

STUDIER AV TEMPERATURINVERSIONER OCH
VERTIKAL VINDSKJUVNING VID SUNDSVALL/
HÄRNÖSANDS FLYGPLATS

Temperature inversions and vertical wind
shear at the aerodrome of Sundsvall/
Härnösand

av Dick Jansson

SMHI Rapporter

METEOROLOGI OCH KLIMATOLOGI
Nr RMK 21 (1980)

SMHI

Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut

STUDIER AV TEMPERATURINVERSIONER OCH
VERTIKAL VINDSKJUVNING VID SUNDSVALL/
HÄRNÖSANDS FLYGPLATS

Temperature inversions and vertical wind
shear at the aerodrome of Sundsvall/
Härnösand

av Dick Jansson

SMHI Rapporter

METEOROLOGI OCH KLIMATOLOGI

Nr RMK 21 (1980)

ISSN 0347-2116

SVERIGES METEOROLOGISKA OCH HYDROLOGISKA INSTITUT

Norrköping 1980

SMHI:s Tryckeri, 1980

SUMMARY

Windshear is the local variation of the wind vector. Shear may be produced by different meteorological causes, such as fronts, low-level jets, mountain waves etc.

Vertical windshear together with marked ground inversion may in unhappy situations be the determining factor to an aircraft accident.

This paper is treating one method of measuring the shear and the temperature gradient by using data from a height, 350 feet above the aerodrome level.

Some situations with SODAR-measurements are also discussed.

The problems with shear in connection with aircraft take-off and landing are also treated in this report.

STUDIER AV TEMPERATURINVERSIONER OCH VERTIKAL VINDSKJUVNING VID SUNDSVALL/HÄRNÖSANDS FLYGPLATS.

Bakgrund och introduktion

Temperaturinversioner och vindskjuvning i atmosfärens marksikt har under senare år alltmer uppmärksamats som viktiga meteorologiska parametrar, framför allt inom luftvårdsmeteorologi samt ur flygsäkerhetssynpunkt. Vindskjuvningen på låg höjd orsakas av horisontella och/eller vertikala variationer av medelvinden samt turbulensen. Majoriteten av situationer med vindskjuvning uppträder i sk stabila väderlägen, ofta i anslutning till inversioner. Problemen kring detta har föranlett omfattande studier och undersökningar i ett flertal stater. För Sveriges del har det bl a i Sundsvall utförts mätningar i lägre nivåer. Inför dessa försök hade Luftfartsverket låtit upprätta en mätstation på Lastlavaberget, ca 2 km sydväst om Sundsvall/Härnösands flygplats, se fig 1. Denna mätpunkt ger kontinuerlig information om vind- och temperaturförhållandena i en nivå, motsvarande 117 m över flygplatsen. I Luftfartsverkets regi har också två mätperioder med SODAR kunnat genomföras och de utfördes under vinter-vår-månaderna 1977 och 1978.

Flygplatsen är belägen på en ö i Indalsälvens mynning. Höjd över havet är 3,6 m, se fig 1. Älven bildar en dalgång orienterad i NW/SE-lig riktning. De topografiska förhållandena är bl a en av orsakerna till att det under vintertid mycket lätt bildas och bibehålles temperaturinversioner på låg höjd. Detta tillsammans med speciella vindförhållanden, också genererade av topografin, förorsakar ibland vissa svårigheter vid in- och utflygning.

Ett av syftena med försöken i Sundsvall var att belysa den praktiska användningen av SODAR i meteorologisk observations- och prognostjänst. Ett annat var att försöka utvärdera erhållen information om vindfältet i lägre nivåer med hjälp av Doppler-sodar-teknik. Denna teknik kunde nyttjas våren -78, då två SODAR-utrustningar användes. - Den ena sodarn normalt vertikalt och den andra snedställd ca 57° ungefär 150 m från den första. På detta sätt är det möjligt att erhålla information om den vertikala vindkomponenten direkt ovan sodarutrustningen. Den vertikala vindhastigheten w , erhålles apporoximativt genom:

$$w = \frac{c}{2} \left(\frac{f_o}{f_s} - 1 \right) \quad \text{där:} \quad \begin{array}{ll} c & = \text{ljudhastigheten} \\ f_o & = \text{utsänd sodarfrekvens} \\ f_s & = \text{frekvensen av den spridda signalen.} \end{array}$$

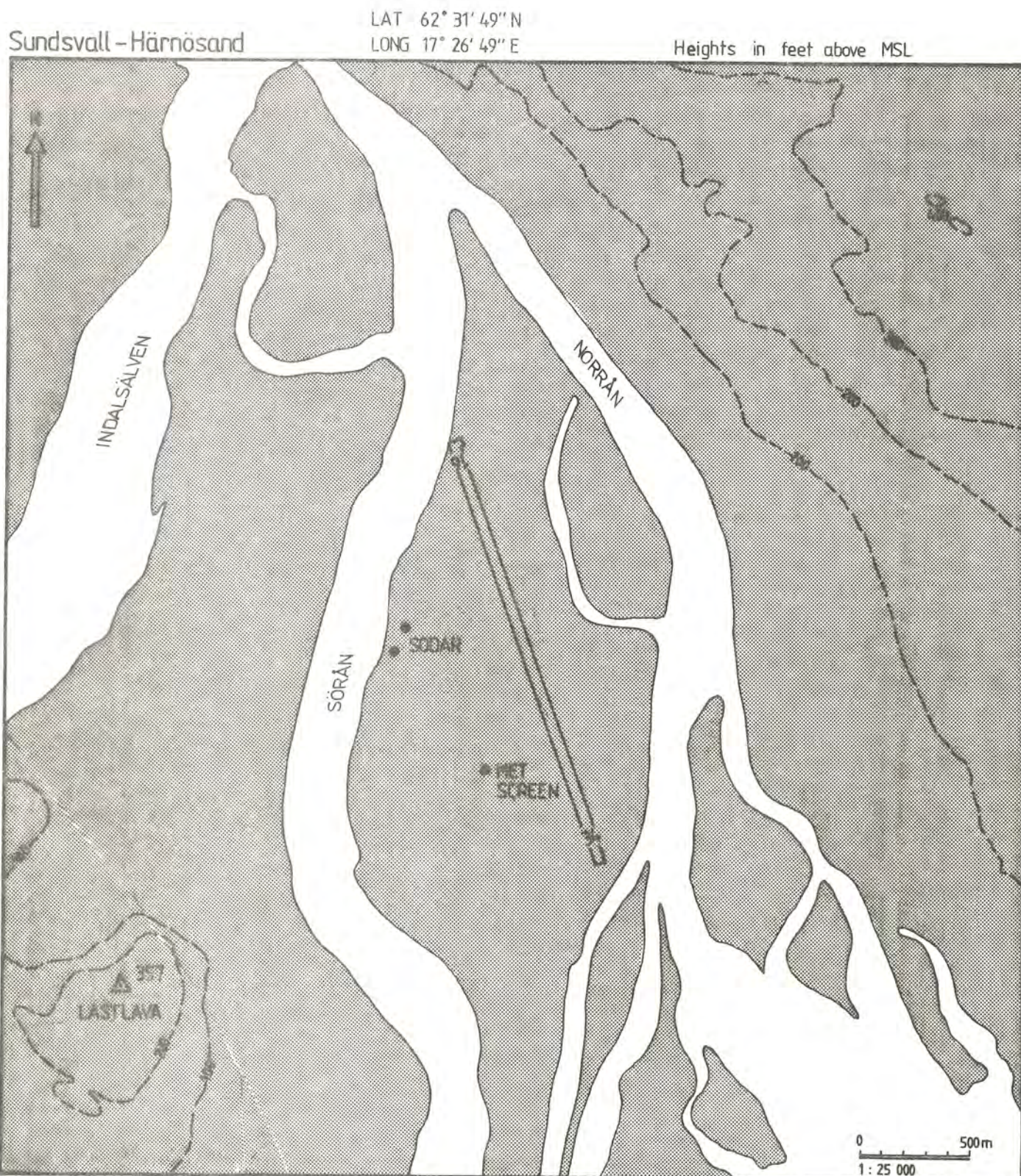


Fig 1. Sundsvall/Härnösand's aerodrome and its surroundings, showing the location of the Lastlava tower, SODAR and the met screen.

Sundsvall/Härnösands flygplats med dess omgivning, figuren visar läget på Lastlava masten, SODAR samt met buren.

Parallellt med dessa studier jämfördes data från den fasta masten på Lastlavaberget med data från trådsondering med fjättrad ballong. Syftet med detta var att utvärdera om erhållna mastdata kan anses vara representativa för lufthavet direkt ovan flygplatsen. En allmän diskussion om problematiken kring mastmätningar blev också en följd av dessa mätningar, se sid 12.

Modifiering av radar och beräkningshjälpmedel

För att erhålla detaljerade vinddata från markskiktet utnyttjades befintlig väderradar Selenia Meteor 200. Genom modifiering av mottagarenheten möjliggöres låsning och automatisk följning av markbundet mål redan mycket nära antennen. Automatisk registrering av radar-data kan under visering erhållas fortlöpande eller t ex som i vårt fall för var 15:e sekund. Då beräkningar av vinddata tyvärr ej kunde erhållas genom SMHI:s UNIVAC 1100 har FS/H beräknat dessa på programmerbar minikalkylator HP-67 med hjälp av lokalt framtaget program. Program har också gjorts för höjdberäkningar och vektorskillnader i två eller tre dimensioner.

Mätmetoder

På Lastlavabergets mast finns givare för temperatur- och vinddata, i en nivå motsvarande 117 m över flygplatsen, vilka överföres till flygplatsen på tråd och sedan registreras hos vakthavande meteorolog och observatör.

Temperatur- och vinddata från masten samt motsvarande data från fältets termometerbur och vindgivare, bana 34, har var 30:e minut fortlöpande införts på speciell blankett under vinterhalvåret.

Temperaturuppgifter från ordinarie radiosonderingar 00z och 12z vid aerologiska stationen, Sundsvall-Härnösand har studerats. Vid intressanta situationer har trådsonderingar med fjättrad radiosondballong och med Vaisäläs sond RS 18 genomförts, då de personella resurserna så medgivit. Temperaturen har därvid oftast beräknats för var 20:e meter upp till 200-400 meters höjd. För varje mätnivå har radiosondens givare stabiliserats samtidigt som linlängd uppmättes samt höjdinkel bestämdes med teodolit. Sondens signaler registrerades manuellt samt beräknades enligt ordinarie sonderingsrutiner. Vid höjdberäkningar har hänsyn tagits till linans slackning. Även några jämförande mätningar mellan Lastlava mastens temperaturgivare och ballongmätning med digitaltermometer SMHI K 774 med platinagivare, gjordes.

Vid vindberäkningar med väderradar har stansade radar-data erhållits för var 15:e sekund och genom att av-

stämman målets stighastighet till cirka 120/m minuten erhålles på så vis medelvindar för skikt om cirka 30 meter.

Inversionsstatistik

I fig 2 framgår frekvensen av markinversioner vid Sundsvall/Härnösands flygplats. Den undersökta perioden är okt - mars 1972-1978. Data har tagits från ordinarie sonderingstillfällen 00z resp 12z. Väisäläs sond RS 18 har använts.

Medelhöjden till inversionstoppen för $\gamma \leq -3.00$

($\gamma = -\frac{\partial T}{\partial Z}$, d v s vertikala temperaturantagandet i $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) uppgick för 00-sonderingarna till 196 m, motsvarande för 12z var 194 m.

Denna statistik ger en klar bild av att frekvensen av markinversionen är relativt hög vid flygplatsen under vinterhalvåret. Den visar att vid midnattsonderingen är det inversionstillfällen i medeltal mellan 50 och 60% av tiden.

Jämförelse mellan vindar från mast och ballongmätningar

Vinden från masten erhålles på en höjd av 117 meter över flygplatsen. Vid ballongmätningar erhålles medelvindar i olika skikt som i allmänhet omfattar ca 30 meter. Jämförelsen har således gjorts mellan en medelvind över 2 minuter (mast) och en medelvind inom ett 30 meters skikt som omfattar mastens övre del, mer om detta längre fram, jfr fig 3. 39 mätningar har gjorts under en tre års period, 1977-1979, med de flesta under vintermånaderna jan-feb-mars, se tabell 1.

Tabell 1 Jämförelse mellan vindmätningar från ballong och mast.

	<u>Antal</u> <u>fall</u>	<u>Medelav-</u> <u>vikelse i vind-</u> <u>styrka ballong-</u> <u>mast</u>	<u>Max av-</u> <u>vikelse</u> <u>i knop</u>	<u>Vindrikt-</u> <u>ning</u> <u>Medelav-</u> <u>vikelse</u>	<u>Max av-</u> <u>vikelse</u>
Ballong vind $\geq$ 6 knop	31	+2.8	+12	020 $^{\circ}$	070 $^{\circ}$
Ballong vind $\leq$ 5 knop	8	+0.3	-3	083 $^{\circ}$	150 $^{\circ}$
Samtliga	39	+2.3	+12	032 $^{\circ}$	150 $^{\circ}$

Svaga vindar medför ofta växlande vindriktningar, därför har också fallen delats in beroende på vindstyrka. Gränsen har valts då ballongen gav vindhastighet mindre eller lika med 5 knop.

Mätningarna visar för ballongvindar över 6 knop en relativt god överensstämmelse i vindriktning. Man får ta hänsyn till att de topografiska förhållandena fort-

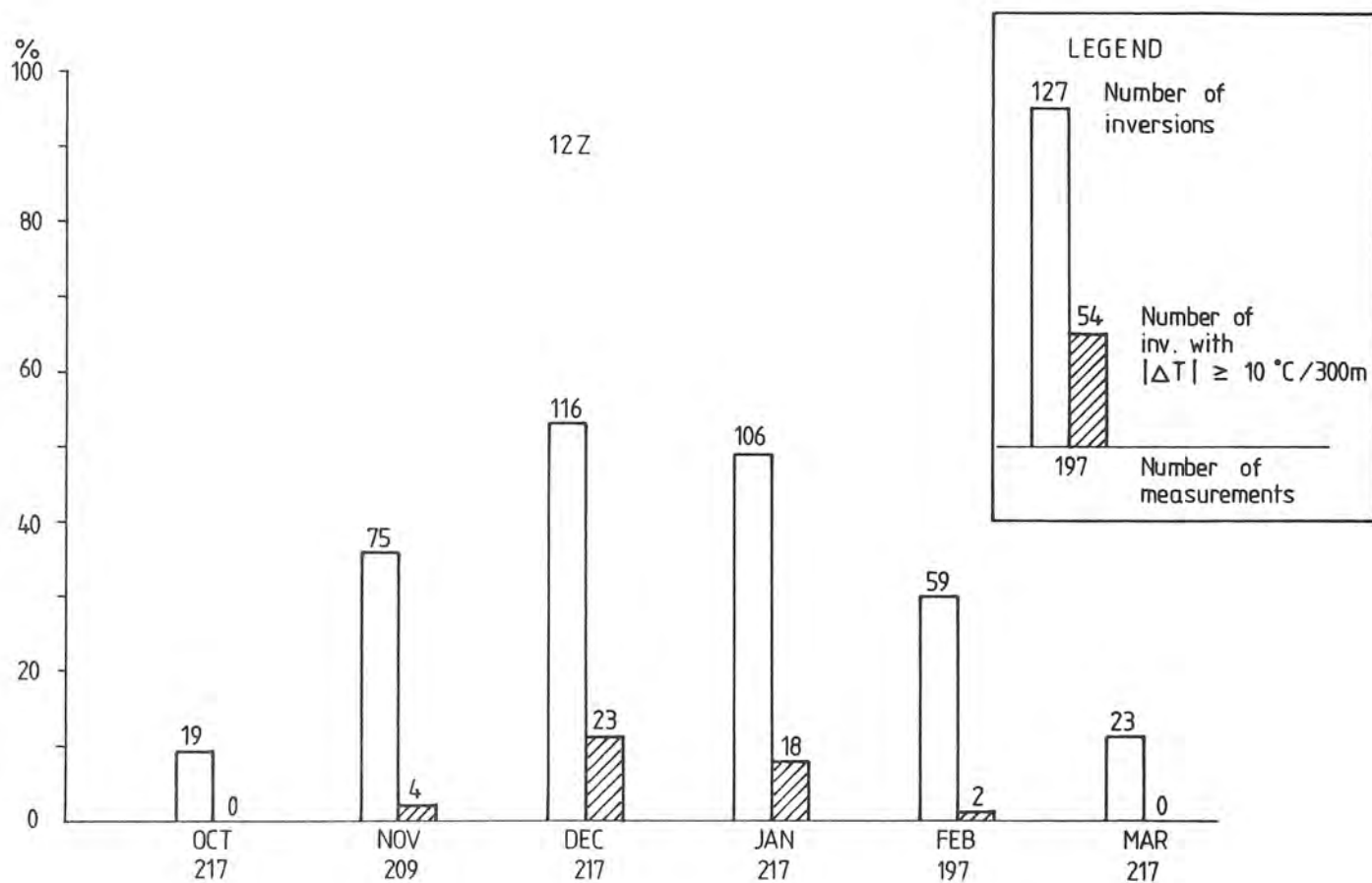
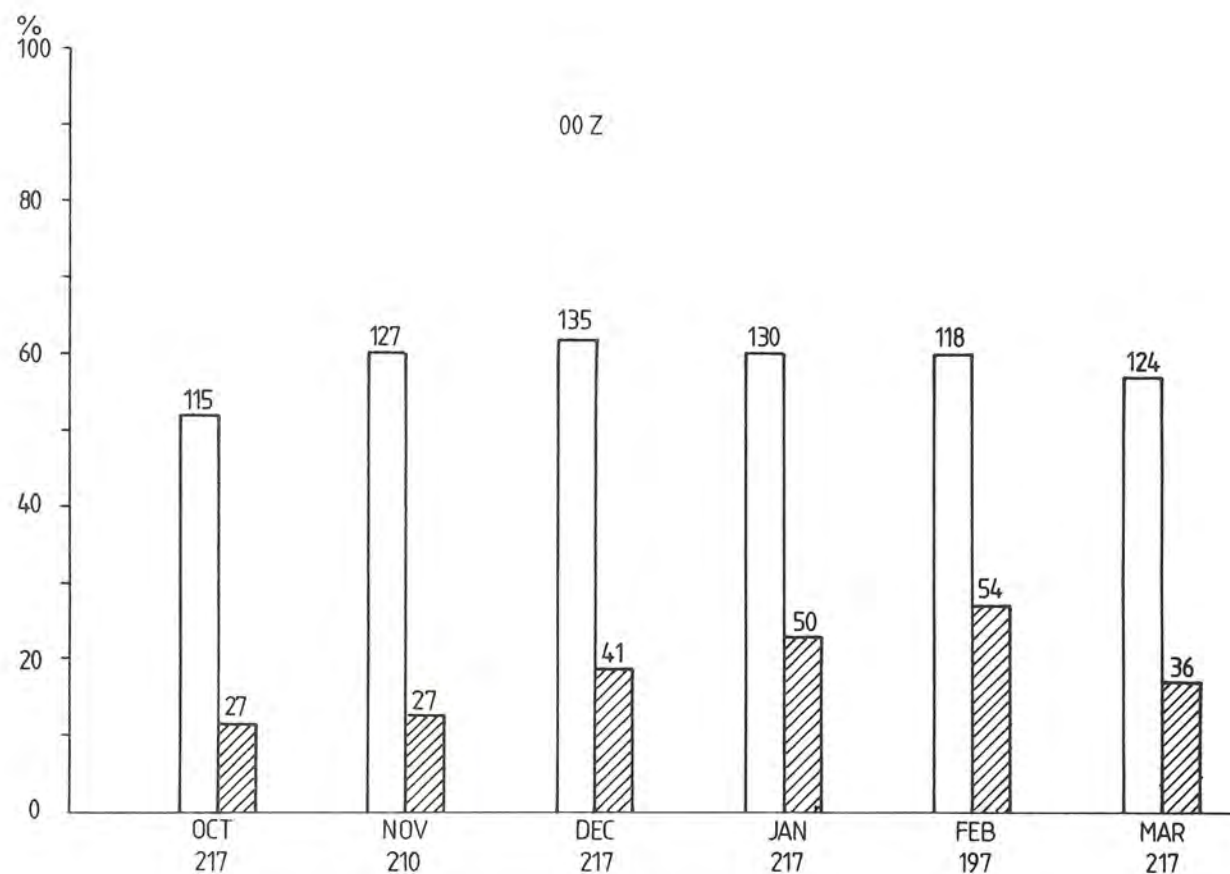


Fig 2. Statistics of inversions at Sundsvall/Härnösand aerodrome 1972-1978.

Inversionsstatistik vid ESNN 1972-1978.

farande på 117 meters höjd har en viss styrande effekt och med tanke på detta får en medelavvikelse i vindriktning på 20 grader ansestolerabel.

Vindstyrkan var i medeltal 2.8 knop högre med ballong, något utanför vindgivarens noggrannhetstal som är - 2 knop för vindstyrkor upp till 20 knop.

Vid ett tillfälle erhöles 12 knops högre vindstyrka för ballongen och denna situation har specialstuderats för att bättre kunna förklara problematiken och kommentera felkällorna.

Tittar vi nu på finstrukturen hos vind-och temperaturförhållandena i det här speciella fallet, (se vind-och tempdiagrammet fig 4) här framgår ett vindmaximum på ca 120 meters höjd. Detta maximum ligger strax under ett skikt med isotermer. Medelvindhastigheten på masten var 4 knop medan ballongsonderingen gav en vindhastighet på 16 knop på motsvarande höjd över flygplatsen. Vindriktningen på masten varierade vid aktuell tidpunkt mellan 240 och 300 grader medan sonderingen gav en medelvindriktning på 330 grader.

En av svårigheterna är att en 2-minuters medelvind på masten jämföres med en medelvind inom ett 34 meters skikt ovan flygplatsen, se fig 3. Här framgår att vindgivaren på masten hamnar i den undre delen av det skikt inom vilken ballongen "mäter". Skillnaden på 12 knop kan alltså förklaras av att masttoppen ligger i en nivå med lägre vindhastighet och att vinden har högre hastighet i ballongskiktets övre del.

En annan bidragande orsak till att masten ger lägre vindhastighet kan vara friktionens större inverkan vid masten än över flygplatsen. I närheten av masten finns skog och kuperad terräng medan flygplatsen består av en stor plan yta.

I figuren på sid 8 är också isotermerernas troliga orientering subjektivt inritade. Som stöd användes extra temperatursondering samt temperaturen på masten. Här framgår att det är något varmare rakt över flygplatsen än vad data från masten antyder, men mer om detta i nästa avsnitt.

Tabell 2. Jämförelse mellan temperaturmätningar från trådsond och mast.

<u>Sond</u>	<u>Mast</u>	<u>Korr MAST</u>	<u>Temp skilln Mark-Mast</u>
-15.5	-15.6	+0.1	-5.6
-10.9	-11.0	+0.1	-3.9
-16.4	-16.6	+0.2	-3.8
-11.6	-13.6	+2.6	-6.9
-9.7	-10.1	+0.4	-4.5
+0.8	+0.0	+0.8	-3.6
+2.9	+2.7	+0.2	-2.4
+1.7	+1.4	+0.3	+0.3
-6.6	-8.2	+1.6	-0.8
-7.3	-9.0	+1.7	0
-17.0	-19.3	+2.3	-5.7
-7.3	-6.1	-1.2	-10.1
-29.3	-28.1	-1.2	-1.6

Under mätperioden har 13 st temperaturmätningar med trådsond, Väisäläs sond RS 18, genomförts. Av tabell 2 framgår att sonderingen ger i de flesta fall (utom 2) högre temperatur än masten. Vid 7 tillfällen avvek temp med mer än givarens noggrannhet på ± 0.5 grader. Till detta kommer också felkällor i sonden som kan uppskattas till ± 1 grad. Fyra fall verkar dock klart ligga utanför felmarginalen. I dessa fall ger sonden högre temperatur än masten.

Jämförande mätningarna mellan mast och ballong med digitaltermometer, SMHI K 774 med platinagivare, gav följande resultat:

<u>Digital</u>	<u>Mast</u>	<u>Korr MAST</u>	<u>Tempskilln Mark-Mast</u>
-8.5	-8.3	-0.2	-4.1
-4.0	-5.1	+1.1	-13.1
+0.4	-0.6	+1.0	-4.6
-9.1	-10.2	+1.1	-2.5
-7.4	-8.4	+1.0	-1.9

Av tabellen framgår att i 4 fall av 5 ger digitaltermometern högre värden än masttermometern.

Dessa mätningar indikerar att den vertikala temperaturgradienten, $\frac{\partial T}{\partial Z}$, över själva flygplatsen torde vara högre än vad data från bur och Lastlavamast pekar på. Orsaken till denna avvikelse kan finnas i orografiens påverkan på isotermernas orientering. (Se även fig 3.)

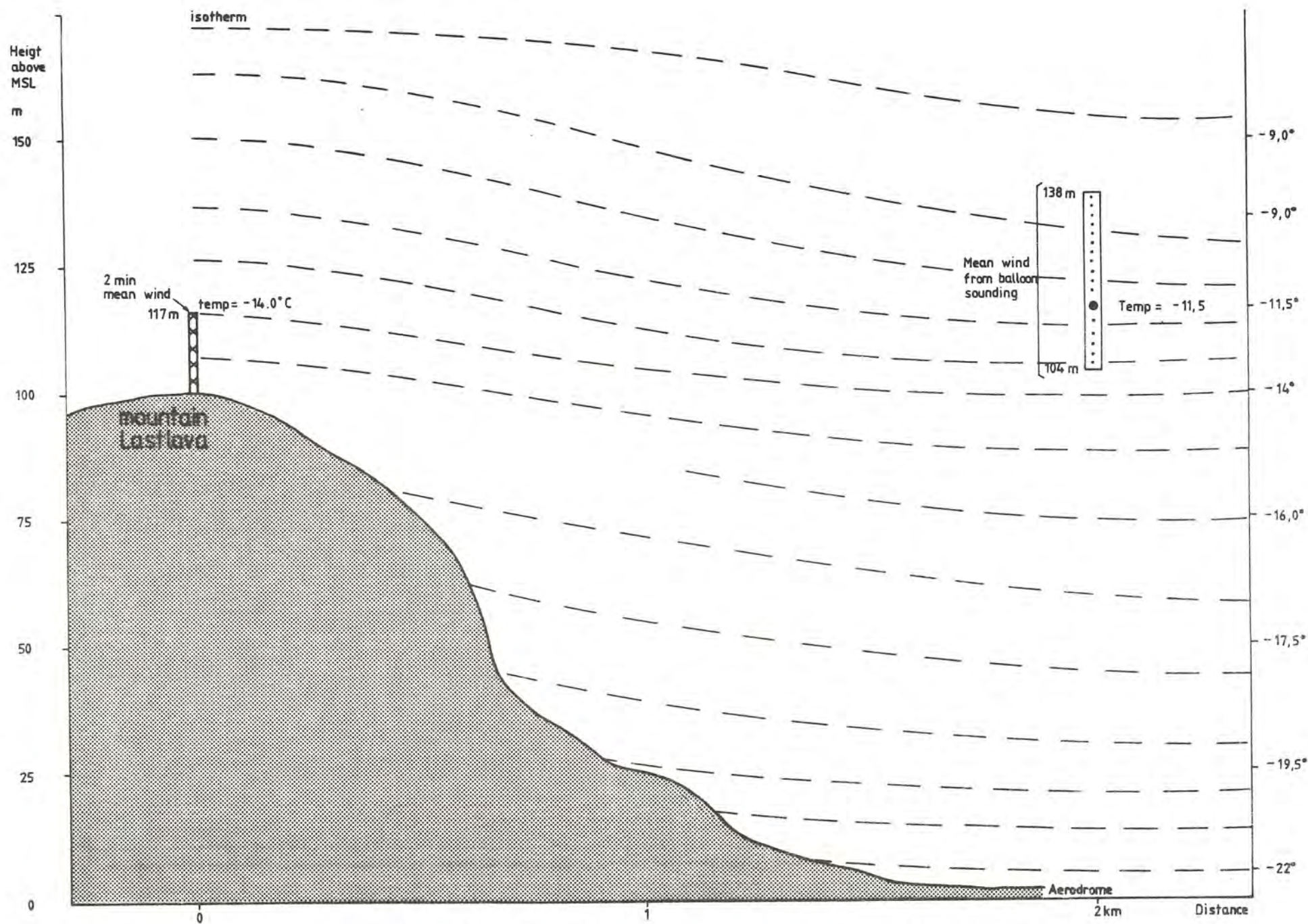


Fig 3. Tower measuring and balloon sounding. Tornmätning samt ballongsondering.

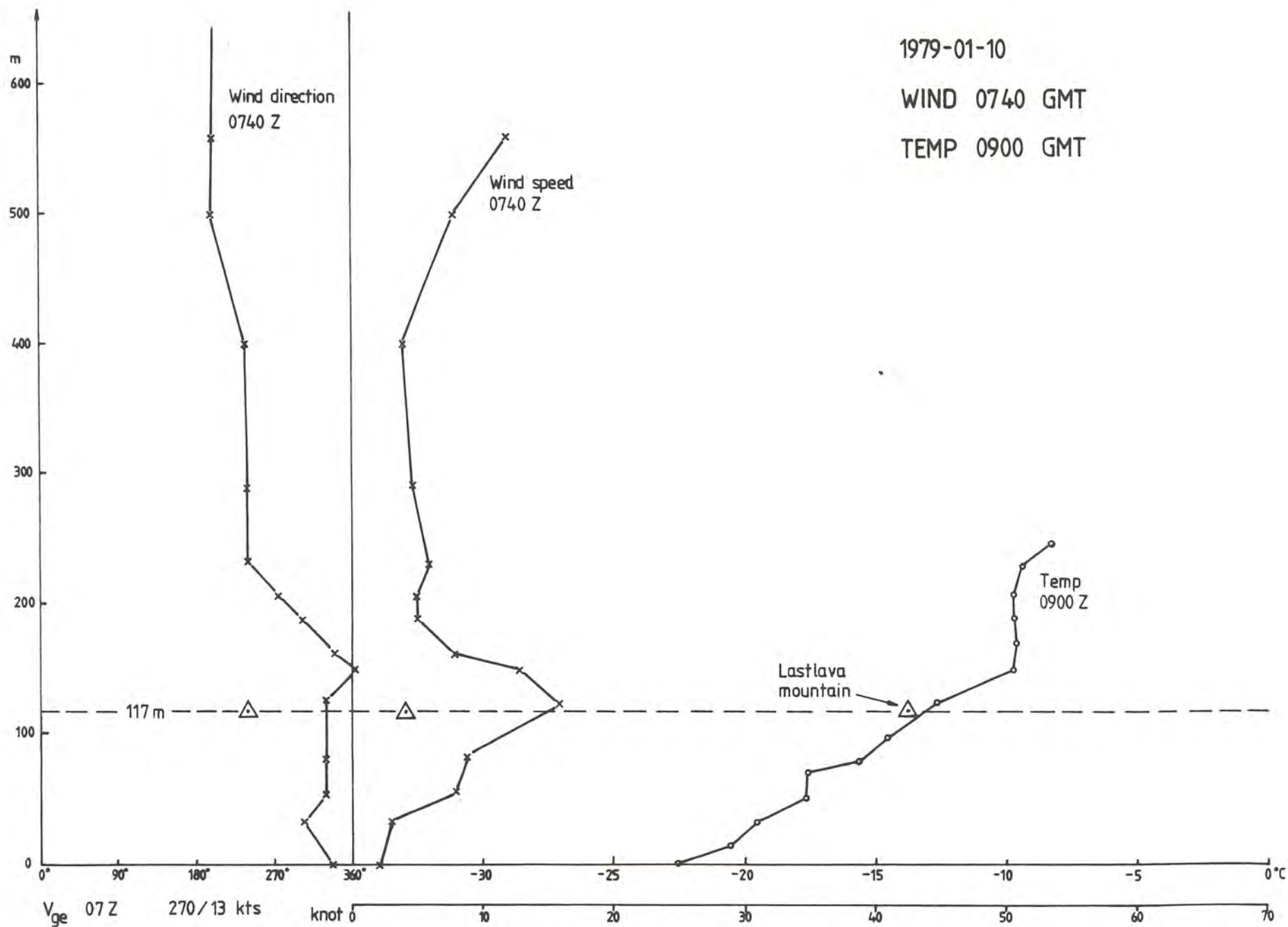


Fig 4. Wind and temperature diagram 79-01-10. Vind- och temperaturdiagram 79-01-10.

Trots allt för få mätningar för en helt entydig tolkning ger dock dessa en klar antydning om att mastdata går att använda som representativa mätvärden för luft-havet direkt ovan flygplatsen.

Felet man gör hamnar inom rimliga gränser och i våra mätningar har max korrektionen varit mindre än 3 grader C. Och då har mätningar utförts under olika temperaturförhållanden med skillnad i temp mark-mast på mellan 0 och 13 minusgrader.

Skillnad i vind-resp tempdata Mark-Mast

I tabell 3 har dessa skillnader redovisats. Jämförelserna har gjorts för var 3:e timma av dygnet. Mätningarna har pågått under tre vintersäsonger.

Utpräglad hastighet och/eller temperaturskillnad har medtagits när något av följande villkor uppfyllts:

- A) Skillnad i vindhast > 13 kt oavsett temperaturskillnad
- B) " " " 7-13 kt samt tempskilln -2.0 till -6.0°
- C) " " " < 7 kt " " < -6.0°

Det kan diskuteras vad som är utpräglad hastighet och/eller temperaturskillnad, i fortsättningen kallad ST-index. (Skjuvnings- o Temperaturindex.) Det vill säga när bör vakthavande meteorolog reagera på skillnader i data mellan mark och berg. Det val som gjorts grundar sig till en del på de rekommendationer som 5:th Air Nav Conf 1967 föreslog som gränsvärden för vertikal vindskjuvning:

Light 0-4 kts/30 meter
 Moderate 5-8 kts/30 meter
 Strong 9-12 kts/30 meter
 Severe >13 kts/30 meter

I vårt fall motsvaras kriterie A, d v s en skillnad i vindhastighet berg-mark på 13 knop eller mer, av en vertikal vindskjuvning av 13 knop/115 m eller 3.5 knop/30 m. Det innebär enligt ICAO att den vindskjuvningen benämns som light. För att även ta hänsyn till eventuell temperaturskillnad har gränsvärden för detta också gjorts. Det innebär att om skillnaden i vindhastighet berg-mark är mindre än 13 knop måste det också finnas en temperaturinversion på 2 grader eller mer för att motivera vakthavande meteorolog att informera flygande personal. Kriterie C innebär att en varning har sitt berättigande om det finns en temperaturinversion på 6 grader eller mer även då det inte förekommer någon vindskjuvning. Att just 6 grader valts som gräns grundar sig också på Air Nav Conf rekommendationer. En inversion på 6 grader innebär en temperaturgradient av 6°/115 m motsvarande drygt 15°/300 m. Enligt

ICAO bör en temperaturskillnad någonstans mellan 10 och 20 grader på 300 m vara motiv för en information eller varning till flygande personal.

Av tabell 3 framgår att i ca 15% av fallen är det motiverat med en varning. Det kan tyckas ofta, men man får även ta hänsyn till att fenomenet har en tydlig dygnsvariation och många fall hamnar inom tidpunkter då flygfrekvensen är mycket låg. Noteras bör också att 16 gånger förekom fall med högt ST-index, d v s situationer med temperaturinversion på mer än 6 grader samtidigt med en vindhastighetsskillnad på mer än 13 knop. Dessa situationer uppträdde till största delen under morgon och tidiga f m.

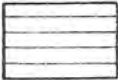
Tabell 3: Periods 76-10-01--77-03-31
77-10-01--78-03-31
78-11-10--79-03-31

Δv = difference in wind speed Tower-ground (knots)

Δt =temp difference Tower-ground °C.

Inversion

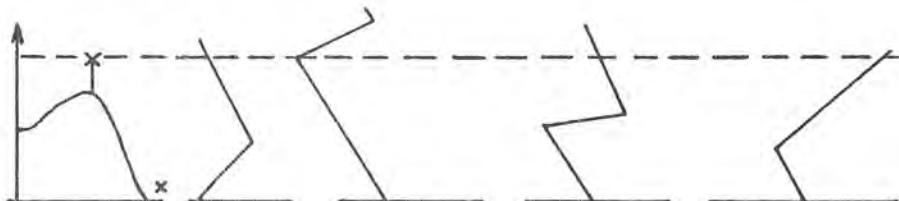
Δv (Knots) \ Δt (°C)	0-6	7-12	13-18	19-24	25-30	30 →
above +2.0	179	19				
+1.9 to +1.2	567	54	4	1		
+1.1 to +0.6	550	44	1			
+0.5 to +0.1	359	57	4			
-(0.0 to 1.9)	740	174	5			
-(2.0 to 3.9)	265	130	9			
-(4.0 to 5.9)	185	124	4			
-(6.0 to 7.9)	90	85	9			
below -8.0	44	55	7			

Low  Moderate  High  Shear and Temperature (ST) index

De fall som hamnar inom streckningen i tabellen får olika ST-index beroende på graden av vind och/eller temp skillnad.

Kommentar till mastmätningarna

Att använda mastdata i praktisk tjänst på det skisserade sättet kräver dock viss försiktighet. I vårt fall med endast två mätpunkter finns det risk att vissa situationer blir feltolkade t ex



Tar man dock hänsyn till att det görs ordinarie sonderingar 2 ggr/dygn kan man nedbringa eventuella felaktigheter till en viss del men helt går det ej att finna den exakta tempfördelningen mellan de båda mätpunkterna.

I Sundsvall har vi nu haft tillgång till mastdata i ett par år och erfarenheterna är goda. Framförallt gäller detta vid situationer med vindskjuvning och temperaturinversioner (se tidigare) men även vid trendprognoser ger mastdata värdefull information, t ex vid situationer med dimma kan en information om vindändring på 117 m höjd vara ytterst värdefull.

Utvärdering av SODAR/DOPPLER-registreringar

När det gäller SODAR/DOPPLER mätningar har tre intressanta situationer valts ut. Vid dessa tillfällen registrerades samtidigt data från respektive SODAR/DOPPLER, Lastlavamast, vindvisering samt vid ett tillfälle även temperatursondering.

14-15 februari 1978

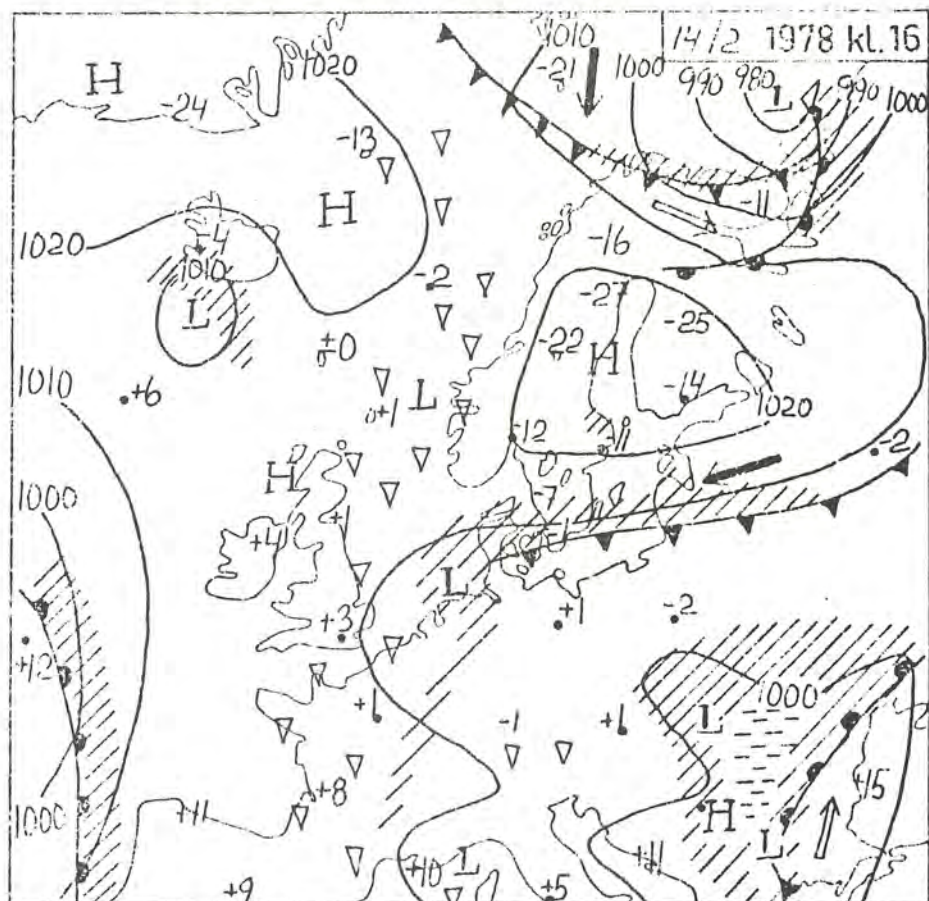
En högtrycksrygg sträckte sig från ett högtryck över Ryssland och södra Finland in över mellersta Skandinavien mot Skottland. Ett mindre lågtryck vid Nordnorge rörde sig österut och medförde molnigare väder och en del snöbyar i nordligaste Norrland, medan Götaland och södra Svealand hade nordostliga vindar och snöfall. Sundsvallsområdet hade klart och mycket kallt väder hela dygnet. Vädersituation 14/2 kl 16 1 t se fig på sid 13. Vädret kl 09z vid Sundsvall/Härnösands flygplats var följande: svag NW-lig vind, nästan molnfritt och 30 minusgrader.

På Sodar-registreringarna, fig 6, ser vi att under kvällen den 14:e byggs det upp en markinversion. Till en början är översidan en aning diffus, en första mera skarp övre gräns varierar mellan 100 och 150 m, kl 20 till 22 GMT. Ovanför detta skikt finns intermittenta bandekon som tyder på att det existerar dynamisk insta-

bilitet (skjuvningsområden) som genererar temperaturvariabilitet. Inversionens översida blir under natten alltmer skarp och fram mot morgonen har det bildats en markerad övre begränsning kring 200 m. Inom detta skikt torde ekostrukturen tolkas som ganska intensiv turbulens som resulterat i en vertikal omrörning mellan marken och inversionsskiktet.

Detta understryks av den vind och temperatursondering som gjordes samma morgon se fig 5. Finstrukturen hos denna sondering ger att det inom inversionen rådde blandning. Vindhastigheten ökade från 6 knop vid marken till ca 13 knop vid 100-meters nivån. Detta har förorsakat en nära nog neutral temperaturskiktning under inversionsskiktet, se temperaturkurvan. Noteras bör att temperaturmätningen måste avslutas vid ca 130 m därför att problemen med avdriften genom linsondering blev för stora. Men det hela räckte för att kunna konstatera att vindens friktion mot marken och vindskjuvningen ovanför har förorsakat turbulens inom ett markbaserat blandningsskikt. Vi har här ett exempel på ett s k statiskt stabilt gränsskikt. Noteras bör det lilla vindmaximum strax under inversionstoppen. Detta fenomen har uppmärksamats vid flertalet situationer.

Dopplertekniken påvisar uppvindar kring inversionens översida. Mätningarna utfördes mellan 0800 samt 0830 GMT. En tre-minutersperiod har specialstuderats och återges i diagramform, se fig 7. Mätningarna gjordes i tre nivåer och i samtliga erhöjls uppvindar. Medelvärdet för dessa uppvindar låg mellan 0.3 och 1.6 m/s. Vidare kommentarer till uppmätta vertikalkvindar med Dopplertekniken görs längre fram.



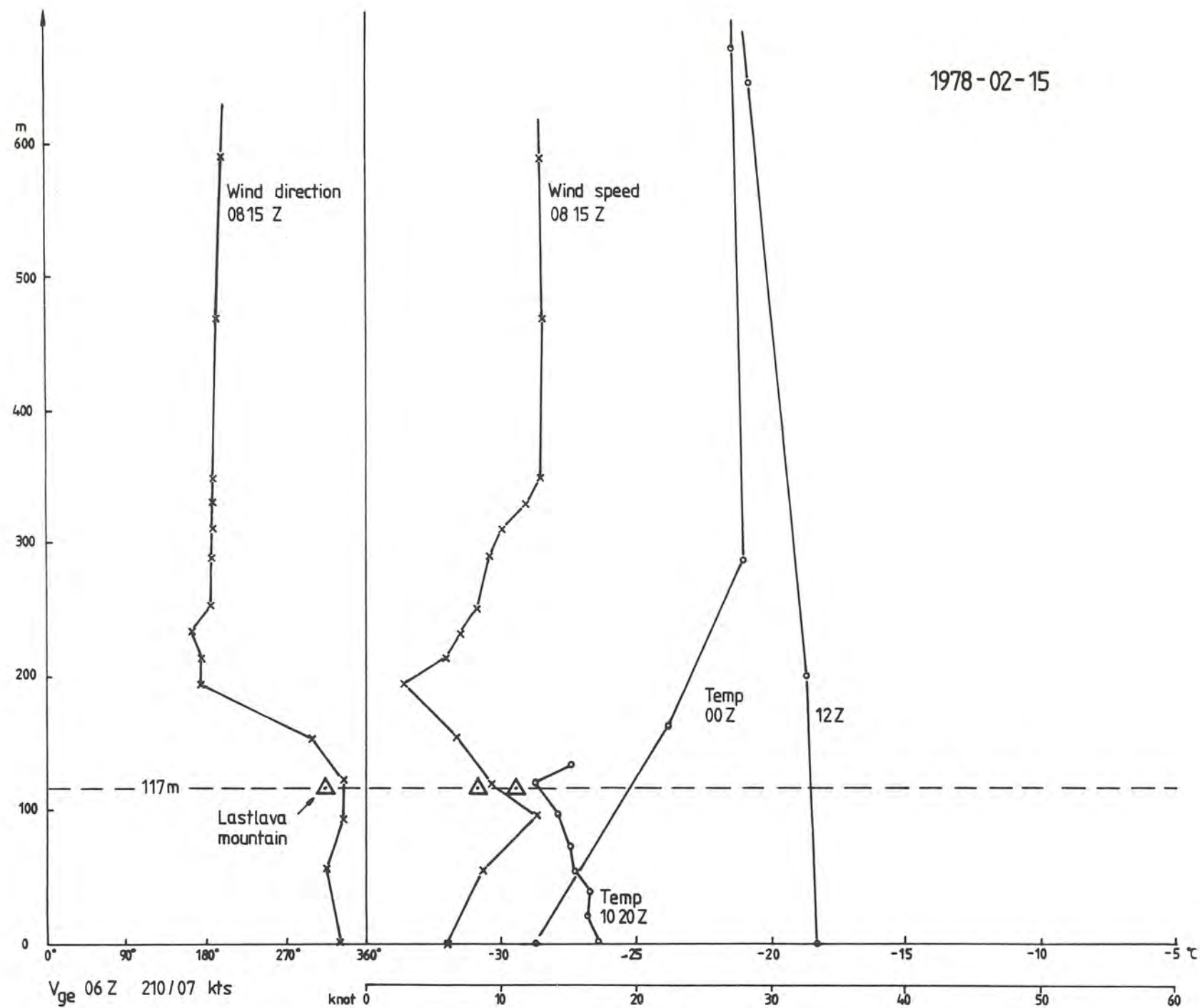


Fig 5. Wind and temperature diagram 78-02-15. Vind-och temperaturdiagram 78-02-15.

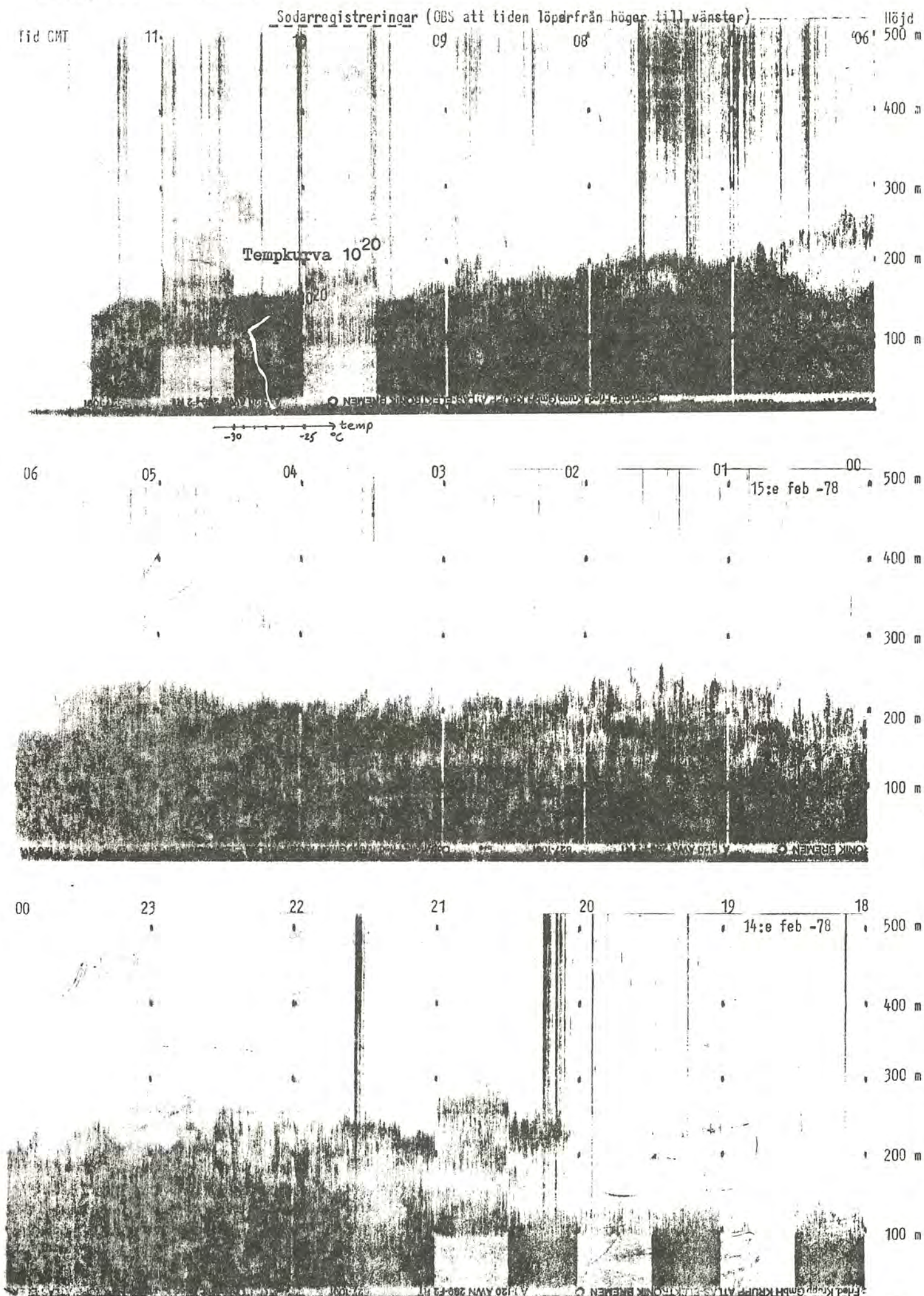


Fig 6. SODAR records 1978-02-14--15. SODAR-registreringar 1978-02-14--15.

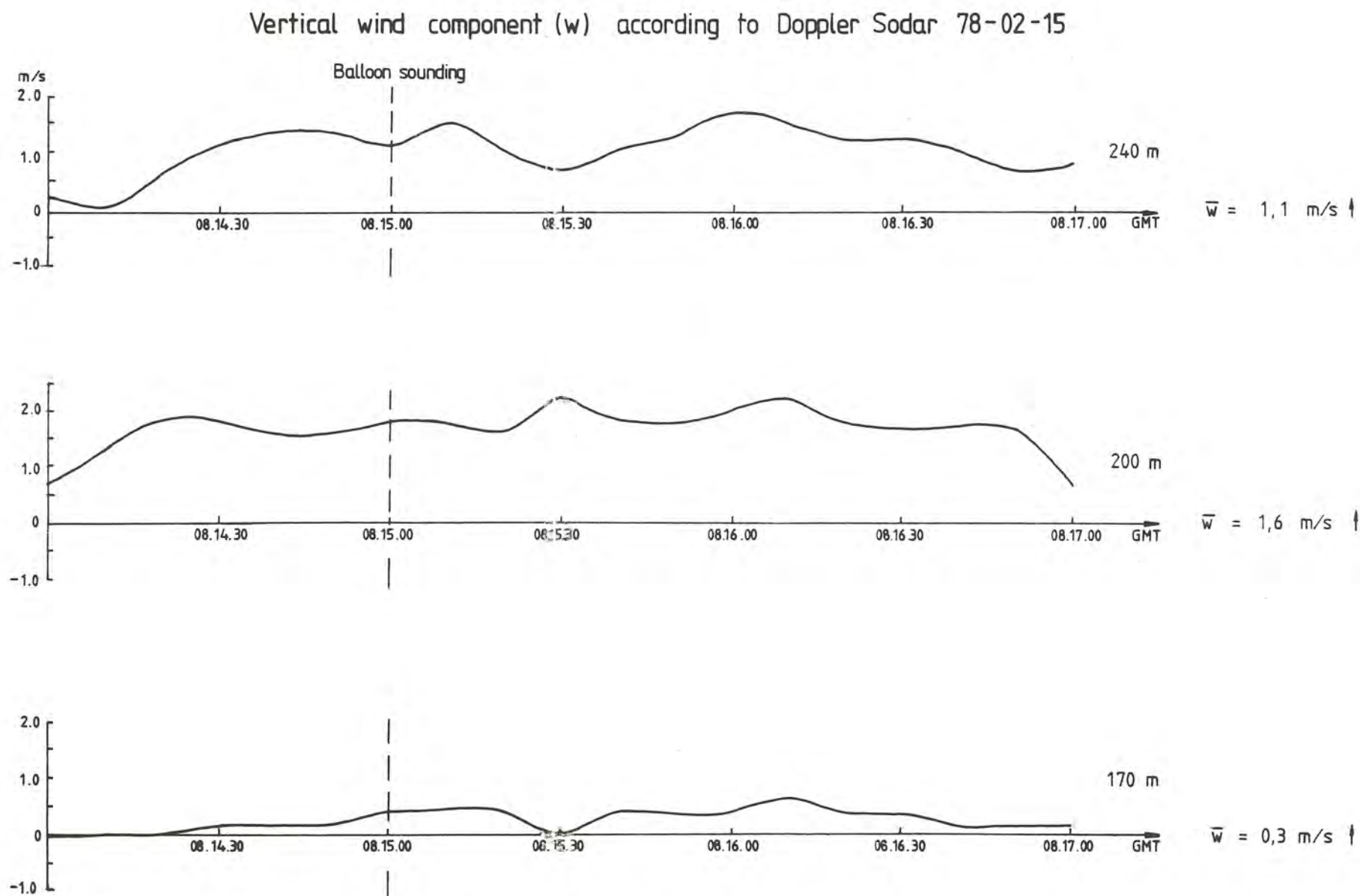


Fig 7. Vertical wind component. Vertikala vindkomponenten.

15-16 februari 1978

Ett lågtryck över nordligaste Norrland rör sig mot Finland. En kallfront hade på morgonen nått nordvästra Norrland och rör sig vidare österut. Ett svagt högtryck gav klart och kallt väder i Svealand och södra Norrland. Sundsvall hade under natten till den 16:e klart väder med sträng kyla, men från 0600 GMT ökade mängden höga och medelhöga moln. Vädersituation se fig 9. Klockan 0900 GMT hade Sundsvall-Härnösands flygplats följande väder: svag NW-lig vind omkring halvkylt samt 28 minusgrader.

På SODAR-registreringarna kvällen den 15:e, fig 8, 10, se vi åter hur en markinversion byggs upp. En första markerad översida kan urskiljas kring ca 130 m. Däröver finns också denna gång intermittenta bandekon som tyder på att det finns skjuvningsområden. Till skillnad mot föregående natt så får man denna gång ej någon skarp och jämn översida utan inversionstoppen varierar i vågor. Den når sin högsta höjd strax efter midnatt och man kan ur SODAR-diagrammet utläsa detta kring 450 m. Detta stämmer väl överens med den nattsondering som gjordes som gav en total inversionstopp strax under 500 m-nivån. Ekostrukturen under denna nivå ger också här indikation om att turbulens finns som resultat av den vertikala omrörningen mellan mark och inversionstopp. Mot morgonen sjunker sedan inversionstoppen till 150-200 m enligt SODAR-diagrammet. Klockan 0821 GMT gjordes en vindvisering och den erhållna vindprofilen syns på fig 11. Den visar en gradvis ökning av vinden från 3 knop vid marken till 44 kt i 500m-nivån. Största ökningen inom skiktet 150-450 meter. Att den största temperaturgradienten torde ligga i denna nivå stöds inte bara av sodarekon utan även av mastdata. Mellan mark och 117 m (masthöjder) är temperaturkurvan svagt stabil, d v s vinden inom detta skikt har förorsakat denna blandning. Ett kraftigt inversionsskikt bör då ligga därovan med en topp i nivå 150-200 m. Däröver har vi då den kraftiga vindökningssonen. Och det har skapats något av en "low level jet" strax över inversionstoppen.

De ovan nämnda svängningarna hos inversionstoppen kan förklaras som gravitationssvängningar förorsakade av omgivande topografi. Att översidan svänger har också registrerats med doppler-sodartekniken. Mätningarna utfördes mellan 0800-0830 och då kring 200 m-nivån. En tre minutersperiod har specialstuderats och uppvindar på i medeltal runt 1 m/s erhöles se fig 12. Vidare kommentarer längre fram.

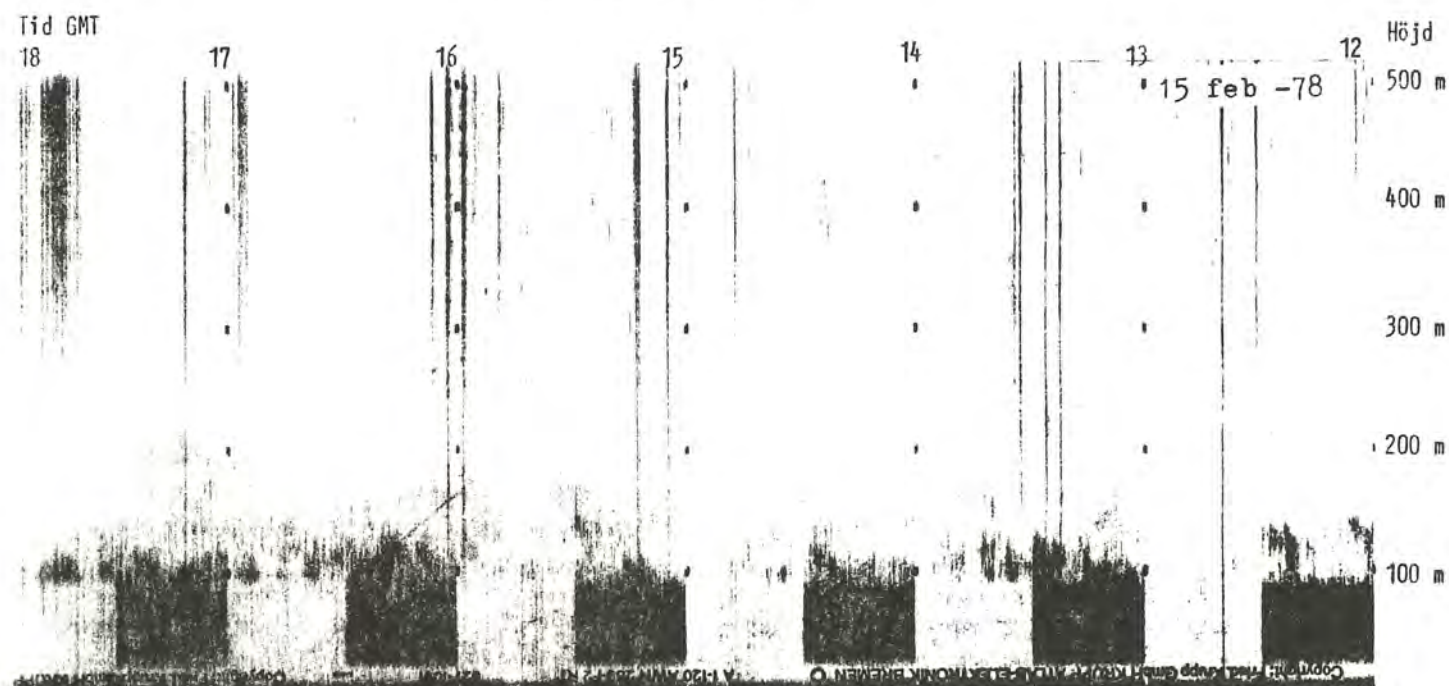
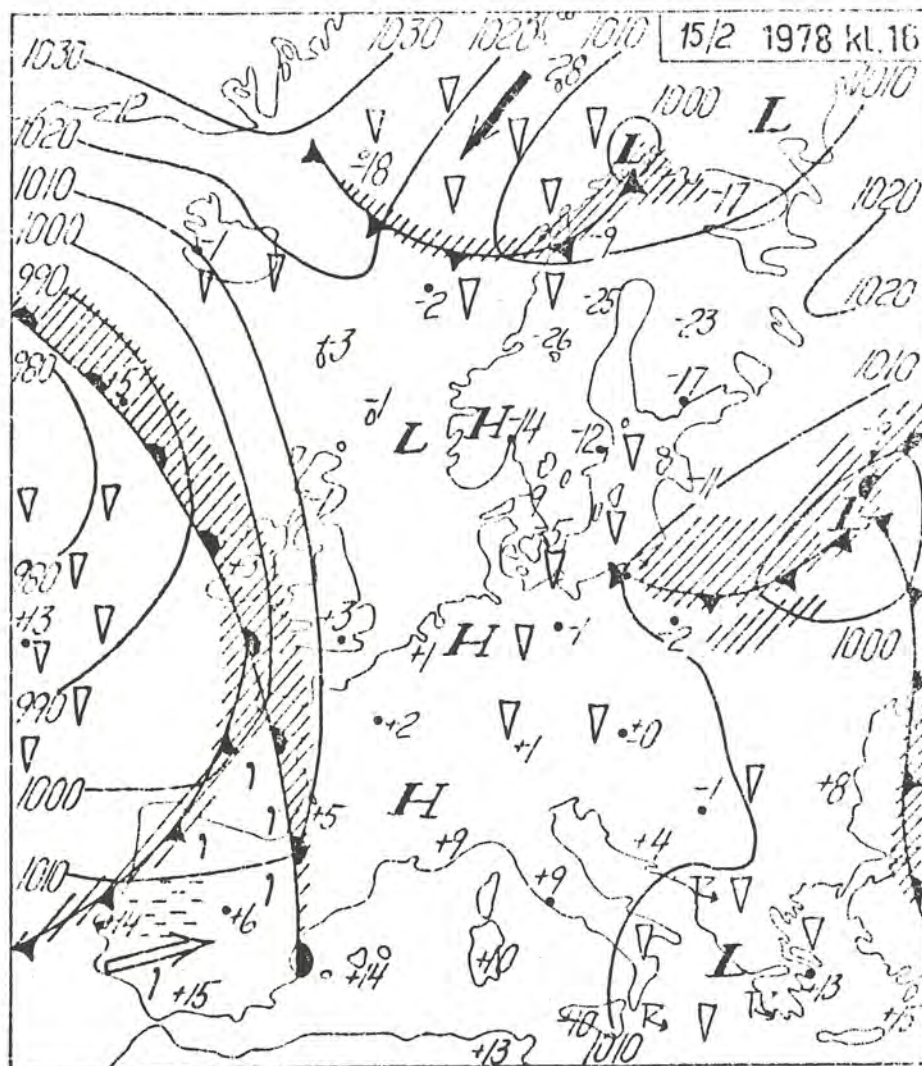
Sodarregistreringar 780215

Fig 8. SODAR record 78-02-15.

SODAR-registreringar 78-02-15.

Fig 9. Weathersituation.
Väderläget.

Tid GNT

12

Sodarregistreringar 78-02-15--16

Höjd
500 m

400 m

300 m

200 m

100 m

06 05 04 03 02 01 00

16:e feb -78

500 m

400 m

300 m

200 m

100 m

00 23 22 21 20 19 18

15:e feb -78

500 m

400 m

300 m

200 m

100 m

Fig 10. SODAR records 78-02-15--16. SODAR-registreringar 78-02-15--16.

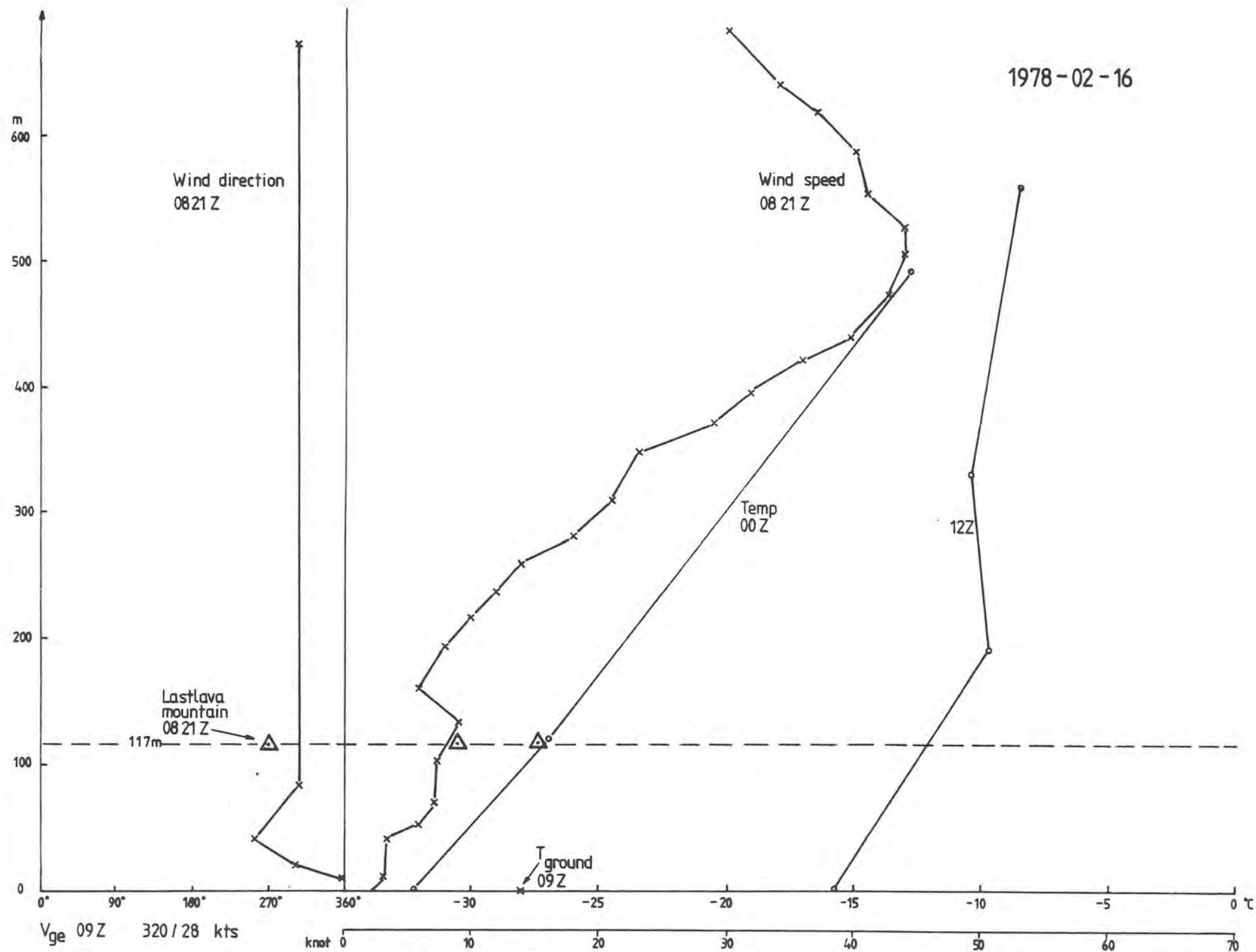


Fig 11. Wind and temperature diagram 78-02-16. Vind-och temperaturdiagram 78-02-16.

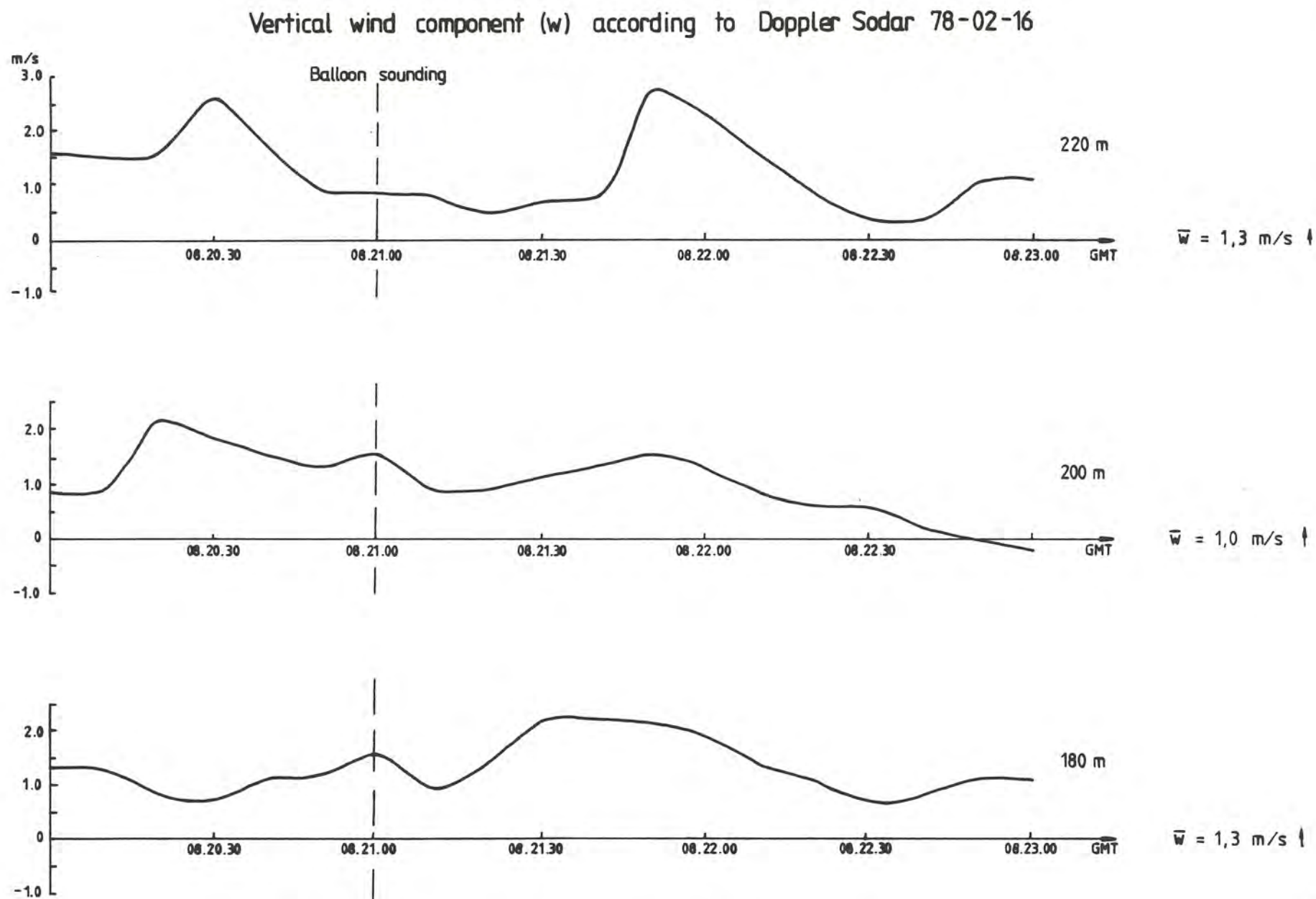


Fig 12. Vertical wind component. Vertikala vindkomponenten.

23-24 februari 1978

Väster om ett omfattande högryck över västra Ryssland råder en frisk sydlig luftström över Sverige. En varmfront hade den 24:e 0600 GMT nått sydligaste Skandinavien och rör sig vidare norrut. Tillhörande område med snöfall berör Götaland och Svealand, medan stora delar av Norrland hade mulet av skiktade moln se fig 13. För Sundsvalls del var det på kvällen klart och lugnt väder. Under natten ökade mängden Cs-och As-moln. Mellan 04 och 07 GMT föll ett mycket lätt snöfall ur ett Sc-täcke. Frontnederbörden nådde Sundsvall 12 GMT. Klockan 0800 GMT observerades följande väder vid flygplatsen: svag SSE-lig vind, mulet och 15 minusgrader.

På SODAR-registreringen kvällen den 23:e, se fig 14 syns en inversion med översida ca 150 m. Översidan växer kortvarigt under natten till ca 200 m för att sedan under morgonen åter sjunka till 100-150 meter. Den ballongvisering som gjordes 0743 GMT, se fig 15, visar en gradvis ökning av vindstyrkan från 3 kt vid marken till cirka 25 kt på 500 m-nivån. Värdena kring 117 meters nivå stämmer väl överens med mastdata.

Om man nu endast hade haft tillgång till den ordinarie nattsonderingen skulle antagligen översidan av inversionen antagits ligga i närheten av 500 m-nivån, den första markanta punkten fanns där. Med hjälp av mastdata, extra vindvisering och SODAR kan man dock konstatera att inversionens översida på morgonen bör ligga någonstans mellan 120-150 m. Dopplerregistreringarna, i detta fall två tidsperioder, en före och en efter ballongvisering, se fig 16 och 17, visar relativt kraftiga vertikalvindar i skiktet kring 100 m-nivån. Mellan 0724-0726 förekom medeluppvindar (3-minuter) på ca 2.5 m/s. Mellan 0800-0802 förekom i nivå 110 m medeluppvindar på ca 1 m/s medan det samtidigt förekom nervindar i nivåerna kring 70 resp 90 m på i medeltal ca 2 m/s.

Den geostrofiska vinden beräknades denna morgon till 180° och 34 knop.

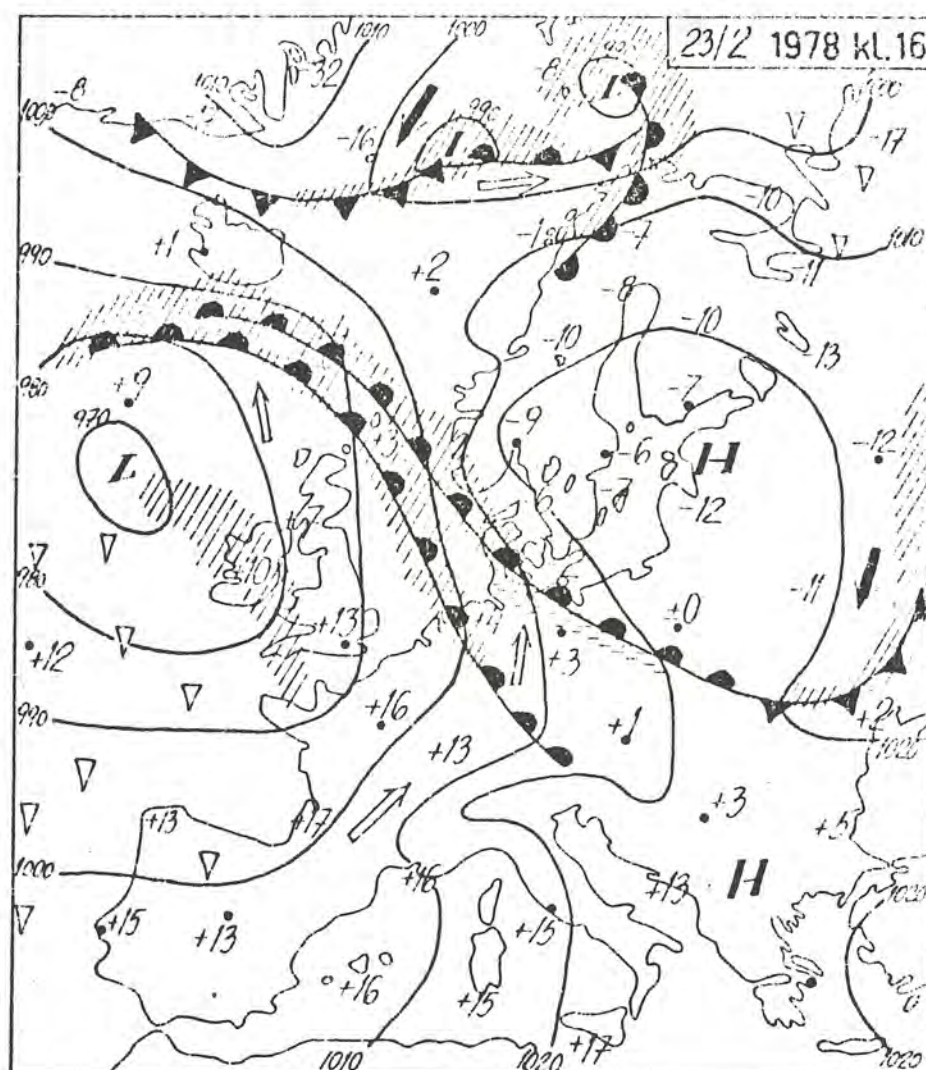


Fig 13. Weather situation 78-02-23.
Väderläget 78-02-23.

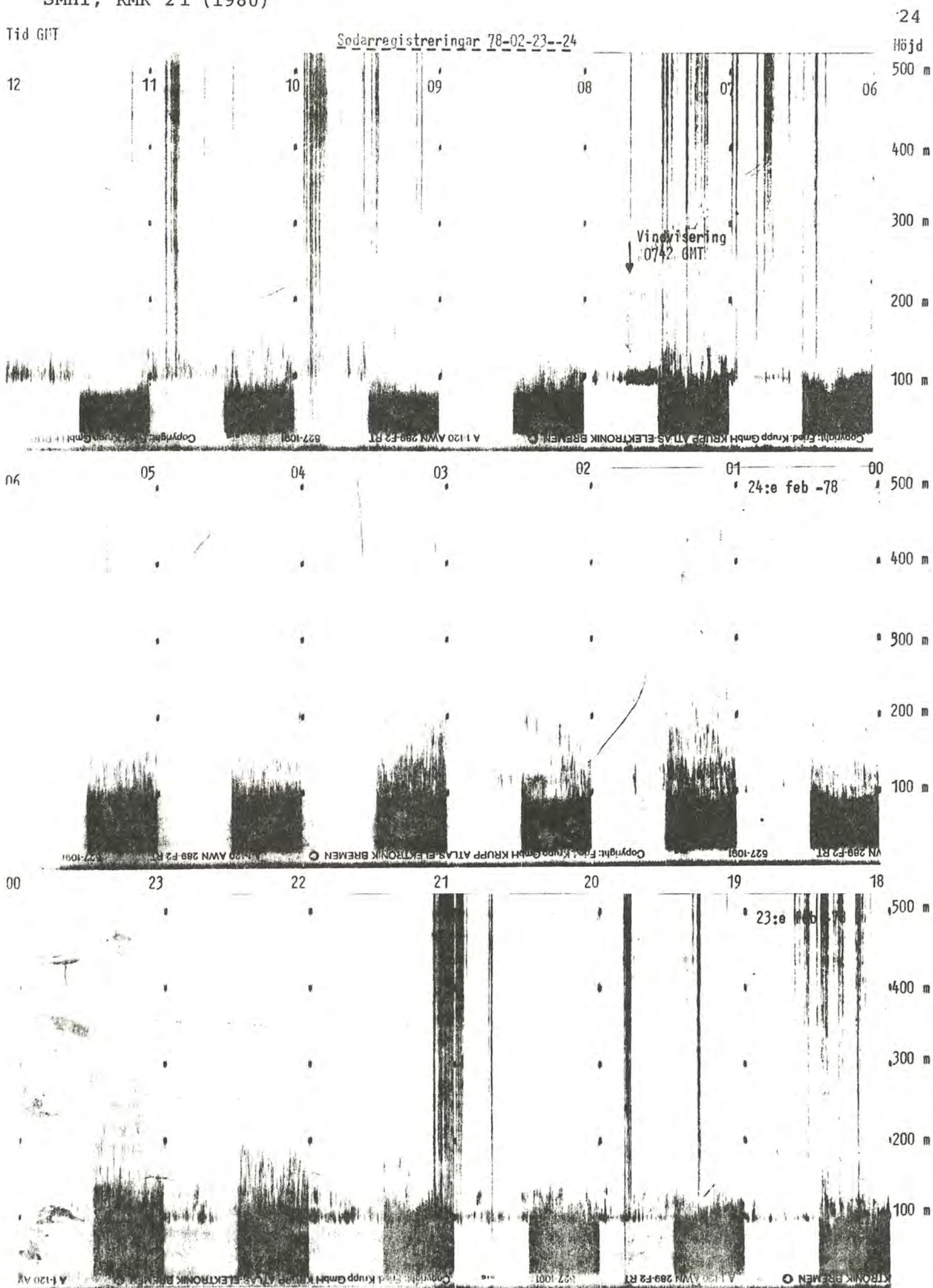


Fig 14. SODAR record 78-02-23--24.

SODAR-registreringar 78-02-23--24.

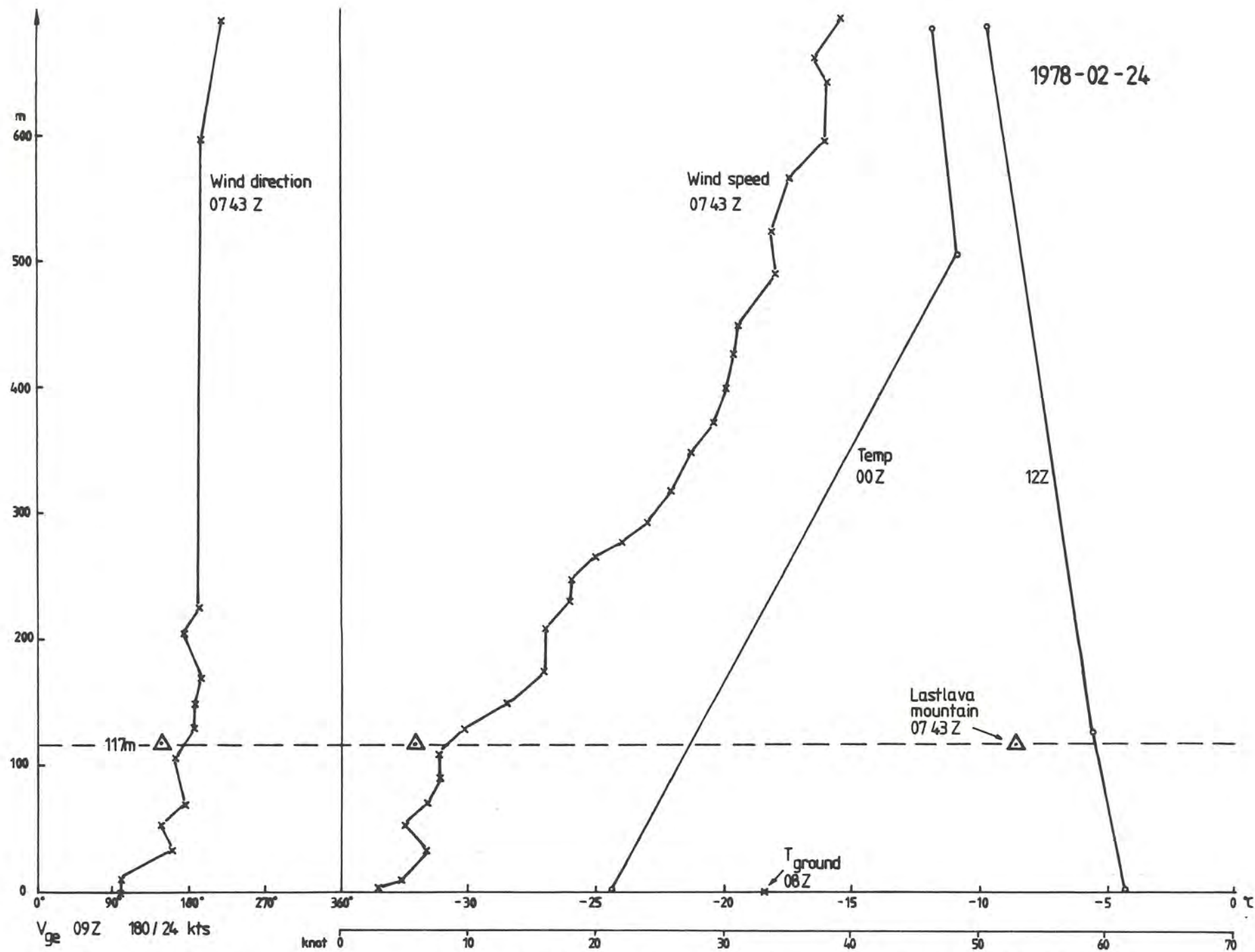


Fig 15. Wind och temperature diagram 78-02-24. Vind-och temperaturdiagram 78-02-24.

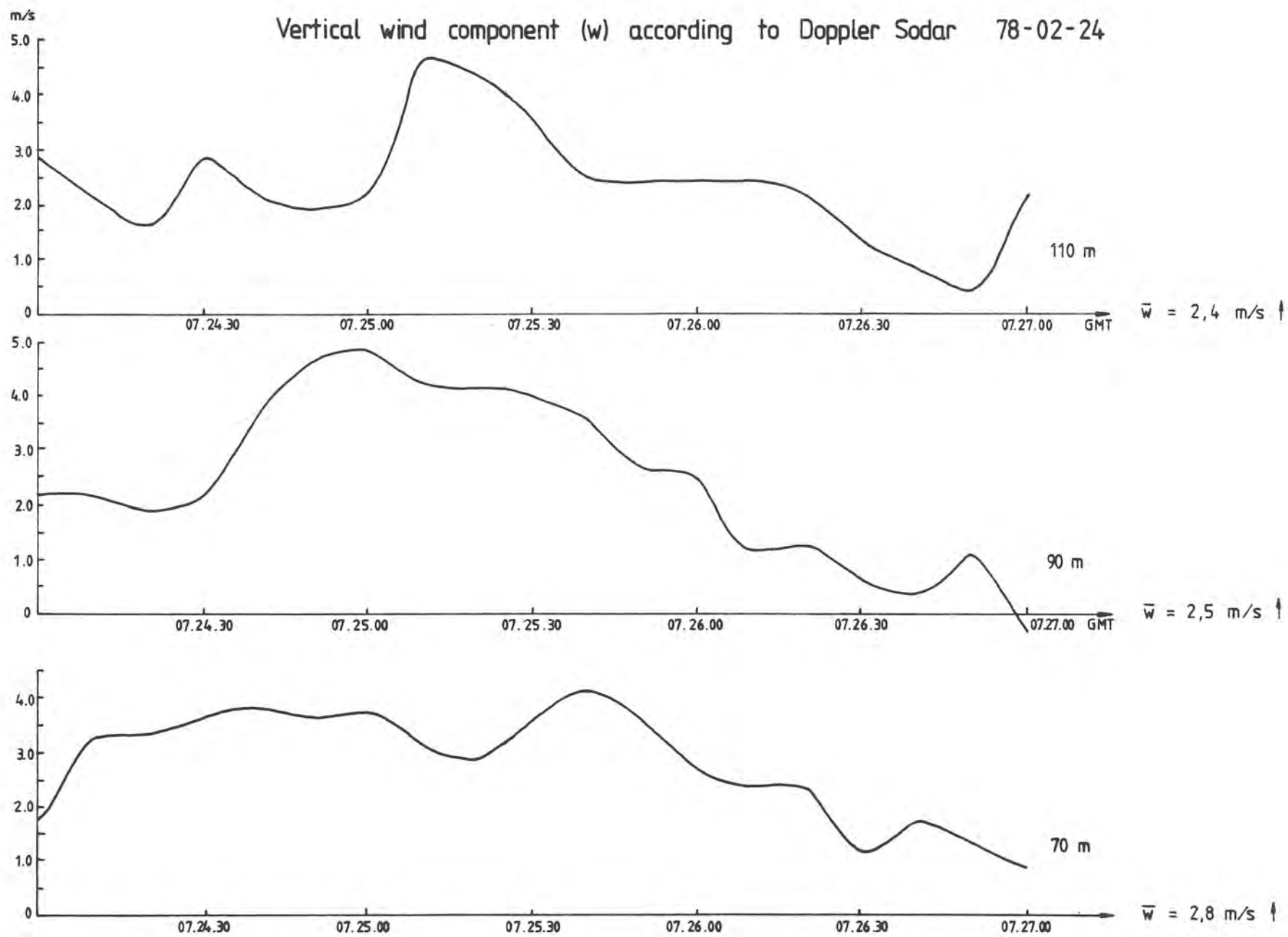


Fig 16. Vertical wind component. Vertikala vindkomponenten.

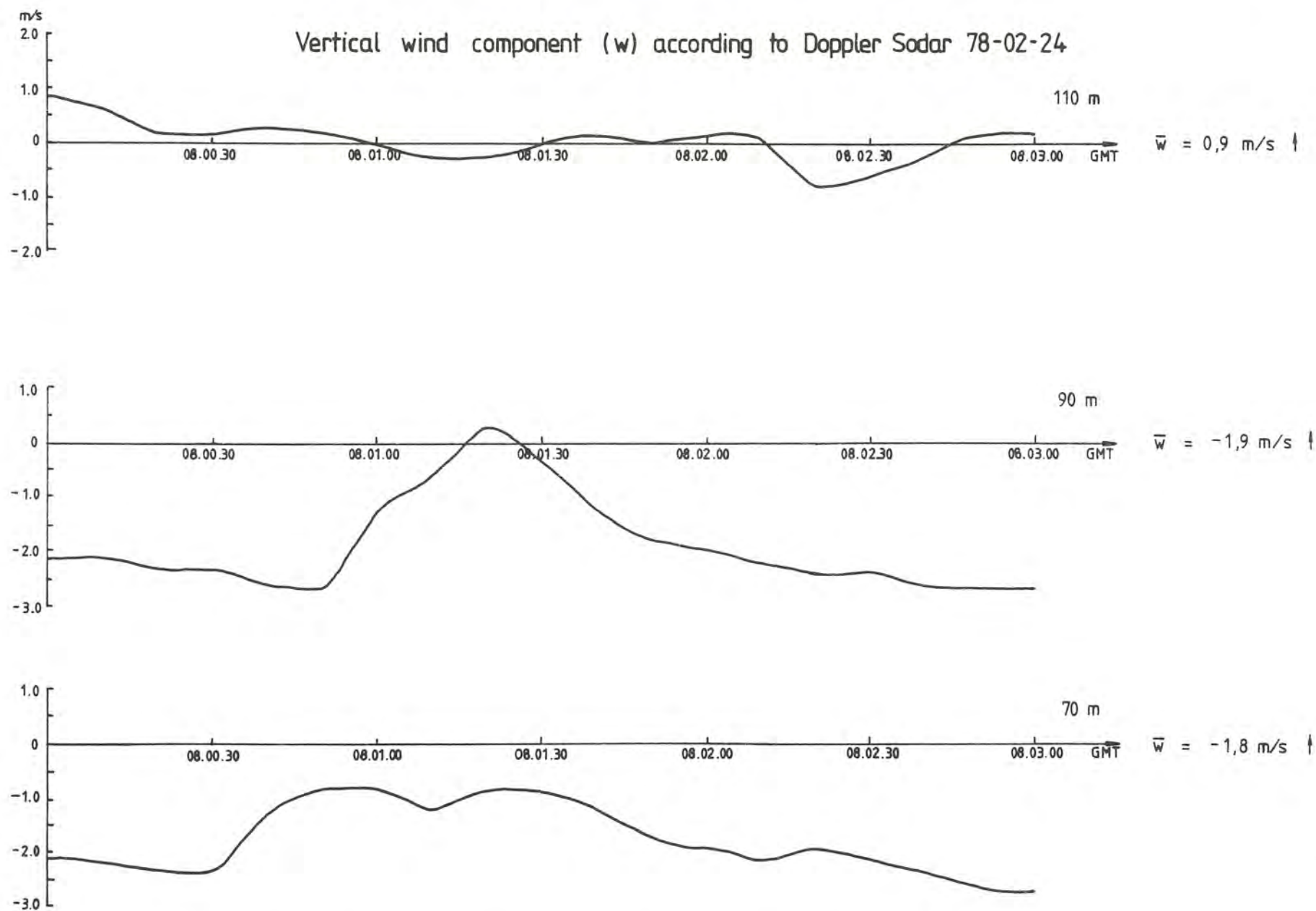


Fig 17. Vertical wind component. Vertikala vindkomponenten.

Kommentarer

Den sammanlagda bilden av de tre dygnens mätresultat och utvärdering är klart positiv. De vertikala sodarregistreringarna ger ett värdefullt tillskott i information om översidan hos inversioner och då speciellt vid tillfällena med dimma. Vid sådana situationer kan en information om eventuell förändring hos dimmöversidan vara direkt avgörande för en två timmars sk trendprognos vid flygplatsen. Detta har också understrukits i andra undersökningar och behöver inte kommenteras ytterligare. Viss kritik bör dock göras mot presentationen av data för vakthavande meteorolog, problem med svårtat papper, dålig presentation av vertikalvind mm.

När det gäller resultatet från vertikalvindmätningarna blev den första reaktionen att de erhållna vertikalarörelserna var alldeles för höga, med tre-minutersmedelvärden på upp mot 3 m/s (se fig nedan). En förklaring till detta kan vara att de topografiska förhållandena gör att våglängden hos en gravitationsvåg slumpar sig så. Det hela kan visas med en figur:



Med tanke på att relativt kraftiga gradientvindar förekom vid våra mätningar borde det inte vara orimligt med vertikala vindkomponenter i dessa fall på 1 till 2 m/s.

Proven i Sundsvall med Dopplertekniken måste ses som ett första försök och det bör påpekas att mätperioden och tidsintervallen är alldeles för begränsade för att göra några långtgående slutsatser, till detta krävs betydligt fler mätserier.

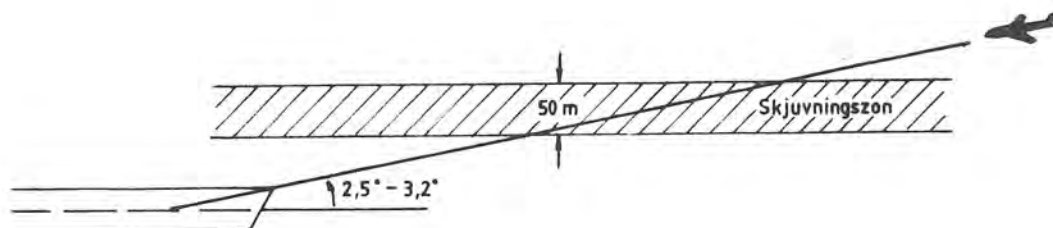
Slutlig diskussion

Den vertikala vindskjuvningen och/eller turbulensens effekt på flygplan är en både komplex och komplicerad fråga bl a beroende av:

Typ av vindskjuvning
 "- flygplan
 "- pilot

Låt mig beskriva en typisk inflygning till Sundsvall/Härnösands flygplats med en Fokker Fellowship 28. Vid inflygning har planet en sk glidbanevinkel på 2.5

till 3.2 grader på finalen och en hastighet runt 130 knop. Se fig.



Finns det nu som i figuren ett skikt om 50 meter med vindskjuvning ovan flygplatsen, leder detta till att det med ovan angivna premisser tar flygplanet 13-16 sekunder att passera skiktet.

Vakthavande meteorolog i Sundsvall har som standardhjälpmedel synoptiska kartor, datamaterial, ordinarie vertikala sonderingar och dessutom registreringar av vind och temp i två nivåer. Tyvärr är dessa hjälpmedel alldeles för storskaliga för att meteorologen skall kunna uppskatta eventuell vindskjuvning i ett begränsat skikt ovan flygplatsen. Det leder i sin tur till att någon varning för fenomenet som regel inte kommer ut förrän det föreligger en flyplansrapport. Har meteorologen istället tillgång till akustiska hjälpmedel eller också extra temperatur/vindsondering ökar chanserna att i kombination med mark-och mastdata varna för skjuvning eller inversionsproblemen i tid, d v s innan flygtrafiken kommit igång.

Som ett konkret exempel kan vi gå tillbaka till situationen 1978-02-16 sid 17, och diskutera dessa meteorologiska parametrars effekt på ett jetplan:

Vindförhållandena och dess inverkan fås ur fig 18 nästa sida.

Temperaturförhållandena var sådana att en relativt kraftig markinversion rådde ($T_{\text{mark}} = -28^{\circ}$, $T_{300\text{ m}} = -10^{\circ}$). Detta leder till att jetmotorn har högre effekt ju närmare marken planet befinner sig. Det kan i sin tur leda till att pilotens korrektioner av motoreffekten vid landning blir för stora och därmed förstärker den ogynnsamma effekten som vindförhållandena orsakat.

Noteras bör att den aktuella dagen rapporterades måttlig vindskjuvning av en F-28 vid inflygning till Umeå flygplats. Väderförhållandena i Umeå var jämförbara med de i Sundsvall. De topografiska skiljer sig dock. I Sundsvall hade vi på grund av våra för tillfället förstärkta hjälpmedel kunnat informera piloterna om aktuella temperatur-och vindförhållanden.

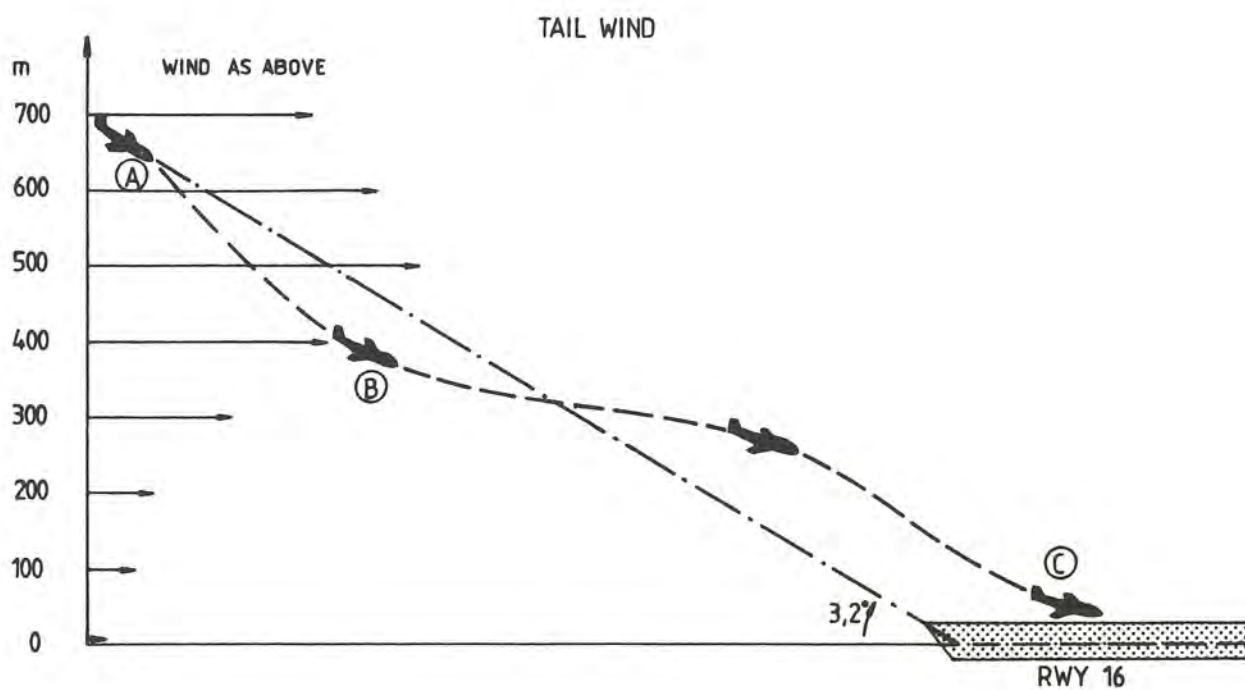
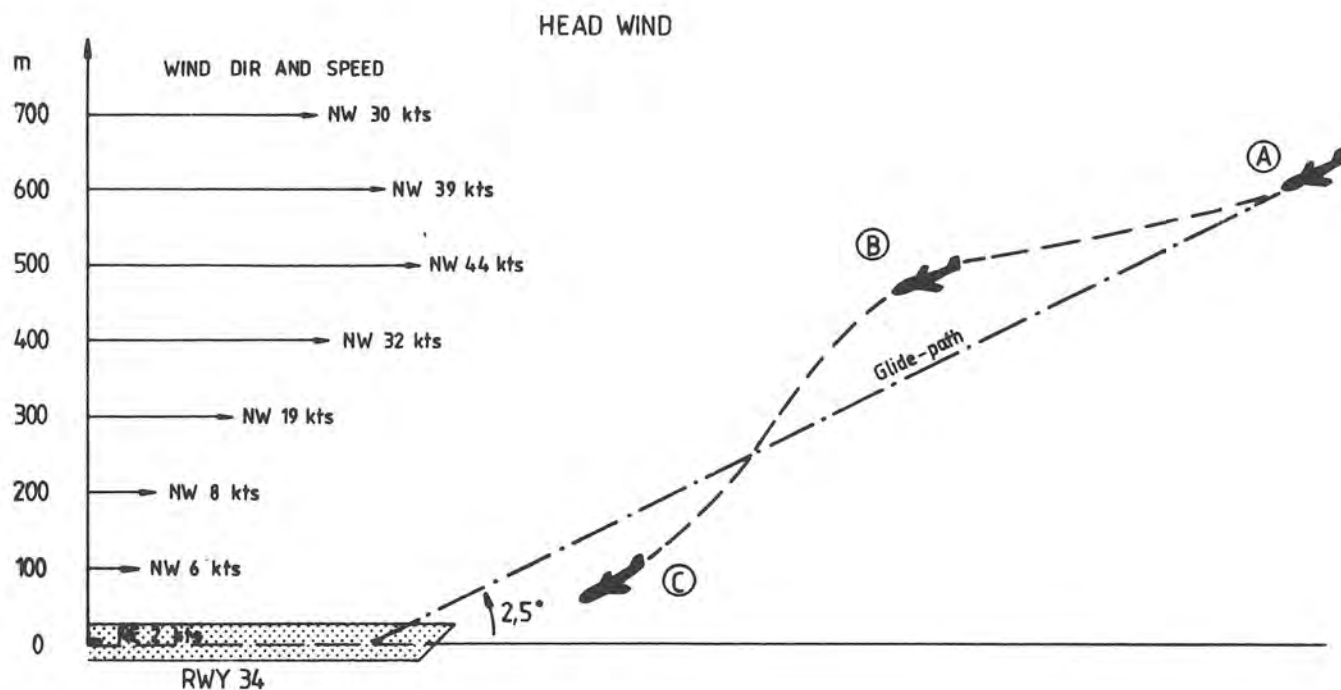


Fig 18. Low-level vertical windshear and it's effects on aircraft operations.

Vertikal vindskjuvning och dess effekt på flygplansoperationer.

En sista kommentar blir den att om man nu vill att vi meteorologer skall kunna varna för extrema temperatur- och skjuvningsförhållanden måste vi få resurser och hjälpmedel som är nödvändiga. Från flygbolagen finns starka önskemål om temp/vind uppgifter mellan 0 och 500 ft.

För närvarande utföres inte några kontinuerliga sådana mätningar. Lösningen med fjärranalysteknik, typ SODAR med dopplerenhet, tycks vara den enda moderna tekniken som klarar detta, men det lär dröja alltför länge innan vi får sådan utrustning permanent. Tills dess får vi sänka ambitionsnivån och i mån av personella resurser på respektive flygplats använda andra konventionella hjälpmedel. Det skall dock påpekas att metoden att använda direkta mätningar med hjälp av ballong och mast ansetts som mycket värdefull de gånger dessa möjligheter funnits.

Tillkännagivande

Idén till mätstationen på Lastlavaberget kom 1970 från föreståndaren vid vädertjänsten i Sundsvall, Sten Hjalmarsson. I samarbete med L-O Turesson på Luftfartsverket kunde mastprojektet, efter diverse födslovåndor, tas i bruk 1976.

Föreliggande rapport är resultatet av en undersökning som pågått i ett antal år vid vädertjänsten i Sundsvall. Resultatet har framkommit genom ett teamarbete där stor del av personalen deltagit. Sent skall glömmas de huttrande arbetskamrater som i temperaturer mellan 25 och 30 minusgrader utfört temperatur- och vindsonderingar.

Uppskattade var också de givande diskussionerna med Svante Bodin FUA och Tage Andersson VBF.

Ett tack också till Anita Bergstrand som ritat fig och till Lillie Sjökvist som renskrivit och tolkat mina hieroglyfer.

Litteratur

- Businger, J A : The atmospheric boundary layer, remote sensing of the troposphere. VE Derr, Govt. Printing Office, Washington D. C. 1972.
- Dahlqvist, H : Rapport från försök med förhyrd sodar på Fl3M sep-dec 1977. MVC rapport F9, juni 1978.
- Holmgren, Jacobsson, Ottersten : Sondering av atmosfärens gränsskikt med vertikalsodar. FOA rapport C 30077-e1, juli 1976.
- Holton, J R : Introduction to dynamic meteorology. Chapt 6. Mc Graw Hill, 1972.
- Jacobsson, C : Undersökning med vertikalsodar Sundsvall 1977 och Arlanda 1979. Rapport Arlanda, 1979.
- Ottersten, H : Fjärranalys av skiktning och turbulens i troposfären med mikrovågsradar och akustiska metoder. STU rapport, 1973.
- Ottersten, Hurtig, Stilke, Brümer, Peters : Shipborn sodar-measurements during jonswap 11. Geophys. Research 1979, pp 5575-5584.
- Salomonsson, Ivarsson : Sodar-measurements of the boundary layer. Met.inst. Reports No 50. Uppsala, 1978.

SMHI Rapporter, METEOROLOGI OCH KLIMATOLOGI (RMK)

- Nr 1 Thompson, T, Udin, I och Omstedt, A:
Sea surface temperatures in waters surrounding Sweden (1974)
- Nr 2 Bodin, S:
Development on an unsteady atmospheric boundary layer model (1974)
- Nr 3 Moen, L:
A multi-level quasi-geostrophic model for short range weather predictions (1975)
- Nr 4 Holmström, I:
Optimization of atmospheric models (1976)
- Nr 5 Collins, W G:
A parameterization model for calculation of vertical fluxes of momentum due to terrain induced gravity waves (1976)
- Nr 6 Nyberg, A:
On transport of sulphur over the North Atlantic (1976)
- Nr 7 Lundqvist, J-E och Udin, I:
Ice accretion on ships with special emphasis on Baltic conditions (1977)
- Nr 8 Eriksson, B:
Den dagliga och årliga variationen av temperatur, fuktighet och vindhastighet vid några orter i Sverige (1977)
- Nr 9 Holmström, I och Stokes, J:
Statistical forecasting of sea level changes in the Baltic (1978)
- Nr 10 Omstedt, A och Sahlberg, J:
Some results from a joint Swedish-Finnish Sea Ice Experiment, March, 1977 (1978)
- Nr 11 Haag, T:
Byggnadsindustrins väderberoende, seminarieuppsats i företagsekonomi, B-nivå (1978)
- Nr 12 Eriksson, B:
Vegetationsperioden i Sverige beräknad från temperatur-observationer (1978)
- Nr 13 Bodin, S:
En numerisk prognosmodell för det atmosfäriska gränsskiktet grundad på den turbulenta energiekvationen (1979)
- Nr 14 Eriksson, B:
Temperaturfluktuationer under senaste 100 åren (1979)
- Nr 15 Udin, I och Mattisson, I:
Havsis- och snöinformation ur datorbearbetade satellitdata - en metodstudie (1979)

- Nr 16 Eriksson, B:
Statistisk analys av nederbördsdata. Del I. Arealnederbörd (1979)
- Nr 17 Eriksson, B:
Statistisk analys av nederbördsdata. Del II. Frekvensanalys
av månadsnederbörd (1980)
- Nr 18 Eriksson, B:
Årsmedelvärden (1931-60) av nederbörd, avdunstning och av-
rinning (1980)
- Nr 19 Omstedt, A:
A sensitivity analysis of steady, free floating ice (1980)
- Nr 20 Persson, C och Omstedt, G:
En modell för beräkning av luftföroreningars spridning och
deposition på mesoskala (1980)
- Nr 21 Jansson, D:
Studier av temperaturinversioner och vertikal vindskjuvning
vid Sundsvall/Härnösands flygplats (1980)
- Nr 22 Sahlberg, J and Törnevik, H:
A study of the large scale cooling in the Bay of Bothnia (1980)

