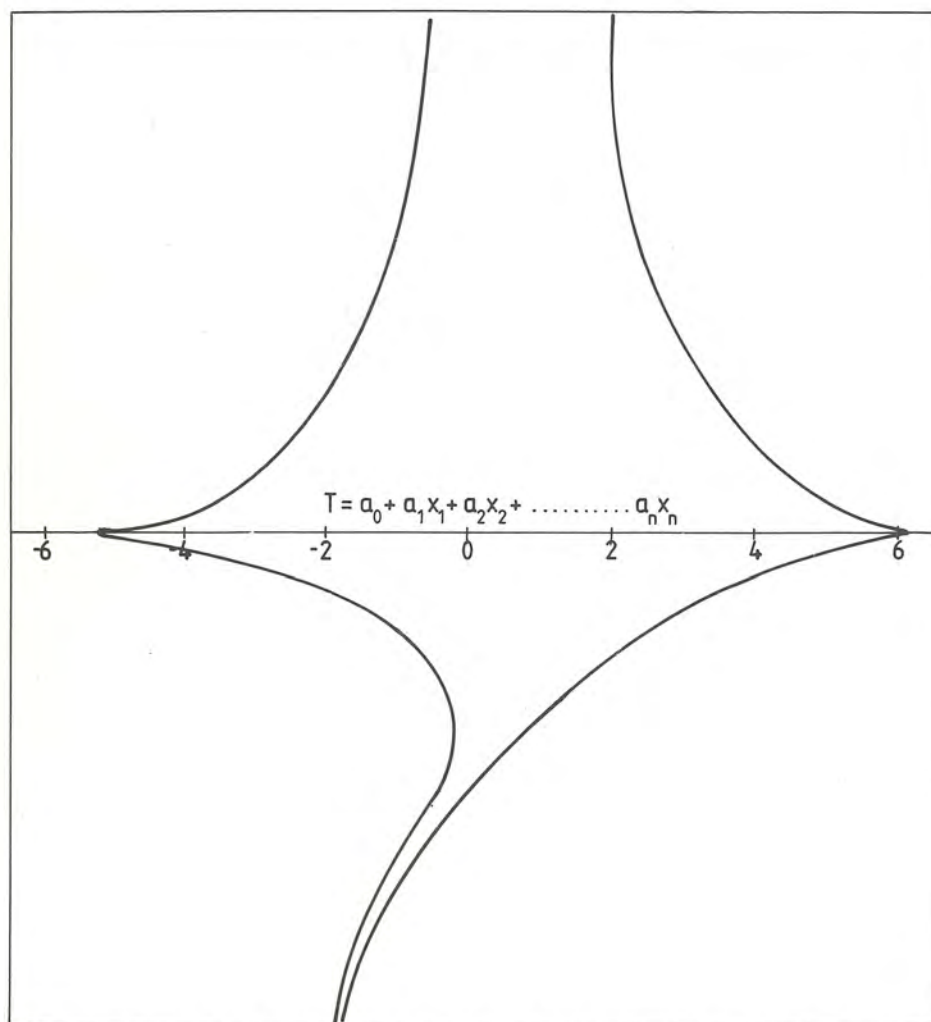




STATISTISK PROGNOSES AV YTTEMPERATUR

STATISTISK PROGNOSES AV YTTEMPERATUR

Håkan Hultberg

Y T T E M P E R A T U R

En enkel statistisk prognosmetod.

Inledning

En effektiv planering av halkbekämpning på t ex en flygplats eller en vägbana är prognos av yttemperatur av största betydelse. I Sverige finns för närvarande ingen metod för yttemperaturprognos i operationell drift.

En teoretiskt komplicerad modell, utvecklad av Smedman-Högström har visat sig svår att använda bl a på grund av svårigheter att prognosera fuktighet. Inget arbete pågår för att sätta modellen i drift.

Mätningar av yttemperatur utförs dock på en del håll (t ex på vägar). Trenden, som erhålles genom att jämföra konsekutiva mätningar, kan i vissa fall ge en uppfattning om den närmaste utvecklingen (närmaste timmen).

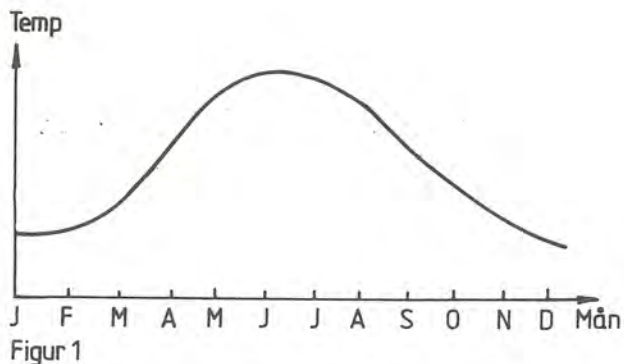
Temperaturmätningar med IR-termometer (IR = Infra Röd) vid Bromma flygplats i mitten av 1970-talet, visar ett tydligt samband mellan yttemperaturen, lufttemperaturen och molnigheten.

Brommamätningarna födde idén om försök med utveckling av statistiska prognoser för markytan. För detta ändamål utfördes mätningar vid Arlanda flygplats under tiden dec 1983 t o m mars 1984. Dessa mätningar ligger till grund för den enkla prognosmodell som skall beskrivas i denna rapport.

Problemställning

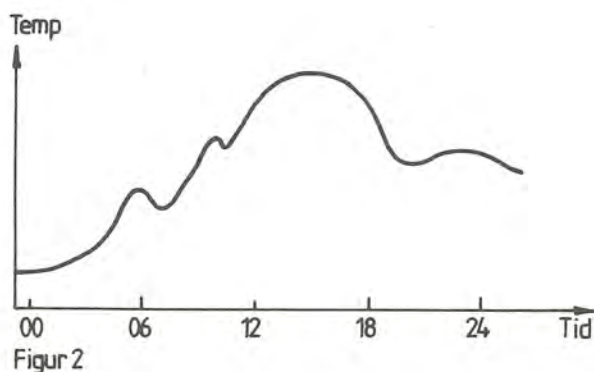
Prognos av yttemperatur är ett mycket komplext problem.

Först kan konstateras att temperaturen vid ytan har en årsvariation. (Fig 1.)

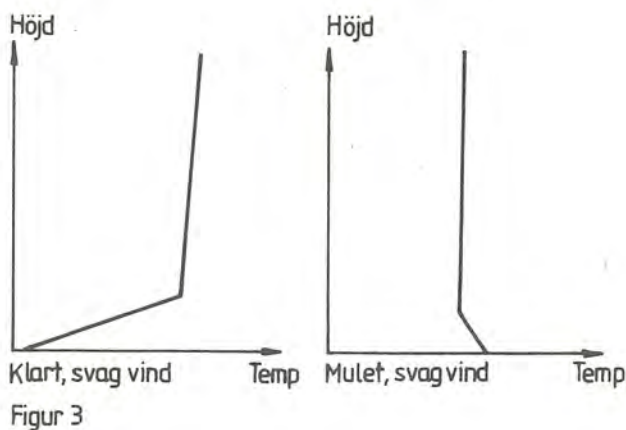


Överlagrad på årsvariationen finns en dygnsvariation. På dygnsvariationen finns dessutom störningar av typen:

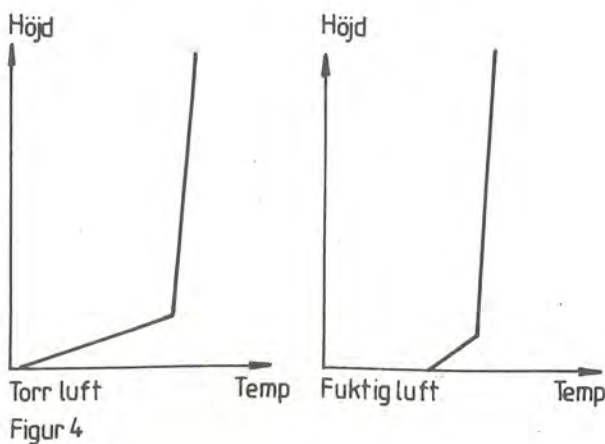
- Varmluftsadvektion
- Kallluftsadvektion
- Molnighetsförändringar etc. (Fig 2.)



Brommamätningarna visade ett starkt beroende av molnigheten. (Se bil 1.) Med utgångspunkt från dessa kan man förvänta sig att yttemperaturen uppför sig enligt vidstående figur. (3.) (Gäller nattetid.)



Fuktigheten reducerar utstrålningen nattetid och påverkar därmed yttemperaturen. (Fig 4.)



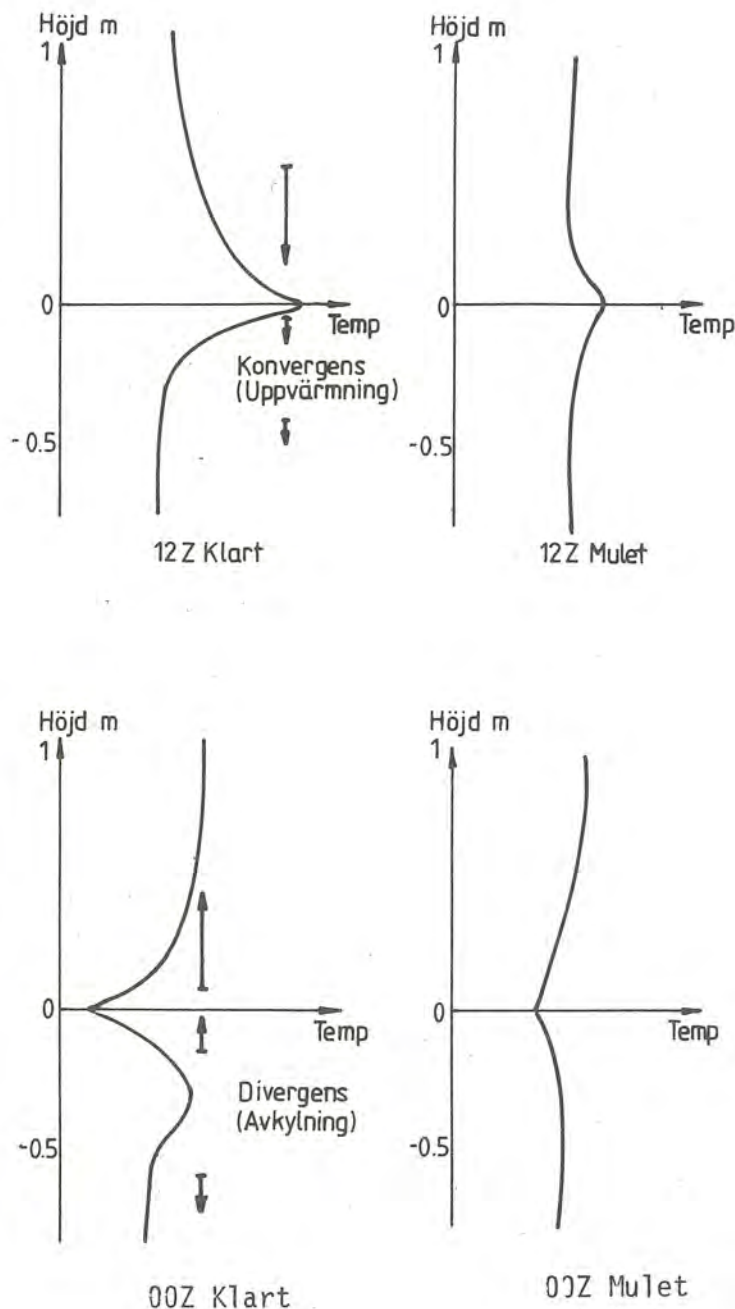
Förhållanden under ytan.

Ca en halv meter under ytan finns visserligen en årsvariation i temperaturen men den dagliga variationen är försumbar. Temperaturvågen nära ytan har däremot en betydande amplitud. Bantans uppbyggnad har också stor betydelse. Värmeledningsförmågan skiljer sig ofta betydligt mellan olika material. Om materialet närmast ytan har låg värmeledningsförmåga medför det:

- Hög maxtemp
- Låg mintemp

Motsatsen gäller för material med hög värmeledningsförmåga.

I figur 5 är värmeflödet markerat med vektorer.



Figur 5.

Värmetransport underifrån är förklaringen till att man ofta kan konstatera högre temperatur vid ytan än lufttemperaturen i burnivå under strålningsnätter. Även ytans beskaffenhet (asfalt, betong, grus), liksom dess tillstånd (torr, fuktig, våt, snötäckt, belagd med rimfrost) har betydelse för temperaturen.

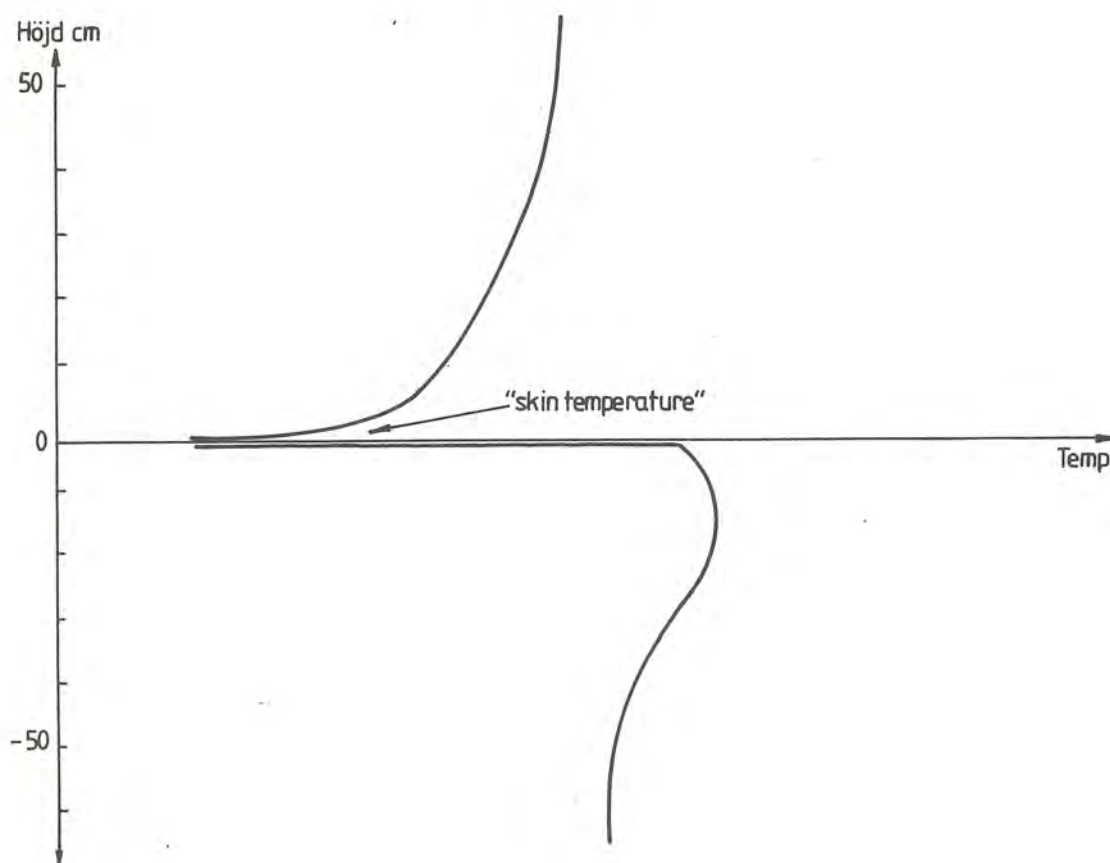
Exempel på albedo och emissivitet ges i tabell 1. För åskådliggöra den effektiva utstrålningen nattetid för olika ytor har strålningsbalansen vid ytan uträknats för : Ytemperatur: 0°C . Lufttemperatur $+5^{\circ}\text{C}$ (bur) samt vattenångans partialtryck 5 mb.

	ALBEDO	Emissivitet	Effektiv utstrålning W/m^2 . Ex enligt ovan
Asfalt	0,02-0,15	0,98	60
Betong	0,2-0,4	0,95	51
Grus	0,1-0,3	0,92	42
Rimfrost	0,95	0,99	64
Vatten	0,05-0,1	0,96	54

Tabell 1.

Lufttemperaturen avtar från burnivå till markytan under strålningsnätter. Den lägsta temperaturen återfinns i ett mycket tunnt skikt närmast ytan. Man talar ofta om "skin temperature". Gradienterna på båda sidor om ytan är i allmänhet extremt stora. En mätkropp som är placerad 1 cm under ytan mäter således inte ytemperaturen. Denna placering är vanlig på vägar och flygplatser. Fjärrmätningar med IR-utrustning borde ge ett bättre värde på ytans temperatur. Några av vägverkets mätstationer har IR-mätningar och dessa ger ett rimligt värde på ytemperaturen, men även här föreligger felkällor i mätningarna.

Figur 6 visar hur temperaturen kan variera med höjden nattetid vid klart väder och med svag vind. Det är tydligt att yttemperaturen är svår att definiera. Följdfrågan måste då bli: Hur skall man då kunna prognosera den? Det är svårt att ge något svar. Fjärrmätningarna förefaller dock ligga närmast verkligheten.



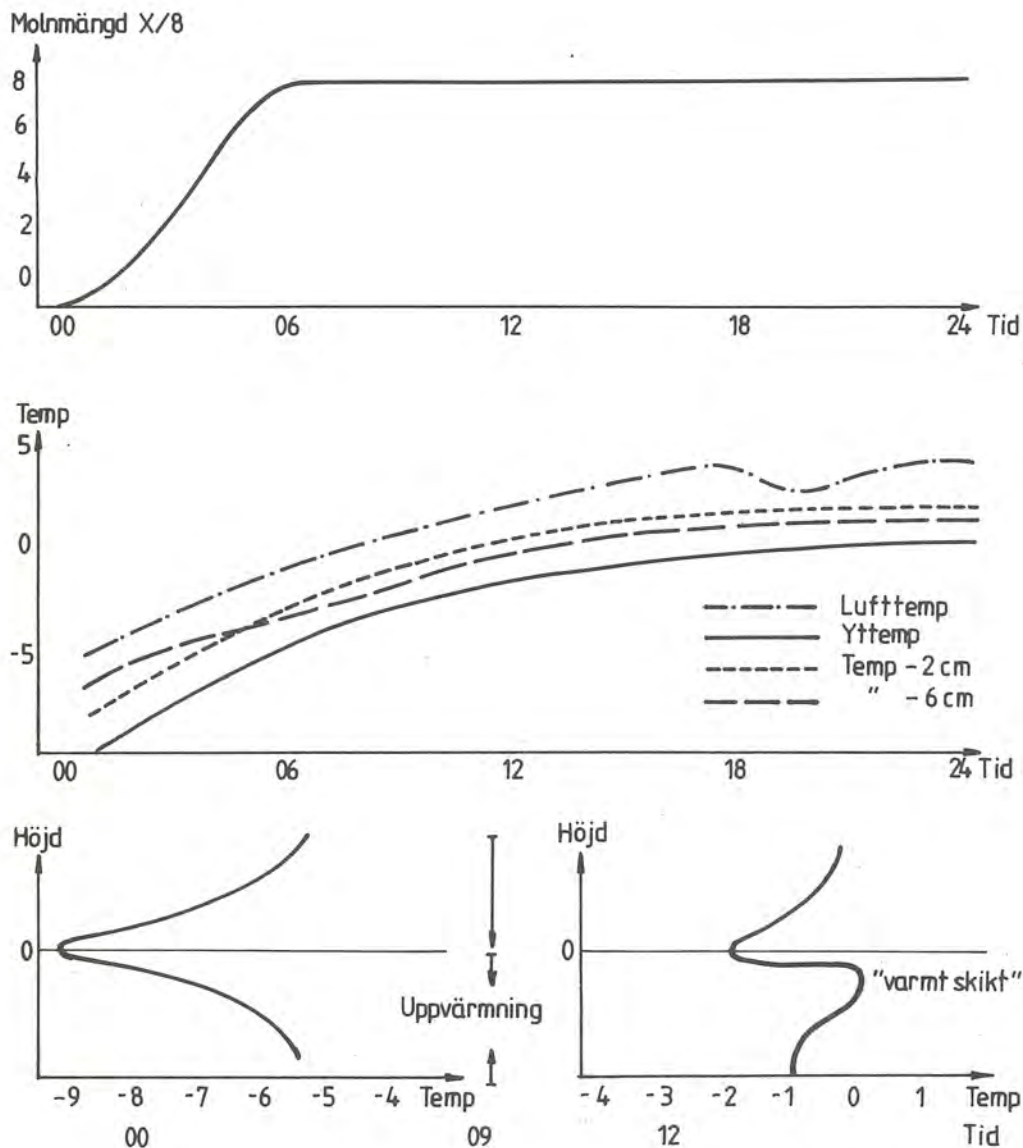
Figur 6

Ytterligare faktorer som är av betydelse för yttemperaturen.

- Vinden skapar turbulens och ombesörjer omblandning i lägsta skikt. Det innebär att inversionens mäktighet nattetid blir mindre.
- Intensiv trafik på en väg (eller på en flygplats) skapar turbulens och bidrar till att inversionen inte ostört kan utvecklas.
- Latent värme frigörs/åtgår vid kondensation eller avdunstning.
- Extremvärdena för yttemperaturen är oftast tidsförskjutna jämfört med lufttemperaturen.

Exempel från mätningar av ytemperatur

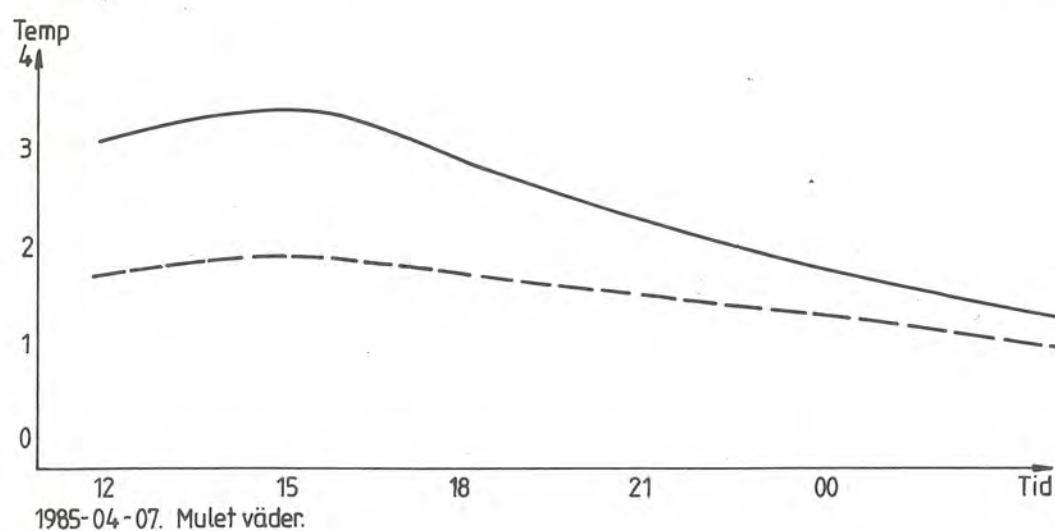
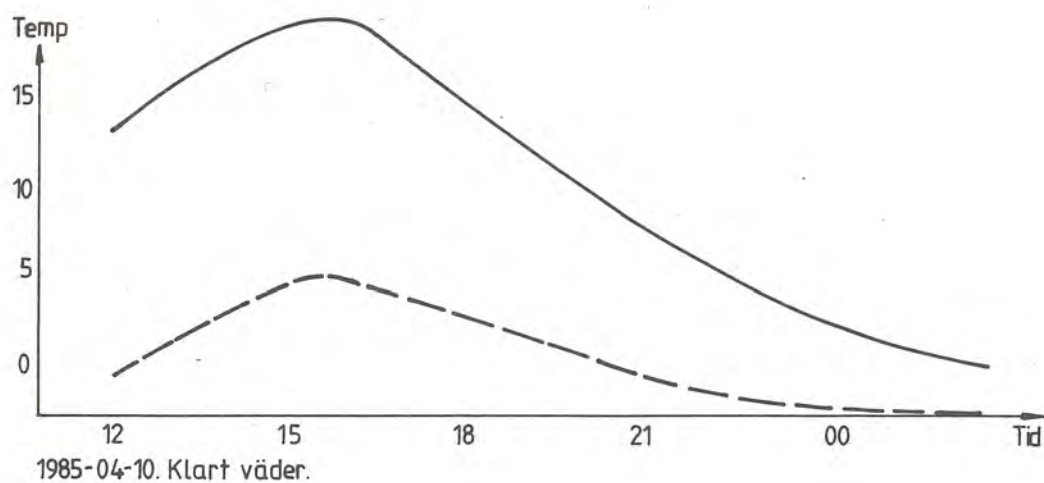
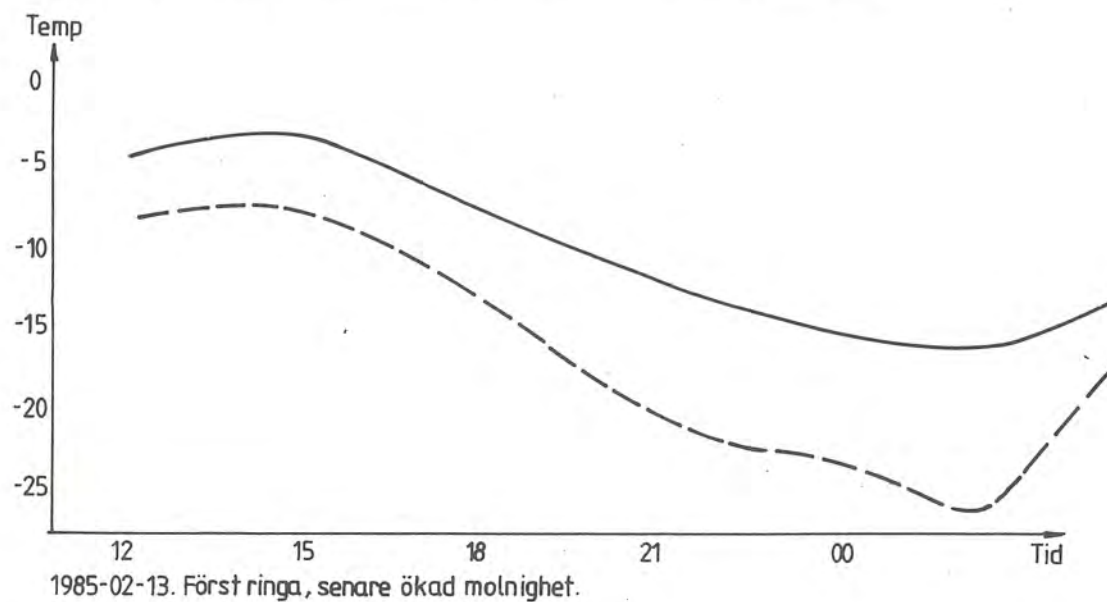
Arlanda 8/12 1983



Figur 7.

Mängden stratusmoln ökar från midnatt. På morgonen rapporteras mullet och molnbas cirka 200 meter. Lufttemperaturen börjar stiga redan vid midnatt, ytemperaturen cirka klockan 02. Temperaturerna på olika nivåer under ytan skär varandra medan ytemperaturen (läs -1 cm temperaturen) fortfarande är lägst. Det beror på konvergens i värme flödena strax under ytan.

Vägverkets mätstation i Södermanland. Station Lillsjö E4.



Figur 8.

----- Lufttemperatur ——— Yttemperatur

Sammanfattning

Antalet faktorer som påverkar temperaturen vid ytan är stort. Dessutom är det svårt att definiera den verkliga yttemperaturen.

Följande faktorer kan dock anses vara av största betydelse för prognosproblemet:

- Molnmängd.
- Vind.
- Fuktighet.
- Strålningsförhållanden.
- Banans beskaffenhet. Prognoser måste "skraddarsys" för varje ort.
- Tröghet, yttemperaturen reagerar långsammare än lufttemperaturen.
- Förhållanden under ytan.

Alla faktorer som har nämnts samt exemplen visar att prognosproblemet är mycket komplext. En enkel statistisk modell kan inte i detalj fånga alla variationer i yttemperaturen. En statistisk modell borde dock kunna ge en grov men förhoppningsvis användbar metod att förutsäga yttemperaturen för t ex 6 timmar framåt.

Kortfattad modellbeskrivning.

1. Grundmodellen.

Modellen bygger på förhållandet att ett samband (komplext) måste existera mellan temperatur i burnivå och i markytan. Det innebär att ett regressions samband mellan lufttemperatur och yttemperatur kan bestämmas.

Minimitemperatur i burnivå beräknas med samma metod som användes i daglig rutin på vädertjänsten. Med observerad maxtemp samt beräknad mintemp givna kan timvärden av lufttemperaturen beräknas. Dessa timvärden översättes sedan till yttemperatur enligt ekvationen:

$$T_{yta} = 0.58 * T(luft) + 0.19 * Moln - 0.006 * Bas - 4.13$$

$T(yta)$ är timvärde av ytans temperatur

$T(luft)$ är timvärde av lufttemperatur

$Moln$ är total molnmängd

Bas är molnbas (här i fot/100)

2. Korrektioner, filtrering

I den slutliga ekvationen ingår även korrektionstermer. Regressions-ekvationen får då följande utseende:

$$T(yta) = 0.58 * T(luft) + 0.19 * Moln - 0.006 * Bas - 4.13 + Korr1 + Korr2 + Korr3$$

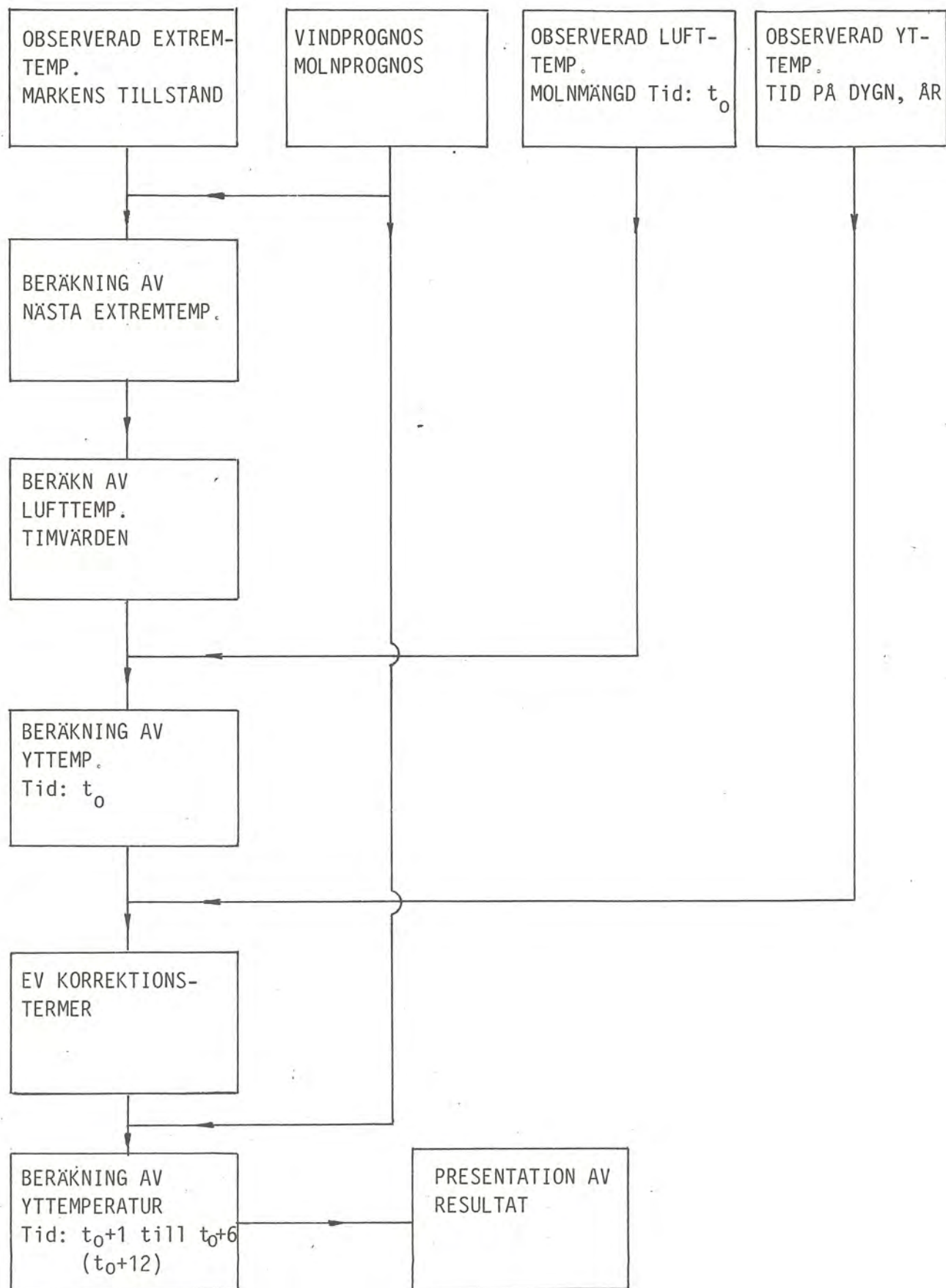
$Korr1$. Korrektion för instrålning (kortvågig strålning)

Termen $korr1 = 0.0$ midvintertid (dec, jan) samt övriga årstider efter solnedgången. Denna korrektion bygger på nettostrålningsmätningar utförda jämte mätningarna av yttemperatur på Arlanda. Termen beror av dagnummer och molnighet samt erhåller olika värde för varje tidssteg från prognosstart till solnedgång (enl empiriska formler).

Termerna $Korr2$ och $Korr3$. Korrektionstermer på grund av "nollställning". Prognosberäkning utförs vid tidpunkt för senaste observation. Prognosvärdet "nollställs" mot det observerade värdet på yttemperaturen. På detta sätt kan man anse att korrektion har införts även för förhållandena under markytan.

Filtreringar. Vissa förändringar i molnmängd eller molnbas är oväsentliga för resultatet och måste filtreras bort. Som exempel på detta kan nämnas:

- Molnmängden ökar från 1 till 3/8.
- Molnbasen förändras vid ringa molnighet.



Figur 9. Modellens arbetssätt, principskiss.

Resultat.

Modellen har testats på oberoende mätningar utförda vid F13 i Norrköping (dec 1984 t o m mars 1985). Testperioden var extremt kall. Lufttemperaturer emllan 10 och 20 minusgrader rapporterades ofta. Endast ett fåtal tillfällen innehöll temperaturer i mer intressanta intervall. Dessutom förekom ofta snöfall vilket reducerade antalet möjliga testtillfällen väsentligt (42 st).

Följande kriterier har ansatts för "godkänd" prognos:

Maximal avvikelse prognos-observation ± 2 grader.

Passage av 0°C ± 2 timmar.

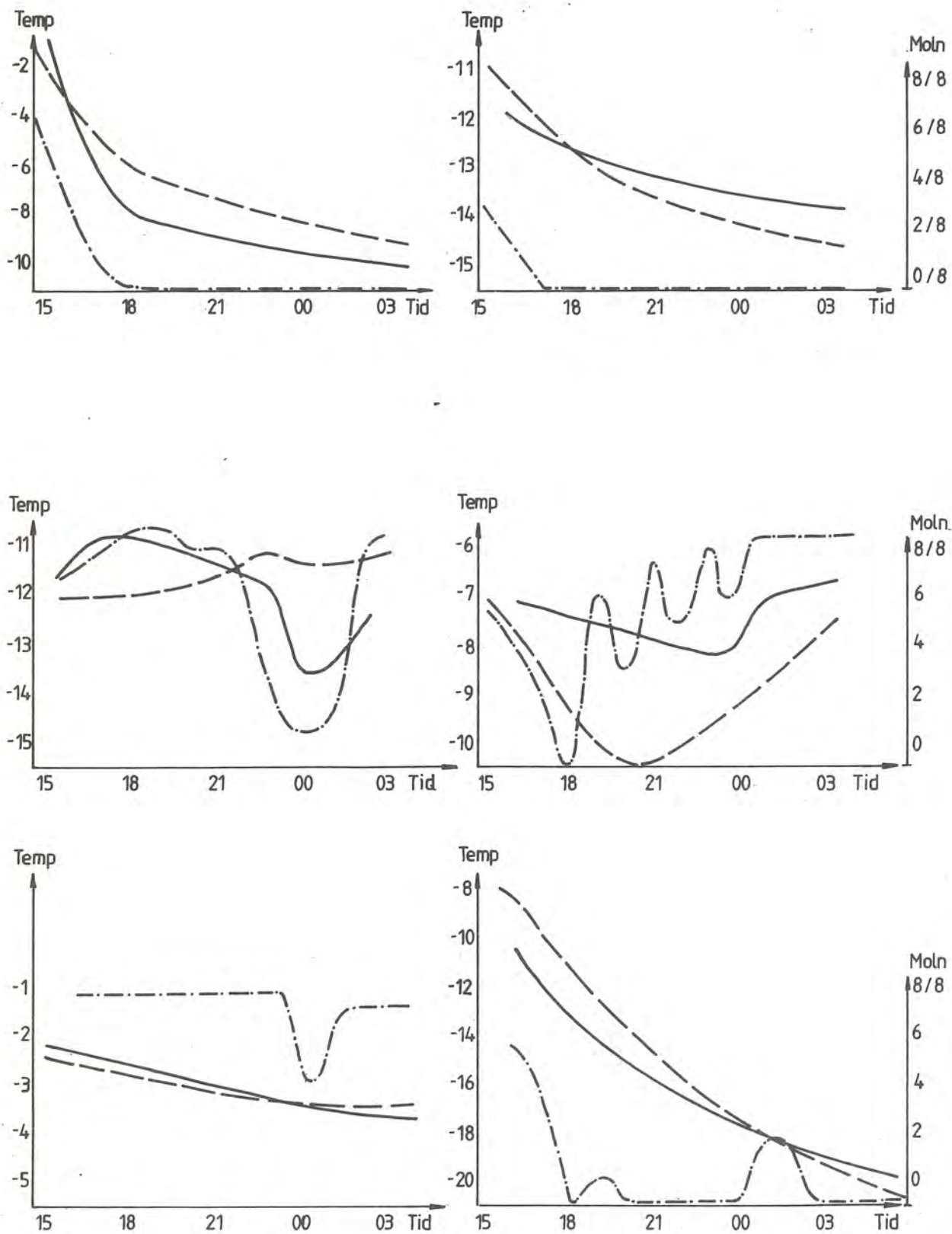
Resultat presenteras i tabell 2.

	Prognoslängd		
	12 timmar	9 timmar	6 timmar
Fel $< \pm 2^{\circ}$	55%	67%	86%
0°C $< \pm 2$ timmar	60%	--	100% *
3 tim trend. Rätt tecken	83%		
3-tim tend. Fel $< \pm 1^{\circ}$	78%		
3-tim trend. Rätt tecken samt fel $< \pm 1^{\circ}$	64% **		

* Endast 2 fall

** Observerad trend $+0.1^{\circ}$ och prognoserad -0.1° ger fel.

I figur 10. visas några plottade resultat av några slumpvis utvalda prognoskörningar. Ytterligare resultat visas i bilaga 2.



Figur 10. — Prognos
 --- Observation
 -.- Molnmängd

Utveckling och försöksdrift.

Som framgått tidigare har modellen testats på mycket få vädersituationer med intressanta temperaturintervall. Under vintern och våren 1985/1986 skall ett stort antal prognoser köras, dels mot mätningar från F13, dels mot vägverkets mätningar. Det bör ge en klar bild om modellens användbarhet, dess svagheter och därmed vad som måste förbättras.

Modellen kan för närvarande endast användas från kl 13 till tidpunkten för mintemp, d v s i allmänhet omkring 06Z. Ett mindre programmeringsarbete återstår för att få modellen dygnstäckande.

Prognosen skall kunna uppdateras när som helst på dygnet. Detta kan föranledas av att:

- Prognosen avviker för mycket från observationer
- Ny prognos av molnighet och/eller vind föreligger.

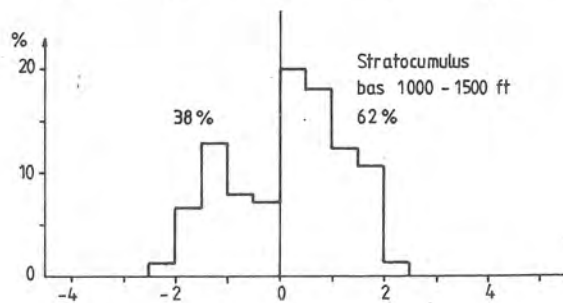
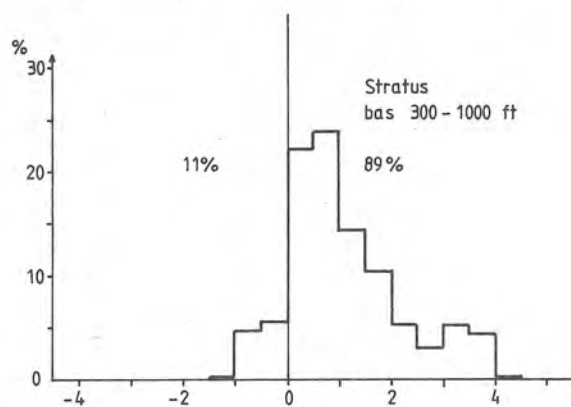
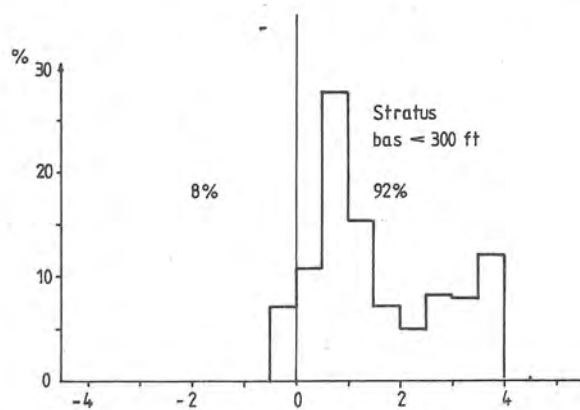
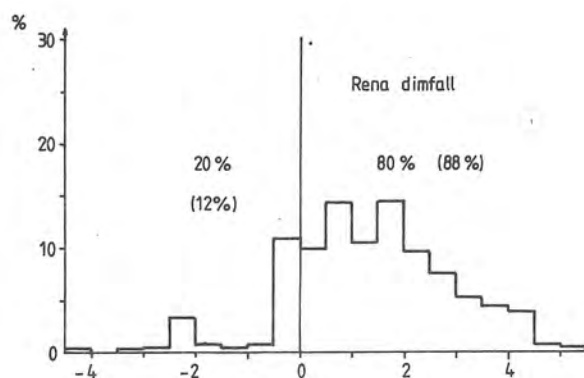
Prognoslängden bör i allmänhet vara 6 timmar. I väderlägen med enhetlig molnighet kan även en 12-timmars prognos vara av värde.

En försöksdrift är planerad under vinterhalvåret 1986/1987 på flygplats.

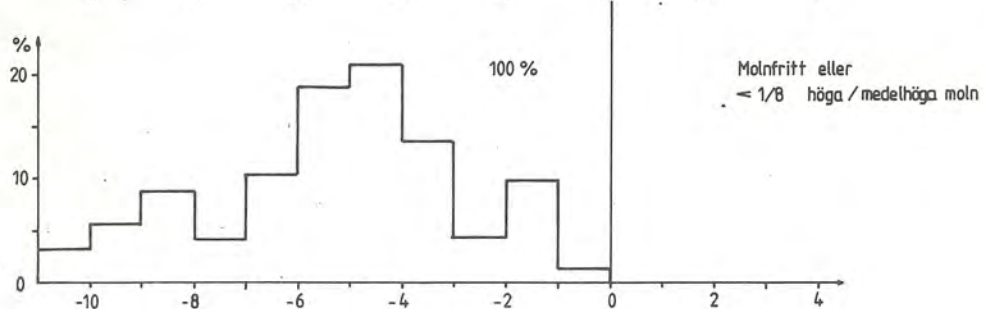
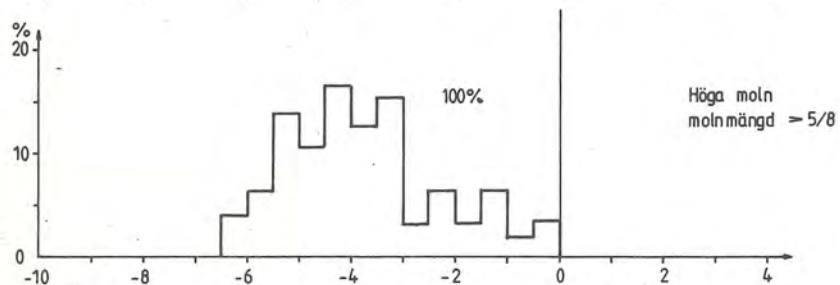
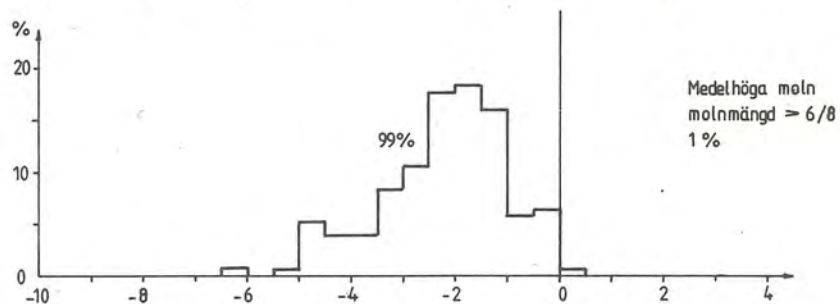
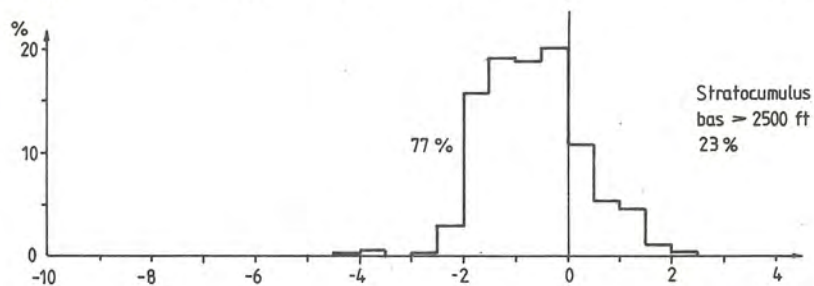
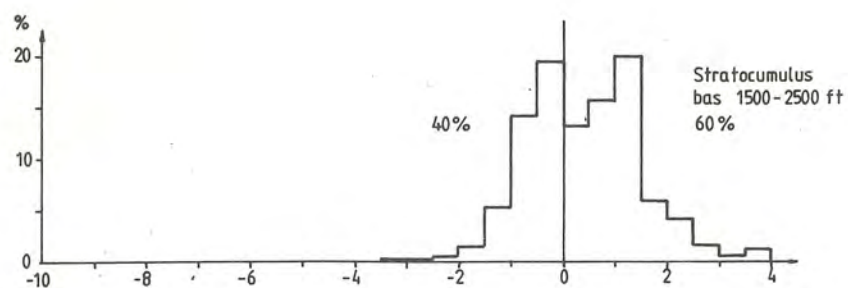
Även vägverket i Östergötland är intresserad av någon form av försök med prognoser för några av de platser där mätstationer finns.

Prognosmodellen förbereds för närvarande för rutinmässig drift.

Bilaga 1.



Procentuell fördelning
Lufttemperatur-Ytemperatur



Bilaga 2.

Prognos av yttemperatur

Aktuellt väder:	4/1 1985	14/2 1985	18/2 1985	9/3 1985	15/3 1985
Lufttemperatur	-11,6	-13,8	-15,1	-2,1	2,5
Yttemperatur	- 8,0	- 8,6	-10,3	0,0	-0,1
Molnmängd	1	3	0	8	8
Molnbas (fot)	1000	2000		2300	3300
Mark tillstånd	Snötäckt	Snötäckt	Snötäckt	Snötäckt	Snötäckt

PROGNOS

Tid (normaltid)	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	00	01
4/1 Molnmängd	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4/1 Molnbas												
4/1 Yttemp	- 9,7	-10,2	-10,4	-10,5	-10,8	-10,9	-11,0	-11,1	-11,2	-11,3	-11,4	-11,5
4/1 Yttemp obs	- 9,1	- 9,8	-10,2	-10,5	-10,7	-11,1	-11,2	-11,3	-11,5	-11,7	-11,8	-11,9
14/2 Molnmängd	3	4	2	1	0	0						
14/2 Molnbas	2000	2000	2000	2000								
14/2 Yttemp	- 9,1	- 9,2	- 9,6	-11,9	-12,8	-13,6						
14/2 Yttemp obs	- 8,0	- 8,3	- 9,0	-10,4	-12,0	-13,0						
18/2 Molnmängd	0	0	0	0	0	0						
18/2 Molnbas												
18/2 Yttemp	- 9,4	- 9,7	-10,2	-11,2	-12,0	-12,9						
18/2 Yttemp obs	- 9,4	- 9,3	-10,0	-10,4	-11,0	-12,0						
9/3 Molnmängd	8	8	8	7	7	7	8	8	8	7	8	8
9/3 Molnbas	1500	2300	2100	2100	2300	2000	1800	1800	1800	1600	1500	1500
9/3 Yttemp	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,3	-0,3	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,6
9/3 Yttemp obs	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,4	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,5

Tid (normaltid)	14	15	16	17	18	19
15/3 Molnmängd	7	7	6	6	4	3
15/3 Molnbas	4000	3300	3300	3300	5000	5000
15/3 Yttemp	0,9	1,8	1,9	1,1	-0,8	-1,9
15/3 Yttemp obs	0,0	0,7	0,8	0,5	0,1	-0,1





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