



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.



**Klimatstudier inför planering av
energisnål bostadsbebyggelse i
Södertuna, Södertälje**

**Mauritz Glaumann
Roger Taesler**

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	
Plac	Ser

*V
OK*

R12:1985

KLIMATSTUDIER INFÖR PLANERING AV ENERGISNÅL
BOSTADSBEBYGGELSE I SÖDERTUNA, SÖDERTÄLJE

Mauritz Glaumann
Roger Taesler



Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 811444-8
från Statens råd för byggnadsforskning till Södertälje
kommun, Södertälje

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

R12:1985

ISBN 91-540-4326-3

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck Stockholm 1984

FÖRORD

Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) och Statens institut för byggnadsforskning (SIB) fick 1980 i uppdrag att genomföra klimatmätningar och beräkningar som underlag för planering av ett energisnålt bostadsområde i Södertuna. Området planerades för ca 500 lägenheter med aktivt och passivt utnyttjande av solvärme. Uppdragsgivare var Södertälje kommun genom Björn Hedlund. Projektet har huvudsakligen finansierats genom Statens råd för byggnadsforskning (BFR). Planeringen av låg-energiebyggnaden finansierades också av BFR och redovisas i en separat byggforskningsrapport.

SMHI och SIB har i flera avseenden kompletterande utrustning för klimatmätning. Under april-maj 1981 genomfördes samordnade mätningar på platsen. 1981-82 skrev SMHI och SIB var sin separat rapport över mätningar och resultat. Föreliggande rapport är en vidarebearbetning och sammanslagning av ursprungsrapporterna.

Rapportskrivare och projektledare vid SMHI har varit Roger Taesler. I projektarbetet har från SMHI även medverkat Ingemar Leandertz, som svarat för den tekniska uppbyggnaden av mätsystemet samt deltagit i fältarbetet, Christina Wallentin och Cari Andersson, som utfört programmering och datorkörningar samt Sture Lindahl, som både medverkat vid fältarbetet, utfört programmeringen av mätdata och deltagit i bearbetning av mätresultaten. Ritarbetena har gjorts av Anita Bergstrand och Gun-Britt Rosén och utskrift av tabeller av Anneli Karlsson.

Rapportskrivare och projektledare vid SIB har varit Mauritz Glaumann. Vid mätningarna medverkade från SIB också Olle Holmgren, Anita Eliasson och Margitta Nord. Programmering och databearbetning har vid SIB gjorts av Anita Eliasson som också ritat en stor del av bildmaterialet. Ulla Westerberg deltog vid utvärdering av SIB:s temperaturmätningar. Slutligen har Inger Olars-Tysklind vid SIB svarat för utskrift av manus.

Till alla medverkande riktas ett varmt tack.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	<u>Sid</u>
FÖRORD	3
INLEDNING	7
1. ALLMÄNNA KLIMATFÖRHÅLLANDEN	9
1.1 Lufttemperatur	9
1.2 Graddagar	10
1.3 Samvariation temperatur-vind	12
1.4 Vind	14
1.5 Solstrålning	16
2. LOKALKLIMATET I SÖDERTUNA	21
2.1 Områdesbeskrivning	21
2.2 Lokalklimatmätningar	21
2.2.1 Problemställning och målsättning	21
2.2.2 Mätstrategi	23
2.2.3 Instrument och mätsystem	24
2.2.4 Mätuppställning	25
2.2.5 Mätperiod	29
2.3 Allmänna klimatförhållanden i Södertuna	30
2.3.1 Temperatur	30
2.3.2 Vind	31
2.3.3 Beräkning av vindstatistik för lokal referenspunkt	32
3. DETALJSTUDIER AV KLIMATET I SÖDERTUNA	38
3.1 Temperatur	38
3.1.1 Utgångspunkt för analyser av temperaturförloppet	40
3.1.2 Temperaturförloppet vid renodlad strålningsavkylning	41
3.1.3 Inverkan av horisontavskärmningen	43
3.1.4 Avvikelser från det renodlade avkylningsförloppet	47
3.1.5 Analys av temperatursamband	49
3.2 Kartering av temperaturfältet på 2 m nivå	52
3.2.1 Uppmätta rumsvariationer	52
3.2.2 Temperaturmönster	57
3.2.3 Genomsnittliga temperaturvariationer	59
3.3 Kartering av vindfältet på 2 m nivå	59
3.3.1 Allmänt	59

3.3.2	Förhållandet mellan vindhastigheter i olika punkter	63
3.3.3	Vinden inom det kuperade skogslandskapet	64
3.3.4	Modell för vindhastigheten över skogbevuxna kullar	67
3.3.5	Vindförhållanden vid skogsbryn	69
3.3.6	Genomsnittliga vindhastigheter inom området	71
3.3.7	Blåsigheten i Södertuna ur miljösynpunkt	75
4.	BERÄKNINGAR AV LOKALKLIMATETS EFFEKT PÅ BYGGNADERS ENERGIBEHOV MED ENLOSS-MODELLEN	77
4.1	Problemställning	77
4.2	Metodbeskrivning	77
4.2.1	Inledning	77
4.2.2	Beräkning av transmissionsförluster	78
4.2.3	Beräkning av förluster pga självdragsventilation	80
4.3	Beräkningsresultat	80
4.3.1	Lägesberoende värmeförluster för referensbyggnad	81
4.3.2	Byggnadsorienteringens inverkan på värmeförlusterna	83
5.	SAMMANFATTNING	88
5.1	Bakgrund och syfte	88
5.2	Fältnätningar	88
5.3	Databearbetning och resultat	88
5.3.1	Allmänna klimatförhållanden	88
5.3.2	Klimatvariationer inom området	90
5.3.3	Klimatberoende energiförluster	95
5.4	Slutsatser	97
	REFERENSER	98

INLEDNING

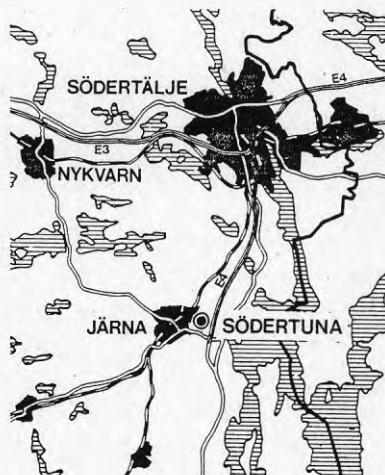
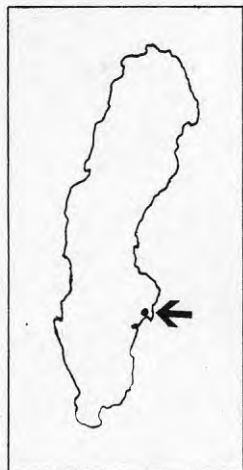
Klimatet inom ett bostadsområde har stor betydelse för byggnadernas energiförbrukning och för miljön på uppehållsytor utomhus. Mikroklimatet påverkas och styrs i hög grad av den fysiska planeringen. Syftet med klimatundersökningarna i Södertuna var att genom mätningar på plats samt beräkningar bestämma lokala klimatförhållanden och beräkna energiförbrukningar för hus som vägledning för planutformningen. Exploateringsområdet är beläget i Järna ca 1 mil söder om Södertälje. Projektet har i huvudsak finansierats med anslag från BFR.

Klimatförutsättningarna i Södertuna har analyserats i tre steg med successivt ökande detaljeringsgrad. I kapitel 1 redovisas vissa allmänna förhållanden i området som helhet. I kapitel 2 behandlas effekter av den dominerande topografin och vegetationen inom området medan detaljstrukturen i vind- och temperaturförhållandena nära marken redovisas i kapitel 3. Kapitel 4 innehåller analyser och bedömningar av lokalklimatets konsekvenser för bebyggelseutformningen och energihushållningen. Kapitel 5 innehåller en sammanfattning av studien.

Genom att kombinera SMHI:s och SIB:s mätresurser kunde stora delar av planområdet täckas in. SIB:s mätningar utfördes i successivt olika terrängavsnitt. SMHI:s mätningar utfördes i samma mätpunkter under hela försöksperioden (med ett undantag) för att ge ett lokalt referensmaterial för analyser av detaljvariationer inom området samt för att relatera detta referensmaterial till meteorologiska standardobservationer från Tullinge och därpå baserad klimatstatistik.

1. ALLMÄNNA KLIMATFÖRHÅLLANDEN

Södertuna är beläget nära kusten och i en övergång mellan öppet jordbrukslandskap och kuperad skogsterräng, figur 1.1a och 1.1b. Båda dessa faktorer bidrar till att ge området ett i vissa avseenden särpräglat klimat, som närmare framgår i följande avsnitt.

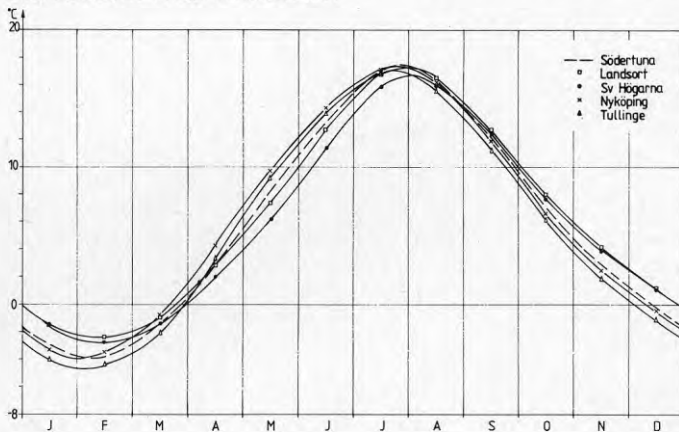


FIGUR 1a. Södertunas läge

FIGUR 1b. Södertunas omgivning

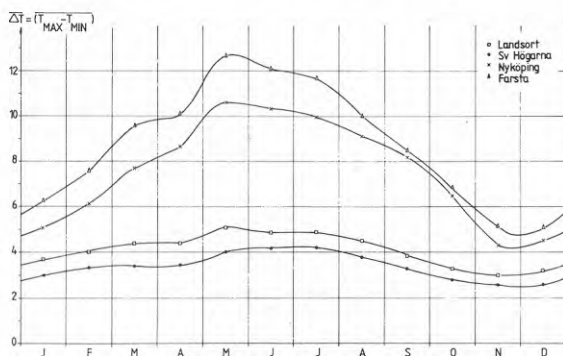
1.1 Lufttemperatur

Årsmedeltemperaturen i Södertunaområdet är ca $+6^{\circ}\text{C}$ och skiljer sig obetydligt ($0 - +0.5^{\circ}\text{C}$) från andra delar av kustzonen i östra Södermanland. Temperaturförändringen i övergångszonen mellan hav och fastland framträder tydligare i årsförloppet, se figur 1.2a. Värdena för Södertuna är beräknade genom interpolation. Årsförloppen i Södertuna ansluter nära till kurvorna för Tullinge och Nyköping. Tullinge har valts som referensstation vid jämförelser med mätdata från Södertuna.



FIGUR 1.2a. Temperaturens årsförlopp.
Medelvärden 1931-60. [1].

Skillnaden mellan kust- och inland i temperaturförhållandena framgår tydligast vid jämförelse av temperaturens dygnsvariation, $\Delta T = T_{\text{MAX}} - T_{\text{MIN}}$, under olika månader [1] se figur 1.2b. Södertuna ligger troligen nära kurvan för Nyköping i figuren. Under försommaren leder sjöbriserna till att temperaturen under dagen blir lägre än någon mil längre inåt landet. Under hösten medför närheten till havet istället en viss temperaturhöjning.



FIGUR 1.2b. Medeldygnsamplitud 1931-60. [1].

1.2 Graddagar

Ett approximativt mått på en byggnads värmebehov brukar uppskattas med hjälp av graddagssummor. Graddagsberäkningar för månaderna och året, 1961-78, har utförts enligt Byggnadsstyrelsens norm, se nedan, avseende uppvärmning till $+17^{\circ}\text{C}$ rumstemperatur. Eldningsgränsen för respektive månad är vald med hänsyn till variationen i passivt solvärmertilskott.

$$GD = \sum (17 - T_D)$$

T_D = dygnsmedeltemperaturen för visst dygn

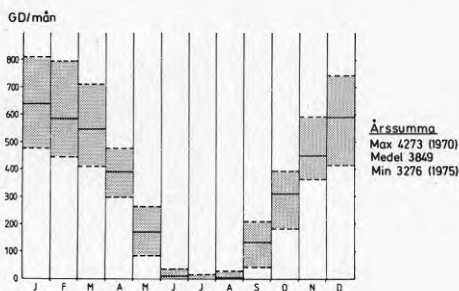
Eldningsgränser:

januari-april	$+12^{\circ}\text{C}$
maj-juli	$+10^{\circ}\text{C}$
augusti	$+11^{\circ}\text{C}$
september	$+12^{\circ}\text{C}$
oktober-december	$+13^{\circ}\text{C}$

I Järnaområdet finns ingen direkt tillämplig meteorologisk referensstation. Närmaste station är belägen vid brandstationen i Södertälje och påverkas av omgivande stadsbebyggelse vad beträffar temperaturförhållandena. En jämförelse med övriga stationer i östra Södermanland visar att antalet graddagar/år är 5-10% mindre i Södertälje.

I övergångszonen mellan kust och inland är antalet graddagar under året som helhet ca 5% lägre än i inlandet. Denna skillnad beror framför allt på ett temperaturöverskott vid kusten under månaderna november-januari. Under våren, främst maj månad, är däremot kusten kallare än inlandet.

Antalet graddagar/månad respektive år i Södertuna har beräknats genom interpolation mellan kust- och inlandsstationer i östra Södermanland. I figur 1.3 visas dels medelvärden för varje kalendermånad och året, dels högsta respektive lägsta antal graddagar/månad, år under åren 1961-78.



FIGUR 1.3 Graddagar per månad, Södertuna 1961-78. Högsta och lägsta värdena under perioden är streckade.

Högsta, lägsta årsvärde är ej lika med summan av högsta/lägsta månadsvärden eftersom extremerna infaller under olika år. Detta framgår närmare av figur 1.4, där högsta respektive lägsta månadsvärde anges tillsammans med den månad och år, då värdet infaller. Härav framgår bl a att bland de 18 åren finns endast tre (1967, -69, -71) som inte innehåller någon extremmånad. Detta återspeglar den stora variabilitet i temperaturförhållandena, som är en karakteristisk egenskap hos klimatet. En konsekvens härav är att det är mycket svårt att välja ett visst år för att representera 'normalförhållanden'. Försök i denna riktning har på senare år gjorts i olika länder, varvid s k 'referensår', 'normalår' eller 'standardår' konstruerats. För Sverige har ett s k 'testår' (1971) utvalts [2] avsett i första hand för jämförande tester av olika beräkningsmetoder. I figur 1.4 har även månads- och årsvärden för 1971 medtagits för jämförelse med övriga data.

FIGUR 1.3

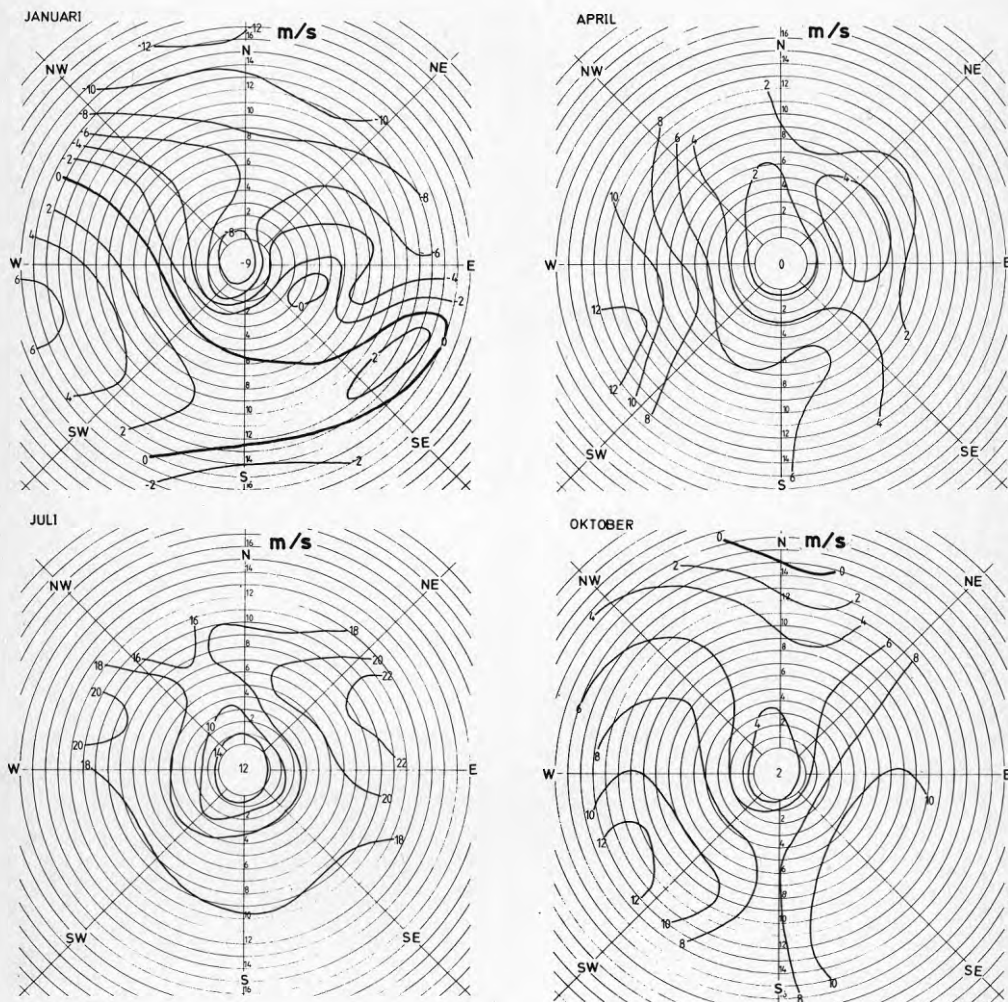
ÅR OCH MÅNAD FÖR HÖGSTA RESP. LÅGSTA GRADDAGSTAL 1961-78													
År	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Året
1978								31					365 745
1977							19						
1976									210				
1975	477								45				3276
1974		447											
1973										394			
1972													419
1971													
1970			796										4273
1969													
1968				298									
1967				475									
1966					262								596
1965					64								
1964													
1963	811												
1962			710										
1961			410			36						187	

TESTÅRET 1971												
J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Året
572	510	591	408	134	4	0	0	173	305	493	498	3685

FIGUR 1.4 År och månad för högsta respektive lägsta graddagstal, Södertuna 1961-78.

Samvariation vind-temperatur i tabell 1 har flera generella karakteristika. De högsta vindhastigheterna uppträder i samband med temperatur omkring 0°C och temperaturfördelningen har maximum i intervallet $0-2^{\circ}\text{C}$. Hastighetsavtagandet vid successivt lägre temperatur samt vid temperatur större än ca $+15^{\circ}\text{C}$ sammanhänger i stort med en systematisk förändring av strömningens stabilitet, dvs graden av turbulent vertikal ombländning av luft. Denna är obetydlig vid de lägsta temperaturerna (mycket stabil skiktning) och kraftig vid de högsta (instabil skiktning).

Klara samband råder mellan vindriktning, vindhastighet och temperatur. Figurerna 1.5-1.8 visar medeltemperaturen ($^{\circ}\text{C}$) vid olika vindriktning och vindhastighet under januari, april, juli respektive oktober.



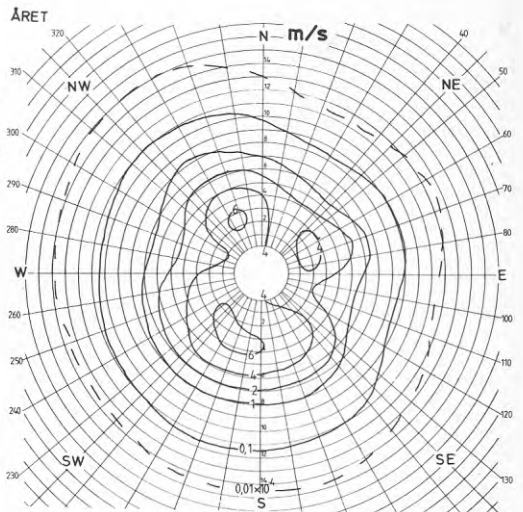
FIGUR 1.5- Medeltemperatur vid olika vindriktning och vindhastighet vid Tullinge flygplats.
1.8 Medelvärden 1955-75.

Figurerna innehåller isotermer för viss medeltemperatur vid olika vindriktning och -hastighet. Under årets samtliga månader visar isoteranalyserna ett karakteristiskt minimum vid svaga vindar. Bortsett från detta minimum uppträder de lägsta temperaturerna vid vindar omkring nord och i förening med höga vindhastigheter. Speciellt vintertid råder mycket olika temperaturförhållanden vid olika vindriktningar. Skillnaderna är störst vid höga vindhastigheter. I januari t ex är vindar omkring sydväst $13-14^{\circ}$ varmare än vindar mellan nord och nordost vid hastigheter omkring 10 ms^{-1} . Detta återspeglar skillnaden i temperatur hos olika typer av luftmassor (mild Atlantluft respektive kall Ishavsluft) som förs in över landet i samband med storskaliga vädersystem. Vid dessa höga vindhastigheter sker en intensiv omblandning av luft i vertikal led, varigenom temperaturen nära marken ej påverkas nämnvärt av de lokala förhållandena på en viss plats. Med avtagande vindhastighet reduceras emellertid den vertikala omblandningen samtidigt som luften uppehåller sig längre tid över ett visst lokalt område. Luftens värmeinnehåll kommer härigenom i successivt större utsträckning att bestämmas av energiutbytet med den lokala markytan. Under vintern medför detta praktiskt taget alltid en avkylning av luften. Sommartid däremot sker under dagtid en uppvärmning av luften nära marken. Detta leder samtidigt till termisk turbulens och ökande vindhastighet. Svag vind eller vindstilla råder sommartid praktiskt taget endast under kvällar och nätter, då markytans energibudget är starkt negativ. Detta förklarar att de lägsta temperaturerna även sommartid uppträder vid svaga vindar.

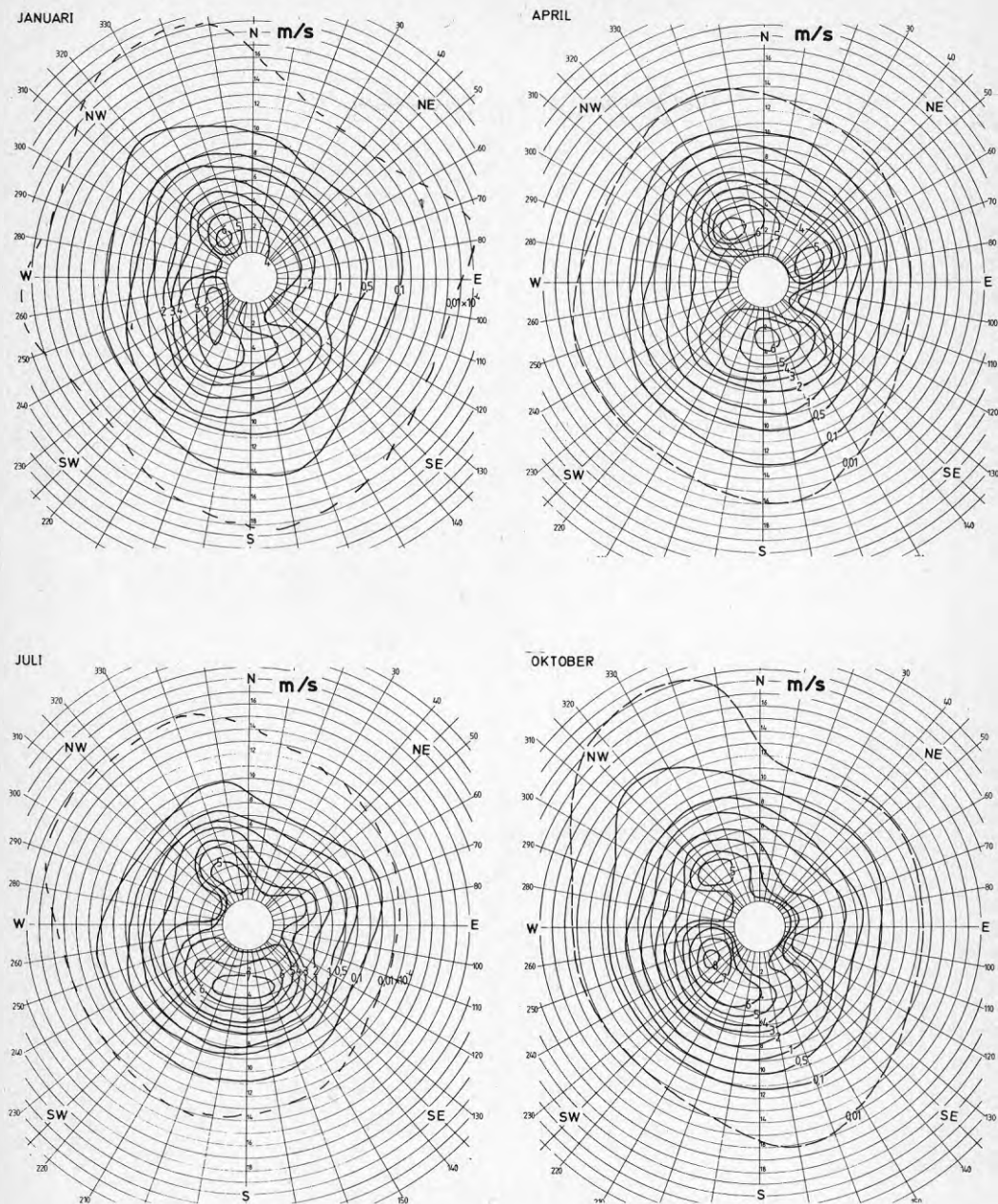
Ovanstående innebär bl a att lokal läsbildning under vinterhalvåret samt under kvällar och nätter sommartid kan leda till kraftig temperatursänkning. I synnerhet gäller detta över markytor som skuggas tidigt under eftermiddagen, t ex sluttningar mot nordost.

1.4 Vind

Förekomsten av olika vindhastigheter har en karakteristisk riktningvariation. Figurerna 1.9-1.13 visar frekvensen av samtidig vindhastighet och vindriktning under januari, april, juli respektive oktober samt under året som helhet. Frekvenserna är angivna som 10 000-delar av tiden per 1° riktningintervall och 1 ms^{-1} hastighetsintervall. I motsats till det mer konventionella sättet att representera hastighets- och riktningfördelningar (i form av vindrosor med staplar i diskreta riktningar) innehåller figurerna 1.9-1.13 ett kontinuerligt fält, som ger väsentligt mer detaljerad information och samtidigt en enkel visuell bild av variationsmönstret.



FIGUR 1.9 Sannolikhetsstäthet för samtidig vindriktning och hastighet [$\text{grad}^{-1}(\text{m/s})^{-1}$] Tullinge 10 m över mark, 1955-75. Året.



FIGUR 1.10- Sannolikhetstäthet för samtidig vindriktning och
1.13 hastighet ($\text{grad}^{-1}(\text{m/s})^{-1}$) Tullinge 10 m över mark
1955-75. Januari, April, Juli och Oktober.

Markerade frekvensmaxima uppträder för hastigheter på ca 3 ms^{-1} vid vindar från omkring 330° och 60° och ett bredare maximum från $180-230^\circ$. I det senare fallet finns en viss årlig variation så att maximum är förskjutet mot sydväst under vintern, mot söder under sommaren. De två förstnämnda maxima är i stort sett lokaliserade till samma riktningsintervall hela året men visar något varierande frekvenstal under olika månader. Nordvästvindarna har sitt högsta frekvensmaximum på 8×10^{-4} under februari medan nordostvindarna ($\sim 60^\circ$) har högsta frekvensmaximum på $5-6 \times 10^{-4}$ under april och maj. De hårdaste vindarna kommer från riktningar omkring nordväst ($300-340^\circ$) och omkring syd ($170-210^\circ$).

Vad beträffar behovet av vindskyddande åtgärder i syfte att recu-cera bebyggelsens energiförlust ger figurerna 1.5-1.13 vid handen att situationen är tämligen komplicerad. Å ena sidan är vindar från nordliga riktningar (NNW-NE) avsevärt kallare än andra vindar, å andra sidan är vindar från sydväst betydligt vanligare och - bortsett från nordvästvindar - ofta hårda. För att sammanväga effekterna av vindhastighet, vindriktning och lufttemperatur fordras beräkningar av värmeförlusten, varvid också byggnadernas egenskaper måste beaktas. Sådana beräkningar presenteras i kapitel 4.

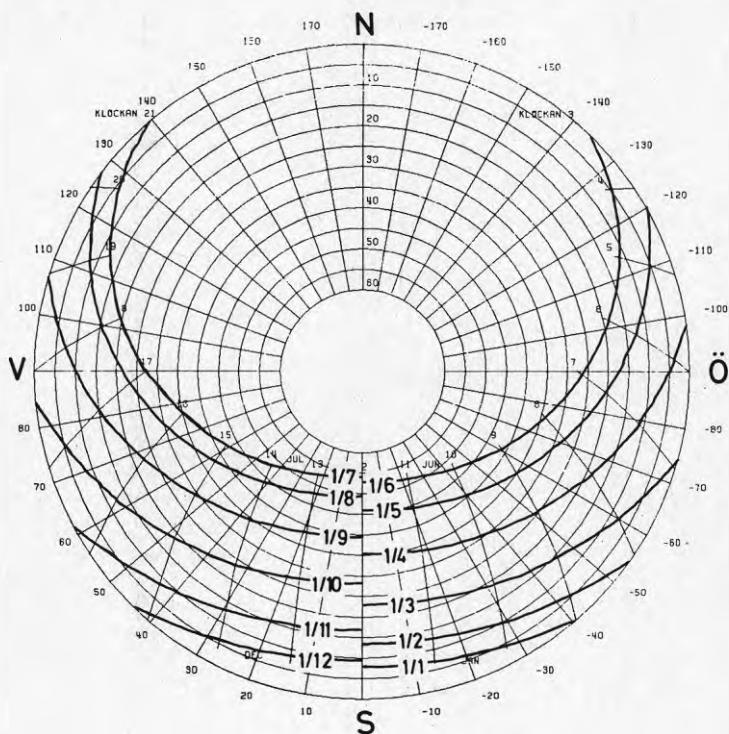
1.5 Solstrålning

I östra Södermanland finns ingen station med långtidsmätningar av solstrålning. För Stockholm finns många års mätningar av direktstrålning i normalriktningen samt globalstrålning (direkt + diffus mot horisontell yta). Å andra sidan finns många platser med mångåriga rutinmässiga sk synoptiska observationer av bl a molnighet. För att kunna utnyttja detta observationsmaterial för beräkningar av solinstrålning mot olika orienterade lutande ytor har en modell utvecklats vid SMHI. Modellen föreligger i flera versioner anpassade till olika typer av molnighetsinformation. Den enklaste versionen, 'SOLMON', beräknar direkt respektive diffus solstrålning för varje timme under en typisk klar, medelmolnig respektive mulen dag i varje kalendermånad, (se tabell 2). Månadssummor beräknas därefter med hjälp av frekvenser av klara respektive mulna dagar enligt [1]. I nedanstående tabell visas medelvärden för Stockholm (1931-60) av beräknad och uppmätt globalstrålning per månad mot horisontell yta. Överensstämmelsen är som framgår mycket god.

Månad	Beräknad (kwh/m ²)	Uppmätt (kwh/m ²)
Januari	14.4	10.5
Februari	38.2	26.2
Mars	79.4	71.6
April	110.0	107.6
Maj	151.5	160.1
Juni	160.0	184.2
Juli	161.7	162.9
Augusti	119.8	122.7
September	81.6	77.1
Oktober	40.7	37.7
November	13.4	13.6
December	7.1	7.4
Året	997.8	981.4

En mera utvecklad version, 'SOLTIMSYN', beräknar direkt respektive diffus strålning för aktuell timme ur detaljerade observationer av bl a molnighet, sikt, ångtryck.

Som komplement till modellerna 'SOLMON' och 'SOLTIMSYN' har också framtagits ett datorprogram för beräkning och plottning av solbanor. I figur 1.14 visas solbanorna under året för Södertunas latitud (59°N). Diagrammet avser den 1:e i varje månad och klockslag i sann soltid.

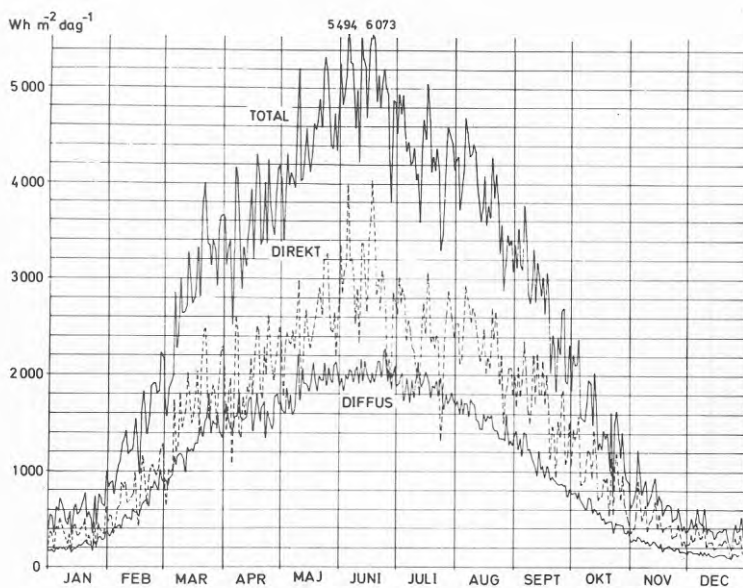


FIGUR 1.14 Solbanediagram för Södertunas latitud, 59°N . Sann soltid. Ekvidistant projektion. Solhöjd är avsatt längs radien och azimut utefter periferin. Solbanorna är symmetriska omkring azimutvinkeln 0° . Kurvor för tiden 1.1-1.6 är utritade i diagrammets högra del och kurvorna för 1.7-1.12 i dess vänstra del.

Figur 1.15 visar årsförloppet av direkt, diffus samt global (direkt + diffus) solstrålning mot en sydvänd yta med 45° lutning i form av medelvåden för varje dag under året, avseende perioden 1955-79. Beräkningen är utförd med 'SOLTIMSYN' med användandet av observationsdata från Tullinge flygplats, belägen ca 20 km från Södertuna. (Beräkningarna är gjorda med en tidig version av 'SOLTIMSYN', som ej innehåller korrektion för anisotropi hos diffusstrålningen).

Trots att figur 1.15 avser medelförhållanden under 25 år uppvisar årsförloppet fortfarande stora slumpmässiga variationer. Man kan dock urskilja bl a en relativ förhöjning av direktstrålningen under mars månad samt att de maximala värdena av direktstrålningen i juni inträffar före sommarsolståndet. Vidare ser man att diffusstrålningen under hela året utgör en betydande andel av globalstrålningen, t o m sommartid uppgående till ca 40%.

En konsekvens av den stora kvarstående slumpmässiga variationen från dag till dag t o m i 25 års medelvärden är att förloppet dag för dag under ett enskilt år inte kan tillmätas någon som helst klimatologisk representativitet. Detta måste beaktas exempelvis vid teoretiska eller empiriska studier av solvärmesystem.



FIGUR 1.15 Beräknade (SOLTIMSYN) dygnssummor av direkt, diffus och total solstrålning mot 45° lutande yta riktad mot S. Medelvärden 1955-75, Södertuna.

I tabell 2 redovisas för varje månad strålningsintensiteter timme för timme för klara, medelmolniga respektive mulna dagar i 'SOLMON'-versionen för Södertuna. Månads- och årssummor av beräknad instrålning i Södertuna mot horisontell yta samt mot vertikala ytor mot N, E, S, W enligt 'SOLMON' framgår av tabell 3 och mot 45° -ytor lutande mot 8 olika riktningar ur tabell 4. Samtliga strålningsberäkningar avser fri horisont. Vid barmark antages 25% reflexion och vid snötäckt mark 80%. Resultaten är i första hand avsedda att tillämpas som underlag för beräkningar av värmeproduktionen från solfångare med 45° lutning, orienterade mot sydliga riktningar. Solfångarna förutsättes vara placerade så, att horisontavskärningen är försumbar.

MOLNIGHET

Kl (SS)	Klara		Medel		Mulna		Klara		Medel		Mulna	
	dir	diff	dir	diff	dir	diff	dir	diff	dir	diff	dir	diff
Januari (15)						Februari (46)						
03												
04												
05												
06												
07												
08							15	16	7	17	0	12
09	1	3	1	2	0	1	115	54	57	77	0	66
10	65	40	32	51	0	41	206	72	103	118	0	109
11	115	55	58	77	0	67	267	81	133	143	0	136
12	134	59	67	86	0	75	288	84	144	152	0	145
Dygn	496	255	249	346	0	293	1494	530	744	862	0	791
Mars (74)						April (105)						
03												
04												
05												
06												
07	43	31	22	37	0	29	82	43	41	58	0	49
08	174	66	87	104	0	94	231	73	115	126	0	119
09	301	85	151	156	0	151	380	92	190	185	0	185
10	403	97	202	196	0	195	513	105	256	235	0	241
11	469	103	234	220	0	223	615	114	308	272	0	285
12	491	105	245	228	0	233	681	119	341	295	0	312
Dygn	3271	869	1637	1654	0	1617	5708	1212	2854	2645	0	2704
Maj (135)						Juni (166)						
03												
04												
05	79	39	40	54	0	46	20	13	10	16	0	13
06	218	68	109	118	0	112	129	47	64	75	0	69
07	368	88	184	178	0	178	263	70	131	133	0	130
08	514	102	257	233	0	241	404	87	203	189	0	193
09	641	112	320	278	0	295	545	100	272	240	0	252
10	740	120	370	313	0	336	666	110	333	284	0	303
11	802	124	401	335	0	362	760	116	380	316	0	343
12	823	125	412	342	0	371	820	120	410	337	0	367
Dygn	7547	1431	3774	3360	0	3511	8054	1447	4026	3524	0	3716
Juli (196)						Augusti (227)						
03												
04												
05	93	36	46	56	0	50	112	41	56	66	0	60
06	223	62	111	115	0	111	252	67	126	128	0	125
07	365	81	183	172	0	174	393	85	197	183	0	187
08	502	95	251	223	0	234	519	97	260	230	0	241
09	623	105	312	267	0	288	617	105	309	265	0	283
10	717	112	359	300	0	324	679	110	340	287	0	309
11	777	116	389	321	0	349	701	111	350	295	0	318
12	798	117	399	328	0	358						
Dygn	7398	1331	3701	3236	0	3098	5845	1121	2926	2613	0	2728
September (258)						Oktober (288)						
03												
04												
05												
06												
07	90	38	45	57	0	50	57	32	29	42	0	35
08	226	66	113	119	0	114	171	61	98	86	0	90
09	352	83	176	169	0	170	267	76	133	139	0	134
10	451	93	225	207	0	213	328	84	164	164	0	161
11	515	99	257	231	0	240	350	87	175	173	0	171
12	537	101	268	238	0	250						
Dygn	3805	859	1900	1804	0	1824	1996	593	1023	1035	0	1011
November (319)						December (349)						
03												
04												
05												
06												
07												
08												
09	23	18	11	21	0	16	34	29	17	31	0	24
10	101	48	50	68	0	58	80	45	40	59	0	49
11	155	61	78	94	0	85	98	50	49	68	0	58
12	175	65	87	103	0	94						
Dygn	733	319	365	469	0	412	326	198	163	248	0	204

TABELL 2. Direkt och diffus solstrålning (W/m^2) mot horisontell yta i Södertuna. Beräknade (SOL-MON) data för klara, medelmolniga och mulna dagar i mitten av varje månad (dagnr). Klockslag i sann soltid. För- och eftermiddagsvärden symmetriska kring kl 12. Dygnsvärden avser summor (Wh/m^2).

Strålningskomponent	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
<i>Horisontell yta</i>													
Direkt	1.89	6.54	25.28	57.49	94.04	100.14	99.52	75.08	41.64	11.17	2.25	0.86	515.9
Diffus	12.23	31.85	54.79	57.85	73.04	79.95	79.88	66.43	44.39	29.67	1.15	6.13	547.7
Total	14.12	28.29	80.07	115.34	167.08	180.09	179.40	141.51	86.03	40.84	13.76	6.99	1063.6
<i>Vertikal yta mot norr</i>													
Direkt	0	0	0	0.81	6.52	10.33	8.04	1.58	0	0	0	0	27.7
Diffus	6.11	15.93	27.40	28.92	36.52	39.97	39.94	33.21	22.19	14.83	5.75	3.07	273.9
Total	6.11	15.93	27.40	29.73	43.04	50.31	48.38	34.79	22.19	14.83	5.75	3.07	301.5
<i>Vertikal yta mot öster</i>													
Direkt	1.87	6.12	19.50	36.45	51.80	51.26	51.47	41.80	26.98	8.78	2.24	0.97	299.2
Diffus	6.11	15.93	27.40	28.92	36.52	39.97	39.94	33.21	22.19	14.83	5.75	3.07	273.9
Total	7.98	22.05	46.89	65.38	88.32	91.24	91.41	75.01	49.17	23.62	7.99	4.03	573.1
<i>Vertikal yta mot söder</i>													
Direkt	13.53	24.91	51.23	60.48	59.88	48.44	52.67	59.93	60.46	30.85	12.54	7.78	482.7
Diffus	6.11	15.93	27.40	28.92	36.52	39.97	39.94	33.21	22.19	14.83	5.75	3.07	273.9
Total	19.64	40.83	78.63	89.40	96.40	88.41	92.61	93.15	82.66	45.68	18.30	10.84	756.6
<i>Vertikal yta mot väster</i>													
Direkt	1.87	6.12	19.50	36.45	51.80	51.26	51.47	41.80	26.98	8.78	2.24	0.97	299.2
Diffus	6.11	15.93	27.40	28.92	36.52	39.97	39.94	33.21	22.19	14.83	5.75	3.07	273.9
Total	7.98	22.05	46.89	65.38	88.32	91.24	91.41	75.01	49.17	23.62	7.99	4.03	573.1

TABELL 3 Beräknade månads- och årssummor (kWh m^{-2}) av direkt-, diffus- och total solinstrålning mot horisontell yta samt mot vertikala ytor med viss orientering. Fri horisont. Latitud 59°N .

Yta mot	Strålningskomponent	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
N	Direkt	0	0	0	3.44	28.77	43.87	39.10	11.83	0	0	0	0	127.0
	Diffus	10.44	27.19	46.77	49.38	62.34	68.24	68.18	56.70	37.89	25.32	9.82	5.23	467.5
	Total	10.44	27.19	46.77	52.82	91.11	112.11	107.28	68.53	37.89	25.32	9.82	5.23	594.5
NO	Direkt	0	0.47	6.39	24.01	48.49	56.16	53.92	34.10	13.23	1.56	0	0	238.3
	Diffus	10.44	27.19	46.77	49.38	62.34	68.24	68.18	56.70	37.89	25.32	9.82	5.23	467.5
	Total	10.44	27.66	53.16	73.39	110.83	124.40	122.10	90.79	51.12	26.88	9.82	5.23	705.8
O	Direkt	2.18	7.18	25.18	52.22	80.63	83.31	83.03	64.63	37.94	11.22	2.58	1.08	451.2
	Diffus	10.44	27.19	46.77	49.38	62.34	68.24	68.18	56.70	37.89	25.32	9.82	5.23	467.5
	Total	12.62	34.37	71.95	101.60	142.97	151.56	151.21	121.33	75.83	36.55	12.40	6.32	918.7
SO	Direkt	8.10	17.20	44.67	74.37	100.71	97.99	100.08	86.65	61.22	23.53	7.86	4.49	626.9
	Diffus	10.44	27.19	46.77	49.38	62.34	68.24	68.18	56.70	37.89	25.32	9.82	5.23	467.5
	Total	18.54	44.38	91.44	123.75	163.06	166.23	168.27	143.35	99.11	48.85	17.69	9.73	1094.4
S	Direkt	10.90	22.24	54.10	82.85	105.74	100.36	103.37	94.36	72.20	29.71	10.46	6.11	692.4
	Diffus	10.44	27.19	46.77	49.38	62.34	68.24	68.18	56.70	37.89	25.32	9.82	5.23	467.5
	Total	21.34	49.42	100.87	132.23	168.09	168.60	171.55	151.05	110.09	55.03	20.29	11.34	1159.9
SV	Direkt	8.10	17.20	44.67	74.37	100.71	97.99	100.08	86.65	61.22	23.53	7.86	4.49	626.9
	Diffus	10.44	27.19	46.77	49.38	62.34	68.24	68.18	56.70	37.89	25.32	9.82	5.23	467.5
	Total	18.54	44.38	91.44	123.75	163.06	166.23	168.27	143.35	99.11	48.85	17.69	9.73	1094.4
V	Direkt	2.18	7.18	25.18	52.22	80.63	83.31	83.03	64.63	37.94	11.22	2.58	1.08	451.2
	Diffus	10.44	27.19	46.77	49.38	62.34	68.24	68.18	56.70	37.89	25.32	9.82	5.23	467.5
	Total	12.62	34.37	71.95	101.60	142.97	151.56	151.21	121.33	75.83	36.55	12.40	6.32	918.7
NV	Direkt	0	0.47	6.39	24.01	48.49	56.16	53.92	34.10	13.23	1.56	0	0	238.3
	Diffus	10.44	27.19	46.77	49.38	62.34	68.24	68.18	56.70	37.89	25.32	9.82	5.23	467.5
	Total	10.44	27.66	53.16	73.38	110.83	124.40	122.10	90.79	51.12	26.88	9.82	5.23	705.8

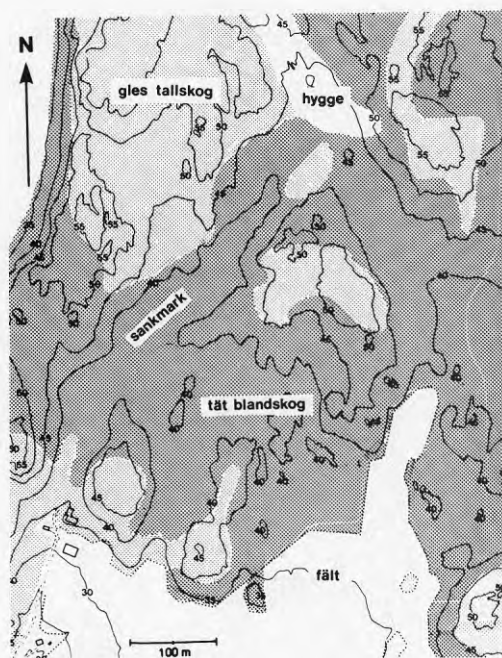
TABELL 4 Beräknade månads- och årssummor (kWh m^{-2}) av direkt-, diffus- och total solinstrålning mot 45° lutande ytor med olika orientering. Fri horisont. Latitud 59°N .

2. LOKALKLIMATET I SÖDERTUNA

2.1 Områdesbeskrivning

Planområdet är beläget mellan E4 i öster och Järna samhälle i väster. Lanskapet är småkuperat med omväxlande skogklädda delvis branta bergskullar och lägre liggande åkermark. Området sluttar svagt mot söder. I väster, norr och öster finns skogbevuxna höjdparter på 40-55 m ö h, vilket delvis omgärdar ett parti öppen åkermark på ca 30 m ö h. Planområdets areal är ca 0.4 km². Svackorna mellan krönen är i vissa fall sankna och fuktiga, figur 2.1.

Skogsvegetationen är mycket varierande. Bergskrönen är bevuxna med låg och gles tall medan sänkorna har hög blandskog. I randzonen mellan skog och åkermark är inslaget av lövträd större.



FIGUR 2.1 Topografi och skogsvegetation i Södertuna

2.2 Lokalklimatmätningar

2.2.1 Problemställning och målsättning

Ett grundläggande problem vid lokalklimatstudier är att kunna bestämma hur ofta olika, lokalt betingade variationer uppträder. Detta innebär väsentligen att generera lokalt representativ klimatstatistik ur observationsserier från en ordinarie meteorologisk observationsstation. Härför fordras metoder för korrektion eller omräkning av observerade data med hänsyn till terräng och topografi kring de bägge platserna och däremellan.

Lokala variationer i vind, temperatur och andra klimatement är mer eller mindre väl utvecklade beroende på årstid, tid på dygnet samt rådande vädersituation.

Mätningarna i Södertuna syftade dels till att insamla underlag för tester av modeller för generering av lokal klimatstatistik utgående från en meteorologisk observationsstation (Tullinge flygplats) dels till att mera i detalj kartlägga de småskaliga variationerna inom planområdet. I första hand skulle vind- och temperaturförhållandena studeras.

Vinden påverkas betydligt kraftigare än andra klimatement av variationer i jordytans beskaffenhet. Två faktorer är av primär betydelse, nämligen markytans skrovlighet och atmosfärens stabilitet. Dessutom uppträder lokala effekter i form av styrning av strömning längs topografiska element, hastighetsförstärkning framför och över hinder och läbildning bakom.

Stabiliteten beror främst av rådande vädersituation samt årstid och tiden på dygnet och bestämmer därmed förutsättningarna för utveckling av lokala klimatskillnader. Ett ändamålsenligt mått på stabiliteten erhålles med hjälp av modifierad Pasquill-Turner (PT) klassificering, som utvecklats vid SMHI [3] och som kan bestämmas ur rutinemässigt tillgängliga meteorologiska observationer. Följande skala användes.

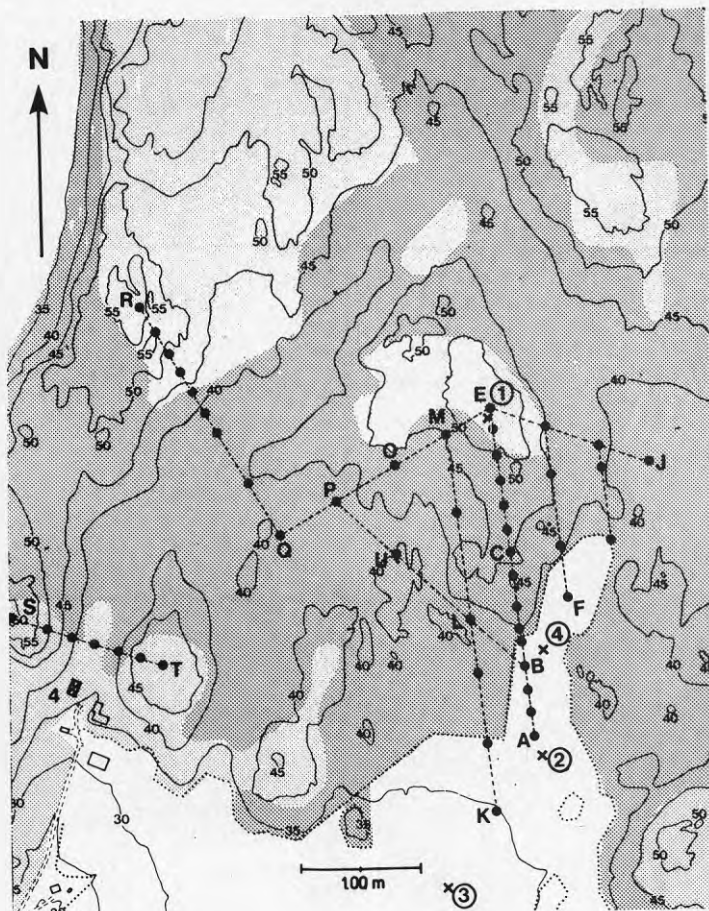
- PT = 3 instabil skiktning
- = 4 neutral skiktning
- = 5 svagt stabil skiktning
- = 6 stabil skiktning
- = 7 mycket stabil skiktning

Skrovligheten betecknas med den s_k skrovlighetsparametern z_0 , som kan beräknas ur topografiska kartor och uppgifter om vegetation och bebyggelse.

Den kombinerade effekten av stabilitet och skrovlighet är i korthet att vindhastigheten nära marken (på referenshöjden 10 m) ändras drastiskt i övergången mellan land och hav. Som framgår ur vindkarteringar utförda vid SMHI [4] i samband med vindenergi-prospektering är årsmedianvinden (på 10 m höjd) i Södertunaområdet ca 3 ms^{-1} i öppen terräng utan hinder medan den är ca 6 ms^{-1} vid Södermanlandskusten och $7-8 \text{ ms}^{-1}$ över havet utanför kusten.

2.2.2 Mätstrategi

SMHI genomförde samtidiga mätningar i tre punkter med inbördes karakteristiskt skilda lägen (punkt ① exponerad höjd, punkt ② öppen åkermark och punkt ③ äng nära skogsridå), figur 2.2. Tillsammans representerar dessa mätningar effekterna av de dominerande terräng- och vegetationsförhållandena i området. Mätningarna utfördes i två av punkterna på flera nivåer upp till ca 18 m höjd. I den andra punkten (punkt ② öppen åker) placerades instrumenten enligt den standard, som gäller för rutinemässiga meteorologiska observationer (vind 10 m ö m, temperatur 2 m ö m). Under senare delen av mätperioden flyttades instrumenten från punkt ③ till en ny punkt (punkt ④), se vidare 2.2.3. Dessa mätresultat speglar de karakteristiska lokala variationerna i Södertuna orsakade av den dominerande topografin och vegetationen.



FIGUR 2.2 SIB:s och SMHI:s ① - ④ mätpunkter i Södertuna.

SIB utförde samtidigt mätningar i ett stort antal punkter för att studera klimatets detaljvariation inom området.

SIB:s mätmetod innebär att olika klimatvariabler mäts utefter linjer genom typiska terrängavsnitt. Mätthöjden är ca 2 m och avståndet mellan två mätpunkter 10-50 m. Mätdata relateras till motsvarande värden vid en lokal referenspunkt, t ex ovanför skogen eller på ett fält. På så sätt klarläggs karakteristiska klimatvariationer för olika terrängtyper under olika väderlekssituationer. Kartläggningen gäller främst mikroskalan.

2.2.3 Instrument och mätsystem

För mätningarna i Södertuna använde SMHI en mobil mätutrustning bestående av husvagn med minidator, enheter för mätvärdesomvandling och datalagring, givare för temperatur, vindriktning och vindhastighet, globalstrålning och nettostrålning samt master, bärarmar och kablage. Instrumenten är av hög kvalitet, speciellt utvalda för noggranna mikrometeorologiska mätningar. Alla givare är individuellt kalibrerade och har följande noggrannheter:

Lufttemperatur	$\pm 0.05^{\circ}\text{C}$
Vindriktning	$\pm 3^{\circ}$
Vindhastighet $\leq 5 \text{ ms}^{-1}$	$\pm 1\%$
$> 5 \text{ ms}^{-1}$	$\pm 5 \text{ cms}^{-1}$
Globalstrålning	$\pm 5\%$
Nettostrålning	$\pm 5\%$

(Globalstrålning är summan av direkt och diffus (spridd) solstrålning. Nettostrålning är differensen mellan nedåt- och uppåtriktad strålning summerad över alla våglängder).

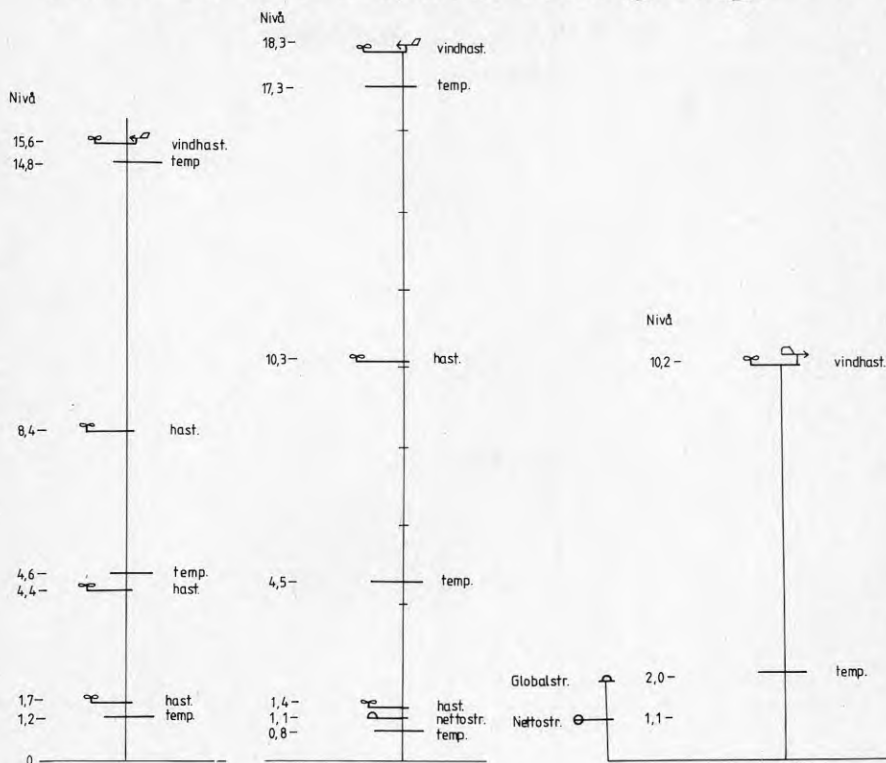
Driftsäkerheten hos systemet är mycket hög och de enda driftstörningar som uppträdde under mätningarna orsakades av ett strömbrott pga stormfällning av träd den 13 april 1981.

För Södertuna-mätningarna förfogade SIB över 24 st av vardera temperatur- och vindgivare. Givarna kopplas i grupper om åtta och ansluts via kabel till en minidator i en specialinredd buss. Temperaturgivarna är av typ fläktventilerade resistansgivare (noggrannhet $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$) och vindgivarna är propellergivare med propellrar i tre ortogonala riktningar (noggrannhet 3% med korrigering och 6% utan).

I Södertuna registrerade SIB:s mätsystem vind och temperatur varannan sekund. Varje vindvärde svarar mot medelhastigheten under en knapp sekund. Dels gjordes kortare mätningar upp till en timmes tid varifrån alla mätdata sparades dels gjordes längre mätningar från ett halvt till flera dygn i följd från vilka endast medelvärde och standardavvikelse per minut sparades.

2.2.4 Mätupställningar

SMHI:s mätningar i punkt ①, figur 2.2, omfattade vindhastighet på fyra nivåer, vindriktningen på en nivå och lufttemperatur på tre nivåer i en mast, se figur 2.3. Figurerna 2.4 och 2.5 visar på motsvarande sätt instrumenteringen i punkt ② och ③.



FIGUR 2.3 SMHI:s mätmast i punkt ①.

FIGUR 2.4 SMHI:s mätmast i punkt ②.

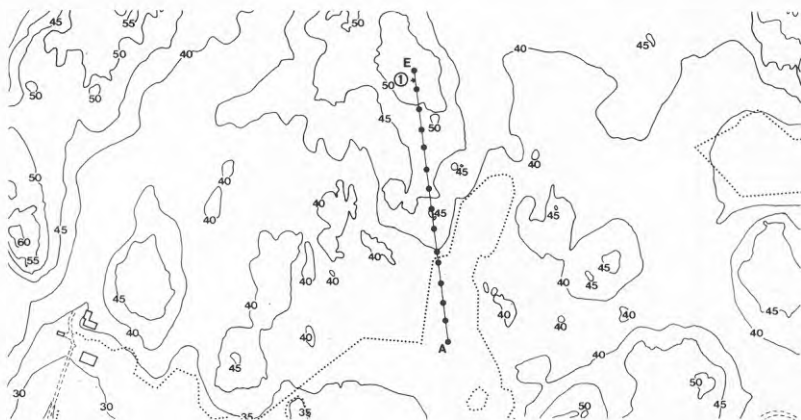
FIGUR 2.5 SMHI:s mätmast i punkt ③ alt. ④.

Efter ungefär halva mätperioden flyttades instrumenten i punkt ③ till punkt ④ för att speciellt studera förhållandena i den smala ängsviken norr om den öppna åkern. Läget valdes där ängsviken är som smalast. Instrumentuppsättningen i punkt ④ var densamma som i punkt ③.

I punkten ① nådde SMHI upp till 71 m ö h, vilket är ca 10 m över de högsta av krönens toppar och 20-30 m över dessa genomsnittliga nivå. Toppnivån i denna mast har därför antagits ge vinddata som är representativa för klimatförhållandena ovanför skogen. Som referenspunkt för lufttemperatur användes 2 m nivån vid punkt ③.

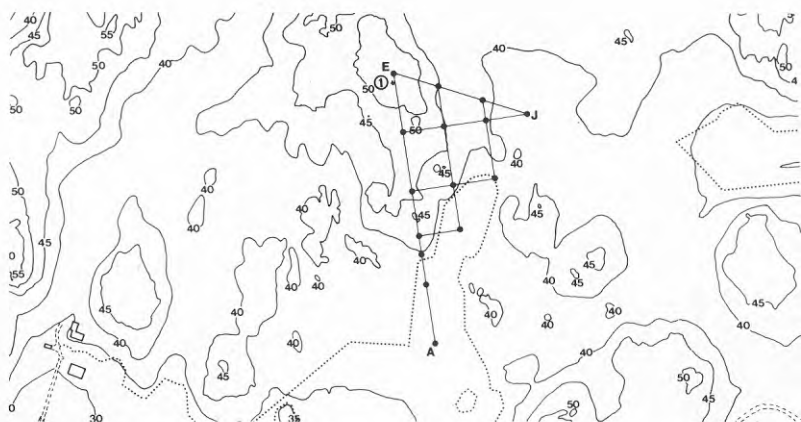
Tillgången till elström begränsade uppställningsmöjligheterna för SIB till den södra delen av området. Ambitionen att täcka typiska terrängavsnitt ledde till fyra olika mätupställningar, med 16 mätpunkter i de tre första och 24 i den sista. För att få samband mellan olika mätupställningar var alltid några mätpunkter gemensamma för flera uppställningar.

SIB:s första mätuppställning (109 mättimmar) lades som en enda linje mellan punkt ① på berget och punkt ② nere på fältet, figur 2.6. Mät-snittet går över en svag ås ner mot fältet. Avståndet mellan mät-punkterna var ca 20 m och sträckan 280 m. Avsikten var att få en detaljerad bild av förhållandena på det öppna fältet mot brynet och upp genom skogen över åsen mot krönet. Med bi-behållande av en mät-punkt var 60:e m i denna linje placerade vi sedan uppställning två och tre med övriga stationer ner mot den högre vegetationen i dalgången österut respektive västerut.



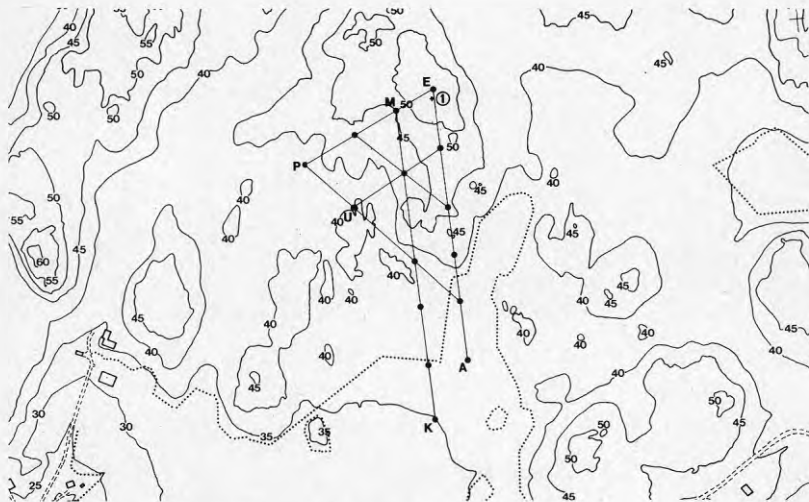
FIGUR 2.6 SIB:s mätuppställning ①, 16 mät-punkter

Mät-punkterna i SIB:s uppställning två, figur 2.7, (140 mättimmar) placerades ned efter sluttningen österut (lutning ca 1:5) mot den mycket täta granskogen (planterad) kring punkt J och på ången in i fältets vik. Uppställning tre, figur 2.8, (283 mättimmar) lades sedan på ett motsvarande sätt västerut efter den något svagare sluttningen mot ett område med väsentligt högre och glesare skog än i uppställning två. Här drogs också några mät-punkter ut på fältet för att ge en bättre dokumentation av skogsbrynets inverkan.



FIGUR 2.7 SIB:s mätuppställning ②, 16 mät-punkter

Senare arkitektskisser kom att visa bebyggelse allt längre norr- och västerut. Det var därför också önskvärt att få mätvärden från de något högre kullarna i väster och ner genom det sanka området öster därom. Uppställning fyra, figur 2.9, (426 mättimmar) utgjordes av ett mätsnitt ner genom kärret och knöts där ihop med uppställning tre. Vidare användes ytterligare åtta mätpunkter i denna uppställning för att dokumentera förhållandena vid den branta och exponerade toppen längst västerut och ner genom det skogbevuxna smala passet samt upp på intilliggande kulle mot öster. Figurerna 2.10 a-d visar några av instrumenten och mätpunkterna.



FIGUR 2.8 SIB:s mätuppställning 3, 16 mätpunkter



FIGUR 2.9 SIB:s mätuppställning 4, 24 mätpunkter



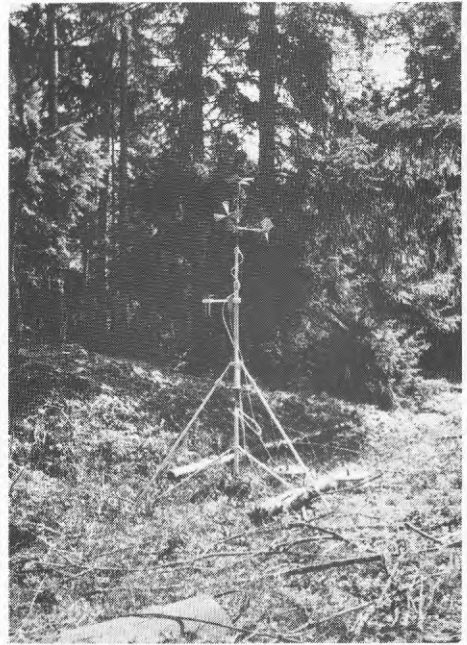
FIGUR 2.10a SMHI:s mätmast på
berget i punkt E (= ①)



FIGUR 2.10b SIB:s mätpunkt F



FIGUR 2.10c SIB:s mätpunkt S

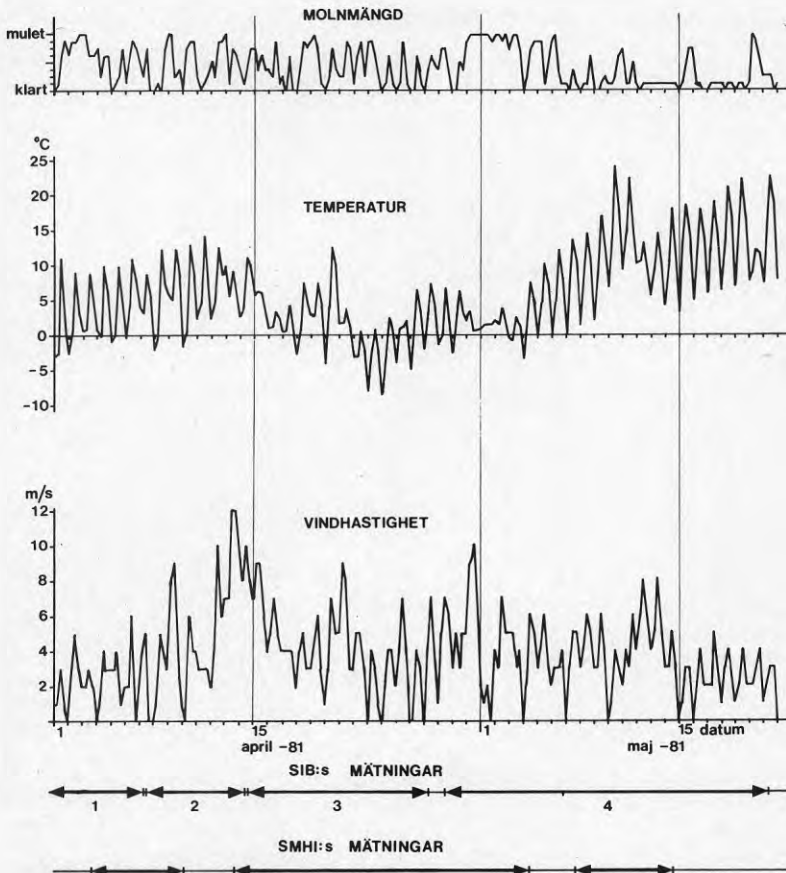


FIGUR 2.10d SIB:s mätpunkt P

(Mätpunkternas betäckningar finns i fig 2.2 sid 23)

2.2.5 Mätperiod

Mätningarna genomfördes i april-maj 1981. Figur 2.11 visar molnighet, temperatur och vindhastighet vid Tullinge flygplats under mätperioden.



FIGUR 2.11 Molnighet, temperatur och vindhastighet vid Tullinge flygplats 19810401-0522 samt tiden för olika mätuppställningar.

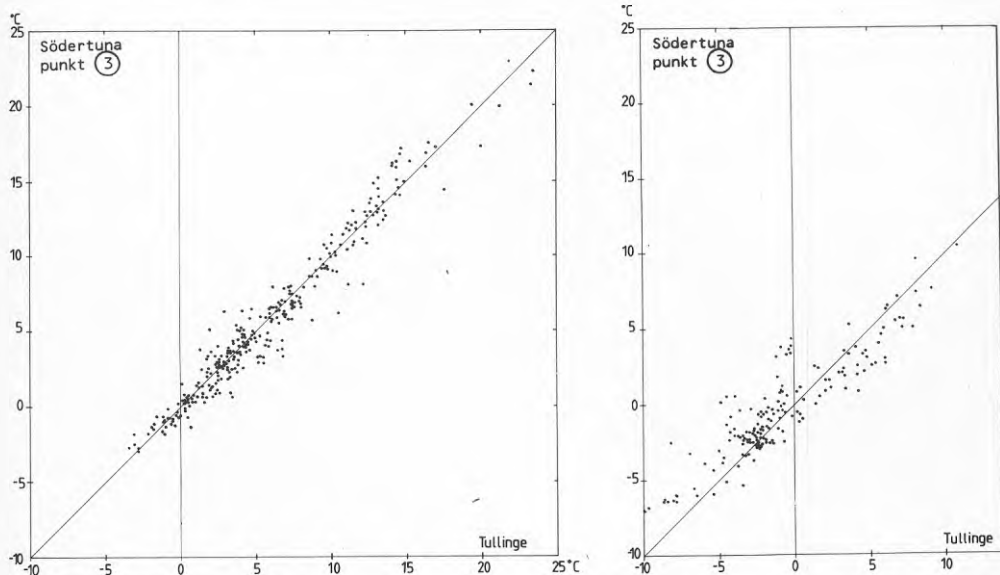
I början av mätperioden fanns fortfarande snö och is kvar fläckvis och inne i skogen. I slutet av perioden började lövträden få blad. Dygnsvariationerna i temperatur var i regel stora beroende på klara nätter. Under några dygn förekom vindhastigheter omkring 10 ms^{-1} (timmedelvärdet) vid referenspunkten och vindbyar på över 20 ms^{-1} .

2.3 Allmänna klimatförhållanden i Södertuna

2.3.1 Temperatur

Mätningarna i punkt ③ på 2 m höjd har jämförts med den samtidigt uppmätta temperaturen i Tullinge för att studera den senare stationens representativitet som klimatologisk referensstation för Södertuna. Eftersom man kan förvänta att temperaturdifferensens storlek varierar med stabiliteten har materialet grupperats efter stabilitetsklass. I figurerna 2.12 och 2.13 visas samhörande temperaturer i Tullinge och Södertuna vid neutral skiktning (PT = 4) respektive mycket stabil skiktning (PT = 7).

Vid neutral skiktning finns ingen påtaglig systematisk avvikelse. Vid denna stabilitet kan Tullinge anses som representativ även för öppen åkermark i Södertuna.



FIGUR 2.12 och FIGUR 2.13 Samtidig lufttemperatur på 2 m nivå i Tullinge och Södertuna över öppen åker, (punkt ③)

Vid mycket stabil skiktning (väsentligen nattförhållanden), då temperaturen påverkas starkt av lokala förhållanden, finns en tendens till högre temperatur i Södertuna punkt ③ än i Tullinge vid temperaturer under 0°C och omvänt vid temperaturer över 0°C. Materialet är för litet och spridningen för stor för att tillåta någon generalisering av sambandet mellan temperaturerna på de båda platserna. Figuren ger dock vid handen att temperaturen i Tullinge i flertalet fall inte avviker mer än $\pm 2^\circ\text{C}$ från Södertuna, punkt ③, ens i situationer med mycket stabil skiktning, då de största differenserna normalt förekommer.

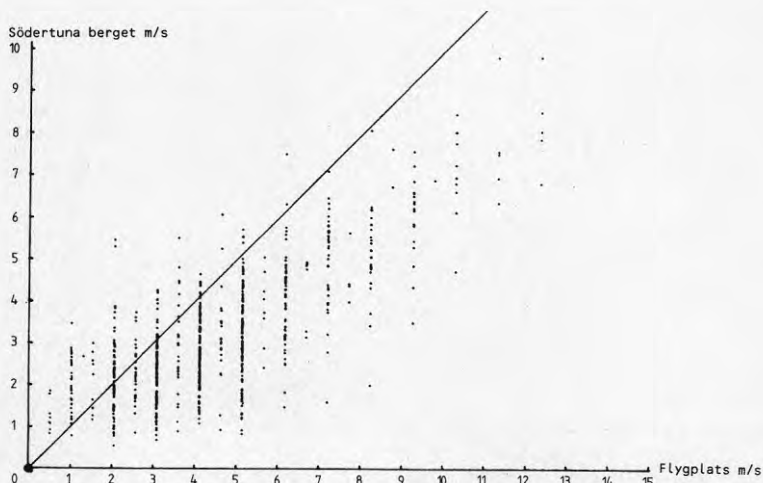
Man torde, mot bakgrund av ovanstående, kunna anse att temperaturstatistik från Tullinge med tillräcklig noggrannhet även representerar förhållandena över öppen, obebyggd mark i Södertuna. Lokala differenser inom Södertuna-området behandlas i kapitel 3.

2.3.2 Vind

Vindmätningen i punkt ① (berget) på 15.6 m höjd bör vara den mest representativa för strömningen över Södertuna-området som helhet och har därför använts som lokal referens vid analysen av vindklimatet i Södertuna. Sambandet mellan denna lokala referenshastighet och den samtidiga hastigheten på 10 m höjd i Tullinge åskådliggöres i figur 2.14.

Som framgår ur figur 2.14 är hastigheten i Tullinge systematiskt högre än över berget (punkt ①) i Södertuna utom vid mycket svaga vindar ($\lesssim 1.5 \text{ ms}^{-1}$). Härvid bör observeras att Tullinge ligger på 45 m ö h medan berget vid punkt ① når 55 m ö h och mätpunkten ligger på 15.6 m höjd. Den systematiskt lägre hastigheten i punkt ① är ett resultat av den mycket större skrovligheten i omgivningen (kuperad skogsterräng) än i Tullinge (öppet flygfält, dock med kuperad skogsterräng på 0.5 - 1.5 km avstånd).

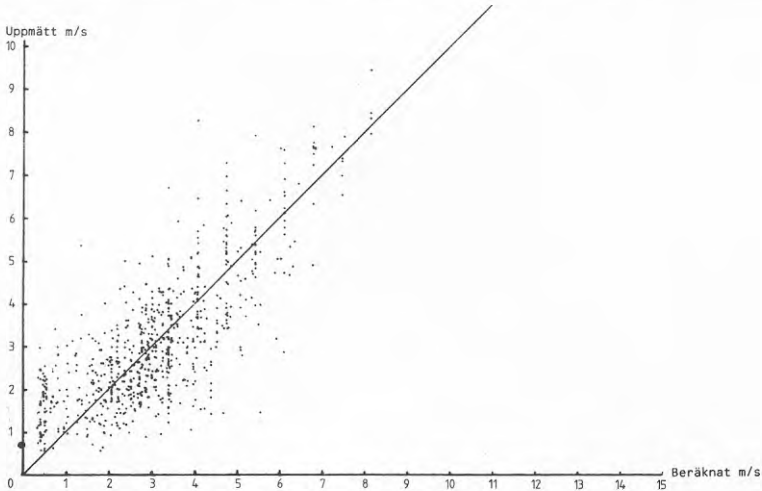
Spridningen i figur 2.14 är stor. Detta har flera orsaker. Dels är data för alla vindriktningar sammanslagna. Som närmare framgår nedan varierar kvoten mellan hastigheten i Tullinge och punkt ① avsevärt med vindriktningen. Dels är alla stabilitetstyper sammanslagna. Som också framgår nedan varierar hastighetskvoten starkt med stabiliteten. Vidare bör observeras att Tullinge-data i figur 2.14 grupperats i intervall med bredden 0.5 ms^{-1} , beroende på att vindhastighetsobservationerna anges i hela knop ($1 \text{ knop} \approx 0.5 \text{ ms}^{-1}$). Slutligen orsakas spridningen till en del av strömningens turbulens, dvs slumpmässiga hastighetsvariationer överlagrade på medelströmningen i båda punkterna. Även vid mätning i två horisontellt separerade punkter belägna över en helt homogen yta skulle turbulensen ge upphov till en spridning i de samtidiga hastighetsmätningarna.



FIGUR 2.14 Samtidigt uppmätta vindhastigheter vid Tullinge flygplats (10 m ö m) och berget Södertuna (15.6 m ö m). 10 min medelvärden.

2.3.3 Beräkning av vindstatistik för lokal referenspunkt

Den systematiska differensen mellan Tullinge och punkt ① är alltför stor för att Tullinge-data skall kunna anses representativa för Södertuna. Det är därför nödvändigt att korrigera vindstatistiken från Tullinge. Detta har gjorts med hjälp av en teoretisk modell, som ursprungligen utvecklats av SMHI och Uppsala universitets meteorologiska institution [5] i samband med undersökningar av vindenergitillgång i Sverige. Modellen har vidareutvecklats i vissa avseenden i samband med detta projekt, varigenom den tendens till överskattning av den beräknade vindhastigheten vid mera stabil skiktning (PT = 6 och 7), som tidigare fanns, eliminerats.



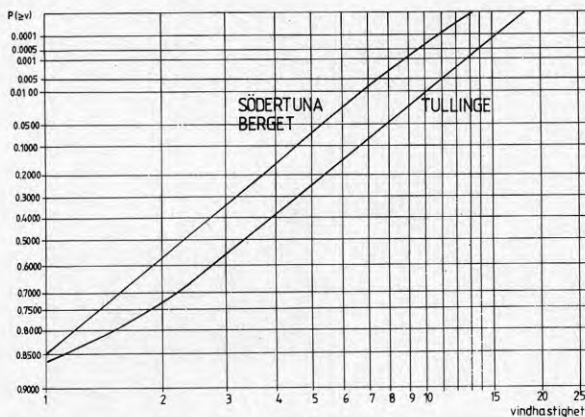
FIGUR 2.15 Beräknade och uppmätta vindhastigheter i Söde-tuna. Berget 15.6 m ö m. 10 min medelvärden.

Modellen innebär i princip följande. Utgående från meteorologiska observationer beräknas först vindens hastighetstilltagande med höjden (vindprofilen) vid observationsstationen som funktion av markytans skrovlighet uppströms i vindriktningen och rådande stabilitetsklass. Hänsyn tas härvid till variationer i skrovligheten uppströms ut till avstånd på 10 km från observationsstationen. Vindprofilen beräknas upp till en referenshöjd, z_R , där strömningen inte längre antas vara påverkad av variationer i underlagets skrovlighet mellan observationsstationen och den plats, för vilken vinden skall beräknas. Hastigheten på nivån z_R antas alltså vara lika över båda platserna.

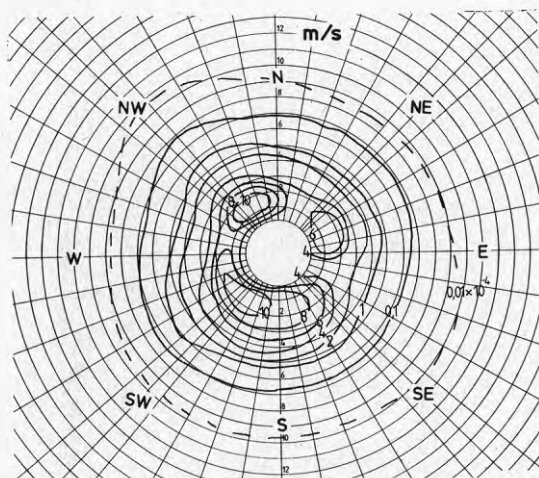
Från nivån z_R beräknas därefter vindprofilen nedåt till önskad höjd över marken på den aktuella platsen (i vårt fall punkt ① i Södertuna). Härvid tas på samma sätt som ovan hänsyn till markens varierande skrovlighet uppströms platsen och till aktuell stabilitetstyp, bestämd ur den meteorologiska observationen. I det aktuella fallet har vi emellertid infört en modifiering vid 'nedräkningen' av profilen över Södertuna. Vid stabiliteten PT = 7, enligt Tullingeobservationen, har 'nedräkningen' gjorts med användande av PT = 6. Anledningen härtill är den stora skillnaden i omgivningens skrovlighet vid de två platserna.

Resultatet av beräkningar enligt ovan med samma Tullinge-data som i figur 2.14 visas i figur 2.15. Som framgår därur finns fortfarande en viss spridning kvar, vilken dock är mindre än i figur 2.14. Däremot finns ingen påtaglig systematisk differens mellan uppmätt och beräknad vindhastighet.

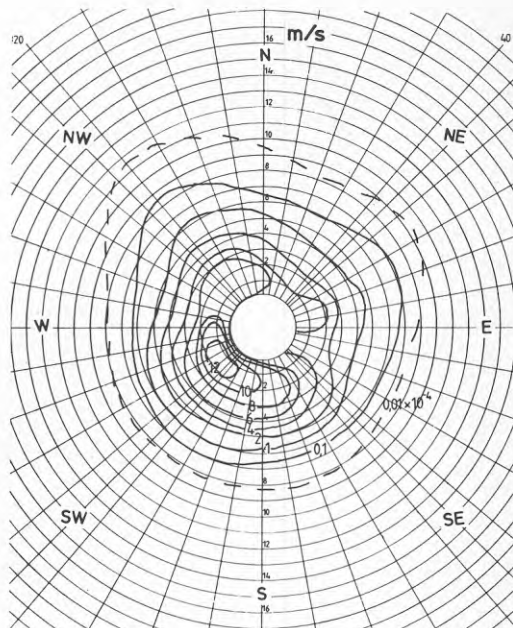
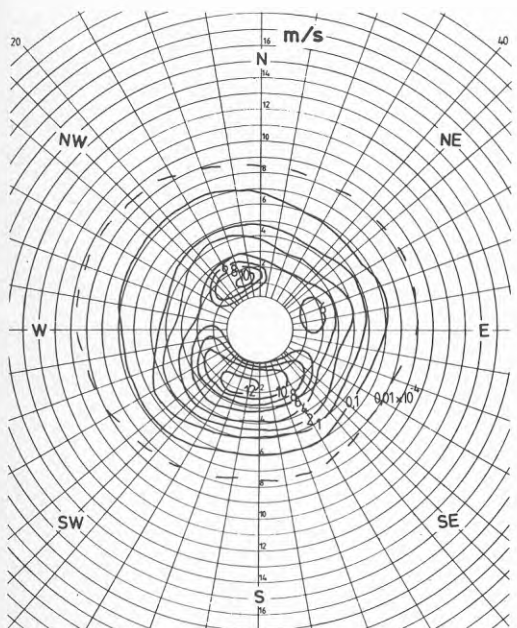
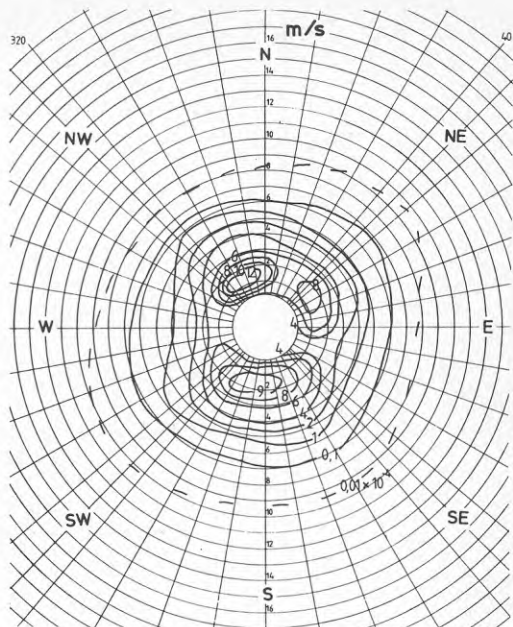
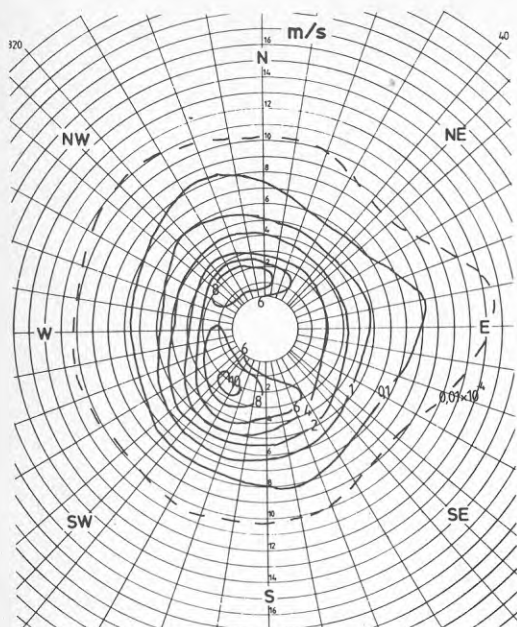
Beräkningsmodellen har därefter applicerats på samma timobservationer från Tullinge 1955-75, som ligger till grund för tabell 1 och figurerna 1.5-1.13, för beräkning av lokalt korrigerade vindfrekvenser avseende Södertuna, punkt ① (10 m höjd). Resultaten visas dels i figur 2.16, som ger sannolikheten för överskridande av olika vindhastigheter (Weibull-fördelning), dels i figurerna 2.17-2.21, som ger sannolikhetsfördelningen för olika hastighet och riktning (motsvarande figurerna 1.9-1.13) för olika månader samt för året. Vid beräkningen av figurerna 2.17-2.21 har ingen korrektion gjorts av vindriktningen enligt Tullinge-observationerna.



FIGUR 2.16 Sannolikhet för vindhastighet överstigande $V \text{ ms}^{-1}$ vid Tullinge flygplats (10 m ö m) och Södertuna (berget 10 m ö m).



FIGUR 2.17 Sannolikhet $(\text{grad}^{-1}(\text{ms}^{-1})^{-1})$ för samtidig vindriktning och vindhastighet i Södertuna (berget 10 m ö m), Året.

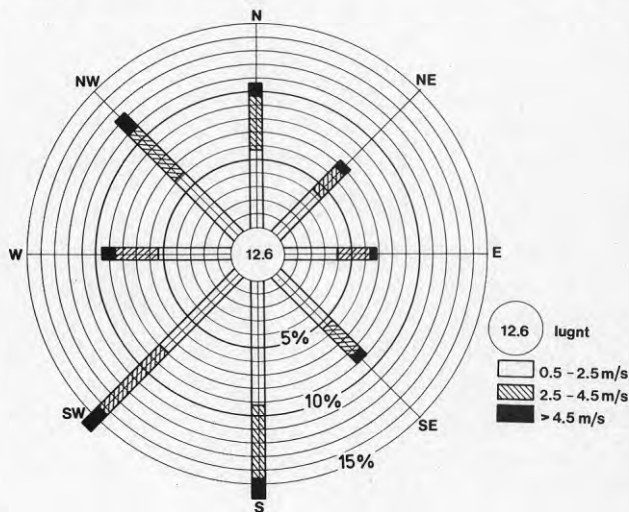


FIGUR 2.18- Sannolikhet ($\text{grad}^{-1}(\text{ms}^{-1})^{-1}$) för samtidig vind-
2.21 riktning och vindhastighet i Södertuna (berget
10 m ö m). Januari, April, Juli och Oktober.

Figur 2.16 visar hur hela hastighetsfördelningen förändras av den skrovligare omgivningen i Södertuna. Bl a erhålles väsentligt lägre extremhastigheter. För Tullinge (figur 1.9 året) finner man frekvensmaxima vid hastigheter på $2-3 \text{ ms}^{-1}$ vilka i Södertuna, punkt ①, figur 2.17, motsvaras av hastigheter på $1-2 \text{ ms}^{-1}$. Fördelningarna har således koncentrerats avsevärt jämfört med Tullinge, framför allt beträffande huvudmaximum i sektorn syd-väst. Frekvensen av lugnt har däremot inte förändrats i större grad. (Av grafiska skäl har centrum i diagrammet, motsvarande vindhastigheten 0 ms^{-1} , utvidgats till en cirkel. Frekvenstalet, som anges på periferien till denna cirkel, har dimensionen $\text{grad}^{-1} \times (\text{ms}^{-1})^{-1}$. För att få den verkliga frekvensen av lugnt skall detta tal multipliceras med 360° . För Tullinge, året, erhålles således frekvensen $p(0) = 360 \times 4 \cdot 10^{-4} = 0.14$, jfr tabell 1 och figur 2.16).

En förenklad sammanfattning av figurerna 2.14-2.18 visas i figur 2.22. De högsta hastigheterna uppnås vid vind från sydväst och syd följt av nordväst och väst.

De genomsnittliga vindhastigheterna i Södertuna är ovanligt låga. Årsmedianhastigheten vid referenspunkten (ca 10 m över skogen) är bara 2.3 ms^{-1} jämfört med 3.4 ms^{-1} vid Tullinge flygplats, 3.7 ms^{-1} vid Bromma och 5.8 ms^{-1} vid Torslanda.



FIGUR 2.22 Vindros för referenspunkten 1 i Södertuna efter SMHI:s beräkningar. Staplarnas längd visar den procentuella förekomsten av olika vindar.

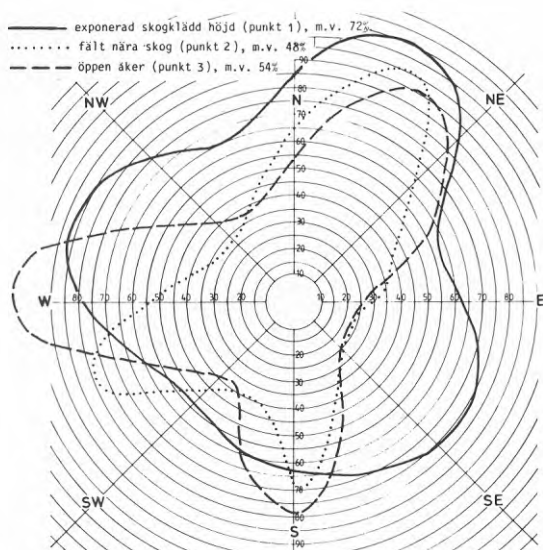
Vindhastigheterna på två olika platser kan förväntas uppvisa tydliga samband främst i situationer då medelströmningen i marknära nivåer är väldefinierad, vilket i regel innebär $PT = 4, 5, 6$. För att renodla jämförelserna med vinden i Tullinge har därför först utvalts timmar med neutral-stabil skiktning ($PT = 4, 5$ eller 6). Vid mycket stabil skiktning ($PT = 7$) är strömningen nära marken oftast mycket svag samtidigt som strömningen i högre nivåer tenderar att 'frikopplas' från underlagets inverkan. Vid instabil skiktning å andra sidan uppträder ofta rent lokala, termiskt betingade luftrörelser som kan medföra stora slumpmässiga differenser mellan de samtidiga hastigheterna på två skilda platser.

Figur 2.23 visar förhållandet mellan hastigheten på 10 m nivå i punkt ①, ② respektive ③ relativt Tullinge. Kurvorna representerar medelvärden över alla timmar under mätperioden med PT = 4-6. Vindriktningen i figuren avser den observerade riktningen vid Tullinge flygplats.

Resultatet i figur 2.23 måste ses som en grov approximation. Metoden att relatera vindhastigheter i form av en enkel kvot har en väsentlig svaghet däri att kvoten i regel ändras med vindhastigheten. För att kvoten mellan vindhastigheten på två platser kan förväntas vara konstant måste stabiliteten och vindriktningen på de två platserna också vara desamma.

Figur 2.23 ger ändå en bild, som kvalitativt motsvarar variationerna i omgivningsförhållandena i punkterna ② och ③. Däremot är bilden mindre klar beträffande punkt ①. Kvotens riktningvariation enligt figur 2.23 beror nämligen även av den lokala omgivningen på Tullinge flygplats. De topografiska förhållandena vid flygplatsen ger där anledning att förvänta en viss kanalisering och förstärkning av vindhastigheten vid vissa vindriktningar.

I punkt ③ är hastigheten vid västlig vind lika hög eller t o m något högre än på berget, punkt ①. I denna riktning råder fri vindväg över öppen åker över en sträcka av ca 300 m. Även vid vind omkring NNE råder fri vindväg över åkermark. Den kraftigaste hastighetsreduktionen erhålles vid vindriktningar, som motsvarar den kortaste vindvägen över åkern. Punkt ③ är således klart påverkad av läbildning från skogen och den högre terrängen i vissa riktningar. Med ledning av avståndet från punkt ③ till skogsbryn i olika riktningar kan utsträckningen av läområdet uppskattas till ca 180 m. Ett liknande resultat erhöles i en tidigare studie [6].



FIGUR 2.23 Lokal vindhastighet i Södertuna vid olika vindriktning i procent av vindhastigheten på Tullinge flygplats. 10 m över mark vid neutral till stabil skiktning.

Hastighetskvoter har även beräknats för punkterna ② och ③ relativt punkt ①. Resultaten visas i tabell 5 som medelvärden för olika stabilitetsklasser. Härav framgår att kvoten för en viss vindriktning är starkt beroende av stabiliteten. I punkt ③ erhålles exempelvis vid PT = 7 de högsta kvoterna för vindar från nord-ost och de minsta kvoterna vid vindar omkring väst. Vid instabil skiktning, PT = 3, visar tabellen bättre kvalitativ överensstämmelse med figur 2.23 utom för vindar i sektorn 60-160°.

Vindriktn	Punkt 3 Stabilitetsklass						Punkt 2 Stabilitetsklass						
	3	4	5	6	7	3	4	5	6	7			
20	1.0	1.13	0.94	0.73	0.34	1.2	0.89	0.86	0.68	0.49	3 instabil		
40	1.13	1.19	1.18	0.74	0.35	1.08	0.92	0.77	0.57	0.45	4 neutral		
60	1.11	0.97	0.93	0.68	0.36	0.82	0.80	0.53	0.46	0.41	5 svagt stabil		
80	1.05	0.69	0.63	0.56	0.36	0.66	0.62	0.40	0.46	0.38	6 stabil		
100	1.0	0.62	0.51	0.48	0.35	0.60	0.47	0.32	0.35	0.33	7 mycket stabil		
120	1.02	0.60	0.43	0.48	0.33	0.62	0.42	0.29	0.28	0.29			
140	1.08	0.67	0.40	0.50	0.31	0.70	0.48	0.35	0.33	0.26			
160	1.14	0.88	0.48	0.57	0.29	0.92	0.69	0.59	0.58	0.42			
180	1.19	1.16	0.63	0.65	0.27	1.23	1.22	0.90	0.71	0.78			
200	1.22	1.34	0.85	0.76	0.25	1.39	1.48	1.12	0.55	0.75			
220	1.22	1.40	1.10	0.90	0.23	1.38	1.51	1.17	0.41	0.41			
240	1.19	1.42	1.27	1.07	0.21	1.25	1.40	1.08	0.45	0.23			
260	1.11	1.39	1.16	1.10	0.20	1.07	1.02	0.70	0.57	0.53			
280	0.98	1.22	0.70	0.82	0.20	0.88	0.76	0.49	0.55	0.51			
300	0.87	1.0	0.55	0.58	0.22	0.76	0.59	0.47	0.32	0.34			
320	0.80	0.69	0.49	0.49	0.26	0.72	0.55	0.51	0.36	0.35			
340	0.79	0.58	0.52	0.53	0.33	0.80	0.69	0.64	0.57	0.43			
360	0.84	0.76	0.68	0.62	0.42	1.01	0.83	0.83	0.64	0.53			

TABELL 5. Relativa vindhastigheter 10 m ö m på öppen åker (punkt ③) respektive fält (punkt ②) nära skog i förhållande till hastighet över exponerad skogklädd höjd (punkt ①) vid olika vindriktningar och stabilitet.

För punkt ② är överensstämmelsen mellan tabell 5 och figur 2.23 bättre vad beträffar mönstret men kvoternas värden visar även här en kraftig systematisk ändring med stabiliteten.

Ökningen av kvoten relativt punkt ① med avtagande stabilitet är kvalitativt i överensstämmelse med den förändring av vindprofilens form, som man kan förvänta sig teoretiskt. Speciellt de låga värdena vid PT = 7 återspeglar den tidigare nämnda tendensen till 'frikoppling' av strömningen i högre nivåer (över berget). Härvid reduceras det nedåtriktade vertikala impulsflödet starkt och strömningen i låg nivå tenderar att stagnera samtidigt som strömningen accelereras i högre nivå. Med avtagande stabilitet blir friktionsinflytandet på strömningen i högre nivå allt starkare, vilket återspeglas i att kvoten vid en viss vindriktning ökar från PT = 7 till PT = 4-3.

Vid luftens strömning över ett hinder kan man på teoretiska grunder förvänta en lokal hastighetsförstärkning i relativt låg nivå över krönet. Mätningarna i punkt ① ger dock inget tydligt belegg för en sådan förstärkning. Detta torde bero på den mycket stora skrovligheten (skog) i alla riktningar runt punkten. Om skogen avverkas eller gallras hårt, speciellt längs sluttningarna mot E samt S-W finns risk för betydande lokal hastighetsökning längs dessa sluttningar och över krönet.

3. DETALJSTUDIER AV KLIMATET I SÖDERTUNA

3.1 Temperatur

Inom ett område av Södertunas karaktär kan man förvänta utpräglade lokala temperaturdifferenser framför allt nattetid vid stabil eller mycket stabil skiktning (PT = 6 och 7). I sådana situationer är vinden nära marken svag och den vertikala turbulenta omblandningen av luft liten eller obefintlig. Om samtidigt molnigheten är liten, vilket i regel är fallet, kan lokala variationer i markytans nattliga strålningsbalans orsaka avsevärda temperaturdifferenser. I öppen terräng kan differenserna ytterligare förstärkas genom tillrinning och ansamling av kallluft i svackor.

Under dagen är vinden och turbulensen i regel tillräckligt kraftig för att i stort sett jämna ut lokala temperaturdifferenser i ett landskap av Södertunas karaktär. Över fuktig mark åtgår emellertid större delen av den under dagen absorberade solinstrålningen till att avdunsta vatten. Sådana markytor får därför en lägre temperatur än torrare ytor. I vindskyddade lägen samt i övrigt när vinden avtar under eftermiddagen eller kvällen medför den fuktiga markens lägre temperatur även en sänkning av lufttemperaturen nära marken.

Vid svag vind under dagen kan lokala temperaturdifferenser uppkomma, som ett resultat av varierande solinstrålning mot olika markytor, speciellt mellan solbelysta och skuggade ytor. Dessa differenser i lufttemperaturen blir dock betydligt svagare än de nattliga differenserna.

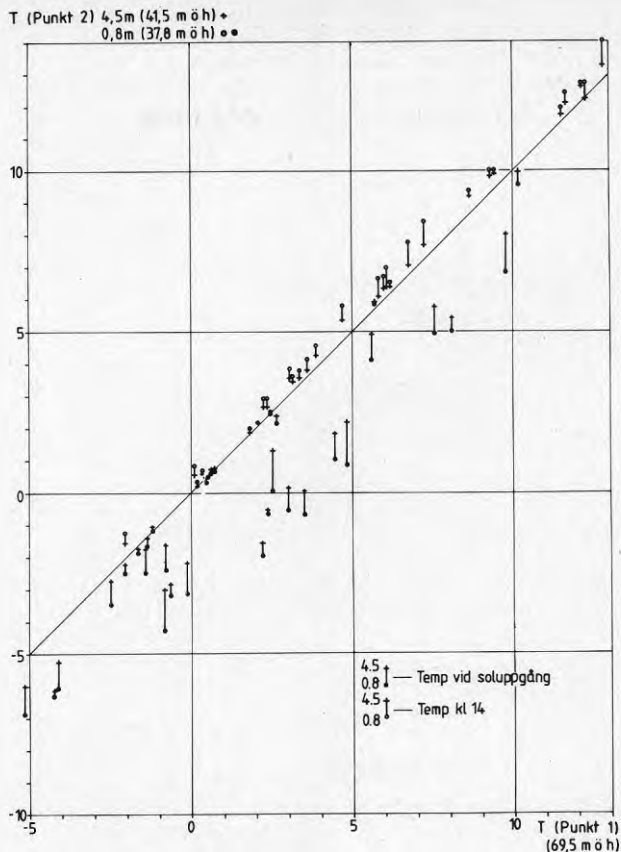
Såväl uppvärmningen som avkylningen av luften under ett dygn börjar vid och är kraftigast vid marken. Avkylningen orsakar vid svag vind och liten molnighet ofta kraftiga temperaturinversioner (lufttemperaturen tilltar med höjden) i marknära luftskikt. I figur 3.1 har temperaturdifferensen mellan 4.5 m och 0.8 m nivåerna i punkt ② plottats vid två olika tidpunkter under dygnet mot den samtida temperaturen på 15 m nivån i punkt ① (ca 30 m högre). Den senare mätnivån torde vara den för området som helhet mest representativa, dvs uppvisa de svagaste horisontella differenserna.

Tidpunkterna (soluppgång respektive kl 14) har valts för att representera förhållandena vid tidpunkten för dygnets lägsta respektive högsta temperatur. Figuren innehåller värden från samtliga dygn, för vilka mätdata föreligger.

Som framgår av figur 3.1 är 4.5 m nivån praktiskt taget alltid varmare - ofta betydligt varmare - än 0.8 m nivån vid soluppgången, dvs markinversion råder över fältet vid punkt ②. Kl 14 råder det omvända förhållandet men differensen mellan 4.5 m och 0.8 m nivån är betydligt svagare.

Ur figuren framgår vidare att temperaturen vid soluppgången nästan alltid är lägre i skiktet 0.8-4.5 m i punkt ② än på 15 m nivån i punkt ①. Kl 14 är förhållandet även härvidlag det omvända men skillnaden är mycket svagare.

Slutligen framgår att i de fall, då temperaturdifferensen 4.5 m - 0.8 m är liten (approximativt motsvarande neutral skiktning) är även temperaturskillnaden mellan punkt ② och punkt ① liten.



FIGUR 3.1 Temperatur på 0.8 och 4.5 m ö m i punkt ② (37 m ö h) vid viss temperatur på 15 m ö m i punkt ① (54 m ö h) kl 14 och vid soluppgång.

Ovanstående kan sammanfattas enligt följande:

Över de öppna, lägre liggande fälten bildas i regel inversioner nattetid. Inversionen når ofta upp till nivåer över angränsande höjdparter, varvid temperaturen ovanför berget (punkt ①, 15 m) är typiskt 2-3° högre än nära marken över fälten.

På dagen är luften 0.5-1° varmare över fälten än över berget och skiktningen är ofta instabil i hela skiktet.

Mätresultaten avser en period under våren med relativt stora temperaturvariationer under dygnet och från dag till dag. Vid mätningarnas början var snösmältningen avslutad och barmark rådde på fälten. Markens fukthalt var dock stor under större delen av mätperioden. De ovan beskrivna lokala differenserna torde under dagtid vara något kraftigare under sommaren och i stort eliminerade under vintern (vid snötäckt mark). Nattetid torde differenserna vara mer markerade under vintern och i stort sett oförändrade under sommaren.

3.1.1 Utgångspunkter för analyser av temperaturförloppet

Nettostrålningen, Q^* , utgör den primära drivkraften för temperaturförändringar nära marken. Q^* är differensen mellan alla nedåtriktade och uppåtriktade strålningsflöden (kortvägig solstrålning och långvägig värmestrålning). Nettostrålningen fördelas på följande poster:

- $Q_G =$ Värmeledning i marken
 $Q_H =$ Turbulent transport av värme mellan markytan och luften
 $Q_E =$ Turbulent transport av vattenånga (avdunstningsvärme) mellan markytan och luften

För markytan gäller:

$$Q^* = Q_G + Q_H + Q_E \quad (3.1)$$

Samtliga energiflöden räknas positiva i riktning mot markytan.

Q_H och Q_E är under dagen i regel riktade uppåt medan Q_G är riktad nedåt. Q_H är uppåtriktad vid instabil skiktning, nedåtriktad vid stabil skiktning och = 0 vid neutral skiktning.

Värmeinnehållet, H , i ett luftskikt med djupet Δz styrs av i vilken takt Q_H , Q_E och Q^* ändras med höjden, dvs:

$$\frac{\partial \bar{H}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} (Q_H + Q_E + Q^*)_{\Delta z} \quad (3.2)$$

där medelvärdet avser skiktet Δz .

Termen $\partial Q_E / \partial z$ representerar ändringen av halten av vattenånga men innebär ingen ändring av lufttemperaturen så länge ingen kondensation sker. För temperaturändringen kan man därför skriva:

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} = \frac{1}{\rho c_p \Delta z} \frac{\partial}{\partial z} (Q^* + Q_H)_{\Delta z} \quad (3.3)$$

där

- $\rho =$ luftens densitet (kg/m^3)
 $c_p =$ luftens specifika värmekapacitet (J/kg K)
 $\bar{T} =$ medeltemperaturen i skiktet Δz

Temperaturen kan även påverkas av horisontell tillförsel av värme enligt:

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial x} (u \cdot T)_{\Delta z} \quad (3.4)$$

där u är vindhastigheten. Detta bidrag är dock, utom i mycket speciella fall, helt försumbart.

Temperaturmätningarna från Södertuna har analyserats i syfte att pröva olika metoder att bestämma den nattliga temperatursänkningen i olika punkter. Dessa analyser redovisas nedan i avsnitt 3.1.2 och 3.1.3.

3.1.2 Temperaturförloppet vid renodlad strålningsavkyllning

Nettostrålningen Q^* blir negativ kort före solnedgången och representerar under natten en förlust av energi för markytan. Natte-tid gäller för markytan:

$$Q^* = L^* = L\downarrow - L\uparrow \quad (3.5)$$

där

$L\downarrow$ = långvågig värmestrålning från luft och moln

$L\uparrow$ = långvågig värmestrålning från markytan

L^* = nattetid praktiskt taget alltid < 0 , dvs $L\uparrow > L\downarrow$

$L\uparrow$ innebär en energiförlust för markytan. Denna förlust kompenseras - helt eller delvis - dels genom uppåtriktad värmeledning i marken, Q_G , dels genom atmosfärens motstrålning $L\downarrow$. Så länge $L\uparrow > L\downarrow + Q_G$ avkyls markytan och luften närmast denna. En ökning av $L\downarrow$ (t ex genom molnighetsökning i låga och medelhöga nivåer) kan leda till uppvärmning av marken och luften närmast denna trots att $L^* = L\downarrow - L\uparrow < 0$ om $|L^*| < |Q_G|$.

Q^* har ej mätts vid själva markytan utan på en viss höjd (1 m) därovanför. I skiktet mellan marken och mätnivån sker en viss absorption av den strålning, som emitteras från själva markytan. Vid tillräckligt svag vind kan man förtutsätta att $Q_H \approx 0$ inom den lägsta metern över marken och alltså

$$\frac{\partial Q_H}{\partial z} \approx 0$$

i ekv. (3.3). Temperaturändringen blir då proportionell mot

$$\frac{\partial Q^*}{\partial z},$$

ändringen av Q^* över skiktet 0-1 m.

För avkyllningen av själva markytan under en klar och vindstilla natt har följande uttryck härletts [7]. Utgångspunkten är det idealiserade förhållandet att ytemperaturen svänger sinusformat med strålningen som drivkraft och därmed dygnet som period. Om marken antas homogen och svängningsamplituden beror av dess värmelednings- och värmelagringsförmåga, som är konstanter, erhålls:

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} = c_1 \cdot Q^* \cdot t^{-\frac{1}{2}} \quad (3.6)$$

eller

$$\Delta T = c_2 \cdot Q^* \cdot t^{\frac{1}{2}} \quad (3.7)$$

där t räknas från den tid då markytans strålningsbalans blir negativ, dvs approximativt vid solens nedgång

$$c_2 = \frac{2}{\pi^{\frac{1}{2}} (\rho \cdot c \cdot \lambda)^{\frac{1}{2}}} \quad (3.8)$$

ρ = markens densitet, kg m^3

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

λ = markens värmeledning, $\text{J m}^{-1} \text{K}^{-1} \text{s}^{-1}$

Termen $(\rho \cdot c \cdot \lambda)^{-1}$ kallas 'thermal admittance' och finns tabellerad för olika material.

Ekv. (3.7) avser ett läge med fri horisont. Värdet på Q^* kan korrigeras med hänsyn till eventuell horisontavskärmning från omgivningen, se [8].

Ovanstående ekvation gäller ej under dagtid. Tillämpbarheten av ekv (3.7) under natten (efter solnedgången) är begränsad till renodlade situationer.

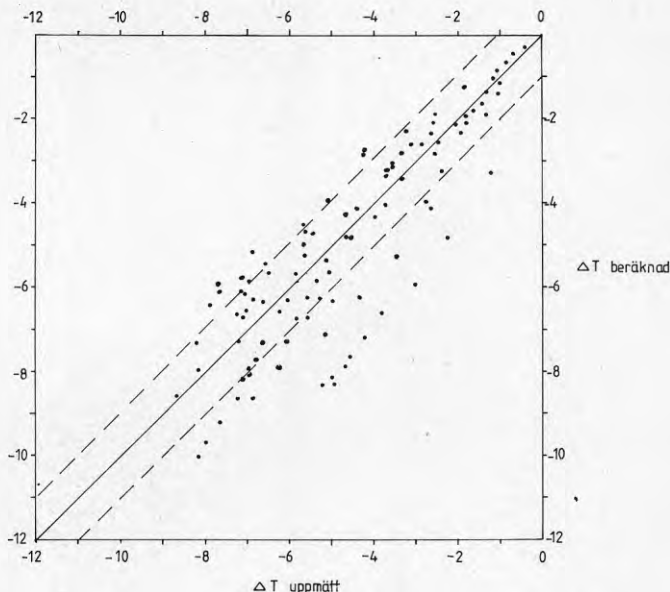
Tidigare undersökningar [8, 9] har visat att ekv (3.7) ger en god approximation även av luftens temperaturavtagande över öppna markytor i situationer med renodlad strålningsavkylning. Nedan redovisas tester av ekv. (3.7) baserade på SMHI:s respektive SIB:s temperaturmätningar i olika (ej sammanfallande) mätpunkter. I båda fallen har nettostrålningsdata från SMHI:s mätpunkter använts. Som närmare framgår i det följande är resultaten inte entydiga även om en god överensstämmelse mellan uppmätt och beräknad temperatursänkning erhålles i vissa fall.

För att avkylningsförloppet skall följa ekv (3.7) fordras även att L_{\uparrow} , L_{\downarrow} och Q_G är approximativt konstanta i tiden. Dessutom fordras, som tidigare nämnts, att strömningen nära marken är praktiskt taget turbulensfri så att det inte sker något vertikalt värmeutbyte i luften nära marken.

De nämnda förutsättningarna är åtminstone approximativt uppfyllda under kvällen 1981-04-04 efter kl 20 samt 1981-04-05 från solnedgången till kl 23. Den beräknade avkylningen enligt ekv (3.7) och (3.8) i punkt ③ (2.0 m) och punkt ② (0.8 m) är följande. (I båda punkterna består marken av tung, våt lerjord täckt av gles stubb respektive glest, kort fjolårsgräs).

Kl	1981-04-04 Temperatur °C				1981-04-05 Temperatur °C			
	Punkt 2		Punkt 3		Punkt 2		Punkt 3	
	uppmätt	beräkn.	uppmätt	beräkn.	uppmätt	beräkn.	uppmätt	beräkn.
18	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	5.47	-	4.98	-
20	6.20	-	5.68	-	3.99	3.77	3.17	3.48
21	4.61	5.07	3.73	4.72	2.86	2.67	2.15	2.49
22	3.54	3.24	2.59	3.01	2.40	1.93	1.38	1.78
23	2.51	2.26	1.40	2.08	2.10	1.03	1.07	0.90
24	0.28	1.34	-0.38	1.18	3.84	-	2.71	-
01	-0.52	0.49	-1.21	0.34	3.94	-	3.69	-
02	-0.09	-0.28	-1.09	-0.42	3.32	-	2.97	-
03	-1.02	-0.99	-1.78	-1.11	3.07	-	2.99	-
04	-0.99	-1.64	-1.29	-1.74	2.93	-	2.94	-
05	-1.48	-2.28	-1.67	-2.36	2.30	-	2.18	-

I figur 3.2 visas ytterligare jämförelser mellan uppmätt och beräknad avkylning efter solnedgången. Data hänför sig till utvalda dygn under mätperioden, då approximativt 'ideala' förhållanden rådde. Bortsett från en serie punkter (för 1983-04-23), då beräkningarna ger en kraftig överskattning av avkylningen, överensstämmer beräknad och uppmätt temperatursänkning inom $\approx \pm 1^{\circ}\text{C}$.



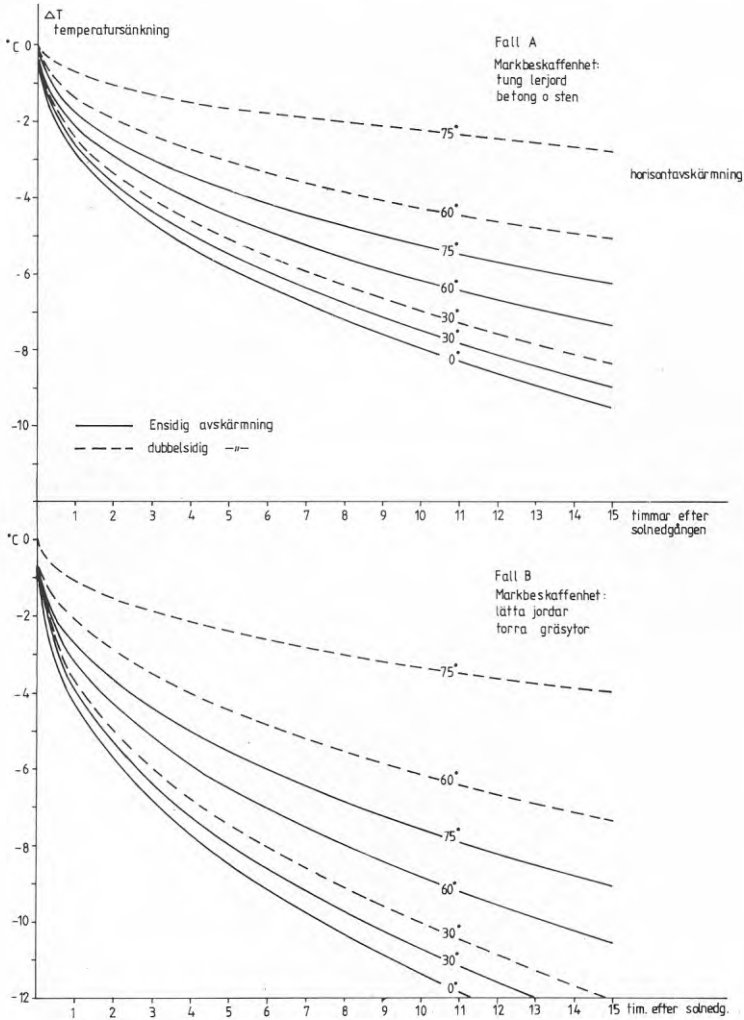
FIGUR 3.2 Beräknad och uppmätt temperatursänkning 1-8 tim efter solnedgången. Södertuna punkt ③, åker med fri horisont. Vindhastighet mindre än 1 ms^{-1} . Nettostrålning mellan -10 Wm^{-2} och -100 Wm^{-2} . Entimmesmedelvärden.

3.1.3 Inverkan av horisontavskärningen

Under de renodlade förhållanden, då avkylningsförloppet väsentligen styrs av nettostrålningen vid marken, spelar graden av lokal horisontavskärning en väsentlig roll. Differensen $L_{\downarrow} - L_{\uparrow}$, blir starkt påverkad av motstrålningen från avskärande föremål (träd, terräng eller byggnader). Eftersom sådana objekt (i synnerhet byggnader) har en väsentligt större motstrålningstemperatur än atmosfären kommer den negativa nettostrålningen, L^* , att reduceras och avkylningsförloppet att bromsas. Effekten blir dock betydelsefull först vid avskärningsvinklar $\gtrsim 30^{\circ}$ och beror vidare av avskärningens geometri.

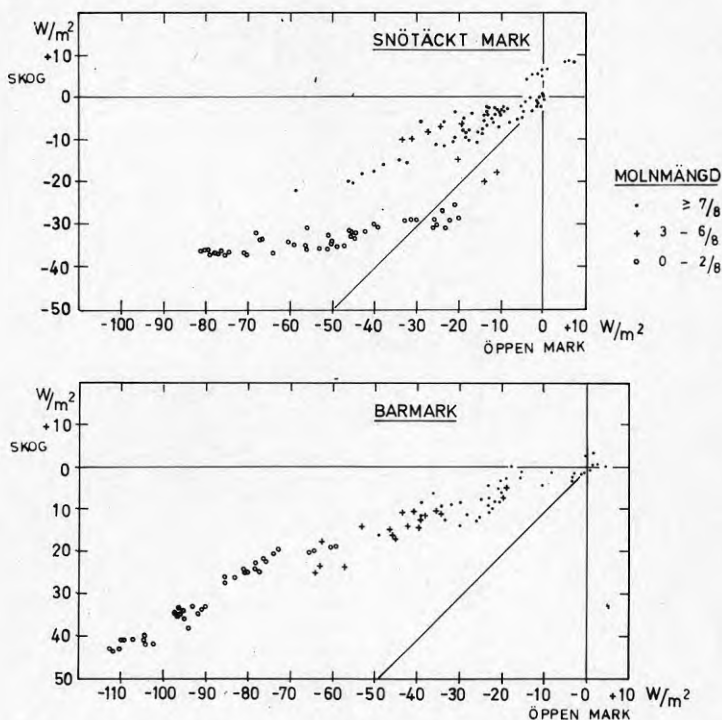
I figur 3.3 visas teoretiskt beräknade avkylningskurvor enligt ekv (3.7) för luft nära marken dels vid enkelsidig respektive dubbelsidig avskärning dels för olika typer av markbeskaffenhet. Figureerna representerar främst de förhållanden, som kan komma att råda i bebyggelse (i gaturummet eller på gårdar). I naturlig omgivning är den effektiva horisontavskärningen ofta svår att bestämma pga oregelbunden topografi och/eller varierande täthet hos vegetationen.

Ur figur 3.3 framgår bl a att temperaturskillnader mellan öppen åkermark och tät stadsbebyggelse (fall A, 0° respektive 75° dubbelsidig horisontavskärmning) 6-8 timmar efter solnedgången kan uppgå till 5-5.5°C. Detta kan jämföras med uppmätta temperaturöverskott i centrala Uppsala [9] (horisontavskärmning 65-70°) på 4-5°. Denna s k urbana värmeö är åtminstone sommartid (under icke-eldningssäsong) väsentligen ett resultat av ökad horisontavskärmning i bebyggelse. Härav följer också att temperaturfördelningen i bebyggelseområden uppvisar en detaljstruktur som mycket nära följer variationer i bebyggelsetätheten.



FIGUR 3.3 Beräknad temperatursänkning efter solnedgång vid olika horisontavskärmning. Klar himmel, svag vind. Nettostrålning $L^* = -75 \text{ Wm}^{-2}$.

Nettostrålningsmätningarna i Södertuna utfördes endast över öppen mark med samma underlag. I en tidigare undersökning [6] gjordes emellertid bl a parallella nettostrålningsmätningar över öppen åkermark och i medeltät barrskog. Dessa mätningar utfördes under perioden 1978-03-13 - 04-09, dvs något tidigare under året än Södertunamätningarna och inkluderar resultat både vid snötäckt mark och vid barmark. I figur 3.4 visas den samtidiga nettostrålningen nattetid över öppen mark och i skog vid snötäckt respektive barmark. Ur figuren framgår även inverkan av molnigheten i låg nivå. Skogen reducerar strålningsförlusten till ca hälften av värdet över öppen mark. Vid snötäckt mark och liten molnighet (0-2/8) är dock förhållandet ett annat, se vidare [6].

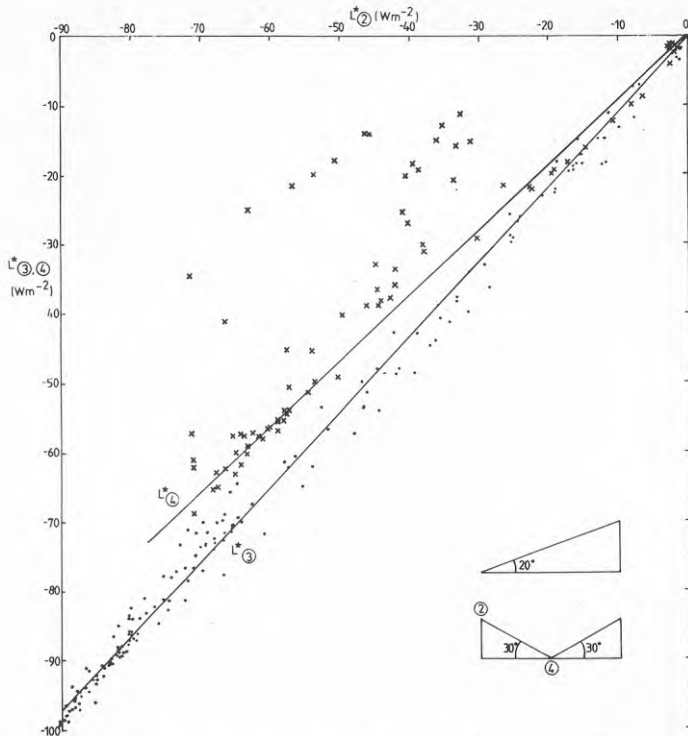


FIGUR 3.4 Nettostrålning över öppen mark och i skog vid snötäckt mark och barmark. Västra Ångby [6].

Som nämnts tidigare flyttades instrumenten i punkt ③ till punkt ④ efter ca halva mätperioden. Det senare läget har väsentligt större horisontavskärning från skog och terräng. Punkt ④ kan ur avskärningssynpunkt jämföras med en gata (dubbelsidig parallell avskärning) i relativt gles bebyggelse.

Samhörande nettostrålningsmätningar i punkterna ③② respektive ④② visas i figur 3.5. I punkt ② är horisontavskärningen i huvudsak ensidig, ca 20° mot öster. I punkt ④ är avskärningen dubbelsidig, ca 30° mot öster och väster. I punkt ③ är horisontavskärningen försumbar. Man kan då teoretiskt beräkna förhållandet

$$\frac{L^*_{④}}{L^*_{②}} \quad \text{respektive} \quad \frac{L^*_{③}}{L^*_{②}}$$



FIGUR 3.5 Nettostrålning efter solnedgång i punkt ② och i förhållande till punkt ③ och ④

Motsvarande kvoter kan även bestämmas ur figur 3.5. Följande resultat erhålles för de teoretiskt respektive experimentellt bestämda kvoterna.

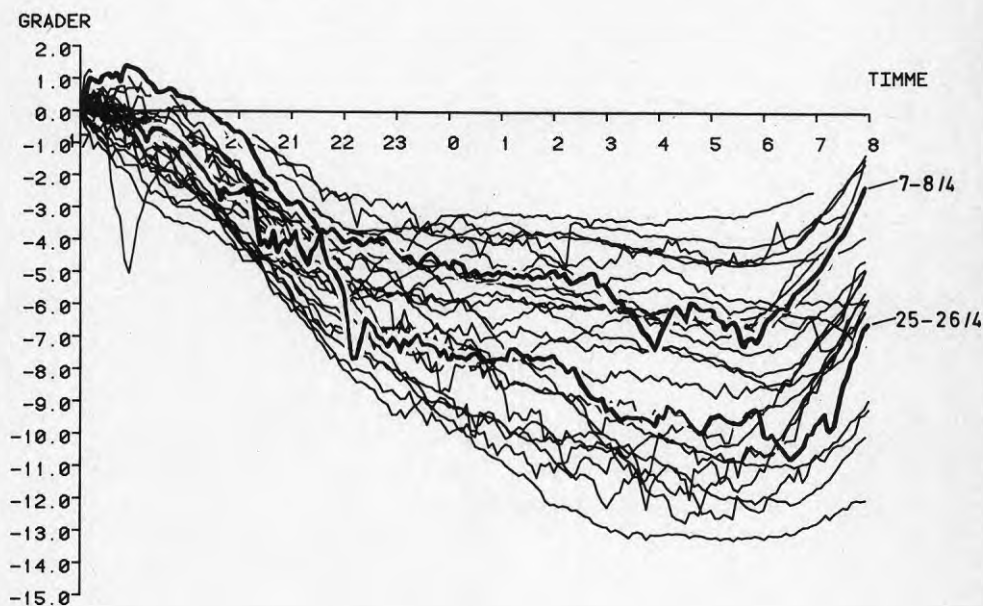
	Teoretiskt	Uppmätt
$\frac{L^*_{④}}{L^*_{②}}$	0.84	0.87
$\frac{L^*_{③}}{L^*_{②}}$	0.97	0.92

Överensstämmelsen är närmast överraskande god med hänsyn till att omgivningens geometri är relativt komplicerad. Bland annat är den effektiva avskärmingsvinkeln från den omgivande skogen svår att bestämma med större noggrannhet.

Betydelsen av ovanstående relationer framgår ur ekv (3.7), enligt vilken avkylningshastigheten, vid i övrigt oförändrade förhållanden, är direkt proportionell mot L^* . I punkt ④ bör följaktligen avkylningshastigheten vara ca 15% svagare än i punkt ③. Eftersom temperaturmätningar ej utförts samtidigt i båda punkterna kan detta dock ej direkt verifieras ur mätningarna.

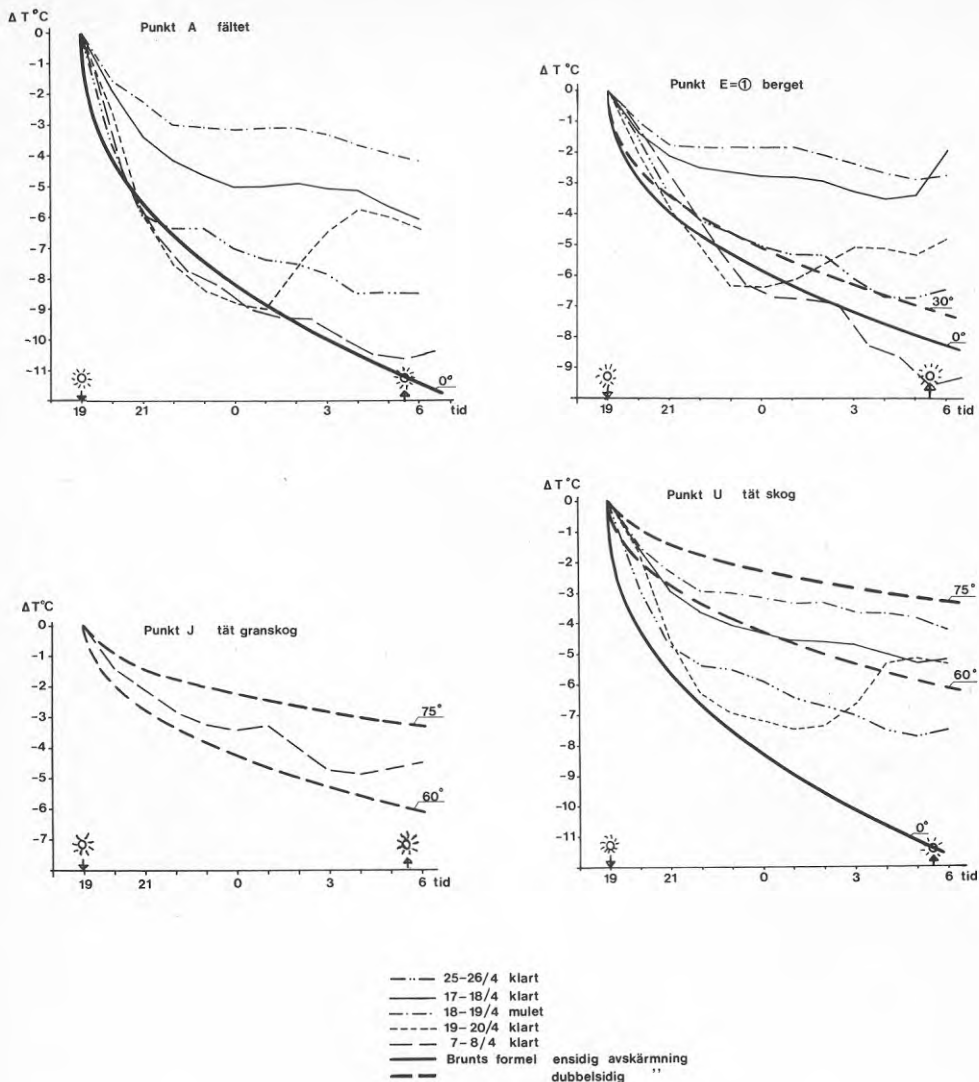
3.1.4 Avvikelser från det renodlade avkylningsförloppet

Ett successivt temperaturavtagande med tiden inträffade under 16 av de 26 uppmätta nätterna i Södertuna, figur 3.6. Under övriga nätter förekommer tidvis även temperaturstegringar. Den största nattliga temperatursänkningen förekommer inte i samband med svag vind och stor utstrålning utan under ett kalluftinbrott, varvid vindhastigheten var förhållandevis hög. Nätter med störst utstrålning har inte alltid lett till ovanligt stor nattsänkning eftersom det då inte alltid varit svag vind. Av de 26 nätterna uppvisar egentligen bara tre stycken riktigt låga vindhastigheter i samband med långvarig och stor utstrålning, nämligen natten den 7, 17 och 25 april.



FIGUR 3.6 Nattliga temperaturfall vid punkt ① 2 m ö m under de 26 nätterna med mätningar. 17 nätter var mer eller mindre klara.

I figur 3.7 visas uppmätta och beräknade temperaturförlopp under fyra klara nätter samt en mellanliggande mulen. Den vindsvagaste natten med stor utstrålning, 7 april, stämmer bäst med den beräknade kurvan. Temperaturstegringen efter midnatt 19 april förklaras av att vindhastigheten börjar öka vid kl 01-02. Det mindre temperaturfallet 17 april kan ha sin förklaring i att det blåser en aning mer då på fältet och på berget (punkt E). I den täta skogen, punkt J, tränger däremot inte vinden in.

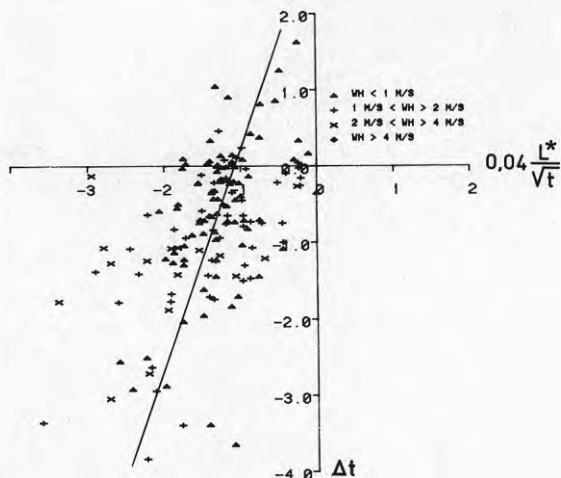


FIGUR 3.7 Nattnliga temperaturfall på 2 m nivå vid 4 mätpunkter jämförda med kurvor enligt ekv. (3.7) beräknade för olika markbeskaffenhet och horisontavskärmning.

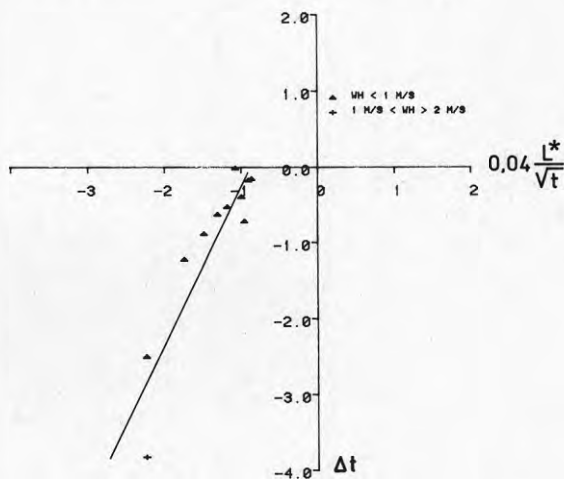
Resultaten illustrerar också att temperaturförloppet nattetid är mycket känsligt bl a för småskaliga variationer i vindhastigheten liksom av lokalt rådande molnighetsförhållanden, markförhållanden och horisontavskärmning. Under det fåtal nätter, då renodlad strålningsavkylning rådde, visar avkylningsförloppet emellertid kvalitativt överensstämmelse med det beräknade. Betydligt mer omfattande mätningar och mer ingående analyser fordrar dock för att utveckla en generell modell för beräkning av lokala temperaturförhållanden.

3.1.5 Analys av lokala temperatursamband

Även om ideala nätter är sällsynta förekommer det ganska ofta att kortare perioder av olika nätter har mer eller mindre 'ideala' förhållanden. Temperaturfallet per timme enligt ekv (3.7) har därför studerats för alla timmar med en viss högsta vindhastighet, figur 3.8. Figurerna visar stor spridning även vid mycket svaga vindar. För natten 7 april är emellertid korrelationen god, figur 3.9.



FIGUR 3.8 Nattnliga temperaturfall per timme (ΔT) som funktion av nettostrålning och tid efter solnedgång vid olika vindhastigheter. Mät punkt A på fältet, 175 natt-timmar.



FIGUR 3.9 Temperaturfall per timme (ΔT) natten 7-8/4 1981 som funktion av nettostrålning och tid efter solnedgång. Mät punkt A på fältet.

För att statistiskt beskriva temperaturvariationerna inom området är det inte nödvändigt att kunna förutsäga temperaturfallet isolerat i en viss punkt utan det räcker med att kunna beskriva temperaturen i en viss punkt som funktion av temperaturen i en annan punkt. Genom mätningar känner vi temperaturförhållandena på fältet i punkt (2). Denna punkt är jämförbar med SMHI:s standardmätpunkter för lufttemperatur. Genom samband mellan temperaturer för punkter i skogen och referenspunkten (2) på fältet, skulle man kunna bestämma temperaturstatistik, gradtimmar m m för många olika punkter inom området.

I analogi med metodiken i avsnitt 2.3.3 för omräkning av vindhastighet har ett försök gjorts att beräkna en av det lokala underlaget oberoende temperatur på viss nivå ovanför området utifrån temperaturen på fältet. Därifrån har vi sedan försökt beräkna temperaturen på andra platser med hjälp av teoretiska temperaturprofiler. För detta krävdes ett samband för vertikala temperaturgradienter och uppgifter om vind och strålning i de olika punkterna samt en uppskattning av markens termiska egenskaper på fältet respektive olika platser i skogen. Temperaturen 10 m över mark i den högst placerade masten (punkt (1)) antogs ge temperaturer representativa för hela området på denna nivå.

I ett försök att få fram enklare samband mellan temperaturer i olika punkter under natten har vi utgått från markytans värmebalans. Enligt ekv (3.1) och (3.5) gäller för markytan, s , under natten:

$$L_s^* = Q_G + Q_H + Q_E \quad \text{Wm}^{-2} \quad (3.9)$$

Termen Q_H , den turbulenta värmetransporten, innehåller en vertikal temperaturskillnad ΔT . Detta har vi utnyttjat för att studera om våra uppmätta vertikalt temperaturskillnader kan korreleras till ett uttryck av typen:

$$\Delta T = f(Q_H) \approx f(L_s^* - Q_G) \quad ^\circ\text{C} \quad (3.10)$$

Vi har då antagit att flödet av vattenånga $Q_E \approx 0$ under nätterna. Vidare har vi antagit att temperaturen på 2 m nivå, vår lägsta mätthöjd, följer yttemperaturen T_S men dämpad (dämpningskvot D) och fasförskjutet i tiden Δt sek.

$$T_2(t) = D T_S(t + \Delta t) \quad (3.11)$$

L_s^* är uppmätt och för termerna Q_H och Q_G har följande empiriska samband använts [10, 11]:

$$Q_H = -\rho_a \cdot C_a \cdot k^2 Z^2 \left(\frac{\Delta \bar{u}}{\Delta Z} \cdot \frac{\Delta \bar{T}}{\Delta Z} \right) (\phi_M \cdot \phi_H)^{-1} \text{Wm}^{-2} \quad (3.12)$$

där

ρ_a och C_a = luftens densitet och specifika värme

K = Karmans konstant ≈ 0.4

ΔZ = $Z_2 - Z_1$, vertikal höjdskillnad

$\Delta \bar{u}$ = skillnad i medelvindhastighet på nivå Z_1 och Z_2

$\Delta \bar{T}$ = skillnad i medeltemperatur på nivå Z_1 och Z_2

$\phi_M \phi_H$ = dimensionslösa stabilitetsfunktioner för rörelsemängd och värme.

Skiktningen under natten är stabil eller neutral och då är:

$$(\phi_M \cdot \phi_H)^{-1} = (1 - 5 Ri)^2$$

$$Ri = \frac{g}{T} \frac{\Delta T / \Delta Z}{(\Delta \bar{u} / \Delta Z)^2} \quad (3.13)$$

där
 g = jordaccelerationen
 \bar{T} = medeltemperaturen i skiktet ΔZ
 och

$$Q_G(t) = C_s \cdot t^{-\frac{1}{2}} \left[T_S(t + \Delta t_2) - T_S(0) \right] W_m^{-2} \quad (3.14)$$

där
 $C_s = (2\pi \lambda_s \rho_s C_s)^{\frac{1}{2}}$, konstanterna är markens värmeledning, densitet och värmekapacitet

$T_S(t + \Delta t)$ = markytans temperatur vid tiden $t + \Delta t$

$T_S(0)$ = markytans temperatur vid solnedgången

$$T_S(t + \Delta t_2) - T_S(0) = A_S \sin [\omega(t + \Delta t_2)]$$

A_S = yttemperaturens dygnsamplitud

Först studeras varje term i ekv (3.10) genom regressionsanalys för sig varvid värdet på de ingående konstanterna inte spelar någon roll för korrelationskoefficienten. Medeltemperaturen per timme uppe i masten (punkt ①) och på olika ställen nere vid marken (2 m) användes då. Någon fäsförskjutning i tiden gjordes inte. Det visade sig då att korrelationerna till L^* och $1/(1-5Ri)^2$ var sva-
 ga ($r < 0.4$). Till $1/\bar{u}_{ref}$ var korrelationen något bättre för de öppna ytorna ($r = 0.3-0.5$). Det tydligaste sambandet fanns emellertid till termen $(T_2(t) - T_2(0)) t^{-\frac{1}{2}}$ ($r = 0.5-0.75$).

Denna översiktliga genomgång resulterade i att ett visst samband mellan lokala temperaturer och referensnivån ovanför skogen ($\Delta Z > 10$ m) kunde visas enligt följande uttryck:

$$T_{ref}(t) - T_2(t) \approx - \frac{T_2(t) - T_2(0)}{t^{\frac{1}{2}} \cdot \bar{u}_{ref}} \quad (3.15)$$

för vilket korrelationskoefficienten r varierar mellan ca 0.5-0.8 för olika mätpunkter. Även andra förenklade varianter av ekv (3.10) har prövats, dock utan att bättre överensstämmelse med mätdata erhållits.

Med ett allmänt uttryck för sambandet mellan temperaturer på två olika nivåer kan man också knyta samman temperaturer på olika platser vid marknivån via den högre nivån. Eftersom vi ville finna samband mellan temperaturer i de olika mätpunkterna och mätpunkt ③ på fältet (T_2, Ref), där förhållandena överensstämde med dem vid SMHI:s normala temperaturmätstationer, har vi också korrelerat temperaturskillnader på 2 m ($T_2, skog$) nivån till punkt ③ med varianter av ekv (3.10). Eftersom temperaturfallet efter solnedgången i skogen inte kommer att vara känt när man vill beräkna temperaturskillnaderna mot fältet har vi bl a prövat med att sätta detta proportionellt mot temperaturfallet på fältet fram till tiden t och fick då för horisontella temperaturskillnader:

$$T_{s,skog}(t) - T_{2Ref}(t) = \frac{T_{2Ref}(t) - T_{2Ref}(0)}{t^{\frac{1}{2}} \cdot \bar{u}_{Ref}} (a - 1)$$

a = konstant (3.16)

varvid korrelationen försämrades något i förhållande till ekv (3.15), ($r = 0.3-0.6$).

De förenklade sambanden (3.14) och (3.15) gav hyggliga korrelationer för vissa mätpunkter men sämre för andra. För att tillämpa förenklade samband av ovanstående slag krävs emellertid goda korrelationer för alla mätpunkter. Om dessa ansatser är användbara får framtida studier, inriktade på just detta, utvisa.

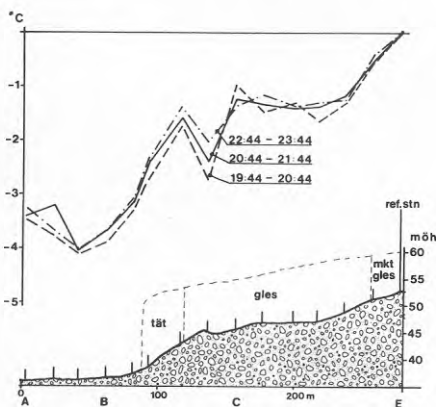
3.2 Kartering av temperaturfältet på 2 m nivå

Här behandlas främst nattförhållanden, eftersom det framför allt är då lokala temperaturförhållanden utvecklas.

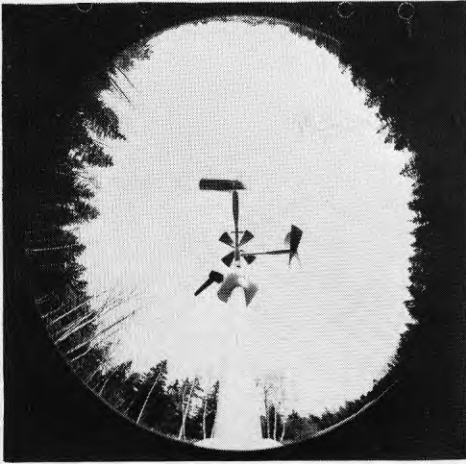
3.2.1 Uppmätta rumsvariationer

Från den första, figur 2.6, mätuppställningen finns temperaturmätningar från 86 nattimmar (solen under horisonten). När vindhastigheten på berget (punkt E, 2 m) var $\gtrsim 1 \text{ ms}^{-1}$ och däröver förekom inga stora temperaturskillnader. Där var då genomsnittstemperaturen under natten någon tiondels grad högre än vid övriga mätpunkter.

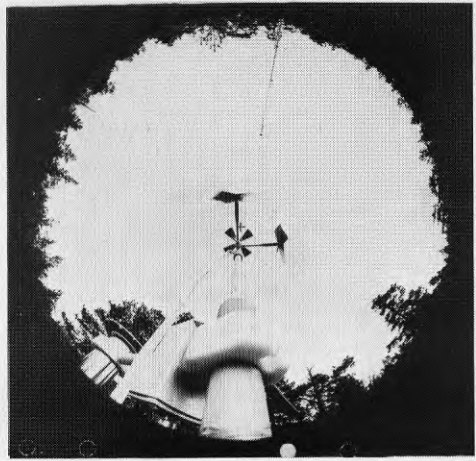
Vid vindhastighet $\lesssim 1 \text{ ms}^{-1}$ och nettostrålning mellan -50 och -100 W/m^2 blev det i regel mycket kallare på fältet - ner till 4°C kallare än uppe på berget vid några tillfällen, se figur 3.10. Station B på fältet hade hela tiden den lägsta temperaturen. Den låg i en svag svacka indikerad av en vattensamling. Trots att svackan är liten har den genom kalllufttillrinning från sidorna fått lägre temperatur än omgivningen. Temperaturen stiger kraftigt upp över krönet och håller sig sedan relativt oförändrad på den nästan horisontella bergsryggen, med undantag från krönet, (station E), samt mätpunkt 8 som ligger intill ett dike. Skogen på bergsryggen är ganska glest bevuxen med tallar vilket gör att solen under dagen kan tränga ner till det kala berget, som har god värmelagringsförmåga. Fish-eye bilderna i figurerna 3.11-3.13 visar horisontavskärningen i ovannämnda punkter.



FIGUR 3.10 Genomsnittliga temperaturskillnader på 2 m nivå i förhållande till referenspunkten på krönet ($E = 1$) under olika nattimmar med förhållandevis klart väder och lite blåst. Mättnitt A-E, SIB uppställning 1. (OBS! Höjdskalan 4 ggr större än längdskalan).



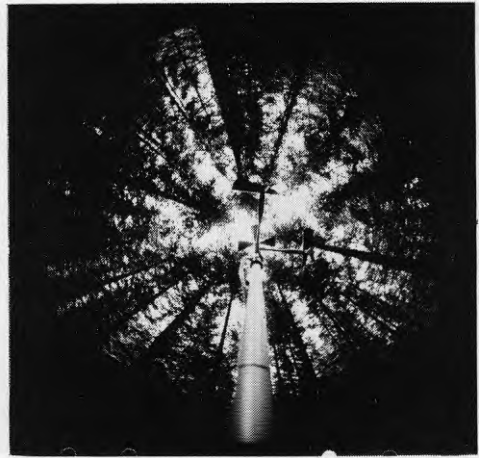
FIGUR 3.11 Fish-eye fotografi av
mät punkt B i fig 2.2
och 3.10.



FIGUR 3.12 Fish-eye fotografi av
mät punkt E (1),
referenspunkten på
fig 2.2, 3.10 och
3.15.

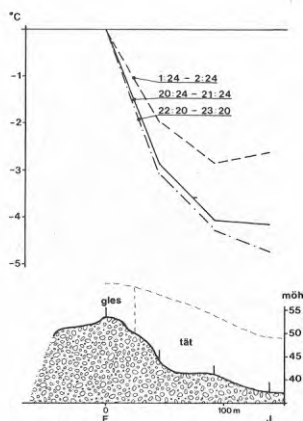


FIGUR 3.13 Fish-eye fotografi av
mät punkt C i fig 3.10.

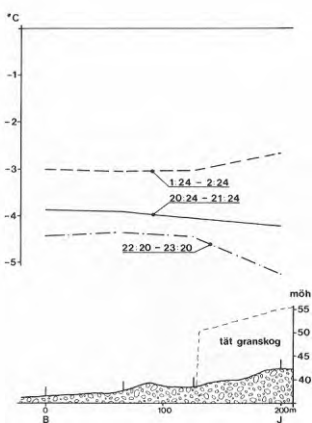


FIGUR 3.14 Fish-eye fotografi av
mät punkt J i fig 2.2,
3.15 och 3.16.

Från den andra mätuppställningen finns temperaturmätningar från 85 nattimmar. Punkt J, figur 3.14, i tät granskog fick de lägsta temperaturerna nattetid, figur 3.15. Temperaturen ökar kraftigt uppför den glest bevuxna kullen. Temperaturen på fältet är till en början högre än inne i den täta skogen, sannolikt pga den värme som lagrats upp under dagen, figur 3.16. Senare på natten, när utstrålningen pågått en längre tid, blir det emellertid kallare på fältet än i skogen. De relativa skillnaderna mot krönet minskar också.

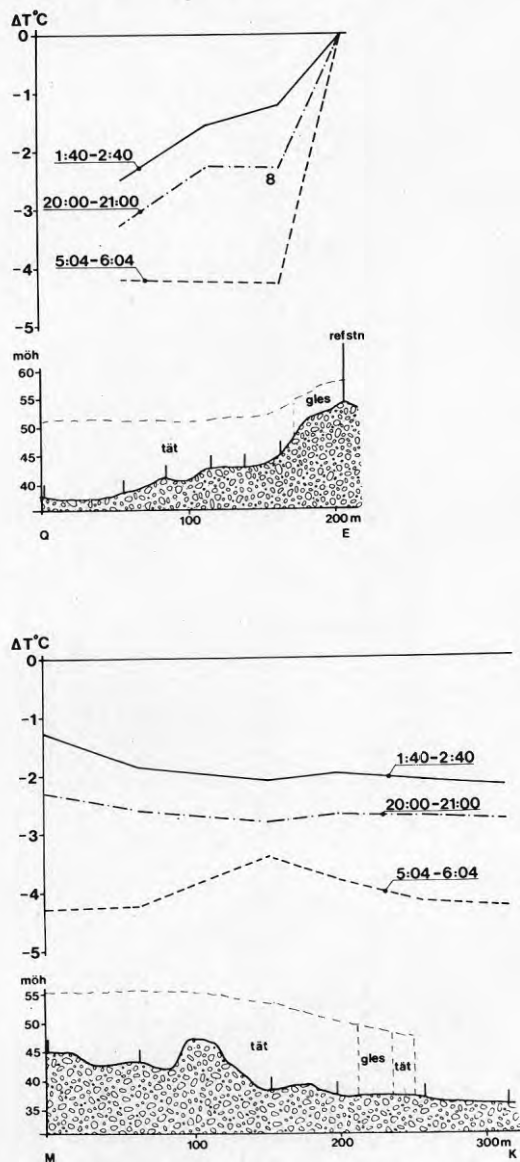


FIGUR 3.15 Genomsnittlig temperaturskillnad på 2 m nivå i förhållande till referenspunkten på krönet (E = ①) under tre olika nattimmar med förhållandevis klart väder och lite bläst. Timmedelvärden. Mättnitt E-J i fig 2.2. (OBS! Höjdskalen är 4 ggr större än längdskalan).



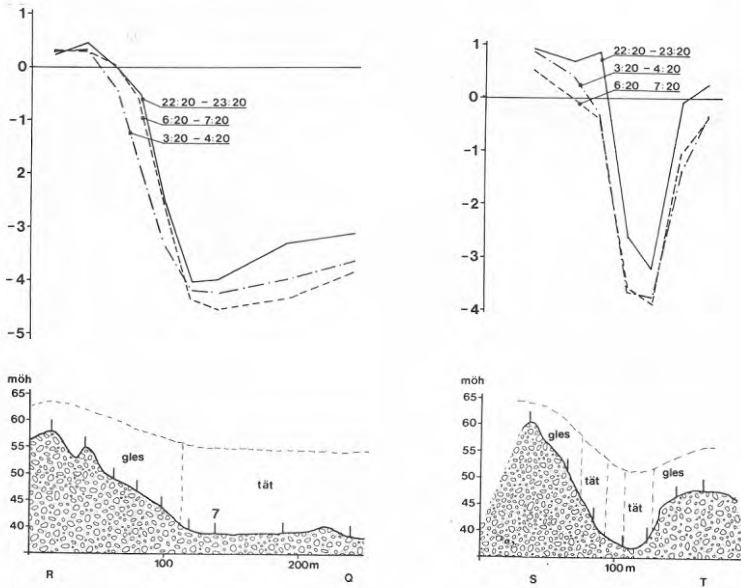
FIGUR 3.16 Genomsnittlig temperaturskillnad på 2 m nivå i förhållande till referenspunkten på krönet (E = ①) under tre olika nattimmar med förhållandevis klart väder och lite bläst. Timmedelvärden. Mättnitt B-J i fig 2.2. (OBS! Höjdskalen är 4 ggr större än längdskalan).

I den tredje uppställningen mättes temperaturen under 160 nattetimmar. Nattemperaturen är i genomsnitt knappt en grad lägre i den höga och relativt glesa skogen jämfört med krönet (punkt E). De lägre delarna av skogen har en ganska jämn temperatur som stiger med höjden, se figur 3.17.



FIGUR 3.17 Genomsnittlig temperaturskillnad på 2 m nivå i förhållande till referenspunkten på krönet (E = ①) under tre olika nattetimmar med förhållandevis klart väder och lite bläst. Timmedelvärden. Mättnitt Q-E och M-K i fig 2.2. (OBS! Höjdskaalen är 4 ggr större än längdskaalen).

Vid den fjärde uppställningen följde temperaturen bergssluttningarna mycket väl, figur 3.18a och b. Vid de lägst belägna mätpunkterna i figur 3.18a var temperaturen dock inte lägst. Det kan bero på att sänkan strax ovanför har ett större tillrinningsområde för kallluft. De allra största differenserna uppträder på morgonen, när solen börjar värma de högt belägna partierna, medan skogen ännu ligger i skugga. Temperaturskillnaden mellan kärret och krönet var då som mest 4°C.



FIGUR 3.18 a, b Genomsnittlig temperaturskillnad på 2 m nivå i förhållande till referenspunkten på krönet ($E = 1$) under tre olika nattimmar med förhållandevis klart väder och lite bläst. Timedelvärden. Mät-snitt R-Q och S-T i fig 2.2. (OBS! Höjdskalen är 4 ggr större än längdskalan).



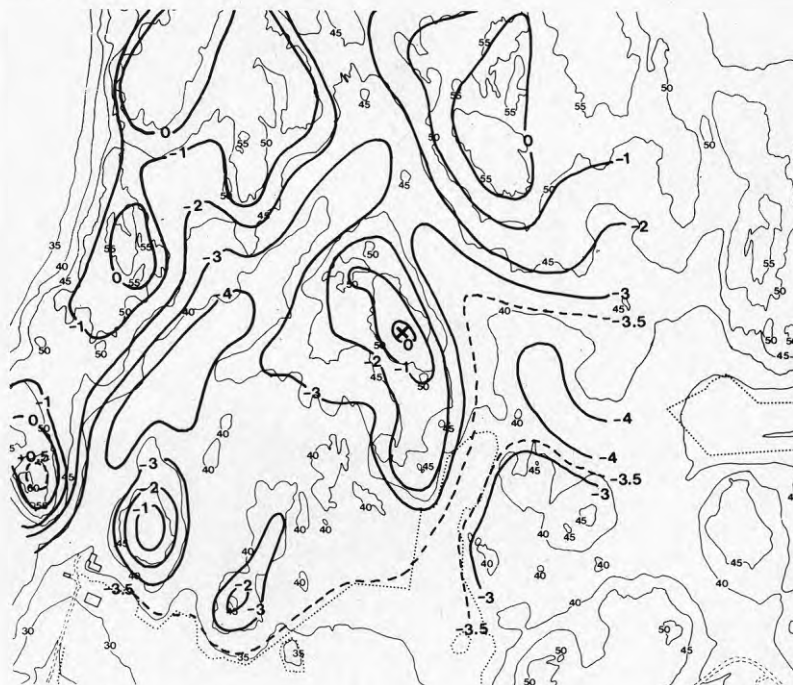
FIGUR 3.19 Fish-eye fotografi från station 7 i fig 3.18a (kärret).

3.2.2 Temperaturmönster

Temperaturvariationerna inom ett område bildar vissa mönster som ofta upprepas därför att de beror på den lokala omgivningen. Skillnader i temperaturen beror som tidigare diskuterats på skillnader i markytans värmebalans som i sin tur beror på skillnader i in- och utstrålning, värmelagring och värmeledning i marken, vindskydd etc. I viss utsträckning förändras omgivningens egenskaper under året t ex i fråga om markfuktighet, snötäcke eller lövträdens genomsläpplighet för vind och strålning. De rumsliga temperaturvariationerna avtar snabbt med höjden över markytan och är ofta obetydliga några tiotal meter upp i luften.

Under klara och stilla nätter sjunker den kalla luften ner i sänkorna och det utbildas därför ett temperaturmönster som ganska väl följer nivåkurvorna.

Figur 3.20 har konstruerats med utgångspunkt från de mest likartade nattimmarna vid klar och stilla väderlek. Resultaten från de olika mätupställningarna har generaliserats, huvudsakligen med den lokala topografins hjälp, till att täcka hela området. De lågt liggande och sänka delarna med höga träd får, åtminstone under våren, de lägsta temperaturerna. De kalare bergskrönen tar åt sig mer värme under dagen och blir ett par grader varmare under natten. Då det finns ett snötäcke så att värme inte lagras upp i marken under dagen blir fälten sannolikt kallare än sänkorna i skogen.

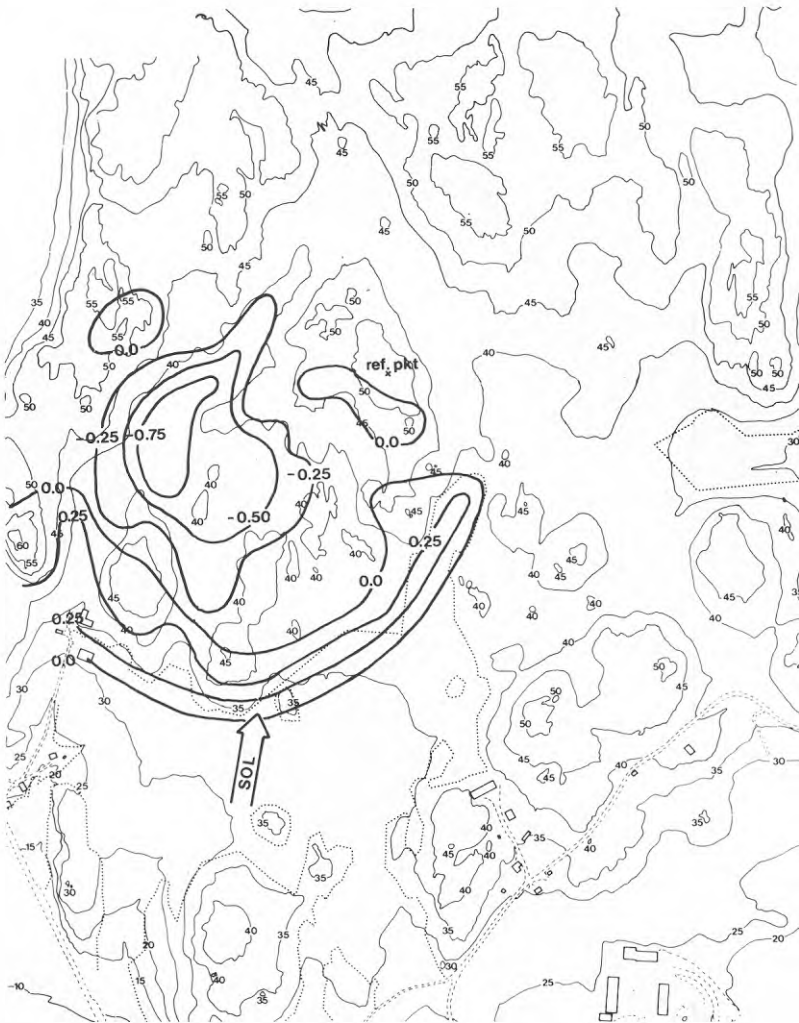


X Referenspunkt

FIGUR 3.20 Nattnligt temperaturmönster på 2 m nivå vid klart väder och lite vind. Temperaturdifferenser till referenspunkten (E). Timmedelvärde.

Under dagtid blir temperaturskillnaderna betydligt mindre, figur 3.21. I den täta skogen dit solstrålningen inte når kan det vara en grad lägre temperatur än i solbelysta ängsvikar. Sydsluttningarna med glesare vegetation blir också varmare. Upphetningen kring det solbelysta skogsbrynet blir tydlig men mycket lokal. Yttertemperaturen på solbelyst mark kan bli tiotals grader högre än lufttemperaturen. På sådana platser gör värmestrålningen att det känns mycket varmare än vad lufttemperaturen ger vid handen.

Temperaturmönstren i figur 3.20 och 3.21, som baserats på vår relativt korta mätperiod, visar säkert inte de största skillnaderna som kan förekomma. Liknande mönster men med mindre temperaturdifferenser uppträder också ofta, dvs vid andra tillfällen än helklara och vindstilla nätter.



FIGUR 3.21 Exempel på temperaturmönster på 2 m nivå under en klar majdag kl 12.30-13.30. Temperaturdifferens till referenspunkten (E). Timmedelvärde.

3.2.3 Genomsnittliga temperaturvariationer

För bl a energibalansberäkningar önskar man få reda på de genomsnittliga lokala temperaturskillnaderna. Samband baserade på markens termiska egenskaper och väderleken skulle ge möjlighet att även beräkna temperatureffekterna av olika exploateringsalternativ. Eftersom de samband som erhöles i avsnitt 3.1.5 inte gav tillräckligt säkra resultat för allmän tillämpning får vi här nöja oss med att kommentera genomsnittliga temperaturskillnader som förekom under vår mätperiod.

Under fyra dygn, 18-21 april, med omväxlande klart och mulet väder var dygnsmedeltemperaturen densamma på fältet som på krönet. Under en klarare tredagarsperiod som följde senare, hade fältet en dygnsmedeltemperatur som var mer än en halv grad lägre än krönet. I den täta skogen var medeltemperaturen emellertid vid båda tillfällena, en halv grad lägre. I den glesare skogen uppmättes ner till 2 grader lägre medeltemperatur jämfört med krönet under en mycket klar tredagarsperiod i mitten av maj. Vid mulnare väderlek var emellertid motsvarande skillnad mindre än en halv grad.

Under den växlande väderlek, som råder under längre perioder, blir de genomsnittliga skillnaderna sannolikt ganska små, högst någon halv grad mellan den täta skogen och krönet. Även vid övervägande klar väderlek blir skillnaderna måttliga, kanske 1 å 2 grader i medeltal mellan fältet eller lågpunkter i skogen och krönet. Under de 331 nattimmar mätningarna pågick var det i genomsnitt nästan 1°C kallare på fältet än på berget. På vintern bör emellertid skillnaderna kunna bli avsevärt större. Dels är perioden med negativ nettostrålning längre och dels hindrar snötäcket att värme tillförs ytan underifrån, varför värmestrålningen leder till en större temperatursänkning. Avskärmning av utstrålning får då stor betydelse och det bör kunna bli betydligt varmare i skogen än på fältet.

3.3 Kartering av vindfältet på 2 m nivå

3.3.1 Allmänt

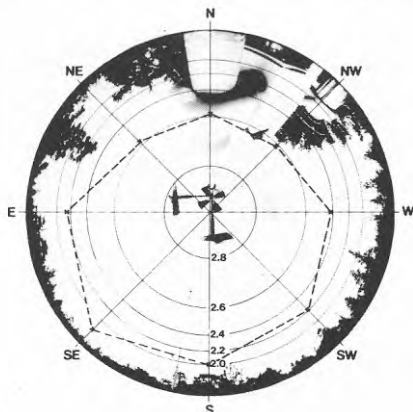
När luften strömmar över ett ojämnt underlag gör friktionen att det bildas virvlar, turbulens. Turbulensintensiteten, I , definieras som förhållandet mellan vindhastighetens standardavvikelse, σ , och dess medelvärde, \bar{u} , över ett visst tidsintervall, $I = \sigma/\bar{u}$. Medelvärdestidens längd påverkar värdet på turbulensintensiteten.

Vindhastigheten ökar uppåt från marken. Vindprofilen kan i regel beskrivas med ett uttryck av formen:

$$(\bar{u}_{z_1}/\bar{u}_{z_2}) = \left(\frac{z_1 - d}{z_2 - d}\right)^\alpha \quad (3.28)$$

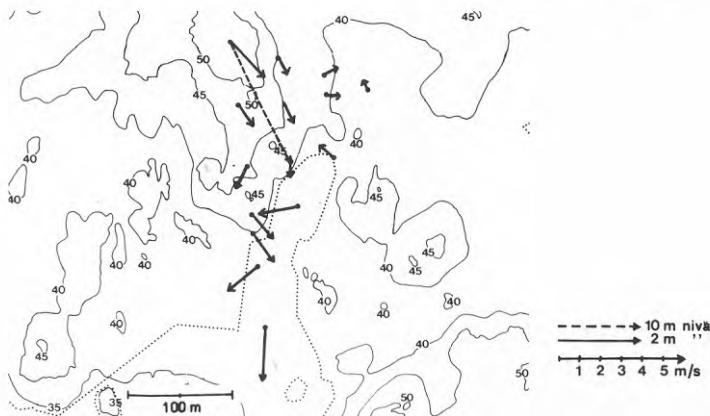
α är en konstant som antar olika värden för olika markskrovlighet och stabilitet. Vid neutral skiktning är α ca 0.1 för ett platt öppet landskap medan den för mycket skrovliga områden kan uppgå till nästan 0.4. d är den sk nollplansförskjutningen. Ekv (3.28) gäller inte under trädtoppsnivå utan utgår från en fiktiv markyta på höjden $z = d$, mellan trädtopparna och den verkliga marken.

Vindprofilen enligt ekv (3.28) beskriver således strömningen i skiktet ovanför nivån d , som är ca $3/4$ av skrovlighetselementens (skog, bebyggelse etc) höjd. Intill och under nivån d kommer vinden främst att bestämmas av närbelägna hinders utbredning och täthet. Genom att ta ett fish-eyefotografi i en punkt dokumenterar man omgivningen och får samtidigt en överblick över hindrens läge, täthet och storlek, Figur 3.22 visar omgivningen från 2 m höjd vid referensmasten på berget. Den infällda kurvan visar förhållandet mellan vindhastigheter på 2 m och 15 m höjd.



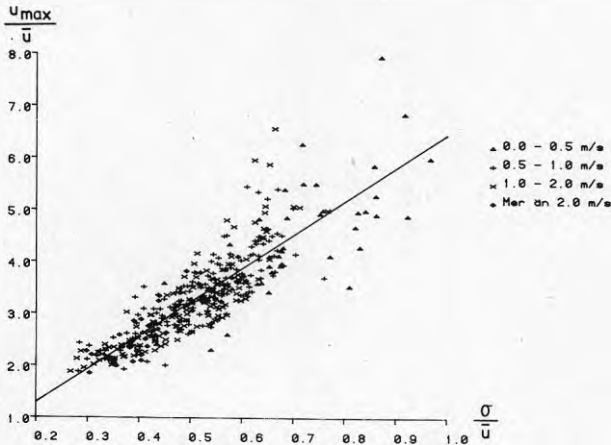
FIGUR 3.22 Fish-eye bild vid SIB:s mät punkt intill referensmasten i punkt ①. Den sträckade kurvan visar förhållandet mellan de genomsnittliga medelvindhastigheterna per timme på 15 m och 2 m höjd över marken vid olika vindriktningar och hastigheter över 1 ms^{-1} på 2 m nivå.

Vid varje hinder ändras vindens hastighet och riktning samtidigt som virvelbildningen - turbulensen - ökar. I ett kuperat skogslandskap som det i Södertuna kommer vinden att variera högst avsevärt från punkt till punkt. Figur 3.23 visar medelvärden vid mätupställning 2 av vindens hastighet och riktning under en timme.



FIGUR 3.23 Exempel på lokala variationer i vindens genomsnittliga hastighet och riktning under en timme. Pilarnas längd är proportionella mot vindhastigheten.

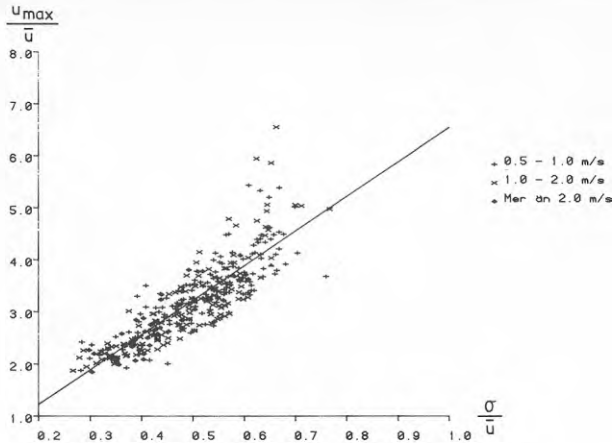
Turbulensen gör att vindens maxhastighet i ett kuperat landskap kan vara många gånger högre än dess medelhastighet. Vid tidigare mätningar i ett bostadsområde i Malmö [12] fann man att vindens maxhastighet, medelhastighet och turbulensintensitet under en timme kunde beskrivas med uttrycket $u_{\max} = u(0.5+5I)$. Turbulensintensiteten uppgick till högst 0.6 i Malmö medan den i Södertunaterängen var väsentligt högre. Figur 3.24 visar hur maxhastigheten i förhållande till medelvindhastigheten varierar med turbulensintensiteten i Södertuna. Punkterna utgör medelvärden för timmar när medelvindhastigheten är över 0.1 ms^{-1} och figuren baseras på mätningar från samtliga mätpunkter. Figuren illustrerar förhållandena på såväl mycket skyddade som öppna ytor. Kvoten u_{\max}/u är ofta mycket högre än 3.5, som var den högsta i Malmö. Resultaten innebär att vindfluktuationerna på 2 m nivå i naturlandskapet är väsentligt större än vad som brukar antas för stadslandskapet och pekar framför allt på vegetationens stora betydelse som vinddämpande element.



FIGUR 3.24 Förhållandet mellan vindens maxhastighet, u_{\max} , medelhastighet, \bar{u} , och turbulensintensitet, I , under 387 timmar. Samtliga SIB:s mätpunkter i Södertuna. Tidsmedelvärden. Korrelationskoefficienten = 0.82. för linjen $u_{\max}/\bar{u} = 0.03 + 6.4 I$.

När vindhastighetens timmedelvärde är så lågt som 0.1 ms^{-1} är det i praktiken vindstilla stora delar av tiden (tröskelhastigheten för SIB:s propellergivare är $0.1-0.2 \text{ ms}^{-1}$) vilket ger ett förhöjt värde på turbulensintensiteten och maxvärdet i förhållande till medelvindhastigheten. Figur 3.25 visar samma förhållande som föregående bild då alla timmar med medelvärde under 0.5 ms^{-1} är borttagna. Spridningen har minskat något men regressionslinjen ligger nära den tidigare. Genomsnittligt för Södertuna kan således för en godtycklig punkt på 2 m nivå maximala vindhastigheter under en timme approximeras enligt

$$u_{\max} \approx \bar{u} \cdot 6.6 \cdot I = 6.6 \sigma \quad (3.29)$$

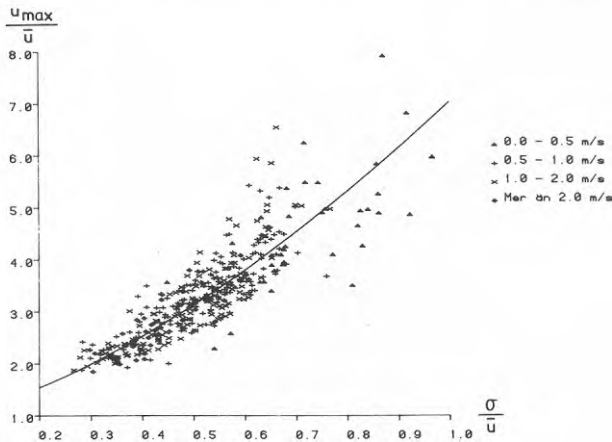


FIGUR 3.25 Förhållandet mellan vindens maxhastighet, U_{\max} , medelhastighet, \bar{u} , och turbulensintensitet, I , för 329 timmar med $\bar{u} > 0.5 \text{ ms}^{-1}$. Samtliga SIB:s mätpunkter i Södertuna. Tidsmedelvärden. Korrelationskoefficienten = 0.80. för linjen $U_{\max}/\bar{u} = 0.08 + 6.6 I$.

När $I = 0$ måste u_{\max}/\bar{u} vara 1, vilket inte förekom i Södertuna. Ekv (3.29) gäller således bara för turbulensintensiteter mellan 0.3 och 1.0, vilka uppmättes i Södertuna. Figurerna visar också att en böjd regressionslinje skulle passa bättre. En sådan tvingad genom punkten 1.0 för $I = 0$ visas i figur 3.26. Ett bättre uttryck för vindens maxhastighet är således:

$$u_{\max} \approx \bar{u} (1 + 6.1 \cdot I^{1.5}) \quad (3.30)$$

Korrektionskoefficienten är då 0.92, baserat på 379 värden.



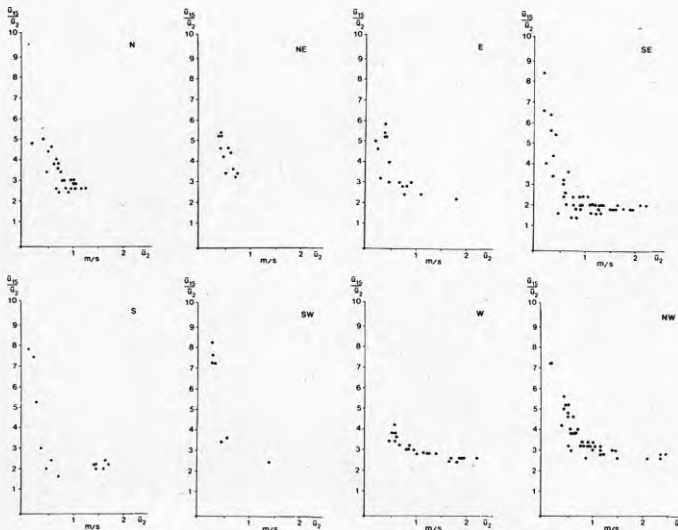
FIGUR 3.26 Förhållandet mellan vindens maxhastighet, U_{\max} , medelhastighet, \bar{u} , och turbulensintensitet, I , under 379 timmar. Samtliga SIB:s mätpunkter i Södertuna. Tidsmedelvärden. Korrelationskoefficienten = 0.92 för linjen $U_{\max}/\bar{u} = 1 + 6.11 I^{1.52}$.

3.3.2 Förhållandet mellan vindhastigheter i olika punkter

En förutsättning för att kunna bestämma hastighetsvariationerna inom området är att det för en viss vindriktning, φ , finns bestämda relationer mellan medelhastigheterna i olika punkter inom området, t ex mellan hastigheten i en viss punkt $u_{i,\varphi}$ och hastigheten i referenspunkten $u_{ref,\varphi}$ så att $u_{i,\varphi}/u_{ref,\varphi} = r_{i\varphi}$ där r är en konstant kallad reduktionsfaktorn. Som tidigare nämnts krävs förutom 'konstant' vindriktning även konstant stabilitet.

Sådana reduktionsfaktorer mellan hastigheterna i referenspunkten och i masterna nere på fältet har sammanställts tidigare, tabell 5. I samband med högre vindhastigheter, då vinden kan utgöra ett problem, är skiktningen i regel neutral. Vi har därför också studerat om vindhastigheten kunde tjäna som indelningsgrund för att få stabila reduktionsfaktorer.

Figur 3.27a-h visar tydligt att kvoterna mellan vindhastigheterna på 2 m och 15 m nivå minskar vid ökad vindhastighetsnivå för att konvergera mot en viss nivå. Detta är särskilt tydligt för vindriktningarna sydost och nordväst för vilka flest mätvärden erhållits. En viss spridning inom varje vindriktningsintervall är naturligt med tanke på att dessa omfattar ett 45° intervall och att standardavvikelsen för vindriktningen under en timme i regel är minst 10° . Figurerna visar att hastighetskvoten är tämligen stabil över ca 1 ms^{-1} på den lägre nivån. Därför har fortsättningsvis enbart bearbetats de vinddata då medelhastigheten per timme i referenspunktens 2 m nivå var över 1 ms^{-1} . De timmar, då hastigheten på 2 m nivå varit lägre än 1 ms^{-1} motsvarar i huvudsak mycket stabil eller stabil skiktning (PT = 7 eller 6). Urvalsförfarandet innebär att resultaten i det följande representerar förhållandena vid nära neutral eller instabil skiktning (PT = 5, 4 eller 3).

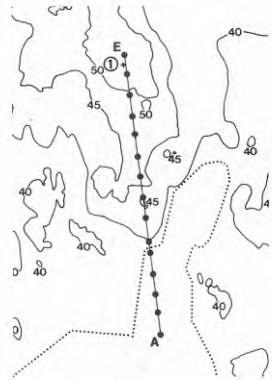
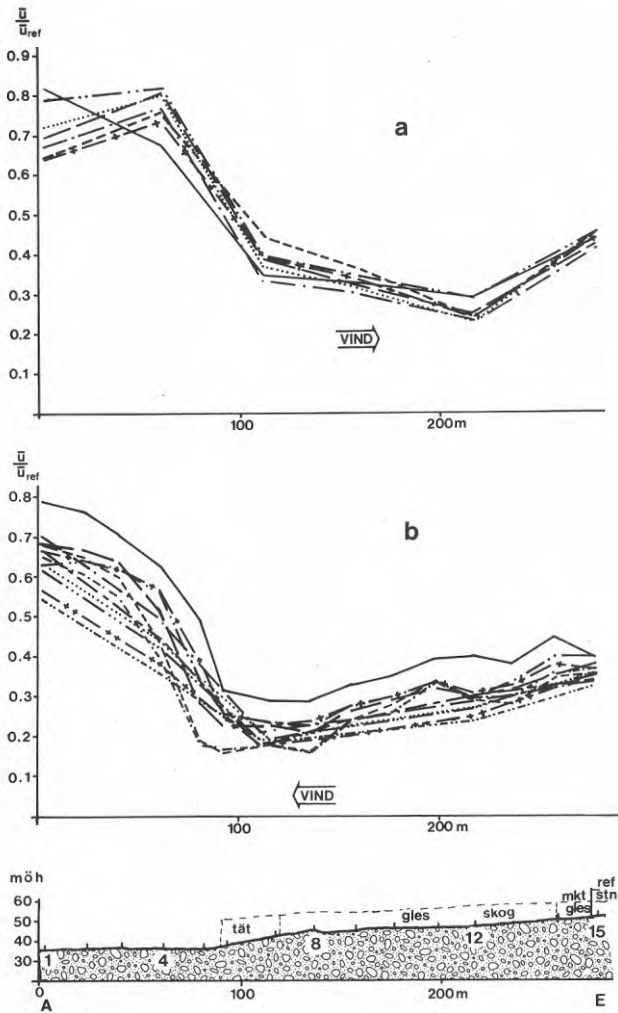


FIGUR 3.27 Förhållandet mellan medelvindhastigheten på 2 m och 15 m nivå vid referenspunkten på berget, ①, som funktion av medelvindhastigheten på 2 m nivå. Timmedelvärden.

3.3.3 Vinden inom det kuperade skogslandskapet

Mätsnitten A-E, R-Q och S-T (jfr figur 2.2) är lämpliga att studera med avseende på vindens tilltagande från mätpunkten i skogen upp över ett bergskrön. I vegetationshänseende liknar krönen varandra med berg i dagen samt låg och gles tall. Beträffande lutning och omgivande topografi skiljer de sig dock en del.

Figur 3.28a-b ger en uppfattning om spridningen i reduktionsfaktorer för de timmar då vinden legat i riktning längs mätsnitt A-E och hastighetens timmedelvärde på bergets 2 m nivå varit över 1 ms^{-1} . Flertalet timmar är mycket lika varandra, särskilt inne i skogen, medan spridningen är lite större kring skogsbrynet. Medelvindriktningen under de olika timmarna skiljer sig upp till ca 20° . När det blåser mot kullen (figur 3.29a) ökar hastigheten framför brynet. När det blåser från brynet (figur 3.29b) tilltar vinden snabbt ut på fältet och har ca 80 m ut på fältet nästan samma hastighet som när det blåser mot brynet.



FIGUR 3.28

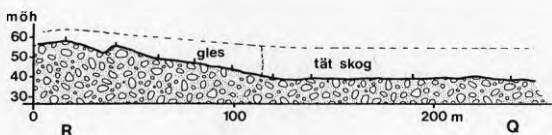
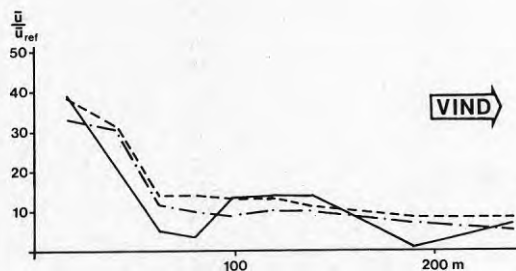
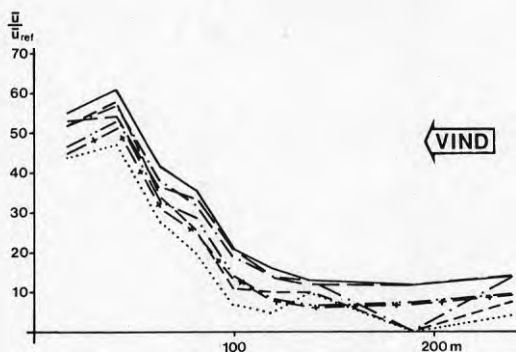
Förhållandet mellan medelvindhastigheten på 2 m nivå i mätsnitt A-E och 15 m nivå i referenspunkten. ①. Timmedelvärden. Medelvindhastigheten i referenspunktens 2 m nivå är större än 1 ms^{-1} .

a) Vind i mätsnittets riktning (diff. i medelvindriktning -130 till $+80$) mot kullen.

b) Vind från kullen (diff. i medelvindriktning $+30$ till $+270$).

Figur 3.29a-b visar motsvarande resultat för mätsnitt R-Q. Vid anblåsning mot kullen (figur 3.29a) är de relativa vindhastigheterna inom snittet mycket lika men nivån i förhållande till referenspunkten varierar med ca 10%. Skogen utgör ett mycket kraftigt vindskydd och vindhastigheterna nedanför berget ligger på endast ca 10% av referenshastigheten.

I den glesa skogen längs sluttningen är hastighetskvoten påtagligt högre vid vind mot kullen än vid vind från kullen. I det första fallet finns dessutom en tendens till ett lokalt maximum i lovart om kullens topp där det finns ett mindre krön. Resultatet tyder på en lokal hastighetsförstärkning längs lovartssluttningen pga att strömningen pressas samman.



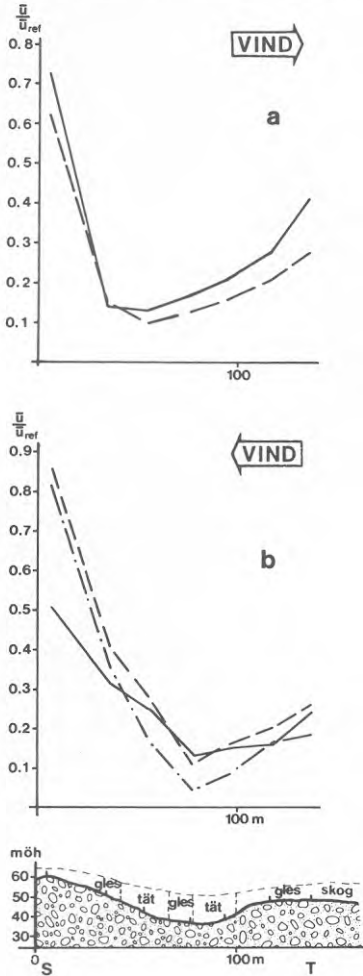
FIGUR 3.29

Förhållandet mellan medelvindhastigheten på 2 m nivå i mätsnitt R-Q och 15 m nivå i referenspunkten. Timmedelvärden. Medelvindhastigheten i referenspunktens 2 m nivå är större än 1 ms^{-1} .

a) Vind i mätsnittets riktning (diff. i medelvindriktning -12° till $+1^\circ$) mot kullen.

b) Vind från kullen (diff. i medelvindriktning -8° till $+1^\circ$).

Kullen vid punkt S är brantare än de övriga och har en markerad dalgång i öster som är beväxten med höga täta träd med undantag av en smal öppning. Det gör att hastigheterna varierar kraftigt vid vind tvärs dalgången, figur 3.30a-b. Vid anblåsning från syd eller sydost är denna kulle mycket utsatt och man får en viss hastighetsökning genom förträngning i dalgången även om den dämpas mycket av den kraftiga vegetationen, figur 3.31.



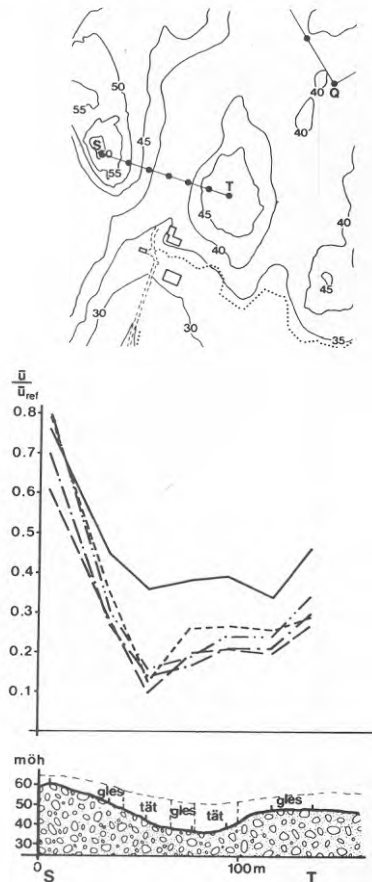
FIGUR 3.31

Förhållandet mellan medelvindhastighet på 2 m nivå i mätsnittet S-T och 15 m nivå i referenspunkten. Timmedelvärden. Medelvindhastigheten i referenspunktens 2 m nivå är större än 1 ms^{-1} . Vindriktningar snett mot mätsnittet.

FIGUR 3.30

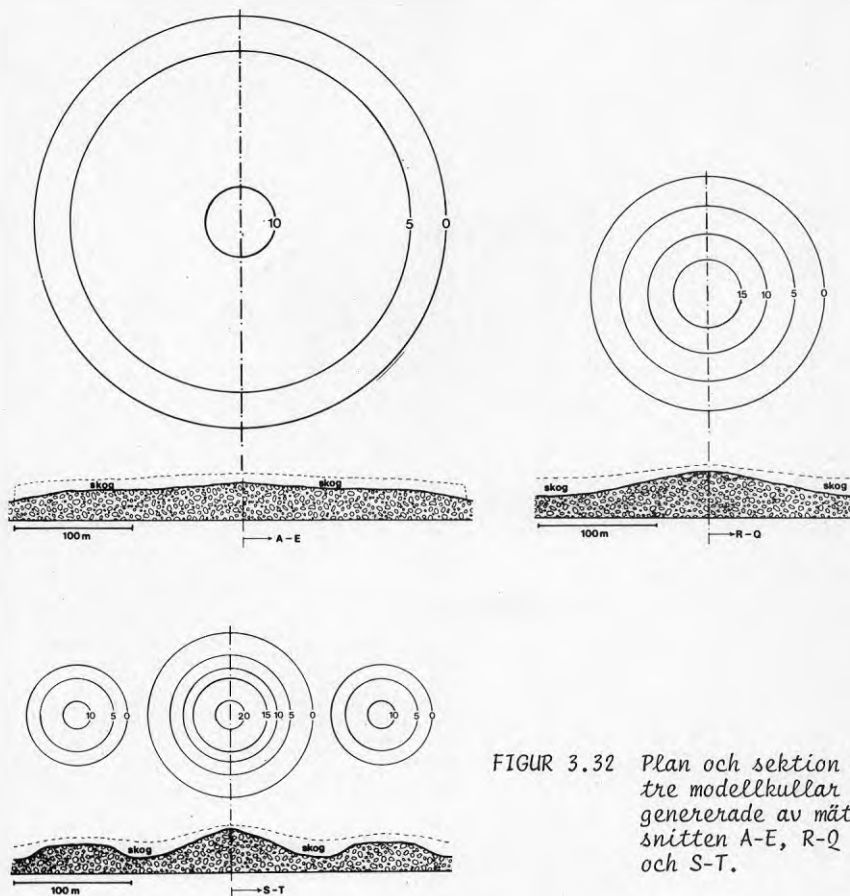
Förhållandet mellan medelvindhastigheten på 2 m nivå i mätsnitt S-T och 15 m nivå i referenspunkten. Timmedelvärden. Medelvindhastigheten i referenspunktens 2 m nivå är större än 1 ms^{-1} .

a) Vind i mätsnittets riktning (diff. i medelvindriktning $+50$ till $+80$) mot kullen.
b) Vind från kullen (diff. i medelvindriktning -80 till ± 00).



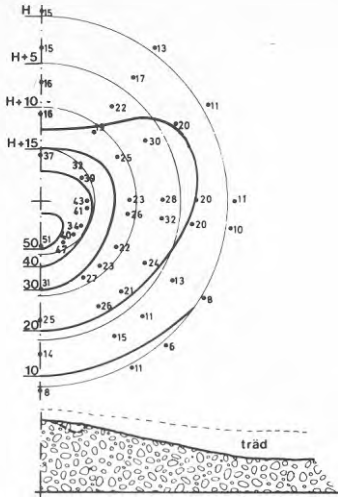
3.3.4 Modell för vindhastigheten över skogbevuxna kullar

Mätresultaten från de tre redovisade kullarna har generaliserats för att tillämpas även på andra kullar inom området. Av de studerade terrängsektionerna konstruerades därför tre cirkulära modellkullar med de undersökta sluttningarna som generatris, figur 3.32.



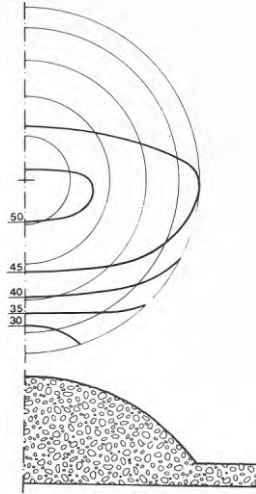
FIGUR 3.32 Plan och sektion av tre modellkullar genererade av mätsnitten A-E, R-Q och S-T.

På planen av varje modellkulle plottades reduktionsfaktorer för olika anblåsningsriktningar mot mätsnittet, figur 3.33. Med dessa värden som utgångspunkt konstruerades därefter kurvor som beskriver de relativa vindhastigheterna över respektive modellkulle vid en och samma vindriktning. På grund av oregelbundenheter i den verkliga topografin och terrängen har kurvorna fått justeras något för att ge den symmetri som den ideala modellen kräver. Till stöd för justeringarna har vi också använt mönstret över relativhastigheter över en kupol uppritade efter tryckmätningar i vindtunnel, figur 3.34, [13]. Genom spegelvändning av figur 3.33 och konstruktion av relativhastigheter på samma sätt för de två återstående mätsnitten erhöles vindhastigheterna över alla tre symmetriska modellkullarna, figur 3.35a-c. Dessa har sedan använts vid vindkartering av ouppmätta delar av Södertuna.



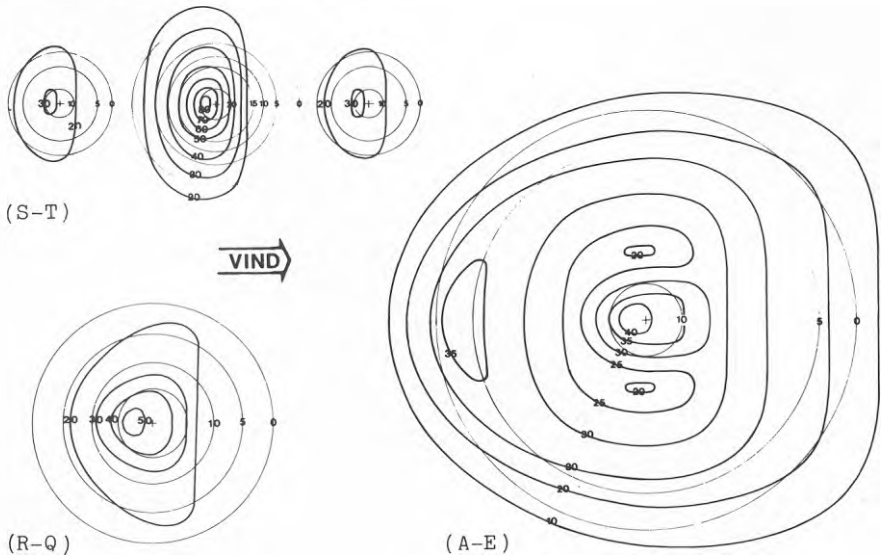
FIGUR 3.33

Relativa vindhastigheter (% av hast. på 15 m i referenspunkten) vid olika vindriktningar i mätsnittet R-Q uppritade på planen av en symmetrisk modellkulle bildad med mätsnittet som generatris. Timmedelvärden. Under alla timmar var vindhastigheten i referenspunktens 2 m nivå större än 1 ms^{-1} .



FIGUR 3.34

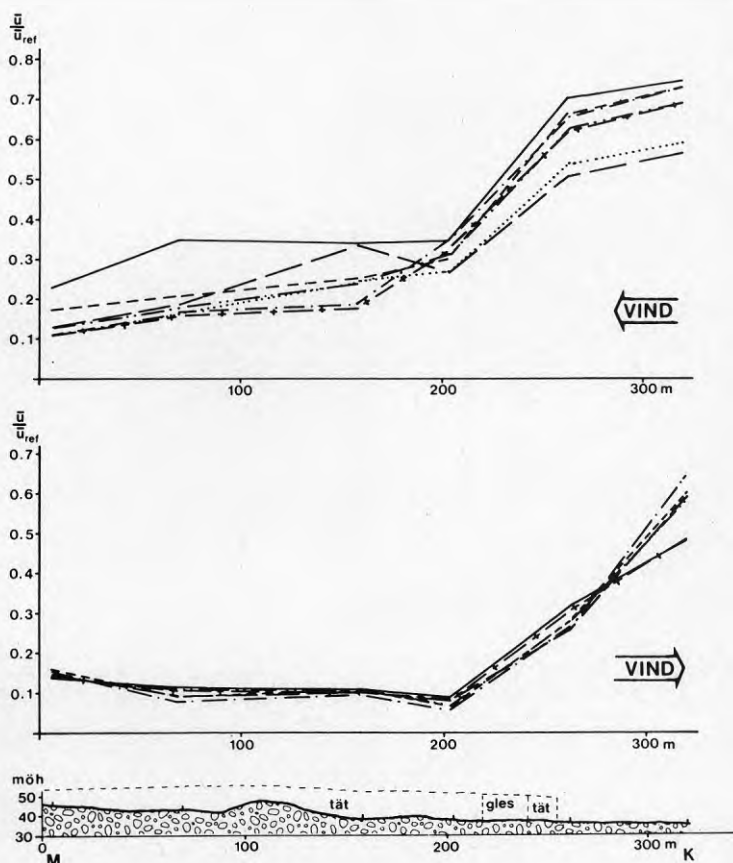
Relativa vindhastigheter uppritade efter tryckmätningar på en kupol anbläst i vindtunnel (efter J. Blessman).



FIGUR 3.35 Relativa vindhastigheter (% av hast. på 15 m nivå i referenspunkten) över tre olika symmetriska modellkullar i Södertuna baserade på mätresultat i motsvarande fullskalesektioner.

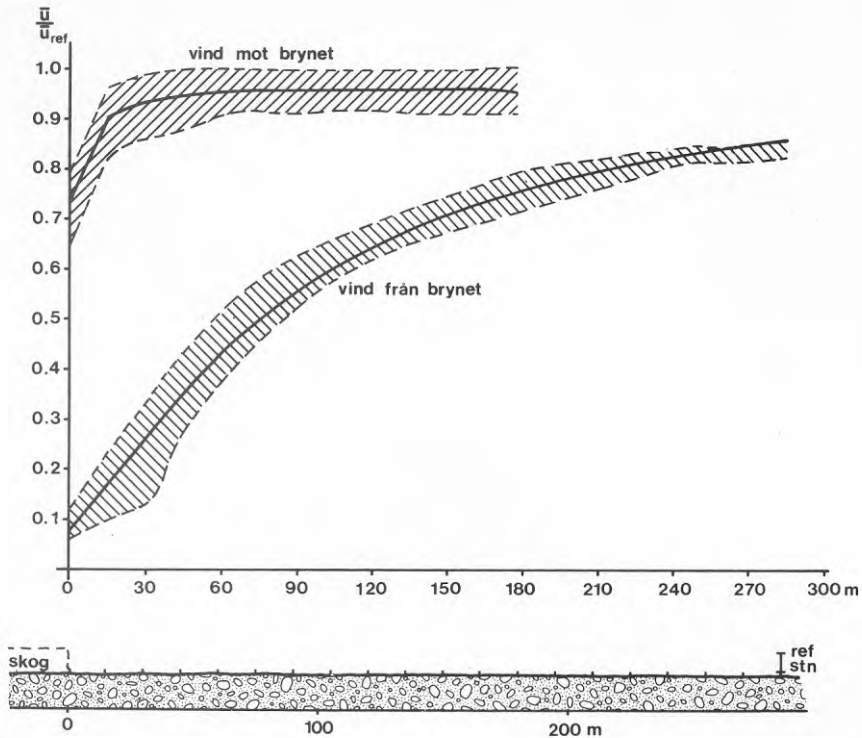
3.3.5 Vindförhållanden vid skogsbryn

För att få en bild av vindens avtagande in i skogen vid anblåsning mot ett bryn och tilltagande ut på fältet vid den motsatta vindriktningen, har mätdata från mätsnitt M-K (jfr figur 2.2) studerats särskilt, figur 3.36a-b. Mätsnittet A-E börjar med en sluttning direkt efter fältet och är därför mindre representativ för skogsbryn. Återigen ser man att hastigheterna inne i skogen är mycket låga, $\lesssim 10\%$ av referenshastigheten. Mätpunkterna är för glesa för att visa vad som händer just i brynet och genom hela skogen t ex vid den lilla kullen. Därför har vi också gjort jämförelser med tidigare opublicerade mätningar från Stackbo utanför Gävle, figur 3.37.



FIGUR 3.36 Förhållandet mellan medelvindhastigheter på 2 m nivå i mätsnittet M-K och 15 m nivå i referenspunkten. Tidsmedelvärden. Medelvindhastigheten i referenspunktens 2 m nivå är större än 1 ms^{-1} .

- När det blåser i mätsnittets riktning (diff. i medelvindriktning -13° till $+3^\circ$) mot brynet.
- När det blåser från brynet (diff. i medelvindriktning -3° till $+22^\circ$).

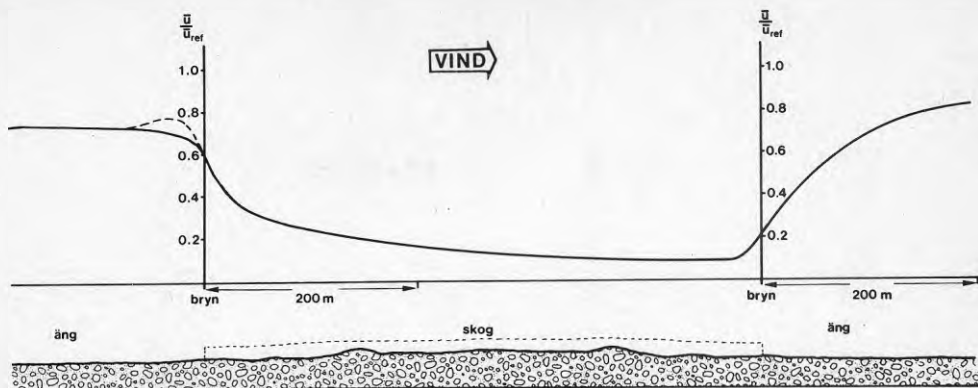


FIGUR3.37 Medelvindhastigheten på 2 m nivå från ett skogs-bryn och ut på ett fält i förhållande till medelvindhastigheten på 10 m ute på fältet. Stackbo, Gävle.

Vid anblåsning mot brynet kan man få en hastighetsökning framför detta på 5-10%. I Stackbo uppmättes emellertid ingen vindökning i lovart, figur 3.37, medan sektionen A-E i Södertuna med kortare fält och sluttning i brynet visar en hastighetsökning omkring 50 m framför brynet.

Vid vind från brynet börjar hastighetsökningen ca 20 m in i Södertunaskogen medan vindökningen i det tätare Stackbobrynet börjar omedelbart i kanten. Efter brynet tilltar vinden med ca 50% under de första 100 m och ytterligare med 20% de efterföljande 100-200 m. Bortom 300 m är vindökningen mycket långsam. Dessa siffror är naturligtvis ungefärliga eftersom brynets höjd och täthet samt fältets storlek har betydelse (jfr även [6]). I Stackbo utgjordes brynet av hög tät granskog medan brynet i Södertuna bestod av glesare blandskog med lövträd, som var avlödade vid mättillfället.

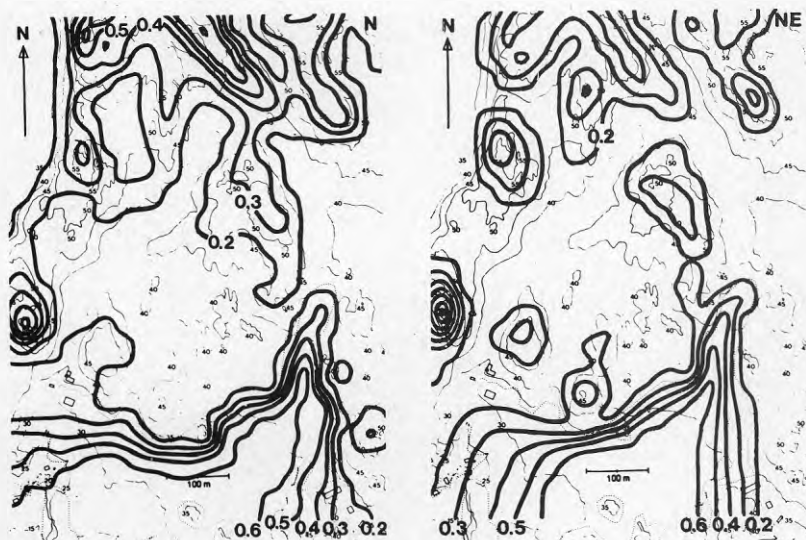
Ur mätresultaten från Södertuna och med stöd av Stackbömätningarna, har konstruerats en modellskogsdunge av sådan bredd att lä-effekterna i skogen utvecklats fullt, figur 3.38.



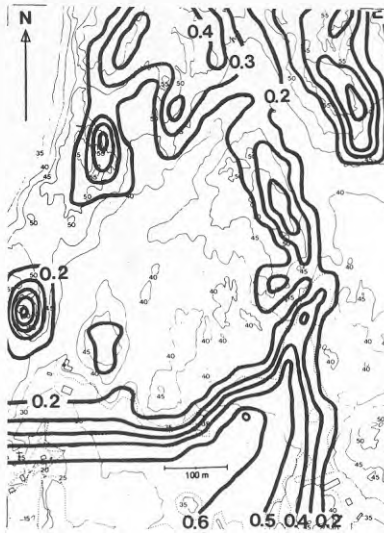
FIGUR 3.38 Relativa vindhastigheter (% av vindhastigheten på 15 m nivå i referenspunkten) framför och bakom ett modellskogsbryn vid anblåsning vinkelrätt mot brynet. Timmedelvärden.

3.3.6 Genomsnittliga vindhastigheter inom området

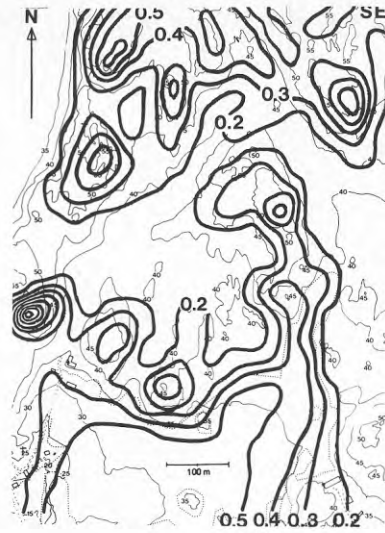
Med hjälp av topografisk karta, flygbilder (vegetation), modeller-na för relativa vindhastigheter i skog och på fält samt direkta mätresultat har sedan området karterats i vindhastigheter relativt referenspunkten, dvs reduktionsfaktorer för varje vindriktning, figur 3.39a-h.



FIGUR 3.39 Relativa vindhastigheter vid 8 olika huvudriktningar. Vindhastigheter i referenspunktens 2 m nivå över 1 ms^{-1} . Timmedelvärden.



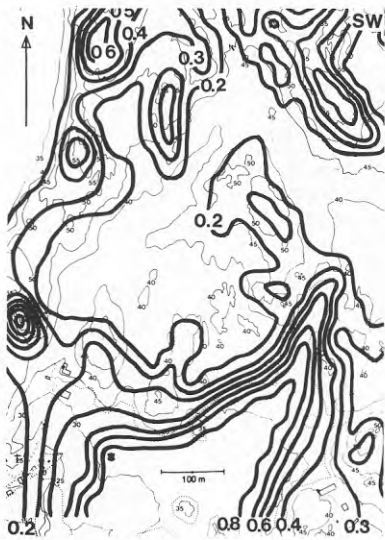
c) Ostlig vind



d) Sydostlig vind

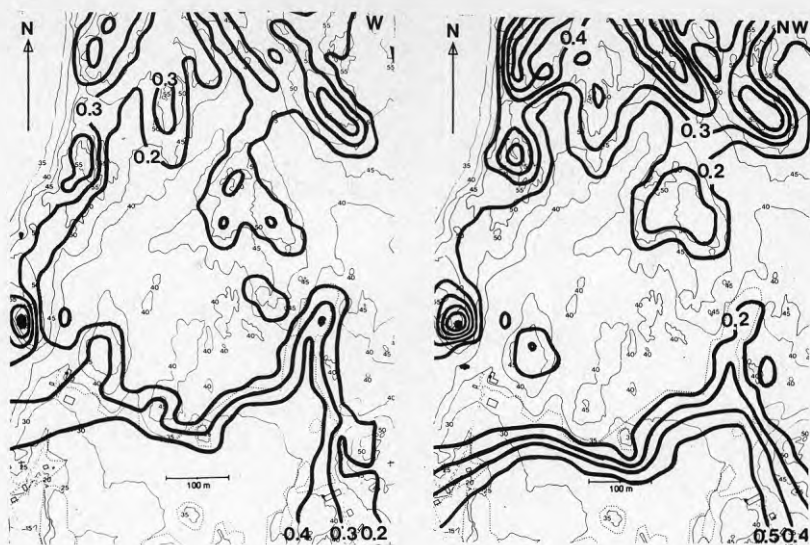


e) Sydlig vind



f) Sydvästlig vind

FIGUR 3.39 Relativa vindhastigheter vid 8 olika huvudriktningar.
c-f Vindhastigheter i referenspunktens 2 m nivå över 1 ms^{-1} .
Tätnedelvärden.



g) Västlig vind

h) Nordvästlig vind

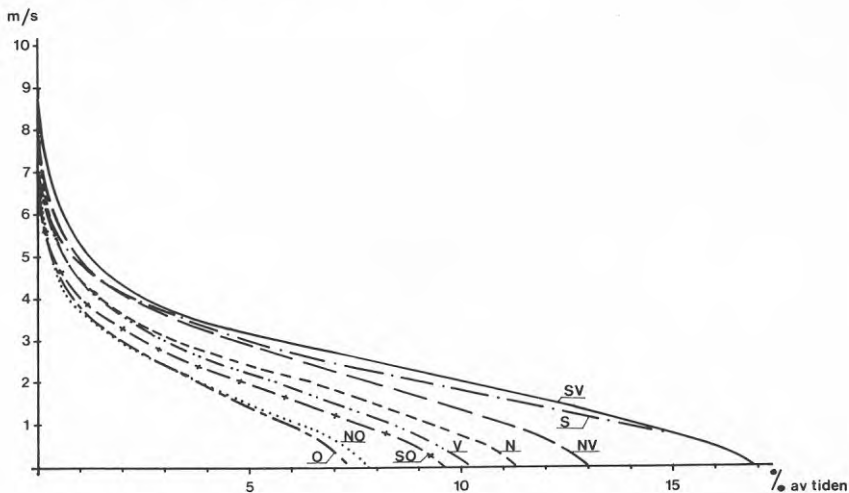
FIGUR 3.39 Relativa vindhastigheter vid 8 olika huvudriktningar.
g-h Vindhastigheter i referenspunktens 2 m nivå över 1 ms^{-1} .
Timmerdelvärden.

Kartorna gäller för vindhastigheter över 1 ms^{-1} i referenspunktens 2 m nivå (motsvarar ungefär 3 ms^{-1} på 15 m nivå). Gränslinjerna är ungefärliga pga den verkliga terrängens oregelbundenheter men visar huvuddragen av idag rådande vindförhållanden. Den lägsta markerade hastighetsnivån är 20% av referensvärdena. De ännu lägre hastigheterna i skogen är mindre intressanta och i hög grad beroende av närvegetationen. Inom de blåsigaste delarna i norr där mätningar inte förekommit, bedöms karteringen i stort kunna slå fel på upp till ca $\pm 10\%$ i förhållande till noggrannheten i den södra delen av området.

Sammanfattningsvis kan sägas att skogen idag ger stora delar av Södertuna ett mycket gott vindskydd. De glesare bevuxna delarna i norr där avverkning förekommit är blåsigare. Bergskränen ger sig till känna som förhållandevis mycket blåsiga ytor. Fälten i söder och den kalhuggna sänkan i norr är ofta nästan lika blåsiga som bergskränen vilka delvis skyddas av gles vegetation. En utglesning av skogen ger en måttlig ökning av vindhastigheten på upp till ca 20% medan total avverkning ger hastigheter motsvarande dem på fälten, dvs 40-50% högre än i skogen.

Den verkliga innebörden av kartorna med relativa vindhastigheter visar sig emellertid först när man samtidigt studerar hur ofta och hur hårt det blåser från olika håll. En sammanfattande bild av blåsigheten inom området fås genom summering av den tid, t ex per år, då vinden överskrider en viss hastighet. Det låter sig göras med datorns hjälp. Området delades i ytor om $20 \times 20 \text{ m}$, och för varje medelpunkt matades en reduktionsfaktor per vindriktning in i datorn. För referenspunkten på berget beräknades frekvensfördelningar av vindhastighet för olika vindriktningar enligt den

i avsnitt 2.3.3 beskrivna metodiken, figur 3.40 (jfr även figurerna 2.13-2.18). Sedan kunde datorn beräkna hur lång tid under året som t ex vindhastigheten 2 ms^{-1} i genomsnitt överskrids, figur 3.41. Trots att det finns flera bergskrön så är de öppna fälten i söder ändå blåsiga. Bara den allra mest utsatta kullen i sydväst är i genomsnitt blåsigare än fälten. Det är inte lämpligt att göra motsvarande kartor för gränsvärden $\leq 1 \text{ ms}^{-1}$ eftersom reduktionsfaktorerna då kan bli annorlunda enligt tidigare diskussioner om stabilitet.



FIGUR 3.40 Vindens hastighetsfördelning under året vid referenspunkten (15 m) Södertuna. Kumulativa frekvenser.



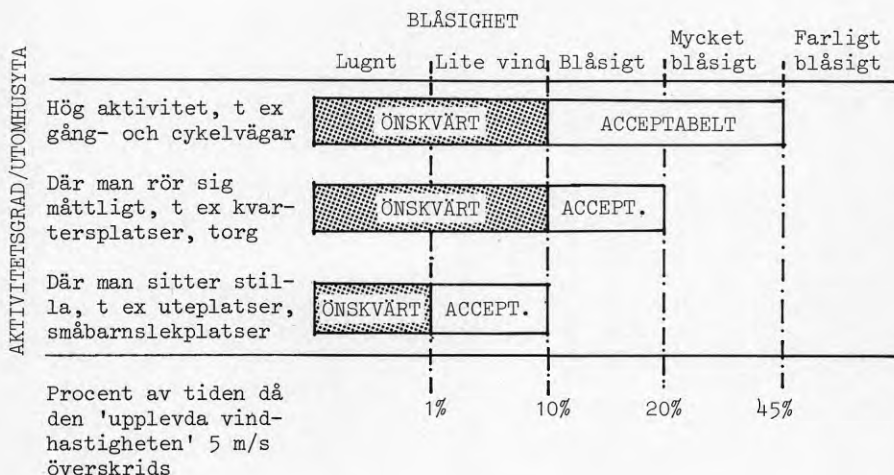
FIGUR 3.41 Del (%) av tiden under året då medelvindhastigheten per timme överskrider 2 ms^{-1} .

3.3.7 Blåsigheten i Södertuna ur miljösynpunkt

Skillnader i blåsighet inom ett område kan alltså beskrivas genom varaktigheten av medelvindhastigheter över en viss nivå. Kriterier för blåsighet kan uttryckas med gränsvärden för hur ofta en viss medelvindhastighet får överskridas vid en turbulensintensitet motsvarande den på ett öppet fält [14]. I skog och bebyggelse blir emellertid turbulensintensiteten högre. För att motsvara vindkriteriernas medelvindhastighet, som vi i fortsättningen kallar standardmedelvindhastighet, u_s , måste den verkliga medelvindhastigheten, u , korrigeras enligt uttrycket $u_s = 0.85 u(1+I)$.

Om den beräknade standardmedelvindhastigheten på en punkt i skogen är 5 ms^{-1} så skall vindförhållandena där motsvara den som upplevs när medelvindhastigheten på ett öppet fält är 5 ms^{-1} . Standardmedelvindhastigheten kan därför sägas motsvara den upplevda vindhastigheten [15].

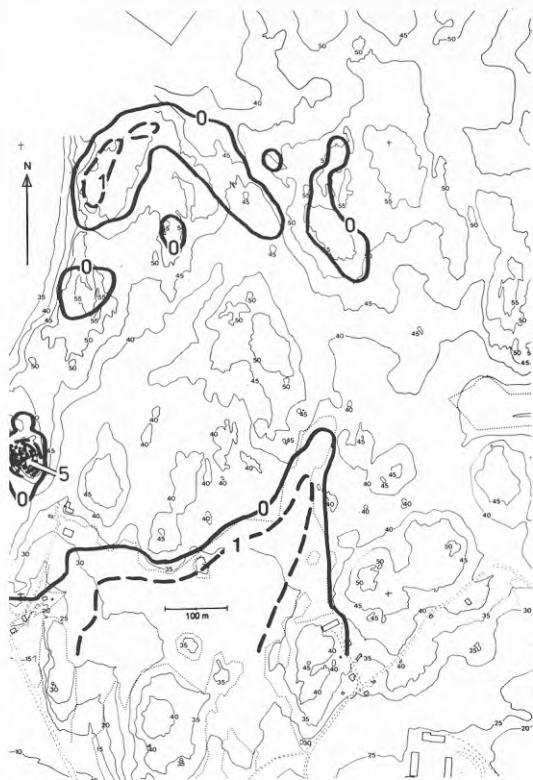
Följande vindkriterier (figur 3.42), som är baserade på mätningar i ett blåsigt höghusområde i Malmö, har tidigare utarbetats vid SIB [12].



FIGUR 3.42 Vindkriterier för utemiljön.

På ett öppet fält är turbulensintensiteten ungefär 0.15-0.20. I tät bebyggelse kan den bli upp till ca 0.7 och i skog ännu högre. Med ökande relativa vindhastigheter minskar turbulensintensiteten. På de mest utsatta kullarna i Södertuna var den som lägst strax under 0.3 men låg oftast på 0.3-0.4. I den glesa skogen liksom vid brynen var turbulensintensiteten ca 0.5-0.6 och i den täta skogen ännu högre (jfr figur 3.24).

Något försök att kartera turbulensintensiteter inom hela området har inte gjorts. Vi har schablonmässigt räknat med att 'den upplevda vindhastigheten' 5 ms^{-1} motsvaras av medelvindhastigheten 4 ms^{-1} på fälten och 3.5 ms^{-1} i skogen. Figur 3.43 visar hur stor del av året dessa värden överskrids enligt beräkningarna.



FIGUR 3.43 Del (%) av tiden under året då medelvindhastigheten per timme beräknats överskrida 'upplevda 5 ms^{-1} '.

På de högre bergskrönen och på fälten överskrids 'den upplevda vindhastigheten' 5 ms^{-1} under någon procent av året - aldrig på övriga ytor. Nivåerna är mycket låga jämfört med figur 3.42. Bara på fälten och de högsta krönen blåser det så mycket att det är olämpligt att där förlägga helt oskyddade uteplatser för stillasittande. Trevåningshus inom de lägre delarna av skogen eller på fälten skulle knappast medföra ökad blåsighet. Högre bebyggelse eller exploatering av krönen skulle emellertid medföra högre, kanske oacceptabla, hastigheter beroende på vilken omsorg, som läggs ner på detaljutformningen av byggnader och uppehållsytor.

Skogen ger kraftig läverkan även uppe på höjderna där den är gles, figur 3.22. Medelvindhastigheten är ofta 4-6 ggr så hög ute på fältet som i skogen. Mätningarna av vindhastigheter på olika höjd i referensmasten tyder på att den glesa vegetationen på krönen reducerar vindhastigheten till nästan hälften av den beräknade hastigheten på ett kallt krön. Om den ömtåliga tallvegetationen på kullarna skadas och försvinner skulle kullarna kunna få vindhastigheter upp till 10 ggr högre än i skogen och 2-3 ggr högre än på fälten.

4. BERÄKNINGAR AV LOKALKLIMATETS EFFEKT PÅ BYGGNADERS ENERGI BEHOV MED ENLOSS-MODELLEN

4.1 Problemställning

Behovet av energi för att upprätthålla önskat inomhusklimat bestäms av:

- a) krav på innetemperatur
- b) byggnadens konstruktion, installationer och regler-system
- c) byggnadens läge och orientering
- d) lokala uteklimatförhållanden - främst lufttemperatur, vind och solinstrålning.

Syftet med ENLOSS-beräkningarna är att undersöka betydelsen av c) och d) ovan under givna förutsättningar beträffande innetemperatur och byggnadskaraktäristika. Beräkningarna omfattar enbart värmeförluster genom samtidig inverkan av utetemperatur och vind.

Som framgått tidigare (avsnitt 1.3) är samvariationen av temperatur samt vindriktning och vindhastighet tämligen komplicerad. Dessutom har både temperaturen och vindhastigheten en karakteristisk dygnsvariation. Slutligen kan väderförhållanden - och därmed samvariationen av temperatur, vindhastighet och -riktning - variera avsevärt från år till år. Vid bestämning av lägesberoende skillnader i energiförluster med hänsynstagande till temperatur- och vindförhållanden behövs därför dels en god tidsupplösning i beräkningarna dels data från många år för att erhålla ett statistiskt korrekt resultat.

4.2 Metodbeskrivning

4.2.1 Inledning

Datorprogrammet ENLOSS har utvecklats vid SMHI för beräkningar av energiförlusten från en byggnad pga transmission och utstrålning samt självdragsventilation. Programmet genererar lokala tids-serier av lufttemperatur och vindhastighet med utgångspunkt från timobservationer från meteorologiska stationer (i detta fall Tullinge flygplats) samt beräknar energiförlusten timme för timme över 25 år.

Beräkningar av solinstrålningen mot olika ytor har redovisats tidigare i avsnitt 1.5, avseende fri horisont. Solvärmestillskottet genom byggnadsskalet och fönstren har däremot inte beräknats. Sådana beräkningar blir starkt beroende av bebyggelsens detalj-utformning och vegetationshandlingen och faller utanför ramen för denna studie.

Beräkningarna i det följande avser främst att belysa hur värmeförlusten för en byggnad påverkas av lokalisering inom området, samt att påvisa de vindriktningar, för vilka vindskydd är mest motiverat.

4.2.2 Beräkning av transmissionsförluster

Värmeförlusten genom transmission i ett vägg- eller takelement bestäms dels av värmeledningsförmågan, λ ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$), och tjockleken, d (m), hos elementet dels av värmeövergångstalen, $\alpha_{\text{i}}^{\text{inre}}$ och $\alpha_{\text{y}}^{\text{yttre}}$ ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$), för elementets ytor. Elementet betraktas som homogent utan uppdelning i olika inre skikt.

För det resulterande värmeegenomgångstalet, k ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$)⁻¹, gäller:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_{\text{i}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{y}}} + \frac{d}{\lambda} \quad (4.1)$$

Ekv (4.1) gäller separat för varje vägg- och takelement. Härvid betraktas λ som konstant medan α_{i} och α_{y} beror av lufthastigheten intill ytan samt temperaturen hos ytan själv, omgivande ytor samt luften.

Både för α_{i} och α_{y} gäller samband av typen:

$$\alpha_{\text{y},\text{i}} = \alpha_{\text{k}} + \alpha_{\text{s}} \cdot \frac{\theta_{\text{v}} - \theta_{\text{s}}}{\theta_{\text{v}} - \theta_{\text{l}}} \quad (4.2)$$

där

- α_{k} = värmeövergångstal för konvektion
- α_{s} = värmeövergångstal för strålning
- θ_{v} = elementets yttemperatur
- θ_{s} = yttemperatur hos omgivande ytor, med vilka strålningsutbyte sker
- θ_{l} = lufttemperatur intill ytan

Beräkningen av α_{i} och α_{y} kompliceras av temperaturberoendet i ekv (4.2) eftersom i regel endast lufttemperaturen är känd med större noggrannhet.

Vid beräkning av α_{i} och α_{y} antages, som en första approximation, att $\theta_{\text{s}} \approx \theta_{\text{l}}$ gäller, dvs

$$\frac{\theta_{\text{v}} - \theta_{\text{s}}}{\theta_{\text{v}} - \theta_{\text{l}}} \approx 1 \quad (4.3)$$

I vissa fall, t ex vid stark solinstrålning mot ytan eller vid klar himmel nattetid, kan avsevärda skillnader uppträda mellan θ_{v} , θ_{s} och θ_{l} . Hittills har sådana effekter ej beaktats i beräkningarna.

Vid beräkningen av α_{i} , användes följande relationer för α_{k} och α_{s} : [16]

$$\alpha_{\text{k}} = a_1(\theta_{\text{l}} - \theta_{\text{v}})^{1/4}, \text{ för tak} \quad (4.4)$$

$$\alpha_{\text{k}} = a_2(\theta_{\text{l}} - \theta_{\text{v}})^{1/3}, \text{ för väggar}$$

$$\alpha_{\text{s}} = c \cdot (\theta_{\text{v}}^2 + \theta_{\text{s}}^2) (\theta_{\text{v}} + \theta_{\text{s}}) \quad (4.5)$$

eller, för

$$\theta_v \approx \theta_s$$

$$\alpha_s = C_1 \cdot \theta_v^3;$$

Motsvarande uttryck för beräkning av α_y är:

$$\alpha_k = a_3 \frac{u^{0.6}}{L^{0.4}} \quad (4.6)$$

$$\alpha_s = C_1 \theta_v^3$$

Här är u medelvindhastigheten längs ytan och L längden av ytan.

Uttrycken för beräkning av k -värden är:

för tak:

$$\left(\frac{1}{k}\right)_{\text{tak}} = \left[\frac{1}{\frac{1}{\Delta\theta} + C_1(\theta_v)_i^3} + \frac{1}{a_3 \frac{u^{0.6}}{L^{0.4}} + C_1(\theta_v)_y^3} + \frac{d}{\lambda} \right] \quad (4.7)$$

för väggar:

$$\left(\frac{1}{k}\right)_{\text{vägg}} = \frac{1}{a_s(\Delta\theta)^{1/3} + C_1(\theta_v)_i^3} + \frac{1}{a_3 \frac{u^{0.6}}{L^{0.4}} + C_1(\theta_v)_y^3} + \frac{d}{\lambda} \quad (4.8)$$

där följande beräkningskonstanter använts:

$$a_1 = 0.9$$

$$a_2 = 1.5$$

$$a_3 = 6.4$$

$$C_1 = 2.1 \times 10^{-7}$$

$$\Delta\theta = \theta_1 - \theta_v \text{ har schablonmässigt satt} = 2^\circ$$

Beräkningarna genomföres för konstant innetemperatur $(\theta_1)_i = +20^\circ\text{C}$. Värme förlusten per timme pga transmisison beräknas nu enligt:

$$P_t = \sum_j k_j A_j (\theta_i - \theta_y) \quad (4.9)$$

där index j avser j :te delementet i byggnadshöljet.

A_j = arean av delementet

θ_i = inneluftens temperatur ($+20^\circ\text{C}$)

θ_y = uteluftens temperatur

4.2.3 Beräkning av förluster pga självdragsventilation

ENLOSS-modellen finns i två versioner, I och II, vilka skiljer sig främst ifråga om beräkningen av den ofrivilliga ventilationen (läckflödet) samt ifråga om beaktandet av byggnadens proportioner och orientering. Transmissionsförlusterna beräknas däremot i båda versionerna enligt föregående avsnitt.

I den enklaste versionen, ENLOSS I, utgörs 'byggnaden' av ett givet referensobjekt, approximativt motsvarande ett friliggande småhus med ytter-area = 300 m^2 och uppvärmd volym = 300 m^3 . 'Byggnaden' saknar fönster. Beräkningarna tar ej hänsyn till byggnadens orientering. Läckflödet beräknas enligt ett uttryck, bestämt av Elmroth och Höglund [17] för regelbyggda trähus, enligt:

$$n = 0.15 + 0.012 \Delta T + 0.077 u \text{ (h}^{-1}\text{)} \quad (4.10)$$

där

n = antal luftomsättningar/timme
 ΔT = temperaturdifferensen inne-ute
 u = vindhastighet

För u har här använts den observerade eller beräknade hastigheten på 10 m över mark.

Ekv (4.10) gäller för byggnader uppförda före 1970 och är ej tillämplig för moderna byggnader med väsentligt större täthet.

I den förbättrade versionen, ENLOSS II, har läckflödesberäkningen utvecklats väsentligt längre. Vi har härvid följt den principiella metod, som beskrivs av P O Nylund [18] och som bygger på beräkning av tryckdifferensen över olika deltylor av byggnadshöljet. Det ekvationssystem, som härvid erhålles, löses iterativt under villkor om flödesbalans. Beräkningen innebär även att byggnadens orientering beaktas. Vindtrycket mot respektive ytteryta beräknas f n med användande av formfaktorer enligt SBN-75, kap. 21:633, varvid fristromshastigheten valts såsom den observerade (Tullinge) eller beräknade (Södertuna) hastigheten på 10 m över mark.

4.3 Beräkningsresultat

Beräkningar utfördes först för att studera den relativa betydelsen av olika vindriktningar för värmeförluster vid öppet läge (Tullinge flygplats) respektive varierande vindexponering (Södertuna, punkt ①, ②, ③). Därefter studerades hur värmeförlusterna varierar med byggnadens orientering i ett vindexponerat läge (punkt ①, berget). I det första fallet har den enklare versionen (ENLOSS I) använts medan ENLOSS II använts i det senare fallet. Beräkningarna skiljer sig även ifråga om definitionen av beräkningsobjektet (byggnaden). Referensobjektet i det första fallet är ett friliggande småhus (se 4.2.3) medan beräkningarna i det andra fallet avser ett aktuellt planerat 2-vånings radhus (se 4.3.2) med en fri gavel, figur 4.2. Transmissionsförlusterna har i båda fallen beräknats enligt ekv (4.1)-(4.9) och med samma nominella k -värden (λ/d i ekv 4.1) för väggar ($\lambda/d = 0.15 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$) och tak ($\lambda/d = 0.10 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$). Transmissionsförlusterna skiljer sig dock pga olika ytterarea i de båda fallen.

Beräkningarna i det första fallet (ENLOSS I) är inte avsedda att representera de speciella byggnader, som planerats för Södertuna. Resultaten bör i detta sammanhang främst betraktas som ett index på olika vindriktningars betydelse för energiförlusterna i respektive läge.

Resultaten från det andra beräkningsfallet (ENLOSS II) avser däremot byggnader av en typ, 2-vånings radhus, som planerats för Södertuna-området. Husen har projekterats för solvärmeförsörjning och är extremt energisnåla. Beräkningarna har utförts för en radhuslägenhet med en fri gavel eftersom huskroppens orientering bör ha störst betydelse för värmeförlusten i detta fall. Det tänkta läget för huset (punkt ①, berget) motsvarar dock inte ett verkligt, planerat läge. Läget valdes därför att vindmätningarna i punkt ① bedömts vara mest representativa för strömningen över Södertuna-området som helhet. Vindhastigheterna från mastens 10 m nivå har använts vid beräkningen.

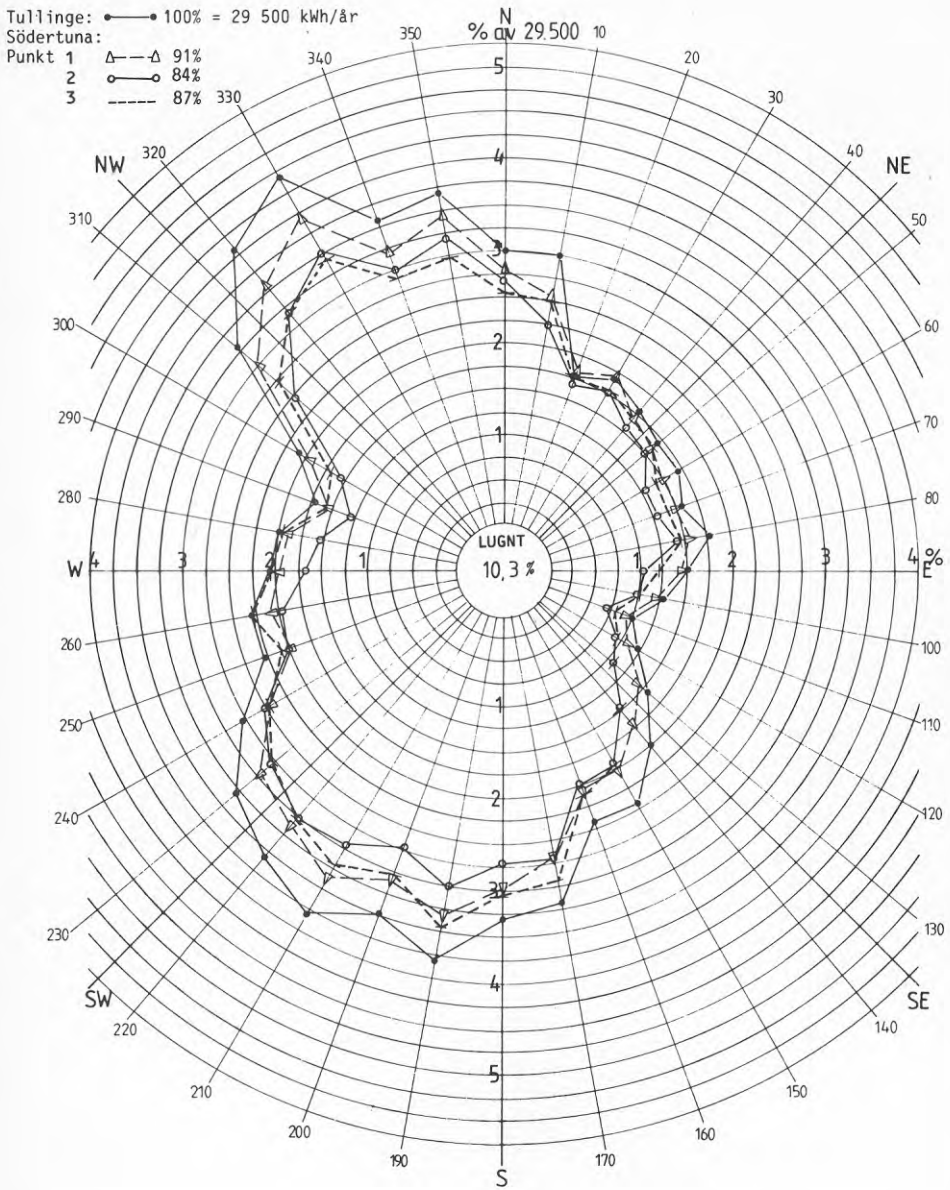
Även beträffande radhuset genomfördes beräkningarna för ett tänkt läge på Tullinge flygplats. Trots att vindhastigheten och samvariationen av vind och temperatur uppvisar en tydlig assymmetri med avseende på olika vindriktningar (se avsnitt 1.3) visar resultaten att husets orientering har en relativt liten inverkan i båda beräkningpunkterna (se figur 4.6). På grund härav, samt med hänsyn till att de beräknade självdraagsförlusterna är relativt små, har det inte bedömts vara motiverat att utföra motsvarande beräkningar för andra lägen inom området.

4.3.1. Lagesberoende värmeförluster för referensbyggnad

Resultaten från beräkningar enligt ENLOSS I, ekv (4.1)-(4.10), utförda för en tänkt placering av referenshuset dels på Tullinge flygplats dels i Södertuna i punkterna ①, ② och ③ visas i figur 4.1. För respektive beräkningsfall har först den totala årliga värmeförlusten (transmissionen + självdraagsventilationen enligt ekv (4.10) beräknats för 10⁰-vindriktningssektorer (överbärande medelvärdesbildning över tre angränsande sektorer). I samtliga fall har värdena normaliserats genom division med den över alla vindriktningar summerade, genomsnittliga årliga värmeförlusten för Tullinge-fallet (29 500 kWh/år). Figur 4.1 bör jämföras med figurerna 1.5-1.13 och 2.17-2.21.

Värmeförlustens variation med vindriktningen visar samma mönster i alla fyra punkterna, huvudsakligen beroende på att ingen lokal korrektion av vindriktningen gjorts. De inbördes skillnaderna är dock något mer markerade för vindar från nordväst och syd-sydväst. Som framgår av figurerna 1.5-1.9 uppträder frekvensmaxima vid dessa riktningar under hela året. De höga relativa förlusterna vid nordvästvind är en återspeglning av den lägre lufttemperaturen vid dessa vindar.

De små skillnaderna mellan punkterna ①, ② och ③ beror främst på att vindhastigheten allmänt i området är förhållandevis svag. Den inre kurvan i figuren motsvarar det hypotetiska fallet att vindhastigheten lokalt reducerats till noll. (Vindriktningsberoendet bevaras genom att varje timme tilldelats den observerade vindriktningen på Tullinge).



FIGUR 4.1 Fördelning av årsvärme förlusten över olika vindriktningar, ENLOSS I

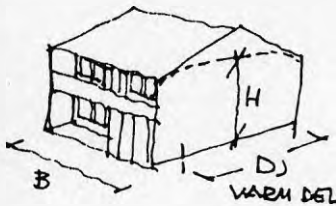
De totala, årliga värmeförlusterna i punkt ①, ② och ③ förhåller sig till Tullinge enligt följande:

Tullinge	100% = 29 500 kWh/år
Punkt ①	91%
Punkt ②	84%
Punkt ③	87%
Vind = 0	67%

Mot bakgrund av svårigheten att formulera någon generell modell för lokal korrektion av temperaturen (jfr avsnitt 3) har beräkningarna utförts med användande av Tullinges temperaturvärden. Som framgår av avsnitt 2.3.1 är dock temperaturskillnaden relativt Tullinge i regel liten. De lokala skillnaderna i beräknad värmeförlust är därför uteslutande ett resultat av skillnader i vindexponering.

4.3.2. Byggnadsorienteringens inverkan på värmeförlusterna

I detta avsnitt redovisas beräkningar enligt den förbättrade versionen, ENLOSS II, avseende en av de byggnadstyper som planerats för Södertuna. Mått och andra uppgifter för beräkningsobjektet, en gavellägenhet i ett planerat 2 vån. radhus, framgår av figur 4.2.



Hustyp: 2-vånings radhus med en fri gavel
 bredd 6.7 m
 djup 8.9 m
 höjd 5.6 m
 varmhållen och ventilerad volym: 257 m³

k-värden:

ytterväggar	k = 0.15 W/m ² K, 118 m ²
tak	k = 0.10 " , 60 "
dörr	k = 1.0 " , 2 "
fönsterbröstningar	k = 0.30 " , 6 "
fönster, 3-glas	k = 1.9 " , 11 "
taklutning 15°	

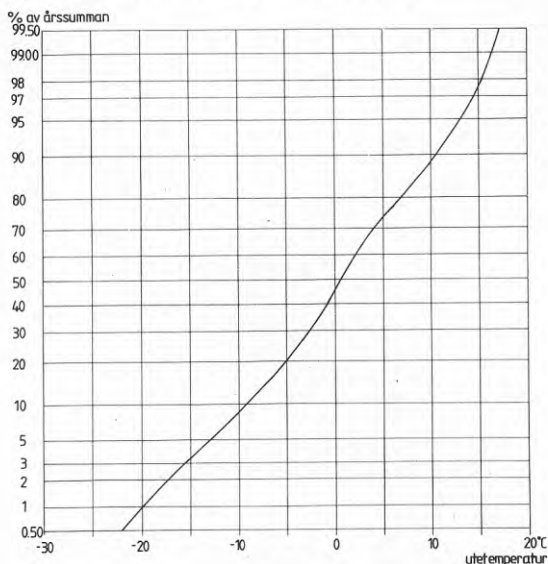
FIGUR 4.2 Uppgifter om det planerade 2 vån. radhuset för vilket värmebalansberäkningar med ENLOSS II är utförda.

Den genomsnittliga årliga transmissionsförlusten har beräknats till 5 700 kWh/år för ett läge på berget (punkt ①). Motsvarande beräkningar för andra punkter har ej bedömts vara motiverade pga svårigheten att generera lokalt representativ temperaturstatistik.

Transmissionsförlustens beroende av vind och temperatur redovisas i tabell 6. Fördelningen av den totala årliga transmissionsförlusten (5 700 kWh/år) över olika temperaturer visas i figur 4.3. Härav framgår bl a att ca 50% av transmissionsförlusterna inträffar inom ett snävt temperaturintervall, -5 till +5°C. Vindhastigheten är ofta relativt hög vid dessa temperaturer, jfr tabell 1.

Utetemp °C	Vindhastighet (ms ⁻¹)									
	0	1.5	3.5	5.5	7.5	9.5	11.5	13.5	15.5	17.5
+19	39	46	47	48	49	49	49	49	49	49
+16	155	185	190	193	194	195	196	197	197	198
+13	270	323	332	337	340	342	343	344	345	346
+10	383	461	475	482	486	488	490	492	493	494
+7	495	599	617	626	631	635	637	639	641	643
+4	604	736	759	770	777	781	784	787	789	791
+1	713	874	901	915	922	928	931	934	937	939
-2	820	1011	1043	1059	1067	1074	1078	1082	1085	1087
-5	925	1148	1185	1203	1213	1220	1225	1229	1233	1235
-8	1028	1284	1327	1347	1358	1366	1372	1377	1380	1383
-11	1130	1421	1469	1491	1504	1512	1519	1524	1528	1532
-14	1229	1557	1610	1634	1649	1659	1666	1671	1676	1680
-17	1327	1693	1752	1778	1794	1805	1812	1819	1824	1828
-20	1423	1829	1893	1922	1939	1951	1959	1966	1971	1976
-23	1517	1965	2034	2066	2084	2097	2106	2113	2119	2124
-26	1609	2100	2176	2209	2229	2243	2253	2260	2267	2272
-29	1698	2235	2317	2353	2374	2389	2399	2408	2414	2420
-32	1786	2371	2458	2496	2519	2535	2546	2555	2562	2568

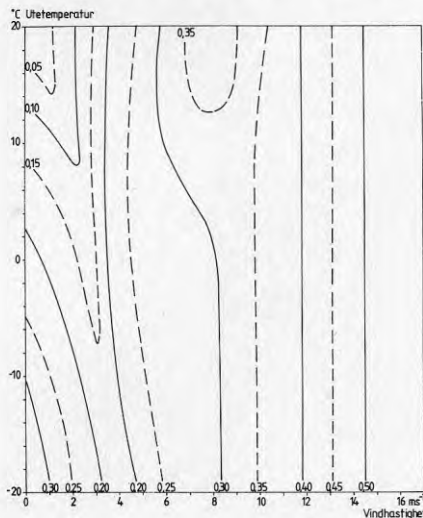
TABELL 6. Transmissionsförlust (Wh/h) vid viss vindhastighet och utetemperatur. 2 vån. radhus med fri gavel i Södertuna. Innetemperatur +20°C.



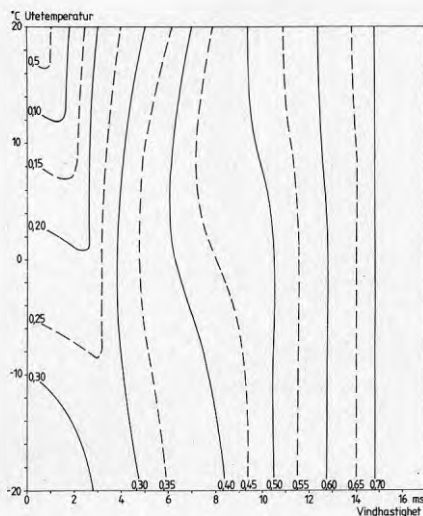
FIGUR 4.3 Procentuell fördelning av beräknad transmissionsförluster med utetemperatur $\leq T^{\circ}\text{C}$ Södertuna 2 vån. radhus. Innetemperatur +20°C.

Självdraagsventilationen som funktion av vindhastighet och lufttemperatur visas i figurerna 4.4 och 4.5. Härvid har samtliga ytterväggar och taket antagits ha läckfaktorn $0.2 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, vilket innebär väsentligt större täthetskrav än i SBN-75, kap. 33:3.

Inverkan av fläktventilationen har inte beaktats vid beräkningarna. Innetemperaturen har antagits konstant, $= +20^\circ\text{C}$.



FIGUR 4.4 Antal luftomsättningar per timme pga självdraagsventilation av olika vindhastighet och utetemperatur. Innetemperatur $+20^\circ\text{C}$. Södertuna 2 vån. radhus. Vindriktning mot långsidan.



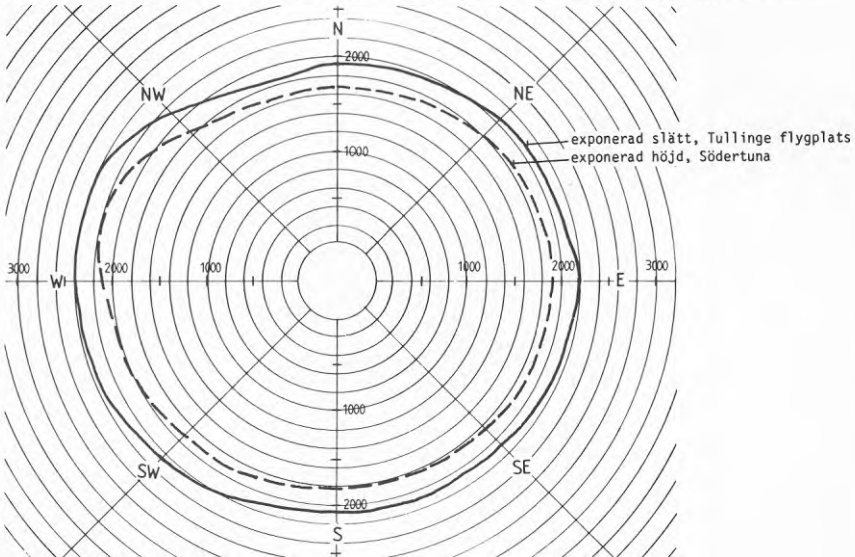
FIGUR 4.5 Antal luftomsättningar per timme pga självdraagsventilation vid olika vindhastighet och utetemperatur. Innetemperatur $+20^\circ\text{C}$. Södertuna 2 vån. radhus. Vindriktning mot gaveln.

Läckflödet är direkt proportionellt mot storleken på läckfaktorn för respektive delyta. Även för en mycket tät byggnad kan tydligen vinden ha en betydande inverkan på luftomsättningen. För att utvärdera betydelsen härav måste dock ett flertal faktorer tagas i beaktande. Dels måste den lokala frekvensen av olika vindhastigheter och temperaturer vid aktuell anblåsningsriktning vara känd, dels måste giltigheten av använda formfaktorvärden prövas med hänsyn, bl a till byggnadens läge relativt omgivande byggnader eller andra omgivningselement. Otätheter i byggnadsskalet har antagits vara jämnt fördelade över respektive yta.

Figurerna 4.4 och 4.5 ger vid handen att luftomsättningen skulle öka när vindhastigheten blir lägre än $2-4 \text{ ms}^{-1}$, beroende på temperaturen. Detta är kvalitativt i överensstämmelse med en teoretisk analys av Sinden [9]. Vid vindstilla bestäms läckflödet enligt figurerna 4.4 och 4.5 enbart av det termiska övertrycket. Detta är noll då inne- och utetemperaturerna är lika ($+20^{\circ}\text{C}$) och ökar med ökande temperaturskillnad. Med ökande vindtryck motverkas först det termiskt betingade läckflödet men från en viss vindhastighet samverkar yttre vindtryck och inre, termiskt tryck till att ge ett successivt ökande läckflöde. En effektiv lokal läbbildning skulle vid vissa kombinationer av vind och temperatur alltså kunna orsaka en förhöjd luftomsättning. Även om denna slutsats är osäker, bl a beroende på osäkerheten i formfaktorvärdena, är det troligt att läbbildningens betydelse är störst vid hårdare vindar i kombination med relativt höga lufttemperaturer.

Beräkningarna av värmeförluster vid självdragsventilation för radhuset har utförts i första hand för att belysa betydelsen av husets orientering dels på Tullinge dels i Södertuna.

Beräkningarna utfördes liksom tidigare timme för timme under perioden 1955-75. Resultaten sammanfattas i figur 4.6. Inverkan



FIGUR 4.6 Beräknad energiförlust (kWh/år) pga självdragsventilation. 2 vån. radhus med fri gavel orienterad mot visst väderstreck. 20-års period. ENLOSS II

av byggnadens orientering är som synes relativt liten. Något förhöjda förluster erhålles vid gavelorientering mot västliga riktningar. I medeltal över alla riktningar är förlusten ca 1 850 kWh/år i Södertuna och ca 2 100 kWh/år i Tullinge, dvs en reduktion med ca 12%. Självdragsventilationen svarar i Tullinge-fallet för ca 24% och i Södertuna-fallet (berget) för ca 27% av den totala förlusten (transmission + självdrag).

Som framgår av tabell 6 är även transmissionsförlusten något beroende av vindhastigheten. En reducering av vindhastigheten med 1 ms^{-1} ger, beroende på temperaturen, en minskning av transmissionsförlusten med 1-2%. Effekten härav på värmeförlusten i Södertuna (punkt ①) relativt Tullinge har överslagsmässigt beräknats till 1-2% ytterligare reducering.

Minskningen av den totala värmeförlusten för radhuset till följd av vindreduceringen i punkt ① jämfört med Tullinge kan alltså uppskattas till 4-5%. Läget på berget hör till de mest vindexponerade i Södertuna. I andra, mer vindskyddade lägen skulle den totala värmeförlusten kunna bli 5-8% lägre än på Tullinge flygplats. Härvid har dock ingen hänsyn tagits till effekten av lokala temperaturskillnader.

Vid exploatering av området kan blåsigheten öka avsevärt, i synnerhet i de högre terrängavsnitten, om skogen avverkas eller gallras kraftigt. Kalavverkning av sluttningarna och bergskrönen skulle medföra en hastighetsökning relativt Tullinge på 30-50% (motsvarande en fördubbling av hastigheten i punkt ①) vid neutral skiktning och väsentligt mer vid stabil skiktning. Effekten härav på värmeförlusterna har inte beräknats närmare. Approximativa uppskattningar för punkt ① ger dock vid handen att läckflödesförlusten skulle fördubblas och transmissionsförlusten öka med 2-3% jämfört med Tullinge. Totalt skulle värmeförlusten då öka relativt Tullinge med 25-30%.

5. SAMMANFATTNING

5.1 Bakgrund och syfte

Lokala variationer i klimatet kan utnyttjas vid planeringen till fördel för både utemiljön och energiförbrukningen. Syftet med klimatstudierna var att bestämma klimatet som gäller för Södertuna-området som helhet samt dominerande terrängformationers inflytande. Vidare skulle detaljstrukturen i de lokala klimatvariationerna kartläggas. Slutligen studerades betydelsen av rådande och förväntade klimatförutsättningar för bebyggelsens energihushållning.

5.2 Fältmätningar

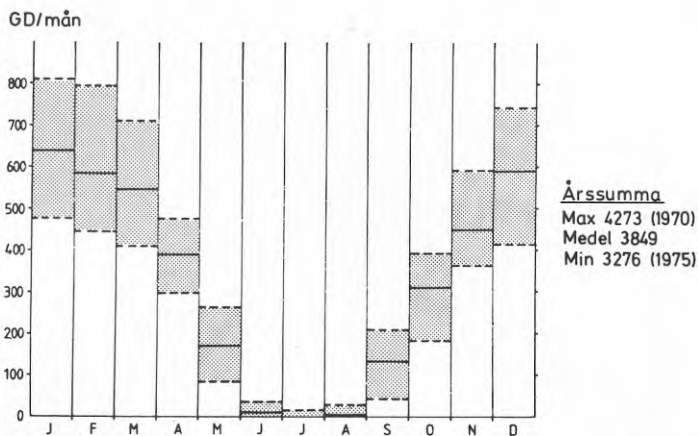
Landskapet i Södertuna är kuperat med nivåskillnader på 20-30 m. På bergskränen växer gles tallskog och i sänkorna däremellan hög och bitvis tät blandskog. I södra delen av området finns öppna fält. Vinden nere vid marken blir oregelbunden till riktning och styrka i sådan terräng. Temperaturen varierar inom små avstånd, men variationerna avtar snabbt med höjden över marken.

Under april och maj 1981 mätte SIB och SMHI vind-, temperatur- och strålningsförhållanden i området. Mätningarna gjordes på 2 m höjd i fyra olika terrängavsnitt med 16-24 mätpunkter åt gången. I lokala referenspunkter dels på ett bergskräne, dels på åkermark gjordes mätningar i flera nivåer från 1 till 18 m höjd.

5.3 Databearbetning och resultat

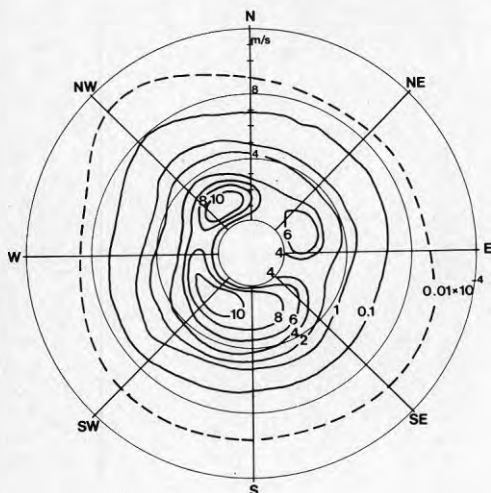
5.3.1 Allmänna klimatförhållanden

Södertuna ligger i inre delen av Södermanlands kustzon. Detta leder bl a till att sjöbrisens dagtid under sommar ger en något lägre temperatur än längre in i landet. Under hösten medför närhet till havet istället en viss temperaturhöjning. Årsmedeltemperaturen är ca 6°C. Antalet graddagar har beräknats genom interpolation mellan kust- och inlandsstationer i östra Sörmland, figur 5.1.



FIGUR 5.1 Graddagar för Södertuna, beräknat över en 18-årsperiod. Högsta och lägsta månadsvärden markerade.

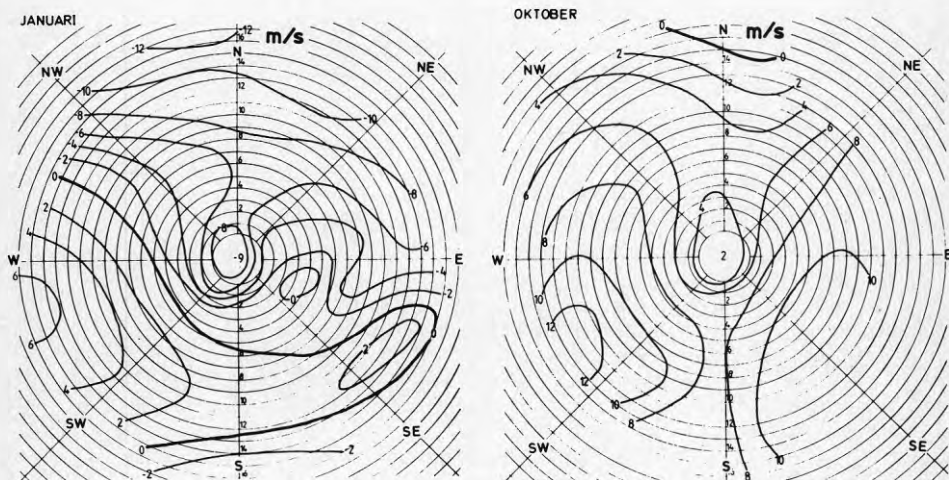
Utifrån vindmätningarna i Södertuna och ordinarie observationer i Tullinge har SMHI beräknat en lokal vindstatistik för Södertuna. Årsmedianhastigheten visade sig vara låg i Södertuna, ca 2.3 ms^{-1} . Markerade frekvensmaxima uppträder vid 3 ms^{-1} och vinden från omkring NV (330°) och NO (60°) samt S-V ($180-230^\circ$), figur 5.2. Det senare maximumet förskjuts mot sydväst under vintern och mot syd under sommaren. De hårdaste vindarna kommer från omkring nordväst och syd.



FIGUR 5.2

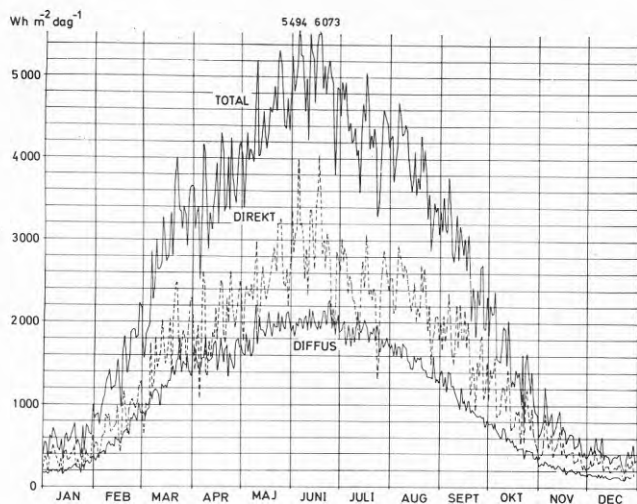
Samvariation av vindhastighet och vindriktning på 10 m höjd i Södertuna. Kurvorna är beräknade per riktning och ms^{-1} . Året.

Låga temperaturer uppträder i samband med svaga vindar. Samtidig kyla och starka vindar förekommer från nord, fig 5.3. Under vintern råder mycket olika temperaturförhållanden vid olika vindriktningar. I januari är t ex sydvästvindar $13-14^\circ\text{C}$ varmare än vindar från nord och nordost vid omkring 10 ms^{-1} .



FIGUR 5.3 Medeltemperaturer vid olika vindriktningar och vindhastigheter i januari och oktober. Tullinge.

Med vanliga observationsdata ifråga om molnighet m m har SMHI beräknat den direkta och diffusa solstrålningen mot sydvända ytor, med 45° lutning i Södertuna som medelvärden, över 25 år, fig 5.4.

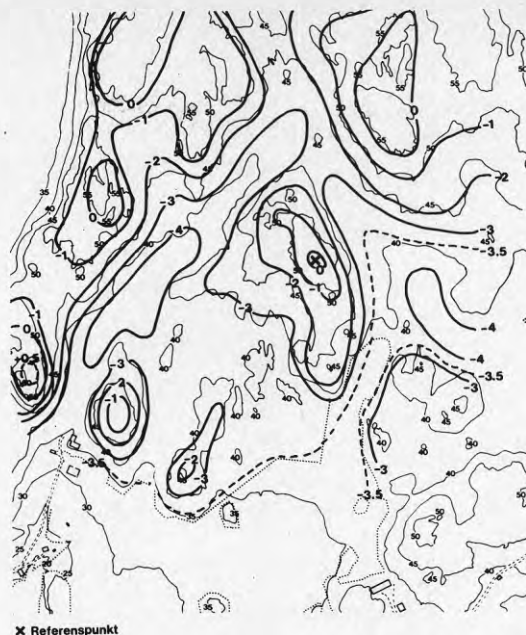


FIGUR 5.4 Beräknad instrålning av direkt, diffus och total solstrålning mot 45° lutande yta mot Söder i Södertuna. Medelvärden över 25 år.

5.3.2 Klimatvariationer inom området

Temperaturvariationerna i tid och rum blir alltid störst vid klart och stilla väder. Vid moln eller vindökning suddas de ut mer eller mindre. Därför valdes timmar med lugn och klar väderlek för en kartläggning av temperaturvariationerna (differenserna till referenspunkten på 2 m), uppdelade på dag och natt. Temperaturmönstren följde marklutning och avskärmningsförhållanden ganska väl. Mätpunkternas avskärmning dokumenterades med fish-eye-fotografier. Med ledning av mätresultaten samt vegetation och nivåkurvor kunde vi kartera temperaturfälten i hela Södertuna-området för klara och stilla nätter. De största temperaturskillnaderna som uppmättes inom området var $\sim 4.5^{\circ}\text{C}$ under natten och $\sim 1^{\circ}\text{C}$ under dagen, figurerna 5.5 och 5.6.

Tidsvariationen av temperaturen följde nettostrålningen och i viss mån också vindförhållandena ganska väl, men storleken på temperaturdifferensen kunde, utom i mycket renodlade situationer, variera mycket mellan olika tillfällen med likartade strålnings- och vindförhållandena. Det har inte varit möjligt att få fram genomsnittliga temperaturskillnader på samma sätt som för vindhastigheten. Ett visst mått på storleksordningen på de genomsnittliga temperaturdifferenserna fick vi emellertid genom de kontinuerliga mätserierna under växlande väderlek. Det var i genomsnitt 1°C kallare under nätterna på fältet än på ett 15 m högre bergskrön under vår mätperiod i maj med förhållandevis klart väder.



FIGUR 5.5 Värmeförlusten genom luftläckning och självdrag fördelad på olika vindriktningar, beräknad med ENLOSS I.



FIGUR 5.6 Byggnadsorienteringens inverkan på energiförlusterna genom luftläckning och självdrag.

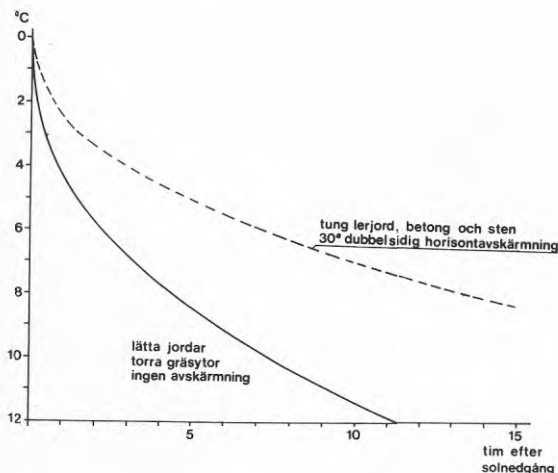
Temperaturens dygnsvariationer var minst vid referenspunkten på bergskränet liksom på övriga krön där berget gick i dagen och avskärmningen mot strålning och vind var måttlig. Fälten hade de största dygnsvariationerna pga de stora variationerna i nettostrålning.

Under klara dagar blev det ca 1 grad varmare på fälten och i söderslutningarna än i den täta skogen. Under klara stilla nätter sjönk kallluft ner i sänkorna och särskilt fälten fick låga temperaturer. Även i den tätaste skogen sjönk temperaturen kraftigt trots stor avskärmning mot utstrålning.

Oberoende av molnigheten tycks den täta skogen få genomsnittligt lägre temperaturer än referenspunkten på berget. Fälten och även den glesa skogen fick större undertemperaturer, under förhållandevis klara dygn - det kunde röra sig om 1 till 2 grader lägre temperatur än i referenspunkten under den aktuella mätperioden. Vintertid med längre nätter och snötäcke bör de genomsnittliga undertemperaturerna kunna bli betydligt större på fälten och i den glesare skogens lågpunkter.

När området bebyggs förändras temperaturförhållandena avsevärt. Om träden i sänkorna huggs ner kommer vind och nettostrålning här att närma sig förhållandena på fältet. Vid bebyggelse höjs temperaturen beroende på ökad instrålning, minskad temperatursänkande avdunstning och bättre absorption och lagring av solvärme jämfört med vegetationsklädda ytor. Enligt en teoretisk beräkning grundad på uppmätta temperaturer skulle ganska tät bebyggelse på fälten kunna innebära en genomsnittlig höjning med 4°C under en klar och stilla aprilmatt, figur 5.7. Denna temperaturhöjning är lika stor som de undertemperaturer som uppmätts. Någon motsvarande temperatursänkning under dagen skulle bebyggelsen inte medföra.

Eftersom de klara och vindstilla nätterna är sällsynta och svackor genom sitt vindskyddade läge kan bli varmare än omgivningen under dagtid är det tveksamt om exploatering i områdets kallaste delar verkligen skulle innebära någon ökad energiförbrukning. Sådana besked kommer man kunna ge först när man får bättre möjligheter att beräkna genomsnittliga lokala temperaturvariationer.



FIGUR 5.7

Markens och avskärmningens betydelse för temperaturfallet en klar och vindstilla natt.

Genom jämförelser av samtidiga vindhastigheter i referenspunkten på berget (15.6 m över mark) och på Tullinge flygplats, varifrån det finns vindstatistik, beräknades lokal vindstatistik för Södertuna. Vindhastigheterna i de enskilda punkterna relaterades till de samtidiga värdena ovanför skogen i referenspunkten på berget. Vinden där antogs representera den allmänna strömningen över området. Förhållandet mellan vindhastigheten vid marknivå (2 m) och referenshastigheten (vindreduktionsfaktorn) studerades för olika vindhastigheter och vindriktningar. Reduktionsfaktorn för en viss punkt visade sig anta ett konstant värde då vinden i punkten översteg ca 1 ms^{-1} , vilket tolkas som att luftens temperaturskiktning då i regel var nära neutral.

Mätresultaten generaliserades med utgångspunkt från topografi och vegetation. Med ett mätsnitt, t ex från en dalgång upp över ett krön som generatris, bildades en modellkulle, där reduktionsfaktorerna vid vind $\geq 1 \text{ ms}^{-1}$ för olika anblåsningsriktningar av-sattes utefter ett snitt med motsvarande riktning. Terrängens oregelbundenheter medför naturligtvis att de uppmätta reduktionsfaktorerna inte fördelar sig symmetriskt över kullen. Med stöd av resultaten från tidigare vindtunnelmätningar kring kullar justerades hastigheterna så att de blev symmetriska men ändå schematiskt motsvarande vindförhållandena vid en kulle i Södertuna. Tre sådana modeller konstruerades och en fjärde för vindförhållandena kring ett skogsbryn.

Med hjälp av modellerna och mätdata karterades hela det aktuella området med vindreduktionsfaktorer för varje vindriktning. En sådan kartering blir approximativ i första hand beroende på den verkliga vegetationens och topografins oregelbundenheter.

Med hjälp av den beräknade, lokala statistiken och de karterade vindreduktionsfaktorerna kunde vi beräkna frekvensen av olika vindstyrkor för olika punkter och olika vindriktningar. Genom att slutligen addera alla frekvenser av hastigheter över en viss nivå för varje punkt och alla vindriktningar fick vi en sammanfattande bild av hur blåsigheten varierar inom området, figur 5.8.



FIGUR 5.8 Blåsighetens fördelning inom Södertuna.

I skogen visade sig vindhastigheterna generellt vara mycket låga, bara 10-20% av hastigheten vid referenspunkten på 15,6 m.ö.m. De glesare bevuxna krönen sticker däremot upp som lite blåsigare öar. Vindhastigheterna på krönen var i regel 30-50% av referenspunktens. I de norra, högre belägna delarna där avverkning förekommit är hastigheterna något högre. På den mycket exponerade branta kullen i sydväst blåser det betydligt mer. Även den glesa vegetationen på krönen medför en ganska stor reduktion. Uppskattningar tyder på att hastigheten skulle öka 2-3 ggr på höjdparterna om bergskrönens glesa, ömtåliga tallvegetation skadas eller tas bort. Också på fälten i söder är det förhållandevis blåsigt. Avverkas skogen inom större områden skulle förhållandena komma att likna dem på fälten. Det skulle kunna innebära 10 ggr högre vindhastigheter gentemot idag i genomsnitt även i de lägre liggande nu skogbevuxna delarna.

Hastighetsvariationerna är stora inom Södertuna-området, men hur blåsigt är det i absoluta termer? För att få en uppfattning om det jämförde vi kartan med de summerade vindhastighetsfrekvenserna med kriterier för vindmiljö, som tillämpats av SIB vid tidigare klimatundersökningar. Vindhastigheten i referenspunkten är förhållandevis låg. Bara ute på fältet och på det högsta krönet är det så blåsigt att det vore mindre lämpligt att t ex placera oskyddade uteplatser där. Ungefär lika blåsigt skulle det bli vid mer omfattande avverkning av skogen. Bebyggelse högre än skogen (ca 3 våningar) eller exploatering även på krönen skulle emellertid kunna medföra avsevärt större blåsighet.

5.3.3 Klimatberoende energiförluster

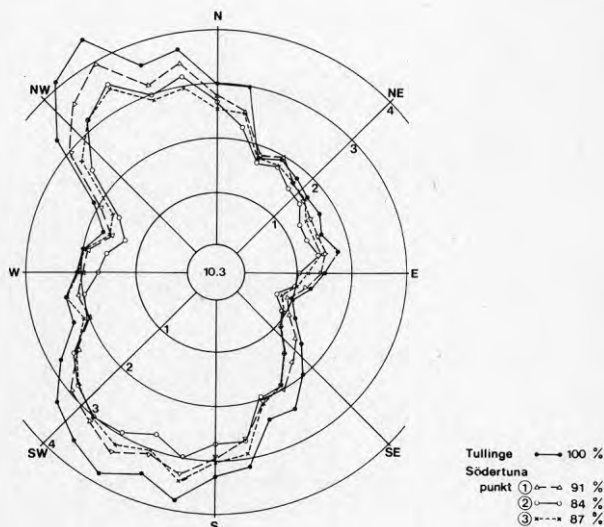
Beräkningar av den genomsnittliga årliga värmeförlusten för en byggnad genom samtidig påverkan av utetemperatur och vind har utförts med två varianter av ENLOSS-modellen på basis av timvisa väderdata med lokalt korrigerade vindhastigheter. Syftet med beräkningarna har varit;

att studera den relativa betydelsen för en referensbyggnad av vindar från olika riktningar och skillnader härvidlag mellan olika platser i Södertuna,

att studera inverkan av olika orientering av en aktuell, planerad byggnadstyp i ett speciellt vindexponerat läge inom området.

I det första fallet har en förenklad version av modellen använts för beräkningen av ofrivillig ventilation, varvid tryckfördelningen över byggnadens olika delytor vid viss anblåsningsriktning inte kan beaktas. Beräkningen bygger på en relation som avser byggnader uppförda med lägre täthetskrav än vad som gäller idag. Vad gäller nybebyggelse kan resultaten därför endast ses som ett mått på den inbördes relativa betydelsen av olika vindriktningar för värmeförlusten. För äldre byggnader i motsvarande lägen i Södertäljetrakten kan resultaten troligen även ge ett approximativt mått på den absoluta värmeförlusten vid olika vindriktningar.

Resultaten från det första beräkningsfallet visar skillnader i värmeförluster på 10-15% mellan å ena sidan ett fritt exponerat läge (Tullinge flygplats), och å andra sidan mer eller mindre vindskyddade lägen (punkt ①, ② och ③) i Södertunaterrängen. I maximalt vindskyddade lägen skulle värmeförlusten hypotetiskt reduceras med upp till ca 35%, figur 5.9.

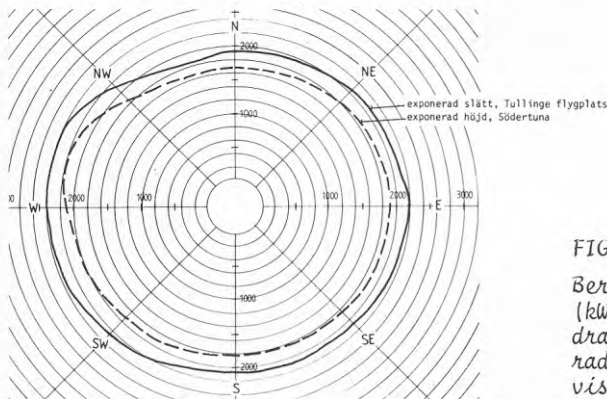


FIGUR 5.9 Värmeförlusten genom luftläckning och självdrag fördelad på olika vindriktningar, beräknad på en fönsterlös låda (volym 300m^3). Siffrorna anger % av årsvärmebehovet 29 500 kWh.

I det andra fallet har en metodik använts, som medger hänsynstagande till denna tryckfördelning. Härvid har - i brist på bättre underlag - formfaktorer enligt SBN-75 använts trots att dessa egentligen är avsedda för beräkning av dimensionerande vindlaster. Transmissionsförluster har beräknats på samma sätt i båda fallen och med antagande av en konstant innetemperatur (+20°C). I båda fallen bortses från effekter av värmelagring i byggnadsstommen.

De största förlusterna inträffar vid vindar framför allt från S-SV samt från NV-NNV. Däremot orsakar N-NNO-vindar relativt små förluster trots att dessa vindar är de kallaste. Trots de stora variationerna i temperaturförhållanden vid olika vindriktningar tycks förekomsten av olika vindriktningar och vindhastigheter ha störst betydelse för värmeförlusten. Detta sammanhänger dels med att vinden i regel är svag i samband med låga temperaturer dels med att temperaturen har ett markerat frekvensmaximum i intervallet -5° - $+5^{\circ}\text{C}$ (jfr tabell 1). Temperaturer $\leq -10^{\circ}\text{C}$ förekommer t ex endast under ca 5% av tiden under året.

Resultaten från det andra beräkningsfallet visar att orienteringen av byggnaden (2-vånings radhus med en fri gavel) inte har någon större betydelse för värmeförlusten pga självdragsventilation. En viss förhöjning kan dock konstateras vid orientering av gaveln mot riktningar omkring väst. Beräkningarna avser punkt ① (berget), som både är mest vindexponerat av punkterna ①-③ och mest likformigt exponerat för alla vindriktningar, figur 5.10.



FIGUR 5.10

Beräknad energiförlust (kWh/år) genom självdragsventilation. 2 vån. radhus med fri gavel mot väst vädersträck.

Lufttäteten hos radhuset har förutsatts vara mycket stor, varigenom läckflödesförlusterna absolut sett blir små ($\approx 2\ 000$ kWh/år). Dessa förluster blir ca 12% lägre på berget än på Tullinge flygplats till följd av terrängens och skogsvegetationens vindreducerande effekt. En svag minskning av transmissionsförlusten är också möjlig härigenom. Den totala värmeförlusten för radhuset uppskattas i nuläget bli 5-8% lägre i Södertuna-området än på Tullinge.

Vid exploatering av området kan förlusterna öka väsentligt om skogsvegetationen avverkas kraftigt. Vid kalavverkning uppskattas värmeförlusten kunna bli upp till 25-30% högre än på Tullinge.

Beräkningarna och uppskattningarna innehåller flera osäkerhetsfaktorer, bl a beträffande valet av formfaktorer samt inverkan av värmelagring. Vidare har ej de lokala temperaturvariationerna

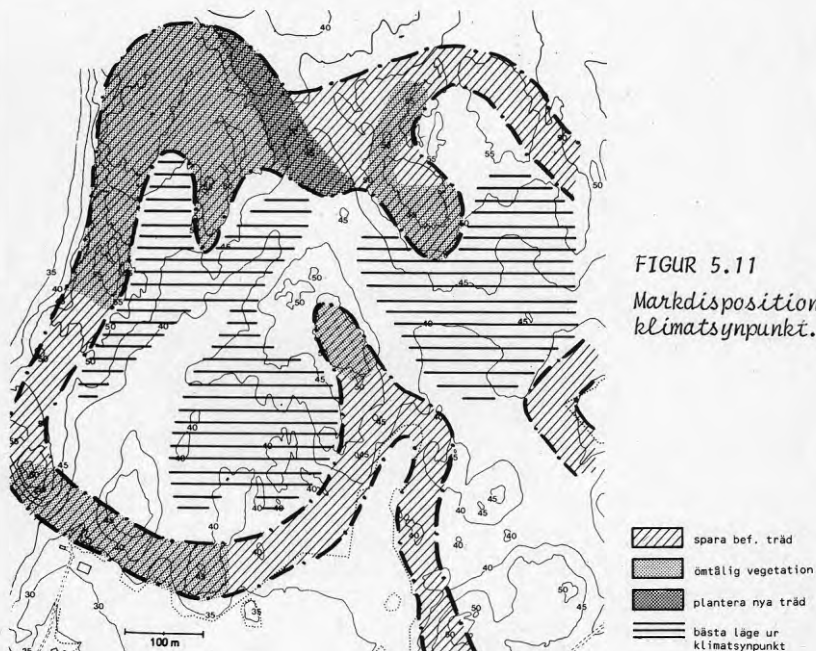
inom området kunnat beaktas i beräkningarna. Effekten av passivt solvärmetillskott har heller inte studerats. Trots detta tyder resultaten på att lokala variationer inom klimatet har praktisk betydelse för energibehovet och att detta kan påverkas avsevärt genom planeringen även i ett område av Södertunas karaktär.

5.4 Slutsatser

Blåsigheten i Södertuna är i nuläget relativt låg och har inte någon större betydelse för utemiljön. De mest vindskyddade partierna har samtidigt de lägsta temperaturerna i genomsnitt. Om de bebyggs ökar blåsigheten samtidigt som temperaturen höjs. Bebyggelse medför överallt temperaturhöjning men i lågpunkterna blir höjningen förhållandevis större. Exploatering där kommer därför sannolikt inte innebära nämnvärt ökad energiförbrukning.

Krönen är blåsiga men har gynnsammare temperaturförhållanden. Exploatering och avverkning på krönen skulle emellertid öka blåsigheten i hela området. Bebyggelse på krönen skulle där inte få nämnvärd temperaturhöjande effekt samtidigt som blåsigheten skulle inverka negativt på energiförbrukningen. Vindskydd är ur energisynpunkt mest motiverat mot vindar från NV och S-V.

Solfångare bör dimensioneras med hänsyn till stor andel diffus strålning. Orienteringen kan väljas relativt fritt mellan SO och SV. Med beaktande av solinstrålning i kombination med vindexponering är en byggnadsorientering med långsidor i riktning NV-SO troligen bäst. Gynnsammast ur energisynpunkt vore en tät och låg bebyggelse på sydsluttningarna där man tillgodogör sig solstrålningen och vindskydd från höjdpartierna. Vindskyddande skogsriåder bör bevaras, förstärkas eller nyskapas. De allra högsta punkterna bör man undvika att bebygga. Ur klimatsynpunkt lämplig områdesdisposition sammanfattas i figur 5.11.



FIGUR 5.11

Markdisposition ur klimatsynpunkt.

REFERENSER

- [1] Taesler, R.: Klimatdata för Sverige. BFR, Stockholm 1972.
- [2] Taesler, R. och Isfält, E.: Choice of Climatological Data for Testing of Computations of Energy Requirements in Buildings. KTH, Inst. för uppvärmning- och ventilations-teknik, 1978.
- [3] Ring, Olsson, Ljungqvist.: Ventilationsklimatologi. Undersökning av 'Pasquill-Turner' klasser. Intern PM SMHI, 1973.
- [4] Kvick, T. och Karlström, C.: Sammanställning av vindstatistik för projektet Vindenergiundersökning, Del I, SMHI, 1977.
- [5] Högström, A-S. och Högström, U.: A practical method for determining wind frequency distributions for the lowest 200 m from routine meteorological data. J. Appl. Met., 17. 1978.
- [6] Taesler, R.: Lokalmeteorologiska förhållanden i Västra Ångby, Knivsta. Rapport R110:1978, BFR, Stockholm.
- [7] Brunt, D.: Physical and dynamical meteorology. Cambridge Univ. press, London, 1941.
- [8] Oke, T.: Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale models and field observations. Journal of Climatology Vol. 1. 1981.
- [9] Taesler, R.: Urban meteorological studies in Uppsala. Meteorologiska institutionen, Uppsala universitet, 1981.
- [10] Oke, T.: Boundary Layer Climates. Methuen & Co Ltd. London, 1978.
- [11] Campbell, G.S.: An Introduction to Environmental Biophysics Springer-Verlag, New York Inc. 1977.
- [12] Kursis, J., Mattsson, J.O., Glaumann, M. och Wirén, B.: Vindförhållanden i ett höghusområde. Rapport R91:1982. BFR, Stockholm.
- [13] Blessman, J.: Wind Effects on Buildings and Structures. Proc. Int. Conf. on 'Wind Effects on Buildings and Structures', Tokyo 1971. pp. 317-326.
- [14] Jackson, P.S.: The Evaluation of Windy Environments. Building and Environment, Vol. 13. pp. 251-260. Pergamon Press Ltd. 1978.
- [15] Glaumann, M.: Wind environment in Housing Areas in Sweden. Proc. Symp. 'Building Climatology', Sept. 20-24, 1982. Part II, pp. 456-469.
- [16] Peterson, F.: Värmebehovsberäkningar, kompendium I:1, Inst. för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH, Stockholm.

- [17] Elmroth, A. och Höglund, I.: Analys av ofrivillig ventilation i småhus. VVS nr 2, 1970.
- [18] Nylund, P.O.: Thyvdrag och ventilation. Byggforskningens T-skrift T4:1979, BFR, Stockholm, 1979.
- [19] Sinden, F.W.: Wind, temperature and natural ventilation - theoretical considerations. Energy and Buildings, Vol. 1. No 3, pp. 275-280, Elsevier, Lausanne, 1978.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 811444-8
från Statens råd för byggnadsforskning till Södertälje
kommun, Södertälje.**

R12: 1985

ISBN 91-540-4326-3

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6705012

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirka pris: 40 kr exkl moms