	"	"	"	"	"
81- 90	"	"	"	"	"	"
91-100	0- 500	0.05	500-	0.20		
101-110	"	"	"	"		
111-120	"	"	"	"		
121-130	"	"	"	"		
131-140	"	"	"	"		
141-150	"	"	"	"		
151-160	"	"	"	"		
161-170	0-1 000	0.05	1 000-	0.20		
171-180	"	"	"	"		
181-190	"	"	"	"		
191-200	"	"	"	"		
201-210	"	"	"	"		
211-220	0- 500	0.05	500-	0.30		
221-230	"	"	"	"		
231-240	"	"	"	"		
241-250	"	"	"	"		
251-260	"	"	"	"		
261-270	0- 500	0.05	500-	0.10		
271-280	"	"	"	"		
281-290	0- 700	0.05	700-1 500	0.30	1 500-	0.10
291-300	"	"	"	"	"	"
301-310	"	"	"	"	"	"
311-320	"	"	"	"	"	"
321-330	0- 500	0.05	500-2 000	0.50	2 000-	0.30
331-340	"	"	"	"	"	"
341-350	"	"	"	"	"	"
351-360	"	"	"	"	"	"

TABELL 2.2. z_0 -kartering för Tornby-området.

Vindrikt sektor	Avstånd (m)	z_0 (m)	Avstånd (m)	z_0 (m)	Avstånd (m)	z_0 (m)
0- 10	0-1 000	0.05	1 000-2 000	0.03	2 000-	0.02
11- 20	"	"	"	"	"	"
21- 30	0-	0.30				
31- 40	"	"				
41- 50	"	"				
51- 60	"	"				
61- 70	"	"				
71- 80	0- 700	0.05	700-	0.30		
81- 90	"	"	"	"		
91-100	"	"	"	"		
101-110	"	"	"	"		
111-120	0-1 000	0.05	1000-	0.3		
121-130	"	"	"	"		
131-140	"	"	"	"		
141-150	0-	0.50		0.50		
151-160	"	"		"		
161-170	"	"		"		
171-180	"	"		"		
181-190	"	"		"		
191-200	"	"		"		
201-210	"	"		"		
211-220	"	"		"		
221-230	"	"		"		
231-240	"	"		"		
241-250	"	"		"		
251-260	"	"		"		
261-270	0- 300	0.10	300-1 500	"	1 500-	0.05
271-280	"	"	"	"	"	"
281-290	"	"	"	"	"	"
291-300	"	"	"	"	"	"
301-310	"	"	"	"	"	"
311-320	0-	0.05				
321-330	"	"				
331-340	"	"				
341-350	"	"				
351-360	0-1 000	0.05	1 000-2 000	0.03	2 000-	0.003



FIGUR 2.6. Samtidigt uppmätta vindhastigheter (10 min.mv.) vid Malmöslätts flygplats och i lokal referenspunkt (10 m ö m) vid Motorcentrum, Tornby. Stabilitetsklassificeringen är baserad på TIMSYNOP-data från Malmöslätt.

I detta fall är skillnaden mellan hastigheterna i de två punkterna mycket mindre än i de föregående fallen, med en svag tendens till lägre hastigheter i Tornby vid hastigheter upp till ca 8 ms^{-1} .

Den korta mätperioden och den kraftiga dominansen av västliga vindriktningar har begränsat möjligheterna att analysera riktningvariationen i förhållandet mellan vindhastigheterna i de två punkterna. För vissa delsektorer, där minst tio värden erhållits under mätperioden, redovisas här medelvärdena av de uppmätta vindhastigheterna.

Sektor	$\bar{u}_{T,m}$ (ms^{-1})	$\bar{u}_{M,m}$	$(\bar{u}_T/\bar{u}_M)_m$	(Antal värden)
100-200	4.14	3.65	1.13	(35)
220-240	1.93	2.59	0.75	(10)
260-290	3.15	3.44	0.92	(110)
310-020	2.17	2.27	0.96	(24)

Trots det begränsade underlaget kan man konstatera (jfr tabell 2.1 och 2.2) att skillnaderna i kvoten \bar{u}_T/\bar{u}_M mellan de olika sektorerna kvalitativt motsvaras av skillnader i uppströmsförhållanden (skrovlighet), med undantag för sektorn 310-020.

Vindomräkningen från Malmslätt till Tornby redovisas nedan och i figur 2.7. Beräkningarna har gjorts enligt ekv. 2.5-2.7 och med z_0 -karteringar enligt tabell 2.1 och 2.2. Den kombinerade effekten av olika skrovlighetsförhållanden och stabilitetsklasser ger de värden på hastighetskvoten som framgår av tabell 2.3.

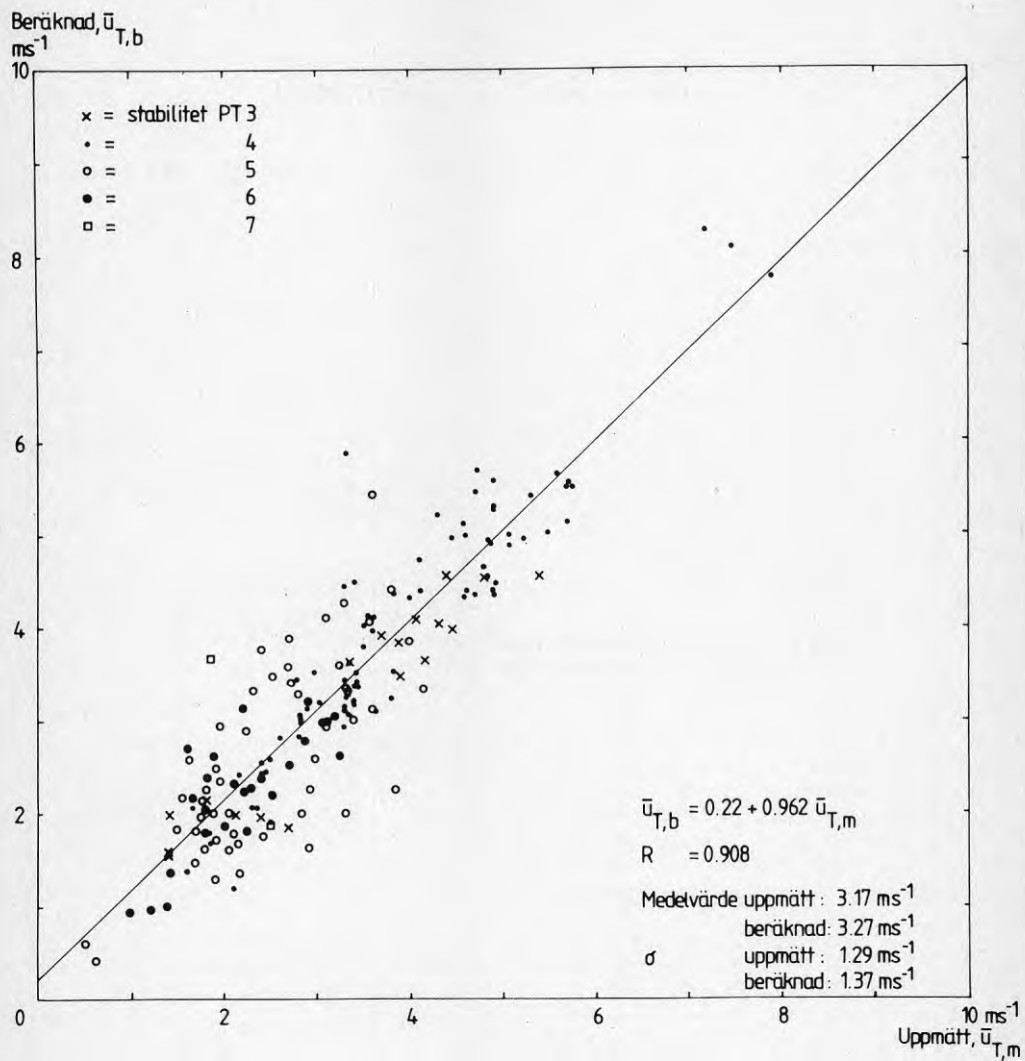
I figuren är data för alla vindriktningar sammanslagna. Lineär regression ger följande samband,

$$\bar{u}_{T,b} = 0.22 + 0.962 \bar{u}_{T,m}; r = 0.908 \quad (2.9)$$

Standarddeviationerna är

$$\begin{aligned} \sigma_b &= 1.37 \text{ ms}^{-1} \\ \sigma_m &= 1.29 \text{ ms}^{-1} \end{aligned}$$

Jämförelse mellan ekv. (2.8) och (2.9) visar att de beräknade vindhastigheterna i detta fall ger en i jämförelse med flygplatsdata något förbättrad beskrivning av den lokala vindhastigheten.



FIGUR 2.7. Beräknade och uppmätta vindhastigheter (10 min.mv.) i referenspunkten vid Motorcentrum, Tornby. Stabilitetsklassificering enligt observationer (TIMSYNOP) från Malmslätt.

TABELL 2.3. Beräknade värden på kvoten \bar{u}_T/\bar{u}_M enligt ekv. (2.5) för olika vindriktningssektorer och stabilitetsklasser.

Vindriktning	Stabilitet (PT-klass)				
	3	4	5	6	7
1- 20 ⁰	0.948	1.046	1.126	1.178	1.283
21- 70	0.943	1.067	1.126	1.207	1.311
71- 90	0.982	1.004	1.011	1.034	1.059
91-140	1.032	1.101	1.101	1.177	1.226
141-240	0.704	0.599	0.541	0.506	0.511
241-260	0.781	0.798	0.785	0.824	0.907
261-290	0.912	0.948	1.008	1.017	1.207
291-310	0.837	0.876	0.903	0.933	1.009
311-350	0.953	1.107	1.175	1.272	1.395
351-360	0.959	1.133	1.210	1.321	1.460

Den detaljerade och oregelbundna sektorsindelningen i tabellen är ett resultat av de kombinerade skrovlighetskarteringarna för Tornby respektive Malmslätt.

Av tabellen framgår att kvoten varierar starkt beroende både på vindriktningen och stabilitetsklassen. I den relativt vida sektorn 141-240⁰ ligger Tornby omedelbart nedströms ("i lä") av stadsbebyggelsen i Linköping medan Malmslätt har ett exponerat läge med fri vindväg över en sträcka av ca 1 km.

Vid nordliga vindriktningar (311-70⁰) är båda platserna relativt exponerade med öppna fält inom den närmaste kilometern. I Tornby sträcker sig de öppna fälten ut till 2-3 km avstånd medan bebyggelse, skog och oregelbunden terräng vidtar bortom ca 1 km i Malmslätt. På längre avstånd än ca 2.5 km upptages en del av sektorn i Tornby av sjön Roxens vidsträckta vattenyta. Dessa förhållanden resulterar i att kvoten \bar{u}_T/\bar{u}_M antar relativt höga värden ($\gtrsim 1$) i sektorn.

I nedanstående tabell visas kvoten mellan den beräknade vindhastigheten i Tornby ($\bar{u}_{T,m}$) och den uppmätta på Malmslätt ($\bar{u}_{M,m}$) för samma fyra delsektorer som ovan. (Dessutom upprepas värdena för kvoten mellan de uppmätta hastigheterna, $\bar{u}_{T,m}/\bar{u}_{M,m}$ för jämförelsens skull.)

Sektor	$\bar{u}_{T,b}$ (ms^{-1})	$\bar{u}_{T,b}/\bar{u}_{M,m}$	$\bar{u}_{T,m}/\bar{u}_{M,m}$
100-120	4.02	1.10	1.13
220-240	2.10	0.77	0.75
260-290	3.18	0.95	0.92
310-020	2.68	1.18	0.96

Överensstämmelsen är god utom för sektorn 310-020⁰. Avvikelsen i denna sektor beror troligen på att sektorn innehåller några enstaka, glesst spridda byggnader inom de närmaste 500 m samt en landsvägsviadukt över motorvägen på ca 1.3 km avstånd. Vid den ursprungliga skrovlighetskarteringen bortsågs från dessa omgivningselement.

Fall 4, Norrköping, stadscentrum (Laurin m fl 1982)

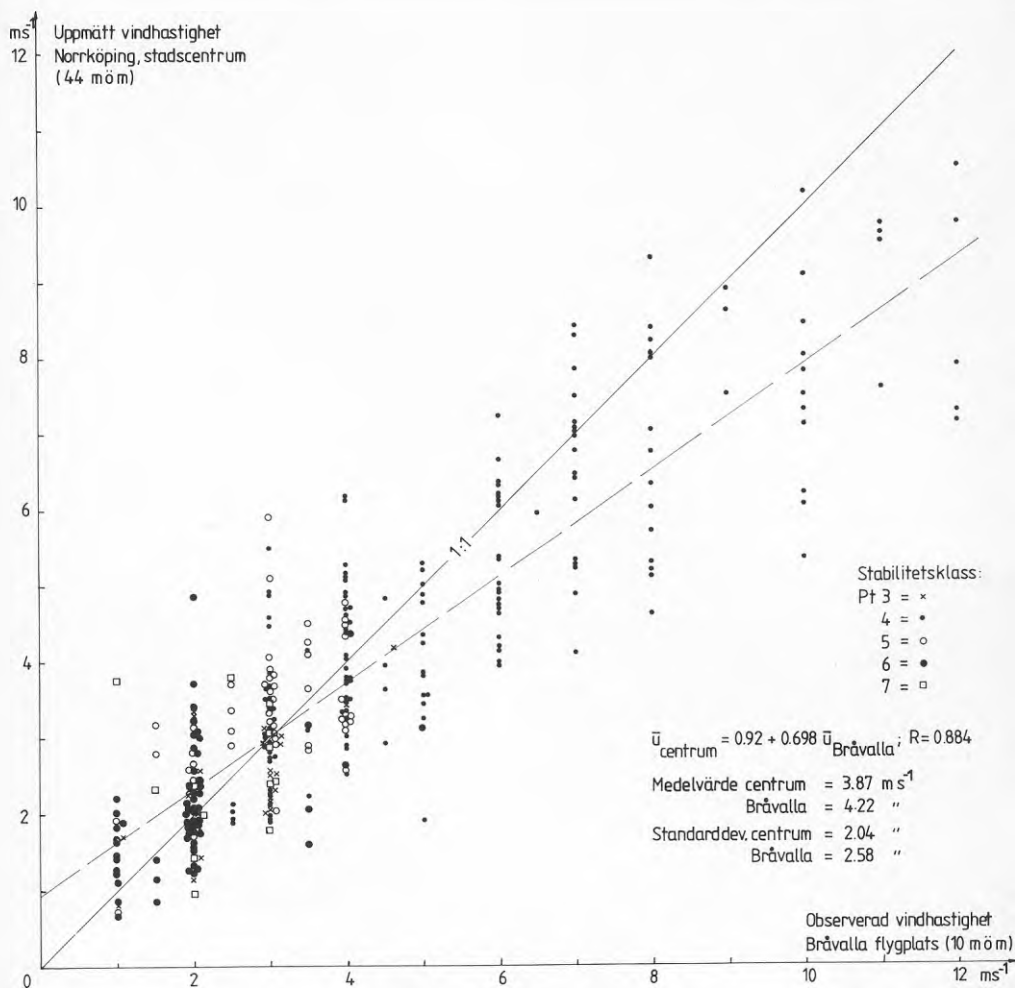
Lokala klimatmätningar utfördes i detta fall under perioden juni-september 1981 i centrum av Norrköping. Härvid mättes bl a vindhastigheten på 14.5 m höjd ovanför taket av en fritt exponerad 30 m hög byggnad. Omgivande bebyggelse domineras av 4-6 våningsbyggnader. Närmast mätplatsen finns en stor, öppen parkeringsyta i öster och 3-vånings varuhusbyggnader i väster och norr. Närmast söder om byggnaden finns en lika hög kontorsbyggnad. Mätpunktens höjd över marken är 44.5 m, vilket approximativt motsvarar två till tre gånger den genomsnittliga taknivån i omgivningen.

Som meteorologisk referensstation har använts Norrköping-Bråvalla flygplats (TIMSYNOP-data), belägen ca 5.5 km VNV om mätplatsen. I figur 2.8 visas samhörande observerade respektive lokalt uppmätta vindhastigheter (10-minutersmedelvärden) i de två punkterna, med angivande av tillhörande stabilitetstyp (PT-klass) enligt Bråvalla-observationerna. Figuren visar även i detta fall en stor spridning i de lokalt uppmätta hastigheterna vid en viss observerad hastighet på flygplatsen. Det framgår dock tydligt att vindhastigheten på flygplatsen är systematiskt högre än över stadscentrum utom vid hastigheter $\lesssim 3.0 \text{ ms}^{-1}$. Man ser vidare att dessa relativt låga hastigheter huvudsakligen inträffar vid tillfällena med stabil eller mycket stabil skiktning (PT=6 eller 7) medan neutral eller svagt stabil skiktning (PT=4 eller 5) dominerar vid hastigheter $\gtrsim 3.5 \text{ ms}^{-1}$.

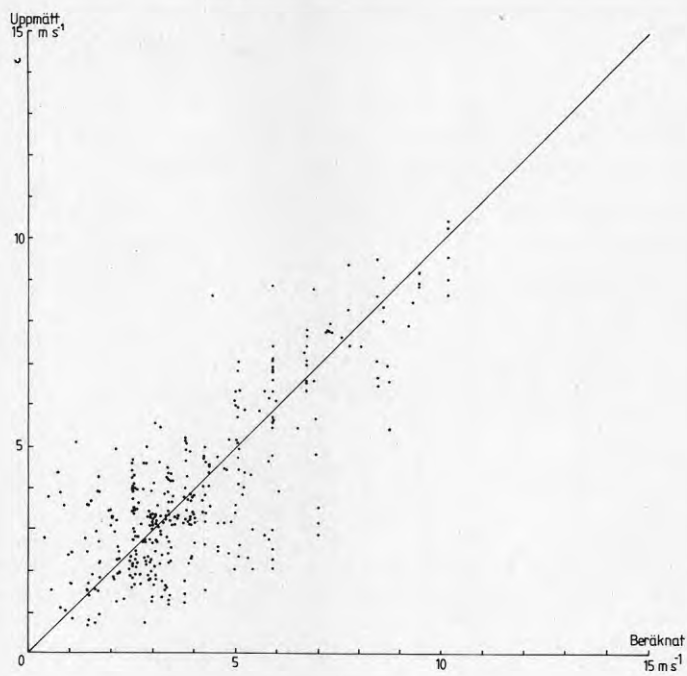
Den stora spridningen i figur 2.8 gör att varje form av regressions-samband mellan hastigheterna i de två punkterna blir osäkert. Den streckade linjen indikerar ett approximativt lineärt samband vid tillfällena med neutral skiktning och hastigheter $\gtrsim 3 \text{ ms}^{-1}$.

Den observerade tendensen till högre hastigheter över stadscentrum än över flygplatsen vid stabil och mycket stabil skiktning kan tolkas som en effekt av en försvagad stabilitet över stadsbebyggelsen i dessa fall (jfr avsnitt 2.3.2). Ett liknande resultat erhöles vid mätningar över stadscentrum och utanför stadsbebyggelsen i Uppsala [Taesler och Karlsson 1980].

Beräknade och uppmätta vindhastigheter över stadscentrum visas i figur 2.9. Man kan även i detta fall konstatera att beräkningarna ger en i jämförelse med flygplatsobservationerna bättre uppskattning av den lokala vindhastigheten. Spridningen är stor men resultatet tyder inte på någon signifikant systematisk avvikelse mellan beräknade och uppmätta hastigheter.



FIGUR 2.8. Samtidigt uppmätta vindhastigheter (10 min.mv.) vid Brävalla flygplats och i lokal mätpunkt på 14.5 m höjd ovanför taket av en 30 m hög byggnad i centrala Norrköping. Stabilitetsklassificering enligt observationer (TIMSYNOP) från Brävalla.



FIGUR 2.9. Beräknade och uppmätta vindhastigheter (10 min.mv.) i mätpunkten över taknivå (44 m ö m) i centrala Norrköping (jfr figur 2.8).

2.3.4 Sammanfattning och diskussion

Beräkningsmetoden bygger på en fysikaliskt starkt förenklad modell av underlagets och stabilitetens inverkan på medelströmningens vertikala hastighetsprofil. Metoden har dock den praktiska fördelen att ingående parametrar kan bestämmas ur rutinmässigt tillgängliga data.

I tre av testfallen (fall 1, 2 och 4) visar de lokala mätningarna likartade systematiska avvikelser från de samtidiga flygplatsobservationerna. Dessa tre fall utmärks alla av att de lokala vindmätningarna utförts över ytor med mycket höga skrovlighetselement (skog respektive bebyggelse) och på en höjd över marken motsvarande 2-2½ gånger denna medelhöjd. I två av de tre fallen tenderar flygplatsmätningarna att visa högre värden än de lokala mätningarna vid vindhastigheter över $2-3 \text{ ms}^{-1}$. I det tredje fallet (Gustavsberg) ligger detta gränsvärde något högre, ca 4 ms^{-1} , vilket kan vara ett resultat av en lokal förstärkning av hastigheten över det exponerade, relativt branta bergskränet. Med ökande hastighet tycks dock friktionsinflytandet från den mycket skrovliga omgivningen bli dominerande även i detta fall.

Vid svagare vindar, vilka huvudsakligen förekommer i situationer med stabil eller mycket stabil skiktning (PT=6 eller 7) är vindhastigheten högre över den skrovliga ytan än över flygplatsen i respektive fall. Orsaken torde vara en snabbare eller tidigare stagnation av strömningar över de öppna flygplatsytorna än över skog respektive stadsbebyggelse. Detta har motiverat den i avsnitt 2.3.2 nämnda ändringen av stabilitetsklassen vid beräkning av den lokala vindprofilen över mycket skrovliga ytor.

I det fjärde fallet (Tornby) avviker den lokala omgivningens skrovlighet mycket mindre från flygplatsens än i de tre andra fallen. Mätningarna visar i detta fall en avsevärt bättre överensstämmelse mellan de två platserna. Den beräknade lokala vindhastigheten visar även i detta fall en bättre överensstämmelse (något högre korrelationskoefficient) med de lokala mätningarna än flygplatsobservationerna.

De systematiska skillnaderna i vindhastighet mellan platserna i fall 1, 2 och 4 maskeras delvis av den stora, slumpmässiga spridningen i mätdata. Spridningen kan tolkas som en relativt svag korrelation i rum och/eller i tid mellan respektive platser. Detta kan tyda på att antagandet om en horisontellt homogen överlagrad strömning (på referensnivån H) ofta inte är yppfyllt över så stora avstånd som i de aktuella fallen. En bidragande faktor är också den bristande precisionen i flygplatsobservationerna. Dessutom kan orsaken också vara en lokal förstärkning av strömningens turbulens över de mycket skrovliga ytorna.

En ytterligare felkälla är bestämningen av vindvägen vid en viss tidpunkt. Detta görs för båda platserna på basis av vindriktningsobservationerna på flygplatsen. Speciellt vid svagare vindar och stabil eller mycket stabil skiktning kan vindriktningen variera avsevärt på lokal skala liksom även mellan olika nivåer i det atmosfäriska gränsskiktet.

Det tillgängliga materialet medger ingen närmare analys av orsakerna till den stora spridningen. Man kan dock dra slutsatsen att en längre medelvärdestid än tio minuter - lämpligen en timme - skulle ge en säkrare bestämning av de systematiska skillnaderna mellan två platser.

Även de samhörande, beräknade och uppmätta lokala vindhastigheterna uppvisar stor spridning. Detta är naturligt, eftersom beräkningsmodellen inte kan eliminera de ovan diskuterade slumpmässiga felen.

Testresultaten tyder på att metoden trots sin enkelhet återger effekten av varierande skrovlighetsförhållanden och olika stabilitets-typer på ett realistiskt sätt, utan större systematiska fel. I alla fyra testfallen gav beräkningarna en bättre uppskattning av den lokala vindhastigheten än vad som erhålles ur de okorrigerade flyg-platsobservationerna.

Den lägsta nivå, för vilken den lokala vindhastigheten beräknas, bör, såsom redan diskuterats, motsvara 2-3 \bar{h} (skrovlighetselementens medelhöjd). För att bestämma hastigheten i lägre nivåer och, speciellt, i skiktet under \bar{h} måste andra metoder användas, t ex vindtunnelmätningar eller numerisk simulering av strömningen. Den senare möjligheten behandlas i avsnitt 4.2.

En fråga, som tills vidare inte har kunnat studeras närmare, är över hur långa avstånd vindomräkningen kan göras med den aktuella metoden. I de fyra testfallen varierar avståndet mellan de två platserna i respektive fall från ca 5 km till ca 35 km. Den övre gränsen för metodens tillämpbarhet beror sannolikt främst av landskapets karaktär. Beräkningsresultaten är relativt känsliga för, hur karteringen av omgivningens skrovlighet utförs. Detta medför att metoden lämpar sig bäst för flacka eller måttligt kuperade områden med stora, homogena ytor.

2.3.5 Produktion av lokal vindstatistik

Metoden är i första hand lämpad för beräkning av lokala frekvensfördelningar av vindhastighet. Utgångsmaterialet för sådana beräkningar är de mångåriga tidsserierna av SYNOP- och TIMSYNOP-observationer. Bearbetning av material i form av tidsserier är mycket tidskrävande. Ett datorprogram har emellertid utvecklats, som producerar ett ändamålsenligt statistiskt utgångsmaterial för beräkning av lokal vindstatistik. Materialet utgörs av månadsvisa 2-dimensionella frekvensfördelningar för varje stabilitetstyp (PT-klass) över samtidigt observerad vindhastighet och vindriktning. För en viss lokal omgivning (lokal z_0 -kartering) kan vindstatistik enkelt beräknas ur dessa frekvensfördelningar med hjälp av teoretiskt beräknade eller uppmätta korrektionsfaktorer för varje PT-klass och vindriktningsintervall (jfr tabell 2.3). Detta förfarings-sätt har använts bl a vid beräkning av lokal vindstatistik för Södertuna-området [Glaumann och Taesler 1985].

Exempel på sådan stabilitetsgrupperad vindstatistik visas, i form av tabellutskrifter, i tabell 2.4 a-j. För varje vindklass (kombination av vindhastighet och vindriktning) anges antalet timmar/månad. Dessutom har för varje vindklass beräknats medeltemperaturen under de timmar, som infallit i klassen. Härigenom får materialet ett betydligt större användningsområde. Bl a kan det ligga till grund för

TABELL 2.4 a-j. Stabilitetsgrupperade frekvensfördelningar av vindhastighet och vindriktning med tillhörande medeltemperaturer för januari (tabell 2.4 a-e) och juli (tabell 2.4 f-j).

Tabellvärden anger antal timmar/månad i viss vindklass (övre värde) och medeltemperaturen i klassen (°C, undre värde). Stabilitets-typp anges med Pasquill-Turner klassen (PT = 3-7). Antal fall i respektive tabell anges i procent av totala tiden under respektive månad.

Tabell 2.4 a. Barkåkra (Ängelholm), januari 1955-79, PT=3.

JAN (TIM SYNOP)

FREKVENSER AV VINDHASTIGHET OCH VINDRIKTNING I TIMMAR. MEDELTEMPERATUR FÖR MOTSVARANDE VINDHASTIGHET OCH VINDRIKTNING.														
STATION: BARKÅKRA			PERIOD: 1955-1979										PASQUILL-TURNER KLAS: 3 (1.2 %)	
M/S	VINDRIKTNING I DEKAGRADER												SUM MEDELT	
	35-1	2-4	5-7	8-10	11-13	14-16	17-19	20-22	23-25	26-28	29-31	32-34		
0	3												3	
	-4.4												-4.4	
1-2	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	1	0	6	
	-3.3	-3.4	-4.8	-3.6	-5.4	-3.8	-0.9	-1.4	1.2	-4.4	-1.0	-5.1	-3.8	
3-4	0	0	0								0	0	1	
	-0.5	-6.7		-2.0							-5.7	-2.3	-3.7	
SUM	3	1	1	0	1	2	1	0	0	0	1	1	9	
MEDELT	-4.4	-2.5	-4.4	-4.8	-3.5	-5.4	-3.8	-0.9	-1.4	1.2	-4.4	-2.2	-4.4	

Tabell 2.4 b. Barkåkra (Ängelholm), januari 1955-79, PT=4.

JAN (TIM SYNOP)

FREKVENSER AV VINDHASTIGHET OCH VINDRIKTNING I TIMMAR. MEDELTEMPERATUR FÖR MOTSVARANDE VINDHASTIGHET OCH VINDRIKTNING.														
STATION: BARKÅKRA			PERIOD: 1955-1979										PASQUILL-TURNER KLAS: 4 (60.2 %)	
M/S	VINDRIKTNING I DEKAGRADER												SUM MEDELT	
	35-1	2-4	5-7	8-10	11-13	14-16	17-19	20-22	23-25	26-28	29-31	32-34		
3-4	2	4	7	13	15	10	7	4	2	4	4	3	75	
	-3.7	-3.0	-2.1	-1.7	-0.9	.6	1.2	1.7	.9	1.9	.4	-1.6	-0.6	
5-6	4	7	10	22	31	17	18	18	12	16	8	5	168	
	-4.5	-4.7	-2.9	-1.2	-0.3	.6	2.1	1.9	2.0	2.0	1.1	-1.0	.1	
7-8	3	7	8	14	20	9	8	9	12	16	6	4	116	
	-5.4	-5.8	-5.4	-1.3	-0.9	.1	2.2	2.8	2.6	2.5	1.0	-1.0	-0.2	
9-10	2	2	2	5	12	3	2	4	8	11	4	2	56	
	-4.6	-4.9	-5.5	-1.8	-0.7	.6	2.5	3.3	3.0	2.9	1.2	-0.5	.6	
11-12	1	0	0	1	3	1	0	1	2	4	2	1	16	
	-11.2	-3.4	-2.5	-2.9	-1.6	-0.4	3.5	3.6	3.7	3.2	2.3	-1.1	1.0	
13-14	1	0	0	1	1	0	0	1	2	3	1	0	11	
	-9.5	-4.9	-3.8	-2.4	-3.1	-0.6	3.5	3.0	4.0	3.1	2.7	-1.5	.5	
15-16	0			0	0			0	0	1	1	0	4	
	-11.2			-0.9	-3.8			3.6	4.4	3.9	3.3	-2.6	.2	
17-18				0				0		0	0		1	
				-3.3				3.4		3.6	2.9		1.8	
19-20									0	0	0	0	0	
									4.4	4.7	.0		4.0	
21-22									0	0	0	0	0	
									3.7	5.0	-0.1		2.9	
SUM	13	21	28	57	83	39	35	38	38	55	28	14	448	
MEDELT	-5.5	-4.7	-3.6	-1.4	-0.7	.5	2.0	2.3	2.5	2.5	1.2	-1.1	.0	

Tabell 2.4c. Barkåkra (Ängelholm), januari 1955-79, PT=5.

JAN (TIM SYNOP)

FREKVENSER AV VINDHASTIGHET OCH VINDRIKTNING I TIMMAR. MEDELTEMPERATUR FÖR MOTSVARANDE VINDHASTIGHET OCH VINDRIKTNING.

STATION: BARKÅKRA PERIOD: 1955-1979 PASQUILL-TURNER KLASS: 5 (19.7 %)

M/S	VINDRIKTNING I DEKAGRADER												SUM MEDELT
	35-1	2-4	5-7	8-10	11-13	14-16	17-19	20-22	23-25	26-28	29-31	32-34	
0	7												7
	-2.7												-2.7
1-2	1	2	3	5	6	4	2	2	1	1	3	2	34
	-1.2	-2.4	-3.0	-1.9	-1.4	-1.0	-0.7	1.2	1.6	.8	-0.1	-1.4	-1.1
3-4	3	3	5	14	19	11	10	7	5	8	8	4	98
	-3.7	-4.7	-2.6	-1.3	-0.8	.5	1.0	1.1	1.1	.7	-0.1	-2.8	-0.5
5-6	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	8
	-5.0	-7.9	-7.5	-3.8	-2.7	-3.8	.7	.3	1.8	.6	-0.2	-1.6	-3.0
SUM	7	5	6	9	19	26	16	13	9	6	10	13	7
MEDELT	-2.7	-3.4	-4.5	-3.0	-1.6	-1.0	.0	.6	1.1	1.2	.7	-0.1	-2.2

Tabell 2.4d. Barkåkra (Ängelholm), januari 1955-79, PT=6.

JAN (TIM SYNOP)

FREKVENSER AV VINDHASTIGHET OCH VINDRIKTNING I TIMMAR. MEDELTEMPERATUR FÖR MOTSVARANDE VINDHASTIGHET OCH VINDRIKTNING.

STATION: BARKÅKRA PERIOD: 1955-1979 PASQUILL-TURNER KLASS: 6 (14.0 %)

M/S	VINDRIKTNING I DEKAGRADER												SUM MEDELT
	35-1	2-4	5-7	8-10	11-13	14-16	17-19	20-22	23-25	26-28	29-31	32-34	
0	17												17
	-3.6												-3.6
1-2	2	3	4	8	15	8	5	3	3	3	6	4	64
	-3.3	-3.2	-4.0	-3.0	-4.1	-1.3	-0.7	.2	-0.4	-0.1	-0.8	-4.0	-2.4
3-4	2	3	1	2	5	2	0	0	1	1	4	3	23
	-5.3	-6.1	-6.3	-3.6	-5.6	-3.7	-0.9	-3.9	-1.0	-1.2	-1.9	-4.4	-4.2
SUM	17	4	6	6	10	19	10	5	3	3	4	10	7
MEDELT	-3.6	-4.1	-4.5	-4.5	-3.2	-4.4	-1.7	-0.7	-0.2	-0.5	-0.3	-1.2	-4.1

Tabell 2.4e. Barkåkra (Ängelholm), januari 1955-79, PT=7.

JAN (TIM SYNOP)

FREKVENSER AV VINDHASTIGHET OCH VINDRIKTNING I TIMMAR. MEDELTEMPERATUR FÖR MOTSVARANDE VINDHASTIGHET OCH VINDRIKTNING.

STATION: BARKÅKRA PERIOD: 1955-1979 PASQUILL-TURNER KLASS: 7 (4.8 %)

M/S	VINDRIKTNING I DEKAGRADER												SUM MEDELT
	35-1	2-4	5-7	8-10	11-13	14-16	17-19	20-22	23-25	26-28	29-31	32-34	
0	13												13
	-7.4												-7.4
1-2	2	2	2	2	6	2	1	0	0	0	2	3	23
	-7.0	-6.5	-7.3	-7.4	-8.2	-7.0	-1.9	-3.1	-5.1	-2.5	-3.1	-5.6	-6.5
SUM	13	2	2	2	6	2	1	0	0	0	2	3	36
MEDELT	-7.4	-7.0	-6.5	-7.3	-7.4	-8.2	-1.9	-3.1	-5.1	-2.5	-3.1	-5.6	-6.8

Tabell 2.4 f. Barkåkra (Ängelholm), juli 1955-79, PT=3.

JUL (TIM SYNOP)

FREKVENSER AV VINDHASTIGHET OCH VINDRIKTNING I TIMMAR. MEDELTEMPERATUR FÖR MOTSVARANDE VINDHASTIGHET OCH VINDRIKTNING.

STATION: BARKÅKRA		PERIOD: 1955-1979											PASQUILL-TURNER KLASS: 3 (12.9 %)	
M/S	-	VINDRIKTNING I DEKAGRADER											SUM MEDELT	
		35-1	2-4	5-7	8-10	11-13	14-16	17-19	20-22	23-25	26-28	29-31		32-34
0	7													7
	17.6													17.6
1-2		2	2	2	3	5	3	2	2	3	7	4	2	37
		20.0	18.4	18.1	18.1	17.3	18.7	18.2	16.4	19.3	18.8	18.9	17.9	18.4
3-4		0	1	1	2	3	2	1	1	2	6	8	1	27
		19.9	20.2	19.7	19.4	20.3	20.7	22.6	21.8	20.6	20.0	20.1	18.4	20.2
5-6		0	0	1	1	2	1	1	0	1	3	7	1	20
		16.7	20.2	20.5	20.9	21.9	23.1	23.1	16.4	21.8	19.4	20.2	20.1	20.6
7-8		0	0	0	1	1	0		0	0	0	2	0	5
		19.8	20.0	23.4	23.5	25.3	27.2		22.2	21.2	19.0	19.0	19.2	21.7
9-10				0	0	0						0	0	1
				18.6	26.4	26.7						18.2	16.0	21.9
SUM	7	3	3	5	6	10	7	4	3	5	15	21	5	96
MEDELT	17.6	19.8	19.2	19.5	19.7	19.8	20.5	20.4	17.7	19.9	19.4	19.8	18.7	19.5

Tabell 2.4 g. Barkåkra (Ängelholm), juli 1955-79, PT=4.

JUL (TIM SYNOP)

FREKVENSER AV VINDHASTIGHET OCH VINDRIKTNING I TIMMAR. MEDELTEMPERATUR FÖR MOTSVARANDE VINDHASTIGHET OCH VINDRIKTNING.

STATION: BARKÅKRA		PERIOD: 1955-1979											PASQUILL-TURNER KLASS: 4 (52.0 %)	
M/S	-	VINDRIKTNING I DEKAGRADER											SUM MEDELT	
		35-1	2-4	5-7	8-10	11-13	14-16	17-19	20-22	23-25	26-28	29-31		32-34
3-4		2	2	3	5	8	7	8	9	9	25	21	7	108
		17.8	17.2	17.0	16.7	17.2	17.1	16.6	16.1	16.8	16.5	17.0	17.6	16.8
5-6		2	2	4	6	9	6	8	10	15	48	35	6	151
		17.2	18.4	18.0	16.6	18.2	17.5	17.0	16.0	16.1	15.5	16.3	17.8	16.3
7-8		1	0	2	3	4	1	2	4	6	33	22	4	83
		17.2	19.7	19.0	19.2	20.2	22.3	17.8	15.6	15.8	15.1	16.0	17.0	16.2
9-10		0	0	0	1	2	0	0	1	3	18	8	1	35
		13.2	20.7	18.9	20.8	21.9	21.2	14.6	16.0	15.3	14.9	15.9	16.7	15.9
11-12				0	0		0	0	0	0	3	2	0	6
				18.9	21.9		12.8	19.2	16.1	14.6	15.3	16.2	15.6	
13-14				0	0			0	0	1	0			2
				20.6	21.7			16.7	14.2	13.4	15.4			14.9
15-16										1				1
										13.3				13.3
SUM	6	5	10	16	23	15	19	24	34	128	90	18	387	
MEDELT	17.4	18.1	17.9	17.6	18.5	17.9	16.9	16.0	16.2	15.4	16.3	17.5	16.4	

Tabell 2.4h. Barkåkra (Ängelholm), juli 1955-79, PT=5.

JUL (TIM SYNOP)

FREKVENSER AV VINDHASTIGHET OCH VINDRIKTNING I TIMMAR. MEDELTEMPERATUR FÖR MOTSVARANDE VINDHASTIGHET OCH VINDRIKTNING.

STATION: BARKÅKRA				PERIOD: 1955-1979										PASQUILL-TURNER KLASS: 5 (12.3 %)	
M/S	-	VINDRIKTNING I DEKAGRADER										SUM MEDELT			
		35-1	2-4	5-7	8-10	11-13	14-16	17-19	20-22	23-25	26-28		29-31	32-34	
0	4														4
	15.6														15.6
1-2		1	1	1	1	4	3	3	2	2	2	3	1	24	
		15.9	16.2	16.0	14.3	14.3	15.0	14.9	15.1	16.2	15.9	14.5	15.0	15.1	
3-4		1	1	2	3	6	5	4	7	5	10	12	4	61	
		15.1	15.6	14.6	14.7	14.8	14.7	15.3	14.4	14.8	14.9	14.8	14.9	14.8	
5-6			0	0	1	0		0	0	0	0	1	0	3	
			16.4	16.8	15.6	14.6		19.8	14.2	14.4	14.7	16.7	17.4	15.8	
SUM	4	1	2	4	5	11	8	7	9	8	13	15	5	92	
MEDELT	15.6	15.5	15.9	15.2	14.8	14.6	14.8	15.2	14.6	15.2	15.1	14.8	15.0	15.0	

Tabell 2.4i. Barkåkra (Ängelholm), juli 1955-79, PT=6.

JUL (TIM SYNOP)

FREKVENSER AV VINDHASTIGHET OCH VINDRIKTNING I TIMMAR. MEDELTEMPERATUR FÖR MOTSVARANDE VINDHASTIGHET OCH VINDRIKTNING.

STATION: BARKÅKRA				PERIOD: 1955-1979										PASQUILL-TURNER KLASS: 6 (14.8 %)	
M/S	-	VINDRIKTNING I DEKAGRADER										SUM MEDELT			
		35-1	2-4	5-7	8-10	11-13	14-16	17-19	20-22	23-25	26-28		29-31	32-34	
0	27														27
	13.8														13.8
1-2		2	3	4	7	12	6	5	4	3	3	8	5	63	
		14.7	14.1	14.5	13.4	13.6	14.1	14.6	14.6	15.5	15.0	15.0	14.2	14.3	
3-4		0	1	2	3	4	1	0	0	0	1	5	2	20	
		14.9	15.7	15.3	15.2	15.1	16.4	15.3	17.1	16.4	15.6	15.2	16.0	15.4	
SUM	27	3	4	6	10	16	6	6	5	3	5	13	7	110	
MEDELT	13.8	14.7	14.4	14.8	13.9	14.0	14.3	14.7	14.8	15.7	15.1	15.1	14.7	14.4	

Tabell 2.4j. Barkåkra (Ängelholm), juli 1955-79, PT=7.

JUL (TIM SYNOP)

FREKVENSER AV VINDHASTIGHET OCH VINDRIKTNING I TIMMAR. MEDELTEMPERATUR FÖR MOTSVARANDE VINDHASTIGHET OCH VINDRIKTNING.

STATION: BARKÅKRA				PERIOD: 1955-1979										PASQUILL-TURNER KLASS: 7 (8.1 %)	
M/S	-	VINDRIKTNING I DEKAGRADER										SUM MEDELT			
		35-1	2-4	5-7	8-10	11-13	14-16	17-19	20-22	23-25	26-28		29-31	32-34	
0	26														26
	13.1														13.1
1-2		2	2	2	5	5	3	1	1	1	2	7	3	34	
		15.0	14.6	14.5	13.5	14.1	14.2	14.1	12.8	13.6	15.0	14.5	14.6	14.3	
SUM	26	2	2	2	5	5	3	1	1	1	2	7	3	60	
MEDELT	13.1	15.0	14.6	14.5	13.5	14.1	14.2	14.1	12.8	13.6	15.0	14.5	14.6	13.8	

beräkningar av byggnaders energiförlust genom transmission och infiltration, vilket närmare behandlas i avsnitt 4.2.

2.4 Beräkning av lokala temperaturdata

2.4.1 Bakgrund

Temperaturklimatet på en viss plats bestäms först och främst av solinstrålningens årliga variation, i andra hand av förekomsten av varma och kalla luftmassor i samband med storskaliga vädersystem. Temperaturen hos en luftmassa modifieras ofta vid övergången t ex från hav till land, vilket t o m i månadsmedeltemperaturerna yttrar sig i en relativt skarp temperaturgradient i en övergångszon av några mils bredd längs kusten.

Lokala och mikroskaliga temperaturvariationer uppträder framför allt i vädersituationer, som karakteriseras av liten molnighet och svag vind samt, i regel, stabil eller mycket stabil skiktning i det atmosfäriska gränsskiktet. Ju längre tid luften uppehåller sig över en viss yta och ju svagare den vertikala, turbulenta omblandningen är, desto mer påverkas luftens temperatur av ytans lokala egenskaper (geometri, albedo, emissivitet, fukthalt, värmekapacitet och värmeledningsförmåga).

Den primära drivkraften för ytans energibalans och därmed även för luftens uppvärmning eller avkylning är nettostrålningen, Q^* , som utgör differensen mellan alla nedåt- och uppåtriktade strålningsflöden. Formellt gäller,

$$Q^* = K\downarrow(1-A) + L\uparrow - L\downarrow \quad (2.10)$$

där

$K\downarrow$ = infallande direkt + diffus solstrålning (globalstrålning)
(Wm^{-2})

A = underlagets reflexionsförmåga för solstrålning (albedo)

$L\downarrow$ = från atmosfären (luft + moln) infallande långvågsstrålning
(Wm^{-2})

$L\uparrow$ från underlaget utgående långvågsstrålning (Wm^{-2})

Ytan förlorar eller tillförs också energi genom värmeledning i marken, Q_G . Dessutom överförs energi i form av sensibelt värme, Q_H , och avdunstningsvärme, Q_E . Underlagets energibalans kan formellt skrivas som,

$$Q^* + Q_H + Q_E + Q_G = \Delta Q_S \quad (2.11)$$

där ΔQ_S är värmelagringen i ytskiktet.

Bortsett från i ett mycket tunt laminärt ytskikt intill själva ytan sker värmetransporten i luften genom turbulent utbyte. Ändringar i luftens temperatur styrs av de vertikala gradienterna i Q^* , Q_H och Q_E enligt,

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{\rho c_p} \frac{\partial}{\partial z} (Q^* + Q_H + Q_E) \quad (2.12)$$

där

ρ = luftens densitet (kg m^{-3})

c_p = luftens specifika värmekapacitet ($\text{J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$)

Så länge ingen avdunstning eller kondensation av vattenånga sker i luften kan $\partial Q_E / \partial z$ försummas. Temperaturändringen blir alltså då,

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{\rho c_p} \frac{\partial}{\partial z} (Q^* + Q_H) \quad (2.13)$$

Gradienterna i Q^* och Q_H motverkar i regel varandra. Innebörden av ekv. (2.13) är, att den av nettostrålningen orsakade uppvärmningen under dagen respektive avkylningen under natten bromsas av det turbulenta värmeflödet.

Beräkning av lokala temperaturdifferenser med hjälp av ekv. (2.13) försvåras eller omöjliggörs av att de vertikala gradienterna i Q^* och Q_H inte kan bestämmas ur rutinmässigt tillgängliga data (synoptiska observationer samt lokala omgivningsparametrar). I situationer med renodlad strålningsavkyllning har det visats experimentellt att luftens temperatursänkning på någon meters höjd över marken kan approximeras [Oke 1981, 1982, Taesler 1981b] med följande uttryck, gällande för ytans temperatursänkning efter solnedgången vid fri horisont [Brunt 1941],

$$\delta T = L^* \cdot \frac{2}{\sqrt{\pi} \cdot \mu} \cdot \sqrt{t} \quad (2.14)$$

där

L^* = långvågig nettostrålning, $L_{\downarrow} - L_{\uparrow}$ (Wm^{-2})

$\mu = (\rho \cdot c \cdot \lambda)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{J m}^{-2} \text{K}^{-1} \text{s}^{-\frac{1}{2}})$

ρ = markens densitet (kg m^{-3})

c = markens värmekapacitet ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)

λ = markens värmeledningsförmåga ($\text{J m}^{-1} \text{K}^{-1} \text{s}^{-1}$)

t = tiden efter solnedgången (s)

Ekv. (2.14) kan modifieras [Oke 1981] för att inkludera inverkan av horisontavskärmning från omgivningen. Effekten härav är en reducerad nettostrålning och långsammare avkyllning (se t ex Glaumann och Taesler 1985).

Nettostrålningen observeras inte vid de ordinarie meteorologiska stationerna. Den kan dock beräknas ur TIMSYNOP-observationerna med en vid SMHI nyligen utvecklad modell. Datorkörningarna är emellertid tidskrävande och har hittills inte kunnat utföras mer än för ett fåtal stationer och några års data. För temperaturkorrigering av långa tidsserier (20-25 år) har istället en enkel, approximativ metod utvecklats. Metoden som redovisas nedan, innebär väsentligen ett interpolationsförfarande grundat på stabilitetstyp (PT-klass) och empiriska bestämda temperaturavvikelser i en viss typ av omgivning.

2.4.2 Metodbeskrivning

Liksom beträffande vindhastigheten är syftet här att med utgångspunkt från SYNOP- eller TIMSYNOP-observationer beräkna lokalt representativ temperaturstatistik. Korrektioner till de primärt observerade temperaturerna bestäms härvid i två steg.

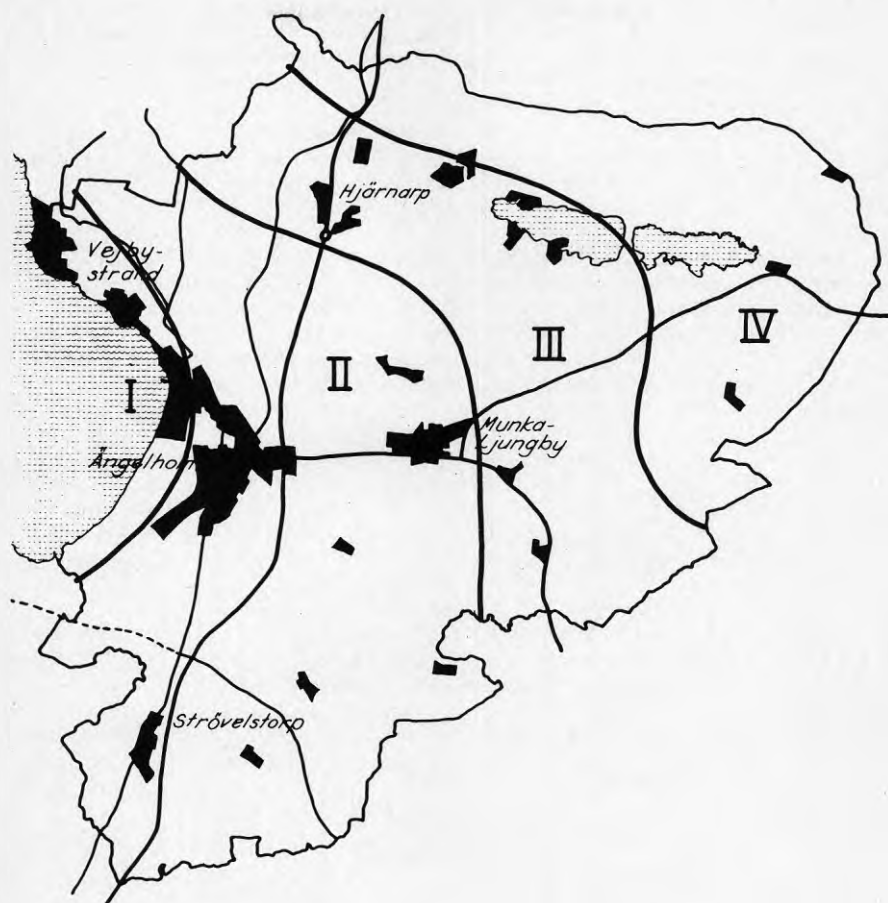
Steg 1 En grov bild av temperaturklimatet inom en större geografisk region (län eller kommun) bestäms först ur observationerna från alla stationer i regionen samt, eventuellt, i angränsande områden (SYNOP, TIMSYNOP och s k små klimatstationer), vilka utför dagliga temperaturobservationer. Dessa stationer klassificeras med hänsyn till höjd över havet och avståndet från kusten samt omgivande landskapstyp. Vidare görs en bedömning av vilka delar eller zoner inom regionen som i temperaturhänseende kan representeras av en viss station. En tidsperiod på minst fem år utväljes, under vilken samtidiga observationer utförts vid de olika stationerna. Temperaturdifferenserna vid en viss station relativt SYNOP- eller TIMSYNOP-stationen analyseras som funktion av PT-klass och vindhastighet samt, i kustnära lägen, även vindriktning. För varje meteorologisk klass (definierad av stabilitet, vindhastighet, vindriktning) beräknas medeldifferenser, vilka tillordnas respektive zon eller delområde inom regionen.

Genom att korrektionerna bestäms för stabilitetsgrupperade vindklasser kan de även appliceras på medeltemperaturerna i de tabeller, som exemplifierats tidigare (tabell 2.4 a-1).

Figur 2.10 och nedanstående tabell visar som exempel den zondelning och de korrektioner, som bestämts för Ängelholm i samband med ett annat BFR-projekt. I detta fall har även en mobil temperaturkartering [Jansson m fl 1984] kunnat utnyttjas som stöd för bestämningen.

TABELL 2.5. Stabilitetsklassificerade temperaturkorrektioner ($^{\circ}\text{C}$) relativt Ängelholm/Barkåkra flygplats (zoningindelningen framgår ur figur 2.10).

Zon	Vind-	Stabilitet (PT-klass)							
		7		6				5	
		hast (ms^{-1})	0	≥ 1	0	≥ 1		0	≥ 1
				10-180	190-360		10-180	190-360	
I		+0.5	+0.3	+0.3	+0.1	+0.2	+0.1	0.0	+0.1
II		-1.0	-0.4	-0.4	-0.2	-0.3	-0.2	0.0	-0.2
III		-2.0	-1.0	-1.3	-0.4	-0.7	-0.5	-0.2	-0.3
IV		-3.0	-1.8	-2.0	-0.8	-1.2	-0.8	-0.5	-0.5



FIGUR 2.10. Zonindelning av Ängelholms kommun för bestämning av temperaturkorrektioner vid lokal omräkning av meteorologiska observationer från Ängelholms flygplats.

Stabilitetsklasserna 3 och 4 (instabil respektive neutral skiktning) ger i detta fall inga signifikanta korrekationer.

De på detta sätt bestämda korrektionerna utgör grova medelvärden för vissa meteorologiska typfall. I enskilda situationer kan betydande avvikelser från dessa medelvärden förekomma. Metoden bedöms dock ge rätt storleksordning på de mera storskaliga temperaturvariationerna inom en region.

Steg 2 Detta steg utförs för att ta hänsyn speciellt till bebyggelsens inverkan på temperaturen. Härvid utnyttjas semiempiriska samband mellan bebyggelsestruktur och temperatur samt experimentella resultat från urbana temperaturstudier i Sverige.

Bebyggelsens temperaturhöjande effekt, den s k urbana värmeön, har påvisats över hela världen och i stadsområden av alla storlekar. På basis av data från ett 30-tal städer i olika världsdelar har Oke (1981) undersökt sambandet mellan den maximala värmeintensiteten, $\Delta T_{U-R(\max)}$, och stadsbebyggelsens struktur. Det har härvid visat sig att följande relation ger en mycket god uppskattning av detta max-värde,

$$\Delta T_{U-R(\max)} = 15.3 - 13.88 \cdot \psi_s \quad (2.15)$$

där ψ_s är den relativa, fria rymdvinkeln för en punkt i mitten av en gata.

Bebyggelsens temperaturhöjande effekt är till stor del ett resultat av att den fria rymdvinkeln, ψ_s i ekv. (2.15), begränsas av byggnader. Detta medför att temperatursänkningen hos ytorna i gatuummet p g a utstrålning (negativ nettostrålning) blir mindre än vid fri horisont. Effekten härav återspeglas också i lufttemperaturen.

Ett alternativt uttryck är,

$$\Delta T_{U-R(\max)} = 7.5 + 3.97 \ln (H/w) \quad (2.16)$$

där

H = hushöjden

w = gatubredd

Bland de städer, som ingått i undersökningen, är också Uppsala [Sundborg 1951, Taesler 1978] och Lund [Lindqvist 1970]. Som framgår av figur 2.11 (punkt 11, 12, 13) ansluter sig dessa svenska städer väl till det "universiella" sambandet, ekv. (2.15).

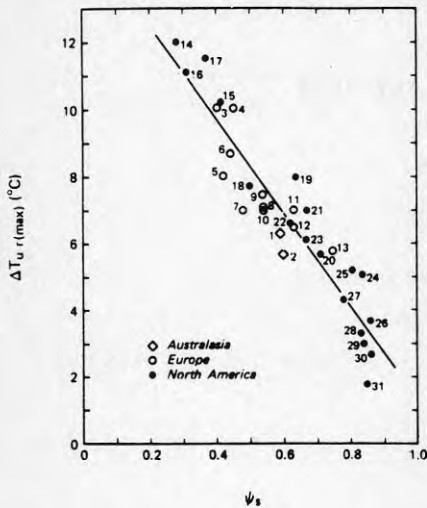
Värmeöns horisontella och även vertikala struktur har undersökts ingående i Uppsala inom ramen för ett tidigare BFR-projekt [Taesler 1980b]. Resultaten visar bl a att det horisontella temperaturmönstret i skiktet under hustaksnivå nära följer bebyggelsestrukturen. Vidare framkom bl a ett tydligt årstidsberoende i värmeöns dygnsvariation (figur 2.12). Under vintermånaderna är värmeöns intensitet i stort sett konstant under dygnet med värden på i genomsnitt $1-2^\circ$, beroende på bebyggelsestruktur.

Table III. Maximum urban heat island intensity ($\Delta T_{u-r,max}$) and urban geometry information for Australian, European and North American cities. Ordered according to population (P)

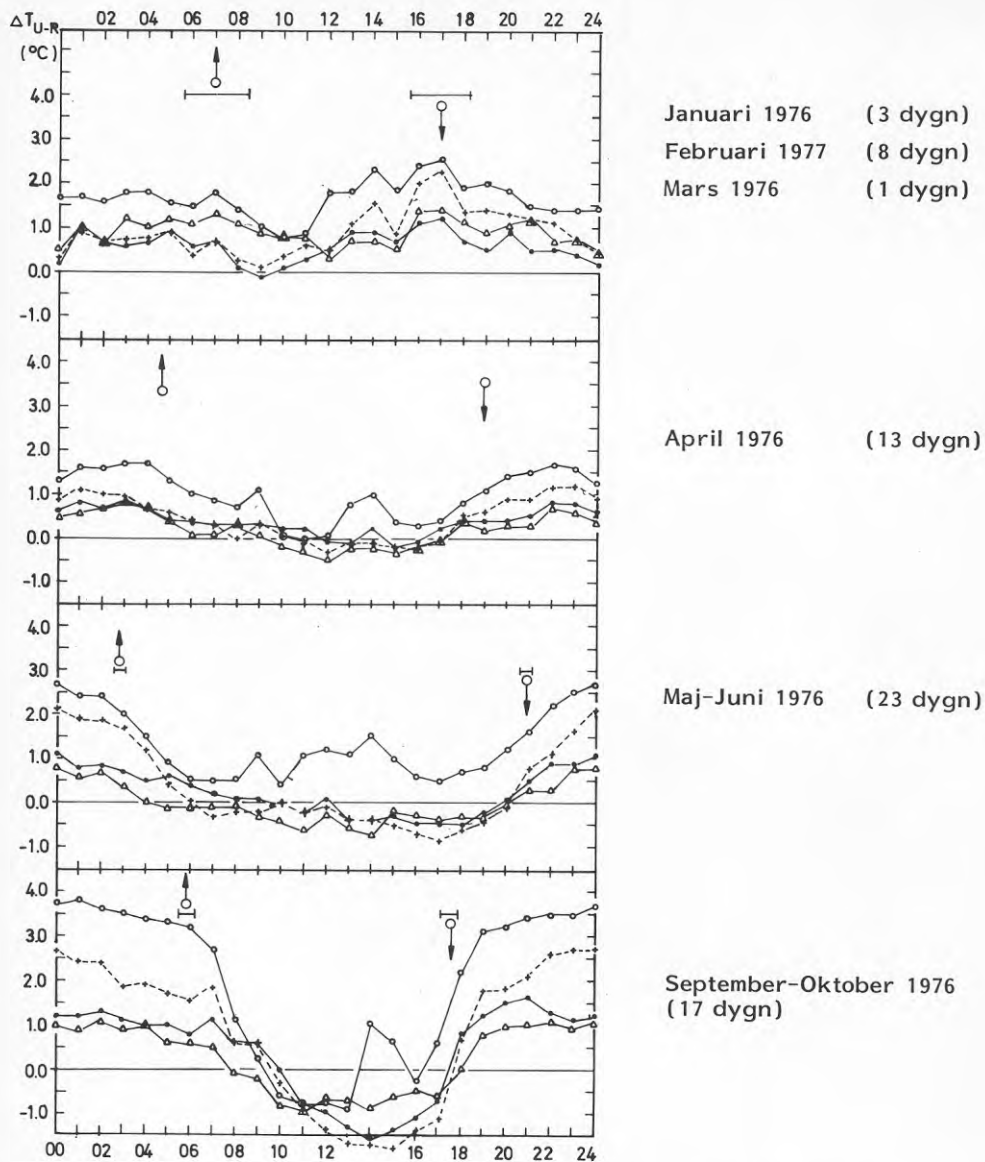
Settlement	Year	P ($\times 10^3$)	$\Delta T_{u-r,max}$ ($^{\circ}C$)	ψ_s^{\dagger}
AUSTRALASIA				
1. Christchurch, N.Z.	1968	258	6.3	0.59
2. Hobart, Tasmania	1978	130	5.7	0.60
EUROPE				
3. London, U.K.	1960	8,500	10.0	0.40
4. Berlin, Germany	1936	4,200	10.0	0.45
5. Vienna, Austria	1927	1,870	8.0	0.42
6. Amsterdam, Neth.	1975	870	8.7	0.44
7. Munich, Germany	1933	822	7.0	0.48
8. Sheffield, U.K.	1977	500	7.1	0.54
9. Karlsruhe, Germany	1972	260	7.5	0.54
10. Karlsruhe, Germany	1929	150	7.0	0.54
11. Uppsala, Sweden	1975	100	7.0	0.63
12. Uppsala, Sweden	1950	63	6.5	0.63
13. Lund, Sweden	1972	50	5.8	0.75
NORTH AMERICA				
14. Montréal, P.Q.	1970	2,000	12.0	0.28
15. Vancouver, B.C.	1971	1,100	10.2†	0.41
16. San Francisco, Cal.	1954	784	11.1	0.31
17. Edmonton, Alta.	1965	401	11.5	0.37
18. San José, Cal.	1954	101	7.7	0.50
19. Fairbanks, Alaska	1976	65	8.0§	0.64
20. Brandon, Manitoba	1979	37	5.7	0.71
21. Columbia, Md.	1974	28	7.0	0.67
22. St. Hyacinthe, P.Q.	1970	24	6.6	0.62
23. Corvallis, Oregon	1967	21	6.1	0.67
24. Chambly, P.Q.	1970	12	5.1	0.84
25. Marieville, P.Q.	1970	4.3	5.2	0.81
26. St. Basile-le-Grand, P.Q.	1970	4	3.7	0.86
27. St. Césaire, P.Q.	1970	2.4	4.3	0.78
28. St. Pie, P.Q.	1970	1.6	3.3	0.83
29. Columbia, Md.	1970	1.6	3.0	0.84
30. Ste. Angèle de Monnoir, P.Q.	1970	1.2	2.7	0.86
31. Ste. Madeleine, P.Q.	1970	1.1	1.8	0.85

Sources: 1. Sham (1968); 2. Nunez (1979); 3. Chandler (1965); 4. Grunow (1936); 5. Schmidt (1927); 6. Conrads (1976); 7. Büdel and Wolf (1933); 8. Colquhoun (1979) pers. comm.; 9. Pepler (1929); 10. Hörschele (1979) pers. comm.; 11. Sundborg (1950); 12. Taesier (1978); 13. Lindqvist (1972) pers. comm.; 14. Oke and East (1971); 15. Oke (1973); 16 and 18. Duckworth and Sandberg (1954); 17. Daniels (1965); 19. Bowling and Benson (1978); 20. Suckling (1979) pers. comm.; 21 and 29. Landsberg (1979); 22, 24-28 and 30-31. Oke (1973); 23. Hutcheon *et al.* (1967).

† Estimated for the centre of city where the heat island core is located.
‡ Revised value.
§ Summer value.



FIGUR 2.11. Sammanställning utvisande sambandet mellan det maximala urbana temperaturöverskottet (ΔT_{U-R}) och invånarantal (P) respektive bebyggelsetäthet (ψ_s , sky view factor) i stadscentrum.



FIGUR 2.12. Genomsnittliga dygnsförlopp av värmeö-intensiteten ΔT_{U-R} i olika typer av stadsbebyggelse i Uppsala enligt mätningar år 1976 under olika årstider.

Bebyggelsestyper: ○—○ Stadscentrum
 +—+ Bostadsbebyggelse, innerstadsområde
 ●—● Bostadsbebyggelse, ytterområde
 △—△ Parkområde

Soluppgång och solnedgång markerade med pilar.

Värmeöns intensitet försvagas med ökande vindhastighet. Vindhastighetsberoendet är, enligt Oke (1973),

$$\Delta T_{U-R} = 0.25 \cdot \frac{P^{0.25}}{\bar{u}^{0.5}} \quad (2.17)$$

där

P = invånarantal

\bar{u} = vindhastighet enligt meteorologiska observationer

I figurerna 2.13 a-d [Tasler 1980 b] jämförs denna relation med uppmätta data från Uppsala (P = 100 000). Trots en viss spridning i mätdata tyder figurerna att ekv. (2.17) i stort gäller även i detta fall.

Figurerna 2.13 a-d visar också att värmeöns intensitet avtar med ökande molnighet. Orsaken härtill är att molnen reducerar den långvägiga nattliga strålningsavkylningen.

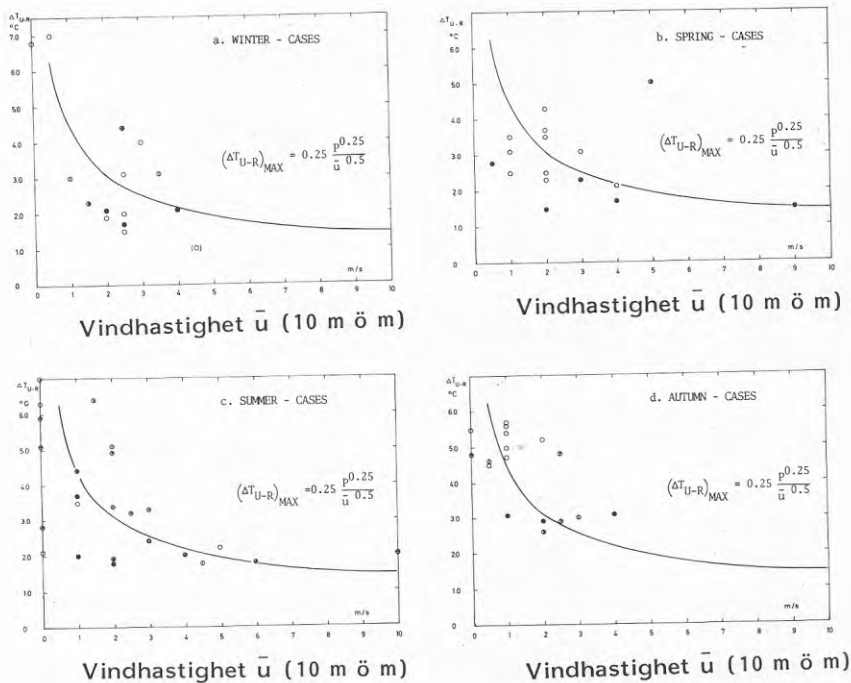
Värmeön uppkommer i regel som ett resultat av ett långsammare temperaturfall i bebyggelsen än över kringliggande landsbygd. Detta innebär bl a också att skiktningen inom och närmast ovanför stadsbebyggelsen blir mindre stabil än utanför. I tätare bebyggelse blir skiktningen ofta nära neutral i lägre skikt medan kraftig inversion råder över landsbygden.

Temperaturkorrektioner för ett visst läge i en bebyggelse bestäms med ledning av ovan nämnda undersökningar. Härvid beräknas först den maximalt möjliga temperaturhöjningen enligt ekv. (2.15) eller (2.16). Detta värde reduceras därefter med hänsyn till avvikelser från ideala utstrålningsförhållanden. Reduktionen sker enligt ett empiriskt bestämt schema med stabilitetstyp (PT-klass) och vindhastighet som parametrar. Ett exempel på ett sådant schema, avseende ett läge i centrala Ängelholm, visas i nedanstående tabell.

TABELL 2.6. Temperaturkorrektion för centrala Ängelholm (adderas till zon-korrektion, enligt figur 2.10).

Vindhastighet	PT-klass				
	3	4	5	6	7
0	0	0.4	0.8	1.5	2.3
1	0	0.2	0.6	1.1	1.7
2		0	0.4	0.8	1.2
3			0.2	0.4	0.6
4			0	0	0

Korrektionerna är i detta fall (centralt läge) oberoende av vindriktningen. För andra lägen, t ex i ytterkanten av en bebyggelse, görs en schematisk differentiering av korrektionerna med hänsyn till vindvägen över bebyggelsen.



FIGUR 2.13a-d. Maximal värmeintensitet $(\Delta T)_{U-R}$ i stadscentrum vid olika vindhastighet enligt meteorologiska observationer utanför bebyggelsen. Cirklar enligt mätningar i Uppsala, kurvan enligt Oke (1973) för invånarantal $P = 100\,000$. Molnigheten vid mätfällena är markerad genom att cirkarna är fyllda helt eller delvis. Öppen cirkel = helklart.

2.4.3 Sammanfattning och diskussion

Temperaturkorrektionerna enligt steg 1 är väsentligen empiriskt bestämda och förutsätter tillgång till meteorologiska observationsserier representerande olika landskapstyper inom en region. Klassificeringsschemat med stabilitet (PT-klass) och vindhastighet/vindriktning som ingångsparametrar utgör en empirisk anpassning till observationsdata från en aktuell region. Stationstätheten i landet är mycket ojämn både vad gäller SYNOP-/TIMSYNOP-stationerna och de små klimatstationerna, vilket begränsar metodens tillämpbarhet. Det fordras dessutom ett visst mått av bedömning vad gäller stationernas representativitet och motsvarande zonindelning.

Syftet med steg 1 är att erhålla en första, grov korrektion av temperaturen på basis av rutinemässigt tillgängliga landskapsinformation och meteorologiska data. Metoden har vidare utformats i syfte att kunna tillämpas på samma statistiska klimatdata (tabellerna 2.4 a-1) som vindomräkningen enligt avsnitt 2.3. Härigenom har betydande praktiska fördelar uppnåtts ifråga om beräkningstider och reducering av datamängden.

Även steg 2 bygger i huvudsak på empiriska resultat från urban-meteorologiska undersökningar. I detta fall kan man dock anta att metoden är generellt tillämplig på en viss bebyggelsestruktur i olika delar av landet, utan behov av lokala mätningar för kalibrering eller anpassning av korrektionsschemat.

Även steg 2 har utformats med PT-klass och vindriktning/vindhastighet som ingångsparametrar. Härigenom kan temperaturkorrektionerna från steg 1 och steg 2 adderas och appliceras tillsammans med vindomräkningen på samma statistiska material.

Temperaturkorrektionerna är schematiska och tar inte hänsyn till mikroskaliga detaljer i terräng eller bebyggelse. Korrektionerna har hittills inte verifierats i strikt mening mot ett oberoende mätmaterial. Storleken av de korrektioner, som erhålles under olika beräkningsförutsättningar, är dock rimlig vid jämförelse med resultat från olika lokalklimatmätningar i naturmark och bebyggelse.

2.5 Beräkning av lokala solstrålningsdata

Nätet av solstrålningsstationer i Sverige är mycket glest och omfattar endast 12 stationer. För att uppnå större geografisk differentiering har en teoretisk modell utvecklats för beräkning av solinstrålning ur SYNOP- och TIMSYNOP-data. Modellen har publicerats separat på engelska i tidskriften "Energy and Building", [Tasler och Andersson 1984]. En svensk översättning ingår dessutom i SEAS-tidningen, nr 1, 1985. Här lämnas därför bara en mycket kortfattad översikt av modellen med några exempel på beräkningsresultat.

Modellen ger separata data över direkt-, diffus- och globalstrålning mot ytor med godtycklig lutning och orientering. Den innehåller även en procedur för beräkning av horisontavskärmningens inverkan på respektive strålningskomponent. Härigenom kan data beräknas för en punkt med definierad, lokal omgivning. De meteorologiska förhållandena (sikt, molnighet, luftfuktighet) kan dock inte modifieras lokalt utan förutsättes vara desamma som vid observationsstationen. Eventuella systematiska, lokala variationer i dessa element

torde vara försumbara. Däremot förekommer stora slumpmässiga variationer i molnigheten, varför stora fel kan uppkomma i värden för enskilda timmar. Modellen är emellertid i första hand avsedd att ge statistiska data i form av månads- och årsvisa frekvensfördelningar eller summor. Tester [Taesler och Andersson 1984] mot mätningar under 3/4 år har visat en mycket god överensstämmelse i dessa avseenden, liksom också i det genomsnittliga tidsförloppet under dygn med olika molnighetsförhållanden.

Modellen går under arbetsnamnet "SOLTIMSYN" eftersom beräkningarna i första hand baseras på TIMSYNOP-observationerna. Den kan emellertid även appliceras på SYNOP-observationer var tredje timme och har använts på detta sätt för att producera strålningsdata för de s k "högskole"- och "gymnasie"-projekten [Norlén 1985].

2.5.1 SOLTIMSYN-modellen i sammandrag

Utgångspunkt för beräkningarna är solstrålningens spektrala fördelning utanför atmosfären, $i_0(\lambda)$, för vilken data finns tillgängliga i litteraturen.

I ett första steg definieras ett uttryck för motsvarande spektral-fördelning vid jordytan, $i(\lambda)$, enligt

$$i(\lambda) = i_0(\lambda) \cdot e^{-(\alpha_r + \alpha_d) \cdot m} \quad (2.18)$$

där

m = den s k optiska luftmassan

α_r = extinktionskoefficienten för molekylär spridning

α_d = extinktionskoefficienten för partikelspridning

Koefficienten α_r är en känd konstant medan däremot α_d varierar kraftigt med atmosfärens grumlighet (turbiditet β).

$$\alpha_d = \lambda^{-1.3} \cdot \beta \quad (2.19)$$

Direktstrålningen i normalriktningen vid jordytan, B , beräknas för varje timme under året genom numerisk integration av ekv. (2.18), varvid våglängdsområdet $0.2 \leq \lambda \leq 10 \mu\text{m}$ indelats i 62 intervall. Härvid användes typvärden för β , representerande klara dagar med ren luft i respektive månad. De beräknade värdena för varje timme lagras på magnetband för användning i senare beräkningsskeden.

I nästa steg beräknas försvagningen av B p g a absorption i vatten-ånga. Härvid användes ångtrycket vid marken, beräknat ur de meteorologiska rutinobservationerna. Därefter beräknas första approximationen av global-, diffus- och direktstrålningen mot horisontell yta.

De fortsatta beräkningarna inkluderar härnäst korrekationer för molnighet och lokal horisontavskärmning. Därefter användes de rutinmässiga siktobservationerna för att empiriskt korrigera de

initialt beräknade värdena.

Siktkorrekturen är ett sätt att approximativt ta hänsyn till de dagliga variationerna i atmosfärens turbiditet i avsaknad av rutinmässiga observationer av β . Turbiditeten har mycket stor inverkan på direktstrålningens intensitet. Variationsområdet för β på våra breddgrader är, bortsett från kraftigt förorenad stadsluft, ca 0.02-0.20. Detta motsvarar, beroende på solhöjden, en reducering av direktstrålningen, B , med ca 30-70% i jämförelse med värdet för $\beta = 0$.

Modellen har testats mot mätningar under två sommar- och en vintersäsong, totalt ca 3/4 år, vid den nya solstrålningsstationen vid SMHI. För testperioden som helhet erhöles följande värden på kvoten mellan beräknade och uppmätta strålningssummor.

	Direkt	Diffus	Global
Horisontell yta	0.996	0.957	0.981
S-vänd yta 60° lutning	1.020	0.981	0.987

Avvikelserna är, som framgår, mycket små. Ytterligare tester har omfattat jämförelser mellan beräknade och uppmätta frekvensfördelningar av dygnssummorna av respektive strålningskomponent mot lutande och horisontell yta samt dygnsvariationen av globalstrålningen mot horisontell yta under dagar med olika molnighetsförhållanden. Även dessa testresultat har visat mycket god överensstämmelse.

SOLTIMSYN-modellen är färdigprogrammerad för operativ användning på SMHI:s dator. Den har använts i några FoU-projekt [Taesler och Lindahl 1984, Glaumann och Taesler 1985, Norlén 1985]. Produktion av data för hela landet har dock hittills ej gjorts. Trots de goda testresultaten är det önskvärt att först testa modellen ytterligare för orter i andra delar av landet och för längre tidsperioder. Detta kommer att bli möjligt med användande av data från de nya strålningsstationer, som upprättats under de senaste åren.

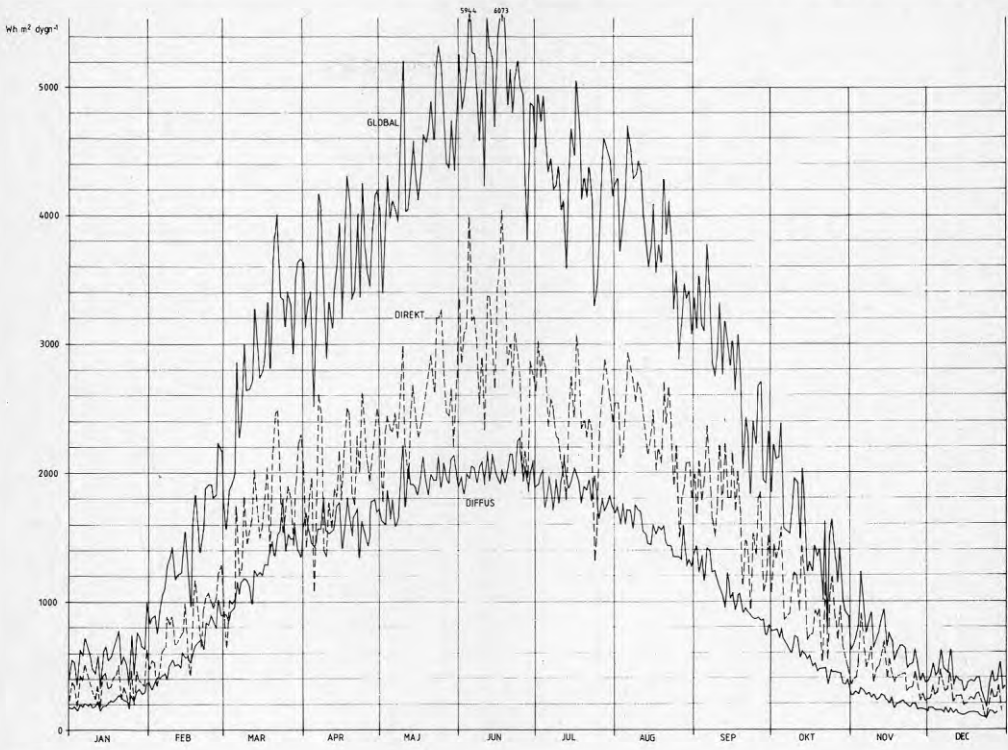
Vid användning av SOLTIMSYN-modellen för beräkning av data för en viss plats kan i vissa fall flera olika meteorologiska stationer komma ifråga. I samband med ett annat FoU-projekt [Taesler och Lindahl 1984] gjordes jämförande beräkningar med användandet av observationer dels från Tullinge flygplats dels från Hårsfjärden. Resultaten framgår av tabell 2.5.

TABELL 2.5. Jämförelse av globalstrålningsberäkningar med indata från Tullinge (G_T) respektive Hårsfjärden (G_H). Tabellvärden avser kvoten G_T/G_H , 10-årsmedelvärden.

Månad	Hor. yta	Vertikala ytor, orienterade mot							
		N	NO	O	SO	S	SV	V	NV
Jan	1.03	1.01	1.02	1.03	1.06	1.08	1.08	1.05	1.02
Feb	.99	.99	.99	.97	.97	.98	.99	1.00	.99
Mar	1.03	1.05	1.05	1.05	1.05	1.04	1.04	1.05	1.06
Apr	1.01	1.03	.98	.99	1.00	1.00	1.00	.99	.98
Maj	.99	1.03	1.00	.98	.98	.97	.97	.98	1.00
Jun	.95	.99	.97	.96	.96	.95	.94	.95	.96
Jul	.96	.97	.96	.95	.94	.95	.95	.96	.97
Aug	1.00	.97	.96	.95	.96	1.04	.97	.97	.98
Sep	1.04	1.00	1.00	1.01	1.04	1.07	1.09	1.07	1.03
Okt	.99	.99	.98	.95	.97	.99	1.01	1.01	1.00
Nov	.87	.86	.86	.83	.82	.82	.83	.84	.86
Dec	.97	.99	.99	.96	.93	.93	.94	.97	.99
År	.98	.99	.98	.97	.98	.98	.98	.99	.99

Resultaten visar en viss tendens till lägre värden för Tullinge än för Hårsfjärden. Tendensen är mest uttalad under juni-juli, vilket kan bero på en större molnighet i inlandet än vid kusten. November månad avviker markant med betydligt lägre värden på kvoten G_T/G_H än övriga månader. Orsaken härtill är inte klar, men är troligen inte klimatologiskt representativ utan snarare av tillfällig natur.

Modellen har använts bl a för beräkning av medelvärden dag för dag under året av direkt-, diffus- och globalstrålning. Ett exempel härpå visas i figur 2.14, som är baserad på 25 års observationer (1955-79) från Tullinge. (Beräkningen har gjorts med en tidig version av modellen, där korrigerings med hänsyn till diffusstrålningens anisotropa fördelning över himlen inte ingår.) Det väsentliga- och kanske något överraskande - resultatet är, att stora, slumpmässiga fluktuationer från dag till dag fortfarande kvarstår, framför allt i direktstrålningen, trots att kurvorna utgör medelvärden över 25 år. Man ser också att den diffusa komponenten utgör en stor andel av globalstrålningen även sommartid. Denna andel blir ännu något större efter inkluderande av anisotropi-korrekturen.



FIGUR 2.14. Beräknade dygnssummor av direkt, diffus och total solstrålning mot 45° lutande yta riktad mot S. Medelvärden 1955-79, Södertuna.

Variationerna dag för dag blir naturligtvis ännu kraftigare under ett enskilt år. Det finns ingen periodicitet eller annan regelbundenhet i dessa väderberoende fluktuationer. En viss persistens förekommer i förloppen under enskilda år beroende på att vädersituationerna har en typisk varaktighet av några dygn. Effekten härav framträder dock inte i medelförloppet, eftersom soliga eller solfattiga vädersituationer förekommer lika ofta vid ett visst datum under året. Variationerna dag för dag av solinstrålning liksom av andra meteorologiska element måste alltså betraktas som slumpmässiga avvikelser från ett genomsnittligt årsförlopp.

En konsekvens härav är att inget enskilt årsförlopp kan anses vara klimatologiskt mer representativt än andra. Klimatets variabilitet kan endast beskrivas statistiskt i form av sannolikheter för olika stora avvikelser under viss tid från det genomsnittliga årsförloppet.

3. KLIMATDATA FÖR ENERGIBERÄKNINGAR

3.1 Allmänt

De flesta klimateffekter på byggnader orsakas av flera klimatelement i förening. För att ta hänsyn till sådana effekter har s k "referensår" eller "normalår", bestående av timvisa värden under ett år för vind, temperatur, luftfuktighet, solinstrålning och eventuellt andra klimatelement, fått en viss spridning under senare tid. Sådana år kan emellertid, hur de än väljes, endast utgöra exempel på ett bland många möjliga meteorologiska tidsförlopp. Den klimatologiska representativiteten kan förbättras, om beräkningarna utsträcks över flera år, vilket dock kräver relativt stora datorresurser. Beräkningar grundade på frekvensstatistik blir i jämförelse härmed betydligt mindre resurskrävande och kan även utföras med mikrodatorer eller t o m bordskalkylatorer. Nackdelarna härvid är främst att dynamiska förlopp inte kan studeras. Vidare är det svårt att tabellera eller grafiskt åskådliggöra samvariationen av fler än tre klimatelement. Fördelarna är, förutom en väsentlig reduktion av datamängden, att praktiskt taget alla förekommande förhållanden och därav orsakade effekter kan beaktas på ett statistiskt representativt sätt. Detta är av stor betydelse inte minst vid värderingen av lokalklimatets betydelse.

Beräkningar av byggnaders energiförlust genom samtidig påverkan av vind och temperatur har hittills försvårats av brist på lämpligt klimatologiskt underlag. Problemet har påtalats bl a i en programutredning från BFR [Kärrholm m fl 1984]. För att tillgodose detta behov har först en primärdatabas av timobservationer sammanställts stationsvis enligt tabell 3.1 nedan. Vidare har datorprogram utvecklats för statistisk bearbetning av dessa primärdata samt produktion av olika typer av frekvenstabeller. Ett exempel på en typ av tabeller över samvariation av vind och temperatur har redan presenterats i avsnitt 2.3.5. Dessa tabeller är främst avsedda som underlag för beräkning av lokala vind- och temperaturförhållanden enligt de metoder, som beskrivits i det föregående. De utgör även grundmaterialet för de beräkningar med SMHI:s "ENLOSS"-modell, som behandlas i avsnitt 4.1 nedan. För andra tillämpningar kan det vara lämpligt med en något förenklad typ av statistik utan uppdelning i olika stabilitetsklasser. I det följande visas ytterligare exempel på sådana enklare tabellutskrift. Tabellmaterialet är alltför omfattande för att kunna publiceras, men kopior kan vid behov erhållas från SMHI. Möjligheter finns också att erhålla dessa data på magnetband. Den snabba utvecklingen av mikrodatoranvändning kan komma att motivera framtagning av rutiner för att producera data på disketter. Detta är ännu inte tekniskt möjligt på SMHI, men frågan övervägs för närvarande.

Komplex klimatstatistik i form av frekvenstabeller över samvariation av flera element blir oundvikligen svåröverskådlig. Materialet kan dock förenklas och presenteras grafiskt på flera olika sätt, såsom framgår närmare av exemplen i det följande.

TABELL 3.1. Stationer med timvisa synoptiska observationer (TIMSYNOP) för vilka data f n finns lagrade vid SMHI stationsvis under angiven tidsperiod.

Station	Period	Anmärkning
Kiruna flyg	1957-07-01--1983-12-31	1) 1957-62
Boden	1963-01-01--1983-12-31	1) 1963-73 2) 1974
Luleå flyg	1955-01-01--1983-12-31	1) 1955-61
Östersunds flyg	1955-01-01--1983-12-31	1) 1955-61
Örnsköldsviks flyg	1962-01-01--1983-12-31	Inga obs:er kl 22-05 1962-
Umeå flyg	1962-01-01--1983-12-31	Inga obs:er kl 22-03 1962-64
Skellefteå flyg	1962-01-01--1983-12-31	2) 1962-
Sundsvalls flyg	1962-01-01--1983-12-31	Inga obs:er kl 23-03 1962-64
Söderhamns flyg	1955-01-01--1983-12-31	1) 1955-61
Karlstads flyg	1955-01-01--1983-12-31	1) 1955-
Västerås flyg	1955-01-01--1983-12-31	1) 1955-61
Uppsala flyg	1955-01-01--1983-12-31	1) 1955-61
Barkaby flyg	1955-01-01--1973-09-28	1) 1955-61, nedlagd
Arlanda flyg	1962-01-01--1983-12-31	
Bromma flyg	1955-01-01--1983-12-31	1) 1983
Tullinge flyg	1955-01-01--1983-12-31	1) 1955-61
Hårsfjärden	1962-02-01--1983-12-31	1) 1962-63
Torslanda flyg	1955-01-01--1977-06-30	Nedlagd
Säve flyg	1955-01-01--1983-12-31	1) 1955-61
Landvetter flyg	1977-10-03--1983-12-31	
Sätenäs flyg	1955-01-01--1983-12-31	1) 1955-61
Karlsborg flyg	1955-01-01--1983-12-31	1) 1955-61
Jönköpings flyg	1962-01-01--1983-12-31	1) 1962-64
Hagshults flyg	1955-01-01--1983-12-31	2) 1955-
Malmslätt flyg	1955-01-01--1983-12-31	1) 1955-61 3)
Hultsfreds flyg	1955-01-01--1983-12-31	2) 1955-
Bråvalla flyg	1955-01-01--1983-12-31	1) 1955-61 4)
Nyköpings flyg	1955-01-01--1979-07-01	1) 1955-61, nedlagd
Visby flyg	1955-01-01--1983-12-31	1) 1955-56, 1960-62
Halmstads flyg	1955-01-01--1983-12-31	1) 1955-61
Ängelholms flyg	1955-01-01--1983-12-31	1) 1955-61
Ljungbyheds flyg	1955-01-01--1983-12-31	1) 1955-61
Bulltofta flyg	1955-01-01--1972-11-30	Nedlagd
Sturups flyg	1972-12-01--1983-12-31	
Kristianstads flyg	1962-01-01--1983-12-31	2) 1962-
Ronneby flyg	1955-01-01--1983-12-31	1) 1955-61
Kalmar flyg	1955-01-01--1983-12-31	1) 1955-61

1) Minst tre nattobservationer saknas (i regel kl 23, 24, 02, 03, 05)

2) Mycket ofullständig observationsserie

3) Linköping

4) Norrköping

3.2 Frekvensfördelningar av vindhastighet och temperatur för olika vindriktningssektorer

I tabell 3.2 a-g visas förekomsten i Tullinge under perioden 1955-75 av samtliga vindhastigheter och lufttemperaturer vid vindriktningar inom 180^o-sektorer, successivt förskjutna med 60^o. Tabell 3.2 g visar den sammanslagna fördelningen för alla vindriktningar. Frekvenser anges i 10 000-delar av totala antalet observationer under *hela* respektive *halva dygnet*. (Tabellerna skrivs ut med radskrivare i originalformatet A3.)

Denna representation ger maximal upplösning i vindhastighet och temperatur men endast grova intervall för vindriktningen. Genom att behandla temperaturen som oberoende variabel kan hela året representeras i en tabell. Man förlorar dock information om vindriktningens årsvariation.

Datorprogrammet för produktion av dessa tabeller medger att vindriktningsintervallen kan väljas fritt, i steg om hela 10-tal grader (dekagrader). Även indelningen av dygnet kan varieras, t ex kan dagtid definieras med andra tidsgränser än i exemplet. Begränsningar finns dock beroende på att vissa TIMSYNOP-stationer inte utför alla nattobservationer, jfr tabell 3.1.

Programmet kan med mindre modifieringar användas även för bearbetning av data från SYNOP-stationer med observationer endast var tredje timme. Härigenom utökas antalet tillgängliga stationer från de ca 30 TIMSYNOP-stationerna till totalt ca 200.

Tabeller i huvudsak motsvarande tabell 3.2 g har tidigare publicerats i "Klimatdataboken" [Taesler 1972] för totalt 42 stationer. Dessa tabeller är emellertid baserade på endast fyra dagliga observationer och har dessutom en grövre intervallindelning. Observationsperioden (1949-69) är också något kortare.

Tabellerna 3.2 a-g ger underlag bl a för beräkningar av energiförluster genom samtidig inverkan av vind och temperatur. Samtidigt ger rad- respektive kolumnsummorna detaljerade frekvensfördelningar av vardera variabeln för sig.

Dessa fördelningar ger underlag t ex för beräkning av gradtimmar med godtycklig bastemperatur eller för bestämning av vindlaster. Materialet ger också en bas för bedömning av komfortförhållanden utomhus, baserade på lämplig sammanvägning av vindhastighet och temperatur. I ett tidigare projekt [Belin m fl 1982] har tabellmaterialet använts för beräkningar av nominell energiförlust vid luftportar.

TABELL 3.2 a-g. Årlig förekomst av samtidig vindhastighet och lufttemperatur vid vindriktningar inom 180⁰-sektorer successivt förskjutna med 60⁰ (tabell 3.3 a-f) samt för alla vindriktningar (tabell 3.2 g).

Frekvenstalen anger 10 000-delar av tiden under hela dygnet (övre värde) respektive under dagtid, kl 07-18, (undre värde).

Tabell 3.2 a. Vindriktningar 10⁰ - 180⁰, Tullinge, året.

STATION: 469 TULLINGE														VINDSEKTOR: 01 - 18 DEKADRADER												BRIK		PERIOD: 1:55 - 1:75		SUM SUP-W	
FF	TEMPERATURINTERVALL																														
W/S	<-39	-37	-34	-31	-28	-25	-22	-19	-16	-13	-10	-7	-4	-1	+2	+5	+8	+11	+14	+17	+20	+23	+26	+29	+32	>+32					
	-39	-36	-33	-30	-27	-24	-21	-18	-15	-12	-9	-6	-3	0	+3	+6	+9	+12	+15	+18	+21	+24	+27	+30	+33						
LUGNT				2	6	14	22	41	51	56	72	124	138	205	150	147	153	124	60	21	6	2					1442	798			
				1	3	7	13	23	35	37	45	67	75	113	49	39	35	34	27	17	7	3					650	227			
31-02							1	2	5	9	19	39	78	156	228	136	119	139	163	141	69	28	13	5			1350	614			
							1	2	4	6	14	32	65	132	194	109	85	89	114	118	51	40	21	6	1		1115	264			
33-04								1	2	3	11	21	49	111	192	331	407	411	424	428	400	50	28	4			1170	744			
							1	2	3	9	21	47	116	192	347	513	616	616	641	664	633	94	51	11	1		1352	474			
35-06								1		1	5	11	28	51	110	166	165	164	178	169	90	32	16	5			661	612			
							1		2	4	14	32	70	117	183	260	268	288	310	306	187	58	30	6			888	373			
37-08										1	2	12	24	37	22	24	17	18	15	10	6	3					192	274			
										1	3	13	24	42	26	30	23	28	25	18	12	5	1				250	168			
39-10												4	6	14	10	7	5	4	4	2	1						57	110			
												4	5	14	12	8	8	6	7	3	2						70	65			
11-12														1	4	2	1	1									10	24			
														1	4	2	1	1			1						10	14			
13-14															1	1											3	9			
																1	1										3	4			
15-16																											1	3			
																											1	2			
17-18																															
19-20																															
21-22																															
23-24																															
25-26																															
27-28																															
29-30																															
>30																															
5-DYGN		1	2	6	15	26	48	64	92	146	297	547	790	518	470	490	514	418	242	123	63	13	1			4887					
5-DAG		1	4	8	16	29	46	64	64	115	229	445	679	427	356	360	432	447	339	203	112	24	2			4338					

Tabell 3.2.d. Vindriktningar 190° - 360°, Tullinge, året.

STATION: 469 TULLINGE		VINDSEKTOR: 19 - 36 DEKAGRADER																				ÅRET		PERIOD: 1955 - 1975	
FF W/S	<-39 -39	-37 -36	-34 -33	-31 -30	-28 -27	-25 -24	-22 -21	-19 -18	-16 -15	TEMPERATURINTERVALL										SUM	SUM-W				
										-13 -12	-10 -9	-7 -6	-4 -3	-1 0	+2 +3	+5 +6	+8 +9	+11 +12	+14 +15			+17 +18	+20 +21	+23 +24	+26 +27
LUGNT	2 1	6 5	14 13	22 21	41 35	51 45	56 47	72 67	124 115	198 189	205 195	150 149	147 139	153 135	124 111	60 54	21 17	6 7	2 3			1442 650	798 227		
31-02				1	3	9	19	29	61	94	129	196	255	177	157	170	179	126	67	27	11	3	1	1704 1503	946 435
03-04				1	2	4	12	30	60	93	162	274	217	180	171	194	159	100	45	18	5	1	1	1729 1972	1274 701
05-06				1	1	3	15	31	48	80	160	157	129	119	135	121	76	35	13	5		1		1129 1456	1089 657
07-08				1	1	4	15	33	51	39	169	182	153	152	186	193	131	63	24	9	8	2		389 518	507 320
09-10						1	2	3	5	9	21	25	18	14	13	12	7	2						131 175	232 148
11-12								1	2	3	3	5	4	3	2	2	1							23 28	57 34
13-14										1	1	2	1	1	1	1								7 8	20 12
15-16																								2 2	5 2
17-18																								2	1
19-20																									
21-22																									
23-24																									
25-26																									
27-28																									
29-30																									
>30																									
S-DYGA	2	7	18	34	65	96	171	272	437	651	945	795	689	675	692	516	295	133	40	14	1	1		6555	
S-DSE	1	4	10	22	46	78	150	245	361	544	868	706	592	561	670	467	207	87	26	2	2			6311	

Tabell 3.2.e. Vindriktningar 250° - 60°, Tullinge, året.

STATION: 469 TULLINGE		VINDSEKTOR: 25 - 06 DEKAGRADER																				ÅRET		PERIOD: 1955 - 1975			
FF W/S	<-39 -36	-37 -36	-34 -33	-31 -30	-28 -27	-25 -24	-22 -21	-19 -18	-16 -15	-13 -12	-10 -9	-7 -6	-4 -3	-1 0	+2 +3	+5 +6	+8 +9	+11 +12	+14 +15	+17 +18	+20 +21	+23 +24	+26 +27	+29 +30	+32 +30	SUM	SUM-W
31-02				1	3	7	17	27	57	93	128	134	216	149	124	120	138	111	61	26	11	3				1488 1370	661 400
03-04				1	2	5	13	35	65	94	153	201	154	132	117	132	109	74	34	15	4	1	1		1342 1569	1007 610	
05-06				1	1	4	19	35	49	76	98	92	80	79	78	68	45	23	8	2						760 1605	440 528
07-08				1	1	6	12	14	25	29	33	33	27	23	19	13	4	2								240 333	362 241
09-10						1	2	3	5	7	12	12	8	8	6	6	3	1								73 100	144 96
11-12								1	1	2	1	2	2	2	1	1	1									12 16	35 23
13-14													1	1	1											4 5	13 7
15-16																										1 1	4 2
17-18																										2	1
19-20																											
21-22																											
23-24																											
25-26																											
27-28																											
29-30																											
>30																											
S-DYGA	1	2	7	18	33	64	96	176	281	416	633	763	592	526	516	503	373	217	95	39	9	2	1		5364		
S-DAG	1	4	11	22	46	78	152	256	353	532	679	505	449	440	462	460	333	159	68	17	3	2			5052		

Tabell 3.2 f. Vindriktningar 310° - 120°, Tullinge, året.

STATION: 469 TULLINGE		VINDSEKTOR: 31 - 12 DEKAGRADER																			ÅRET		PERIOD: 1955 - 1975		
FF	W/S	TEMPERATURINTERVALL																			SUM	SUM-W			
		<-19	-17	-14	-11	-8	-5	-2	+1	+4	+7	+10	+13	+16	+19	+22	+25	+28	+31	+32	>+32				
		-19	-16	-13	-10	-7	-4	-1	+2	+5	+8	+11	+14	+17	+20	+23	+26	+29	+32	>+32					
LUGNT		2	6	14	22	41	51	56	72	124	188	205	150	147	153	124	60	21	6	2			1442	798	
		1	3	7	13	23	35	37	45	67	95	113	49	39	35	34	27	17	7	3			650	227	
31-02							2	6	14	22	48	81	113	174	218	134	117	124	142	119	63	27	13	3	
							2	4	12	17	45	72	98	147	195	113	93	91	123	123	85	42	23	6	1
03-04							1	2	4	11	30	59	86	139	179	125	111	102	117	101	78	40	20	5	1
							1	2	4	12	28	62	92	143	181	138	125	119	144	148	126	69	36	9	1
05-06							1	1	4	18	34	54	74	92	68	64	64	62	51	35	21	9	2		
							2	2	5	17	39	59	97	109	85	81	93	95	82	63	39	18	5	1	
07-08							1	1	6	12	20	35	25	20	24	18	15	10	6	3	1				
							1	1	7	13	21	28	32	25	34	29	24	18	11	6	2				
09-12							1	2	3	8	8	9	8	6	5	4	3	1	1						
							1	2	4	9	8	11	10	9	8	6	6	2	1						
11-12										1	1	2	2	1	1	1									
										1	2	3	2	2	1	1									
13-14																									
15-16																									
17-18																									
19-22																									
23-24																									
25-26																									
27-28																									
29-32																									
>32																									
S-DYGR		1	2	7	17	32	60	90	161	261	406	610	731	505	469	466	465	246	203	97	45	11	1	1	
S-DYR		1	4	10	21	42	71	136	237	347	512	644	423	381	377	427	404	303	164	81	20	1	1	1	

Tabell 3.2 g. Vindriktningar 10° - 360°, Tullinge, året.

STATION: 469 TULLINGE		VINDSEKTOR: 00 - 36 DEKAGRADER																			ÅRET		PERIOD: 1955 - 1975				
FF	W/S	TEMPERATURINTERVALL																			SUM	SUM-W					
		<-39	-37	-34	-31	-28	-25	-22	-19	-16	-13	-10	-7	-4	-1	+2	+5	+8	+11	+14	+17	+20	+23	+26	+29	+32	>+32
		-39	-36	-33	-30	-27	-24	-21	-18	-15	-12	-9	-6	-3	+0	+3	+6	+9	+12	+15	+18	+21	+24	+27	+30		
LUGNT		2	6	14	22	41	51	56	72	124	188	205	150	147	153	124	60	21	6	2							
		1	3	7	13	23	35	37	45	67	95	113	49	39	35	34	27	17	7	3							
31-02							1	4	11	24	38	80	132	207	342	482	312	277	309	342	247	136	55	24	6	1	
							1	3	7	21	31	73	117	184	237	423	257	201	200	251	250	176	82	42	11	1	
03-04							1	3	6	14	47	81	142	273	468	349	288	282	321	277	190	95	46	11	1	1	
							1	3	6	15	39	85	147	279	449	368	300	292	365	391	297	162	83	20	2	1	
05-06							1	1	4	20	42	76	140	270	223	194	183	213	189	126	67	30	8	1			
							2	2	5	19	47	83	150	286	264	233	240	298	298	217	171	59	15	1			
07-08							1	1	6	13	28	47	88	85	78	62	62	53	34	15	7	2					
							1	1	7	15	29	52	98	97	94	84	92	89	63	27	13	3					
09-10							2	3	10	15	34	34	25	20	17	16	8	3									
							1	2	4	11	15	38	38	31	29	26	26	15	5	1							
11-12										1	2	4	7	7	5	3	2	2	1								
										1	2	4	7	8	5	5	2	4	1								
13-14																											
15-16																											
17-18																											
19-22																											
23-24																											
25-26																											
27-28																											
29-32																											
>32																											
S-DYGN		1	2	7	19	37	73	110	207	347	590	1010	1554	1163	1013	1012	10E2	876	516	241	110	27	2	1	1	10000	
S-DAG		1	4	11	25	52	88	177	315	523	873	1434	1084	909	886	1068	1088	784	404	196	50	4	2	2	10000		

3.3 Frekvensfördelningar av vindhastighet och vindriktning med tillhörande medeltemperatur

Denna typ av representation exemplifieras i tabell 3.3a-1 för samma station som i föregående exempel (Tullinge) och för samma period (1955-75). Förekomsten anges även här i 10 000-delar, både för hela dygnet och för dagtid. Båda frekvenstalen är emellertid här normerade med totalsumman för *hela dygnet*, som därför får värdet 10 000 i alla 12 tabellerna. Totalsumman för *dagtid* borde vara 5 000, men är emellertid, som framgår av tabellerna, något större. Detta beror på att vissa nattobservationer inte utförts, varigenom observationerna under dagtid får något för stor vikt (jfr tabell 3.1). Bortfallet är dock i medeltal endast ca en observation per natt (eller ca 7% av nattobservationerna), vilket saknar praktisk betydelse för resultaten. För vissa stationer är bortfallet dock större.

Tabellerna innehåller även uppgifter över medeltemperaturen i respektive vindklass (kombination av vindriktning och vindhastighet) under hela dygnet respektive under dagtid. Denna medelvärdesbildning medför en utjämning av temperaturvariationen i de olika vindklasserna. En jämförelse med tabell 3.2g visar t ex att de lägsta uppmätta temperaturerna under året i Tullinge infaller i intervallet -28 till -30°C , medan de lägsta beräknade medeltemperaturerna i tabellerna 3.3a-1 är -10°C . Den ökade upplösningen i vindriktning vid denna representation uppnås alltså på bekostnad av en sämre upplösning i temperaturen. För att begränsa denna effekt beräknas fördelningarna separat för varje kalendermånad men inte för året som helhet.

Ovanstående illustrerar svårigheterna att ge en samlad statistisk beskrivning av samvariationen av flera (mer än två) meteorologiska element. Flera olika varianter av de exemplifierade tabelltyperna är givetvis tänkbara. Datorprogrammen medger, som redan nämnts, en viss valfrihet härvidlag. Genom att lagra komplex klimatstatistik på datormedium i stället för att producera tabellutskriften kan ytterligare variabelkombinationer täckas. Exempelvis kan medelvärden av solinstrålning beräknas med SOLTIMSYN för olika vindklasser och delar av dygnet under respektive kalendermånad.

3.4 Förenklad, grafisk representation av komplex klimatstatistik

Tabellerna av både typ 3.2 och 3.3 beskriver samvariationen mellan två variabler i form av tvådimensionella fält, där fältvariabeln utgörs av den relativa förekomsten inom givna intervall. Fälten kan analyseras grafiskt, genom att upprita isolinjer för viss sannolikhetstäthet (frekvens per enhetsintervall, t ex $^{\circ}\text{C}$, ms^{-1}). Som exempel visas i figur 3.1 en grafisk representation av tabell 3.2g (hela dygnet). I figuren anges sannolikhetstätheten som medelantal *timmar/år* inom ett enhetsintervall.

TABELL 3.3 h. Som tabell 3.3 a, augusti.

STATION: 469 TULLINGE FLYGPLATS													MNRAD: 8	PERIOD: 1955 - 1975	SUPPOR				
RIKTN	VINDHASTIGHET I M/S												MEDEL						
LUGNT	01-02	03-04	05-06	07-08	09-10	11-12	13-14	15-16	17-18	19-20	21-22	23-24	25-26	27-28	29-30	31-32	33-34	35-	MEDEL
LUGNT	1696																		1696
	177																		177
	11 15																		11 15
01-03	194	120	37	3															353
	102	95	29	3															228
	15 17	17 17	17 17	14 14															16 17
04-06	261	129	41	3															434
	124	92	35	2															253
	15 17	18 19	17 17	17 18															16 18
07-09	288	194	69	6	2														556
	138	155	57	6	2														357
	16 18	18 18	17 18	16 16	15 15														17 18
10-12	136	111	39	8	1														294
	58	81	32	6															176
	16 18	18 19	18 18	17 17	14														17 18
13-15	290	256	131	36	4														717
	85	176	118	35	3														414
	15 18	18 19	19 20	19 20	17 19														12 15
16-18	438	397	223	53	12														1125
	155	243	194	47	8														668
	16 18	17 18	18 18	18 18	16 16														17 18
19-21	338	384	259	68	7	1	1												1058
	135	281	210	61	7	1	1												695
	15 17	17 18	17 18	17 18	17 17	11	16 16												17 18
22-24	355	333	225	77	16	1	3												1011
	124	217	175	63	15	1	1												596
	14 16	16 17	17 18	17 18	16 16	14 15	12 10												15 17
25-27	242	225	129	39	10	1													644
	110	151	109	30	10	1													411
	15 17	16 17	17 18	17 18	16 16	11 11													16 17
28-30	153	143	85	33	4		1												420
	90	106	71	30	3														295
	16 18	16 17	16 17	16 16	19 21		10												16 17
31-33	249	326	194	68	21	3	2	1											863
	147	237	156	59	19	3	2	1											626
	15 18	16 18	15 16	15 15	14 15	15 15	16 16	17 17											16 17
34-36	332	300	138	39	12	1	1	3											825
	144	178	102	32	7	1	1	3											468
	14 17	15 17	15 16	14 14	13 14	11 11	13 13	13 13											15 16
S-DYGN	1696	3276	2016	1572	432	89	8	8	3										10000
S-DAG	177	1412	2032	1290	371	73	6	6	3										5370
MEDELT	11 15	15 17	17 18	17 18	17 17	15 16	13 13	13 14	14 14										

TABELL 3.3 i. Som tabell 3.3 a, september.

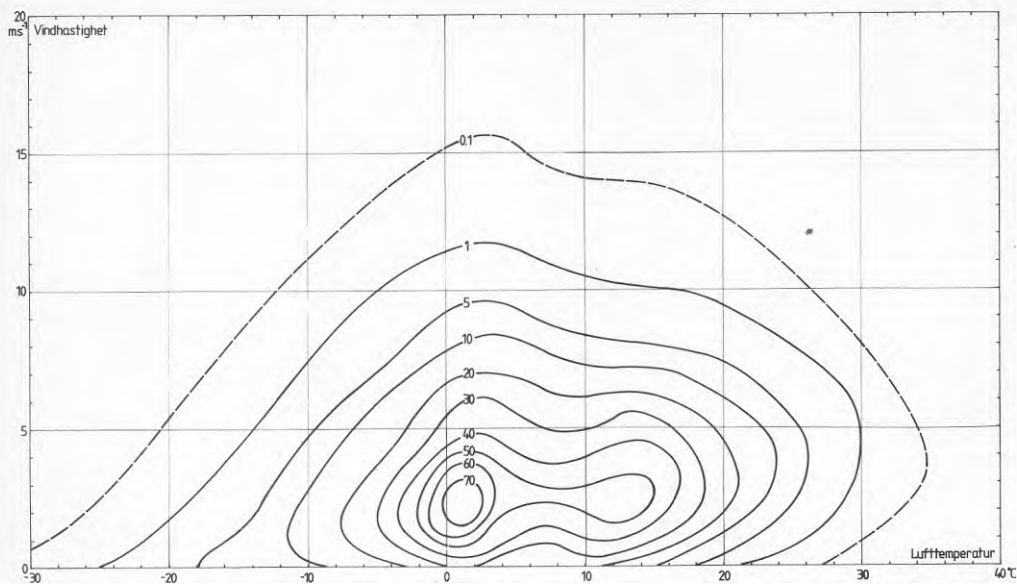
STATION: 469 TULLINGE FLYGPLATS													MNRAD: 9	PERIOD: 1955 - 1975	SUPPOR				
RIKTN	VINDHASTIGHET I M/S												MEDEL						
LUGNT	01-02	03-04	05-06	07-08	09-10	11-12	13-14	15-16	17-18	19-20	21-22	23-24	25-26	27-28	29-30	31-32	33-34	35-	MEDEL
LUGNT	1578																		1578
	295																		295
	7 10																		7 10
01-03	150	81	44	1	3														276
	84	55	39	1	1														160
	11 12	10 10	10 11	9 9	7 6														11 11
04-06	186	79	22	4	1														292
	99	56	15	4															174
	12 12	13 13	12 12	15 15	12														12 13
07-09	201	123	44	21	15														404
	89	76	32	14	9														215
	12 13	13 14	13 14	9 9	10 12														12 13
10-12	127	116	53	9	1	1													306
	58	75	42	4	1	1													181
	12 13	14 14	13 13	12 10	13 17	16 16													13 14
13-15	234	281	154	47	21	1													736
	82	164	109	36	14	1													406
	11 13	13 14	13 14	13 13	13 12	12													13 14
16-18	302	386	279	71	21	1	1												1062
	117	219	206	55	16														613
	12 14	13 14	14 15	14 15	13 14	12	10												13 14
19-21	363	434	279	83	30	9	1	1											1195
	167	265	203	60	24	6	1	1											726
	12 14	13 14	14 15	14 14	12 13	12 13	14 14	11											13 14
22-24	378	336	250	86	31	6	1	1											1088
	144	205	169	66	28	6	1	1											615
	11 12	13 14	14 15	14 15	15 15	13 13	12 12	21 21											12 14
25-27	226	209	141	57	7	1	1												644
	87	139	101	47	7	1	1												384
	11 13	12 13	14 15	15 16	17 17	9 12	11 11												13 14
28-30	174	151	97	59	11	1													494
	96	112	86	48	7	1													351
	11 13	12 13	13 14	13 14	14 16	7 7													12 13
31-33	236	345	290	111	23	1	1												1006
	125	234	212	84	17														692
	10 12	11 12	10 11	9 10	11 13	7	7												10 12
34-36	322	317	199	50	18	3													900
	149	204	130	43	17	3													546
	10 12	10 11	9 10	9 10	12 12	11 11													10 11
S-DYGN	1578	2901	2858	1853	599	181	25	5	1										10000
S-DAG	295	1298	1804	1344	461	141	19	4	1										5366
MEDELT	7 10	11 13	12 13	13 13	12 13	13 14	12 12	11 12	16 21			</							

TABELL 3.3j. Som tabell 3.3a, oktober.

STATION: 469 TULLINGE FLYGPLATS		VINDHASTIGHET I M/S														PRNAD: 10		PERIOD: 1955 - 1975			
RIKTN	LUGNT	01-02	03-04	05-06	07-08	09-10	11-12	13-14	15-16	17-18	19-20	21-22	23-24	25-26	27-28	29-30	31-32	33-34	35-	SUPPOR	MEDEL
	1481																			1481	
	394																			394	
	2 4																			2 4	
01-03		163	107	52	19	1														343	
		104	69	35	11															217	
		5 6	5 5	5 6	6 6	4													5 5		
04-06		138	90	39	17	5	1													29C	
		77	51	22	9	4	1													164	
		6 6	6 7	7 6	6 6	8 8	9 9												6 6		
07-09		175	119	61	10	2														267	
		84	67	43	5	1														20C	
		7 7	8 8	8 8	9 8	7 11													7 6		
10-12		97	74	48	10	3														232	
		55	48	35	6	1														14C	
		8 8	9 8	11 11	11 11	12 12													9 9		
13-15		172	184	135	38	10														134	
		96	125	97	28	8														253	
		8 8	9 9	10 10	10 10	9 9													9 9		
16-18		259	308	248	109	40	6	1	1											571	
		126	180	157	70	28	5	1	1											567	
		7 8	8 8	9 10	9 9	9 9	10 10	9 9	9 9										8 9		
19-21		290	391	305	135	46	3													1171	
		124	224	192	74	30	1													65C	
		7 8	8 9	9 9	9 10	9 9	8 9												8 9		
22-24		456	449	263	90	28	1													128E	
		184	248	171	49	18														67C	
		6 7	8 9	9 9	10 11	10 11	12												8 9		
25-27		373	357	215	81	21	2													1C5C	
		178	221	150	62	19	1													632	
		6 7	8 8	9 10	10 11	11 12	11 12												6 5		
28-30		224	227	128	45	13	3	1												641	
		110	140	95	32	10	2													385	
		5 7	7 8	7 8	8 8	7 7	9 7												7 8		
31-33		249	311	240	89	26	11	6	1	1										134	
		165	198	160	61	17	9	4	1	1										614	
		6 6	6 7	6 7	7 8	5 6	5 5	7 7	0	4 4									6 7		
34-36		234	243	130	60	25	2	1												69E	
		113	130	75	44	16	2	1												281	
		4 5	4 5	5 5	5 6	5 5	6 6	1 1		0									4 5		
S-DYGN	1481	2829	2862	1863	703	227	29	8	1	1										1C0C	
S-DAG	394	1419	1701	1231	450	154	21	6		1										5277	
MEDEL	2 4	6 7	7 8	8 9	9 9	8 9	8 8	6 6	5	2 4											

TABELL 3.3k. Som tabell 3.3a, november.

STATION: 469 TULLINGE FLYGPLATS		VINDHASTIGHET I M/S														PRNAD: 11		PERIOD: 1955 - 1975			
RIKTN	LUGNT	01-02	03-04	05-06	07-08	09-10	11-12	13-14	15-16	17-18	19-20	21-22	23-24	25-26	27-28	29-30	31-32	33-34	35-	SUPPOR	MEDEL
	1260																				1260
	516																				516
	-2 -1																				-2 -1
01-03		192	139	50	7	1	1													29C	
		99	78	34	5	1														214	
		0 0	1 1	0 0	2 1	-4 -4	-3												0 0		
04-06		201	155	44	6															405	
		109	86	24	4															224	
		1 1	2 2	2 2	3 2														1 1		
07-09		242	186	75	19	4	1													52E	
		125	116	49	14	1	1													207	
		1 2	3 3	3 3	5 5	-1 0	0 0												2 2		
10-12		111	94	73	12	1														291	
		59	53	44	9	1														164	
		3 4	3 3	5 5	4 4	5 5													3 4		
13-15		166	235	179	78	19	7	1												685	
		86	128	101	40	11	6	1												273	
		3 3	4 4	5 5	5 5	4 4	3 3	0 0											4 4		
16-18		231	348	350	127	44	8													1105	
		122	205	197	71	27	2													624	
		3 4	4 4	5 5	5 5	6 6	6 6												4 5		
19-21		284	377	312	128	24	3													112E	
		158	199	175	68	11	1													612	
		2 2	4 4	5 5	5 5	6 6	6 6												4 4		
22-24		392	329	188	52	15	6	1												582	
		191	190	98	26	8	2	1												517	
		0 1	3 3	4 4	6 5	5 5	10 7	7 7											2 2		
25-27		409	279	113	44	17	4	1												867	
		212	167	74	24	14	2	1												494	
		0 0	2 2	4 3	5 6	8 8	10 8	5 5											1 2		
28-30		229	202	106	47	22	4	1	2	1										615	
		121	120	61	30	13	2													244	
		-1 0	1 1	2 2	2 3	2 2	5 4	7 3	4										1 1		
31-33		275	329	224	85	48	10	3												674	
		156	196	136	44	28	4	1												566	
		-2 -1	-1 0	-1 -1	-1 0	-2 -2	-3 -2	2 -2											-1 -1		
34-36		318	279	115	36	15	2													765	
		145	170	71	20	4	1													412	
		-2 -1	0 0	1 1	0 0	-1 1	-2 -3												-1 -0		
S-DYGN	1260	3051	2951	1830	641	211	46	6	3	1										1C0C	
S-DAG	516	1585	1707	1066	356	119	21	4		1										5375	
MEDEL	-2 -1	0 1	2 2	3 3	4 4	3 3	4 3	4 4	4 4	5											



FIGUR 3.1. Grafisk representation av tabell 3.2g (hela dygnet). Isolinjer anger antal timmar/år med viss vindhastighet och lufttemperatur. (Tullinge flygplats, medeltal 1955-75).

I jämförelse med tabellen ger figuren en mycket mera lättläst bild av fältet. En viss detaljinformation har gått förlorad vid dragningen av isolinjerna. Å andra sidan framträder dels frekvensmaximum vid $(+1^{\circ}\text{C}/2.5 \text{ ms}^{-1})$ dels tendenserna till vindavtagande vid låga och höga utetemperaturer tydligt.

Tabell 3.2g kan också användas för beräkning av totala antalet gradtimmar/år och av fördelningen av dessa gradtimmar över olika vindhastigheter eller olika temperaturer. Figur 3.2 visar sådana fördelningar i form av relativa varaktighetskurvor, beräknade ur tabell 3.2g för innetemperaturen $+20^{\circ}\text{C}$ men utan hänsyn till eldningsgränser under olika kalendermånader.

Antalet gradtimmar per år används ibland för approximativa beräkningar av den årliga energiförbrukningen. Det kan, bl a med hänsyn till värmeinstallationernas verkningsgrad vid olika utetemperaturer eller med hänsyn till vindpåverkan, vara motiverat att jämföra inte endast totalsummorna under olika år utan även gradtimmarnas fördelningar.

Figuren visar bl a att det stora flertalet gradtimmar inträffar i samband med svaga vindar. Således är vinden $< 4 \text{ ms}^{-1}$ under ca 78% och $< 2 \text{ ms}^{-1}$ under 45% av gradtimmarna. Som framgår i avsnitt 4.1 är antalet luftomsättningar/timme lågt och approximativt konstant (oberoende av vindhastigheten) vid dessa relativt svaga vindar. Lokala variationer i vindhastigheten påverkar därför energiförlusten p g a infiltration endast under (i detta fall) $\sim 25\%$ av gradtimmarna i medeltal.

Gradtimmarnas fördelning över olika temperaturer visar att huvuddelen av energiförbrukningen sker vid temperaturer som ligger väsentligt högre än de dimensionerande värdena. Exempelvis infaller 75% av gradtimmarna vid temperaturer över ca -4°C och endast ca 1% under -22°C (EUT 1).

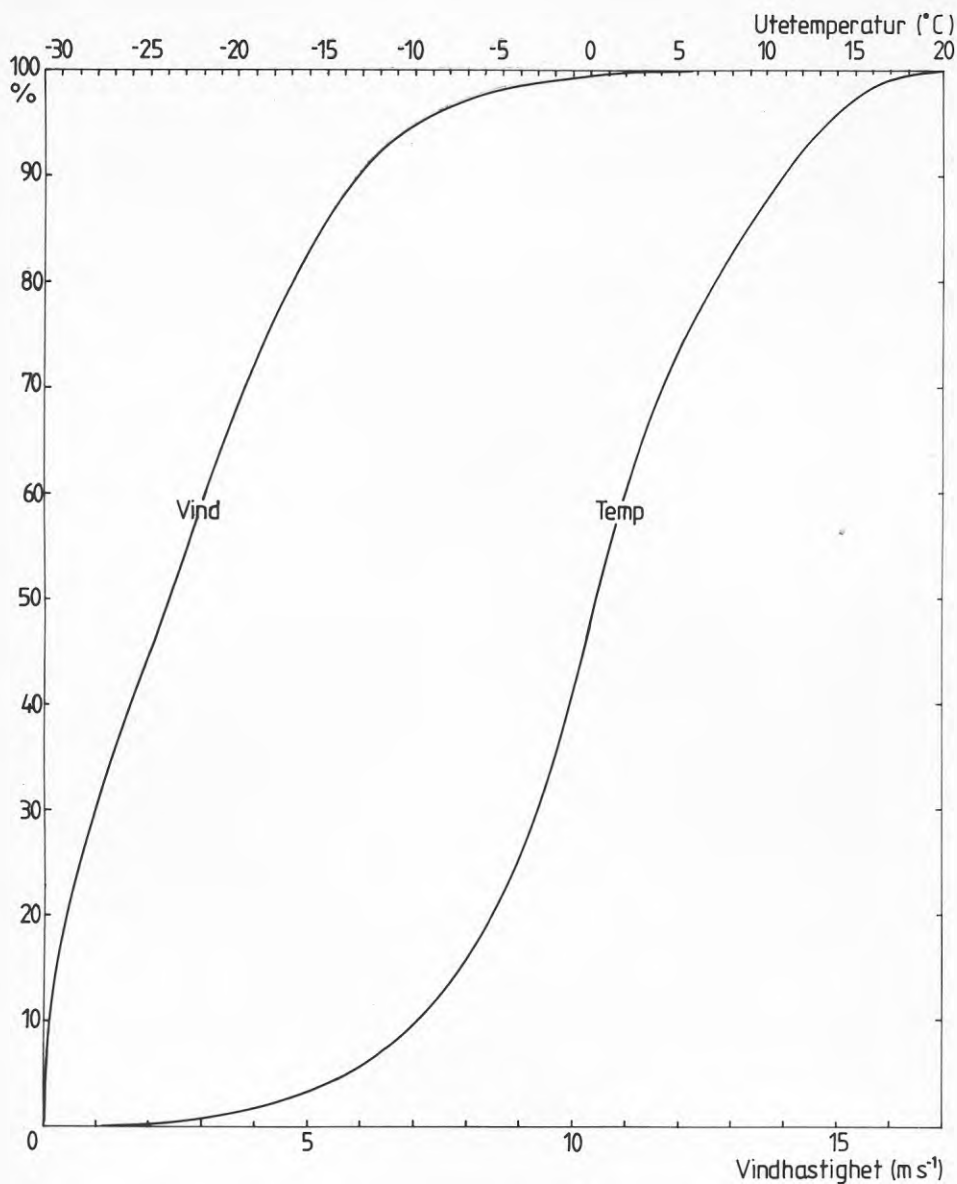
Ovanstående är endast avsett att exemplifiera olika möjligheter att förenkla och presentera innehållet i tabeller av typ 3.2. Exempelen är baserade på data för hela året och hela dygnet samt inkluderande alla vindriktningar men kan göras helt analogt för olika kalendermånader eller t ex eldningssäsongen som helhet för drifttider omfattande endast en del av dygnet eller för vindar inom en begränsad riktningssektor.

Tabellerna av typ 3.3 ger en mera detaljerad information om vindhastighets- och temperaturförhållanden vid olika vindriktningar. Förenklade, grafiska presentationer av tabellinnehållet visas i figur 3.3a-d och figur 3.4a-e.

Figur 3.3a-d visar medeltemperaturen vid olika vindriktningar och vindhastigheter under månaderna januari, april, juli, oktober, avseende dygnet som helhet. Figurerna visar att stora temperaturskillnader förekommer mellan olika vindriktningar, speciellt vid hårdare vindar. Skillnaderna är mest utpräglade under vinterhalvåret (oktober, januari). I januari är t ex de hårdaste N-vindarna ca 15° kallare än de hårdaste V-vindarna. Man finner också att vid vindhastigheter under $1-2 \text{ ms}^{-1}$ är medeltemperaturen approximativt oberoende av vindriktningen.

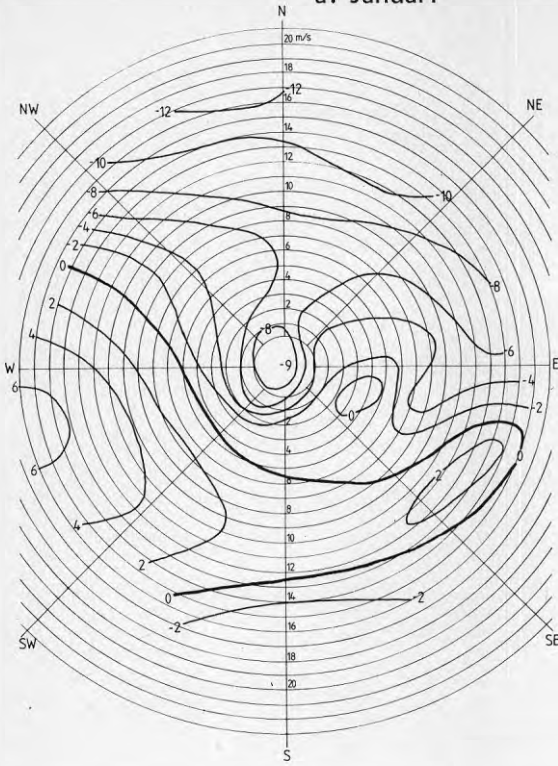
För att värdera betydelsen eller konsekvenserna av de i figur 3.3 illustrerade förhållandena måste man ta hänsyn till även hur ofta olika vindar (riktning och hastighet) förekommer. Detta framgår av exemplen i figur 3.4a-e.

Frekvensfördelningarna redovisas här i form av sannolikhetstäthet (grad^{-1} , $(\text{m/s})^{-1}$) i stället för med den mer konventionella vindrosen, jfr figur 3.5. (Den senare figuren är baserad på data för perioden 1949-69, Taesler 1972.) Den valda representationen har flera fördelar. Den ger ett kontinuerligt fält, där frekvensmaxima framträder klart samtidigt som en god upplösning bevaras i förekomsten av olika vindriktningar och vindhastigheter. Bl a kan de högsta vindhastigheterna, som kan förväntas från respektive vindriktning, representeras tydligt (den streckade kurvan för frekvensen $0.01 \times 10^{-4} \text{ grad}^{-1}$, $(\text{m/s})^{-1}$).



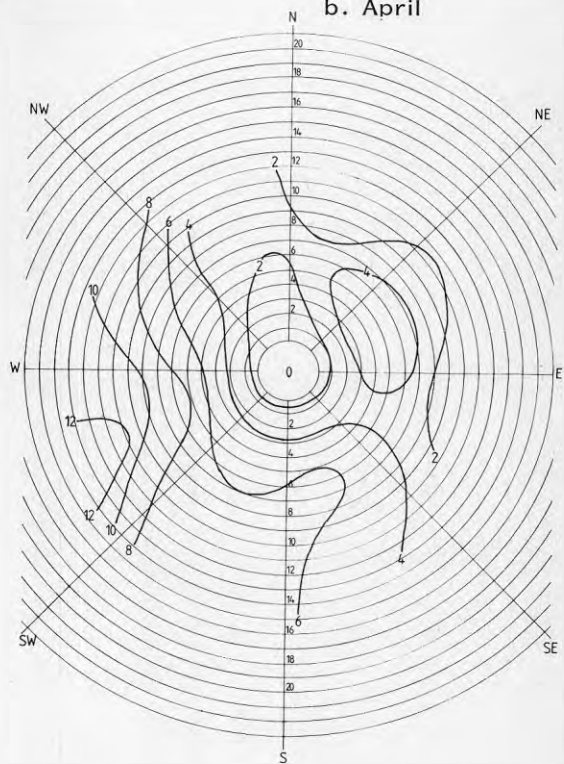
FIGUR 3.2. Relativ förekomst av gradtimmar/år i samband med temperatur respektive vindhastighet understigande angivna skalvärden. Figuren är baserad på tabell 3.2g.

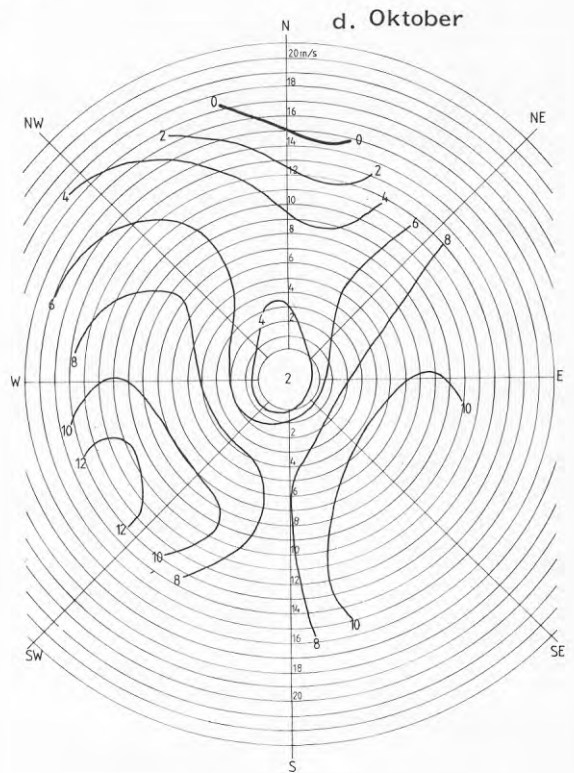
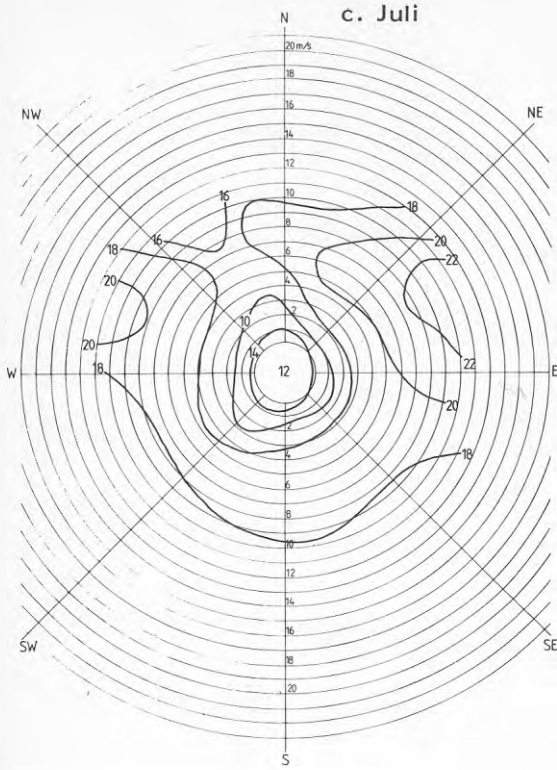
a. Januari



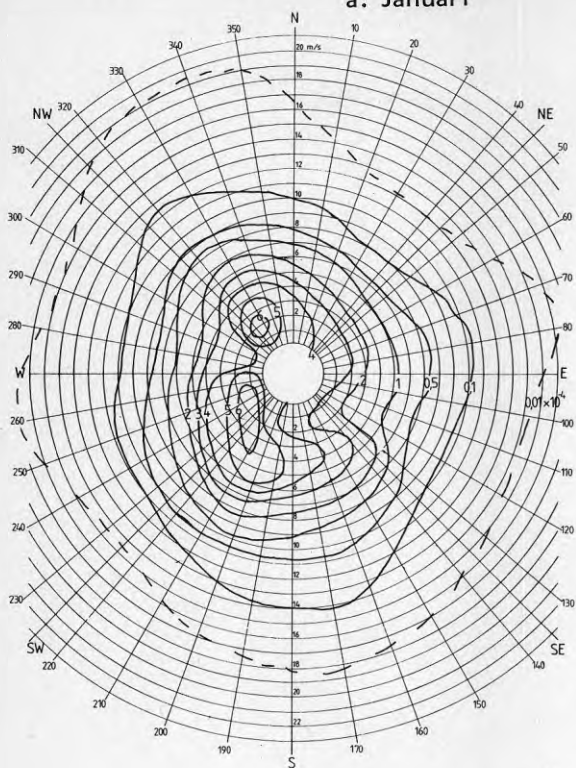
FIGUR 3.3a-d. Samvariationen mellan lufttemperatur och vind åskådliggjord genom isotermer över medeltemperaturen vid olika vindhastigheter och vindriktningar. Figurerna är baserade på tabell 3.3a,d,g,i (januari, april, juli, oktober). Motsvarande frekvensfördelningar se figur 3.4a-d.

b. April



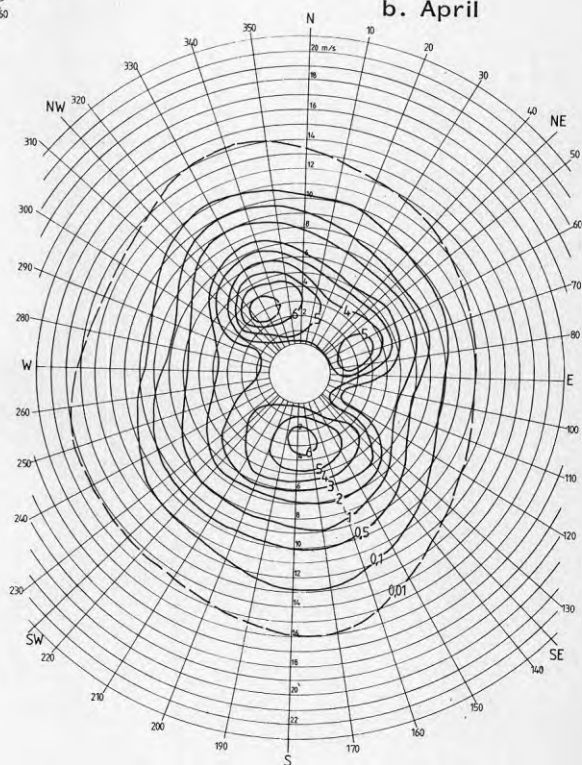


a. Januari

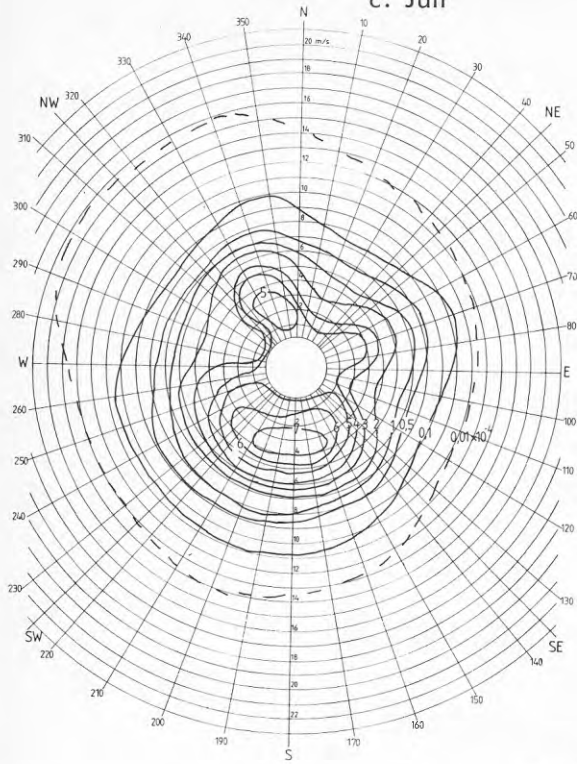


FIGUR 3.4a-d. Sannolikhets-
tätet för samtidig vindrikt-
ning och hastighet (grad^{-1}
 $(\text{m/s})^{-1}$).
Tullinge 1955-75.

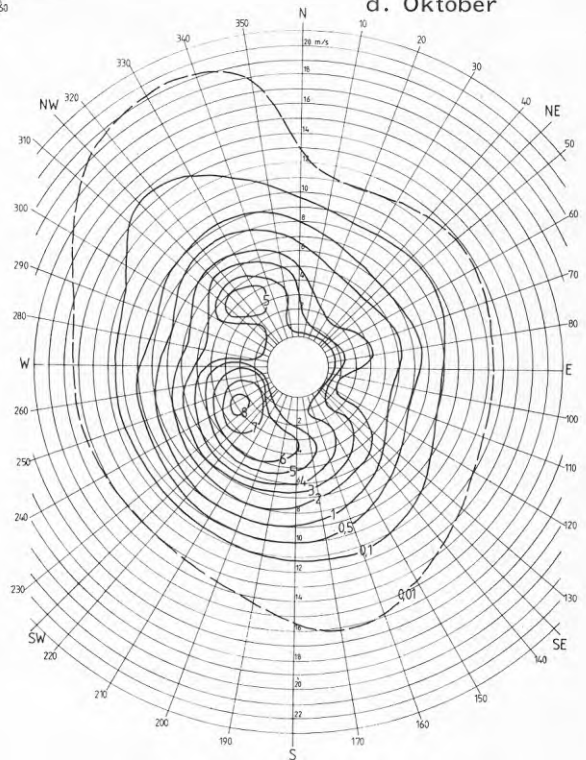
b. April

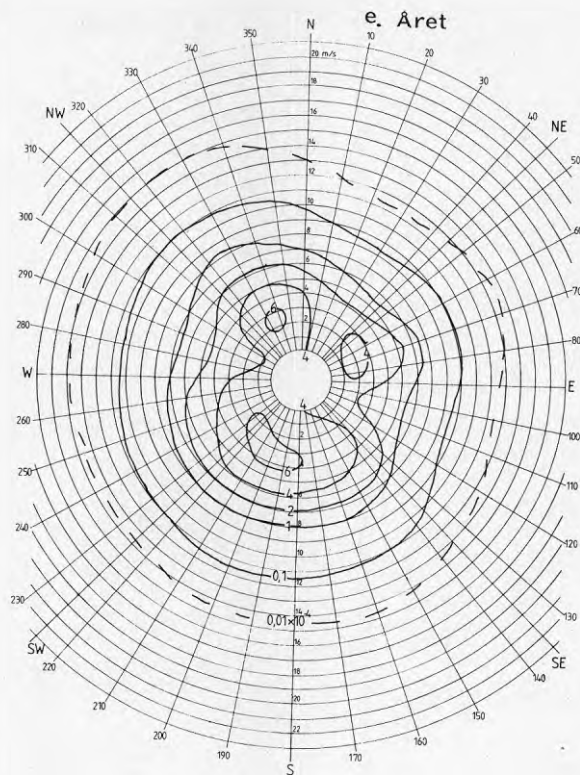


c. Juli

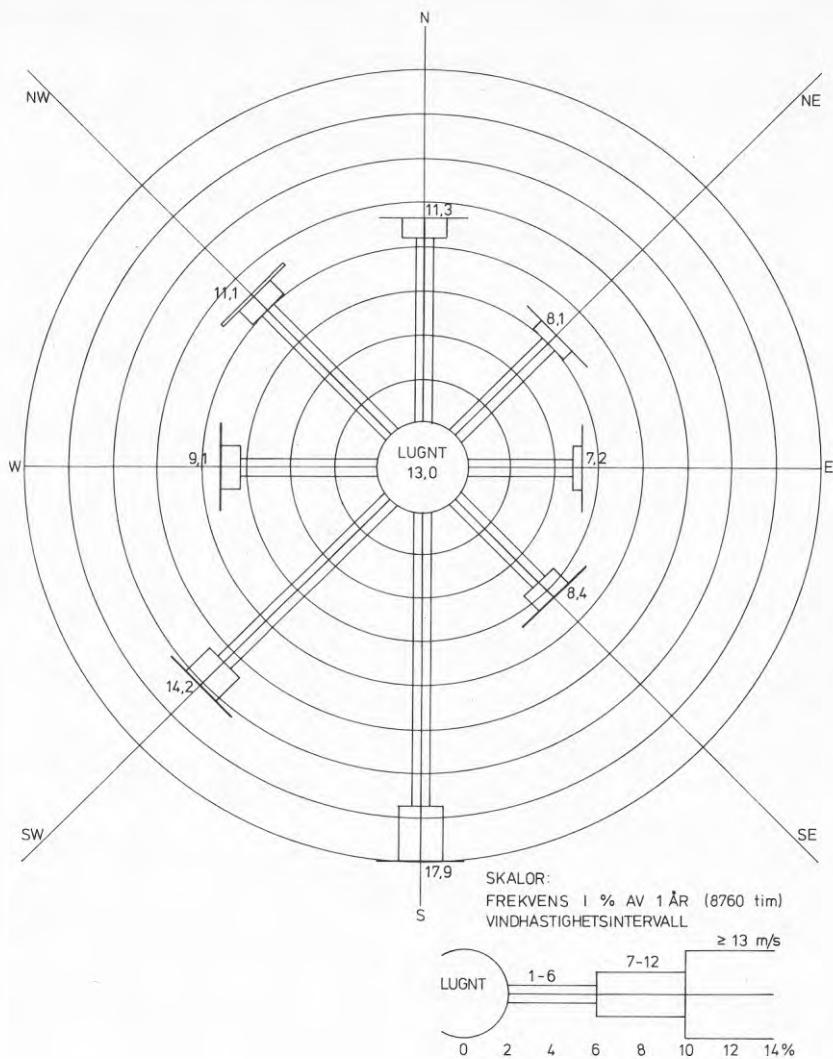


d. Oktober





FIGUR 3. 4e. Sannolikhetstäthet för samtidig vindriktning och hastighet ($\text{grad}^{-1}(\text{m/s})^{-1}$). Tullinge 1955-75, året.

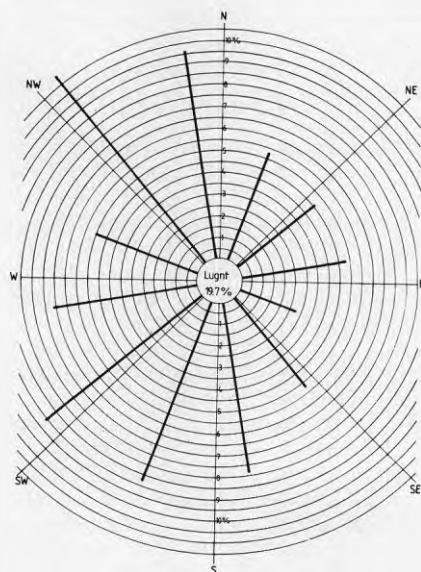


FIGUR 3.5. Frekvenser av vindhastighet och vindriktning, Tullinge, hela året.

En jämförelse mellan figurerna 3.3a och 3.4a visar att t ex januari har hög frekvens av kalla vindar från NV-N men även av betydligt milda vindar från SV. I den förstnämnda sektorn förekommer dessutom hårda vindar relativt ofta. I detta fall visar alltså redan en enkel, kvalitativ bedömning att de ur energisynpunkt mest ogynnsamma vindarna kommer från riktningar mellan NV och N. I andra fall är det emellertid betydligt svårare att dra sådana slutsatser, vilket exemplifieras i avsnitt 5.4.1.

Ett approximativt men överskådligt sätt att illustrera olika vindriktningars betydelse för byggnaders energibehov liksom för utekomforten är att beräkna antalet gradtimmar vid olika vindriktningar. Detta exemplifieras i figur 3.6, varur framgår att de största bidragen till värmebehovet ges av vindar från NV-N men att även vindar från S-SV spelar en stor roll.

Den i figur 3.6 illustrerade sk "gradtimvindrosen" har beräknats ur tabeller av typen 3.3 för årets alla månader. Denna representation ger en enkel bild av *klimatförutsättningarna* för områdesplanering i syfte att reducera energiförlusten i bebyggelse. För att kunna värdera olika planalternativ fordras emellertid en metodik för "översättning" av förutsättningarna (t ex enligt tabell 3.3) till kvantifierade konsekvenser i termer av energibesparing. I detta syfte har modeller utvecklats inom projektets ram, vilka behandlas i kapitel 4.



FIGUR 3.6. Procentuell fördelning av antalet gradtimmar/år på olika vindriktningar. Tullinge 1955-79.

4. MODELLER FÖR ENERGIBERÄKNINGAR

4.1 Målsättningar och problemställningar

En övergripande målsättning för projektet har varit att utveckla metoder för kvantitativa studier av lokalklimatets betydelse för bebyggelsens energibehov. Härför fordras fysikaliskt grundande modeller för beräkning av energiutbytet bebyggelse-atmosfär under olika förutsättningar ifråga om bebyggelsens lokalisering, utformning och tekniska status. Beräkningarna måste kunna utsträckas över minst ett men helst över flera år för att inkludera effekterna av i olika vädersituationer förekommande lokala variationer i olika klimatelement på ett statistiskt representativt sätt. Modellerna måste samtidigt göras fysikaliskt tillräckligt enkla för att beräkningsarbetet skall vara praktiskt genomförbart.

Frågan om lokalklimatets roll för bebyggelsens energiomsättning har angripits från två olika utgångspunkter, svarande väsentligen mot stads- eller områdesplanering respektive detaljplanering och byggnadsprojektering. I det första fallet är lokalklimatet i sig självt påverkligt och kan ses både som ett planeringsmål och som ett styrmedel i energihushållningen. Uppgiften blir då att bestämma klimatets inverkan på energiomsättningen i området som helhet snarare än för en viss, enskild byggnad. I det andra fallet bestäms lokalklimatet väsentligen av en redan existerande och inte påverkbar omgivning. Problemet blir nu istället att jämföra antingen olika arkitektoniska och byggtekniska alternativ under givna, lokala klimatförutsättningar eller att beräkna energibehovet för en viss, given byggnad i olika lägen inom ett planeringsområde.

Det första alternativet har prövats genom att formulera och utvärdera en "box-modell" för centrala Uppsala [Taesler 1980 a,b]. Resultaten för en niodygnsperiod gav vid handen att ett nettounder-skott i summan av de meteorologiskt betingade energiflödena i form av nettostrålning, turbulent värmefflöde, horisontell värmetransport nära balanseras av den antropogena energitillförseln via el- och fjärrvärmenäten. Målsättningen var att vidareutveckla denna box-modell för att undersöka, hur de meteorologiska termerna i energibudgeten beror av planutformning och bebyggelsestruktur. Härvid spelar beräkningen av de vertikala turbulenta flödena av värme och vattenånga i skiktet omkring och närmast ovanför hustaksnivå (urban wake layer, jfr figur 1.1) en central roll. Den fortsatta utvecklingen av beräkningsmodellen har försvarats på ett avgörande sätt av att strömnings- och turbulensegenskaperna i detta skikt är mycket ofullständigt kända. Speciellt gäller detta utbytesmekanis- merna för värme och vattenånga. Osäkerheten i beräkningarna av de turbulenta energiflödena blir alltför stor för att möjliggöra energi- budgetberäkningar över ett helt år eller för att jämföra olika be- byggelsestrukturer. För att uppnå en tillräcklig noggrannhet är det nödvändigt att genomföra omfattande mätningar samt testa olika teoretiska ansatser och parameteriseringar av de olika energiflödena. Då övriga delar av projektet bedömts vara mer utvecklingsbara och av större praktiskt intresse har dessa måst prioriteras på bekost- nad av vidareutveckling av box-modellen.

Det andra alternativet innebär att beräkna de olika energiflödena till och från en viss byggnad med användande av lokalt, för bygg- nadens läge gällande klimatdata. Även detta angreppssätt innebär stora problem både teoretiskt och praktiskt om alla inverkan

faktorer skall beaktas i beräkningarna. För att beräkningsarbetet skall kunna begränsas till praktiskt realistiska proportioner är det nödvändigt att införa förenklingar och approximationer både i behandlingen av lokalklimatet och energiutbytet byggnad-atmosfärlsliksom ifråga om byggnadens konstruktion och funktionssätt. ENLOSS-modellen, som redovisas nedan, utgör - tillsammans med det i föregående behandlade metoderna för beräkning av lokala klimatdata - ett försök till en sådan avvägning. Andra försök med liknande målsättning har utförts i Finland [Rauhala 1983], i England [Markus et al 1984] samt tidigare i Sverige [Mattson och Akerman 1980, Holmér och Lindqvist 1980].

ENLOSS-modellen skiljer sig från de nämnda arbetena, vilka arbetar med månadssummor eller -medelvärden av olika klimatement, framför allt i behandlingen av klimatologiska indata vid beräkningarna. Två huvudprinciper har härvid varit vägledande vid utvecklingen av modellen,

- dels att simulera effekterna av *samtidigt uppträdande* lokala vind-, temperatur- och solstrålningsförhållanden,
- dels att erhålla statistiskt representativa resultat genom att basera beräkningarna på observationer under många år.

I synnerhet den senare principen är viktig vid jämförelser mellan olika lägen eller bebyggelseplaner. Lokala variationer i vindhastighet eller lufttemperatur är olika starkt utvecklade i olika vädersituationer. Den sammanlagda betydelsen för energihushållningen av dessa variationer kan därför inte bestämmas enbart ur enstaka fallstudier eller korttidsmätningar utan fordrar utvärdering över flera år, så att intensitet, frekvens och varaktighet hos de lokalklimatiska variationerna representeras korrekt.

Den första principen (beaktande av klimatementens samvariation) innebär att beräkningarna bör baseras på timvärden. Detta är framför allt väsentligt beträffande värmeförluster genom självdragsventilation (infiltration), som beror av såväl vindriktning och vindhastighet som utetemperatur i förening.

Energiförluster p g a infiltration har under senare år varit föremål för ett flertal undersökningar [Nylund 1978, 1984, Backmark och Blomqvist 1983, Lyberg 1983, Handa m fl 1979, Kärrholm m fl 1984, Wirén 1984a]. De tre sistnämnda arbetena behandlar även, mera speciellt, inverkan av lokal- och mikroskaliga vindvariationer på infiltrationen. Tonvikten härvid har emellertid lagts på byggnadsaerodynamiska frågeställningar snarare än på statistiskt-klimatologiska utvärderingar av lokala variationer i infiltrationsförlusterna. ENLOSS-modellens primära syfte är att möjliggöra sådana utvärderingar.

Beräkningen görs i ENLOSS-modellen antingen timme för timme på basis av mångåriga tidsserier eller med användande av speciell frekvensstatistik baserad på timvärden. I båda fallen sker beräkningen iterativt, väsentligen enligt den av Nylund (1978) beskrivna metoden för bestämning av tryckdifferenserna över olika delar av byggnadsskalet som funktion av yttre vindtryck i kombination med termiskt betingat tryck (skorstenseffekten).

Tidigare utförda beräkningar av lokalklimatiskt betingade variationer i årsvärmebehovet [Mattson och Åkerman 1980, Holmér och Lindqvist 1980] samt med en tidig version av ENLOSS-modellen [Jansson m fl 1984, Glaumann och Taesler 1985] ger vid handen att dessa variationer kan uppgå till 5-30%, huvudsakligen beroende på olika grad av vindexponering. I dessa studier har luftomsättningen beräknats enligt en lineär funktion av vindhastighet och temperaturdifferens ute-inne, som bestämts empiriskt ur fullskalemätningar [Elmroth och Höglund 1970]. Rauhala (1983) har, med användande av den av Nylund beskrivna metoden, kommit till liknande resultat. För nyare hus, byggda enligt SBN 75 eller SBN 80, kan man dock antaga att infiltrationsförlusten blir mindre såväl i absoluta som i relativa termer.

Ett begränsat antal statistiskt-klimatologiska beräkningar avseende nya hus har hittills utförts med ENLOSS-modellen [Glaumann och Taesler 1985, Taesler och Lindahl 1984]. I dessa undersökningar, som båda avser områden med relativt liten blåsighet (Södertuna respektive Gustavsberg), erhöles lokala differenser i infiltrationsförlusterna motsvarande 5-10% av den totala, årliga värmeförlusten. Resultat från ett pågående projekt, avseende ett mera vindutsatt område (Ängelholms kommun), tyder på att infiltrationsförlusterna där får större relativ betydelse och även att de lokala variationerna blir större, se vidare avsnitt 5.

4.2 ENLOSS-modellen

4.2.1 Översikt

Behovet av energi för upprätthållande av önskat inomhusklimat bestäms av följande faktorer:

- a) Storskaliga klimatförutsättningar (makroklimat).
- b) Regionala, lokala och mikroskaliga förändringar av klimatförhållanden, främst lufttemperatur, vind och solinstrålning.
- c) Byggnadens konstruktion, installationer och reglersystem samt användningssätt (brukarvaror).

För att undersöka hur lokalklimatet påverkar byggnaders energibehov och i vilken utsträckning detta behov kan reduceras genom bebyggelseplanering har en modell (ENLOSS) utvecklats för beräkning av värmeförluster från en byggnad.

Genom de i föregående avsnitt behandlade metoderna genereras lokala klimatdata för olika punkter inom den planerade bebyggelsen med utgångspunkt från tillgängliga observationer från meteorologiska referensstationer.

Modellen beräknar *värmeförluster* genom transmission och infiltration p g a samhörande temperatur- och vindförhållanden. Som meteorologiska indata kan lokalt korrigerade synop- och timsynopserier från 1955 (i vissa fall senare) användas, varvid beräkningen sker timme för timme. Alternativt användes speciell frekvensstatistik över samvariationen av vindhastighet, vindriktning och temperatur vid olika stabilitetstyp (se tabell 2.4) som indata. Inverkan av lokala vind- och temperaturavvikelser beaktas i båda fallen.

Transmissionsförlusterna erhålles genom k-värdesberäkningar, vilka inkluderar hänsynstagande till vindhastighetens inverkan på det yttre värmeövergångstalet. Beräkningen av infiltrationsförlusterna är betydligt mer komplicerad och inkluderar en iterativ procedur för bestämning av luftomsättningen under olika vind- och temperaturförhållanden. Ett speciellt problem i detta sammanhang är bestämningen av formfaktorer (c_p -värden), vilket behandlas i avsnitt 4.4.2.

Byggnadens momentana värmebudget bestäms av energiutbytet med omgivningen, vilket sker genom värmetransmission, q_T , infiltration (självdraagsventilation), q_V , och fläktventilation, q_F , samt solvärmestillskott, q_R , och värmestrålning, q_H . För att budgeten skall vara balanserad behöver även värmeackumuleringen, q_S , (positiv eller negativ) samt tillskottet, q_A , från värmesystemet, belysning, apparater m m inkluderas. Formellt gäller då,

$$q_T + q_V + q_F + q_R + q_H + q_H + q_S = 0 \quad (4.1)$$

Om ekvationen integreras över tillräckligt lång tid ($\gtrsim 1$ månad) kan värmelagringen försummas. Energiutbytet genom värmestrålning inkluderas, såsom framgår nedan, formellt i transmissionstermen genom det yttre värmeövergångstalet.

Data för bestämning av solvärmestillskott beräknas med SOLTIMSYN-modellen (se 2.5 ovan). Modellen ger primärt värden på den strålningens energi, som träffar olika delar av byggnadens ytterhölje. Hur stor del härav, som kan tillgodoräknas som nyttiggjord energi, blir beroende av fönsterarea och -fördelning, fönstrens transmissionsförmåga, byggnadens värmelagringsförmåga, brukar-beteende m m.

Fläktventilationens bidrag till energiförlusten har inte beräknats i de tillämpningar av ENLOSS-modellen, som hittills utförts. Modellen kommer dock att vidareutvecklas för att inkludera även denna faktor.

Beräkningen av de återstående termerna, transmissionsförluster och infiltrationsförluster, är, speciellt beträffande de senare, mer komplicerad och behandlas därför mera utförligt nedan. Byggnaden betraktas som ett tomt skal, utan mellanväggar eller bjälklag, och med homogen innetemperatur. Fönsterarean beaktas vid transmissionsberäkningarna. Vid infiltrationsberäkningarna betraktas otätheterna som jämnt fördelade över ytterväggarna respektive yttertaket.

4.2.2 Beräkning av transmissionsförluster

Värmetransmissionen, q_T , genom byggnadshöljet är [Peterson 1981],

$$q_T = k_j A_j (T_i - T_u) \quad (4.2)$$

där

k_j = värmegenomgångstalet för j:te delytan, $Wm^{-2}K^{-1}$
 A_j = arean hos j:te delytan, m^2
 $T_{i,u}$ = lufttemperaturen inne respektive ute, $^{\circ}C$

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_y} + \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} \quad (4.3)$$

där

α_y, α_i = yttre, inre värmeövergångstal
 d = väggjocklek
 λ = värmeledningstal

$$\alpha_y = \alpha_k + \alpha_s \cdot \frac{T_v - T_s}{T_v - T_u} \quad (4.4)$$

där

α_k = värmeövergångstalet för konvektion
 α_s = värmeövergångstalet för värmestrålning
 T_v = ytans yttemperatur
 T_s = motstående ytas yttemperatur
 T_u = uteluftens temperatur

Vid beräkningar med modellen har hittills antagits att $T_s = T_u$ och, alltså,

$$\alpha_y = \alpha_k + \alpha_s \quad (4.5)$$

Denna förenkling motiveras främst av att ytemperaturerna T_v och T_s i regel inte är kända. I synnerhet vid klar himmel och kraftig solinstrålning eller nattlig strålningsavkylning kan ytemperaturerna avvika starkt från lufttemperaturen.

Övergångstalen α_k och α_y beräknas som,

$$\alpha_k = c_1 \cdot \frac{\bar{u}^{0.6}}{L^{0.4}} \quad (4.6)$$

$$\alpha_s = \frac{c_2}{10^6} \cdot 4 T_v^3 \quad (4.7)$$

där

\bar{u} = vindhastighet längs ytan

L = ytans längd

I (4.7) antages $T_v = T_u$ gälla.

Det inre värmeövergångstalet beräknas som,

$$\alpha_i = \frac{c_3}{10^6} \cdot 4 T_i^3 \frac{T_{v,i} - T_{s,i}}{T_{v,i} - T_i} \quad (4.8)$$

Även i (4.8) antages att $T_{v,i} = T_i$ och alltså,

$$\alpha_i = \frac{c_3}{10^6} \cdot 4 T_i^3 \quad (4.9)$$

där T_i = lufttemperatur inomhus.

Uttrycket för värmegenomgångstalet k_j (j:te delytan) blir alltså,

$$\frac{1}{k_j} = \left[\frac{1}{c_1 \cdot \frac{\bar{u}^{0.6}}{L^{0.4}} + \frac{c_2}{10^6} \cdot 4 T_u^3} + \frac{1}{\frac{c_3}{10^6} \cdot 4 T_i^3} + \frac{d}{\lambda} \right]_j \quad (4.10)$$

Värdet på vindhastigheten, \bar{u} , i ekv. (4.6) är i normala fall svårt att bestämma med någon större precision. Hittills har den lokala vindhastigheten i nivån 10 m ö m använts varvid hänsyn togs till omgivningens allmänna skrovlighet. Detta utgör troligen en över-skattning i de flesta fall. Som framgår i avsnitt 4.3 finns dock möjligheter att beräkna strömningens hastighet runt en byggnad med stor detaljeringsgrad.

4.2.3 Beräkning av infiltrationsförluster

Ventilationsförlusten per tidsenhet, q_V , är,

$$q_V = n \cdot V \cdot \rho \cdot c \cdot (T_i - T_u) \quad (4.11)$$

där

- ρ = luftens densitet (kg m^{-3})
- n = luftomsättningstalet (h^{-1})
- V = innesluten, uppvärmd volym (m^3)
- c = luftens specifika värmekapacitet ($\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$)

Luftomsättningen orsakas av densitetsskillnaden mellan inne- och uteluften samt av det dynamiska vindtrycket mot byggnadens ytor. Beräkningen av antalet luftomsättningar/timme sker genom att bestämma tryckdifferensen över varje delyta av ytterhöljet samt motsvarande luftflöde vid viss vindhastighet, vindriktning och temperaturdifferensen ute-inne. Test av flödesbalansen sker genom summering av alla inåt- respektive utåtriktade deflöden. Beräkningen upprepas iterativt till kriteriet för flödesbalans (se nedan) är uppfyllt.

Den matematiska formuleringen av beräkningen är följande.

Beteckningar (jfr figur 4.1)

- a = byggnadens längd (i taknockens riktning)
- b = byggnadens bredd
- h = byggnadens höjd (till takfot)
- δh = takets höjd (från takfot till taknock)
- V = innesluten, uppvärmd volym
- $A(i)$ = area av i :te delytan mot uppvärmt utrymme
- $P(i)$ = yttre, dynamiskt tryck på i :te delytan
- $p(z)$ = invändig avvikelset från atmosfärstrycket på höjden z
- $z_n(j)$ = neutralnivåns höjd på j :te ytterväggen

Differensen, $p(z)$, mellan atmosfärstrycket och det invändiga trycket har följande profil,

$$p(z) = p(0) + \gamma z \quad (4.12)$$

där

$$\Upsilon = \frac{\partial}{\partial z} (P'_{0, \text{inne}} - P'_{0, \text{ute}}) = -g(\rho_{\text{inne}} - \rho_{\text{ute}}) \quad (4.13)$$

P'_0 = statiska trycket

g = tyngdaccelerationen

ρ = luftens densitet vid aktuell temperatur och tryck

Ekv. (4.13) förenklas till

$$\Upsilon \approx -g \cdot \rho_{\text{ute}} \cdot T_{\text{ute}} \left[\frac{1}{T_{\text{inne}}} - \frac{1}{T_{\text{ute}}} \right] \quad (4.14)$$

Tryckdifferensen över i:te delytan av ytterhöljet är,

$$\delta P(i) = P(i) - p(z) \quad (4.15)$$

$P(i)$ beräknas enligt

$$P(i) = c_p(i) \cdot \frac{1}{2} \rho \bar{u}_0^2(z_R) \quad (4.16)$$

där

$c_p(i)$ = formfaktorn för i:te delytan

$\bar{u}_0(z_R)$ = medelvindhastigheten på referensnivån z_R

Formfaktorerna $c_p(i)$ definieras enligt

$$c_p(i) = \frac{P_s(i) - P'_0}{P_0} \quad (4.17)$$

där

$P_s(i)$ = statiskt tryck på i:te delytan

P'_0 = statiskt tryck i friströmmen

P_0 = dynamiskt tryck i friströmmen

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho \bar{u}_0^2(z_R) \quad (4.18)$$

Vid beräkningarna har använts c_p -värden dels enligt SBN-75 eller SBN-80 dels enligt vindtunnelstudier [Wirén, 1984 a,b]. Vidare har c_p -värden beräknats med SMHI:s PHOENICS-satelliter (se avsnitt 4.3), varvid byggnadens ytterytor indelats i delytor (celler) enligt figur 4.2. De fortsatta beräkningarna har hittills förenklats genom att medelvärden, $\overline{c_p(i)}$, införts för respektive fasad, gavel samt takhalva. Otätheterna antages vidare vara jämnt fördelade över ytterväggarna respektive yttertaket.

Flödet (infiltrationen) per ytenhet genom respektive delyta beräknas enligt,

$$\overline{q(i)_j} = \overline{c(i)_j} (\delta P(i))^\beta \quad (4.19)$$

där

$\overline{c(i)_j}$ = medelvärde av läckfaktorn för j:te delytan

Genom att ställa upp ekv. (4.19) för varje delyta (fasader, gavlar, tak) erhålles ett ekvationsystem, som definierar den totala luftväxlingen. I beräkningen ingår bestämning av neutralnivåns läge. In- och utflöden av luft summeras var för sig, varefter differensen mellan dessa summor beräknas. Beräkningen upprepas iterativt till flödesbalans uppnås. Villkoret härvid är att differensen mellan in- och utflöde får vara högst 1 ‰ av summan av beloppen av alla flöden. Vid beräkningen bortses från effekter av mellanväggar och bjälklag. Innetemperaturen antas vara densamma överallt.

Den totala inflödet av luft är

$$Q_{in} = \sum_j (\overline{q(i)} \cdot A_{in})_j \quad (4.20)$$

där A_{in} är den area på delyta j, där yttre övertryck råder.

Utflödet är, analogt,

$$Q_{ut} = \sum_j (\overline{q(i)} \cdot A_{ut})_j \quad (4.21)$$

Vidare gäller villkoret om massflödesbalans,

$$\rho_{ute} \cdot Q_{in} = \rho_{inne} \cdot Q_{ut} \quad (4.22)$$

Läckfaktorn, $\overline{c(i)_j}$, beräknas med utgångspunkt från gällande normkrav avseende luftväxlingen vid 50 Pa tryckdifferens, n_{50} , enligt följande.

$$\overline{c} = \frac{n_{50} \cdot V}{50^\beta \cdot A} \quad (4.23)$$

där

A = totala omslutande arean.

Differentierade $c(i)$ -värden införes för N st delytor enligt,

$$c(i) = k(i) \cdot \bar{c} \quad (4.24)$$

varvid det skall gälla att

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k(i) = 1 \quad (4.25)$$

Vid beräkningarna förutsätter vi att

$$\bar{c}(i)_{\text{tak}} = 0.5 \cdot \bar{c}(i)_{\text{vägg}} \quad (4.26)$$

vilket ger

$$\bar{c}(i)_{\text{vägg}} = \frac{n_{50} \cdot V}{50^{\beta} (0.5 A_{\text{tak}} + A_{\text{vägg}})} \quad (4.27)$$

Exponenten β är beroende av läckflödets turbulensgrad [Nylund 1978, Handa m fl 1979]. Vid turbulent strömning är $\beta = 0.5$, vid laminär = 1.0. Eftersom läckflödets turbulensgrad är okänd, innebär valet av β -värde en avsevärd osäkerhet. I praktiken har ett konstant värde på $\beta = 0.65$ visat sig vara lämpligt [Nylund 1984]. Vi har t v använt detta värde vid beräkningarna.

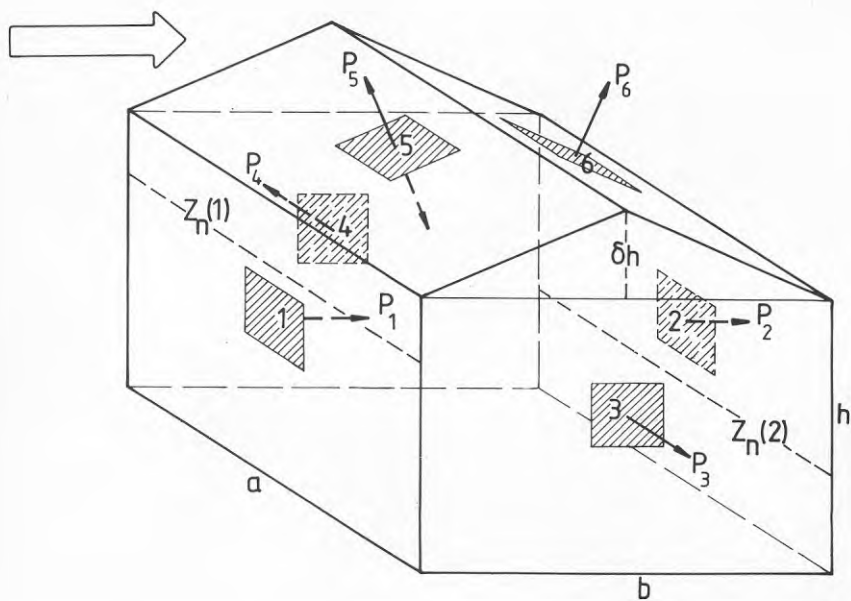
Med ovanstående förenklingar kan nu ett ekvationssystem skrivas för beräkningen av infiltrationsflödet. Formuleringen avser en byggnad med rektangulär planform och sadeltak. Vi inför beteckningar för respektive delytor (fasader, gavlar, tak) enligt figur 4.1, exemplifierande fallet med anblåsning mot längdaxeln. Formuleringen vid snedanblåsning behandlas längre fram.

- Yta 1: lovartfasad
 2: läfasad
 3: gavel
 4: gavel
 5: takhalva i lovart
 6: takhalva i lä

Neutralnivåns läge - den nivå på lovart- respektive läfasaden där tryckdifferensen inne-ute är noll - betecknas,

$z_n(1)$ för lovartfasaden

$z_n(2)$ för läfasaden



FIGUR 4.1. Principskiss över vindtrycksfördelningen över byggnadens ytterytor samt definitioner av vissa använda beteckningar i avsnitt 4.2.3.

Under $z_n(1,2)$ råder övertryck och inåtriktat infiltrationsflöde. Ovanför $z_n(1,2)$ samt genom gavelytorna och takhalvan i lä är flödet utåtriktat. Över takhalvan i lovert kan såväl övertryck som undertryck förekomma. I fortsättningen räknas inåtriktade flöden positiva, utåtriktade negativa.

Flödet genom respektive delyta vid anblåsning enligt figur 4.1 beräknas för den tryckdifferens, som råder på halva höjden. Vi betecknar dessa höjder enligt,

$$\begin{array}{ll}
 \text{Yta 1:} & \left\{ \begin{array}{ll} z_1(1) = \frac{1}{2} z_n(1) & \text{undre del av lovertfasad} \\ z_2(1) = z_n(1) + \frac{1}{2} (h - z_n(1)) & \text{övre del av lovertfasad} \end{array} \right. \\
 \text{Yta 2:} & \left\{ \begin{array}{ll} z_1(2) = \frac{1}{2} z_n(2) & \text{undre del av läfasad} \\ z_2(2) = z_n(2) + \frac{1}{2} (h - z_n(2)) & \text{övre del av läfasad} \end{array} \right. \\
 \text{Yta 3:} & z(3) = \frac{1}{2} (h + \delta h) \quad \text{gavel} \\
 \text{Yta 4:} & z(4) = z(3) \quad \text{gavel} \\
 \text{Yta 5:} & z(5) = h + \frac{1}{2} \delta h \quad \text{takhalva i lovert} \\
 \text{Yta 6:} & z(6) = z(5) \quad \text{takhalva i lä}
 \end{array}$$

Massflödet genom respektive delyta ($j = 1-6$) blir nu,

$$\begin{array}{ll}
 \text{Yta 1:} & \left\{ \begin{array}{ll} Q_{in}(1) = a \cdot z_n(1) \cdot \rho_{ute} [\delta P(z_1(1))]^\beta & ; \delta P_1 > 0 \quad (4.28 a) \\ Q_{ut}(1) = a \cdot (h - z_n(1)) \cdot \rho_{inne} [\delta P(z_2(1))]^\beta & ; \delta P < 0 \quad (4.28 b) \end{array} \right. \\
 \text{Yta 2:} & \left\{ \begin{array}{ll} Q_{in}(2) = a \cdot (z_n(2)) \cdot \rho_{ute} [\delta P(z_1(2))]^\beta & ; \delta P > 0 \quad (4.28 c) \\ Q_{ut}(2) = a \cdot (h - z_n(2)) \cdot \rho_{inne} [\delta P(z_2(2))]^\beta & ; \delta P < 0 \quad (4.28 d) \end{array} \right. \\
 \text{Yta 3:} & Q_{ut}(3) = b \cdot (h + \frac{1}{2} \delta h) \cdot \rho_{inne} [\delta P(z(3))]^\beta \quad ; \delta P < 0 \quad (4.28 e) \\
 \text{Yta 4:} & Q_{ut}(4) = Q_{ut}(3) \quad ; \delta P < 0 \quad (4.28 f) \\
 \text{Yta 5:} & Q_{in,ut}(5) = a \cdot \frac{\delta h}{\sin \alpha} \cdot \rho_{ute, inne} [\delta P(z(5))]^\beta ; \delta P > 0 \quad (4.28 g) \\
 \text{Yta 6:} & Q_{ut}(6) = a \cdot \frac{\delta h}{\sin \alpha} \cdot \rho_{inne} [\delta P(z(6))]^\beta \quad ; \delta P < 0 \quad (4.28 h)
 \end{array}$$

Ekvationssystemet (4.28 a-h) löses iterativt. Härvid summeras alla in- respektive utflöden var för sig. Villkoret om flödesbalans är,

$$\frac{\sum Q_{in} - \sum Q_{ut}}{\sum (|Q_{in}| + |Q_{ut}|)} \leq \varepsilon \quad (4.29)$$

där

$$\varepsilon = 0.001 \text{ valts}$$

Vid iterationen ändras neutralnivåns läge på lovert- respektive läytorna. Definitionsmässigt gäller för neutralnivån,

$$P_1(i) - p(0) - \gamma z_n(1) = 0 \quad (4.30 a)$$

$$P_2(i) - p(0) - \gamma z_n(2) = 0 \quad (4.30 b)$$

Med ovanstående approximationer erhålles nu,

$$z_n(1) = \frac{\overline{P}_1 - p(0)}{\gamma} \quad (4.31 a)$$

$$z_n(2) = \frac{\overline{P}_2 - p(0)}{\gamma} \quad (4.31 b)$$

där

$$\overline{P}_{1(2)} = (\overline{c_p})_{1(2)} \cdot \frac{1}{2} \rho \bar{u}_0^2(z_R) \quad (4.32)$$

Som initialvärden för z_n väljer vi $z_n(1,2) = \frac{h}{2}$, vilket representerar situationen vid vindstilla ($\overline{P}_1 = \overline{P}_2 = 0$). Motsvarande startvärde för $p(0)$ erhålles ur ekv. (4.31).

Den fortsatta iterationen sker genom att variera $p(0)$ i ekv. (4.13).

Luftomsättningen erhålles ur flödesberäkningen enligt

$$n = \frac{\sum Q_{in} + \sum Q_{ut}}{2V} \quad (4.33)$$

Ovanstående procedur tillämpas med endast formella ändringar även vid anblåsning vinkelrätt mot gaveln. Vid snedanblåsning måste proceduren emellertid modifieras något.

Beräkning av infiltrationen vid snedanblåsning

Beräkningsproceduren vid snedanblåsning har anpassats efter tillgången på data över c_p -värden.

I SBN 75 ges endast c_p -värden för anblåsningens vinklar 0, 45° och 90°, räknat från byggnadens längdaxel (= taknockens riktning). I SBN 80 ges värden endast för 0 och 90° anblåsningens vinkel. Värdena är dessutom i båda fallen egentligen avsedda för vindlastberäkningar och gäller för en fritt exponerad byggnad, vilket ytterligare begränsar värdenas tillämplighet för infiltrationsberäkningar.

Vindtunnelmätningar [Wirén 1984 a,b] har gett detaljerade data över c_p -värden för ett typiskt 1½-plans småhus med 45° taklutning, omgivet av identiska hus i olika konfigurationer. Värden ges även för olika anblåsningens vinklar.

Ytterligare data, avseende varierande byggnadsgeometrier och anblåsningens vinklar 0, 45°, 90°, har publicerats av IEA (1984).

Formfaktorvärden kan också beräknas genom numerisk simulering av strömningen. SMHI använder den s k PHOENICS-modellen [Spalding 1981] för 3-dimensionella strömningssimuleringar, se vidare avsnitt 4.3.

De meteorologiska vindriktningsobservationerna har en upplösning av 10°. För att kunna utnyttja denna information förfar vi på följande sätt.

Alternativ 1. c_p -värden kända endast för anblåsningens vinklar 0 och 90° (d v s vinkelrätt mot långsida respektive gavel).

Under en timme antages anblåsningen tidvis ske vinkelrätt mot långsidan respektive vinkelrätt mot gaveln. Tidsintervallen för respektive fall beräknas som,

$$\delta t_1 = \frac{\alpha}{90} \quad (4.34)$$

$$\delta t_2 = \frac{90-\alpha}{90}$$

där

α = vinkeln mellan vindriktningen och husets längdaxel

Föregående beräkningar utföres därefter för vardera tidsintervallet, varefter det resulterande timvärdet av infiltrationsförlusten beräknas.

Alternativ 2. c_p -värden kända för alla olika anblåsningens vinklar (t ex enligt Wirén eller PHOENICS/SMHI).

Anblåsningens vinkel, φ , klassindelas enligt,

klass 0	0° ($0 \leq \varphi \leq 10^{\circ}$), vinkelrätt mot gaveln
klass 1	25° ($20^{\circ} \leq \varphi \leq 30^{\circ}$)
klass 2	45° ($40^{\circ} \leq \varphi \leq 50^{\circ}$)
klass 3	65° ($60^{\circ} \leq \varphi \leq 70^{\circ}$)
klass 4	90° ($80^{\circ} \leq \varphi \leq 90^{\circ}$), vinkelrätt mot långsidan

Vid bestämningen av anblåsningens vinkel betraktas långsidans fasad-normal som symmetriaxel, d v s för en byggnad med längdaxeln orienterad i N-S är t ex anblåsningens riktningarna NV och SV ekvivalenta (klass 2).

Vid vinklar i klasserna 1-3 erhålles två lovartsidor och två läsidor. Neutralnivåns läge beräknas för vardera lovartsidan respektive vardera läsidan på samma sätt som tidigare.

Både i alternativ 1 och 2 definieras ett viss beräkningsfall av följande parametrar.

- Byggnadens dimensioner och taklutning.
- Byggnadens orientering.
- Byggnadens exponering (c_p -värden med hänsyn till omgivande bebyggelse).
- Byggnadens otäthet (ekv. 4.23, 4.24).
- Inomhustemperatur.

För en viss kombination av parametrarna a-d beräknas luftomsättningen för varje anblåsningens vinkel (klass 0-4) som funktion av den lokala vindhastigheten på referensnivån $\bar{u}_0(z_R)$, och utetemperatur. Den resulterande *luftomsättningsmatrisen* sparas för varje beräkningsfall.

4.2.4 Fortsatt beräkningsgång

Som primära meteorologiska indata användes observationsserier (SYNOP eller TIMSYNOP) från perioden 1955-75(79). (Uppdatering t o m 1983 pågår.) Observationerna omräknas till en lokal plats med hänsyn till skrovlighet (z_0 -karteringar) och stabilitet (PT-klassificering) samt urban värmeöeffekt.

Beräkningarna kan ske antingen timme för timme, varvid ovan nämnda korrekationer utförs för varje timme, eller med användande av speciellt utarbetad klimatstatistik (se avsnitt 2.3.5). Beräkningar timme för timme blir tidskrävande. Vid statistiskt baserade beräkningar med ENLOSS, inkluderande lokal korrektion av klimatdata, reduceras beräkningstiden med en faktor 100. Produktionen av den speciella klimatstatistiken kräver relativt stor datortid. Detta görs dock en gång för alla för en viss observationsstation, varvid resultaten lagras.

4.3 PHOENICS-modellen

4.3.1 Översikt

PHOENICS (*Parabolic, Hyperbolic Or Elliptic Numerical Integration Code Series*) är ett generellt system av datorprogram utvecklat för numerisk simulering av strömning i flytande eller gasformiga media [Spalding 1981]. Strömningen kan vara

- en-, två- eller tredimensionell
- stationär eller transient
- turbulent eller laminär
- en- eller tvåfasströmning.

PHOENICS har under en tioårsperiod utvecklats vid konsultföretaget CHAM (Concentration Heat and Momentum Ltd) i London som tillhandahåller PHOENICS på kommersiell basis och står för dess vidareutveckling. PHOENICS användes av SMHI för en rad olika tillämpningar inom hydrologi och meteorologi. Kärnan i PHOENICS utgörs av ett generellt huvudprogram "Earth" för lösning av de hydrodynamiska och termodynamiska differentialekvationerna. Till denna programdel, som inte är åtkomlig för användaren, kopplas användarspecifika "satellit"-program där det aktuella problemet beskrivs. "Satellit"-programmen kan utformas eller modifieras av användaren för styrning av beräkningarna och specificering av randvillkoren, utformning och upplösning av beräkningsområde och -nät för det aktuella beräkningsfallet.

För SMHI:s räkning har speciella "satellit"-program utvecklats av CHAM (Al-Sanea och Rhodes 1983) för simulering av stationär tredimensionell strömning och tryckfördelning runt en byggnad. Två olika versioner finns, avseende dels fritt exponerad byggnad dels byggnad i grupp omgiven av andra identiska byggnader. Byggnaden har i båda fallen en enkel rektangulär planform och sadeltak. Dessa två satelliter används för undersökningar av olika typfall, varvid byggnadens proportioner (längd, bredd, höjd, taklutning) samt de inbördes avstånden mellan byggnaderna i gruppen kan varieras.

Beräkningar avseende individuella byggnader med oregelbunden geometri och/eller komplex omgivning har även utförts, varvid speciella "satellit"-program konstruerats vid SMHI [Andersson och Kindell 1984, Taesler och Andersson 1984 b].

Vid simuleringarna med PHOENICS definieras en tredimensionell beräkningsdomän, som uppdelas i ett rätvinkligt gridnät (celler). För varje cell beräknas hastighetskomponenter i x-, y- respektive z-riktningen samt den totala turbulenta energin och det dynamiska trycket. Upplösningen (celltätheten) kan varieras inom beräkningsdomänen. Antalet celler är normalt högst ca 6 000.

Varje cell kan tilldelas en variabel porositet och en friktionskoefficient. I modellen simuleras markfriktionen med en variabel ytråhet (z_0). Byggnader eller andra individuella ytelement simuleras genom att motsvarande celler blockeras helt (porositet = 0). Vegetationsbestånd kan simuleras genom att cellerna ges en viss genomsläpplighet och friktion.

Vid simuleringarna definieras randvärden i form av vertikala uppströmsprofiler av vindhastighet och turbulent energi. Modellen modifierar strömningen successivt nedströms i beräkningsdomänen under hänsynstagande till ytråhet, byggnader m m samt även till eventuella densitetsskillnader i mediet.

Beräkningarna upprepas iterativt över hela beräkningsdomänen. Antalet iterationer, som krävs för att nå konvergens, är normalt ~ 400 . Datorkörningarna blir härigenom ytterst tidskrävande och upptar också stort utrymme i datorn primärminne. Beräkningarna underlättas dock på ett avgörande sätt genom att SMHI förfogar över viss datortid på superdatorn CRAY X-MP vid ECMWF (European Center for Medium Range Weather Forecasting) i Reading, England för forskningsändamål.

PHOENICS finns även uppsatt på SMHI:s dator (UNIVAC 1100). Tidsåtgången är dock f_n så stor (5-10 timmar) vid 3-dimensionella simuleringar av strömningen runt byggnader att detta endast kan göras i undantagsfall.

SMHI har en direkt terminalanslutning till ECMWF för körningar på CRAY-datorn. Även beräkningsresultaten överförs via denna terminal till SMHI, där de lagras för vidare bearbetning i institutets dator. Beräkningsresultaten kan presenteras och studeras visuellt med hjälp av dels en grafisk bildskärmsterminal dels en plotter anslutna till SMHI-datorn.

Resultaten från utförda simuleringar lagras t v vid SMHI och kan användas som startvärden vid senare simuleringar, t ex förfiningar med tätare gridnät i speciellt intressanta delar av beräkningsdomänen.

4.3.2 Exempel på beräkningsresultat

I detta avsnitt demonstreras användningen av PHOENICS för beräkning av tryckfördelningen på byggnadsskalet. Resultaten i det följande härrör från beräkningar med prototypversioner av de tidigare nämnda "satellit"-programmen från CHAM. Härvid har förenklade och i vissa avseenden något orealistiska beräkningsförutsättningar valts. Vidare har ett relativt grovt gridnät (1 632 celler) använts för att begränsa beräkningstiden. Resultaten bör, trots dessa inskränkningar, vara av intresse ur metodsynpunkt och även som underlag för vissa jämförelser av energiförluster genom infiltration.

Beräkningarna kan förfinas bl a genom att använda ett tätare gridnät. Tidigare beräkningsresultat kan härvid användas som initialvärden och randvärden på en reducerad beräkningsdomän med hög upplösning. Än bättre noggrannhet kommer att kunna uppnås med en av CHAM nyligen framtagen version, innehållande BFC (Body Fitted Coordinates). Denna version är dock ännu ej operativt tillgänglig vid ECMWF.

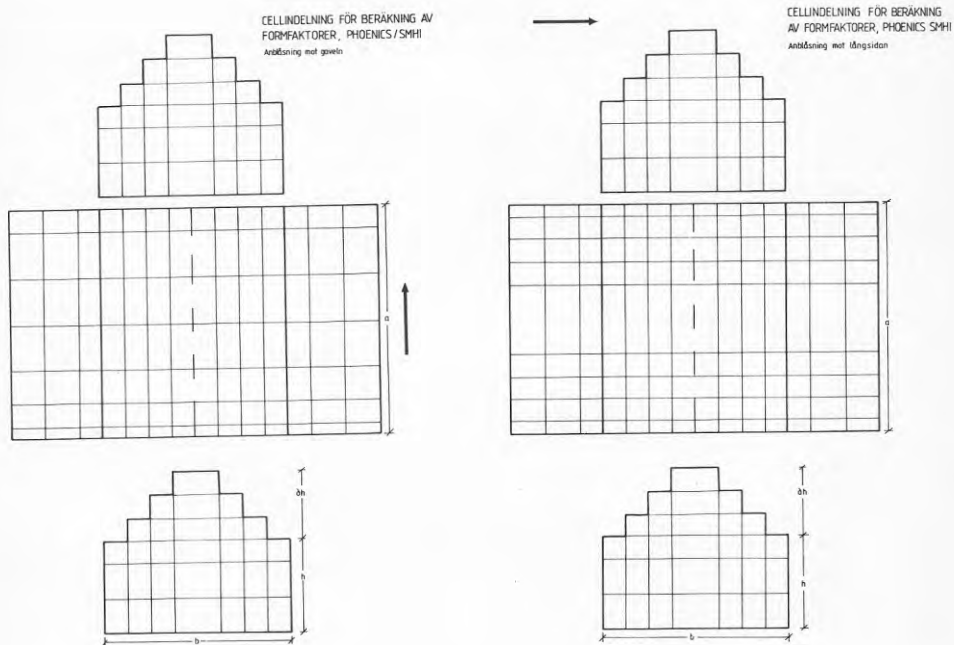
Beräkningarna nedan avser en byggnad med rektangulär planform och 45° sadeltak samt med längd $a = 50$ m, bredd $b = 10$ m och höjd $h + \delta h = 10$ m, se figur 4.2.

För visualisering av strömningen kan man välja vertikal- eller horisontalsnitt. Som exempel visas i figur 4.3 strömningen i ett vertikalsnitt mitt på byggnaden vid anblåsning vinkelrätt mot längdaxeln. Figuren gäller för den ovan definierade byggnaden omgiven av andra, identiska byggnader enligt figur 4.4. Pilarna representerar vinden i varje gridcell i snittets plan. Pilarnas längd är proportionell mot hastigheten. I figur 4.2 framgår hur byggnadsskalet uppdelas i ett rektangulärt gridnät vid körningar med PHOENICS/SMHI.

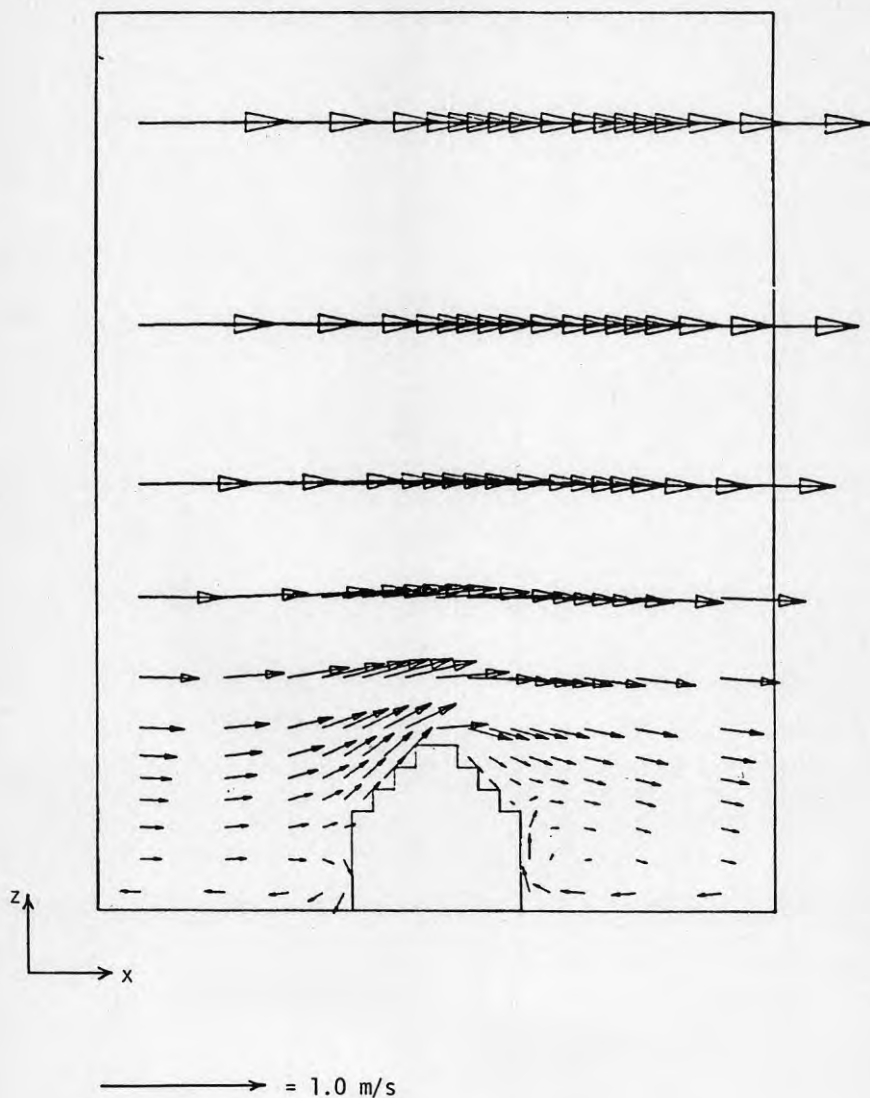
Vid simuleringen definieras initialt en vindhastighetsprofil inom ett gränsskikt med djupet δ . Ovanför detta antages vindhastigheten initialt vara konstant = friströmshastigheten u_0 . Dessa värden modifieras sedan iterativt inom beräkningsdomänen. Här redovisade resultat har beräknats med en svag friströmshastighet ($u_0 = 1 \text{ ms}^{-1}$) och låg turbulensgrad samt med $\delta = 10$ m initialt.

Beräknade formfaktorer (c_p -värden) visas i figur 4.5-4.8.

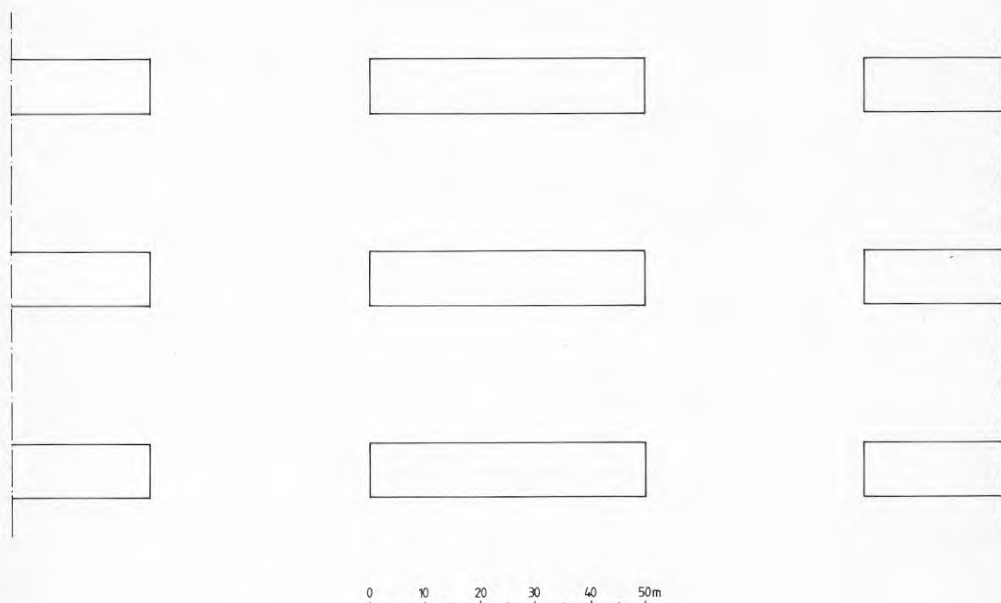
De två första figurerna (4.5 och 4.6) gäller för ett fritt liggande hus vid anblåsning vinkelrätt mot långsidan (figur 4.6) respektive gaveln (figur 4.7). De två andra figurerna ger motsvarande värden för ett hus i en "oändlig" stor grupp av identiska hus med inbördes avstånd enligt figur 4.4.



FIGUR 4.2. Uppdelning av byggnadens ytterväggar och yttertak i gridceller vid beräkningar av c_p -värden med PHOENICS/SMHI.



FIGUR 4.3. Datorritad visualisering av strömningen runt byggnaden i figur 4.2 vid anblåsning vinkelrätt mot långsidan. Pilarna anger riktning och hastighet hos strömningens komponent i snittet. Vindpilarna utgår från den punkt i varje gridcell, för vilken hastigheten beräknats. Figuren avser byggnad i grupp enligt figur 4.4.



FIGUR 4. 4. Byggnadsgruppering vid simulering med PHOENICS / SMHI. Motsvarande c_p -värden framgår av tabell 4.2 (byggnad i grupp) samt figur 4.7 och 4.8.

Jämförelse av figur 4.5 och 4.7 respektive figur 4.6 och 4.8 visar stora skillnader i c_p -värdena mellan en fritt exponerad byggnad och byggnad i grupp. Skillnaderna framträder tydligare i tabell 4.1, som innehåller medelvärden för olika delar av byggnadsskalet. Vid medelvärdesberäkningen har c_p -värdet för respektive cell viktats i proportion till cellens yta. För taket har emellertid den översta cellen (den "tillplattade nocken") härvid uteslutits.

TABELL 4.1. Formfaktor (medelvärden) för olika fasadytor och takhalvor vid anblåsning vinkelrätt mot långsida respektive gavel, dels för friliggande byggnad enligt figur 4.2 (se även text) dels för byggnad i grupp enligt figur 4.4.

1. Friliggande byggnad

Anblåsning mot	Byggnadssida					
	Långsida		Gavel		Tak	
Långsida	lovart	lä			lovart	lä
	1.36	-0.36		-0.64	0.02	-0.45
Gavel			lovart	lä		
		-0.16	0.57	-0.21		-0.13

2. Byggnad i grupp

Anblåsning mot	Byggnadssida					
	Långsida		Gavel		Tak	
Långsida	lovart	lä			lovart	lä
	+0.19	-0.06		-0.11	0.10	-0.18
Gavel			lovart	lä		
		-0.05	0.15	-0.08		-0.04

Beräkningar av luftomsättningen p g a infiltration blir komplicerade om hänsyn skall tagas till den detaljerade fördelningen av formfaktorerna, t ex enligt figurerna 4.5-4.8. Enligt Wirén (1984 a) kan man dock med tillräcklig noggrannhet använda medelvärden över respektive yta enligt tabell 4.1 (jfr också tab. 4.2, 4.3). Wirén har genom vindtunnelmätningar bestämt c_p -värden för en modellbyggnad motsvarande ett $1\frac{1}{2}$ -plans småhus¹ (längd = 13 m, bredd = 8.5 m, höjd tillnock = 6.4 m), sadeltak 45°), dels friliggande dels i tre olika konfigurationer, (Wirén 1984 a,b). Resultaten (Wirén, 1984 a fig. 6) har här använts för bestämning av medelvärden motsvarande tabell 4.1 för friliggande byggnad enligt tabell 4.2.

TABELL 4.2. Formfaktorer för olika fasadytor och takhalvor vid anblåsning vinkelrätt mot långsida respektive gavel för fritt exponerad byggnad enligt vindtunnelmätningar (Wirén 1984 a).

Anblåsning mot	Byggnadssida				
	Långsida		Gavel		Tak
Långsida	lovart	lä			lovart lä
	+0.50	-0.68	-0.90		+0.25 -0.77
Gavel			lovart	lä	
		-0.48	0.60	-0.32	-0.57

Dessa c_p -värden har använts vid beräkningen av luftomsättningsmatrisen i tabell 5.1 nedan med täthetskravet enligt SBN 80 ($n_{50} = 3 \text{ h}^{-1}$, innetemperatur = $+20^\circ\text{C}$).

En jämförelse mellan tabell 4.1 (friliggande byggnad) och tabell 4.2 visar klara skillnader. PHOENICS-simuleringarna har gett till beloppet mindre värden (utom för långsida i lovart) och svagare tryckdifferenser mellan motstående lovart- och lätytor än vindtunnelmätningarna. Detta kan vara förklarligt med hänsyn till skillnaderna i byggnadsgeometri i de båda fallen samt beräkningsförutsättningarna i övrigt vid PHOENICS-simuleringen.

Motsvarande värden enligt SBN 80 för en byggnad med rektangulär planform och sadeltak med 45° lutning har sammanställts i tabell 4.3.

TABELL 4.3. Formfaktorer för olika fasadytor och takhalvor vid anblåsning vinkelrätt mot långsida respektive gavel för fritt exponerad byggnad enligt SBN 80, fall A. (*)Medelvärde fall A och B).

Anblåsning mot	Byggnadssida				
	Långsida		Gavel		Tak
Långsida	lovart	lä			lovart lä
	+0.7	-0.5	-0.6		+0.4 -0.25
Gavel			lovart	lä	
		-0.6	+0.7	-0.5	-0.45*

5. DISKUSSION

5.1 Översikt

Lägesberoende variationer i olika klimatelement uppträder på flera rumsskalor. För den fysiska planeringen är effekter på mikroskalan och den lokala skalan av primärt intresse genom att dessa effekter i stor utsträckning är resultat av olika verksamheter i samhället. Mesoskaliga effekter har betydelse vid val av referensstation för bestämningen av de klimatologiska förutsättningsarna i planeringsprocessen.

Lokala och mikroskaliga klimatobservationer har fått ökad betydelse i bebyggelseplaneringen under den senaste 10-årsperioden. Skälet härtill är främst oljeprishöjningarna under 1970-talet och behovet av bättre energihushållning i bebyggelsen. Dessutom har även klimatets betydelse för komfortupplevelsen utomhus uppmärksamats mer än tidigare.

Möjligheterna till en rationell behandling av klimatet som en planeringsfaktor har hittills varit starkt begränsade både på grund av att ändamålsenliga metoder härför saknats och av bristen på lämpligt strukturerade klimatdata. Härigenom har klimatanpassningen av bebyggelsen måst ske med utgångspunkt från enkla, huvudsakligen kvalitativa bedömningar av förväntade lokala eller mikroskaliga variationer i ett eller flera klimatelement. Det har varit svårt att kvantifiera klimatvariationernas betydelse för energihushållningen eller utekomforten och därmed också svårt eller omöjligt att värdera olika planeringsalternativ.

De arbeten, som redovisas i föreliggande rapport, syftar till att skapa ett klimatologiskt underlag samt metoder och modeller, som kan möjliggöra en rationell analys av olika klimatberoende frågeställningar i bebyggelseplaneringen, speciellt en bättre energihushållning. Arbetet har koncentrerats till de tre klimatelement (temperatur, vind, solstrålning) som bedömts ha störst betydelse för energibehovet.

Följande diskussion avser att belysa olika felkällor och dessas betydelse vid tillämpningen av de olika beräkningsmetoderna. En fullständig genomgång av alla tänkbara osäkerhetsfaktorer är dock inte möjlig att utföra bl a på grund av svårigheterna att särskilja den klimatberoende energiförlusten från den totala, uppmätta energiförbrukningen i byggnader liksom att särskilja faktiska transmissions- och infiltrationsförluster. Osäkerheterna i beräkningarna av dessa förluster har därför undersökts genom vissa jämförande beräkningar med olika val av byggnadsknutna och klimatologiska indata.

5.2 Beräkningar av lokala klimatdata

Bestämningen av lokalt representativa klimatdata direkt och enbart genom lokala mätningar är en praktisk omöjlighet. Istället måste sådana data genereras genom omräkning av data från meteorologiska stationer. De metoder och modeller för beräkning av lokala data över vind, temperatur och solinstrålning, som här redovisats, bygger på rutinmässiga meteorologiska observationer och normalt tillgänglig information om landskapstyper, vegetationsförhållanden

och bebyggelsestruktur. Metoderna kan tillämpas utan tillgång till speciella lokala klimatmätningar. I vissa fall kan sådana mätningar dock vara motiverade för att kalibrera beräkningsmodeller eller för att verifiera resultaten.

Osäkerheten vid beräkning av lokala data beror av följande faktorer:

- Fel i primärobservationerna
- Fel i de allmänna meteorologiska förutsättningarna
- Fel i karteringen av omgivningsegenskaperna
- Fel i omräkningsmetoden

Den första felkällan kan anses vara i allt väsentligt eliminerad genom de kontroll- och rättningsprocedurer, som observationsmaterialen genomgått före lagringen. Enstaka, slumpmässiga fel kan dock kvarstå.

Den andra felkällan är sammansatt av flera faktorer. En generell förutsättning vid omräkningen är att lokala avvikelser från observationerna vid en meteorologisk station enbart beror av skillnader i omgivningsegenskaperna. Fel på grund av rumsvariationer i de överordnade meteorologiska förhållandena, t ex horisontella inhomogeniteter i molnigheten eller luftströmningen, kan förekomma. Med hänsyn härtill kan omräkningen inte göras över alltför stora avstånd. Som framgått av vissa tester kan omräkning ske med gott resultat över avstånd upp till ett par mil. Några systematiska undersökningar av denna frågeställning har dock hittills inte utförts.

En annan felkälla, som delvis sammanhänger med den föregående, är klassificeringen i stabilitetstyper (PT-klasser). Fel kan här uppstå antingen på grund av bristande precision i observationerna eller på grund av att stabilitetsklassen inte är representativ för båda platserna. Metoden är dessutom tämligen grov. Det finns både anledning och möjligheter att förbättra detta led i omräkningen.

De två första felkällorna orsakar väsentligen slumpmässiga fel, vilka ökar spridningen i beräknade lokala värden. De två senare kan däremot ge systematiska fel. Dessa kan i viss utsträckning reduceras med hjälp av lokala mätningar under en kortare tidsperiod. Man kan t ex justera skrovlighetskarteringarna till optimal överensstämmelse mellan beräknade och uppmätta vindhastigheter.

Osäkerheten i beräkningen av lokala data framgår av de tester, som redovisats i avsnitt 2.3.3 ovan beträffande vindomräkning och i Taesler och Andersson (1984 a) beträffande solstrålningsberäkningarna. De systematiska felen är små i båda dessa fall. Ifråga om solstrålningsdata är även de slumpmässiga avvikelserna mellan beräknade och uppmätta data små. Vindberäkningarna visar avsevärd spridning speciellt vid svagare vindar. Spridningen är dock inte större än vad som erhålles vid direkt jämförelse mellan meteorologiska vindobservationer och samtidigt uppmätta lokala vindhastigheter. Detta innebär att en rent empirisk bestämning av det lokala vindklimatet inte skulle ge bättre resultat. Spridningen är troligen ett uttryck för att mesoskaliga effekter, vilka inte beaktas i omräkningsmetoden, får relativt sett större betydelse vid svagare vindar.

Vindomräkningsmetoden kan förbättras genom användande av mera avancerade numeriska modeller. Flera sådana finns tillgängliga vid SMHI - bl a skulle PHOENICS-modellen troligen kunna appliceras även på större rumsskala. Beräkningstiderna för de numeriska gränsskiktsmodeller, som skulle kunna komma ifråga, är dock ännu så långa, att det är orealistiskt att räkna igenom fleråriga tids-serier för generering av lokal statistik.

Temperaturomräkningen bygger på empiriska resultat från tidigare undersökningar och vissa generella semiempiriska relationer. Den metodik för bestämning av lokala korrektioner, som beskrivits i avsnitt 2.4 är mycket schematisk och bör betraktas som ett provisorium. Temperaturförhållandena i marknära nivå styrs emellertid av teoretiskt komplicerade processer, som inte kan parametreras på ett enkelt sätt. En hög grad av empiricism är därför nödvändig för att få realistiska värden på temperaturkorrektionerna. Betydelsen av denna svaghet begränsas dock av att lokala eller mikroskaliga temperaturvariationer är svagt utvecklade utom i speciella, relativt sällan förekommande meteorologiska situationer. Som närmare framgår i avsnitt 5.4 nedan har de lokala temperaturkorrektionerna ett förhållandevis liten inverkan på de beräknade energiförlusterna. Effekten kan dock bli större i mindre vindutsatta områden med kraftigt markerad topografi. Störst betydelse ur energisynpunkt har troligen de lokala temperaturförändringarna i bebyggelse, speciellt i stora och medelstora tätorter. De bebyggelseknutna temperaturförändringarna är empiriskt mycket väl dokumenterade i litteraturen. Temperaturkorrektionerna i bebyggelse bedöms vara säkrare bestämda än korrektionerna i olika typer av naturlig omgivning. Samtidigt måste man dock konstatera att de fysikaliska mekanismer, som styr uteluftens värmeinhåll i bebyggelsen visserligen är kända i princip men att bebyggelsestrukturens inverkan härpå ännu är mycket ofullständigt klarlagd. Detta medför bl a att det hittills inte varit möjligt att vidareutveckla boxmodellen (Taesler 1980 a) för lokalt differentierade beräkningar av den samlade bebyggelsens årliga energibudget.

5.3 Val av formfaktor-värden

Tabellerna 4.1-4.3 ovan ger tre olika uppsättningar c_p -värden för byggnader med enkel, rektangulär planform och sadeltak med 45° lutning. I två av fallen, tabell 4.1 och 4.2, gäller värdena för byggnader med bestämda, men inbördes olika geometriska proportioner medan tabell 4.3 gäller under något mer generella förutsättningar, vilka inkluderar de båda övriga fallen. För att få en uppfattning om formfaktoruppsättningens betydelse för infiltrationsberäkningarna har jämförande beräkningar utförts med användande av de tre nämnda uppsättningarna av c_p -värden. Som beräkningsobjekt har i alla tre fallen valts ett friliggande småhus med samma yttermått och taklutning som ovan (Wirén 1984 a, fall A00). Byggnadens täthet har antagits motsvara SBN 80 ($n_{50} = 3 \text{ oms.h}^{-1}$) och innetemperaturen har antagits vara konstant = +20°C.

För en viss anblåsningsriktning (formfaktorfördelning) beräknas luftomsättningen en gång för alla vid olika kombinationer av temperatur och vindhastighet på referensnivån (friströmshastigheten). Denna s k *luftomsättningsmatris*, som lagras i datorn, användes därefter vid de fortsatta beräkningarna. En sådan matris exemplifieras i tabell 5.1, som beräknats med c_p -värden enligt tabell 4.2 för anblåsning vinkelrätt mot byggnadens långsida (jfr även fig. 4.1).

TABELL 5.1. Luftomsättningsmatris beräknad med ENLOSS-modellen med c_p -värden enligt vindtunnelmätningar utförda av Wirén. Tabellen avser anblåsning vinkelrätt mot långsidan av ett friliggande $1\frac{1}{2}$ plans småhus med täthet enligt SBN 80.

Temp. (°C)	Vindhastighet (m/s)															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
35	.132	.129	.189	.315	.450	.596	.750	.913	1.082	1.258	1.440	1.627	1.820	2.017	2.219	2.425
34	.127	.123	.190	.315	.451	.597	.752	.914	1.084	1.260	1.443	1.630	1.823	2.021	2.223	2.430
33	.121	.131	.191	.316	.452	.598	.753	.916	1.085	1.263	1.445	1.634	1.827	2.025	2.228	2.435
32	.115	.130	.191	.316	.452	.599	.754	.918	1.088	1.265	1.448	1.637	1.831	2.029	2.232	2.440
31	.109	.128	.192	.317	.453	.600	.756	.919	1.090	1.268	1.451	1.640	1.834	2.033	2.237	2.445
30	.103	.125	.192	.317	.454	.601	.757	.921	1.092	1.270	1.454	1.643	1.838	2.037	2.242	2.450
29	.096	.127	.193	.317	.454	.602	.758	.923	1.094	1.273	1.457	1.647	1.842	2.042	2.246	2.455
28	.089	.128	.193	.318	.455	.603	.760	.924	1.096	1.275	1.460	1.650	1.845	2.046	2.251	2.460
27	.082	.133	.193	.318	.456	.604	.761	.926	1.099	1.277	1.463	1.653	1.849	2.050	2.256	2.466
26	.074	.145	.193	.319	.455	.605	.762	.928	1.101	1.280	1.466	1.657	1.853	2.054	2.260	2.471
25	.066	.139	.193	.319	.457	.606	.764	.930	1.103	1.283	1.469	1.660	1.857	2.059	2.265	2.476
24	.057	.102	.193	.319	.457	.606	.765	.931	1.105	1.285	1.471	1.663	1.861	2.063	2.270	2.481
23	.048	.133	.193	.319	.458	.607	.766	.933	1.107	1.288	1.474	1.667	1.865	2.067	2.275	2.486
22	.040	.145	.193	.319	.459	.608	.768	.935	1.109	1.290	1.477	1.670	1.869	2.072	2.279	2.492
21	.039	.092	.193	.319	.459	.609	.769	.936	1.111	1.293	1.480	1.674	1.872	2.076	2.284	2.497
20	.040	.103	.193	.319	.459	.610	.770	.938	1.114	1.295	1.484	1.677	1.876	2.080	2.289	2.502
19	.041	.119	.192	.320	.460	.611	.772	.940	1.116	1.299	1.487	1.681	1.880	2.085	2.294	2.508
18	.064	.134	.192	.320	.461	.612	.773	.942	1.118	1.301	1.490	1.684	1.884	2.089	2.299	2.513
17	.071	.148	.191	.320	.461	.613	.774	.944	1.120	1.303	1.493	1.688	1.889	2.094	2.304	2.519
16	.059	.155	.190	.320	.462	.614	.776	.945	1.122	1.306	1.496	1.691	1.892	2.098	2.309	2.524
15	.068	.150	.190	.320	.462	.615	.777	.947	1.124	1.309	1.499	1.695	1.896	2.103	2.314	2.530
14	.076	.139	.189	.320	.463	.616	.778	.949	1.127	1.311	1.502	1.699	1.900	2.107	2.319	2.535
13	.085	.133	.188	.320	.463	.617	.780	.951	1.129	1.314	1.505	1.702	1.904	2.112	2.324	2.541
12	.093	.114	.187	.319	.463	.618	.781	.952	1.131	1.317	1.508	1.706	1.908	2.116	2.329	2.546
11	.100	.117	.186	.319	.464	.619	.782	.954	1.133	1.319	1.511	1.709	1.913	2.121	2.334	2.552
10	.107	.113	.185	.319	.464	.620	.784	.956	1.135	1.322	1.515	1.713	1.917	2.126	2.339	2.557
9	.115	.116	.185	.319	.465	.620	.785	.958	1.138	1.325	1.518	1.717	1.921	2.130	2.344	2.563
8	.122	.111	.185	.319	.465	.621	.787	.960	1.140	1.328	1.521	1.720	1.925	2.135	2.350	2.569
7	.128	.123	.185	.318	.466	.622	.788	.962	1.143	1.330	1.524	1.724	1.929	2.140	2.355	2.575
6	.135	.131	.185	.318	.466	.623	.789	.963	1.145	1.331	1.528	1.728	1.934	2.144	2.360	2.580
5	.141	.137	.185	.318	.466	.624	.791	.965	1.147	1.334	1.531	1.732	1.938	2.149	2.365	2.586
4	.148	.144	.186	.317	.467	.625	.792	.967	1.150	1.339	1.534	1.735	1.942	2.154	2.371	2.592
3	.154	.151	.186	.317	.467	.626	.794	.969	1.152	1.342	1.539	1.739	1.946	2.159	2.376	2.598
2	.160	.157	.185	.316	.467	.627	.795	.971	1.154	1.344	1.541	1.743	1.951	2.164	2.382	2.604
1	.167	.163	.187	.316	.468	.628	.796	.973	1.157	1.347	1.544	1.747	1.955	2.169	2.387	2.610
0	.173	.170	.189	.316	.468	.629	.798	.975	1.159	1.350	1.548	1.751	1.959	2.174	2.392	2.616
-1	.179	.176	.189	.316	.468	.630	.799	.977	1.162	1.353	1.551	1.755	1.964	2.179	2.398	2.622
-2	.184	.182	.213	.316	.469	.630	.801	.979	1.164	1.356	1.554	1.759	1.968	2.183	2.403	2.628
-3	.190	.188	.216	.316	.469	.631	.802	.981	1.166	1.359	1.558	1.763	1.973	2.188	2.409	2.634
-4	.196	.194	.215	.317	.469	.632	.803	.983	1.169	1.362	1.561	1.767	1.977	2.193	2.415	2.640
-5	.202	.200	.218	.317	.469	.633	.805	.984	1.171	1.365	1.565	1.771	1.982	2.199	2.420	2.646
-6	.209	.206	.213	.318	.469	.634	.805	.986	1.174	1.369	1.569	1.775	1.987	2.204	2.426	2.653
-7	.213	.211	.203	.318	.470	.635	.805	.988	1.175	1.371	1.572	1.779	1.991	2.209	2.432	2.659
-8	.219	.217	.206	.319	.470	.636	.809	.990	1.179	1.374	1.575	1.783	1.996	2.214	2.437	2.665
-9	.225	.223	.212	.319	.470	.637	.811	.992	1.181	1.377	1.579	1.787	2.000	2.219	2.443	2.671
-10	.230	.229	.219	.320	.470	.637	.812	.994	1.184	1.380	1.583	1.791	2.005	2.224	2.449	2.678
-11	.236	.234	.223	.321	.470	.638	.814	.996	1.186	1.383	1.586	1.795	2.010	2.230	2.455	2.684
-12	.241	.239	.218	.321	.470	.639	.815	.998	1.189	1.386	1.590	1.799	2.015	2.235	2.460	2.691
-13	.247	.245	.226	.322	.470	.640	.816	1.000	1.191	1.389	1.593	1.804	2.019	2.240	2.466	2.697
-14	.252	.251	.232	.323	.470	.641	.818	1.002	1.194	1.392	1.597	1.809	2.024	2.246	2.472	2.704
-15	.258	.256	.239	.323	.471	.642	.819	1.004	1.197	1.395	1.601	1.812	2.029	2.251	2.478	2.710
-16	.263	.261	.245	.324	.471	.643	.821	1.007	1.199	1.399	1.604	1.816	2.034	2.256	2.484	2.717
-17	.269	.267	.251	.325	.472	.643	.822	1.009	1.202	1.402	1.608	1.821	2.039	2.262	2.490	2.724
-18	.274	.272	.257	.325	.473	.644	.824	1.011	1.204	1.405	1.612	1.825	2.044	2.267	2.497	2.730
-19	.280	.278	.263	.326	.474	.645	.825	1.013	1.207	1.408	1.616	1.829	2.048	2.273	2.503	2.737
-20	.285	.283	.269	.326	.474	.646	.827	1.015	1.210	1.412	1.620	1.834	2.053	2.279	2.509	2.744
-21	.291	.289	.275	.327	.475	.647	.828	1.017	1.213	1.415	1.623	1.838	2.058	2.284	2.515	2.751
-22	.296	.294	.281	.327	.476	.647	.830	1.019	1.215	1.418	1.627	1.843	2.064	2.290	2.521	2.758
-23	.302	.299	.286	.328	.477	.648	.831	1.021	1.218	1.421	1.631	1.847	2.069	2.296	2.528	2.765
-24	.307	.305	.292	.328	.478	.649	.833	1.023	1.221	1.425	1.635	1.852	2.074	2.301	2.534	2.772
-25	.313	.310	.298	.328	.479	.650	.834	1.026	1.223	1.428	1.639	1.856	2.079	2.307	2.540	2.779
-26	.319	.315	.304	.328	.480	.651	.836	1.028	1.226	1.431	1.643	1.861	2.084	2.313	2.547	2.786
-27	.324	.321	.309	.327	.481	.651	.837	1.030	1.229	1.435	1.647	1.865	2.089	2.319	2.553	2.793
-28	.330	.326	.315	.326	.482	.652	.839	1.032	1.232	1.438	1.651	1.870	2.094	2.325	2.560	2.800
-29	.336	.331	.320	.327	.484	.653	.841	1.034	1.235	1.442	1.655	1.875	2.100	2.330	2.566	2.807
-30	.341	.337	.326	.330	.485	.653	.842	1.036	1.237	1.445	1.659	1.879	2.105	2.336	2.573	2.814

Motsvarande data beräknade med c_p -värden enligt tabell 4.1 (PHOENICS) respektive tabell 4.3 (SBN 80) visas grafiskt i figur 5.1 respektive 5.2.

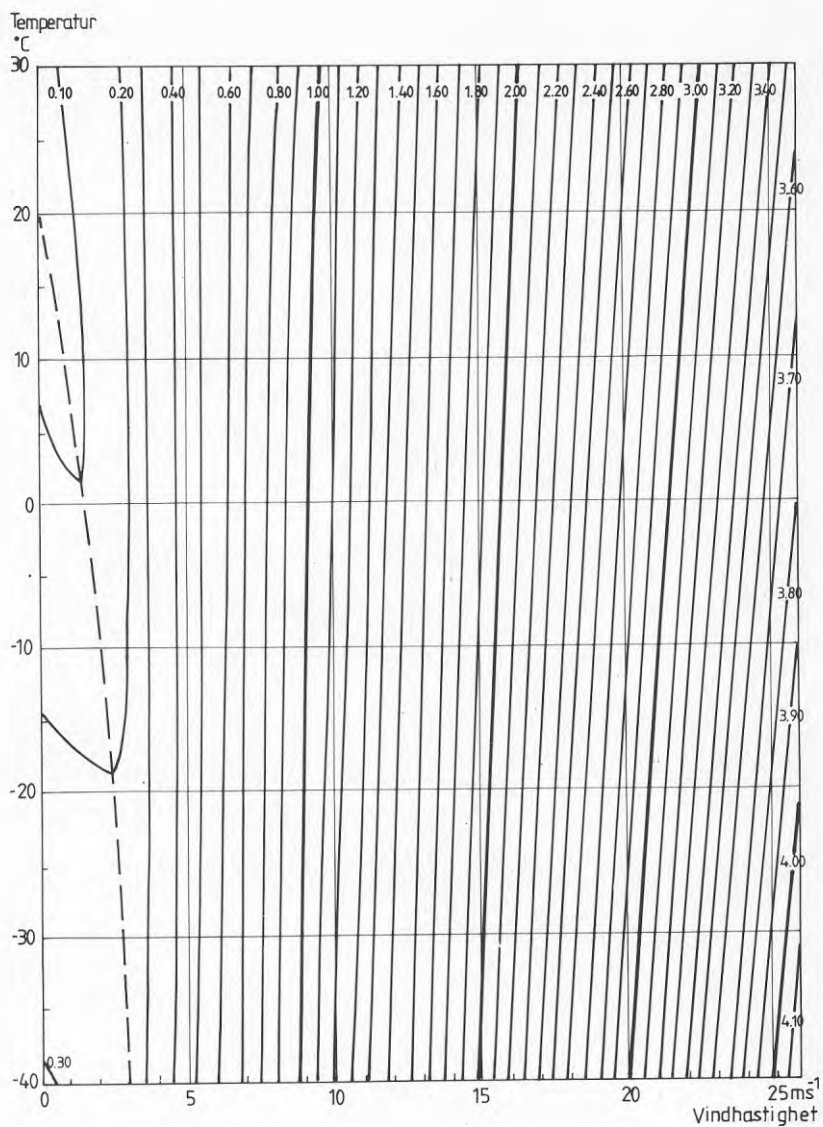
En jämförelse mellan tabell 5.1 och figur 5.1 respektive 5.2 visar följande.

- Vid vindhastigheter $\lesssim 4 \text{ ms}^{-1}$ är n (antalet luftomsättningar / timme) i stort sett lika i de två senare fallen och ca 40% lägre än enligt tabell 5.1. Inom detta hastighetsområde avtar vindhastighetsberoendet i alla tre fallen med fallande temperatur (ökande temperaturdifferens inne-ute). Temperaturberoendet är dock relativt svagt. En temperaturändring på 30° (från $+10^\circ$ till -20°C) ger en ökning av luftomsättningen med ca 40%. I figur 5.2 har ett svagt minimum i luftomsättningen markerats med den streckade kurvan. Detta är troligen ett resultat av den speciella kombinationen av c_p -värden i detta fall. Motsvarande minimum är svårt att återfinna i de två andra fallen.
- Vid vindhastigheter $\gtrsim 4 \text{ ms}^{-1}$ ökar luftomsättningen snabbt i alla tre fallen och snabbast i tabell 5.1. Ökningen är approximativt linjär. Över hastighetsintervallet $4\text{--}15 \text{ ms}^{-1}$ är öknings-takten ca $14\%/1 \text{ ms}^{-1}$ både i figur 5.1 och 5.2 och ca $20\%/1 \text{ ms}^{-1}$ i tabell 5.1. Temperaturberoendet kan vid dessa högre vindhastigheter betraktas som i det närmaste försumbart i jämförelse med hastighetsberoendet.

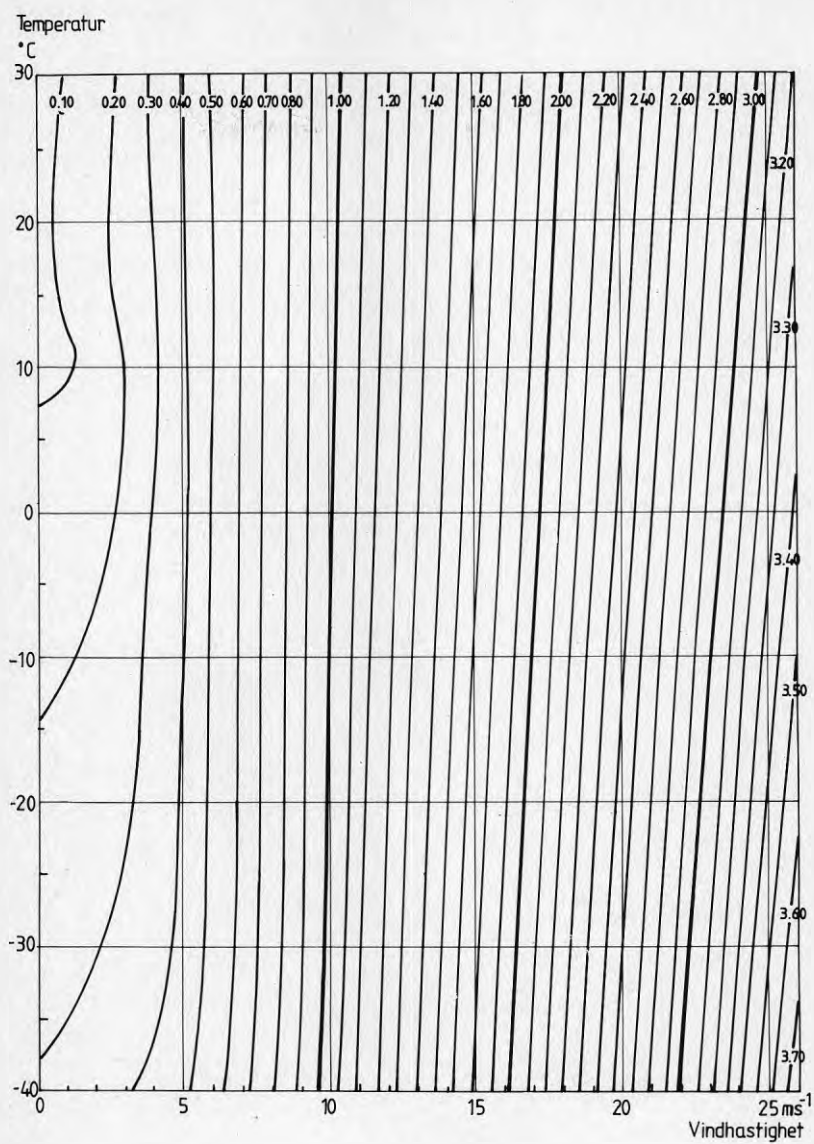
Motsvarande resultat för andra anblåsningsriktningar visar att luftomsättningen är praktiskt taget oberoende av riktningen vid vindhastigheter $\lesssim 3 \text{ ms}^{-1}$. Vid högre hastigheter blir däremot omsättningen alltmer beroende av anblåsningsriktningen. Vid t ex 10 ms^{-1} är luftomsättningen således ca dubbelt så stor vid anblåsning vinkelrätt mot långsidan som mot gaveln. Byggnadens orientering kan alltså påverka infiltrationsförlusterna.

Resultaten för en friliggande byggnad visar sammanfattningsvis att c_p -värden enligt tabell 4.1 och 4.3 ger en underskattning av den momentana luftomsättningen med 30–40% jämfört med beräkningar enligt tabell 4.2. Fritt exponerade byggnader hör dock till undantagen. I de flesta fall har byggnaden en mer eller mindre komplex omgivning, innehållande annan bebyggelse, träd- eller buskvegetation samt varierande topografi, vilket avsevärt försvårar bestämningen av c_p -värden.

Tryckfördelning och luftomsättning vid olika typer av lokal omgivning är ännu mycket ofullständigt studerade. Resultaten i tabell 4.1 tyder dock på att vindtrycket och tryckdifferenserna över byggnaden reduceras mycket kraftigt av omgivande bebyggelse. Samma effekt framgår också ur Wiréns data från vindtunnelmätningarna på småhus. Wirén visar också att förändringen av formfaktorer från fritt exponerat läge till ett läge i det inre av ett bebyggelseområde till största delen äger rum inom en randzon omfattande 2–3 husrader. Skillnaderna i c_p -värden mellan friliggande byggnad respektive byggnad i grupp är betydligt större än skillnaderna inbördes mellan de tre uppsättningarna c_p -värden för friliggande byggnader i tabell 4.1–4.3.



FIGUR 5.1. Antal luftomsättningar/timme för friliggande $1\frac{1}{2}$ plans småhus vid olika kombinationer av utetemperatur och vindhastighet 10 m ö m. Täthetskrav enligt SBN 80.



FIGUR 5.2. Som figur 5.1. Formfaktorer enligt SBN 80, anblåsning mot långsidan.

Effekten av omgivande bebyggelse på luftomsättningen exemplifieras i tabell 5.2. Tabellen innehåller ett utdrag ur luftomsättningsmatriser beräknade för samma småhus som tidigare med användande av c_p -värden enligt vindtunnelmätningarna (Wirén 1984 a, fall A00 resp. H13) och enligt PHOENICS-simuleringarna för fritt läge respektive läge i grupp enligt figur 4.4. Av tabellen framgår att ett skyddat läge i bebyggelse reducerar luftomsättningen till approximativt hälften med c_p -värden enligt vindtunneldata och till mellan hälften och en fjärdedel med c_p -värden enligt PHOENICS-simuleringarna.

TABELL 5.2. Jämförelse av luftomsättning för friliggande byggnad respektive byggnad i grupp vid beräkningar med c_p -värden enligt Wirén (fall A00, H13) och PHOENICS/SMHI (prototypversionen). Anblåsning vinkelrätt mot långsidan. Värderna anger $\text{oms} \cdot \text{h}^{-1}$.

Temp °C	FRILIGGANDE							
	Wirén, A00				PH/S			
	Vindhast. (ms^{-1})				Vindhast. (ms^{-1})			
	1	4	10	15	1	4	10	15
+20	0.10	0.46	1.48	2.50	0.11	0.29	0.95	1.60
+15	0.15	0.46	1.50	2.53	0.11	0.29	0.96	1.62
+10	0.12	0.46	1.52	2.56	0.10	0.29	0.96	1.63
+ 5	0.14	0.47	1.53	2.59	0.12	0.29	0.97	1.65
0	0.17	0.47	1.55	2.62	0.15	0.30	0.98	1.66
- 5	0.20	0.47	1.57	2.65	0.17	0.31	0.99	1.68
-10	0.23	0.47	1.58	2.68	0.19	0.32	1.00	1.70
-15	0.26	0.47	1.60	2.71	0.21	0.34	1.01	1.71
-20	0.28	0.47	1.62	2.74	0.22	0.35	1.02	1.73
-25	0.31	0.48	1.64	2.78	0.25	0.36	1.03	1.75
-30	0.34	0.48	1.66	2.81	0.27	0.38	1.05	1.78

Temp °C	I GRUPP							
	Wirén, H13				PH/S			
	Vindhast. (ms^{-1})				Vindhast. (ms^{-1})			
	1	4	10	15	1	4	10	15
+20	0.08	.24	0.78	1.31	0.05	0.14	0.23	0.38
+15	0.11	.24	0.78	1.32	0.05	0.13	0.23	0.39
+10	0.09	.24	0.79	1.34	0.06	0.12	0.23	0.39
+ 5	0.10	.24	0.80	1.65	0.07	0.12	0.23	0.39
0	0.13	.23	0.81	1.37	0.09	0.12	0.23	0.40
- 5	0.15	.23	0.81	1.38	0.11	0.11	0.23	0.40
-10	0.17	.23	0.82	1.40	0.12	0.13	0.23	0.40
-15	0.19	.23	0.83	1.41	0.13	0.14	0.23	0.41
-20	0.21	.23	0.84	1.43	0.15	0.16	0.23	0.41
-25	0.23	.26	0.85	1.45	0.16	0.17	0.24	0.41
-30	0.25	.26	0.86	1.46	0.18	0.18	0.24	0.41

Betydelsen för byggnadens energibehov av sådana lägesberoende skillnader i luftomsättningen är beroende av de vind- och temperaturförhållanden, som råder på en viss ort. Årsmedianvindhastigheterna i Sverige är i inlandet allmänt $< 4 \text{ ms}^{-1}$ (vid SYNOP- och TIMSYNOP-stationer på 10 m ö m) och $\lesssim 6 \text{ ms}^{-1}$ överallt utom i exponerade kustlägen (fjälltrakterna undantagna). Över bebyggda områden är vindhastigheten i regel lägre än vid observationstationerna, varför vindhastigheten under huvuddelen av året kommer att ligga inom det intervall $\lesssim 4 \text{ ms}^{-1}$, där luftomsättningen är relativt sett minst hastighetsberoende. Trots detta kan såsom närmare framgår i avsnitt 5.4.2, lokala variationer i vindförhållandena ge upphov till betydelsefulla skillnader i värmeförlusten för en byggnad.

5.4 Val av klimatologiska indata

5.4.1 Tidsserier eller frekvensstatistik

SYNOP- och TIMSYNOP-obsarna finns lagrade som mångåriga tidsserier för respektive station. Vid datorkörningar med ENLOSS- och SOLTIMSYN-modellerna läses och bearbetas data timme för timme, vilket är mycket tidskrävande och upptar stort minnesutrymme i datorn. Som nämnts i avsnitt 4.2.4 kan beräkningstiden för ENLOSS-körningarna reduceras med en faktor 100 genom att istället använda indata av den typ, som exemplifierats i tabell 2.4 a-j. Produktionen av dessa tabeller är visserligen också tidskrävande men görs en gång för alla för en viss observationsstation.

Motsvarande förenkling vid SOLTIMSYN-beräkningar är inte möjlig med den struktur, som denna modell har. Eventuellt kan en förenklad version utvecklas, som medger användningen av på lämpligt sätt organiserade statistiska data.

Förenklingen vid ENLOSS-körningarna påverkar resultaten något med avseende på upplösning och noggrannhet. Tidsförlopp kan t ex inte studeras annat än i form av årsförlopp med medelvärden för varje kalendermånad. Månads- och årssummor eller -medelvärden av i första hand infiltrationsförlusterna blir mindre noggranna på grund av att vind och temperatur samverkar på ett icke-linjärt sätt. (Detta gäller även i viss mån för transmissionsförlusterna, jfr avsnitt 4.2.2.) Effekten härav har studerats genom jämförande beräkningar för en definierad byggnad med användande dels av tidsserier (timvärden) dels frekvensstatistik (enligt tabell 2.4) för en treårsperiod (1955-57).

Som beräkningsobjekt har valts samma byggnad (friliggande) som vid ovanstående jämförelser av luftomsättningsberäkningarna i avsnitt 5.3. Som meteorologisk referensstation har valts Ängelholms flygplats (Barkåkra). Beräkningarna omfattar följande moment.

- TLOSS, transmissionsförluster, $\bar{k} = 0.15 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ (medelvärde för hela byggnaden vid vindstilla).
- VLOSS, infiltrationsförluster, beräknade enligt avsnitt 4.2.3 med c_p -värden och täthet enligt SBN 80 (se avsnitt 5.3 ovan).
- QLOSS, summan av TLOSS och VLOSS.

Beräkningsresultaten sammanfattas i tabell 5.3 nedan. Tabellen ger samtidigt ett exempel på, hur de beräknade energiförlusterna fördelar sig på olika vindriktningar, se vidare nedan. Vid beräkningarna har byggnaden antagits vara orienterad med taknocken i O-V.

TABELL 5.3. Sammanställning av energiförluster (TLOSS, VLOSS samt QLOSS) för friliggande småhus beräknade med meteorologiska indata i form av *a. tidsserier* respektive *b. frekvensstatistik*. Angelholm (Barkåkra) 1955-57 (värden i kWh/år).

Vindrikt- ningssektor	Energiförlust					
	TLOSS		VLOSS		QLOSS	
	a	b	a	b	a	b
Lugnt	270	254	125	114	395	368
20 - 40	281	282	321	355	602	637
50 - 70	300	304	336	369	636	673
80 - 100	430	441	491	549	921	989
110 - 130	760	779	940	948	1599	1727
140 - 160	334	318	284	306	618	623
170 - 190	252	248	231	256	484	505
200 - 220	313	311	354	383	666	694
230 - 250	344	344	407	447	750	791
260 - 280	645	647	797	867	1442	1514
290 - 310	601	584	657	708	1258	1292
320 - 340	202	196	214	232	416	428
350 - 10	180	182	184	207	364	390
TOTALT	4910	4891	5261	5748	10171	10638

Tabellen visar överlag små skillnader, varför statistiska indata i form av frekvensfördelningar bör kunna användas istället för tidsserier utan större fel i slutresultatet. Vissa avvikelser bör dock noteras. Transmissionsförlusterna visar genomgående bättre relativ överensstämmelse än infiltrationsförlusterna. De senare överskattas, utom vid lugnt, systematiskt med ca 10% vid användande av frekvensfördelade indata (kolumn b). Beträffande transmissionsförlusterna visar kolumn b en svag tendens till underskattning med upp till 5%, vilket delvis uppväger överskattningen av VLOSS. Totalt ger kolumn b en överskattning på 5% relativt beräkningar med tidsserier som indata.

Det är av intresse att konstatera att VLOSS blir av samma storleksordning som TLOSS. Troligen är dock transmissionsförlusten underskattad genom att k -värdet (egentligen λ/d enligt ekv. (4.3)) är orealistiskt lågt. Av intresse är även att det relativa bidraget till QLOSS från olika vindriktningar uppvisar två tydliga och likvärdiga maxima - vid vind från omkring OSO ($80^\circ - 130^\circ$) respektive från omkring VNV ($260^\circ - 310^\circ$). Orsakerna härtill framgår delvis ur

tabell 2.4b. Båda sektorerna innehåller frekvensmaxima. Antalet timmar är dock större i OSO-sektorn än i VNV-sektorn (140 resp. 83 av totalt 448 timmar). Temperaturen är genomgående lägre i OSO-sektorn medan å andra sidan VNV-sektorn uppvisar avsevärt högre vindhastigheter. Vidare kan noteras att de kallaste vindarna (N-NNO, 350° - 040°) orsakar de *minsta* energiförlusterna - vilket främst förklaras av den låga förekomsten av dessa vindriktningar.

Vindriktningsberoendet är i relativa termer i stort sett detsamma för TLOSS som för VLOSS. Frågan, hur respektive förlustterm påverkas av en vindreducerande omgivning belyses något i avsnitt 5.4.2.

5.4.2 Val av referensstation

Genom omräkning av vind- och temperaturobservationerna från en meteorologisk referensstation (SYNOP- eller TIMSYNOP-station) genereras lokalt representativ klimatstatistik (motsvarande tabell-typ 2.4) för olika lägen inom ett visst område. I vissa fall kan härvid mer än en meteorologisk station komma ifråga som referensstation. Det finns därför anledning att ställa frågan, i vilken grad de lokalt beräknade energiförlusterna beror av valet av referensstation. Frågan har studerats i samband med ett annat aktuellt BFR-projekt¹⁾ avseende Ängelholms kommun, från vilket följande resultat hämtats. Detaljer beträffande stationslägen och lokala korrekationer redovisas i en kommande rapport från detta projekt.

Som referensstation vid beräkningar avseende olika lägen i Ängelholms kommun finns två stationer tillgängliga - Barkåkra flygplats, belägen i öppet slättlandskap ca 5 km N om Ängelholms tätort, samt Ljungbyheds flygplats, belägen i mera kuperat och delvis skogsbevuxet landskap ca 35 km SO om Ängelholm. Två beräkningspunkter har valts, belägna 3 km från varandra i den ostligaste delen av Ängelholms kommun och ca 20 km från vardera flygplatsen. Punkt 1 ligger mitt i ett mindre, öppet jordbruksområde medan punkt 2 är skyddad av skog i alla riktningar.

Som beräkningsobjekt har valts ett friliggande småhus med samma geometri och täthet som i det föregående men med ett mera realistiskt värmegenomgångstal ($k = 0.4$ vid vindstilla). Som indata har använts frekvensstatistik enligt tabell 2.4 för perioden 1955-79. Beräknade värden av TLOSS, VLOSS och QLOSS (kWh/år) är sammanställda i tabell 5.4 nedan.

¹⁾ Lokalklimat och energihushållning i bebyggelse - generaliserade beräkningar för Ängelholms kommun.

TABELL 5.4. Energiförluster (kWh/år) för ett modernt småhus beräknade med indata från två olika meteorologiska referensstationer (Barkåkra respektive Ljungbyhed) med och utan lokala korrekationer av vindhastighet och temperatur. Beräkningspunkterna 1, 2 representerar lägen i lokalt öppen, flack terräng respektive skogsterräng. Medelvärden över 25 år (1955-79). Byggnadsorientering O-V.

Indata Statistik från	Beräkningspunkt							
	Lokal korr. av temp vind	1			2			
		TLOSS	VLOSS	QLOSS	TLOSS	VLOSS	QLOSS	
Barkåkra		7 543	4 718	12 261	7 543	4 718	12 261	
	x	7 915	4 906	12 821	8 039	5 006	13 045	
		x	7 530	3 694	11 224	7 445	1 763	9 207
	x	x	7 900	3 853	11 753	7 933	1 915	9 848
Ljungbyhed		7 619	3 901	11 520	7 619	3 901	11 520	
	x	7 686	3 949	11 635	7 773	4 009	11 781	
		x	7 624	3 784	11 408	7 538	1 749	9 287
	x	x	7 691	3 830	11 521	7 690	1 744	9 434

Närheten till kusten samt det flacka och i alla riktningar öppna jordbrukslandskapet omkring Barkåkra ger denna station ett i jämförelse med Ljungbyhed blåsigare och, vintertid, även något mildare klimat. Dessa mesoklimatiska skillnader återspeglas i tabell 5.4. Beräkningarna utan lokal korrektion av vare sig temperatur eller vindhastighet ger ca 20% högre infiltrationsförlust med indata från Barkåkra än från Ljungbyhed. Transmissionsförlusterna är däremot praktiskt taget desamma - skillnaden är endast 1%. Detta kan förklaras av den höga frekvensen av vindar från ostliga riktningar under vintermånaderna och av det mera vindutsatta läget på Barkåkra. Härigenom försvagas det maritima inflytandet på lufttemperaturen vid Barkåkra samtidigt som det yttre värmeövergångstalet α_K (ekv. 4.6) och därmed transmissionsförlusten ökas.

Beträffande effekterna av de lokala temperatur- och vindkorrektionerna visar tabellen följande.

- Både transmissions- och infiltrationsförlusterna påverkas av en korrektion av *endera* klimatvariabeln. Man kan alltså inte bestämma inverkan av lokala temperaturvariationer på energiförlusterna utan att samtidigt ta hänsyn till de lokala vindförhållandena.

Effekterna är inte additiva, d v s

$$\text{och} \quad \left. \begin{array}{l} \text{TLOSS(T-korr)} + \text{VLOSS}(\bar{u}\text{-korr)} \\ \text{TLOSS}(\bar{u}\text{-korr)} + \text{VLOSS(T-korr)} \end{array} \right\} + \text{QLOSS(T-korr} + \bar{u}\text{-korr)}$$

Effekterna av de lokala temperaturkorrektionerna överskattas (i dessa fall) om inte lokal korrigerings av vindhastigheten sker samtidigt.

- Korrigering av *enbart temperaturen* medför både i punkt 1 och 2 större skillnader mellan beräknade värden än om den observerade temperaturen vid Barkåkra respektive Ljungbyhed används. Detta gäller både TLOSS, VLOSS och QLOSS. Korrektionen av den senare stationens temperatur har dock härvid försumbar effekt.
- Korrigering av *enbart vindhastigheten* medför både i punkt 1 och 2 en väsentligt bättre överensstämmelse i beräknade värden på VLOSS och QLOSS än om de okorrigerade vindhastigheterna används. TLOSS-beräkningen påverkas däremot obetydligt.
- Samtidig korrigering av *både temperatur och vind* ger för både punkt 1 och 2 den bästa överensstämmelsen i alla termer. Skillnaden i total beräknad energiförlust (QLOSS) med korrigerade indata från Barkåkra respektive Ljungbyhed är i punkt 1 ca 2% och i punkt 2 ca 4%. Samtidigt är skillnaden i QLOSS mellan punkt 1 och 2 ca 17% både med korrigerade indata från enbart Barkåkra (16%) och Ljungbyhed (18%).

I det ovannämnda Ängelholmsprojektet har även vissa jämförelser gjorts av beräknade solvärmestillskott med användande av indata från de två referensstationerna. Resultaten, som närmare redovisas i kommande projektrapport, visar att valet av referensstation påverkar resultaten med endast $\pm 1-3\%$. Ett liknande resultat erhöles ovan (avsnitt 2.5) vid jämförelsen av beräkningar med indata från Tullinge respektive Hårsfjärden, se tabell 2.5. Solinstrålningen påverkas däremot mycket starkt av mikroskaliga variationer i horisontavskärmningen (se Taesler och Andersson 1984a eller SEAS-tidningen nr 1 1985).

5.4.3 Beräkningsperiodens längd

Osäkerheter i jämförande beräkningar av energiförlusterna beror bl a även av, vilka år som ligger till grund för beräkningarna. Effekten av denna osäkerhetsfaktor har studerats i ett tidigare projekt (Taesler och Lindahl 1984). Resultaten för ett modernt småhus visade bl a att skillnaden i QLOSS mellan högsta och lägsta årsvärden under en 25-årsperiod kan uppgå till 25-30% av medelvärdet under hela perioden. Denna skillnad är 3-4 gånger så stor som medeldifferensen i QLOSS mellan två olika lokala lägen.

Tabell 5.5 visar de relativa variationerna mellan olika år under en 25-årsperiod i TLOSS, VLOSS respektive QLOSS enligt beräkningar med observationer från Barkåkra som indata. Även i detta fall är differensen mellan max- och minvärden i QLOSS ca 30%. Detta är av samma storleksordning som de största lokala skillnaderna inom Ängelholms kommun i QLOSS-medelvärden över en 25-årsperiod.

TABELL 5.5. Beräknade årliga energiförluster (TLOSS, VLOSS och QLOSS) uttryckta i procent av respektive medelvärde under 25-årsperioden 1955-79. Indata från Ängelholms flygplats. (Max- och min-värden kursiverade).

År	Relativ-värden (%)		
	TLOSS	VLOSS	QLOSS
1955	105	106	106
56	109	<i>124</i>	<i>116</i>
57	99	109	103
58	105	103	104
59	92	91	91
60	101	109	105
61	95	96	95
62	106	111	108
63	106	108	106
64	99	94	97
65	104	107	105
66	104	104	104
67	95	101	99
68	98	93	96
69	102	102	102
70	103	98	100
71	94	96	95
72	97	88	93
73	97	95	96
74	93	86	89
75	<i>89</i>	<i>80</i>	<i>85</i>
76	103	97	100
77	98	90	94
78	103	100	102
79	<i>112</i>	<i>113</i>	<i>110</i>
Mv.	100	100	100
σ	± 6	± 10	± 7

Standardavvikelsen för QLOSS för denna period är ca 7%, varför osäkerheten i medelvärdet för perioden bör vara ca $\pm 1.5\%$. Man ser också att de procentuella variationerna i VLOSS är betydligt större än i TLOSS men att båda termerna i huvudsak följs år. Även enkla uppskattningar av värmebehovet i form av graddagssummor visar skillnader i samma storleksordning mellan olika år.

För beräkning av absolutvärden av QLOSS bör en så lång period som möjligt användas. Årsvärdena i närbelägna punkter är emellertid i regel starkt korrelerade med varandra. Det kan därför vara tillräckligt att använda en kortare period för beräkning av lokala differenser i QLOSS. Periodlängden bör dock inte vara kortare än fem år.

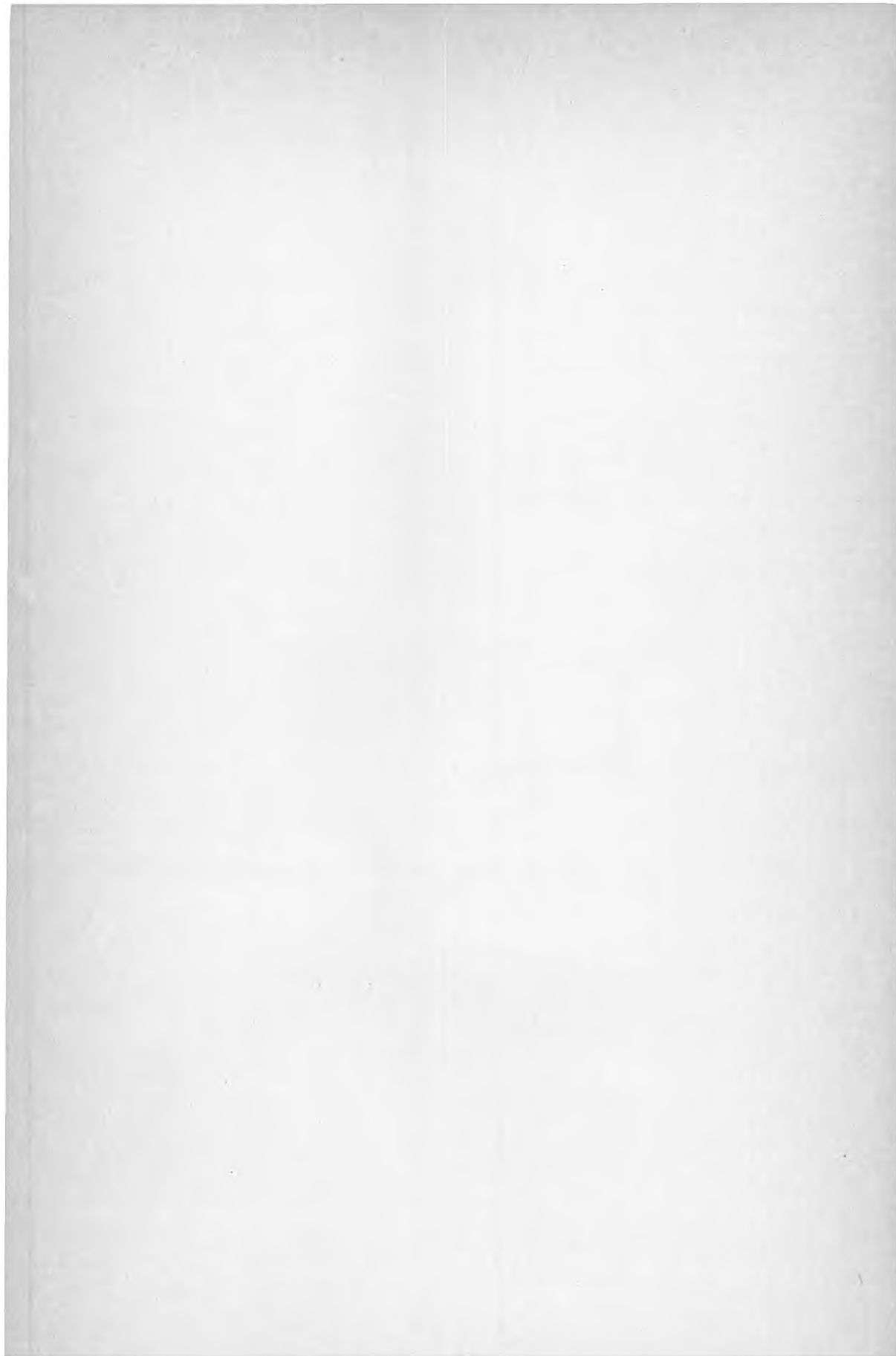
REFERENSER

- Al Sanea, S. A., Rhodes, N., 1983, The Calculation of flow around buildings. CHAM-report 3300/3.*
- Andersson, C., Kindell, S., A study of downwash and airflow around a power plant building using the PHOENICS-code. SMHI, Norrköping. Föredrag vid Res. Sem. "Numerical Simulation of Bluff Body Aerodynamics with applications to Flow Around Buildings" BRE, Garston, England.*
- Backmark, L. och Blomqvist, S., 1983, Täthetsprovning av lägenheter och småhus. HSB, Stockholm.*
- Belin, K., Bigelius, A., Åhlander, G., Taesler, R., 1982, Energi-
besparande vid användande av luftridå. Rapport R86:1982,
BFR, Stockholm.*
- Brunt, D., 1944, Physical and dynamical meteorology. Cambridge
univ. press.*
- Elmroth, A. och Höglund, I., 1970, Analys av ofrivillig ventilation
i småhus. VVS-tidningen nr 2 1970, Förlagsaktiebolaget VVS,
Stockholm.*
- Elmroth, A. och Logdberg, A., 1981, Airtight houses and energy
consumption. Medd. nr 136, Inst f byggnadsteknik, KTH,
Stockholm.*
- Elmroth, A. och Nylund P.O., 1981, Fukt, täthet och ventilation.
Utveckling av tekniska system. Medd. nr 138, Inst f bygg-
nadsteknik, KTH, Stockholm.*
- Eriksson, B. m fl, 1973, Inte bara väder Byggforskningens
informationsblad B14:1973. Statens institut för byggnads-
forskning.*
- Evans, R.A. and Lee, B.E., 1980, Some Observations on the
Problem of Defining Mean Windspeeds Representative of Flow
over Urban and Suburban Terrain. Dept. of Build. Sci.,
Univ. of Sheffield, England.*
- Glaumann, M. och Taesler, R., 1985, Klimatstudie inför planeringen
av energisnål bostadsbebyggelse i Södertuna, Södertälje.
Rapport R12:1985. Statens råd för byggnadsforskning,
Stockholm.*
- Handa, K., Kärrholm, G., Lindquist, T., 1979, Mikroklimat och
luftväxling. Rapport T3:1979. Statens råd för byggnadsforsk-
ning, Stockholm.*
- Holmer, B. och Lindqvist, S., 1980, Energihushållning i stads-
planen - lokalklimatiska studier. Rapport T6:1980, Statens
råd för byggnadsforskning, Stockholm.*
- IEA, 1984, Wind pressure data requirements for air infiltration
calculations. International Energy Agency, Technical Note
AIC 13, Air Infiltration Centre, Bracknell, England.*

- Irwin, J.S., 1979, A theoretical variation of the wind profile power-law exponent as a function of surface roughness and stability. Atmospheric Environment Vol. 13.*
- Jansson, B., Kunnos, G., Troedsson, U., 1984, Att planera med energi (exemplet Ängelholm). Rapport T6:1984, Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm.*
- Karlsson, S., 1981, Analysis wind profile data from an urban-rural interface site. Reports No 58, Meteorologiska inst, Uppsala universitet.*
- Kärrholm, G., m fl, 1984, Lufttäthet och ventilation. Rapport R:3 1984, Statens råd för byggnadsforskning.*
- Landsberg, H.E., 1981, The Urban Climate. International Geophysics Series, Vol. 28, Academic Press, New York.*
- Laurin, S., Taesler, R., Lindgren, C., 1982, Norrköpingsluft, bilavgaser i centrala Norrköping. SMHI, Klimatsektionen, Norrköping.*
- Lettau, H., 1969, Note on aerodynamic roughness parameter estimation on the basis of roughness element description. J. Appl. Clim., Vol. 8.*
- Lindqvist, S., 1970, Bebyggelseklimatiska studier. Meddelanden nr 61, geogr. inst., Lunds univ.*
- Lyberg, M., 1983, Models of infiltration and natural ventilation. Bulletin M83:23, Statens institut för byggnadsforskning, Gävle.*
- Markus, T.A. et al, 1984, The influence of climate on housing: A simple technique for the assessment of dynamic energy behaviour. Energy and Buildings, Vol 7, No 3.*
- Mattsson, J.O. och Åkerman, J., 1980, Energiförluster genom vind. Rapport R176:1980, Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm.*
- Norlén, U., 1985, Energiförbrukning i byggnader, delrapport 5, statistiska metoder. Statens institut för byggnadsforskning, Gävle.*
- Nylund, P.O., 1979, Tjyvdrag och ventilation. Rapport T4:1979, Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm.*
- Nylund, P.O., 1984, Räkna med luftläckning. Rapport R1:1984, Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm.*
- Oke, T.R., 1973, City size and the urban heat island, Atmos. Environ. Vol 7.*
- Oke, T.R., 1974, Review of urban climate 1968-73. WMO Techn. Note No. 134, WMO, Geneve.*
- Oke, T.R., 1978, Boundary layer climates. Methuen, London.*

- Oke, T.R., 1979, Review of urban climate 1973-76. WMO Techn. Note No.169, WMO, Geneve.*
- Oke, T.R., 1981, Canyon Geometry and the Nocturnal Urban Heat Island: Comparison of Scale Model and Field Observations. J. Climatology, 1.*
- Oke, T.R., 1982, The Energetic Basis of the Urban Heat Island, Quart. J. Royal Met. Soc. Vol. 108.*
- Oke, T.R., 1984a, Bibliography of urban climate 1977-80. WCP rep. 45, WMO, Geneve.*
- Oke, T.R., 1984b, Methods in Urban Climatology. Paper presented to IGU Symp. Appl. Geography, Zürich.*
- Pasquill, F., 1972, Some aspects of boundary layer description - Presidential address. Q. J. Royal Met. Soc., Vol 98.*
- Peterson, F., 1981, Värmebehovsberäkningar. Kompendium I:1, inst. f. upp. o. vent.teknik, KTH, Stockholm.*
- Rauhala, K., 1983, The impact of town planning on the microclimatic conditions and energy consumption of residential buildings. Energy and Buildings, Vol. 7, No 3.*
- Raupach, M.R. et al, 1980, A wind tunnel study of turbulent flow close to regularly arrayed rough surfaces. Boundary Layer Meteorology 18.*
- Ring, S., Olsson, L., Ljungkvist, S., 1973, Undersökning av Pasquill-Turner klasser. Internt PM, SMHI.*
- Smedman-Högström, A-S. och Högström, U., 1978, A practical method for determining wind frequency distributions for the lowest 200 m from routine meteorological data. J. Appl. Met., Vol. 17.*
- Spalding, B., 1981, A general purpose computer program for multi-dimensional one and two-phase flow. J. Mathematics and Computers in Simulation, North Holland, Vol XXIII.*
- Sundborg, Å., 1951, Climatological studies in Uppsala with special regard to the temperature conditions in the urban area. Geographica No 22, Geografiska inst., Uppsala univ.*
- Taesler, R. and Andersson, C., 1984a, A method for solar radiation computations using routine meteorological observations. Energy and Buildings, Vol. 7.*
- Taesler, R. and Andersson, C., 1984b, A study of airflow and wind comfort around an office building using the PHOENICS code. SMHI, Norrköping. Föredrag vid "Res.sem. Numerical Simulation of Bluff Body Aerodynamics with Applications to Flow Around Buildings", BRE Wind Eng. Res. Group, Garston, England.*
- Taesler, R. och Karlsson, S., 1980, Power law estimates of the urban wind profile. Reports No. 59, Met. inst., Uppsala univ.*

- Taesler, R., Lindahl, S., 1984, Klimatstudier för bebyggelseplanering i Gustavsberg. Slutrapport, BFR-projekt 790095-2.*
- Taesler, R., 1972, Klimatdata för Sverige. Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm.*
- Taesler, R., 1978, Observational studies of three dimensional temperature and wind fields in Uppsala. Proc. WMO Symp. Boundary Layer Physics Appl. Specific Problems Air Poll., WMO No 510, WMO, Geneve.*
- Taesler, R., 1980a, A box model of the urban energy-budget. Building energy management, conventional and solar approaches (Ed. Fernandes et al), Pergamon Press, New York.*
- Taesler, R., 1980b, Studies of the development and thermal structure of the urban boundary layer in Uppsala. Rep. No 61, Dept. of Meteorology, Univ. of Uppsala.*
- Taesler, R., 1984a, Klimatförutsättningar för luftridåportar. Rapport BFR-projekt 780886-9.*
- Taesler, R., 1984b, Klimatkorrigering av energiförbrukning i ett byggnadsbestånd. SMHI, Norrköping. SIB Symposium om energiförbrukning i byggnader, 20-21 sept. 1984.*
- Taesler, R., 1985, Mätssystem för undersökning av lokala och urbana klimatförhållanden. Slutrapport BFR-projekt 781559-7.*
- Wirén, B., 1984a, Wind pressure distributions and ventilation losses for a single-family house as influenced by surrounding buildings - A wind tunnel study. Statens institut för byggnadsforskning, Gävle.*
- Wirén, B., 1984b, Personlig kommunikation.*



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 780807-6
från Statens råd för byggnadsforskning till SMHI,
Norrköping.**

R116: 1985

ISBN 91-540-4456-1

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6705116

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirka pris: 40 kr exkl moms