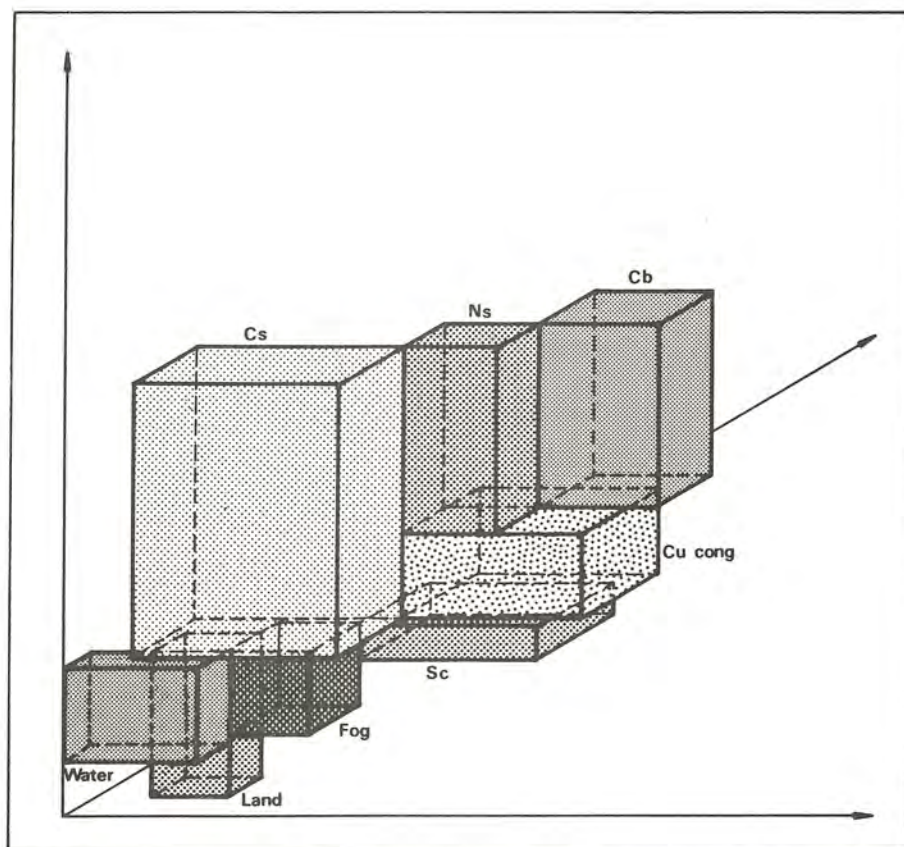




ANALYS AV MOLN OCH NEDERBÖRD GENOM AUTOMATISK KLASSNING AV AVHRR DATA

av Erik Liljas

ANALYS AV MOLN OCH NEDERBÖRD
GENOM AUTOMATISK KLASSNING
AV AVHRR DATA

ANALYSIS OF CLOUDS AND PRECIPITATION
THROUGH AUTOMATED CLASSIFICATION
OF AVHRR DATA

av Erik Liljas

Issuing Agency		SMHI Box 923 S-601 19 NORRKÖPING SWEDEN	Report number	RMK 32
			Report date	May 1981
Author(s)				
ERIK LILJAS				
Title (and Subtitle)				
Analysis of clouds and precipitation through automated classification of AVHRR data.				
Abstract				
A great deal of essential information is lost in the widely used quick-look pictures covering large areas and produced in black and white for visible and infrared radiation. The goal of this study was to find an effective way to use cloud information in satellite imagery. Through the interactive image analysis system at the Swedish Space Corporation it has been possible to make multi-spectral classification of AVHRR data. This classification of different cloud types provides the forecaster with a cloud image on a colour video display. Different stages of convection in different colours indicates stability and moisture conditions in the troposphere. A qualitative measure of the precipitation intensity has been derived from the satellite imagery of nimbostratus and cumulonimbus. The classification also implies a very great reduction of the data volume in the satellite imagery. This, in turn makes it possible for remotely situated weather services with telephone connexion to use processed satellite information.				
Key words				
Weather satellites TIROS-N, AVHRR, cloud classification, precipitation intensity				
Supplementary notes		Number of pages	Language	
Partly financed by Swedish Board for Space Activities (DR 2224/DR 2613)		25	SWEDISH	
ISSN and title				
0347-2116 SMHI Reports Meteorology and Climatology				
Report available from:				
Libers Grafiska AB/Förlagsorder S-162 89 Stockholm Sweden				

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	SID
1. Inledning	1
1.1 Satellitbilder för analys och prognos av större vädersystem	1
1.2 Satellitbilder som diagnostiska instrument för mindre vädersystem	1
1.3 Brister i nuvarande bildinformation från satelliter och avsikten med studien i bildbehandling	2
2. Satelliter	3
2.1 TIROS-N och NOAA-6	3
2.1.1 Instrument	4
3. Molnklassificering	5
3.1 Klassificeringsteknik	5
3.1.1 Styrk klassning	6
3.1.2 Parallelepipedisk klassning	8
3.2 Resultat av molnklassificering	12
4. Bestämning av nederbördsintensitet	12
5. Bildkapitel	14
6. Begränsningar i automatiska satellitbildanalyser och idéer till vidareutveckling	21
6.1 Molnen belyses inte alltid av solen	21
6.2 Tidsupplösning	21
6.3 Problem med tunna och skiktade moln	22
6.4 Kalibrering av IR-data	22
6.5 Normalisering av VIS och NIR-data	23
6.6 Geometriska korrektioner	24
6.7 Andra typer av molnklassning	24
6.8 Utveckling inom satellittekniken	24
6.9 Utveckling av bearbetningsteknik	24
6.10 Datareduktion	25
7. Slutsater	25
Appendix	
1. Grundläggande	1
1.1 Strålningslagar	1
2. Atmosfärens påverkan på strålning	3
3. Mätningar i atmosfäriska fönster	4
3.1 Band i det synliga ljuset	5
3.2 Band i det infraröda ljuset	5
3.3 Mikrovågsband	6

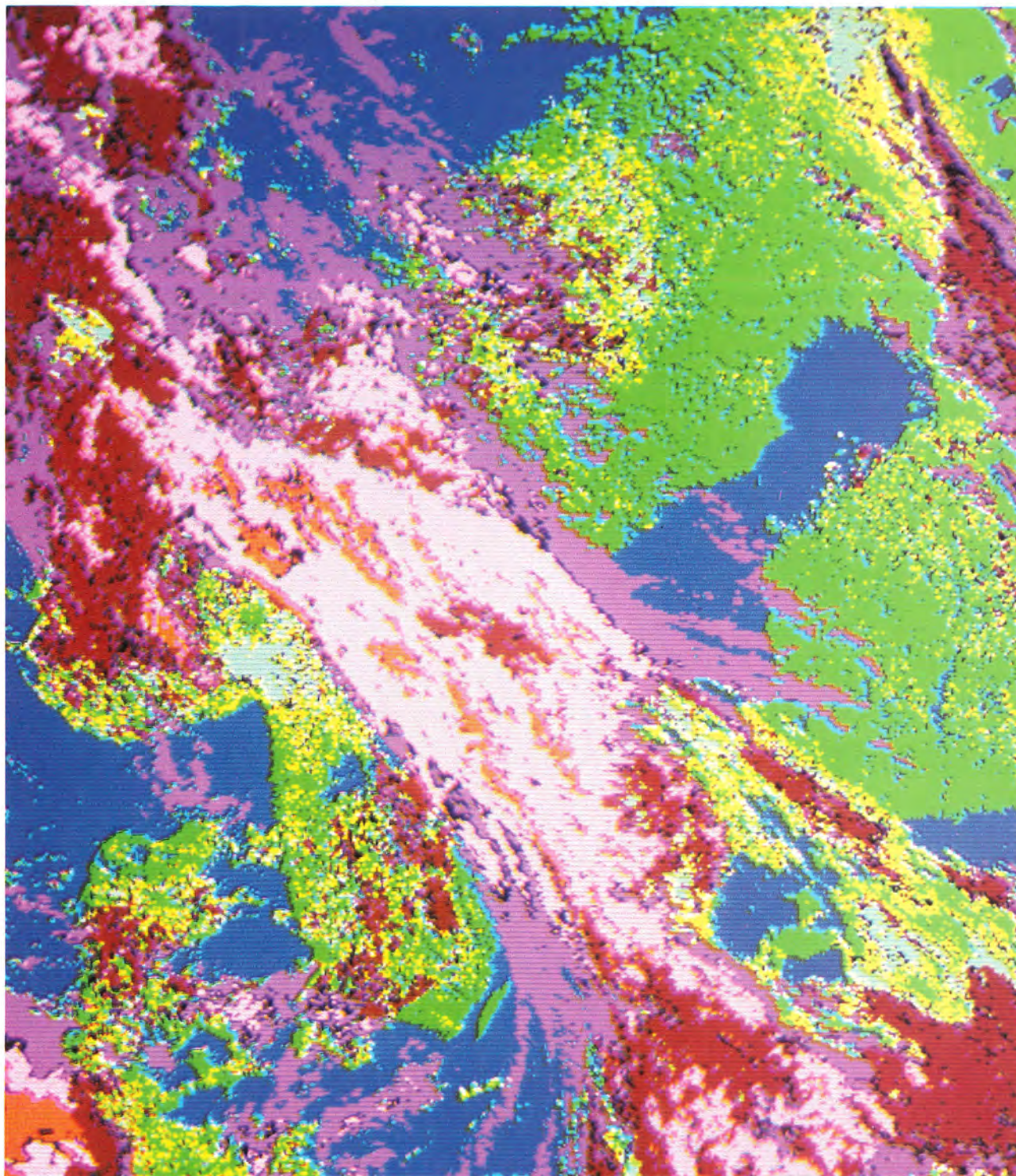


Bild 7

Resultat av multispectral molnklassning. Bilden visar en kallfront som från sydväst rör sig upp över landet. Molnen består av huvudsakligen nimbostratus (rosa) men även cumulonimbus (orange). Kallfronten följs av upptornade cumulus över Småland. Lila moln är cirrus och cirrostratus, gula moln är platta cumulus. Varje bildelement är ungefär 5x5 km.

1. INLEDNING

Utveckling av vädersystem beror i huvudsak på stabilitet i atmosfären, vädersystemets utvecklingsfas och underlagets påverkan. Utvecklingen av vädersystemen påverkar också rörelsen. Molnslag och molnmönster är i mycket hög grad indikatorer på olika atmosfäriska processer och avslöjar bl a stabilitet och underlagets inflytanden. En av vädersatelliternas viktigaste uppgifter är att ovanifrån registrera moln och molnmönster.

1.1 SATELLITBILDER FÖR ANALYS OCH PROGNOSE AV STÖRRE VÄDERSYSTEM

Analys och prognos av storskaliga vädersystem behandlas i dagens vädertjänst i stor utsträckning av datorer. Prognostikernas uppgift är därför i hög grad att finjustera datorproducerade fält och parametrar. Satellitbilder har i 13-14 år använts operationellt inom den synoptiska meteorologin.

Med hjälp av satellitbilder kan de synoptiska vädersystemens läge och utseende väl fastläggas vilket är synnerligen viktigt över observationsfattiga områden. Den tredimensionella molnstrukturen ger information om utvecklingsfas. Molnsystemens utseende kan utnyttjas prognostiskt bl a för att förutsäga utveckling av stormcykloner (Böttger m fl 1975, Eckardt 1979). Jetvindar, tråg- och ryggaxlar m m kan lokaliseras (Andersson m fl 1974). För dem som arbetar med väderprognoser i områden med tropiska orkaner, har satelliterna blivit ett av de viktigaste instrumenten (Dvorak 1975, 1977).

1.2 SATELLITBILDER SOM DIAGNOSTISKA INSTRUMENT FÖR MINDRE VÄDERSYSTEM

När det gäller analys och prognos av mindre vädersystem saknas fortfarande på de flesta vädertjänster numeriska modeller och utvecklade metoder.

Sedan den första vädersatelliten sändes upp 1960 har satellitinformationen fått allt högre upplösning både i tid och rum. Meteorologer har därigenom fått ett allt bättre verktyg för diagnos och prognos av även subsynoptiska vädersystem (skala ca 10-500 km). Dessa system är ansvariga för mycket av det väder som meteorologen måste kunna förutsäga.

På satellitbilder kan man väl lokalisera konvektiva processer i den subsynoptiska skalan som t ex områden med åskaktivitet eller områden som står i samband med virvlingsmaxima i troposfären. Utveckling av dessa områden kan ofta påverka de större vädersystemen (Purdom 1976, Steinhurst 1979).

Satellitbilder kan avspegla stabilitetsförhållanden i troposfären genom att visa olika grader av konvektion. Särskilt över hav uppenbarar sig kraftig konvektion i öppna celler (Cb eller Cu congestus), svag konvektion i slutna celler (Sc). Stabilare atmosfär med inversion avspeglar sig i andra molnformationer och molntyper och framträder ofta som lävågor bakom berg (Ac, Sc). Stabila och fuktiga förhållanden i den understa troposfären visar sig i områden med dimma och stratus.

Molnmönster i olika skalor och molntyper och deras förändringar observerade från satelliter kan alltså betraktas som indikatorer på atmosfäriska processer och stabilitetsförhållanden. Utsikten från satelliterna har också givit meteorologerna information om tidigare okända molnmönster. Rutinmässigt studium av väl tillrättalagda satellitbilder ger meteorologen bättre förståelse för underlagets påverkan på moln och vädersystem. Förståelsen av molnstruktur och molnmönster ger efterhand meteorologerna en ny erfarenhet, nya modeller, som kan utnyttjas på framför allt mindre rumsskala och kortare tidsskala (Andersson 1978).

Lagring av relevant satellitinformation för senare bearbetning kan också leda till utveckling av mesoskalig klimatologi (Steinhorst 1979, Kreizberg 1976). Denna erfarenhet och klimatologi kan användas för förfining och parametriseringsarbete av storskaliga modeller. Satelliterna har fördelen av total geografisk täckning. Varje del av ett land övervakas med samma instrument.

1.3 BRISTER I NUVARANDE BILDINFORMATION FRÅN SATELLITER OCH AVSIKTEN MED STUDIEN I BILDBEHANDLING

Den senaste generationens vädersatelliter registrerar reflekterad och emitterad strålning i ett flertal våglängdsintervall, kanaler. Informationen som är digital har hög upplösning i rummet och i intensitetsnivåer. Mycket av den stora informationsmängden går förlorad eller är svår att tillgodogöra sig när passagera framställs i svartvita bilder som täcker mycket stora områden och när man presenterar separata bilder för synligt och infrarött ljus.

För att framställa bilder som är anpassade efter operativ prognostjänst är det av vikt att en automatisk teknik utvecklas, som i nära realtid ger meteorologen moln- och väderinformation och som medför ett maximalt utnyttjande av satellitinformationen. Det är uppenbart att en automatisk datorbehandling och analys är den enda realistiska vägen att assimilera satellitdata i ett realtidssystem för prognoser.

I denna studie har gjorts en undersökning av möjligheten att sammanställa satelliternas olika kanaler (multispectral analys) till bilder som visar vädersystems uppbyggnad av olika molnslag. Försök har gjorts att uppdelat konvektiva moln i olika grader från små platta cumulus till åskmoln.

De nederbördsgivande molnen, cumulonimbus och nimbostratus, har studerats separat för att lokalisera områden med olika nederbördsintensitet.

Markobservationer av moln och väder görs alltför glest i tid och rum för att man väl skall kunna lokalisera mindre vädersystem. Näst av synoptiska stationer blir långsamt ännu glesare, därför

måste en komplettering ske med nya observationskällor. Undersökningen är därför också ett led i att visa potentiella möjligheter hos satelliter att tillsammans med andra instrument ge väderinformation på olika skalor som komplement till bl a det synoptiska stationsnätet.

2. SATELLITER

Det finns två typer av vädersatelliter; polära och geostationära.

De polära roterar runt jorden i plan som bildar nästan 90° vinkel mot ekvatorialplanet, de passerar i närheten av syd- och nordpolen.

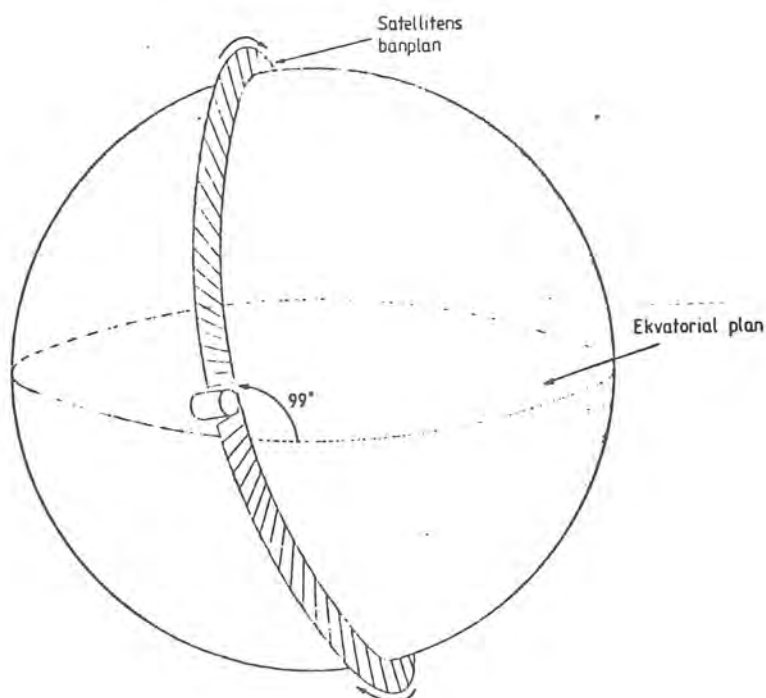
Omloppstiden, som beror på banradien eller höjden över jorden, är cirka 100 min. för de nu operationella polära satellitsystemen TIROS-N och Meteor-2.

Satelliterna gör således drygt fjorton varv per dygn och täcker vardera alla områden på jorden var 12 timme, norr om 60° latitud minst 4 ggr per dygn.

De geostationära satelliterna betraktar jorden från en höjd på 35 800 km, vilket medför att omloppstiden är 23 tim 56 min. Satellitens rotationsplan sammanfaller med ekvatorialplanet och satelliten står stilla relativt jordytan.

2.1 TIROS-N OCH NOAA-6

De satellitdata som utnyttjas i denna studie är från TIROS-N och NOAA-6. Dessa satelliter är de två första i TIROS-N serien, den s k 3:e generationen av operationella amerikanska polära satelliter. Dessa satelliter sänder i realtid både analoga data via Automatic Picture Transmission (APT) och digitala data via High Resolution Picture Transmission (HRPT)



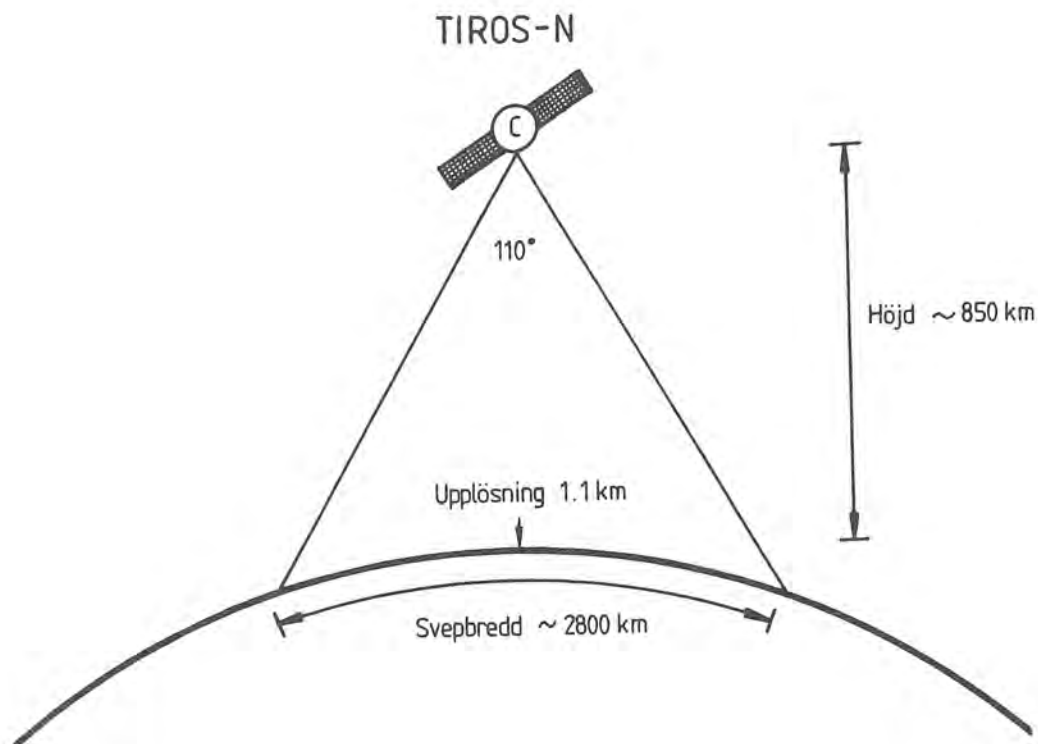
Figur 1. TIROS-N satelliternas banor

4.

Satelliterna har omloppsbanor med ca 850 km höjd och omloppstid 102 minuter. Banplanets lutning är 99° mot ekvatorialplanet. Denna lutning mot ekvatorialplanet medför att satellitens rotationsplan vrider sig ett varv på ett år och satelliterna passerar ekvatorn alltid vid samma lokala tid, satelliterna är solsynkrona.

2.1.1 INSTRUMENT

Instrumentet för "bildtagning" är Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR). Detta instrument ger data över både APT och HRPT. HRPT ger full upplösning 1.1 km rakt under satelliten medan APT-upplösningen är lägre, cirka 4 km.



Figur 2.

AVHRR är en svepande radiometer som är känslig i fyra spektralområden. En femte kanal kommer att adderas till senare satelliter i serien.

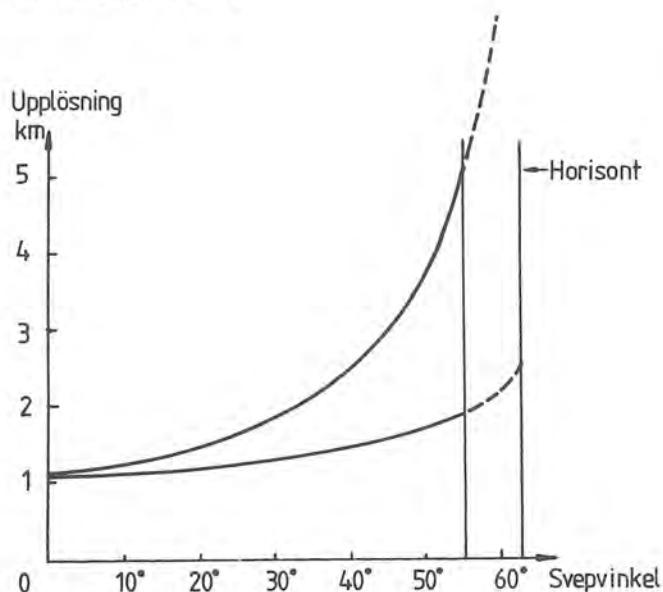
TIROS-N och NOAA-6

Ch 1	Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 5
0.55-0.9 (0.58-0.68 i NOAA-6)	0.725-1.1	3.55-3.93	10.5-11.5	repetition av Ch 4

IR-kanalerna kalibreras mot rymden ($T = 0^\circ\text{K}$) och en svart kropp i radiometern. Kalibreringsdata ingår i flödet av HRPT-data. Temperaturupplösningen är 0.12° vid 300 K, uppdelad i $2^{10} = 1024$ digitala nivåer. Ch 3 är orienterad mot högre temperatur, Ch 4 mot lägre. Genom att mäta i flera kanaler kan man vid temperaturbedömning enklare kompensera atmosfärens påverkan av strålning. Svepvinkeln är $\pm 55.4^\circ$ och satelliten sveper över

ett område som är cirka 2800 km brett.

Upplösningen är 1.1 km rakt under satelliten. Upplösningen avtar utåt bildkanterna enligt figur 3. Svepet uppdelas i 2048 bildenheter.



Figur 3. Upplösningens avtagande utåt bildkanterna. Den övre kurvan visar upplösningen längs svepet, den undre vinkelrät mot svepet.

3. MOLNKLASSIFICERING

I undersökningen har använts digitala TIROS-N data inspelade vid Tromsø satellittelemetrastasjon. Med hjälp av väderkartor och satellitbilder har några vädersituationer från 1979 valts. Dessa vädersituationer innehåller både områden med klart väder, lätt molnighet och mer eller mindre intensiv nederbörd med åska. I den första studien har middagspassager studerats. Detta har medfört att molnen och jordytan har be-lysts på ett relativt uniformt sätt. Normalisering av data i VIS och NIR har ej behövts.

3.1 KLASSIFICERINGSTEKNIK

Klassificeringsarbete har utförts på Rymdbolagets interaktiva bildbearbetningssystem. Detta system har utvecklats av MDA i Kanada och kallas Image Analysis System, IAS. Systemet består av färgbildskärm, knappsats med alfanumerisk skärm, radskrivare (printer) och ritare (versatecplotter). Dessa delar är kopplade till dator med kringutrustning. Färgbilderna byggs upp med 512 x 512 bildelement. Vid arbetet med vädersatellitbilder har därför i de flesta fall en yta av cirka 600 x 600 km betraktats.

Man kan även välja vart annat, vart tredje bildelement osv eller medelvärdesbilder och på så sätt få olika skalor. Rymdbolagets IAS erbjuder en lång rad möjligheter att snabbt penetrera och behandla bildmaterial.

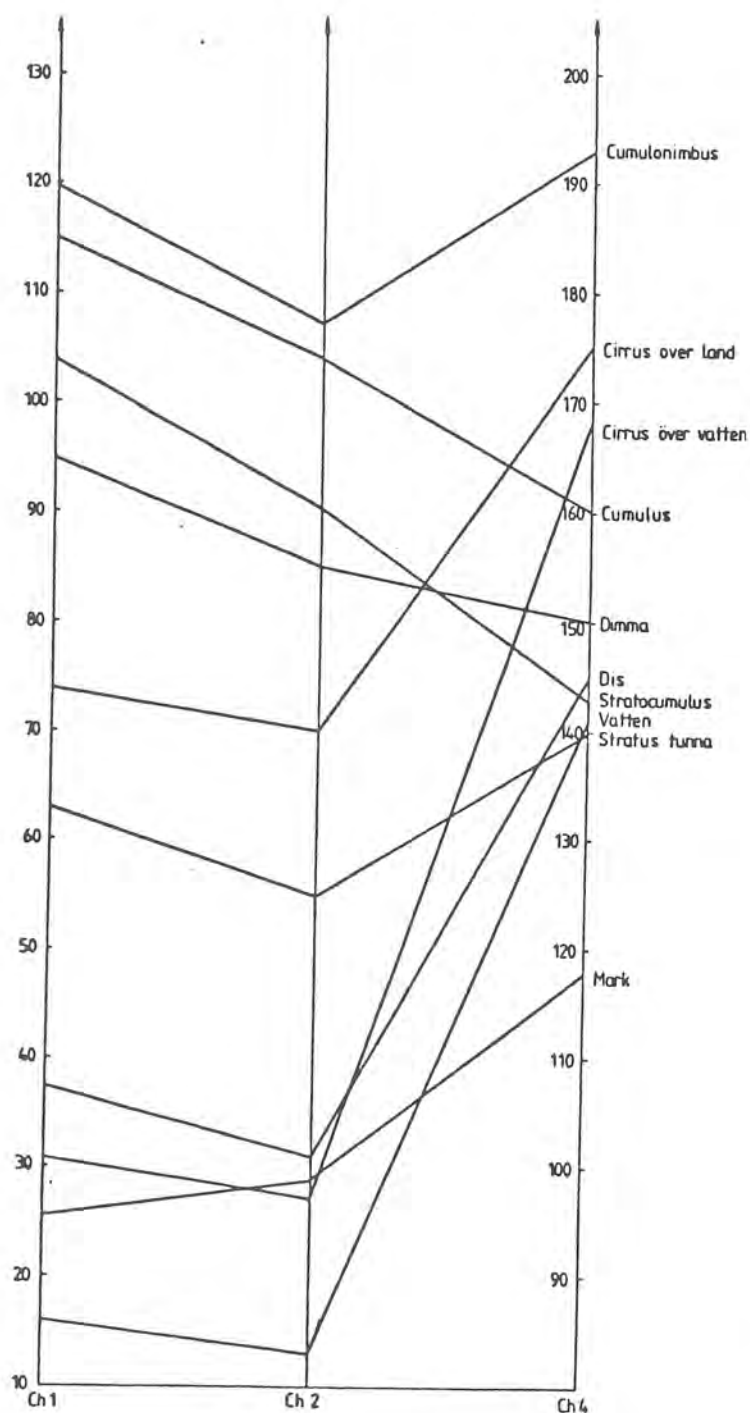
De intressanta passagerna genomgick först en geometrisk korrektion för att bilderna skulle bli mer kartriktiga. De 1024 digitalnivåerna dividerades med 4 för att komma ned till $2^8 = 256$ nivåer. (Lämpligare för IAS och i denna studie fullt tillräcklig upplösning).

6. 3.1.1 STYRD KLASSNING

Genom studier i de olika kanalerna och genom studier av väderkartor kunde områden med olika molnslag fastställas, dessutom fastställdes land och vattenytor utan moln. Dessa ytor utgjorde tpytor för den styrda trispektrala klassningen (supervised classification). Bilddata var från 23 maj 1979 klockan 14.15 lokal tid.

Tpytorna utgjordes av Cumulonimbus, Cumulus, Stratocumulus, dimma, tunna Stratus, dis, Cirrus över land, Cirrus över vatten, mark och vatten. För att åskådliggöra möjligheter att med hjälp av tre kanaler (Ch 1 $\approx 0.72\mu\text{m}$, Ch 2 $\approx 0.87\mu\text{m}$ och Ch 4 $\approx 1.1\mu\text{m}$) kunna skilja de olika tpytornas signaturer ritades diagram, figur 4.

Klassning av olika ytor den 23.5 1979.

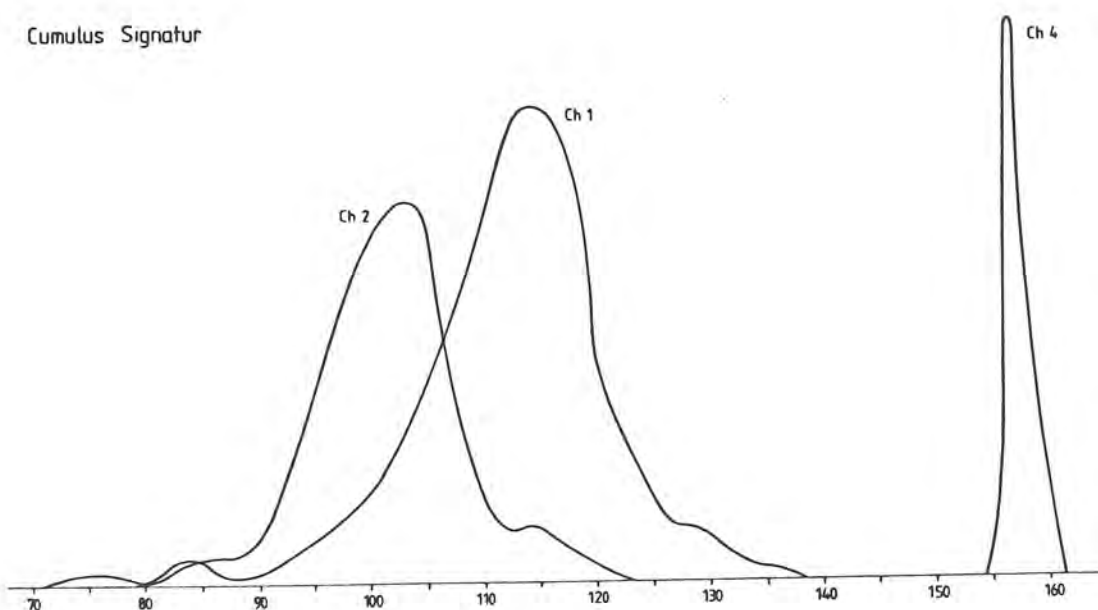
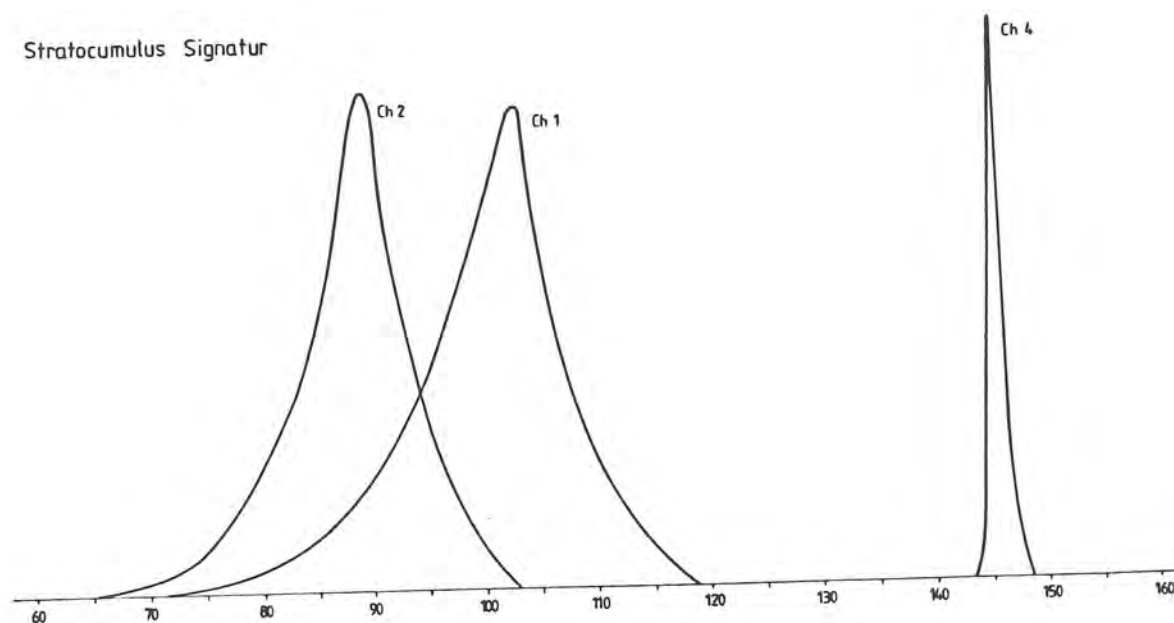


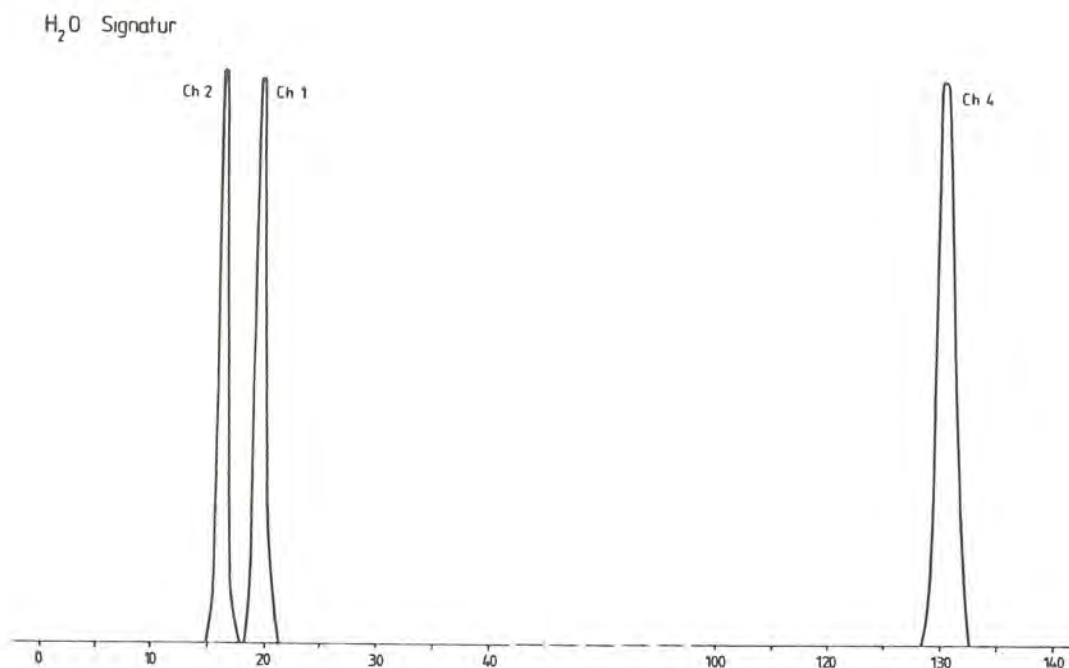
Figur 4.

Man finner att alla ytor ger klart åtskilda kurvor. Cb har största vitheten och är även kallast. Cirrusmolnen ger mycket låga temperaturvärden trots att de är genomskinliga för solstrålningen. Kurvorna i Ch 1 och Ch 2 är praktiskt taget parallella men marken ger en avvikande lutning. Markytorna har högre reflektivitet i NIR än i VIS.

Denna egenskap kan utnyttjas för att skilja land från vatten då temperaturen är sammanfallande.

Typiska signaturer visas i fig. 5.





Figur 5 a-c. Signaturer för Sc, Cu och vattenytor.
 Skuggor och dagrar i molnen är mer påtagliga än
 variationer i översidans temperatur.
 Horisontell axel: Intensitet (brightness)
 Vertikal axel: Antal bildelement för varje
 intensitetsnivå

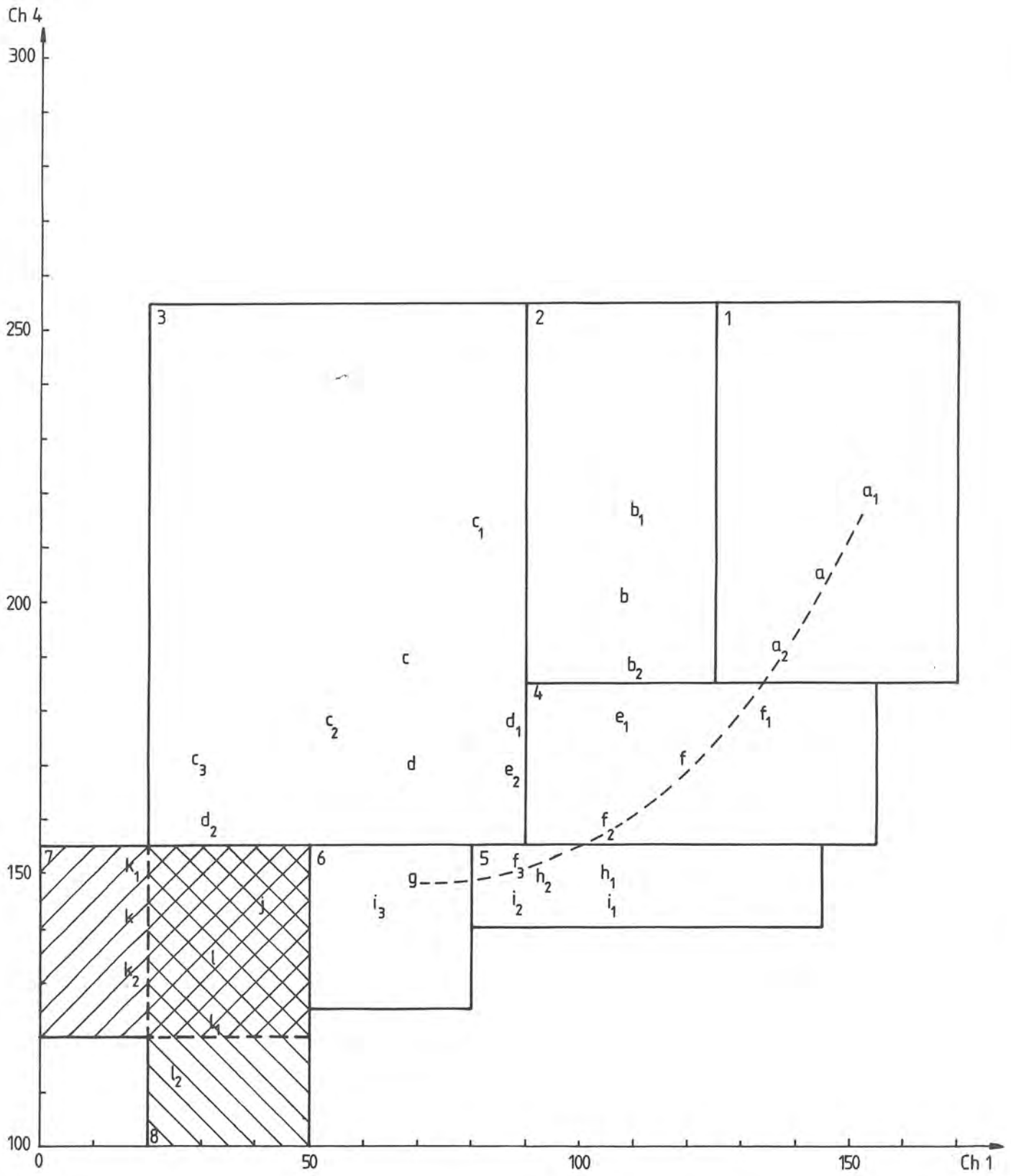
Ett liknande klassningsarbete utfördes även på satellitdata från 9 augusti 1979 kl 13.50. De ytor som studerades var delvis av samma art men här utgjorde även nimbostratus en av typerna. De olika molnslagets förmåga att reflektera solstrålningen överensstämmer med Liou's teoretiska arbete (Liou 1976).

Vid jämförelse mellan olika klassningar finner man att de olika ytorna fördelades på ett likartat sätt i tredimensionella diagram där kanalerna 1, 2 och 3 utgjorde axlarna. Registreringen av reflekterat ljus ger överensstämmande digitala värden bl a av den anledningen att solhöjden var likartad i de studerade fallen. De digitala IR-värdena varierade så lite från fall till fall att man inte kunde upptäcka glidningarna på skalan utan kalibrering. (Kalibrering av IR-data har ännu ej utförts inom projektet).

3.1.2 PARALLELEPIPEDISK KLASNING

Med hjälp av resultaten från de olika styrda klassningarna blev det möjligt att utföra en s k parallelepipedisk klassning. Denna klassning innebär att ett flerdimensionellt rum indelas i boxar efter det att man studerat olika typytors signaturer. Kombinationen av digitala data i de olika kanalerna och från en viss punkt bestämmer sedan i vilken box den hamnar och detta anser man avgörande för vilken typ av källa som utstrålat och reflekterat strålningen. För att bättre åskådliggöra den parallelepipediska klassningen i tre dimensioner (tre kanaler) visas två diagram, dels kombination Ch 1

och Ch 4, dels kombinationen Ch 1 och Ch 2. Figur 6 och 7.

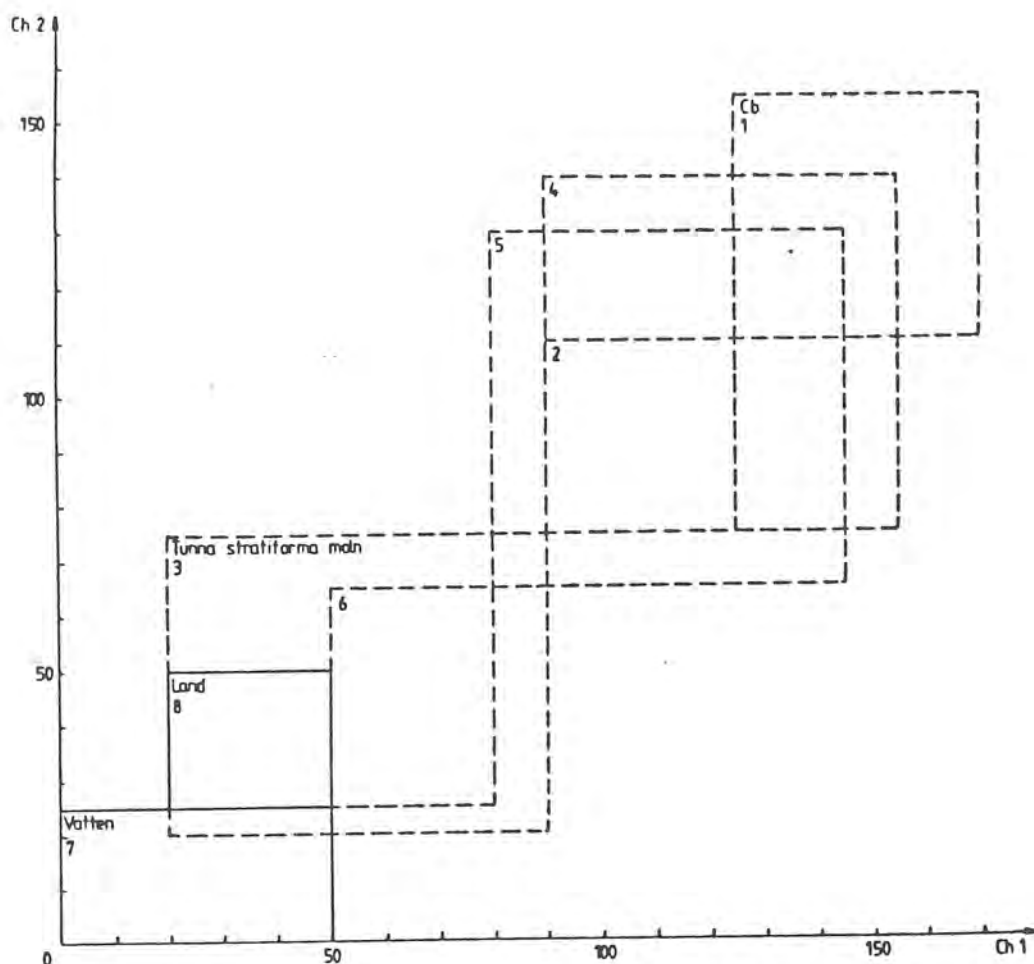


Figur 6.

Figur 6. Parallelepipedisk klassning gällande sommar-
månader och solhöjd $\sim 45^\circ$

Huvud- och molntyp

1. Cumulonimbus	a	
	a ₁	åskmoln med hög topp
	a ₂	bymoln med lättare skur
2. Nimbostratus	b	
	b ₁	stor vertikal mäktighet
	b ₂	lägre översida
3. Cirrostratus	c	
	c ₁	täta cirrostratus
	c ₂	cirrus
	c ₃	tunna cirrus över vatten
	d ₁	täta altostratus
	d ₂	tunna altostratus över vatten
	e ₂	tunna altocumulus
4. Cumulus congestus	f	
	e ₁	täta altocumulus
	f ₁	stora upptornade cumulus
	f ₂	mindre och plättare cumulus
5. Stratocumulus	h	
	h ₁	täta stratocumulus
	h ₂	ordinära
	f ₃	svagt upptornade cumulus klara områden mellan
	i ₁	mycket tät dimma/stratus
	i ₂	tät dimma/stratus
6. Dimma/stratus	i	
	i ₃	ordinär dimma/stratus
	g	cumulus humilis
7. Land	l	
	j	dis över vatten
	l ₁	åkermark vår eller höst
	l ₂	varm grönska
8. Vatten	k	
	k ₁	kallt
	k ₂	varmt



Figur 7. Kombination av kanal 1 (VIS) och kanal 2 (NIR)

Av figur 6 framgår att en kanal med reflekterad strålning och en med emitterad termisk strålning är tillräckligt för att skilja olika molnslag.

Separationen land-vatten görs bäst i kanal 2. (Denna separation är förmodligen mer accentuerad i NOAA-6 och följande satelliter i samma serie på grund av att kanal 1 och 2 hos dessa har mer separerade våglängdsområden)

I denna undersökning har 6 olika huvudmolnslag separerats plus mark och vatten. Man kan, om man finner det praktiskt och teoretiskt lämpligt, välja att framställa mindre boxar omkring de beteckningar som införts i figur 6.

Med den parallelepipediska klassningen som framställs blir endast ett litet fåtal punkter oklassade. Dessa punkter är dels kraftiga skuggor i kalla moln, dels solreflexer i varma vattenytor.

I figur 6 framgår också hur cumulusmolnens olika utvecklingsstadier är ordnade på en kurva. Anledningen att denna kurva är böjd enligt figuren är att ju mindre molnelementen är desto mer av underlagets reflektion kommer med i varje bildelement. Även den termiska strålningen ger ett större bidrag men kontrasterna mellan låga moln och underlag är oftast större i kanal 1 än i kanal 4.

3.2 RESULTAT AV MOLNKLASSIFICERING

Resultatet visas bäst av de bilder (kapitel 5) som framställts visande molnfördelningen några sommarsituationer. Jämförelse med observationer visar dels att metoden ger rätt indikation om molntyp dels en bild av molnfördelningen som är överlägsen den bild som enbart markobservationer ger. Av figur 6 framgår att flera molnslag i vissa fall "samsas" i samma box. När man t ex skall skilja stratus från cumulus humilis och stratocumulus samt altocumulus från cumulus congestus kan man ofta lätt göra detta genom att betrakta den geometriska molnstrukturen (texturen). Även denna urskiljning kan ske med hjälp av dator (Hawkins 1980) men detta är att komplicera datorinsatserna.

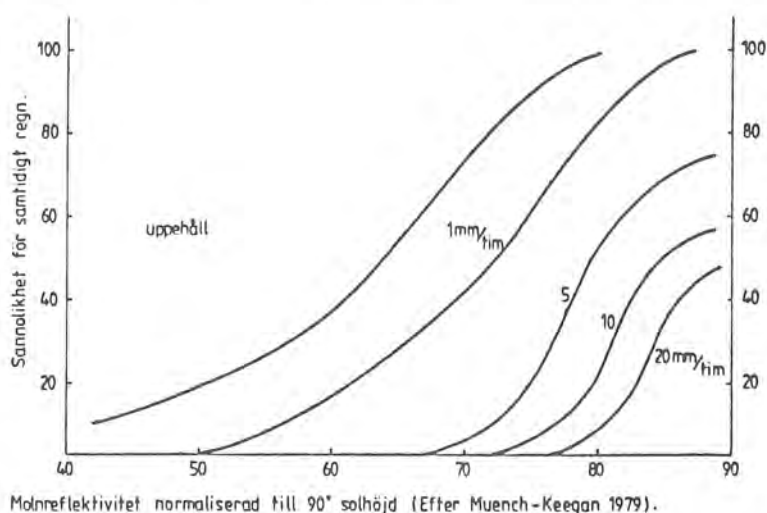
Molnbilderna ger också en god bild av hur vädersystem är uppbyggda av olika molnslag. Klassificeringen är så stabil att den med gott resultat kunnat användas för vädersituationer från olika tider av sommaren. (Detta gäller TIROS-N middagspassager; midsommar $\pm$ ca 50 dagar. För att gälla mer generellt behövs radiometrisk normalisering.)

4. BESTÄMNING AV NEDERBÖRDSINTENSITET

Även om molnen och molnigheten varit den mest självklara informationen från satellitbilder har en mängd försök också gjorts att utvärdera nederbörd. (Barett 1970, Fallansbee 1975, Griffith 1976 m fl). Under senare hälften av 70-talet har utvecklats den sk Oliver-Scofield tekniken med hjälp av vilken man kan beräkna nederbördsintensiteten i konvektiva system från IR-data. Metoderna att bestämma nederbörd är i de flesta fall applicerade på kraftiga konvektiva system och tillämpas med hjälp av data från geostationära satelliter. Metoden i denna studie är ämnad att leda till enkel realtidsinformation tillämpbar i korta prognoser både för front-bunden och konvektiv nederbörd.

Man kan vänta sig, att de ljusaste molnen på satellitbilden har samband med nederbörd, för under sådana förhållanden sprids det mesta ljuset ovan molnen och endast lite ljus når marken. Man har i alla tider vetat att när skyarna mörknar är det risk för nederbörd, ju mörkare himmel desto kraftigare nederbörd.

Muench-Keegan (1979) visade att nederbördsintensiteten och molnreflektivitet har ett tydligt samband som visas i figur 8.

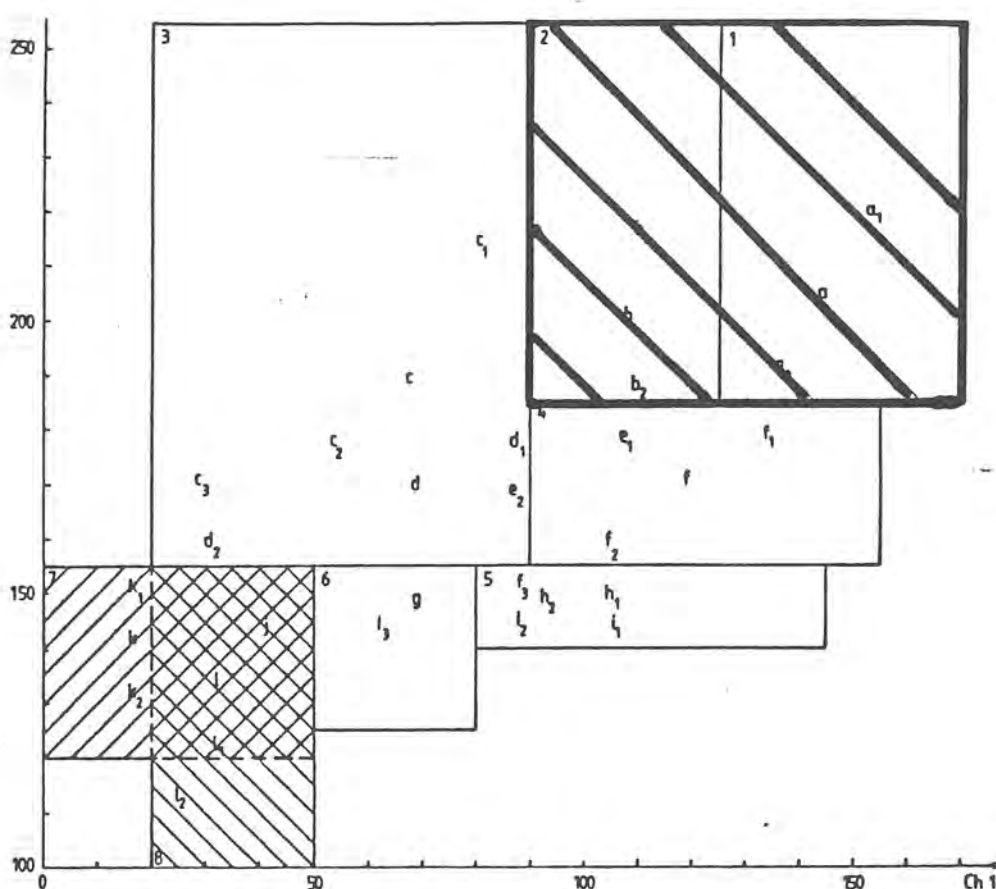


Figur 8.

Ett annat känt faktum när det gäller moln och nederbörd är att höga molntoppar har ett klart samband med kraftigare vertikalkvindar och därför också med större nederbördsmängder. Detta förhållande utnyttjades vid en av de första nederbördsstudierna med hjälp av satellit. (Lethbridge 1967).

Det är nästan uteslutande två molnslag som står i samband med nederbörd, nimbostratus och cumulonimbus. Dessa molnslag utgör det övre högra hörnet i figur 9.

Utgående från antagandet att de högsta och de tätaste molnen ger kraftigast nederbörd och de med lägre molntopp och mindre kraftig reflektion ger lägre gjordes klassningen av nederbördsintensiteter enligt figur 9 och tabell 1.



Figur 9. Klassning av nederbördsintensitet ur digitala VIS- och IR-data (Figur 6). Kriterium för nederbörd Ch 1 90, Ch 4 185 vilket motsvarar temperatur lägre än -12° - -15° .

Summan av digitalnivåer

		färg
Ch 1 + Ch 4	291-310	beige
	311-330	gul
	331-350	grön
	351-370	turkos
	371-390	ljusblå
	> 390	mörkblå
	lätt regn	
	mycket kraftigt regn	

Tabell 1.

Kriterium för nederbörd från Cb och Ns har i försöket varit att molntoppen skall vara kallare än $-12 - -15^{\circ}\text{C}$. Ett liknande försök av Muench-Keegan (1979), som redovisats efter detta projektarbete, stöder ovanstående antagande.

5. BILDKAPITEL

Satellitbilderna är resultatet av parallelepipedisk klassning med hjälp av 3 kanaler. I bilderna framställs 8 klasser i olika färger, 6 för moln och en för mark och en för vatten enligt figur 6 och 7.

1) Cumulonimbus	Röd orange
2) Nimbostratus	Rosa
3) Cirrostratus (altostratus, cirrus)	Lila
4) Cumulus congestus (altocumulus)	Brun
5) Stratocumulus (täta stratus)	Ljusblå
6) Cumulus humilis (tunna stratus)	Gul
7) Vatten	Mörkblå
8) Mark	Grön

Man avgör med hjälp av texturen i t ex den gula färgen om det är cumulus eller stratus.

Färgbilderna är fotograferingarna av bildskärmen i Rymdbolagets bildbearbetningssystem. Bilderna är starkt förminskade och har en lägre kvalitet än originalen. Här har valts två situationer, dels 24 maj 1979 och dels 9 augusti 1979.

Den 24 maj 1979 kl 14

Den 24 maj sträcker sig en front från gränsen mellan Polen och Östtyskland upp över Götaland, Svealand och Norrland. Fronten är bred och svår att lokalisera i markkanterna. Öster om fronten strömmar mycket varm och fuktig luft upp med sydvind. Temperaturen i Polen är upp till 30° och i Visby upp till 25° . I frontzonen utvecklas större och mindre områden med åskmoln, cumulonimbusduster", som rör sig i den sydliga luftströmmen. Mellan dessa förekommer områden med klart väder.

Med hjälp av de synoptiska observationerna i figur 10 är det mycket svårt att lokalisera de olika mesoskaliga vädersystemen. Informationen om intensiteten saknas fränsett att man får indikation om åska.

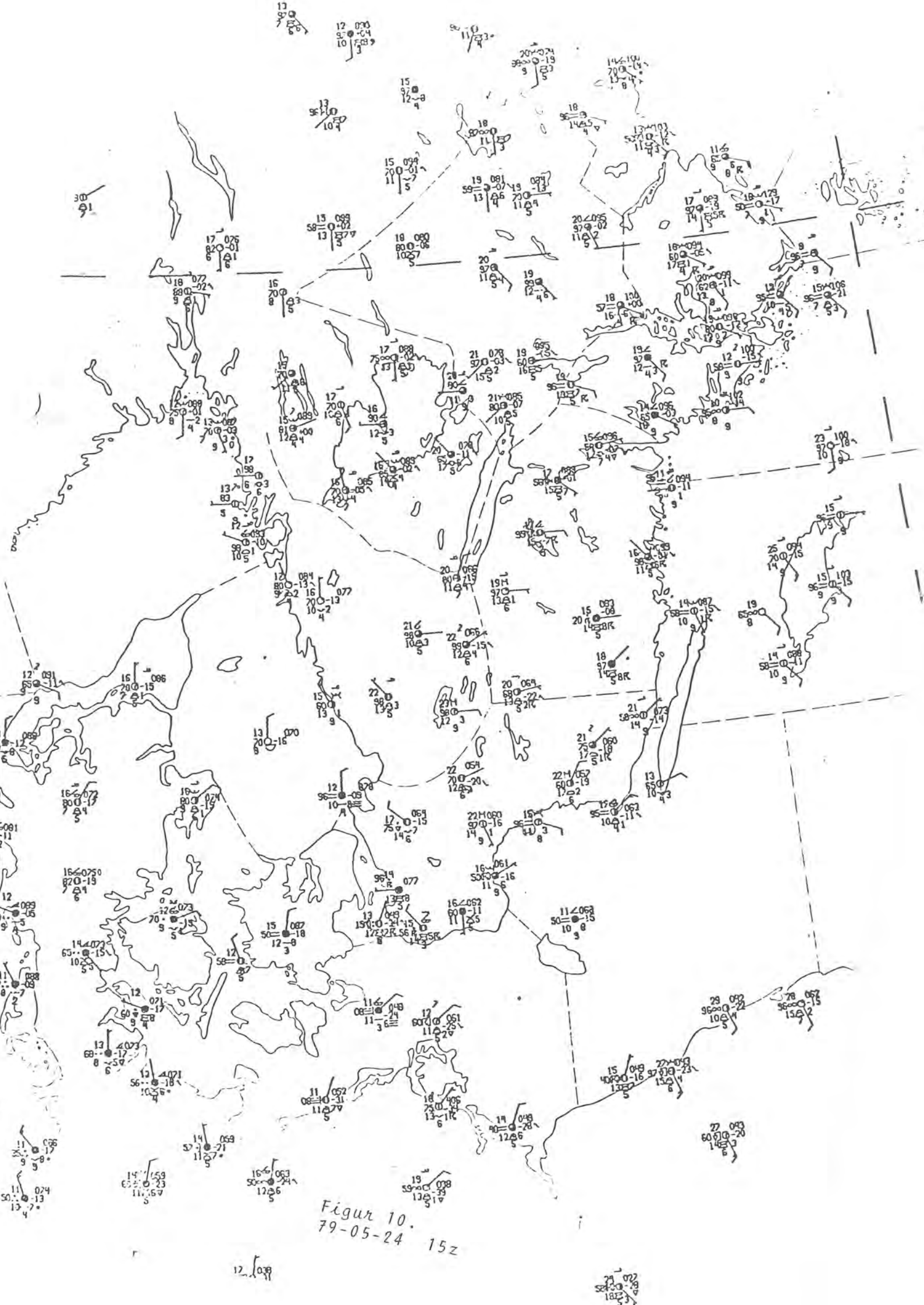


Bild 1 visar ett område som sträcker sig från södra Ångermanland i norr till Gotska Sandön i söder och från Vänern i väster till ostligaste Finland i öster. Frontzonen sträcker sig från norr till söder i bilden och i frontzonens instabila områden har bildats omfattande kluster av åskceller. I den norra delen av bilden har dessa försvagats och bildar ett täcke av främst nimbostratus.

I övre vänstra hörnet ser man dimma och dimmoln (gult) på Bottenhavet utanför Sundsvall och Härnösand.

Från trakten av Västerås över Gävle till sydvästra Bottenhavet finns band av Cb-celler.

Ner över Östra Södermanland utbreder sig cirrostratus bildade ur städ till Cb-cellerna längre söderut. Öster och väster om frontzonen är troposfären betydligt stabilare. Från västra Värmland upp över västra Dalarna finns ett omfattande område med stratocumulus, i den norra delen med inslag av upptornade cumulus.

En del observatörer anger fortfarande Cb på eftermiddagen, tro-
ligen därför att någon skur passerade på förmiddagen.

Bild 2 är en fortsättning på bild 1. Områden med Cb-celler täcker delar av Småland och Östergötland. Av bilden framgår att Cb-celler växer upp söderifrån. Cumulusmolnen växer från humulis till congestus och vidare till cumulunibus och städen breder ut sig åt norr och nordost med höjdvinden. Under det att de mesoskaliga vädersystemen rör sig norrut sker i detta fall hela tiden en nybildning av dessa i den södra delen. Man ser något av samma mönster i området som från Rügen sträcker sig upp mot Malmö-området.

Nära Oders mynning ser man Cb-moln som bildas nära kustlinjen och som sträcker sig ut över Östersjön. I den norra kanten växer städet ut i vindens riktning. (De svarta ytorna i syd-östra Östersjön är varmt vatten vilket i detta fall blivit oklassat.)

Bild 3 visar nederbördsfördelningen och intensitet enligt tabell 1. Mörkblå ytor motsvarar kvalitativt mycket kraftig nederbörd, bruna lätt nederbörd. Bilden täcker en yta som är fyra gånger större än var och en av bild 1 och 2. De kraftigaste skurarna kan lokaliseras till bl a Nässjö-trakten där Cb-cellerna enligt ovanstående bild är nybildade. Mycket kraftig nederbörd är också söderifrån på väg in mot sydvästra Skåne. I Sturup uppmättes vid 16-tiden en intensitet mellan 1 och 2 mm/min. I nedre vänstra hörnet finner man ett kraftigt regnväder som är på väg upp mot Jylland.

1979-05-24

kl 14

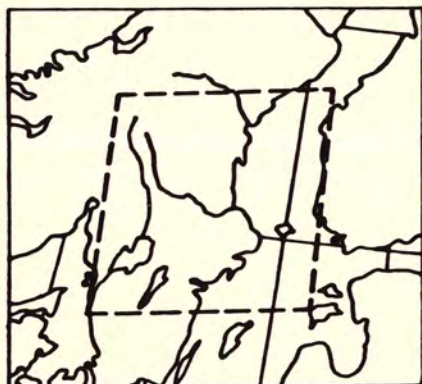


Bild 1

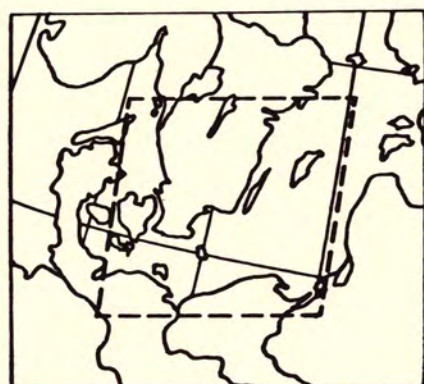
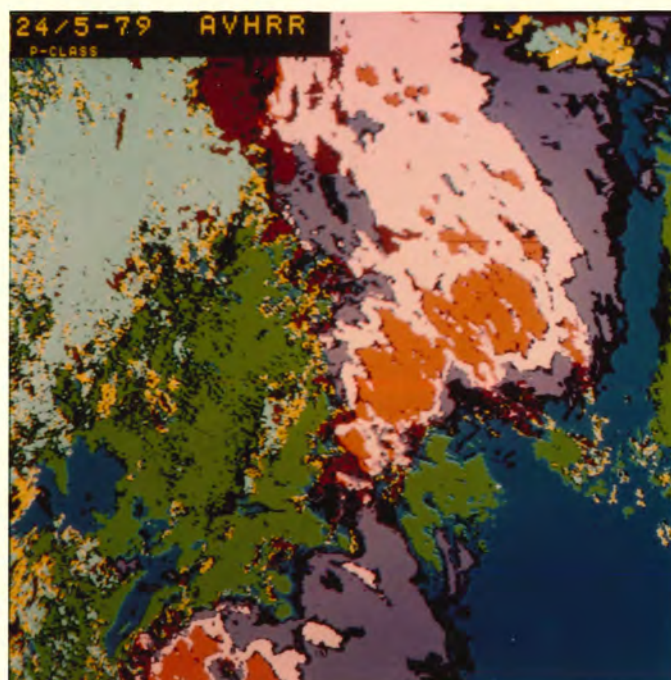


Bild 2

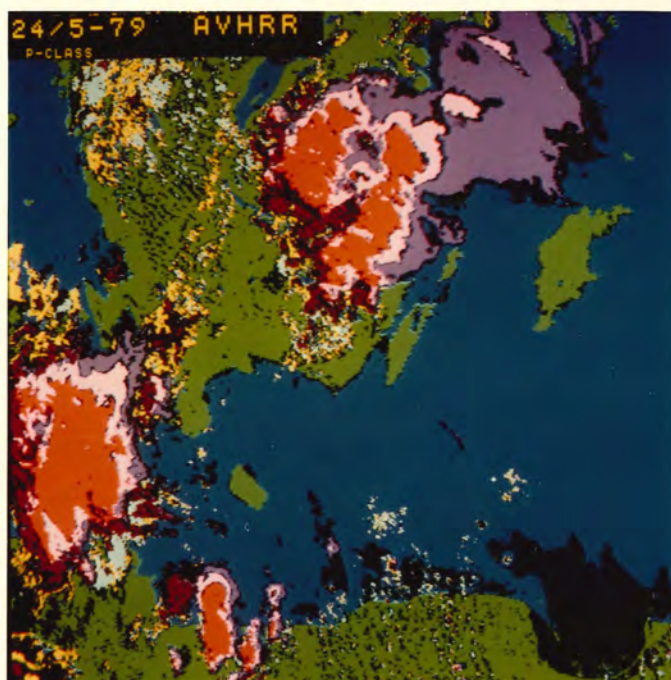
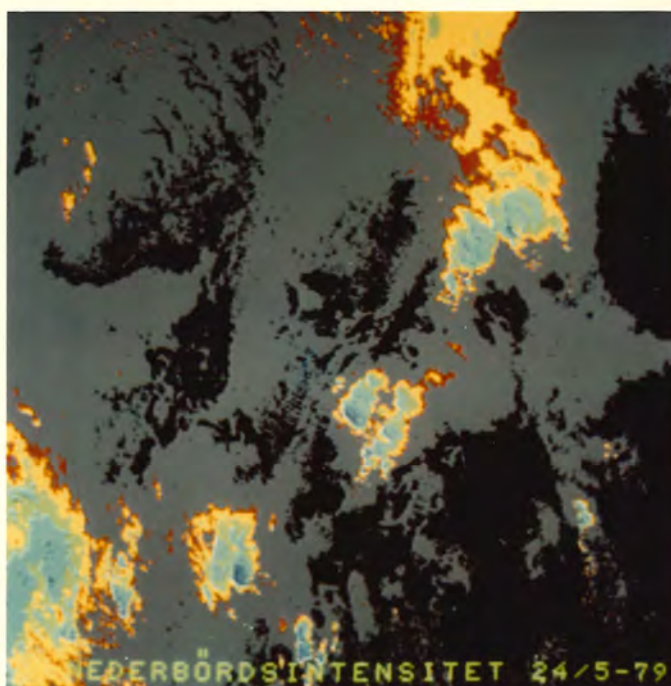
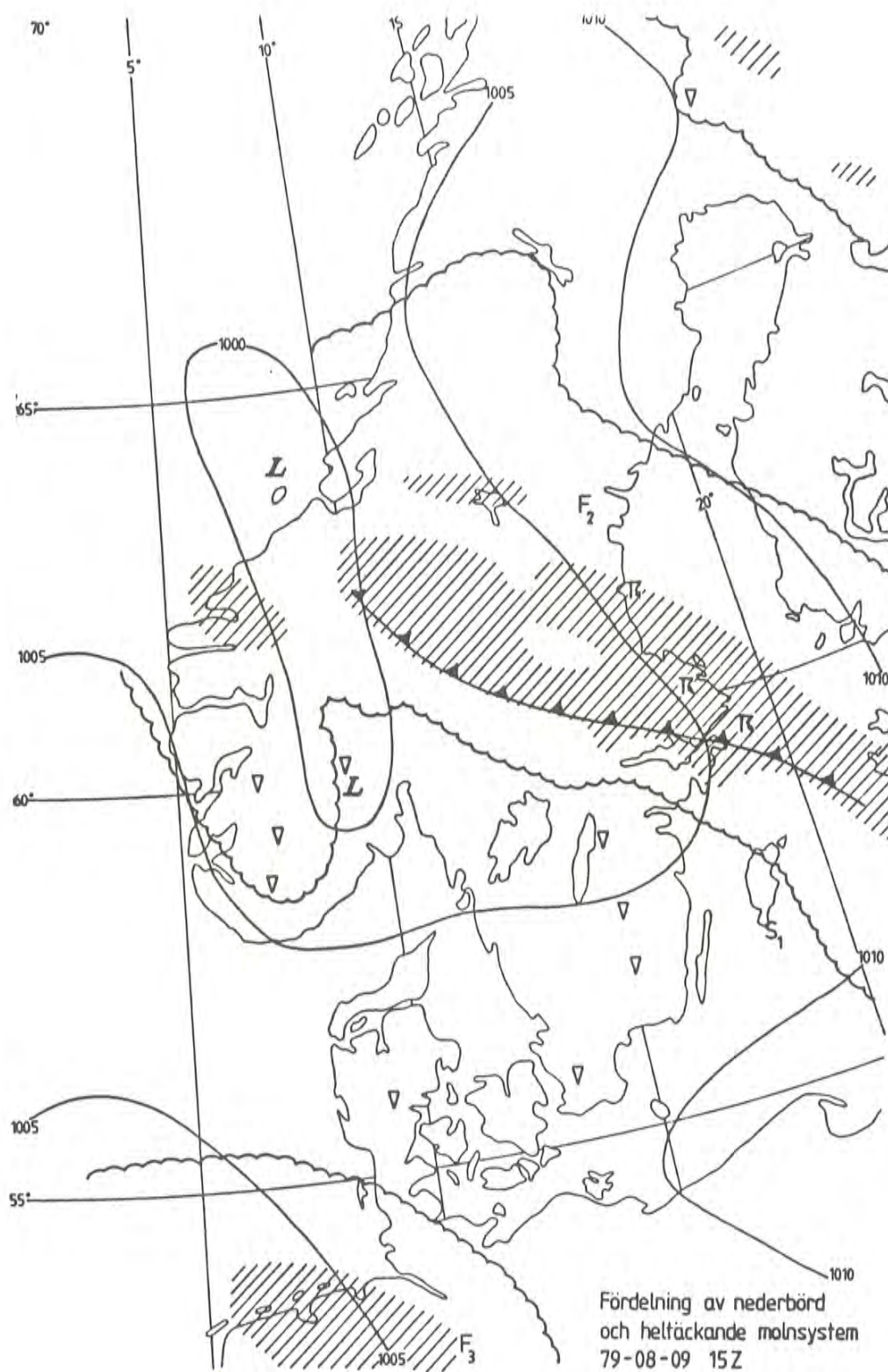


Bild 3



Den 9 augusti 1979 kl 14



Figur 11. En kallfront har från sydväst rört sig upp till Svealand. I samband med fronten förekommer åska och områden med kraftigt regn.

Bild 4 visar hur bakkanten på frontens molnsystem sträcker sig från norra Öland till Karlstad. Molnsystemet består huvudsakligen av nimbostratus. Inslagen av Cb är ordnade som band dels parallella med fronten dels i mindre skala vinkelräta mot höjdströmmen som är sydlig.

Bakom kallfronten bildas cumulus delvis ordnade i band i vindens riktning. Cumulusmolnen är tätast och mest upp-tornade över Sydsvenska Högländet. Över norra Skåne och Själland förekommer spridda flak av cirrus och täta alto-cumulus.

Över Kattegatt finner man tunna cirrus som ger upphov till "falska öar" i klassning.

Bild 5 visar nederbördsfördelningen och intensiteten i samma område som bild 4.

Några lätta skurar drar fram över Skåne och Själland. Detta framgår ej av de synoptiska observationerna men däremot av nederbördssammanställningen vid dagens slut. Över Småland förekommer mycket lätta skurar. Regnet i frontsystemet är mest lätt även med inslag av måttligt regn.

Fördelningen av regn och regnskurar enligt satellitbilds-klassningen stämmer väl överens med bilden man får vid en noggrann analys av de synoptiska observationerna.

Bild 6 visar nederbörden i en skala som täcker Norden (utom Island) och Baltikum. Jämför nederbördsanalys i figur 11 som gjorts oberoende av satellitdata.

Bild 7 visar molnfördelningen i samma område. I nedre vänstra hörnet är ett nytt nederbördsområde på väg mot södra Skandinavien. Det håller på och intensiveras.

Ovanstående två vädersituationer är typiska för vädret under sommaren i Skandinavien. Vädersystemen är relativt småskaliga och vädersystemen har en kortare livslängd. Bilderna visar att satellitbilden kan visa molnfördelning, molnslag och molnstruktur och därmed indikera stabilitet i troposfären, utvecklingsfas hos olika vädersystem och underlagets påverkan på vädersystem.

Jämförelse med analys av synoptiska nederbördsdata visar att man i de sommarsituationer som studerats inte kan avgöra om satellitinformationen ger falsk information. Tvärtom, den framtagna nederbördsinformationen kan anses som tilläggsinformation som visar

- a) var det finns skurar mellan de synoptiska observationerna
- b) nederbördsområdets utbredning över havsområden
- c) den relativa nederbördsintensiteten i skurar och i nederbördsområden

Metoden bör vidareutvecklas genom jämförande studier av radarinformation, data från registrerande nederbördsmätningar och satellitdata.

Med hjälp av objektiv nederbördsanalys från satellit kan det bli möjligt att ur successiva passager bedöma nederbördsområdets utveckling och rörelse.

1979-08-09

kl 14

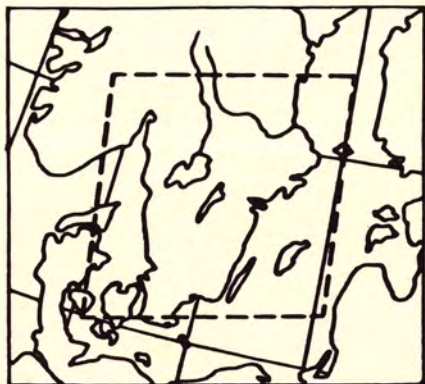


Bild 4

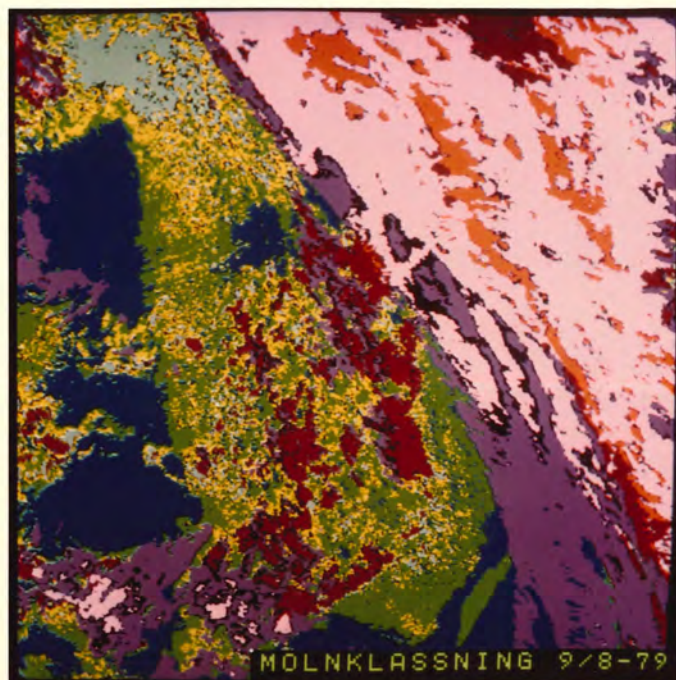


Bild 5

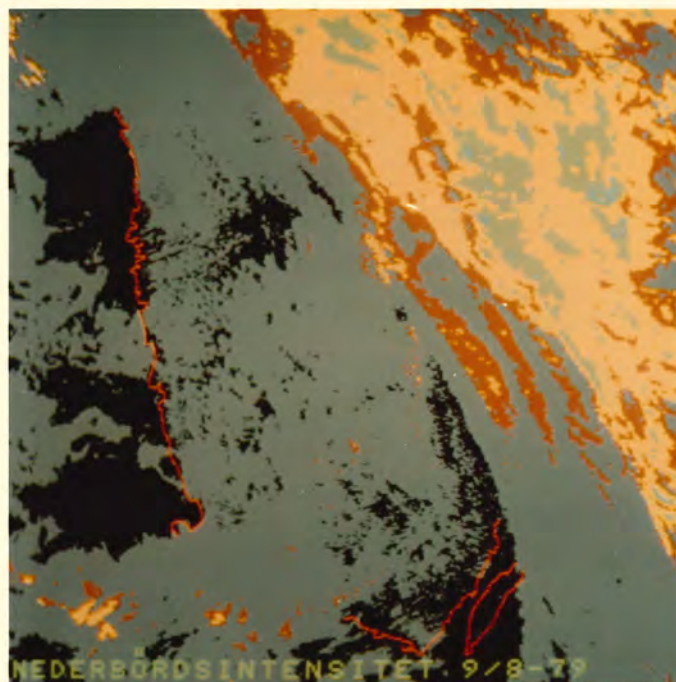
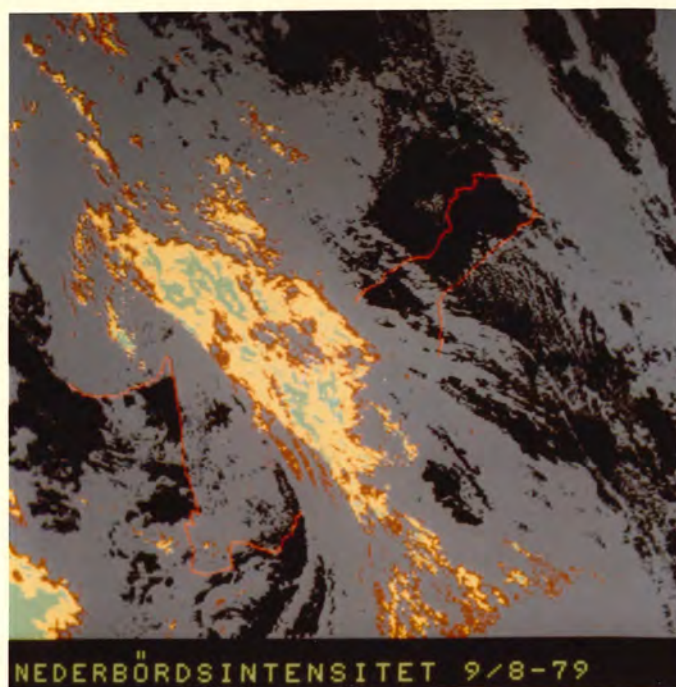


Bild 6



6. BEGRÄNSNINGAR I AUTOMATISKA SATELLITBILDSANALYSER OCH IDÉER TILL VIDAREUTVECKLING

6.1 MOLNEN BELYSES INTE ALLTID AV SOLEN!

Ungefär 60% av alla satellitpassager under året sker under tider då molnen är belysta. Den automatiska satellitbildsanalysen som beskrivits kan sommartid utnyttjas vid cirka 5 passager över södra Sverige och upp till 10 passager över norra Sverige. Vintertid begränsas metoden till middagspassagera, 1 el 2 över södra Sverige och 2 eller 3 över norra.

Då solen står mycket lågt eller är under horisonten kan emellertid datorbehandling av digital information från kanal 3 och 4 utnyttjas för att förstärka information av intresse. Temperaturkontraster i intressanta områden kan förstärkas så att man väl kan kartlägga t ex de låga molnens utbredning trots liten termisk kontrast mellan moln och underlag. I klara situationer med snö kan man erhålla kartor över marktemperaturen eftersom snöns emissivitet är nära 1. Den höga upplösningen gör det möjligt att genom strukturen skilja olika molnslag från varandra och att skilja mark från moln. Låga moln som stratus och stratocumulus kan ha nästan samma temperatur som underlaget men har jämfört med marken en homogen IR-strålning över stora ytor, slät kontrastskrovlig textur. Med en utvecklad datorbehandling av IR-information kan man erhålla mycket värdefull satellitinformation även mörka tider av dygnet.

6.2 TIDSUPPLÖSNING

De polära satelliternas tidsupplösning motsvarar inte den höga rumsupplösningen när det gäller att studera mesoskaliga väderprocesser. De två amerikanska polära satelliternas passager täcker södra Sverige (Götaland) cirka 6 gånger per dygn. Norra Norrland täcks ca 10 gånger per dygn.

En typisk tidsupplösning för södra Götaland är: 0450, 0800, 0940, 1450, 1750, 1930 (svensk tid). I genomsnitt 3 timmar mellan varje bild.

För norra Norrland: 0310, 0450, 0630, 0800, 0940, (1130), 1310, 1450, 1610, 1750, 1930 dvs medeltal 1 tim och 50 minuter mellan bilderna. Passagera är koncentrerade till tidig morgon och dag.

Tidsupplösning över södra Götaland medger inte en kontinuerlig uppföljning av mesoskaliga väderfenomen. Den höga upplösningen tillåter att man vid passagera kan lokalisera dessa och molnbilden kan ge information om utvecklingsfasen. För norra Norrland ges bättre möjlighet till uppföljning av vädersystemen. Kontinuerlig uppföljning av t ex enskilda åskmoln tillåts inte men utvecklingen hos de vädersystem som oftast står i samband med åskväder kan väl följas. Den höga rumsupplösningen kompenserar i någon mån den sämre tidsupplösningen genom att vädersystemens utveckling delvis kan avläsas i den fina molninformationen.

För uppföljning av intensiva konvektiva system används på lägre latituder de geostationära satelliterna. I regel får man från dessa bilder varje halvtimme. I experimentellt syfte kan man erhålla bilder var 3:e minut från de amerikanska geostationära satelliterna. Dessa bilder kan sättas samman till filmlooper som

skådligt visar häftiga konvektiva processer (Purdom 1979) För områdena kring 0°-meridianen planeras ett fortsatt operationellt METEOSAT-program från sommaren 1981. Med hjälp av METEOSAT 2 kan man få bilder över molnsituationen över Skandinavien. Den höga tidsupplösningen har inte motsvarande rumsupplösning på höga latituder. Varje bildelement har för synligt ljus en yta av ca 30 km² över sydligaste Sverige, 60-100 km² i norra Sverige. För IR har bildelementen en yta av cirka 120 km² resp 250-400 km². Motsvarande ytstorlek är i medeltal 2 km² för TIROS-N och NOAA-6.

Värdet av polära satelliter för bildinformation ökar med latitud medan värdet av geostationära satelliter minskar med latitud. I en zon mellan 45° och 60° latitud torde en kombination av polära och geostationära satelliter vara önskvärd. De olika satelliterna kan komplettera varandra.

6.3 PROBLEM MED TUNNA OCH SKIKTADE MOLN

Tunna cirrus och cirrostratus är alltid ett problem vid fjärranalys från satelliter. Dessa moln är ibland så tunna att de är svåra att urskilja i det synliga ljuset.

Man får delvis olika källor för reflekterad och emitterad strålning. Den brightness-temperatur som uppmäts är lägre än den verkliga om den under ytan anses som källa. Denna felkälla kan i fallet mycket tunna cirrus över varmt vatten i klassningen tolkas som land. Man kan få falska öar. Cirrostratus över ett täcke av cumulus eller altocumulus kan klassas som nimbostratus. I vissa fall med cumulus med hög reflektivitet kan man i dessa fall också erhålla cumulonimbus i klassningen. Semitransparanta moln kan alltså ge fel i klassning. Ett annat problem kan vara att moln inte uppfyller hela bildelement (t ex små cumulus) men detta problem är relativt ovanligt med den höga bildupplösningen. Skiktade moln som täta cirrostratus över ett annat molntäcke kan leda till falsk information om t ex nimbostratus. Man kan då naturligtvis också få felaktig tolkning av nederbörd. Förekomsten av låga moln eller dimma under ett högre molntäcke kan ofta inte avgöras med hjälp av satellitbildsinformation. Nederbördsbilden kan emellertid tolkas som stor sannolikhet för förekomst av låga moln.

6.4 KALIBRERING AV IR-DATA

I denna studie har ingen egentlig kalibrering av IR-data utförts. (En grov kalibrering har gjorts utgående från bl a vattentemperatur och tropopaustemperatur. Kalibrering är nödvändig dels för att det ska bli möjligt att jämföra satellitbildanalyser från olika satelliter, dels för att kunna avgöra reell temperatur och svartkroppstemperatur. Samma digitalvärde från olika satelliter i TIROS-N serien motsvarar inte samma temperatur. För att skilja nederbördsgivande moln från andra, och för att skilja åskmoln från vanliga bymoln bör man kunna mäta molntoppens temperatur. Molnfysikstudier och empiriska studier visar att molntoppens temperatur i hög grad är avgörande för nederbördsutlösning och eleketrisk urladdningar.

Kalibrering av IR-data är också nödvändig för objektiv användning av nattpassager. Vintertid kan 0°isotermens läge

vara viktig information. Med kännedom om vattentemperatur kan dimma till havs lokaliseras nattetid. Data för IR-kalibrering ingår i HRPT-flödet.

6.5 NORMALISERING AV VIS OCH NIR-DATA

Av ekvation (8) i appendix framgår att solhöjden har stort inflytande på den reflekterade strålningen i VIS och NIR.

I denna studie har TIROS-N:s middagsbilder från sommaren 1979 använts. Eftersom satelliten är solsynkron har belysning varit likartad i samtliga passager. Den höga solhöjden har medfört att sin α varierat obetydligt. Om klassningsmetoden skall kunna användas i vädertjänst måste VIS- och NIR-informationen normaliseras till en bestämd solhöjdsvinkel (Muench Keegan 79). Eftersom satelliterna är solsynkrona kan normalisering över successiva passager göras likartat. Solen står lika högt över horisonten när satelliten passerar över t ex 60°N som vid föregående passage ca 25° ostligare. Dessutom kommer förändringen från dag till dag att vara liten. Detta förhållande bör kunna utnyttjas vid normaliseringen. Ovanstående medför också att normalisering bör göras före geometrisk korrektion.

Om man endast betraktar ett mindre utsnitt av en passage kan solhöjden antas vara likartad över hela ytan. I stället för normalisering i varje bildpunkt kan man använda en klassning där klassgränserna i VIS och NIR för olika solhöjder räknats om (teoretiskt eller empiriskt). Man skulle alltså behöva en uppsättning parallelepipediska klassningar.

för olika tider på året	}	för olika solhöjder
för olika tider på dygnet		
för olika latituder		

När solen står lågt varierar sin α mycket om man betraktar en hel passage. Om man vill utföra en klassning över t ex hela Skandinavien måste området delas upp i flera områden (boxar) med förskjutning av gränser för reflekterad strålning.

Om solen står lågt har satellitens avsökningssvinkel relativt solens belysning av moln stor betydelse för uppmätt reflektion. Detta gäller särskilt upptornade moln och molnkanter d v s vertikala molntyper.

I t ex en kvällspassage blir ett upptornat moln väster om satelliten mörkare än normalt, ett moln i öster kan reflektera lika mycket ljus som mitt på dagen.

Låg solhöjd kan alltså medföra skuggor och dagar som kan medföra felaktig klassning.

Ett annat problem med morgon och kvällspassager är solreflexer i vattenytan mellan satelliten och solen.

Intensiteten och utbredningen av solreflexerna är beroende på vågstruktur. Kraftiga vågor ger inga reflexer. Vindstilla och lugn yta ger en punktreflex om svepet riktas rakt mot solen.

Solreflexer uppträder bara vissa tider om året. Man kan be-

räkna när och var. De är dessutom lätta att känna igen.

Med den föreslagna pallellepipediska klassningen blir dessa ytor oklassade.

6.6 GEOMETRISKA KORREKTIONER

Presenteras rådata från en satellitpassage erhåller man en bild med kraftig distorsion i bildkanten, ytorna blir sammantryckta.

För ett operationellt utnyttjande av satellitbilden är det en stor fördel om bilden projiceras på ett kartplan som överensstämmer med de kartplan man i övrigt arbetar med. Det är nödvändigt med landkonturer och ett latitud/longitud-nät för att avgöra lägen hos moln och molnsystem.

En fast kartplan är också nödvändigt för jämförande studier av olika passager. Skall man effektivt kunna avgöra rörelse, utveckling och underlagets inflytande är ett fast kartplan där man kan lokalisera berg, sjöar m m en nödvändighet.

6.7 ANDRA TYPER AV MOLNKLASSNING

Det kan i vissa vädersituationer förekomma bara ett eller ett par molnslag. Under en högtryckssituation med dimma och stratus kan klassningen gå ut på att lokalisera områden med olika grader av tät och tunn stratus eller dimma. Man kan med den informationen bedöma om, var och när dimman eller molnen lättar (Gurka 1978). I ett annat väderläge kan det vara cumulusaktivitet i olika grader. Klassningen kan specifikt behandla dessa moln genom att pallellepipediska boxar placeras längs cumuluslinjen i figur 6.

Man kan för olika vädertyper skapa den molnanalys som ger bästa indikation på väderutvecklingen.

6.8 UTVECKLING INOM SATELLITTEKNIKEN

En mycket snabb utveckling har skett och kommer att ske inom satellittekniken. I slutet av 80-talet kan vi vänta oss satelliter med ännu fler sensorer. Man kan bl a vänta sig mätningar i flera kanaler inom synligt och infrarött ljus samt i mikrovågsområden. De största satsningarna görs fr n på de geostationära satelliterna men även nya polära satellitgenerationen planeras både i USA och i Sovjetunionen. Experimentella satelliter har utrustats med sensorer som bättre kan avslöja molns fysikaliska egenskaper (Reynolds 1978, Vetlov 1979).

6.9 UTVECKLING AV BEARBETNINGSTEKNIK

1978 fanns över 800 stationer i 74 länder (Andersson 1978) för mottagning av satellitinformation från polära satelliter. Vädersituationer har alltmer blivit en bas i olika nationers vädertjänst. Satellitinformationen kräver ett utvecklat datorsystem och programsystem (Liljas m fl 1978, Helgeson m fl 1979). Presentationen av bilder bör göras i färg på bildskärm. Av 6.1 - 6.7 framgår bl a att följande bearbetningsrutiner bör utvecklas:

- a) Geometriska transformationer till en för vädertjänsten enhetlig kartprojektion. Inläggning av landkonturer.
- b) Radiometrisk normalisering och kalibrering
- c) En uppsättning klassningsrutiner.

Det är mycket väsentligt att datahantering och bearbetning är snabb. För lokala kortfristiga prognoser behövs realtidsinformation. Den automatiska parallelepipediska klassningen som föreslagits är enkel och snabb. Systemet bör utvecklas till viss möjlighet till interaktivitet. Meteorologen som arbetar i vädertjänst skall inte behöva manipulera med satellitinformationen. Han eller hon ska däremot enligt ovan kunna välja bland klassningsrutiner och samprojicera andra meteorologiska fält (PROMIS -90, Suchman 1980). Denna integrering av olika datauppsättningar kan ge en ökad förståelse för atmosfäriska processer. Det framtida satellitbearbetningssystemet måste vara flexibelt. Den operativa erfarenheten måste i sista hand avgöra hur bearbetningen bäst skall utföras. Man måste också ta hänsyn till den snabba utvecklingen av både rymdteknik och markteknik för fjärranalys och därför göra systemet utbyggbart.

6.10 DATAREDUKTION

Klassningen innebär också en stark reduktion av datavolymen. Tre kanaler med en intensitetsupplösning på 2^{10} (1024) och 2048 bildpunkten per svep medför att en nord-sydlig Scen på 3000 km innehåller cirka $1.8 \cdot 10^8$ bitar. 8 färger på en bildskärm utgör ungefär $8 \cdot 10^5$ bitar och 16 färger cirka $1 \cdot 10^6$ bitar, dvs datamängden reduceras mer än två tiopotenser.

7. SLUTSATSER

Den utförda studien har visat möjligheter att genom s k klassning analysera olika molnslag och även nederbördsintensiteter. Dessa analyser kan bli ett mycket värdefullt hjälpmedel vid prognos och studier av olika skalor av vädersystem från små mesoskaliga till stora synoptiska. Ur AVHRR-data kan man med relativt enkel och snabb datorbehandling erhålla värdefull moln- och nederbördsinformation. Klassningen, som innebär en mycket stark reduktion av den ursprungliga datavolymen, medför att informationen på några minuter kan överföras till regionala vädertjänster via telefonledning. Dessa satellitanalyser kan därför fylla en lucka i vädertjänstens observations/analys/prognossystem för lokala kortfristiga prognoser.

1. GRUNDLÄGGANDE SATELLITRADIOMETRI ¹⁾

1.1 STRÅLNINGSLAGAR

Vädersatelliterna mäter strålning, flöde av elektromagnetiska vågor. Markytan och atmosfärens beståndsdelar påverkar denna strålning beroende på våglängd, temperatur och den påverkade eller påverkande kroppens strålningsegenskaper.

De makroskopiska egenskaperna hos en kropp som utsätts för elektromagnetisk strålning kan sammanfattas med hjälp av tre koefficienter. De är sammanlänkade på följande sätt.

$$r(\lambda, T) + t(\lambda, T) + \varepsilon(\lambda, T) = 1 \quad (1)$$

λ är våglängd

T är absolut temperatur

r, t och ε är koefficienter för reflektivitet, transmissivitet och absorption.

För en svart kropp är $\varepsilon = 1$ och den absorberar all den elektromagnetiska strålning som infaller mot densamma. En sådan kropp sänder också ut en bestämd mängd energi som beror på kroppens temperatur.

$$B(\lambda, T) = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{ch/\lambda kT}} \quad (2)$$

$B(\lambda, T)$ är strålningsenergin utsänd av en enhetsyta över en halvsfär per våglängdsenhet. h och k är konstanter, c är ljusets hastighet. Fig. 1 visar Plancks lag för $T = 6000^\circ K$ ($\sim$ solytans temperatur) och för $T = 273^\circ K$ ($0^\circ C$, temperatur representativ för jorden).

Den totala energin från en svart kropp med temperaturen T ges av Stefan-Bolzmanns lag

$$W(T) = \int_0^\infty B(\lambda, T) d\lambda = \sigma T^4 \quad (3)$$

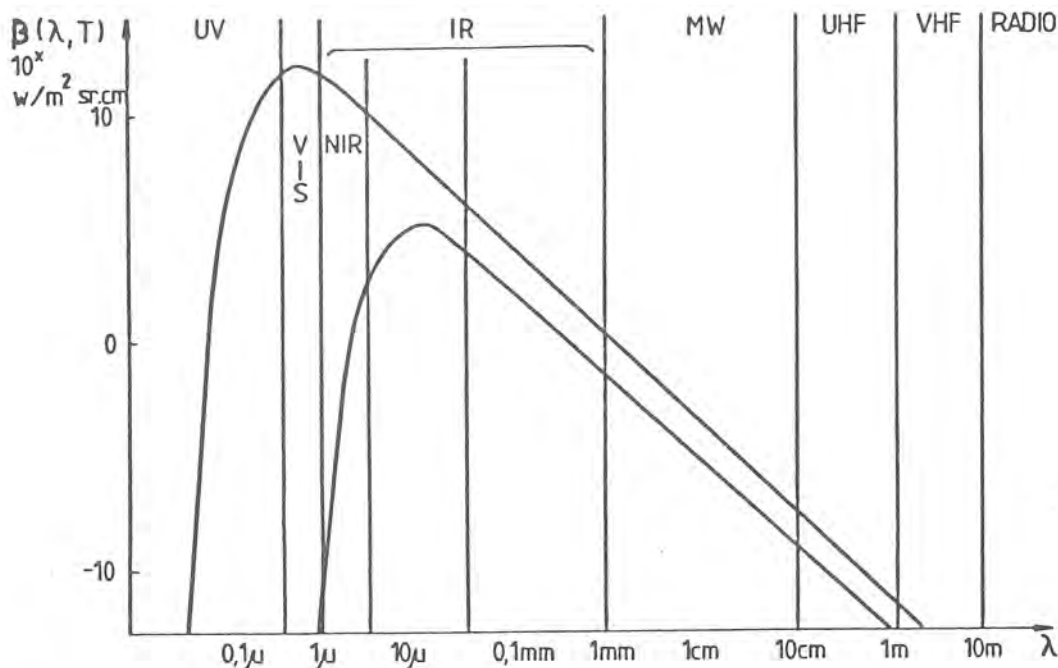
där σ är en konstant.

Maximal utstrålning sker vid

$$\lambda_{\max} = \frac{2.898 \cdot 10^{-3}}{T} \quad (\lambda \text{ i m}) \quad (4)$$

Wiens förskjutningslag.

1) Bygger på ett föredrag av Bizzarri 1979



Figur 1. Plancks lag för $T=6000^{\circ}\text{K}$ och $T = 273^{\circ}\text{K}$

Solen, vars yta har en temperatur omkring 6000°K , har sitt strålningsmaximum nära $\lambda = 0.5\mu\text{m}$. 99% av strålningen utanför atmosfären ligger inom intervallet $0.29\mu\text{m}-4\mu\text{m}$, jordytan och moln strålar ut maximalt kring $10\mu\text{m}$.

Solstrålningen, som alltså huvudsakligen ligger i den synliga delen (VIS) av det elektromagnetiska spektrat och dessutom i ultraviolytt (UV) och i det nära infraröda (NIR), är det ena viktiga källan vid fjärranalys från satellit. Den andra är jordens termiska strålning i den infraröda (IR) delen av spektrat.

Om man ser på Plancks lag på den långvågiga sidan om strålningsmaximum finner man att

$$B(\lambda, T) = \frac{2\pi \cdot c \cdot k}{\lambda^4} \cdot T \quad (5)$$

Svartkroppsstrålningen är således proportionell mot temperaturen vid en viss våglängd.

Emissionen från en kropp står i relation till svartkroppsstrålningen på följande sätt.

$$P(\lambda, T) = \epsilon(\lambda, T) B(\lambda, T) \quad (6)$$

Denna ekvation visar den fundamentala principen att en kropp bara kan utstråla energi i band där den kan absorbera strålning. Ordet emissivitet används därför för absorptionskoefficienten ϵ .

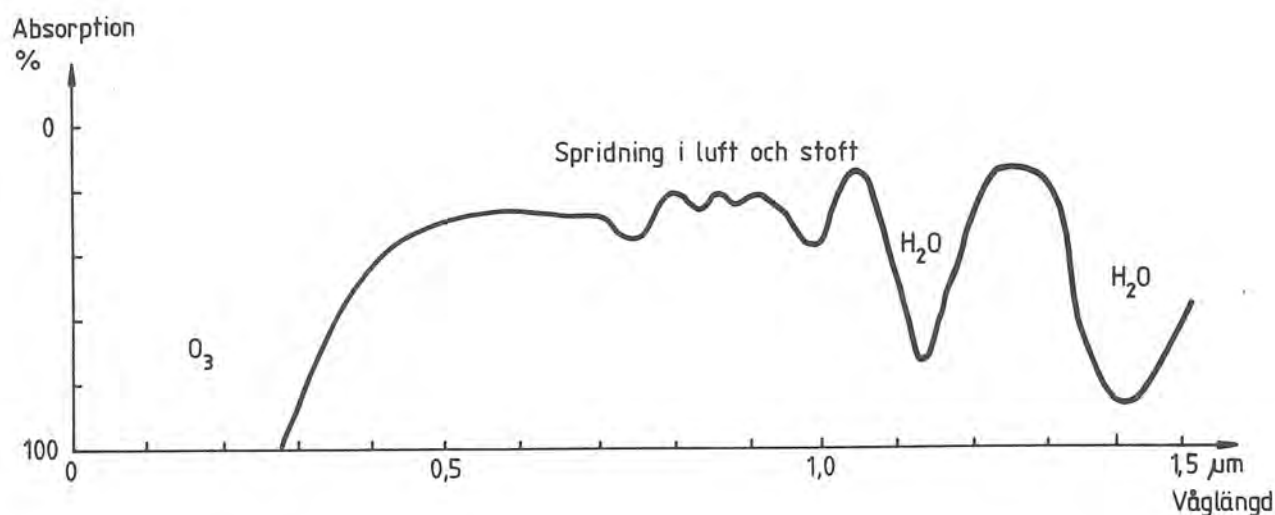
Med hjälp av ekvationerna (2), (3), (4) och (5) kan vi beräkna temperaturen hos en svart kropp genom att mäta strålningen. Ekvationen (4) kräver en spektrometer som visar var en viss kropp har sitt strålningsmaximum.

Ekvation (2) och (5) fordrar en radiometer som mäter över ett begränsat våglängdsintervall.

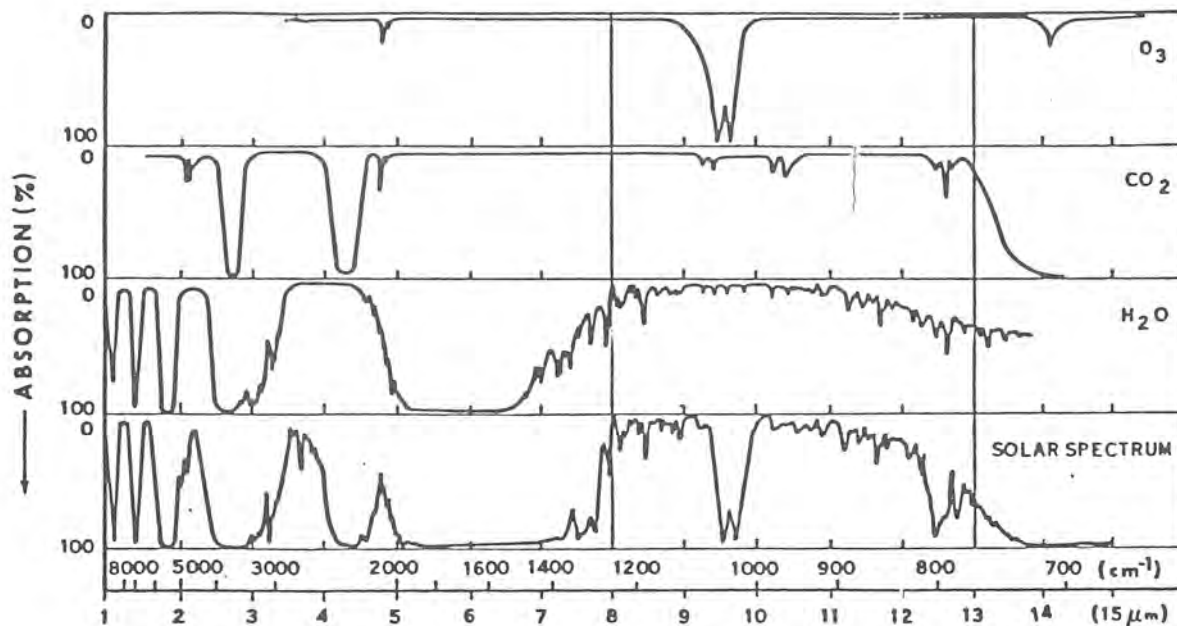
För kroppar som inte är svarta måste man alltså veta $\epsilon(\lambda, T)$. I fjärranalys är strålningskällan ibland okänd. Den temperatur man finner kallas svartkroppstemperaturen (black body temperature) och är en underuppskattning av den verkliga temperaturen.

2. ATMOSFÄRENS PÅVERKAN PÅ STRÅLNING

Man kan tillverka radiometrarna på satelliterna så att de registrerar strålning i specifika våglängdsintervall. Våglängder där ingen absorption förekommer ger information om jordytan och molnen, våglängder med absorption ger information om antingen temperaturprofil eller profil hos den absorberande gasen.



Figur 2 Atmosfärens påverkan på solstrålningen som når marken. Absorption genom ozon och vattenånga samt spridning i luft och stoftpartiklar. I det synliga ljuset är absorptionen nästan lika med noll.



Figur 3. Olika gasers absorptionsband i den infraröda delen av spektrum

I figurerna 2 och 3 ser man atmosfärens påverkan i olika band i det elektromagnetiska spektrat. Man har ett brett fönster i det synliga ljuset, därefter följer fönster kring $3.8\mu\text{m}$, $9\mu\text{m}$ och $11\mu\text{m}$.

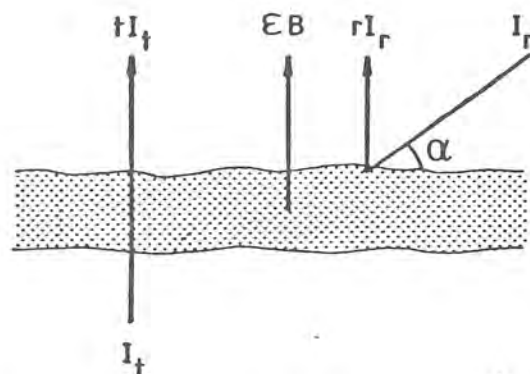
De treatomiska molekylerna H_2O , CO_2 och O_3 har rotationsvibrationsband med olika grader av absorption. De viktigaste är för H_2O ; 1.1 , 1.4 , 1.9 , 2.6 och över $13\mu\text{m}$. För CO_2 ; 2.7 , 4.3 och $15\mu\text{m}$. För O_3 ; $9.6\mu\text{m}$. I mikrovågdelens har O_2 rotationsband vid 5 mm , H_2O 1.3 cm och O_3 3 mm .

Mätning av vertikala temperaturprofiler är möjliga i CO_2 -banden 4.3 och $15\mu\text{m}$ och O_2 -bandet vid 5 mm . Vattenångeprofiler kan fås i band kring $6\mu\text{m}$, $18\mu\text{m}$ eller 1.3 cm ; ozon vid $9.6\mu\text{m}$.

3. MÄTNINGAR I ATMOSFÄRISKA FÖNSTER

Om solen strålar på en kropp eller yta vars svartkroppsstrålning man vill mäta för en viss våglängd, uppstår ofta följande. Av strålningen $I_r(\lambda)$ reflekteras delen $r(\lambda, T)$ in i radiometern. Från en källa med intensiteten $I_t(\lambda)$ under den betraktade kroppen transmittteras delen $t(\lambda, T)$ igenom. Den totala radiansten från kroppen tycks då vara.

$$I(\lambda, T) = \epsilon(\lambda, T) B(\lambda, T) + r(\lambda, T) I_r(\lambda) + t(\lambda, T) I_t(\lambda) \quad (7)$$



Figur 4. Radiansen från en generell kropp som når satellitens sensor.

3.1 BAND I DET SYNLIGA LJUSET

Jordens temperatur är så låg relativt solens att I_t i ekvation (7) kan sättas lika med noll.

Vi får således

$$I(\text{vis}) = r(\text{vis}) S \sin \alpha \quad (8)$$

Där S solstrålningens intensitet och α är solhöjdsvinkeln. Strålningmätning i synligt ljus ger alltså information om den betraktade ytans reflektivitet. Om ytan är ett moln gäller ekvation (8) bara för ett tjockt och tätt moln.

För klimatologi är mätningar av den reflekterade strålningen över hela intervallet $0.2 - 3.0\mu\text{m}$ av intresse. Satellitmätningar ger inte hela detta band men satelliterna är ändå det enda redskapet för globalt studium av strålningen.

3.2 BAND I DET INFRARÖDA LJUSET

I de områden där man har de s k atmosfäriska fönstren har de flesta kroppar mycket låg reflektivitet och solstrålningen har relativt låga värden (gäller åtminstone $\lambda > 5\mu\text{m}$). Ekvation 8 reduceras till

$$I_{(1R)}(T) = \epsilon_{(1R)} B_{(1R)}(T) \quad (9)$$

för jordytan och tjocka moln.

Infraröda mätningar är alltså direkt relaterade till svartkroppstemperaturen hos avsökningmålet. I många fall har hav, land och tjocka moln emissivitet nära 1 och infraröda bilder kan betraktas som termiska kartor över jordens och molntoppars temperatur. Kontrasten mellan moln relateras till olika temperatur i topparna. Man kan oftast anta att molntopparna är i termisk jämvikt med atmosfären i samma nivå och det blir därför möjligt att beräkna molntoppshöjden från deras temperaturer.

Om molnen inte är tjocka är emissiviteten mindre än 1 och svartkroppstemperaturen hos molntoppen lägre än den verkliga temperaturen. Transmissiviteten hos molnet däremot, $t = 1 - \epsilon$, är inte noll och strålningen från lägre moln och jordytan transmitteras genom molnet och orsakar att molnet ser varmare ut än i verk-

ligheten. Detta leder till en underuppskattning av molntoppens höjd. Detta gäller främst cirrusmoln som kan ha emissivitet ner till 0.3.

Trots vissa svårigheter i kvantitativa mätningar av temperaturen har de infraröda mätningarna samma operationella värde för molnstudier som de synliga bilderna plus möjligheter att både dag och natt studera moln med olika höjd. En av svårigheterna är de svaga kontrasterna mellan låga moln (stratus eller dimma) och land eller vatten, en annan är att skilja utbredda cumulonimbus och täta cirrus som båda är mycket kalla. Svårigheterna kan delvis avhjälpas med digital datorbehandling vilket visas i senare kapitel.

3.3 MIKROVÅGSBAND

För fullständigheten skall diskuteras kort även dessa våglängder.

Intensiteten på denna strålning är flera storleksordningar mindre än den infraröda (se fig. 1). Därför krävs på satelliten mycket stora kollektorer och större spektralintervall. Noggrannheten och upplösningen blir lidande på detta. De flesta transparenta för mikrovågor.

För jordytan är $t=0$ och därför är $r=1-\epsilon$.

Med hjälp av ekv. (5) får vi

$$T_{(MW)} = \epsilon_{(MW)} T_s + (1 - \epsilon_{(MW)}) T_c^{(MW)} \quad (10)$$

där T_s är jordytans temperatur och T_c är brightnessstemperatur hos "himmeln". Land har mycket höga värden på ϵ så att mikrovågsradianterna ger temperaturen hos land. Havet har däremot ϵ värden kring 0.5 vilket medför att T_c blir viktig. Över hav kan man kartlägga moln med nederbörd och också indikera nederbördsintensitet.

REFERENSER

- Andersson RK m fl The use of satellite pictures in weather analysis and forecasting
WMO Technical Note 124 1973
- Andersson RK m fl Current uses of satellite data in a meteorological forecast office.
WMO Bulletin April 1978
- Barret The estimation of monthly rainfall from satellite data.
Monthly Weather Review No 4 1970
- Bizzarri B Satellite data for weather analysis and prediction.
Proc. Technical Conf on Use of Data from Met. Sat. Lannion 1979
- Bodin S m fl PROMIS-90. Program för ett operationellt meteorologiskt informationssystem
SMHI 1979
- Böttger H m fl Forecasting extra tropical storms with hurricane intensity using satellite information.
J. of Appl. Met 7 1975
- Dvorak V F Tropical cyclone intensity analysis and forecasting from satellite imagery
Monthly Weather Review 103, 1975
- Dvorak V F Tropical cyclone intensity analysis using enhanced infrared satellite data
11 th technical conf on hurricane and tropical meteorology. Miami 1977
- Synoptical scale systems as viewed from space.
Proc. Technical conf on use of data from Met. Sat., Lannion 1979
- Follansbee m fl A comparison of infrared imagery and video pictures in the estimation of daily rainfall from satellite data. NOAA Tech. Memo. Ness 62
Washington DC 1975
- Griftith m fl Rainfall estimation from geosynchronous satellite imagery during daylight hours
NOAA Technical Report ERL-356-WMP07, 106 1976

Gurka J J	The use of enhanced visible imagery for predicting the time of fog dissipation. Conf on Weather Forecasting and Analysis Aviation Meteorology Silver Springs AMS 1978
Hawkins R S	A clustering technique for satellite imagery analysis Conf on weather forecasting and analysis 1980
Helgesson m fl	Metodstudie inom satellitmeteorologi FOA rapport D 30115-E1 1979
Kreizberg C W	Interactive application of satellite observations and mesoscale models Bull of AMS No 6 1976
Lethbridge M	Precipitation probabilities and satellite radiation data Monthly Weather Review 95, 1967
Liljas E m fl	Arbetsgruppen för kartläggning av SMHI behov av vädersatellitinformation. Slutrapport. SMHI 1978
Liou K N	On the absorption, reflection and transmission of solar radiation in cloudy atmospheres. J. Atmos, Sci. 33 1976
Muench - Keegan	Development of techniques to specify cloudiness and rainfall rate using GOES imagery data. AFGL-TR-0255, 1979
Oliver - Scofield	Estimation of rainfall from satellite imagery Conf on Weather Forecasting and Analysis Albany, New York, 1976
Purdom J F	Some uses of high resolution GOES imagery in the mesoscale forecasting of convection and its behaviour Conf on Weather Forecasting and Analysis Albany, New York, 1976
Purdom J F	The development and evolution of deep convection 11th conf on severe local storms, Kansas City, 1979

Reynolds D W m fl	Meteorological satellites in support of weather modification Bull of AMS No 3 1978
Steinhorst G	Subsynoptic scale systems as viewed from space Proc. Techn. Conf. on Use of data from Met. sat. Lannion, 1979
Vetlov I P	Applications of satellites in hydro- meteorology Proc. Techn. Conf. on use of data from Met.Sat. Lannion, 1979

SMHI Rapporter, METEOROLOGI OCH KLIMATOLOGI (RMK)

- Nr 1 T h o m p s o n, T, U d i n, I, och O m s t e d t, A,
Sea surface temperatures in waters surrounding Sweden.
(1974)
- Nr 2 B o d i n, S, Development of an unsteady atmospheric
boundary layer model. (1974)
- Nr 3 M o e n, Lars, A multilevel quasi-geostrophic model for
short range weather predictions. (1975)
- Nr 4 H o l m s t r ö m, I, Optimization of atmospheric models.
(1976)
- Nr 5 C o l l i n s, W G, A parameterization model for
calculation of vertical fluxes of momentum due to
terrain induced gravity waves (1976)
- Nr 6 N y b e r g, A, On transport of sulphur over the
North Atlantic (1976)
- Nr 7 L u n d q v i s t, J-E och U d i n, I, Ice accre-
tion on ships with special emphasis on Baltic con-
ditions (1977)
- Nr 8 E r i k s s o n, B, Den dagliga och årliga variatio-
nen av temperatur, fuktighet och vindhastighet vid
några orter i Sverige (1977)
- Nr 9 H o l m s t r ö m, I och S t o k e s, J, Statistical
forecasting of sea level changes in the Baltic (1978)
- Nr 10 O m s t e d t, A och S a h l b e r g, J, Some re-
sults from a joint Swedish-Finnish Sea Ice Experiment,
March, 1977 (1978)
- Nr 11 H a a g, T, Byggnadsindustrins väderberoende, semina-
rieuppsats i företagsekonomi, B-nivå (1978)
- Nr 12 E r i k s s o n, B, Vegetationsperioden i Sverige
beräknad från temperaturobservationer (1978)
- Nr 13 B o d i n, S, En numerisk prognosmodell för det atmo-
sfäriska gränsskiktet grundad på den turbulenta
energiekvationen (1979)
- Nr 14 E r i k s s o n, B, Temperaturfluktuationer under
senaste 100 åren (1979)
- Nr 15 U d i n, I och M a t t i s s o n, I, Havsis- och
snöinformation ur datorbearbetade satellitdata -
en metodstudie (1979)
- Nr 16 E r i k s s o n, B, Statistisk analys av nederbörds-
data. Del I. Arealnederbörd (1979)
- Nr 17 E r i k s s o n, B, Statistisk analys av nederbörds-
data. Del II. Frekvensanalys.
- Nr 18 E r i k s s o n, B, Årsmedelvärden (1931-60) av neder-
börd, avdunstning och avrinning (1980)
- Nr 19 O m s t e d t, A, A sensitivity analysis of steady,
free floating ice (1980)

- Nr 20 P e r s s o n, C och O m s t e d t, G, En modell för beräkning av luftföroreningars spridning och deposition på mesoskala (1980)
- Nr 21 J a n s s o n, D, Studier av temperaturinversioner och vertikal vindskjuvning vid Sundsvall/Härnösands flygplats (1980)
- Nr 22 S a h l b e r g, J and T ö r n e v i k, H, A study of the large scale cooling in the Bay of Bothnia (1980)
- Nr 23 H å r s m a r, P-O, Boundary layer measurements at Klockrike. Oct 1977 (1980)
- Nr 24 B r i n g f e l d t, B, A comparison of forest evapotranspiration determined by some independent methods (1980)
- Nr 25 B o d i n, S and F r e d r i k s s o n, U, Uncertainty in wind forecasting for wind power networks (1980)
- Nr 26 E r i k s s o n, B, Graddagsstatistik för Sverige (1980)
- Nr 27 E r i k s s o n, B, Statistisk analys av Del III 200-åriga nederbördsserier (Statistical analysis of precipitation data. Part III Precipitation data from the latest two centuries)(1981)
- Nr 28 E r i k s s o n, B, Den "potentiella" evapotranspirationen i Sverige (1981)
- Nr 29 P e r s h a g e n, H, Maximisnödjup i Sverige (perioden 1905-70)(1981)
- Nr 30 L ö n n q v i s t, O, Nederbördsstatistik med praktiska tillämpningar (Precipitation statistics with practical applications)(1981)
- Nr 31 M e l g a r e j o, J W, Similarity theory and resistance laws for the atmospheric boundary layer(1981)
- Nr 32 L i l j a s, E, Analys av moln och nederbörd genom automatisk klassning av AVHRR data (1981)

NOTISER OCH PRELIMINÄRA RAPPORTER, Serie METEOROLOGI

- Nr 1 K a r l s s o n, K E, Instrumentala och visuella åsk-observationer. (1960)
- Nr 2 T h o m p s o n, T, Den naturliga radioaktivitetens variation med vädret. (1961)
- Nr 3 M o d é n, H, Jämförelse mellan olika instrumentuppställning vid Gamla Observatoriet i Stockholm. (1963)
- Nr 4 P e r s h a g e n, H, Snöförhållandenas svårighetsgrad under vintrarna 1931-1960. (1963)
- Nr 5 M o d é n, H, Stockholms temperaturserie. (1963)
- Nr 6 B e r g g r e n, R, En statistisk undersökning av vindriktningens vertikala variation i övre troposfären. (1963)
- Nr 7 W a l l é n, C C, Sannolikheten för olika mängder av dygnsnederbörd i Sverige. (1963)
- Nr 8 L i n d h o l m, F, Report on comparisons at Stockholm and Visby between the K Ångström original absolute scale and the new Smithsonian absolute scale for primary standard pyrhelimeters. (1963)
- Nr 9 M o d é n, H, Åskans dagliga period i Sverige. (1963)
- Nr 10 Å n g s t r ö m, A, Some fundamental principles concerning calibration and standardization of pyrhelimeters. (1964)
- Nr 11 R o d h e, B, Comparison of pyrhelimeters at different turbidity conditions. (1964)
- Nr 12 S j ö l a n d e r, G, En statistisk undersökning av kuling och storm i svenska farvatten. Del 1, Västkusten norra delen. (1965)
- Nr 13 T h o r s l u n d, B, Isförhållanden i svenska farvatten under normalperioden 1931-1960. (1966)
- Nr 14 E r i k s s o n, B, Sannolikhetsfördelningar av temperatur, nederbörd och vind vid olika väderlekstyper. (1967)
- Nr 15 T h o r s l u n d, B Havsisens utbredning i Bottniska viken, Östersjön, Kattegatt och Skagerack under isvintarna 1951/52-1966/67. (1967)
- Nr 16 S c h m a c k e, E, Blixträkning med instrument. Synpunkter jämte preliminära resultat av timregistrering av blixaktiviteten i södra Sverige under åren 1962-1966. (1968)
- Nr 17 P o h l m a n, J, En statistisk undersökning av kuling och storm i svenska farvatten. Del 4, Farvattnen kring Gotland och norra Öland. (1968)
- Nr 18 L u n d q v i s t, J-E, Isförhållanden i Vänern under perioden 1940-1963. (1969)
- Nr 19 R o d h e, B, Comparison of the standard pyrhelimeter Å 158 with the sub-standard instrument Å 70 and Å 171. (1969)
- Nr 20 R o d h e, B, Simplified formulae for computation of the turbidity coefficient. (1969)

- Nr 21 S a l o m o n s s o n, G, En statistisk undersökning av kuling och storm i svenska farvatten. Del 3, södra Östersjön. (1969)
- Nr 22 H o l m s t r ö m, E, Extrapolation of meteorological data. (1969)
- Nr 23 J o e l s s o n, R, Applicering av empiriska ortogonala funktioner på en synoptisk vädersituation. (1970)
- Nr 24 L ö n n q v i s t, O, MASKINELL PROGNOSEXTEXT: Ett experiment med i datamaskin formulerade väderrapporter. (1971)
- Nr 25 N y b e r g, A och H å r s m a r, P-O, Mätningar av avdunstning- kondensation samt snösmältning från en snöyta. (1971)
- Nr 26 P e r s s o n, Anders O, En enkel metod att beräkna rådande vertikalvind och nederbördsintensitet ur aerologiska vind- och fuktighetsdata. (1971)
- Nr 27 H e n r i k s o n, A-B, An investigation of the accuracy in numerical computations of horizontal trajectories in the atmosphere. (1971)
- Nr 28 A x e l s s o n, G, Studium av infraröda (IR) satellitfotografier mottagna vid SMHI vintern 1971 samt en resumé av indirekt bestämning av atmosfärens vertikala temperaturprofil med hjälp av strålningsdata från satelliter. (1971)
- Nr 29 S c h m a c k e, E, FRÅN METEOROLOGINS GRYNING. Några drag i forntidens meteorologi. (1971)
- Nr 30 L ö n n q v i s t, O, Några glimtar från Svensk klimatologi under 1700- och 1800-talet. (1972)
- Nr 31 B l e c k e r t, G och M o e n, L, Meteorologisk ADB-verksamhet vid SMHI. (1972)
- Nr 32 E r i k s s o n, B, Temperatur- och nederbördsförhållanden i Sverige 1961-70 i relation till perioden 1931-60. (1972)
- Nr 33 B o d i n, S, A quasi-geostrophic 3-parameter numerical prediction model in empirical orthogonal functions. (1972)
- Nr 34 R o d h e, B, The procedure of reading the Ångström Compensation Pyrheliometer. (1972)
- Nr 35 J a k o b s o n, L, Verifikation av prognoser av dygnsmedeltemperaturen för Stockholmsområdet. (1973)



SWEDISH METEOROLOGICAL AND HYDROLOGICAL INSTITUTE

Box 923, S-601 19 Norrköping, Sweden. Phone +46 11 10 80 00. Telex 644 00 smhi s

ISSN 0347-2116