HAVSIS- OCH SNÖINFORMATION UR DATORBEARBETADE SATELLITDATA - EN METODSTUDIE

av Ingemar Udin och
Ingemar Mattisson

SMHI Rapporter

METEOROLOGI OCH KLIMATOLOGI
HYDROLOGI OCH OCEANOGRAFI

Nr RMK 15 (1979)
Nr RHO 18 (1979)

SMHI

Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut

HAVSIS- OCH SNÖINFORMATION UR DATORBEARBETADE SATELLITDATA - EN METODSTUDIE

av Ingemar Udin och
Ingemar Mattisson

SMHI Rapporter

METEOROLOGI OCH KLIMATOLOGI
HYDROLOGI OCH OCEANOGRAFI

Nr RMK 15 (1979)
Nr RHO 18 (1979)

SEA ICE AND SNOW INFORMATION FROM DIGITAL PROCESSED SATELLITE DATA - A FEASIBILITY STUDY

ISSN 0347-2116
ISSN 0347-7827

SVERIGES METEOROLOGISKA OCH HYDROLOGISKA INSTITUT

Norrköping 1979

SAMMANFATTNING

Programvara har utvecklats för en datoriserad bearbetning av NOAA VHRR data. Den omfattar geometriska korrektioner, presentation av kalibreringsdata, derivering av data, gråtonsförskjutning, olika presentationssätt etc. En SAAB D23 har använts för beräkningarna. Radskrivare har för det mesta använts för presentation av data, men också elektrostatisk rasterplotter och bläckstråleskrivare har nyttjats. De analoga VHRR data har digitaliserats vid FOA (Försvarets Forskningsanstalt).

Programvaran har huvudsakligen applicerats på havsis- och snöstudier. Men ytvattentemperaturer och en förmodad oljefläck vid Bravoplattformen i Ekofiskområdet har också studerats.

Digitalt bearbetade satellitdata är mer användbara än fotografiska bilder vid snö- och iskartläggning. En kvantifiering av snötäckningsgrad och vissa isparametrar är möjlig, men för många ändamål är en multispektral bearbetning nödvändig för att undvika falsk information.

En kort isstudie med datorbearbetade LANDSAT-data har också utförts. Programvaran har utvecklats vid FOA.

ABSTRACT

Computer programs have been developed for handling of NOAA VHRR digital data. The programs include geometric corrections, presentation of calibration data, derivation of data, variation of grey scales, different presentation forms etc. A SAAB D23 computer has been used for the computations. Line printer has mostly been used for presentation of data, but also electrostatic plotter and ink jet plotter have been used. The analogue VHRR data was digitized at the Swedish Defense Research Board.

The soft ware has mainly been applied to sea ice and snow studies but also in a less degree to studies of sea surface temperature and examination of data, which was supposed to be the oil spill at platform Bravo in the Ekofisk area.

Digital processed satellite data are more useful than photographic pictures both for sea ice and snow mapping. Quantification of snow cover and some ice parameters is possible, but for many purposes a multispectral data analysis is necessary in order to avoid false information.

A short sea ice study with computer processed LANDSAT data has also been carried out. The soft ware used was developed at the Swedish Defense Research Board.

HAVSIS- OCH SNÖINFORMATION UR DATORBEARBETADE SATELLITDATA - EN METODSTUDIE

1. INLEDNING

Satellitbilder har använts länge inom SMHI för i första hand moln- och väderstudier men också för kartläggning av snötäckets utbredning i fjälltrakter och havsisen i farvattnen omkring Sverige. Enkla fotografiska bilder har nyttjats till största delen. Bilderna har stundtals varit dåligt anpassade för den studie de använts för, gråskalan har legat i fel intervall, bilderna har varit distorderade o.s.v. Satellitinformation från NOAA VHRR och LANDSAT innehåller emellertid en avsevärd mycket större informationsmängd än en fotografisk bild.

En digital bearbetning av satellitdata ger möjligheten att utnyttja informationsmängden på ett optimalt sätt. Exempel på detta har med LANDSAT-data visats i Sverige av bland andra Helldén och Åkersten (1976), Orhaug, Wastensson och Åkersten (1976) samt Gustavsson och Åkersten (1976). En datoriserad bearbetning av vädersatellitdata av god upplösning (ca 1 km) hade dock vid detta projekts början inte gjorts i Sverige. Vädersatelliterna har den fördelen att information erhålles mycket frekvent. En satellit ger data från Sverige under ca 4-6 passager per dygn.

Den nya generationens vädersatelliter, TIROS-11 och dess planerade efterföljare i NOAA-serien, ger till motsats från föregångarna data direkt i digital form. Dessutom registrerar TIROS-11 strålning från fyra (i kommande satelliter fem) olika delar av det elektromagnetiska spektrat. Vädersatelliterna har därmed ökat sin fjärranalys potential och resultaten från denna korta studie tillsammans med resultat från andra länder, Liljas, Udin och Mattisson (1978), visar att en datoriserad bearbetning av satellitdata hör hemma inom en rutinarbetande samhällsservice och inte enbart på forskningssidan.

Målsättningarna med det nu genomförda projektet var:

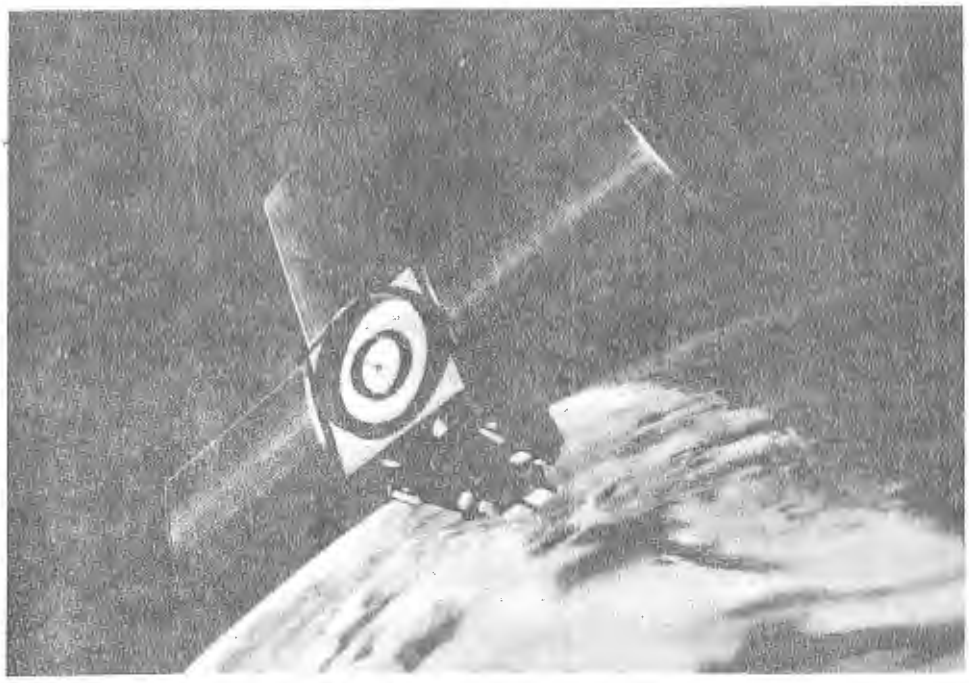
- att bearbeta digitaliserad VHRR-information för att studera dess användbarhet för kvantitativa is- och snöstudier samt ytvattentemperaturkarteringar
- att med användande av FOA:s resurser för bearbetning och bildgenerering av LANDSAT-data undersöka vilken information om havsisen i Östersjön som går att utvinna ur dessa
- att öka kompetensen inom SMHI för tillvaratagande av digital bildinformation från satelliter
- att bygga upp egna resurser för bearbetning och presentation av digitaliserad bildinformation från NOAA-satelliterna

Inom den ekonomiska ramen kunde inte hela målsättningen rymmas t.ex. kunde inga ytvattentemperaturkarteringar utföras och LANDSAT-studierna vid FOA blev något ofullständiga.

Rapporten beskriver de satellitdata som nyttjats och den utveckling av mjukvara som gjorts. Den ger också exempel på olika presentationer och kommenterar tillämpningar främst inom snö och is.

2. SATELLITDATA - VHRR

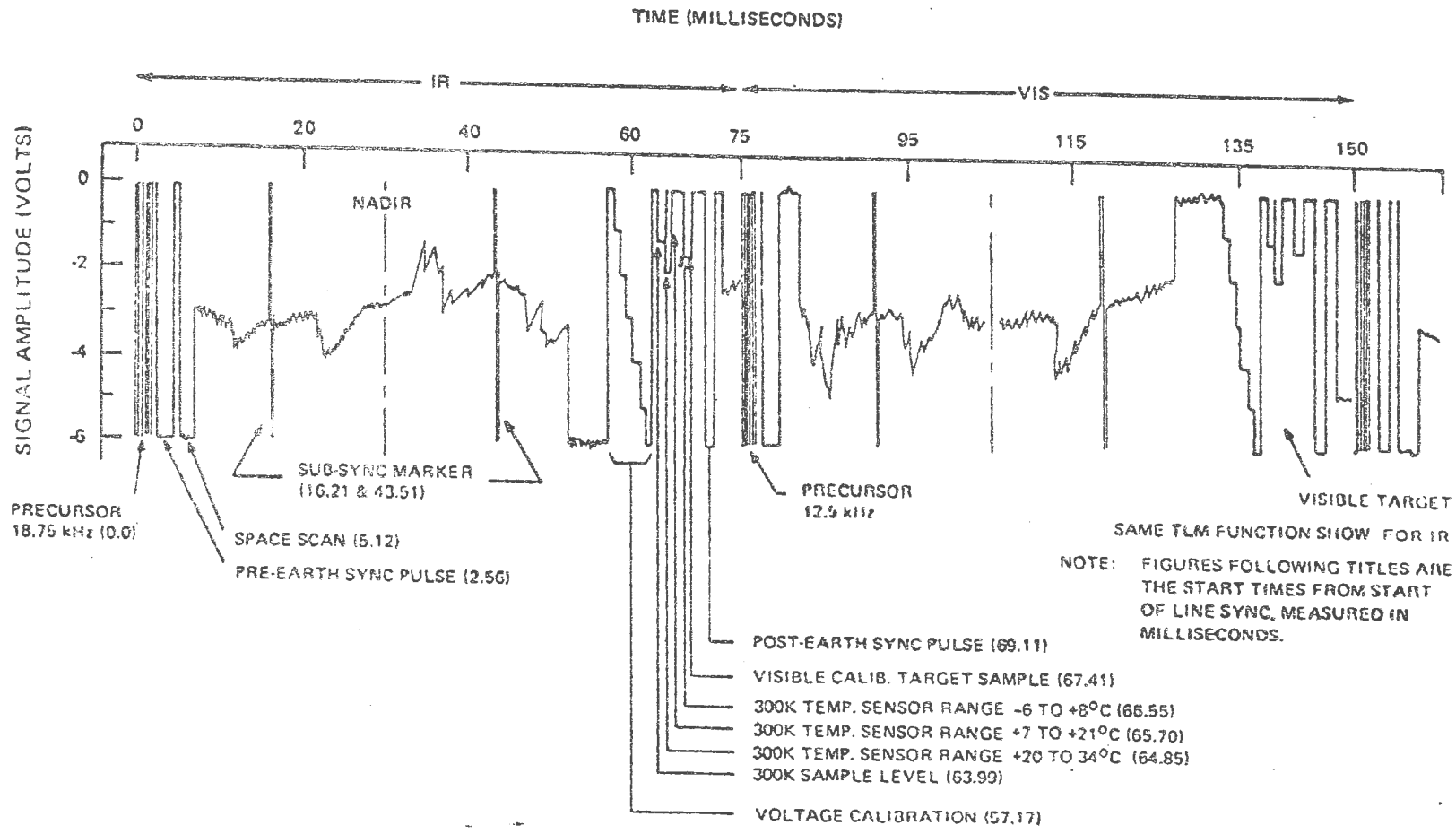
De vädersatellitdata som nyttjats i detta projekt kommer från scannern "Very High Resolution Radiometer" (VHRR) i satelliten NOAA-4, se figur 2.1. Data över satelliten finns i tabell 2.1 och utförligare information går att finna i Schwalb (1972). VHRR-systemet levererar analoga data. De data som vi arbetat med är mottagna av Tromsö Telemetristation. De blev sedan digitaliserade på FOA i Stockholm och formaterade med hjälp av programvara som togs fram speciellt för detta ändamål på FOA, Erlefjord (1978).



Figur 2.1 Vädersatelliten NOAA 4.

Tab. 2.1

Satellit	NOAA-5				
Uppskjutning	1976				
Bana	Nära polär, ca 1500 km höjd				
Passage	2 ggr/dygn				
Status	Operationell				
Mottagarstn för VHRR	Tromsø Norge, DMI Danmark, Bochum Tyskland m fl				
Sensorer	Svepradiometrar				Radiometrar f. vertikala temp. profiler (VTPR)
	VHRR		SR		
	VIS 0,6-0,7 µm	TIR 10,5-12,5 µm	VIS 0,6-0,7 µm	TIR 10,5-12,5 µm	8 kanaler i bandet 11-19 µm
Upplösning	0,9 km	0,9 km	4 km	7 km	59x59 km
Bildbredd	2200 km				

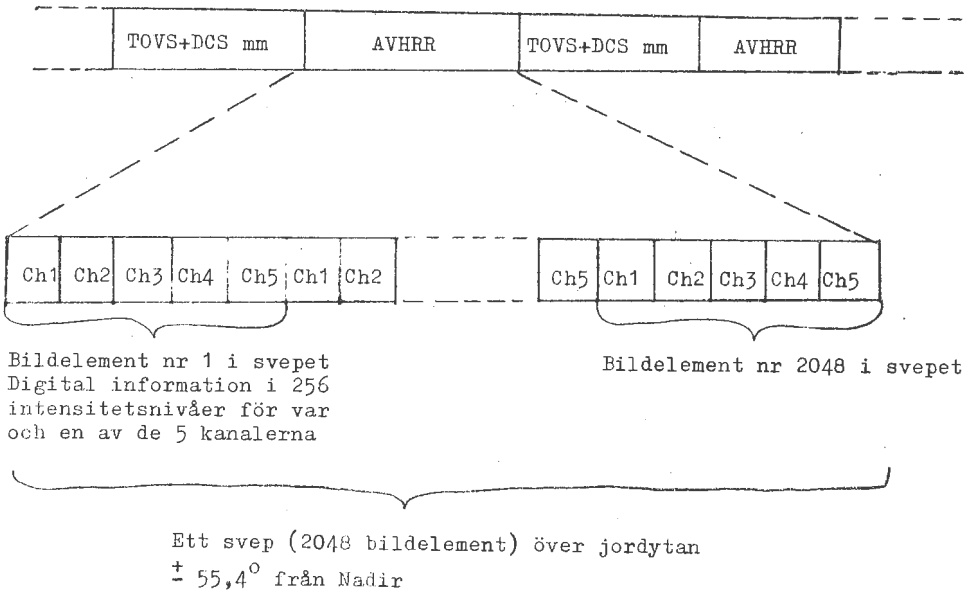


V.H.R.R. SIGNAL CHARACTERISTICS

Figur 2.2 Informationsflödet från VHRR-systemet.

Figur 2.2 visar schematiskt informationsflödet från VHRR-systemet. Som synes kommer data omväxlande, svep för svep, från visuella resp. IR-kanalen. Dessutom finns en mängd ytterligare information, bl.a. kalibreringsdata. De databand som FOA levererade till SMHI innehöll den bildinformation som fanns mellan "sub-sync-märker" (se figur 2.2) all kalibreringsinformation som kunde vara av intresse samt tidsmarkeringar.

Av tidsskäl har vi inom projektet inte kunnat studera kalibreringsproblemet närmare. Från början hade vi bl.a. ambitionen att kalibrera IR-data mot de i satelliten befintliga temperaturreferenserna för att noggrannt kunna bestämma ytvattentemperatur, detta hanns dock inte med.



Figur 2.3 Dataflödet från HRPT-systemet i TIROS-11.

Numera är VHRR-systemet avlöst av "Advanced VHRR" som finns i TIROS-11. Dessa AVHRR-data är digitala och anpassade för datorbearbetning. Figur 2.3 illustrerar informationsflödet från TIROS-11. Som synes ligger informa-

tionen från alla kanalerna samlad för varje bildelement till skillnad mot VHRR-systemet där informationen ligger svep för svep och kanal för kanal enligt figur 2.2. Med AVHRR-data är det enkelt att göra multispektrala studier, vilket det inte var med VHRR-data. Den visuella informationen och den termiska registrerades med två olika speglar som inte var exakt lika riktade. Detta gjorde att även enkla multispektrala jämförelser blev tidskrävande.

3. DATABEARBETNING OCH PRESENTATION - VHRR

Programutvecklingen vid SMHI gjordes på SAAB D23. Datorsystemet har nu bytts till UNIVAC 1100/21. Programvaran har delvis anpassats till den nya datorn.

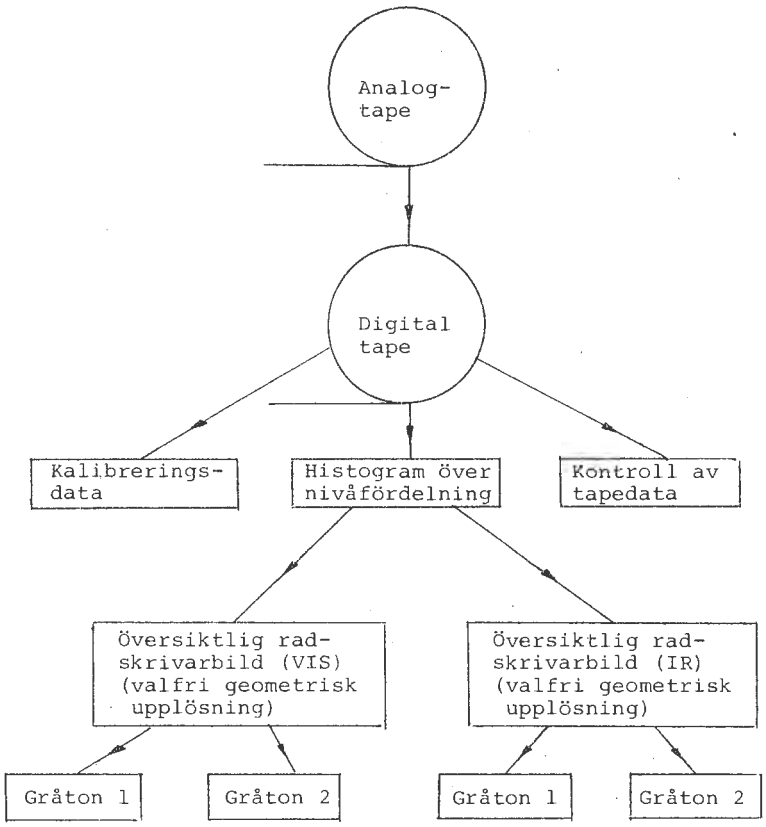
I ett tidigt skede i studien stod det klart, att det var nödvändigt att utföra en god geometrisk korrektion av satellitdata. Det var jämförelsen med "ground truth"-data, som ställde detta krav. Både då det gällde snötäckningsgraden och koncentrationen och de olika typerna av havsis gällde det att noggrannt, på något bildelement när, kunna finna rätt satellitdata för platsen ifråga. Därför ägnades mycket arbete åt att åstadkomma en korrektion, som gav en tillräckligt god kartriktighet i de bildalster, som trycktes ut. Den framtagna korrektionsalgoritmen tar hänsyn både till svepvinkel och jordkrökning samt till att jorden roterar. Korrektionen beskrivs närmare i bilaga B.

Våra erfarenheter från jämförelser som inbegripit samprojektion av kartinformation och satellitbild visar att kartriktigheten är god. Då vi arbetade med områden i storleksordningen 100 x 100 km kunde karta (översiktskarta i skala 1:250 000) och satellitbild fås att överensstämma på ett bildelement när under förutsättning att goda referenspunkter gick att hitta. Vid arbeten med större områden, 200 x 200 km, gick det att etablera en överensstämmelse med kartan på några kilometer när.

Programvaran kan översiktligt delas upp i tre olika "paket":
1) Översiktsbild för val av delområde.
2) Lagring av delområde på datafil. Geometrisk korrigering.
3) Bearbetning och presentation av delområden.

Programpaket 1

Innehållet i programpaket 1 ses i figur 3.1. Den digitala tapen eller CCT:n (Computer Compatible Tape) har som nämnts tidigare tagits fram av FOA från analogband levererade av Tromsö Telemetristation.



Figur 3.1 Flödesskiss av programpaket 1.

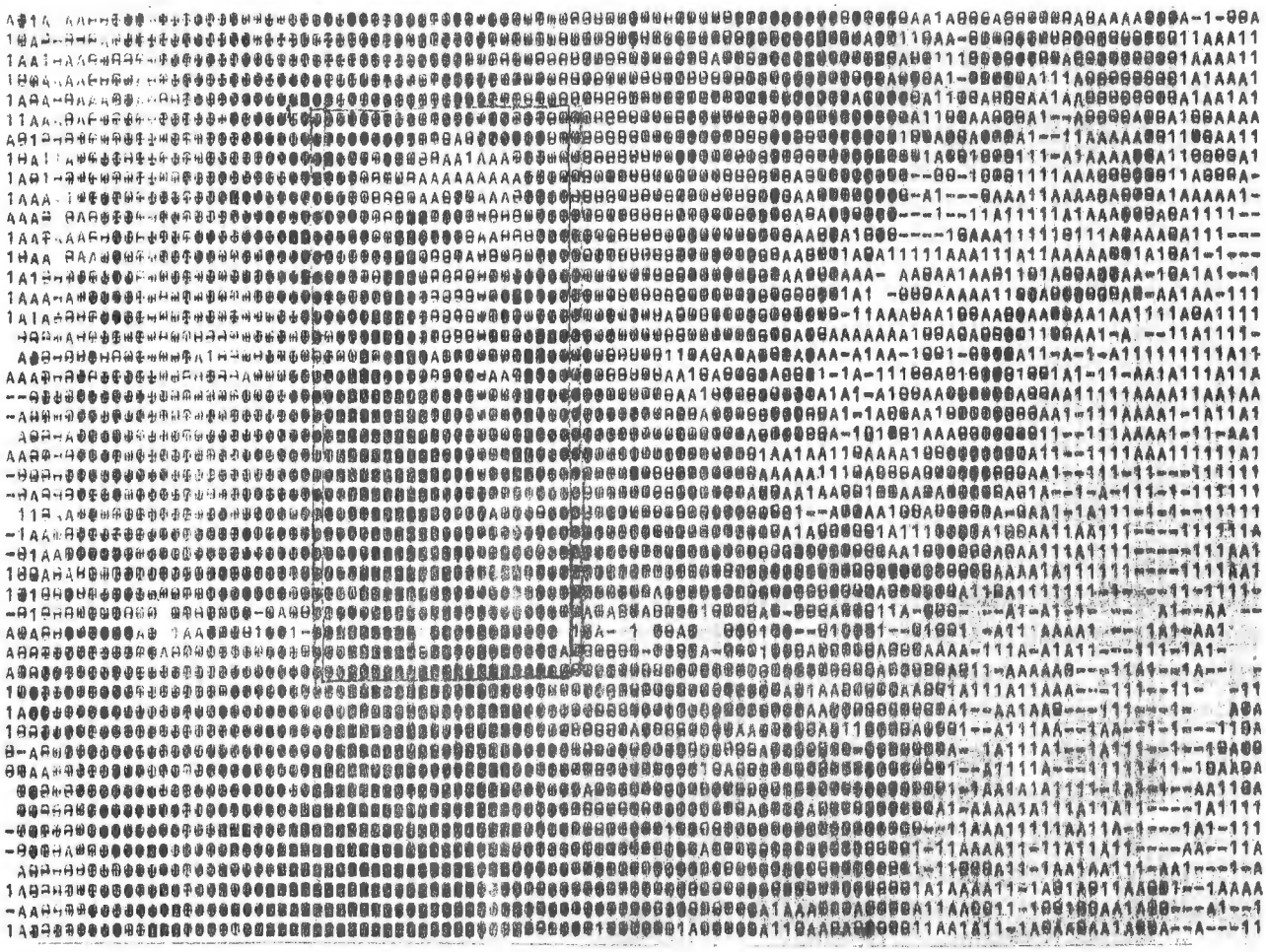
Programvaran sorterar och presenterar VHRR-informationens fördelning inom de 256 digitaliserade nivåerna. Ett exempel på en utskrift ses i figur 3.2. Siffrorna i tabellen visar att de ca 1.5 miljoner bildpunkter, som finns inom det studerade området, huvudsakligen ligger i nivåintervallet 115-175. Denna information används sedan för val av lämpliga gråtonsgränser vid bildpresentationen.

Programpaketet tar också fram radskrivarbilder. Men radskrivaren är ett grovt verktyg för bildpresentation. Antalet tecken på en sida är begränsat och om man vill presentera en VHRR-bild i full upplösning över Skandinavien blir storleken ca 7 x 5 m. För orienteringen vid val av delområden som skall specialstuderas har därför en datarutin tagits fram, som integrerar information över ett valfritt antal bildelement. Bildpresenta-

721

1	120	105	82	77	145	264	199	151	100	171
11	141	128	138	123	94	204	138	120	150	115
21	269	88	195	108	77	172	141	132	53	112
31	146	109	133	108	174	231	150	165	239	153
41	172	159	138	211	270	176	130	119	215	123
51	83	169	190	176	150	269	124	260	150	193
61	120	216	206	203	189	243	239	223	142	200
71	315	227	145	255	203	249	252	150	194	247
81	266	182	190	196	220	200	207	196	185	212
91	279	182	177	196	235	214	194	209	310	169
101	234	204	265	179	164	159	242	245	192	204
111	262	298	329	386	341	424	732	801	886	1361
121	1616	2123	3196	4256	5084	6378	7516	8882	10560	11882
131	13646	15314	16979	18490	20115	21273	22351	23658	25500	27357
141	28034	28582	28554	29335	29433	29680	30383	30290	30993	32677
151	34257	40692	46844	52304	55702	59044	57752	56887	52506	48743
161	42247	37682	34217	32747	31340	31255	34301	41703	47238	30509
171	8582	1322	569	347	465	240	237	240	248	362
181	252	226	229	176	215	169	159	178	164	169
191	176	212	155	98	102	110	78	67	49	153
201	71	63	59	45	65	7	52	25	9	53
211	6	18	1	0	17	0	8	0	0	3
221	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
231	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
241	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
251	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2209

Figur 3.2 Exempel på VHRR datas fördelning inom de 256 nivåerna.



Figur 3.3 Översiktsbild från radskrivare. Upplösningen i bilden är 10 x 10 km. Bottenviken ses i den vänstra delen.

tionen kan därefter ske med olika gråtonsrutiner, antingen med den överprintningsteknik, som visats av Orhaug och Åkersten (1976), Gråton 1 eller med hjälp av valfria tecken, Gråton 2. Ett exempel på en översiktsbild där varje bildelement representerar en yta av 10 x 10 km ses i figur 3.3. Bilden visar bl.a. Bottenviken och norra Bottenhavet.

Programpaketet innehåller också en rutin för att ta fram kalibreringsdata (figur 3.4) och en rutin för att läsa innehållet på den digitala tapen och kontrollera rimligheten i data.

SCANCHARACTERISTICS

NOAA 5 ORBIT 3375 DATE: 77-04-28 TIME:08.48

			VISIBLE-DATA													INFRARED-DATA												
ROW	MIN	SEC	VIEW	---------VOLT-MEDGE----------							CAL-TARGET--THERMISTORS--					VIEW---------VOLT-MEDGE----------							CAL-TARGET--THERMISTORS--					
2	0	2	176	184	158	133	107	81	55	29	174	174	155	155	125	36	184	188	133	107	81	56	30	96	119	150	151	121
3	0	2	177	183	158	133	106	81	55	29	174	174	155	155	124	36	184	139	133	107	81	56	30	96	119	150	152	121
4	0	2	177	183	158	132	107	81	55	29	174	174	155	154	125													

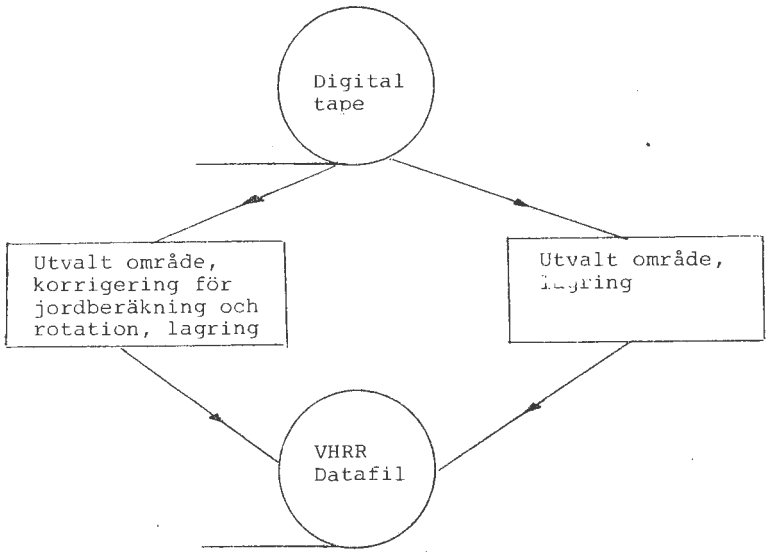
Figur 3.4 Exempel på en utskrift av satellitens kalibreringsdata för den visuella och infraröda kanalen.

Programpaket 2

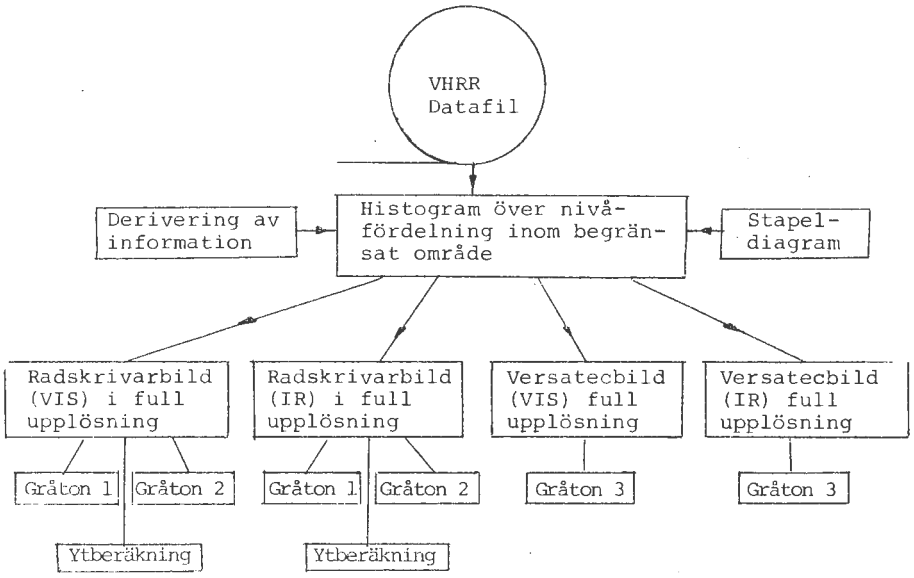
Programvaran tar fram ett utvalt delområde av en scen och lagrar informationen, både den visuella och den infraröda, på en datafil, se figur 3.5. Informationen kan före lagring korrigeras geometriskt, se bilaga B.

Programpaket 3

Programvaran använder den datafil som skapats i paket 2 och kan ta fram olika produkter över det utvalda delområdet, se figur 3.6. Ett exempel på ett stapeldiagram över nivåfördelningen i ett område visas i figur 3.7. Sifferkolumnerna till vänster i bilden visar digitalnivån, ett antal bildelement inom nivån, den procentuella delen av element inom nivån och den ackumulerade procentdelen. Diagrammet bildar grund för valet av gråskalegränser.

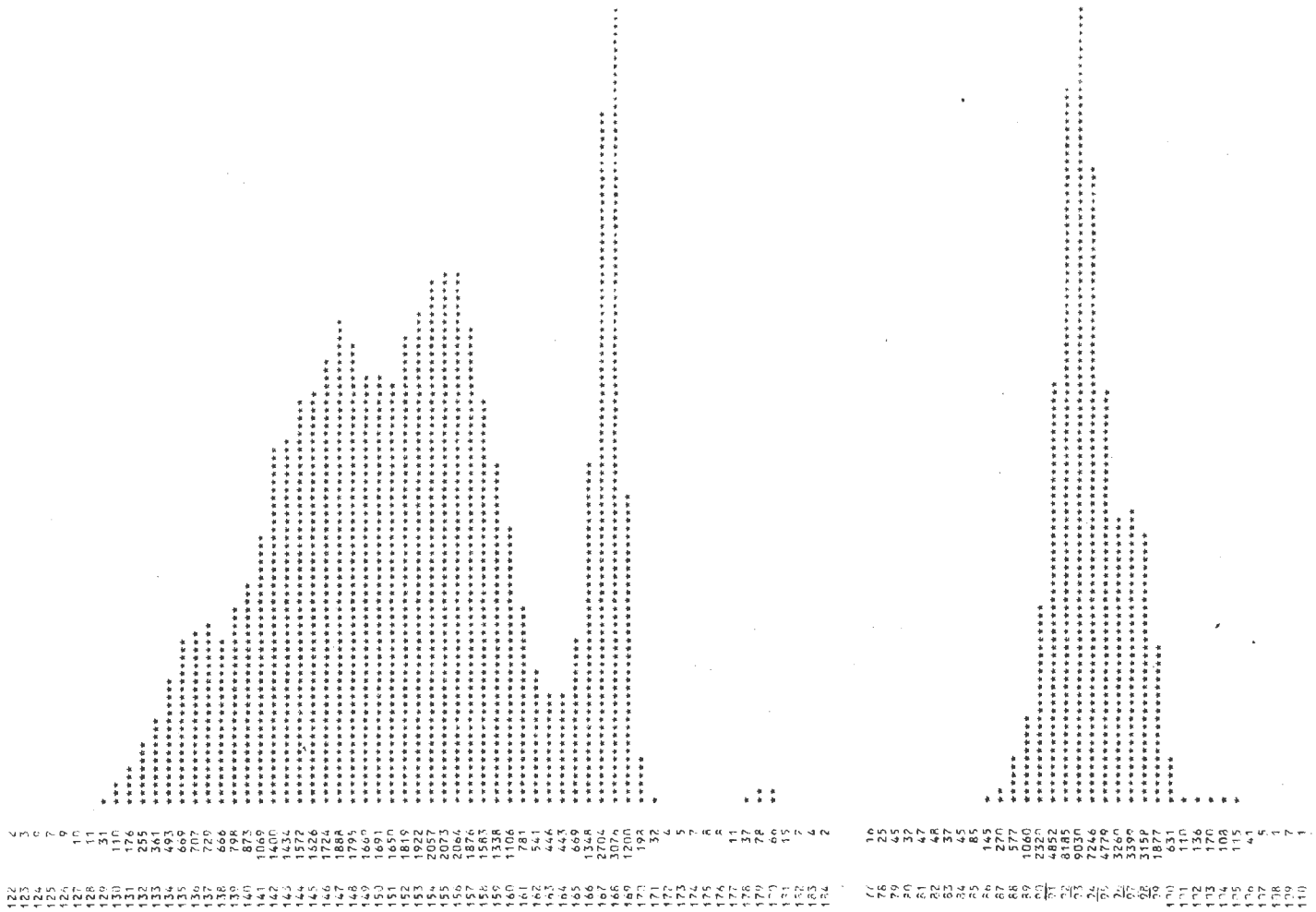


Figur 3.5 Flödesskiss av programpaket 2.



Figur 3.6 Flödesskiss av programpaket 3.

Programvaran kan presentera både visuella och infraröda radskrivarbilder i full geometrisk upplösning. De olika gråtonsrutinerna, som nämnts ovan kan användas vid presentationen. Ett exempel på en bild över mellersta Bottenviken ses i figur 3.8. En etikett som visar presenterat område, bearbetningsform, gråskaleval m.m. finns också på utskrifterna (figur 3.9).



Figur 3.7 Exempel på histogram av VHRR datas fördelning.

Då radskrivaren har begränsad möjlighet att presentera bilder utvecklades program för presentation med elektrostatisk plotter (Versatec). Ett fåtal bilder togs fram. Figur 3.10 visar ett utsnitt från Norska havet över Skandinaviska fjällkedjan och Bottenviken till Finland. Figuren innehåller sex grånivåer. Standardmjukvara till Versatec kan idag presentera bilder med upp till 32 grånivåer.

Programvaran i paket 3 kan dessutom derivera satellitinformation och presentera den samt beräkna ytan av olika grånivåer.

Mer detaljer om programmen framgår av bilaga A.

VISUELL BILD ORBIT 1524 3/3-77

Figur 3.8 Exempel på en radskrivarbild av isen i Bottenviken. Varje symbol motsvarar ca 1 x 1 km.

SMHI,VHRR DIGITAL IMAGE DATA PROCESSING

DATE: 77 5 5 TIME: 21.50

SEA ICE-75, GULF OF BOTHNIA (INGEMAR UDIN)

NOAA 5, ORBIT NUMBER 1524

EXPOSURE DATE:77-05-04 TIME:09.53.22-54.20

CORRECTIONS

EARTH CURVATURE :YES

EARTH ROTATION :YES

PRINT OUT MEDIUM :YES

INTERNAL CALIBRATION IR :NO

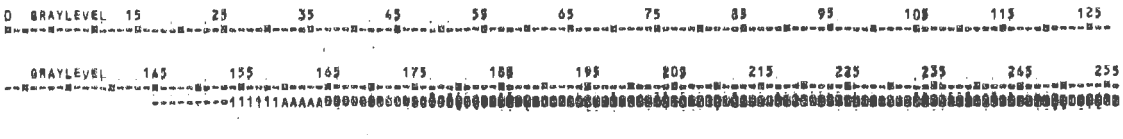
INTERNAL CALIBRATION VIS:NO

RADIOMETRIC CALIBRATION :NO

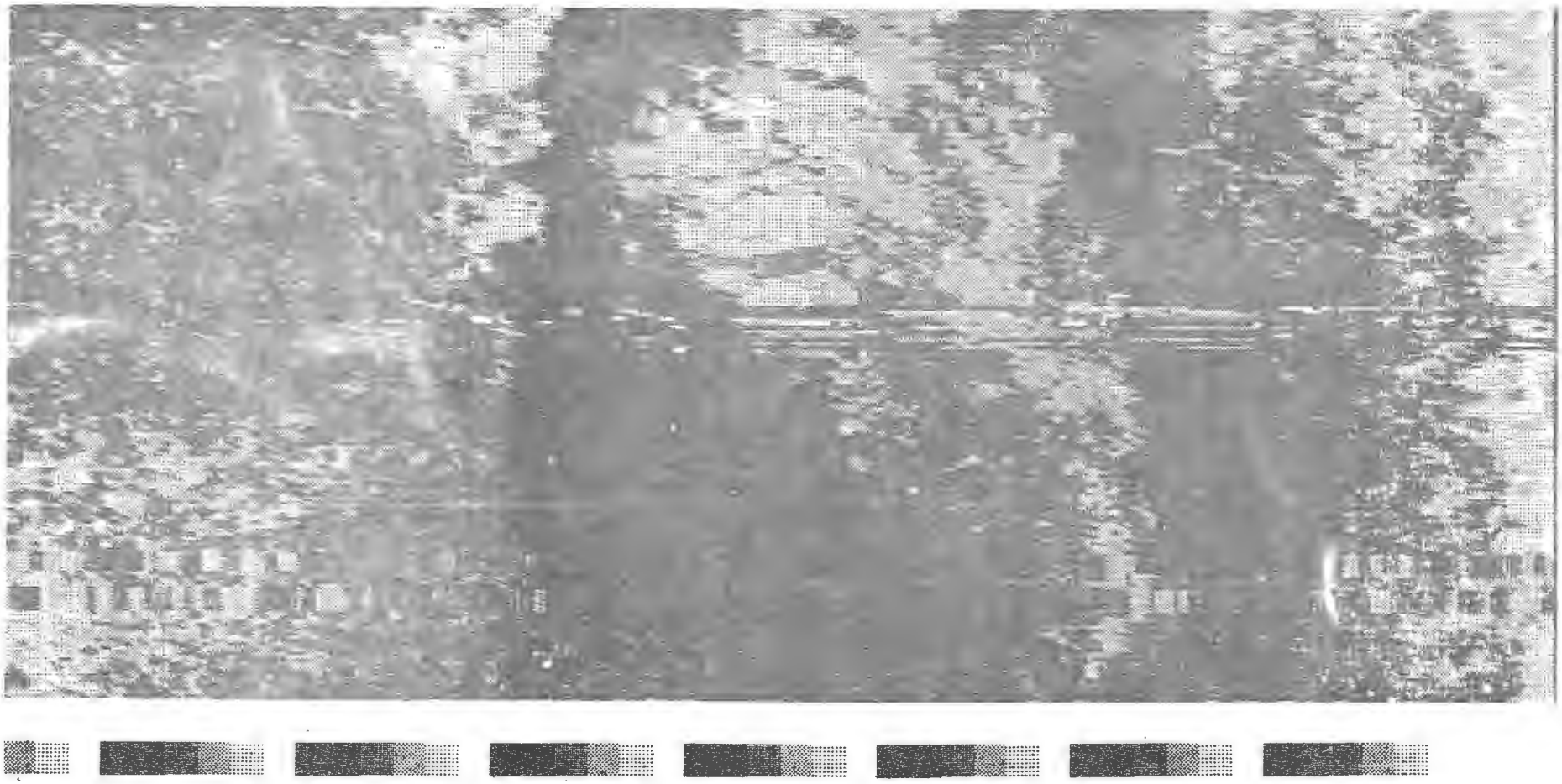
DATA TYPE: NORMAL

SUBSCENE	ROW 1	ROWS	RINC	COL 1	COLS	CINC	BAND
ICEBOT01	1	250	1	1	160	1	IR

SYMBOLCODING KEY:



Figur 3.9 Exempel på etikett.



Figur 3.10 Satellitbild över området från Norska Havet till Finland över Bottenviken plottad i sex gråniråer med en Versatec.

4. TILLÄMPNINGAR

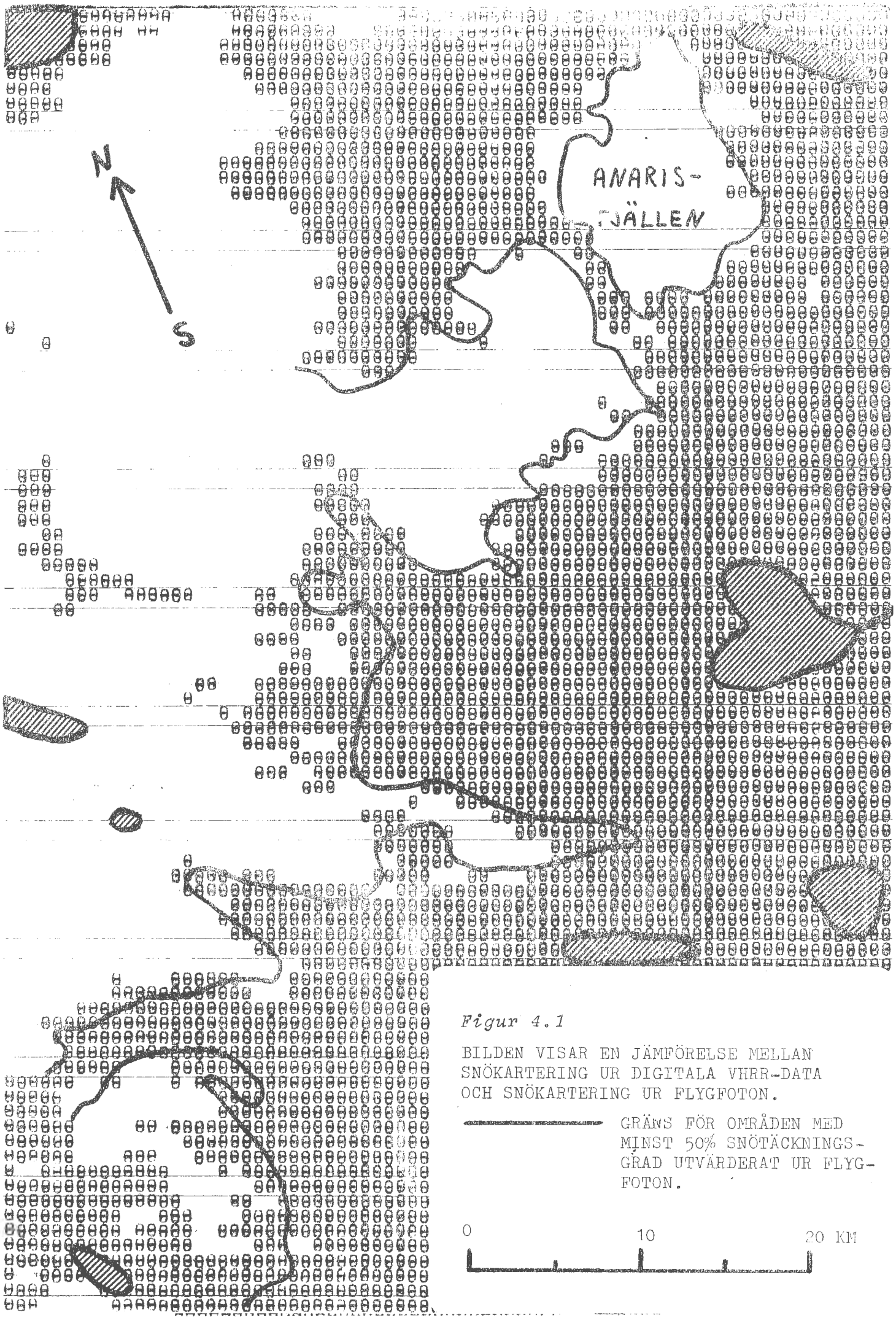
Den framtagna mjukvaran har använts för bl.a. havsis- och snökartering.

4.1 Snökartering

Inom denna del av projektet har snökartering med VHRR-data från den visuella kanalen testats på ett fjällområde VSV om Östersund.

Satellitdata från NOAA-4's passage den 26/5 1975 har noggrannt jämförts med resultat från en fältundersökning, som SMHI genomförde i området. I fältundersökningen ingick fotografering av området från helikopter. Ur helikopterbilderna utvärderas den gräns som skilde områden med snötäckningsgrad större än 50% resp. mindre än 50%. Genom ett noggrannt val av digitalvärde kunde denna gräns relativt väl genereras ur satellitdata, se figur 4.1. Överallt i bilden där avvikelserna är stora mellan den maskinella utvärderingen ur satellitdata och den manuella utvärderingen ur helikopterbilderna, är också den manuella utvärderingen behäftad med stor osäkerhet. Satellitkarteringen antas därför ge en relativt rättvisande 50% linje. Figur 4.2 visar en utvärdering av 50%-linjen över ett mycket större område varvid "kalibreringen" enligt ovan mot det mindre området utnyttjats.

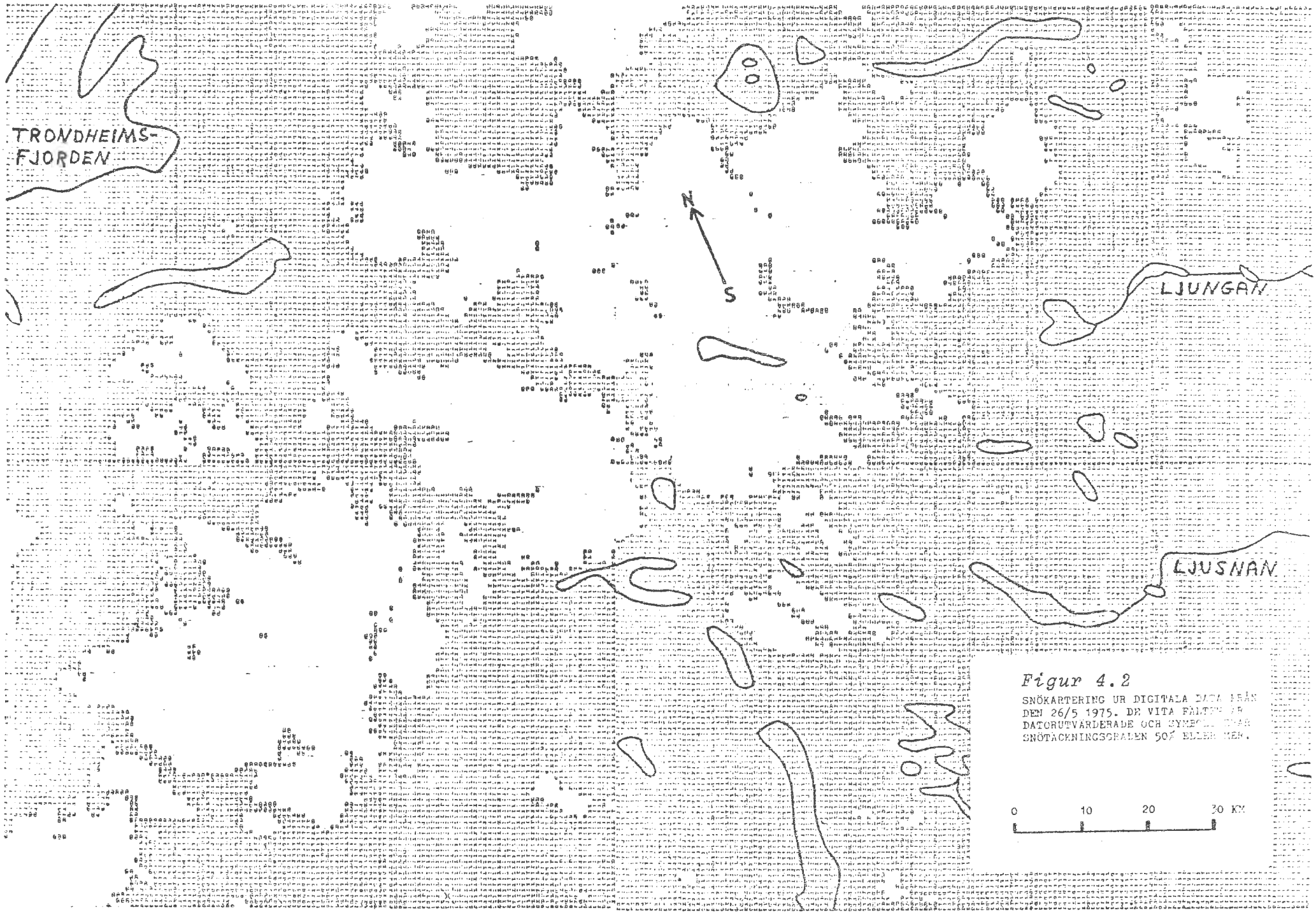
Vid dessa undersökningar var det av stor vikt att satellitinformationen var geometriskt korrigerad. Annars hade det inte gått att noggrannt relatera satellitbilderna till kartorna. Kartbild kopplades till satellitbild genom projicering av karta på satellitbild av typ som visas i figur 4.3. I bilden har gråtonsomfånget valts så att vattendrag och barmark framhävs. Gråtonskalan motsvaras här av endast ca 10 digitalnivåer vilka innehåller huvudparten av den geografiska referensinformationen. Detta illustrerar tydligt vikten av att kunna utföra gråtonsexpansion. Figur 4.4 visar exakt samma område men gråtonsomfånget i bilden har valts så att de snötäckta fjällen särskilt skall framhävas. Här omspänner gråton-



Figur 4.1

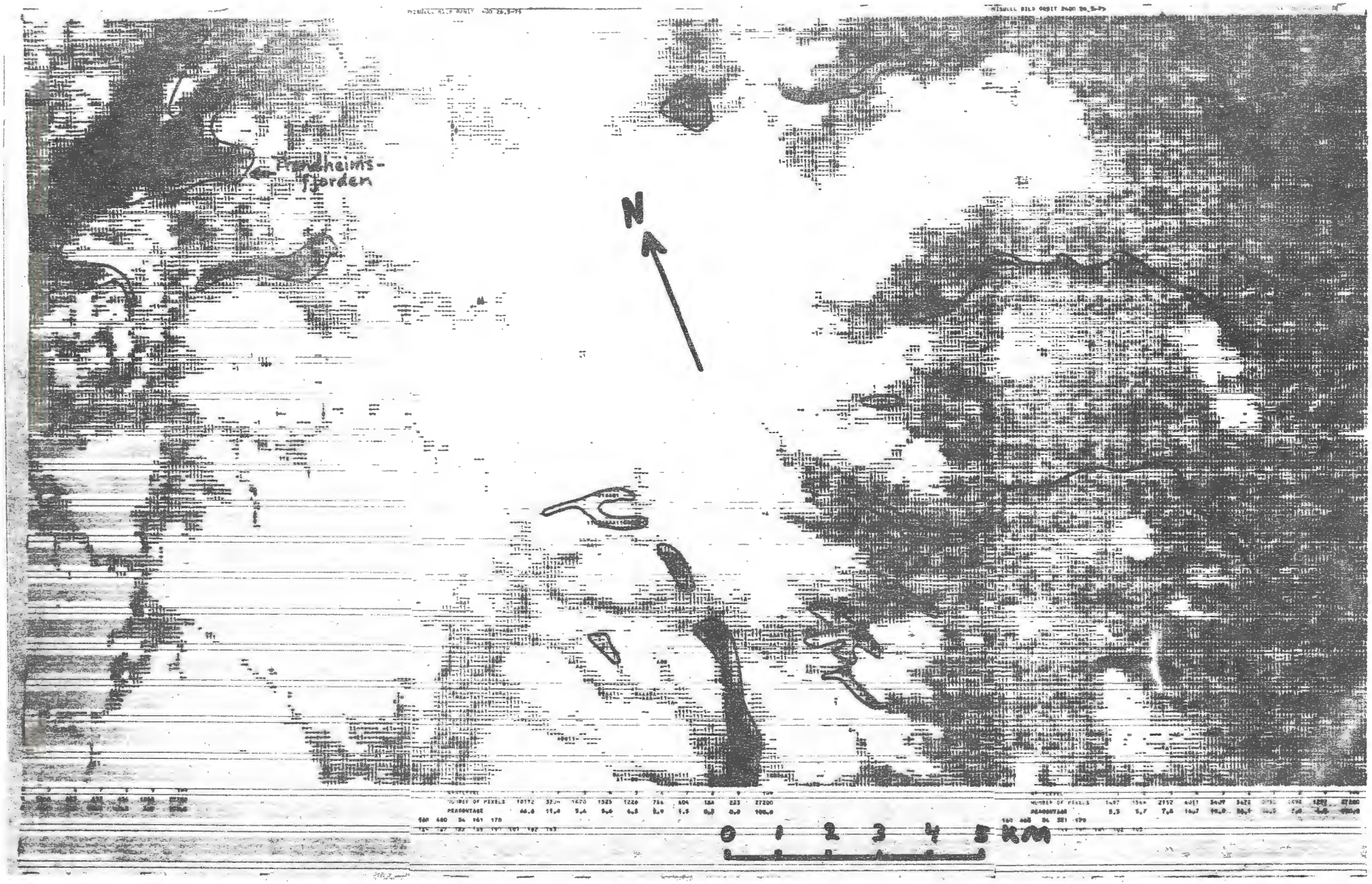
BILDEN VISAR EN JÄMFÖRELSE MELLAN SNÖKARTERING UR DIGITALA VHRR-DATA OCH SNÖKARTERING UR FLYGFOTON.

GRÄNS FÖR OMRÅDEN MED MINST 50% SNÖTÄCKNINGSGRAD UTVÄRDERAT UR FLYGFOTON.

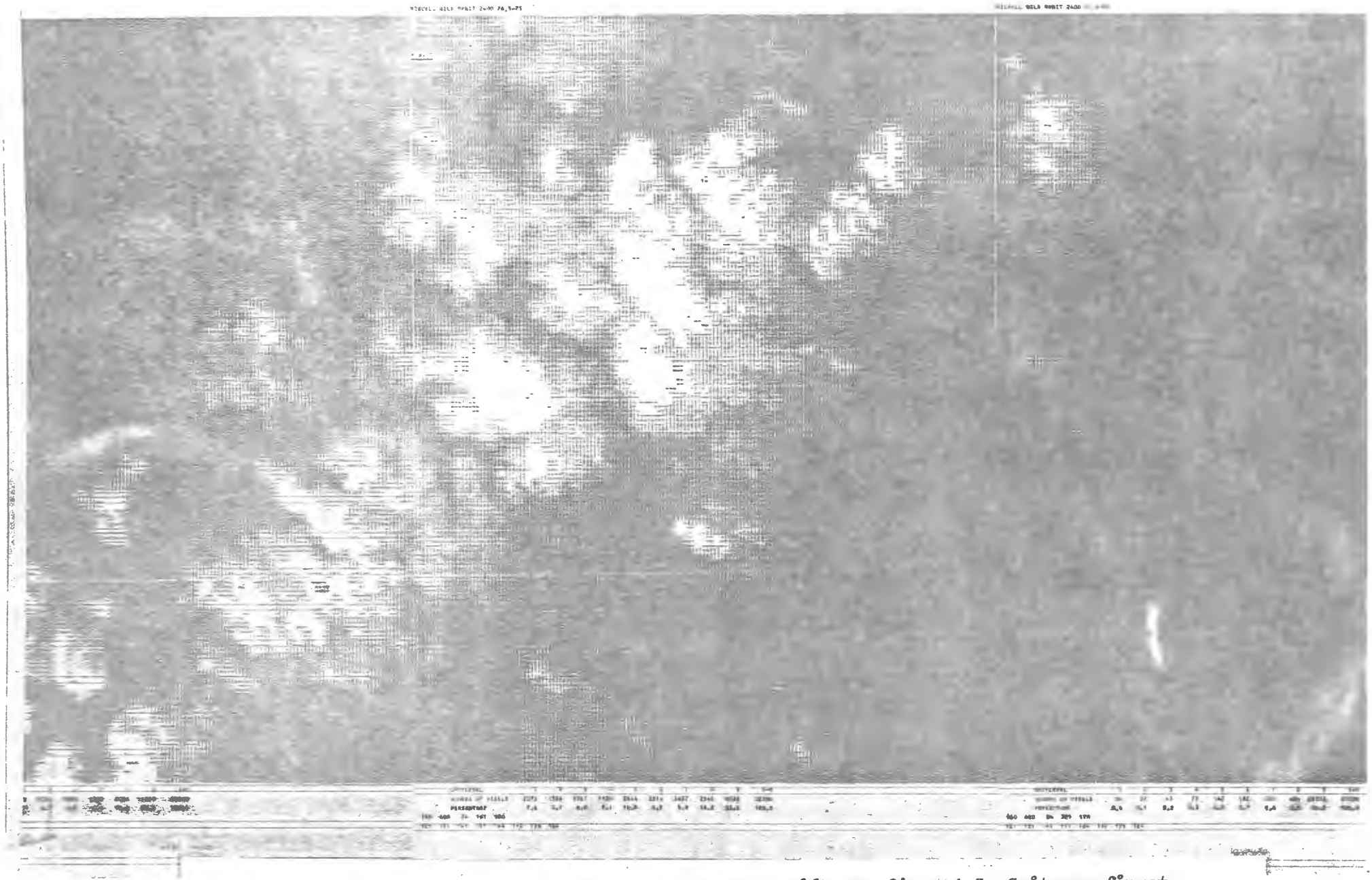


Figur 4.2

SNÖKARTERING UR DIGITALA DATA FRÅN DEN 26/5 1975. DE VITA FÄLTEN ÄR DATORUTVÄRDERADE OCH SYMBOLISERAR SNÖTÄCKNINGSGRADEN 50% ELLER MER.



Figur 4.3 Radskrivarbild över en del av norsk-svenska fjällkedjan. Gråtons-omfånget har valts så att vattendrag och barmark framhävs.



Figur 4.4 *Radskrivarbild över exakt samma område som figur 4.3. Gråtonsomfånget har här valts så att de snötäckta fjällen framhävs.*

skalan ca 60 digitalnivåer. De 60 digitalnivåerna motsvaras på marken av en övergång från barmark till i det närmaste helt snötäckt mark. Detta visar att man ur satellitinformationen verkligen kan studera snötäckningsgrad noggrannt. I den senare bilden finns inga entydiga referenspunkter men kartbilden kan ändå kopplas till den med stor noggrannhet via den tidigare bilden enligt figur 4.3. Ett histogram över bildelementens fördelning på digitalnivåerna visas i figur 4.5. För mera detaljerade beskrivningar av undersökningar som gjorts hänvisas till Mattisson (1977).

Av tidsskäl har endast en snötäckningsgrad kunnat undersökas, utvärderingen av de snedbilder som togs från helikoptern var nämligen mycket tidskrävande. Resultatet av undersökningen pekar dock på att det går att bestämma snötäckningsgraden i ett bildelement med hjälp av den visuella kanalen, under förutsättning att bildelementet ligger på kalfjäll.

Kalibrering av data bör kunna ske mot områden som är helt snötäckta resp. helt snöfria. Detta har prövats i Norge med gott resultat, Ødegaard (1979). Resultatet tyder på att snökartering från vädersatelliter kan ske på ett sådant sätt att karteringar från olika satellitpassager är jämförbara och kvantifierbara.

Med satellitinformation kan man följa förändringarna i snötäckets utbredning. Uppföljningen kan, rätt utnyttjad, vara till hjälp i arbetet med flödesprognoser. T.ex. kan man med hjälp av satelliter upptäcka extremsituationer under senvåren med ovanligt stora eller små snömängder på kalfjället. Detta kan redan idag tjäna som en indikation på om en flödesprognos, som är gjord på konventionellt sätt, är sannolik eller osannolik. På lite längre sikt sett - efter att ha karterat snö under några vårsäsonger med hjälp av satellit - är det möjligt att närmare studera vilka samband som existerar mellan snöyta och efterföljande avrinning från området.

HISTOGRAM: DIGITALA GRÅTONSNIVÅER,VISUELLA DATA

NIVÅ	ANTAL	HISTOGRAM
1[illegible]	45	
1[illegible]	60	*
1[illegible]	92	*
1[illegible]	80	*
1[illegible]	102	*
1[illegible]	123	**
1[illegible]	121	**
1[illegible]	121	**
111	159	**
112	170	***
113	170	***
114	181	***
115	205	***
116	213	***
117	219	***
118	228	****
119	220	****
120	234	****
121	233	****
122	245	****
123	290	*****
124	280	*****
125	255	****
126	235	****
127	273	****
128	249	****
129	281	*****
130	283	*****
131	257	****
132	320	*****
133	281	*****
134	292	*****
135	279	*****
136	278	*****
137	298	*****
138	257	****
139	295	*****
140	264	****
141	295	*****
142	294	*****
143	292	*****
144	299	*****
145	279	*****
146	263	****
147	286	*****
148	313	*****
149	276	*****
150	318	*****
151	318	*****
152	296	*****
153	300	*****
154	334	******
155	285	*****
156	313	*****
157	309	*****
158	308	*****
159	322	*****
160	331	******
161	318	*****
162	331	******
163	349	******
164	372	******
165	326	*****
166	373	******
167	405	*******
168	415	*******
169	434	*******
170	461	********
171	496	*********
172	515	*********
173	494	********
174	561	**********
175	567	**********
176	621	**********
177	661	**********
178	769	**********
179	879	**********
180	925	**********
181	1053	**********
182	1217	**********
183	1393	**********
184	1802	**********
185	2263	**********
186	3023	**********
187	4187	**********
188	5436	**********
189	5491	**********
190	4561	**********
191	3012	**********
192	1653	**********
193	959	**********
194	561	**********
195	242	****
196	118	**
197	30	
19[illegible]	18	
19[illegible]	9	
20[illegible]	13	

Figur 4.5 Histogram över digitala nivåer.

SNÖ
BARMARK

4.2 Havsiskartering

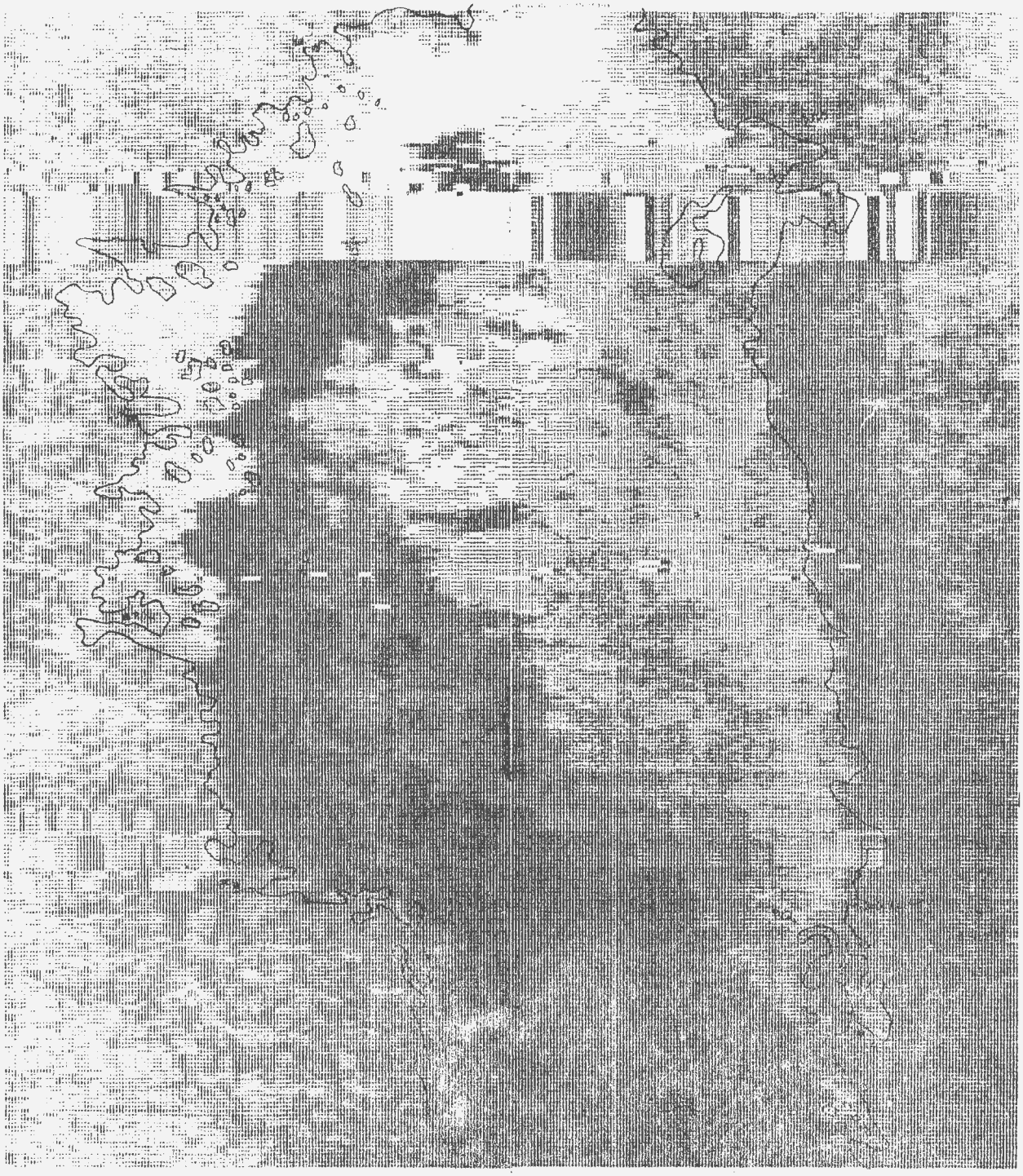
En jämförelse har gjorts mellan datorbearbetade VHRR-data, fotografiska VHRR-bilder och isdata, som insamlats under fältförsöket Sea Ice -75, Udin (1979).

Resultaten påvisar fördelar med datorbearbetning. Distorsionen i informationen, vilken beror på jordytans krökning och jordens rotation kan elimineras. Längd- och ytmätningar i bilderna kan därför utföras. Radskrivarbilderna ger en uppförstoring av satellitinformationen, som visar mer detaljer än de fotografiska bilderna. Om satellitinformationen anpassades till samma kartskala och -projektion som arbetskartorna vid istjänsten skulle med säkerhet arbetet både förenklas och förbättras kvalitetsmässigt. Olika typer av gränser, t.ex. mellan is och öppet vatten, is och land, och mellan olika typer av is kan framhävas genom gråtonsförskjutning. De olika gråtonerna i utskrifterna tycks kunna ge en viss kvantitativ information om isens koncentration och en kvalitativ information om istjockleken. För en kvantitativ tolkning krävs dock ytterligare studier och dessutom behövs en kalibrering av satellitdata. Den visuella och infraröda kanalen ger olika typer av information och en samtidig flerkanalsbearbetning tycks kunna ge en förbättrad information.

Radskrivarbilden (figur 4.6) är en olämplig utskriftsform vid en rutintillämpning. "Fotografiska" bilder från laserfax eller fotorekorder är att föredra men för en anpassning av satellitinformationen till arbetskartans skala och projektion kan Versatecplottern vara ett lämpligt redskap. Programpaket som kan ge upp till 32 olika gråtoner finns nu tillgängliga i marknaden.

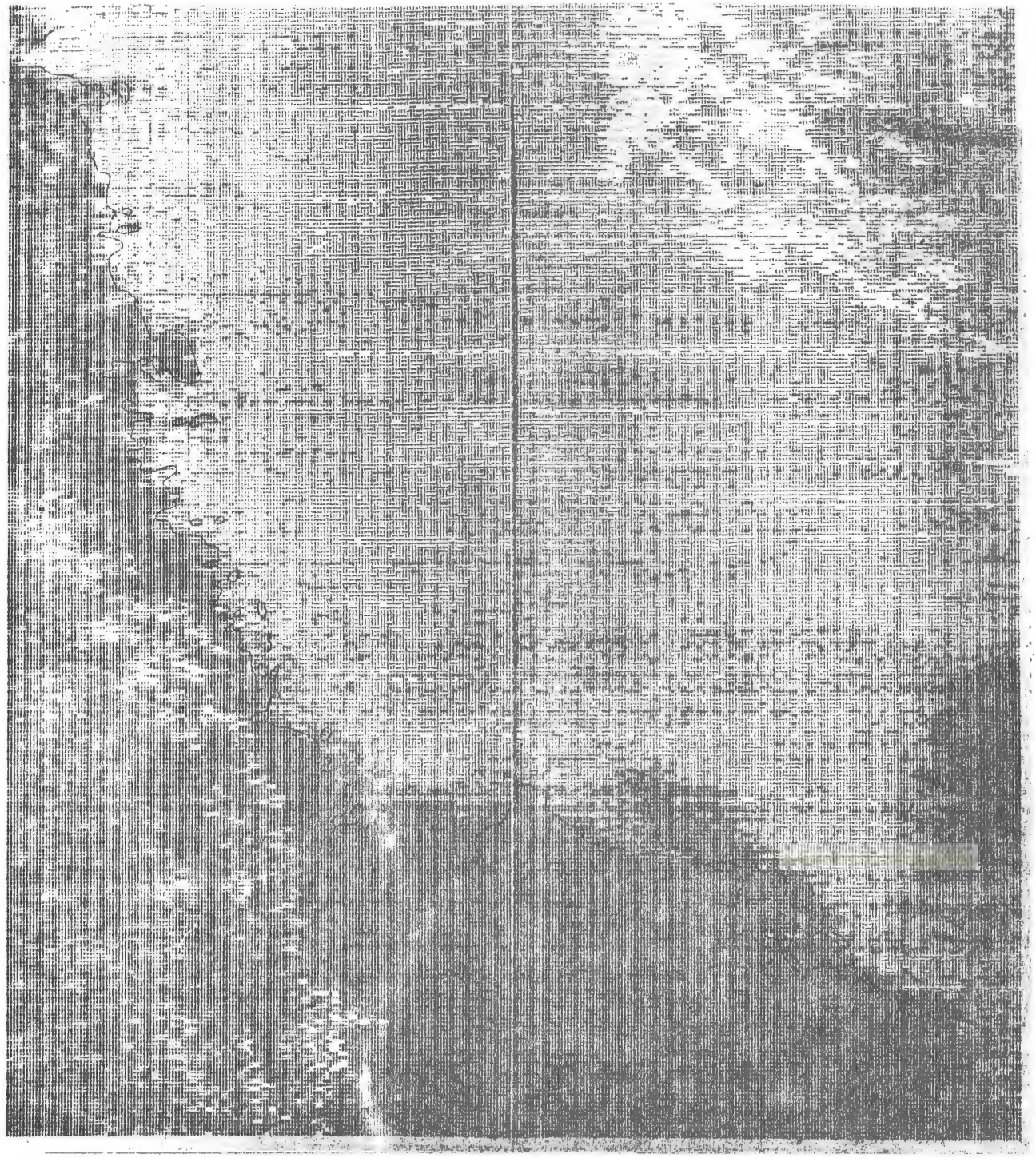
4.3 Andra tillämpningar

En del försök att studera ytvattentemperaturfördelningen har gjorts. De tillgängliga VHRR-banden har dock inte innehållit områden med speciellt intressant information.

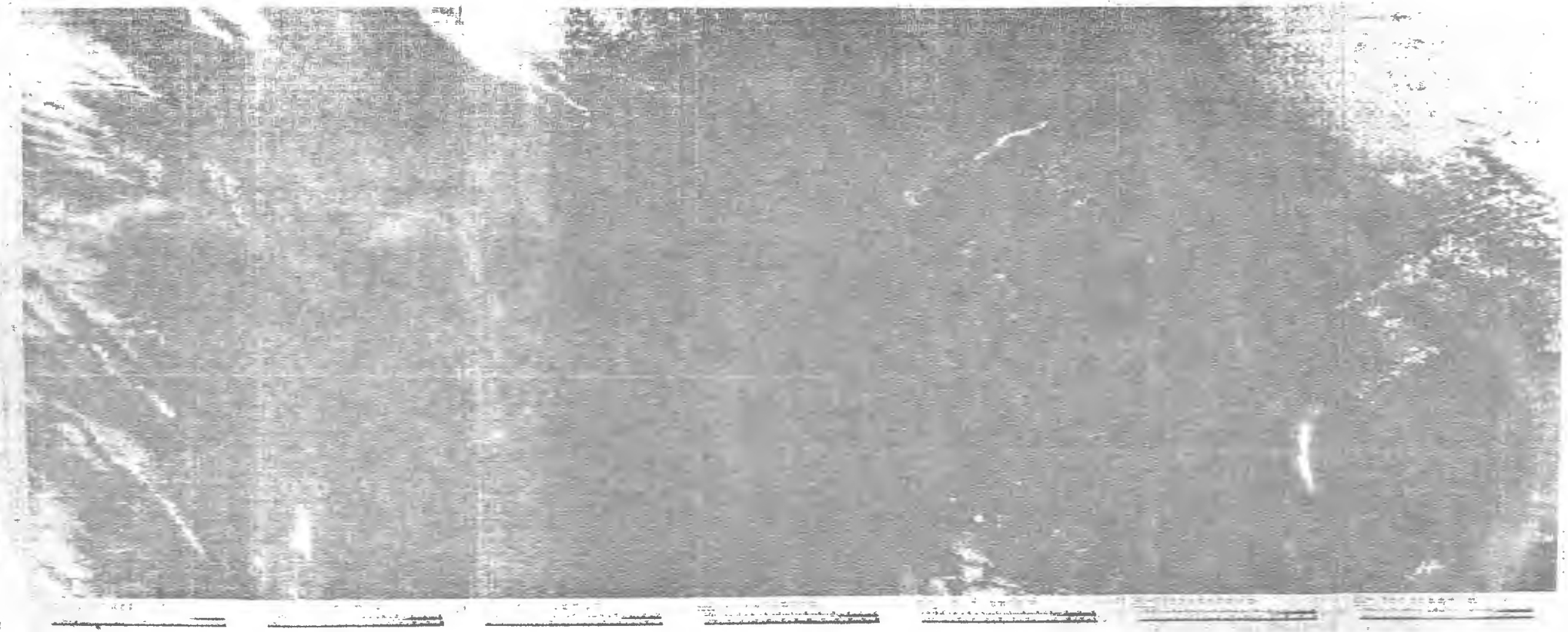


Figur 4.6 Radskrivarbild över Bottenviken 1975-03-17. Bilden är från den visuella kanalen.

En datorutskrift över Gävlebukten visas i figur 4.7. Den visar IR-data från NOAA-4. Gråtonerna har valts så att små temperaturskillnader i vattnet framhävs. Vattenytan är ändå relativt homogen. Ett kallt (ljust) område, som i den visuella kanalen visat sig vara ett moln, syns i övre högra hörnet. Enbart vattnet i kustzonen är något varmare (mörkare). Havvattentemperaturanalysen vid SMHI för den aktuella dagen visar också upp en homogen temperatur i området.

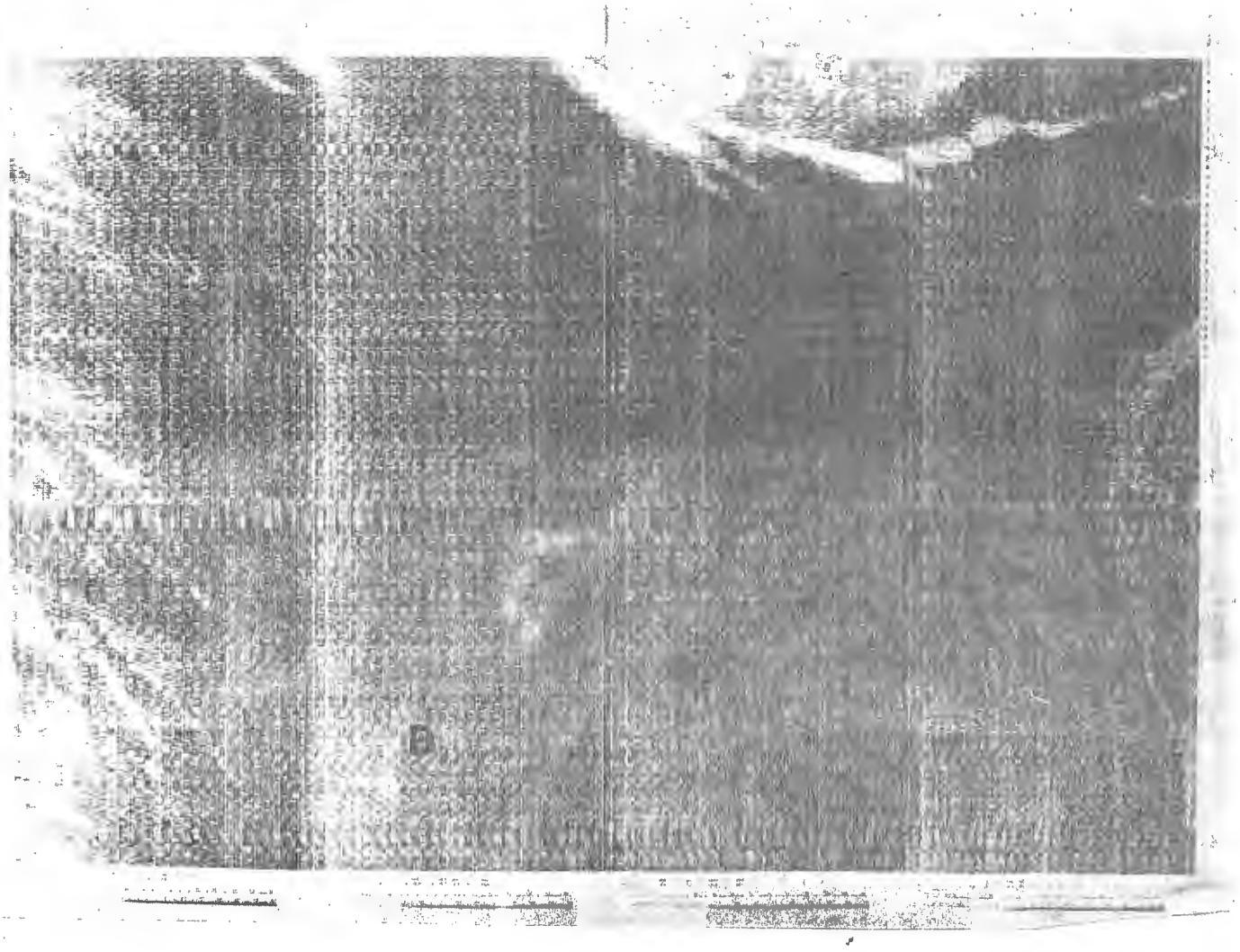


Figur 4.7 Radskrivarbild över Gävlebukten 1975-05-26. Bilden är från den infraröda kanalen. Kustlinjen är inritad.



Figur 4.8a Radskrivarbild över Jylland och Nordsjön 1977-04-28. Hallands- och Skånekusten syns längst till höger. Västerut ses kalla (ljusa) molnstrimmor. I området vid Bravoplattformen (B) ses en kall (ljus) fläck.

Figur 4.8a visar ett område från Skåne och Sveriges västkust över Jylland och vidare västerut. Bilden är en utskrift från IR-kanalen och är från 1977-04-28. Landområden är under våren varmare än havsområdena och är mörka i bilden. I de västra och norra delarna syns molnområden. Molnen är kallare än underlaget och är ljusa i bilden. Vid denna tidpunkt pågick en "blow out" vid Bravoplattformen i Ekofiskområdet. Exakt vid plattformen (markerad med B i bilden) syns ett ljusare område, som har en något annorlunda form än molnen väster- och nordvästut. Områdets yta och utsträckning överensstämde relativt väl med data från observationer och man trodde att det var Bravoolja som syntes i bilden. Området syns också något svagt i den visuella kanalen (figur 4.8b).



Figur 4.8b En visuell bild från 1977-04-28 över Nordsjön. Fläcken vid Bravo syns svagt och är ljusare än vattnet.

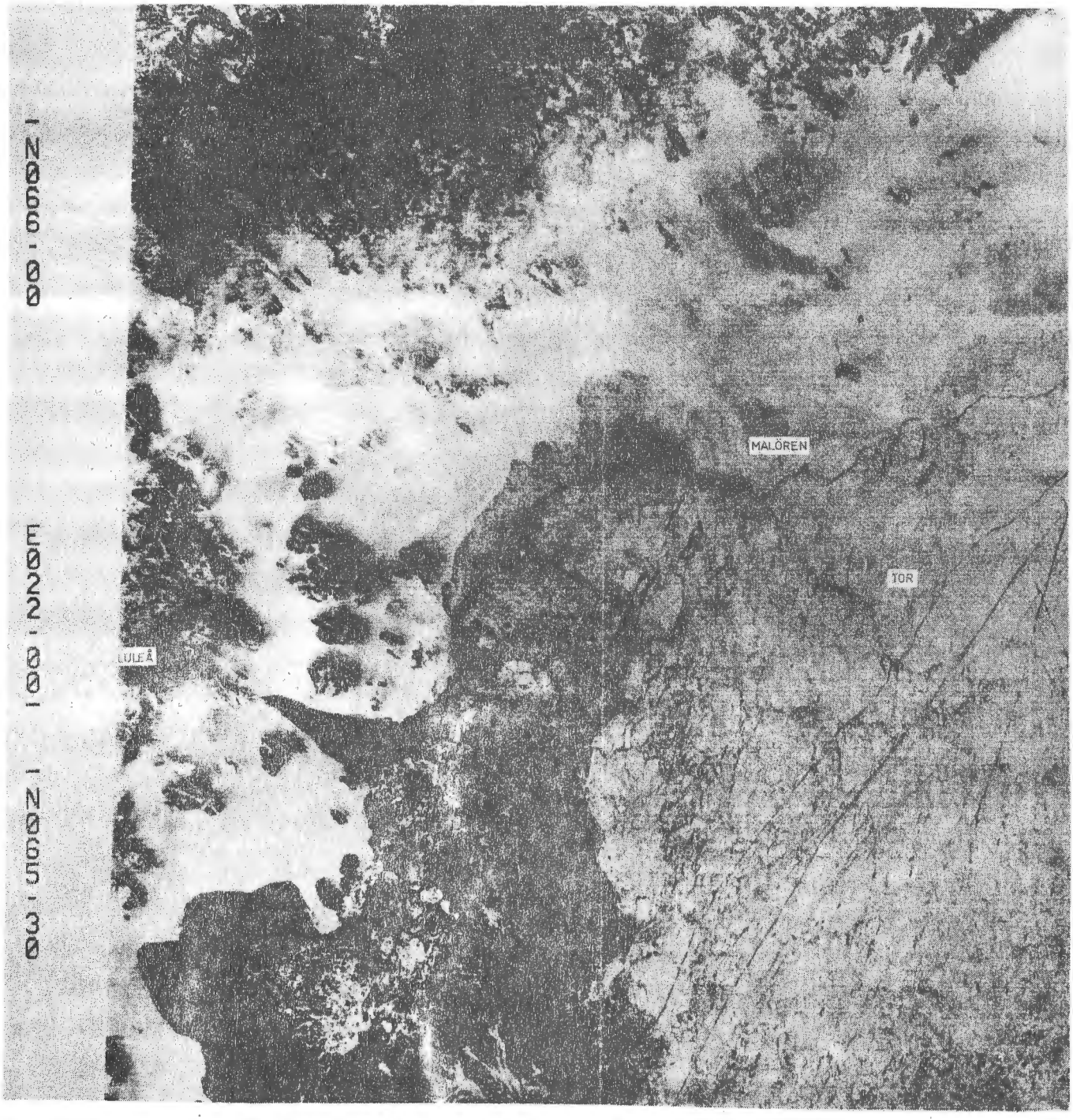
Senare strålningsberäkningar där hänsyn togs till oljans emissivitet visade att fläcken mer sannolikt var ett moln, mitt över Bravo och med en yta som överensstämde relativt väl med oljeutsläppets storlek.

Vid båda tillämpningarna ovan har samtidig information från den visuella och den infraröda kanalen behövts för att kunna dra riktiga slutsatser (d.v.s. eliminera effekten av molnområden i de båda fallen). Med information från enbart en kanal kan informationen utnyttjas felaktigt.

5. BEARBETNING AV LANDSATDATA

Tonvikten i projektet låg på bearbetning av data från de polära operationella meteorologiska satelliterna. Men också en kort studie av havsiskartering med digitala LANDSAT-data gjordes tillsammans med FOA.

De fotografiska LANDSAT-bilderna ger en mycket god information om isens horisontella utbredning (se figur 5.1).



Figur 5.1 Fotografisk LANDSAT-bild från MSS 7 över nordvästra Bottenviken 1975-03-15.

Vid havsiskartering är man bl.a. intresserad av olika istypers fördelning. Dessa istyper har både horisontell och vertikal utsträckning. Skuggeffekter och olika snötäckningsgrad från hopskjutna och vallade isfält skulle kunna ge en möjlighet för bestämning av olika istyper. Målet med LANDSAT-studien var därför att kort undersöka om man med en digital och multispektral databearbetning kunde få fram ytterligare information om isfältet och möjligen klassa olika istyper maskinellt.

5.1 Data

Under projektet "SEA ICE -75", Blomqvist, Pilo and Thompson (1976) insamlades isdata över Bottenviken från bl.a. LANDSAT- och NOAA-satelliterna, flygfotografier och från markobservationer, Udin (1976). Jordresurssatelliten LANDSAT 1 registrerade delar av området under tre dagar: 14, 15 och 16 mars 1975. En fotografisk bild från den nära infraröda kanalen, MSS 7, för den 15 mars ses i figur 5.1. De mörka partierna öster om Luleå visar öppet vatten och nyis, som inte är snötäckt. De ljusa delarna nordost om Luleå är snötäckt landfast is och de gråa, oenhetliga partierna i bildens högra del är sammanpackad drivis med isvallar av olika storlek och frekvens. Sprickor kan förekomma i drivisen. Isbrytarrännor framkommer tydligt i bildens nedre högra hörn.

Tabell 5.1

Kategori	Istyp
1	Öppet vatten
2	Nyis (icke snötäckt)
3	Jämn is (helt eller delvis snötäckt)
4	Hopskjuten is
5	Is med små - måttliga isvallar. Valltäckning mindre än 50%.
6	Is med små - måttliga isvallar. Valltäckning mer än 50%.
7	Is med kraftiga isvallar. Valltäckning mindre än 50%.
8	Is med kraftiga isvallar. Valltäckning mer än 50%.

Magnetband från LANDSAT beställdes från NASA för 15 och 16:e mars. Som jämförelsematerial används flygfotografier där olika istyper klassificerats bl.a. med hjälp av markobservationer, Udin (1976). Isen hade delats upp i åtta olika kategorier, enligt tabell 5.1.

Figur 5.2 Radskrivarbild över området (ca 10 x 7 km) kring isbrytaren TOR (T).

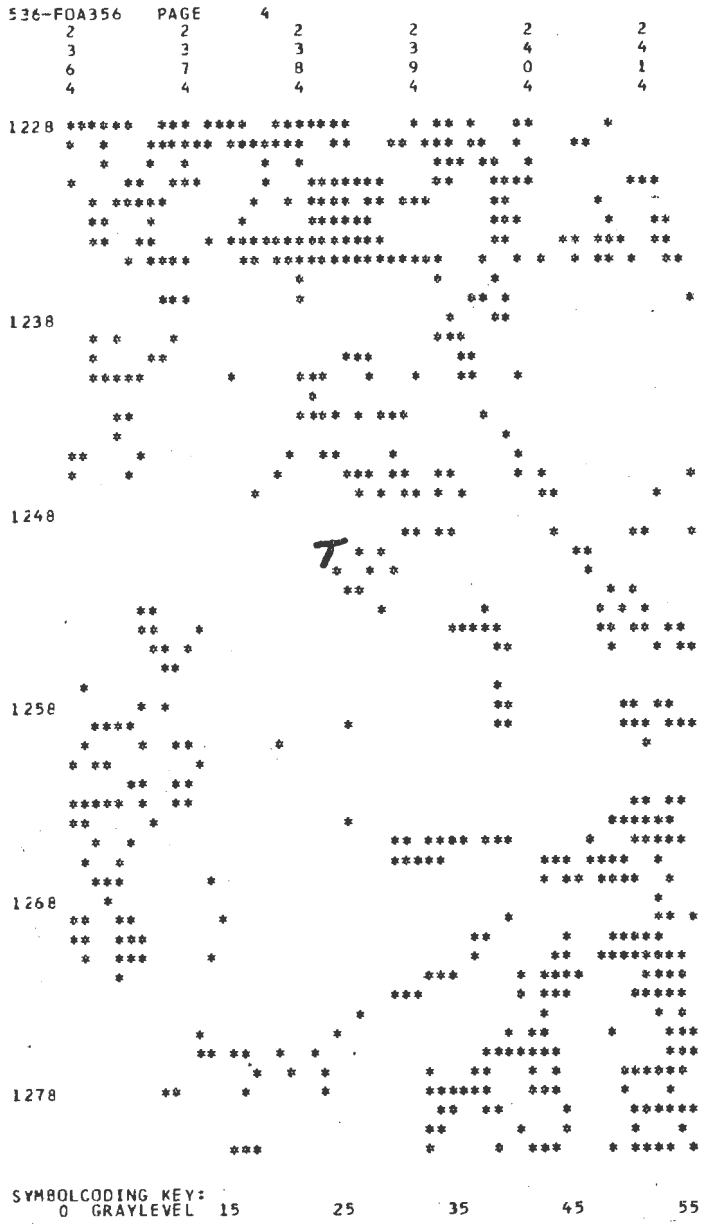
5.2 Digital bearbetning

Databearbetningen gjordes vid QZ i Stockholm tillsammans med FOA. Bearbetningsmetoder och mjukvaran som användes har beskrivits av Orhaug and Åkersten (1976) och Gustavsson and Åkersten (1976). I figur 5.2 ses en radskrivarkarta för isfältet runt isbrytaren TOR. TOR låg infrusen i isflaket och fungerade som bas under försöket. Radskrivarbilden i figuren användes för att lokalisera klassade typytor av isen. De mörkaste partierna i bilden är öppet vatten och nyis, de vitaste är jämn och snötäckt is.

Ett antal typytor för varje iskategori togs fram och de spektrala signaturerna studerades. Spektralintervallen för den delvis eller helt snötäckta isen (kategori 3 -8) var mycket snäva och några större skillnader mellan de olika kanalerna var svåra att hitta. En automatisk klassning av isen i de åtta kategorierna som tabell 5.1 visar kunde därför inte genomföras.

Radskrivarkartan i figur 5.2 visar ändå att det finns gråtoner i isfältet mellan jämn snötäckt is och öppet vatten. De gråtonerna är i figuren relativt väl korrelerade med hopskjuten is och isvallar. Närområdet kring TOR ses i radskrivarkartan i figur 5.3. Kartan är från MSS 7 och den visar enbart spektralnivåerna mellan nyis och jämn snötäckt is.

Utskrifter som täcker större områden visar emellertid att tolkningen inte är entydig. Isbrytarrännor, råkkanter, sönderslagen nyis, vissa landområden ger samma signaturer. Att klassa olika istyper automatiskt enbart från radiansnivåer tycks därför inte vara möjligt. Däremot indikerar materialet att man kan nå längre i en klassning om man försöker utnyttja former, linjestruktur, etc. i datamaterialet.



Figur 5.3 Radskrivarbild över närområdet kring isbrytaren TOR (T). Såväl öppet vatten, nyis och snötäckt is är vitt och enbart nivåerna däremellan presenteras i bilden.

Ett antal bläckstrålebilder togs fram från den bearbetade satellitinformationen. Figur 5.4 är en hopsatt färgbild över området från Luleå till TOR. Bilden är skapad från en kanal. Den högra delen av figuren visar sammanfrusen drivis med både sprickor och isvallar. Dessa har en mörkare ton i det ljusa isfältet. Isvallar med tillräcklig utsträckning ses i fältet som linjestrukturer. Vissa

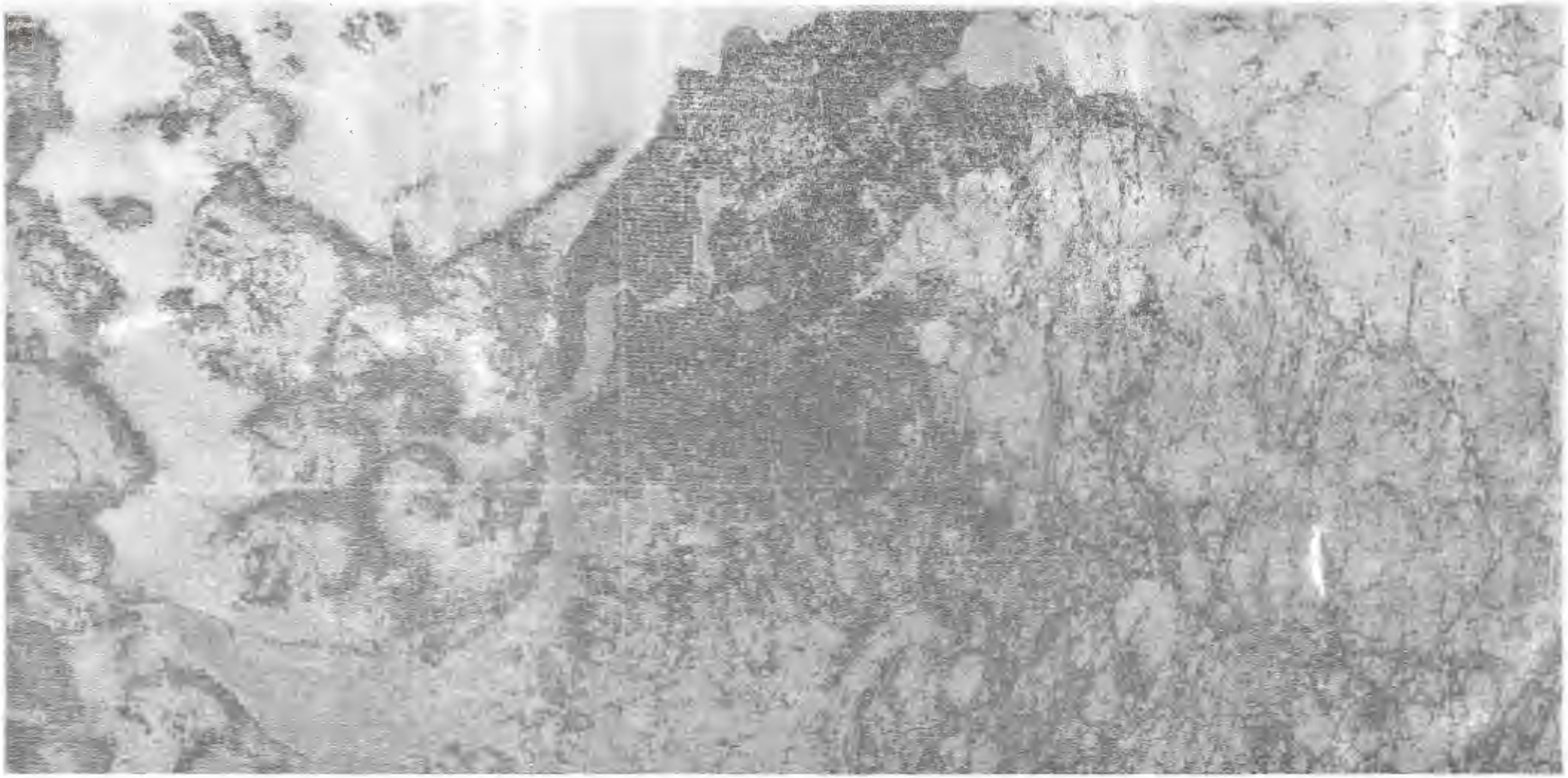
vallar nära TOR var inte mer än 20-30 m breda men kunde ändå ses i den bearbetade informationen på grund av sin längd. I det vänstra nedre hörnet på bilden syns inloppet till Luleå. En nyansskillnad mellan nyis och öppet vatten ses i originalbilden. De mörka områdena i den centrala delen av bilden är tunn is som är relativt sönderslagen. De ljusa partierna i övre vänstra delen är landfast snötäckt is.

Ett multispektralt bearbetad delbild av området öster om Luleå ses i figur 5.5. Färgerna (gråtonerna) är inte desamma som i förra bilden. De mörkaste partierna representerar öppet vatten, de ljusaste jämn snötäckt is. Nyisen i nedre vänstra hörnet framträder tydligare i denna bild. Men i övrigt är den information som fås relativt likvärdig med den från figur 5.4.

5.3 Kommentarer

LANDSAT-bearbetningen var en mycket begränsad del av det här redovisade projektet. Resultaten som har framkommit är därför inte slutgiltiga och får tas som representativa för enbart den här studerade situationen. Sammanfattningsvis kan sägas:

- den rumsliga upplösningen i LANDSAT-data kan utnyttjas bättre i en datorbild än i fotografiska bilder.
- den bättre gråtonsupplösningen i CCT:n kan utnyttjas för att särskilja fler istyper t.ex. tunn nyis.
- att enbart från radiansnivåer särskilja de önskade istyperna tycks inte vara möjligt. Genom att utnyttja former, linjestrukturer och textur kan troligen fler typer identifieras entydigt.
- den multispektrala datainformationen tycks inte innehålla någon märkbart större information om istyperna som här studerats jämfört med informationen från en enskild kanal.
- linjestrukturer med en mindre bredd än den rumsliga upplösningen framträder klart, t.ex. smala isvallar och sprickor.



Figur 5.4 LANDSAT-bild av isfältet från Luleå till isbrytaren TOR genererad med bläckspruta. Enbart information från en MSS har använts.

Figur 5.5 *Delbild av figur 5.4 men med utnyttjande av data från tre MSS-kanaler. Bilden är genererad med bläckspruta.*

6. KOMMENTARER

Inom ramen för projektet har programvara tagits fram för viss bearbetning och presentation av VHRR-data. Denna har i huvudsak applicerats på snö- och havsis, samt i mindre omfattning på ytvatten och en förmodad oljefläck vid Bravoplattformen i Nordsjön.

Studien har visat att en digital bearbetning av satellitdata ger en rad fördelar. Distorsion i en bild kan elimineras. Bilden kan anpassas till lämplig kartprojektion och kartskala. Den kan förstoras. Gråtonerna kan varieras godtyckligt och läggas så att det som är av störst intresse framträder tydligt. Allt detta ökar satellitinformationens tillgänglighet och förenklar tolkningen.

Den datorbearbetade produkten kan också ge en kvantitativ information. I de flesta fall är det önskvärt med en samtidig bearbetning av data från två eller flera kanaler. Information från en kanal kan ibland tolkas på olika sätt, t.ex. kan snö och snötäckt is i den visuella kanalen förväxlas med moln. En multispektral bearbetning eliminerar i många fall feltolkningar. Också en kalibrering av data behövs. Resultaten från studien tyder på att snö- och istäckningsgrad kan kvantifieras. Vidare studier behövs dock.

Datorbearbetad CCT från LANDSAT innehåller en större information än de fotografiska bilderna bl.a. därför att den rumsliga upplösningen bättre kan utnyttjas. Att klassa intressanta istyper maskinellt från LANDSAT´s olika radiansnivåer visade sig inte vara möjligt. En mer avancerad bildbearbetning som utnyttjar former, linjestrukturer och textur behövs för entydig identifiering.

Projektet har inneburit att kunskap och kompetens inom bildbearbetning har ökat inom SMHI. Detta har som resultat givit en ökad medvetenhet om satellitinformationens möjligheter.

Delvis som följd av projektet har en studie över SMHI:s totala behov av satellitdata genomförts, Liljas, Mattisson och Udin (1978). Den visar att snö- och havsisbehov är en liten del i det totala behovet.

Vidare så har en fördjupad studie rörande snökartering påbörjats vilken stöds ekonomiskt av kraftverksindustrin.

Bearbetade satellitprodukter behövs i de flesta fall i realtid. De skall dessutom vara lättolkade och ibland kombineras med annan information. En snabb tillgång till bearbetad information och överlagring av t.ex. väderinformation visar att datorbearbetning och nedtagning av satellitdata behöver ske vid SMHI. Bearbetningen kräver en kvalificerad datorresurs som dels är flexibel för vidare utveckling av mjuk- och hårdvara och dels knuten till SMHI:s bearbetningsdator. Möjligheter till en interaktiv bildbearbetning är dessutom till nytta både inom rutintjänst och vid vidare utveckling.

Referenser:

Blomqvist, Å., C. Pilo och T. Thompson (1976): Sea Ice -75: Final report. Styrelsen för vintersjöfartsforskning, Forskningsrapport nr. 16:9. Stockholm/Norrköping.

Erlefjord, G. (1978): VHRR - tre program för behandling av satellitsignaler från NOAA 4 och -5. FOA rapport C30134-El Linköping.

Gustafsson, L.E and I. Åkersten (1976): Program library for handling and processing of remotely sensed multispectral data. FOA rapport nr D 30055-El, Oktober 1976.

Helldén, U. och I. Åkersten (1976): LANDSAT digitaldata för vattenkvalitetsbedömning. FOA rapport nr C 30087-El, November 1976.

Liljas, E., I. Mattisson och I. Udin (1978): Arbetsgruppen för kartläggning av SMHI:s behov av väder-, satellitinformation, Slutrapport. SMHI, Norrköping.

Mattisson, I. (1977): Snökartering ur satellitinformation. SMHI HBF PM nr 217, 1977.

Orhaug, T., L. Wastenson and I. Åkersten (1976): Forest inventory using LANDSAT digital imagery. FOA rapport nr A 30008-El, Oktober 1976.

Orhaug, T. and I. Åkersten (1976): Digital processing of multispectral data. FOA rapport C 30075-El, Juli 1976.

Schwalb, A. (1972): Modified version of the improved TIROS operational satellite. NOAA Techn. Memo. NESS 35.

Udin, I. (1976): Sea Ice -75: Ground truth report. Styrelsen för vintersjöfartsforskning, Forskningsrapport nr 16:2. Norrköping.

Udin, I. (1979): En studie av datorbearbetade VHRR-data för havsiskartering. SMHI/VBM PM U1/79, Norrköping, Mars 1979.

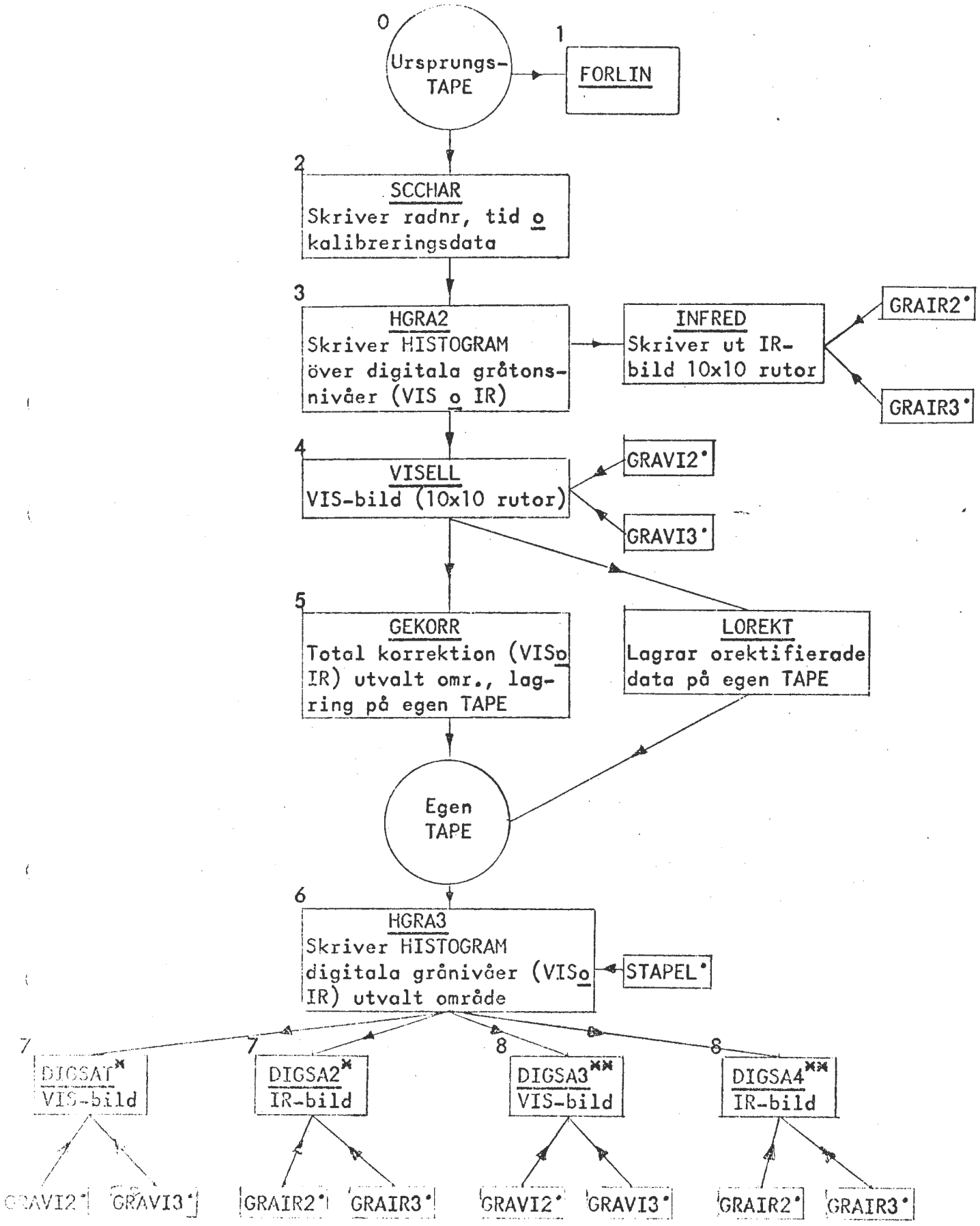
Åkersten, I. and L.E Gustafsson (1978): Program library for handling and processing of remotely sensed multispectral data (second revised edition). FOA rapport nr C 30146-El, September 1978.

Ødegaard, H. (1979): Applications of satellite data for snow mapping in Norway. IBM, Oslo, 1979.

Schematisk beskrivning över SMHI:s programpaket för VHRR-bearbetning.

Göran Aspling

Flödesschema (Rutinmässigt tillvägagångssätt vid ny TAPE)



* Utan programhuvud

** Med programhuvud

* SUBROUTINE:s

Kommentarer och instruktioner för körning av program i flödesschemat på sid. 1.

0. Ursprungstape

1. FORLIN: Programmet skriver ut 5 RECORDS från ursprungstapen i hexadecimal form för att kontrollera datas rimlighet. Om data verkar felaktiga göres inga ytterligare körningar med tapen.
I körinstruktionen måste anges vilken tape som skall användas vid laddning av TAPE, TM1, NONSTANDARD; (Ett namn som man själv har märkt tapen med).
Utskrift på A4-format anges i körinstruktionen.

2. SCCHAR: Skriver radnr, tid och kalibreringsdata för önskat antal scanlinjer på ursprungstape.
I körinstruktionen måste anges vilken tape som skall användas vid laddning av TAPE, TM1, NONSTANDARD;
ISTRTL = första linje som skall behandlas.
ISLUTL = sista linje som skall behandlas.
I FORMAT sats 111 anges önskad rubrik över utskriften med satellitnamn, ORBIT-nr, datum och starttid.
Utskrift på A3-format anges i körinstruktionen.

3. HGRA2: Skriver ut histogram över digitala gråniråer (VIS o IR) för utvalt område på ursprungstape för att få en uppfattning om lämpliga gråtonsgränser. Histogrammet ger nivå och antal i varje samt staplar motsvarande antalet i varje nivå. Totala antalet utfall summeras också upp.
I körinstruktionen måste anges vilken tape som skall användas vid laddning av TAPE, TM1, NONSTANDARD;
ISTRT2 = första kolumn i ursprungstape
ISTRT3 = första linje i ursprungstape
IBILDB = antal kolumner
ISLUT2 = sista linje
A4-format i utskrifterna på radskrivare.

4. VISELL: Skriver ut VIS-bild med valfri upplösning (vanligen 10x10 rutor) i utvalt område med data från ursprungstape. Denna körning göres för att lokalisera det område man är intresserad av före uppläggning på egen tape.
I körinstruktionen måste anges vilken tape som skall användas vid laddning av TAPE, TM1, NONSTANDARD;
ITYP2 anger bildtyp, satellit, ORBIT-nr och datum för satellitpassagen i fråga. GRNS1-GRNS8 är gråtonsgränser som bestämmer gråtonerna i utskrifterna.
ISTRTP = första kolumn i ursprungstape
ISTRT2 = första kolumn i bilden (OBS! ISTRT2 = ISTRTP vid 1x1 rutor, i övrigt ISTRT2 = 1)
ISTRTL = första linje som ingår i bilden
IRUTX = Rutstorlek i longitudinell riktning
IRUTZ = Rutstorlek i latitudinell riktning
IBILD8 = Bildbredd
ISLUTL = Sista linje som ingår i bilden
IBILDH = Bildhöjd
A3 eller A4 format i utskrifterna på radskrivare beroende på områdets storlek. A4 har plats för 115 kolumner och A3 för 160 kolumner. Antalet rader obegränsat i båda fallen.
INFRED: Gör motsvarande för IR-bild.

5. GEKORR: Utför total korrektion i utvalt område (dvs korrektion för panoramadistortion, jordrotation och 'print-out-medium')
Programhuvud och korrigerade data lagras på egen tape. Tabell över jordrotationens inverkan skrivs ut på radskrivare föregått av programhuvud.
I körinstruktionen anges vilken tape som skall användas vid laddning av NONSTANDARD.
Programmet finns registrerat i biblioteket MP.VB.VBM.
Indatakorten omfattar: ITYP, INOAA, IEXP, ICURV, IROT, IPRINT, ICALIR, ICALVI, IRAD, IDATYP, IBAND, ISCENE
Vidare:
IROW1 = första rad i ursprungstape som sparas på egen tape
IROWS = antalet rader
IRINC = radinkrementet
ICOL1 = första kolumn
ICOLS = antalet kolumner
ICINC = kolumninkrementet
NPRIM2 = antalet rader på ursprungstapen
THETAG = latitud (radianer) för utvald referenspunkt vid korrektion för jordrotationen
PHIGE = longitud
G = rad-nr
N4 = Antalet kolumner som sparas på egen tape
ISTRTL = första linje som sparas
ISLUTL = sista linje som sparas
ISTRT2 = första kolumn som sparas (efter korrektion för panoramadistortionen; fås genom att gå in med önskad startkolumn i speciell tabell PROGRAM TESTHD från 77-03-23).
IBILDB = bildbredd före korrektion för print-out-medium 80% av IBILD2.
IBILD2 = bildbredd efter korrektion för print-out-medium.
A4-format vid utskrift på radskrivaren.

6. HGRA3: Skriver ut HISTOGRAM över digitala gråniråer (VIS o IR) för utvalt område på egen tape. Programhuvud skrivs ut samt digitalnivå, antal, frekvens och kumulativ frekvens. Totala antalet utfall summeras också upp.
Programmet är registrerat i biblioteket MP.VB.VBM.
IROW1B = första rad i ursprungstape som medtages
IROWSB = antal rader i ursprungstape
IRINCB = radinkrementet i ursprungstape
ICOL1B = första kolumn i ursprungstape som medtages
ICOLSB = antal kolumner i ursprungstape
ICINCB = kolumninkrementet i ursprungstape
IBILDB = antal kolumner på egen tape som medtages
N4 = totala antalet kolumner på egen tape
ISTRT3 = första rad på egen tape som medtages
ISTRT2 = första kolumn på egen tape som medtages
IBILDH = antalet rader på egen tape som medtages
ISCEN2 = namn på utvald scen + VIS+IR i position 48-52.
A3 format måste användas vid utskrift på radskrivaren.

7. DIGSAT: Skriver VIS-bild med valfri upplösning i utvalt område med data från egen tape, utan programhuvud och SYMBOLCODING KEY men med frekvenstabell över utfall i olika intervall och utskrift av GRNS:er.

Programmet är registrerat i biblioteket MP.VB.VBM.
ITYP2 anger bildtyp, satellit, ORBIT-nr och datum för satellitpassagen i fråga.
INDEX styr vilken subrutin som skall anropas (INDEX = 0 - GRAVI2 anropas, dvs utskrift med FOA:s gråskala; INDEX = 1 - GRAVI3 anropas, dvs utskrift med egna valfria gråskalekaraktärer
IBILDB = bildbredd
N4 = antalet kolumner som sparats på egen tape
ISTRT3 = första linje som ingår i bilden
ISTRT2 = första kolumn som ingår i bilden
IBILDH = bildhöjd
ISLUTL = sista linje som ingår i bilden
IRUTX = rutstorlek i longitudinell riktning
IRUTZ = turstorlek i latitudiell riktning
ISTRTP = första kolumn på tapen som ingår i bilden (OBS! ISTRT2 = ISTRTP vid 1x1 rutor, i övrigt sätt ISTRT2 = 1)
IGIVEN = antalet gråtonsgränser vid anrop av GRAVI3,
GRNS1-GRNS8 = gråtonsgränser vid anrop av GRAVI2
GRNS(1)-GRNS(30) gråtonsgränser vid anrop av GRAVI3
A4 eller A3 format på radskrivarutskrifterna beroende på bildbredden.
DIGSA2: Motsvarande funktion som DIGSAT, men behandlar IR-data.

8. DIGSA3: Skriver VIS-bild med valfri upplösning i utvalt område med data från egen tape, med programhuvud, frekvensrabell över utfall i olika intervall samt SYMBOLCODING KEY.
Programmet är registrerat i biblioteket MP.VB.VBM.
INDEX: styr vilken subrutin som skall anropas (INDEX = 0 - GRAVI2, dvs utskrift med FOA:s gråskala; INDEX = 1 - GRAVI3, dvs utskrift med egna valfria gråskalekaraktärer
ITYP2, anger bildtyp, satellit, ORBIT-nr och datum för satellitpassagen i fråga.
IBILDB = bildbredd
N4 = antalet kolumner som sparats på egen tape
ISTRT3 = första linje som ingår i bilden
ISTRT2 = första kolumn
IBILDH = bildhöjd
ISLUTL = sista linje som går i bilden
IRUTX = rutstorlek i longitudinell riktning
IRUTZ = rutstorlek i latitudinell riktning
ISTRTP = första kolumn på ursprungstapen som ingår i bilden (OBS! ISTRT2 = ISTRTP vid 1x1 rutor, i övrigt sätts ISTRT2 = 1)
IGIVEN = antalet gråtonsgränser vid anrop av GRAVI3
GRNS1-GRNS8 = gråtonsgränser vid anrop av GRAVI2
GRNS(1)-GRNS(30) = gråtonsgränser vid anrop av GRAVI3
IROW1B = startrad
IROWSB = antal rader
IRINCB = radinkrement
ICOL1B = startkolumn
ICOLSB = antal kolumner
ICINCB = kolumninkrement
A3 format vid utskrift på radskrivaren.
DIGSA4: Motsvarande funktion som DIGSA3, men behandlar IR-data.

GEOMETRISK KORREKTION

1. Allmänt

Ur satellitdata önskar man kunna framställa bilder med relativt kartriktig geometri. Avsökningssättet - en scanner som sveper över den krökta jordytan tvärs mot satellitens förflyttningsriktning - och jordens rotation gör att rådata måste bearbetas för att ge god bildgeometri.

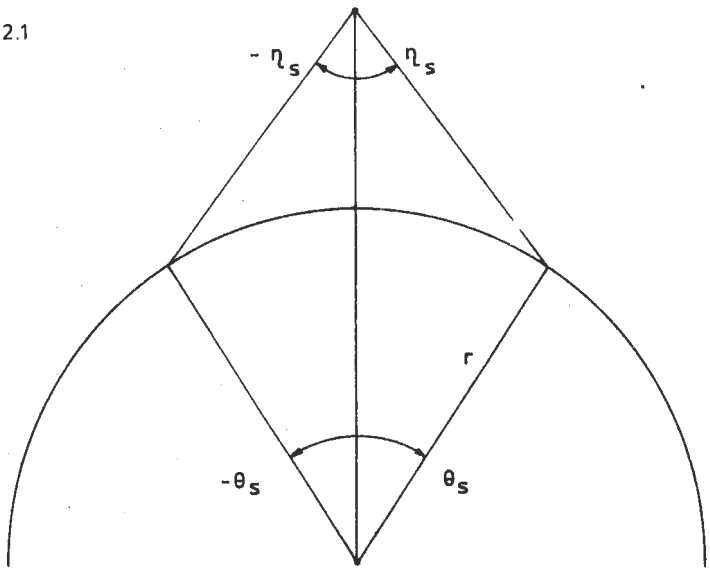
Den metod som finns beskriven nedan korrigerar bildmaterialet geometriskt i två steg. Först korrigeras varje svep med hänsyn till svepvinkel och jordkrökning. Därefter förflyttas raderna i sidled med hänsyn till jordrotationen.

2. Korrektion med avseende på svepvinkel och jordkrökning

Då satelliten passerar från norr mot söder sker svepet från väst till öst. Den del av svepet som har digitaliserats ligger mellan de två "sub-sync-marker" (SSM). Mellan dessa antas satellitens spegel svepa från vinkeln $-\eta_s$ till η_s, se figur 2.1. Motsvarande geocentriska vinklar är $-\theta_s$ och θ_s. A är satellitens höjd och D avståndet mellan satelliten och det aktuella bildelementet på jordytan. r är jordradien, se figur 2.2. Analogsignalen X (η) är digitaliserad till serien talvärden ("radiansnivåer") x_1, x_2, ... x_N där $X_j = x(j\Delta\eta - \eta_s - \frac{\Delta\eta}{2})$, j = 1, 2, ... N. Talvärdena motsvaras av en serie bildelement. B_1, B_2, ... B_N.

Elementens längder (längs svepet) ses från satelliten genom vinkeln $\Delta\eta$. Längderna varierar p.g.a. jordkrökningen och avsökningssättet.

Fig 2.1



Genom att "resampla" med utgångspunkt från jordcentrum och kräva att varje bildelement skall "ses" genom vinkeln $\Delta\theta$ - se figur 2.3 - så erhålles bildelementen B_1', B_2', ... B_N', vilka har lika längder. Jorden antas vara <u>sfärisk</u>.

Fig 2.2

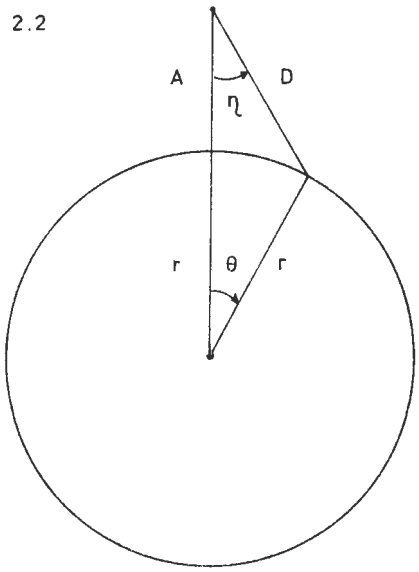
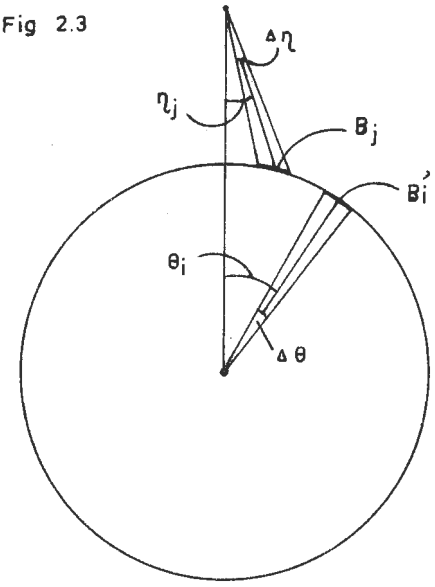


Fig 2.3



"Resamplingen" startas från $-\theta_s$ (dvs från vänster i figurerna och $\Delta\theta$ väljs så att $\Delta\theta$ = avståndet mellan två svep, dvs så att bildelementen B_i', $i = 1, 2, \ldots N'$, blir kvadratiska. De nya talvärdena x_i', $i = 1, 2, \ldots N'$, som hör till de nya bildelementen ges värden från tal-

serien x_j ,j = 1, 2, ... N. Principen "närmsta granne" tillämpas, dvs talvärdet x_i' tilldelas det talvärde x_j vars B_j sammanfaller med B_i'.

Med ovanstående förutsättningar och beteckningar kan följande samband mellan η och θ härledas:

(1) $\eta = f(\theta) = \arcsin\left[\sin\theta/(\sqrt{1 + k^2 - 2k\cos\theta})\right]$

(2) $\theta = g(\eta) = \arcsin\left[(k\cos - \sqrt{1 - 1^2\sin^2}) \sin\eta\right]$

där $k = \frac{A}{r} + 1$ (=1,227708 för NOAA-4)

Till varje i skall alltså ett j bestämmas så att x_i' kan tilldelas värdet x_j. Detta görs enligt nedan för varje i = 1, 2, 3, ... N'.

(3) $\theta_i = i \cdot \Delta\theta - \theta_s - \frac{\Delta\theta}{2}$

η_j skall ligga så nära $f(\theta_i)$ som möjligt vilket ger

(4) $j = \text{INTEGER}\left(\frac{f(\theta_i) + \eta_s}{\Delta\eta} + 1\right)$

Då j är bestämt enligt ovan sättes $x_i' = x_j$.

De konstanter som behövs för beräkningarna är:

A = 1450.5 km = NOAA-4´s medelhöjd

r = 6370 km = jordens medelradie

N = 2048 = antalet element per sveplinje i ursprungliga serien

$\eta_s = \frac{360}{45000} \cdot (13056-4864)/2 = 32{,}768^\circ$ för NOAA-4 där

45000 är antalet "counts" för ett helt spegelvarv i NOAA-4

4864 är antalet "counts" för SSM 1 i NOAA-4

13056 är antalet "counts" för SSM 2 i NOAA-4

$\Delta\eta = \frac{2\eta_s}{N} = 0.032000^\circ$

$\theta_s = g(\eta_s) = 8.8746777^\circ$

$\Delta\theta$= geocentriska vinkeln mellan två svep = $150 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{360}{115.04\ 60} = 7.8233657 \cdot 10^{-3}$ grader

där tiden för ett spegelvarv är 150 msek för NOAA-4

tiden för ett jordvarv är 115.04 minuter för NOAA-4

$N' = \frac{2\theta_s}{\Delta\theta} = 2268$ = antalet element per sveplinje i nya serien.

Efter "resampling" enligt ovan kan de nya bildelementen betraktas som kvadratiska med sidlängden 0.87 km ($r \cdot \Delta\theta \cdot \pi/180 = 0.869782$ km).

3. Korrektion med avseende på jordrotationen

Kortfattad beskrivning

Under det att satelliten passerar över jorden orsakar jordens rotation att fotpunktsspåret ej beskriver en storcirkel på jordytan. Med ett ganska enkelt korrektionsförfarande - förflyttning av rader (sveplinjer) i sidled - kan en relativt god kartriktighet erhållas i satellitbilderna. Detta under förutsättning att man därförinnan korrigerat för svepvinkel och jordkrökning.

Den korrektionsmetod som beskrives nedan kräver som indata endast latitud och longitud för en punkt (G) på fotpunktsspåret samt radnumret för denna punkt i bildmatrisen. Egentligen är det tillräckligt med latitudvärdet och radnumret. Med nuvarande programutformning krävs dock att longitud anges. I princip kan vilket som helst longitudvärde mellan $+10^{\circ}$ och $+20^{\circ}$ anges.

Beräkningsgången är följande:

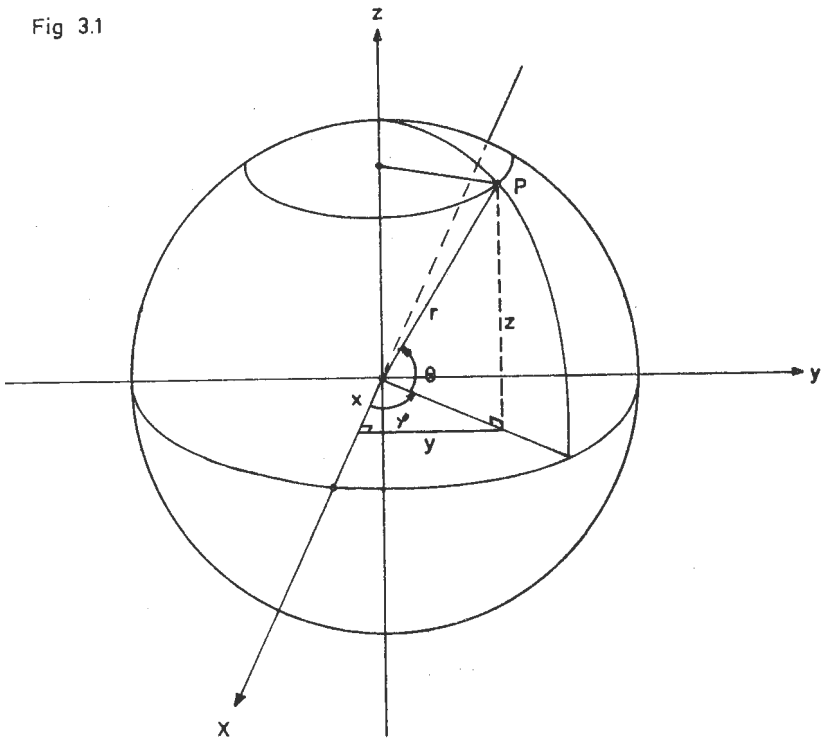
- Ekvationen för banplanet beräknas i ett fast koordinatsystem, vilket sammanfaller med det roterande geografiska koordinatsystemet vid den tidpunkt då satelliten passerade G.
- Beräkning av koordinaterna (i det fasta systemet) för punkterna P_1, P_2, P_3, ..., som ligger på fotpunktsspåret och i rad 1, rad 2, rad 3 ... i bildmatrisen.
- Beräkning av vinklarna som bildas mellan latitud och fotpunktsspår i punkterna P_1, P_2, P_3,.... (I det fasta koordinatsystemet som det nu är fråga om, bildar fotpunktsspåret en storcirkel.) Därefter beräknas hur mycket varje rad skall förskjutas åt vänster för att bildgeometrin så nära som möjligt skall ansluta sig till verkligheten.

Nedan beskrivs korrektionsförfarandet mera utförligt.

Beräkning av banplanet

I detta avsnitt och de följande beskrivs beräkningar där både polära och kartesiska koordinater ingår. Figur 3.1 illustrerar de geometriska förhållandena.

Fig 3.1



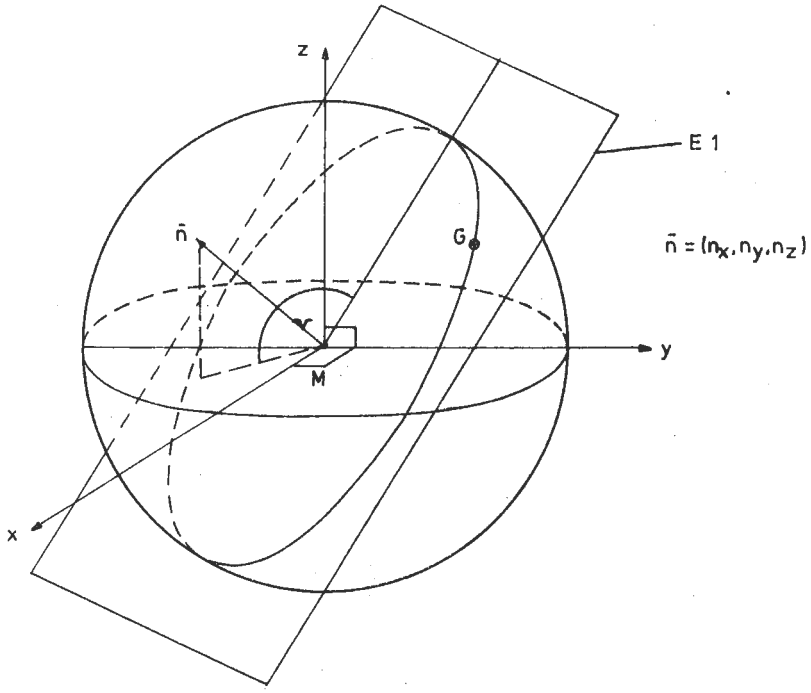
Som tidigare omnämnts utföres beräkningarna i ett fast koordinatsystem vilket sammanfaller med det geografiska systemet för just den tidpunkt då satelliten passerar punkten G. Punkten G har alltså samma koordinater i bägge systemen. I fortsättningen är det underförstått att alla koordinater är angivna relativt det fasta systemet om inte motsatsen särskilt påpekas.

Satellitens bana spänner upp ett plan (El) vars skärning med jordklotet bildar en storcirkel (fotpunktsspåret). (I det roterande geografiska systemet bildar fotpunktsspåret inte en storcirkel).

Planet El kan på normalform skrivas $El' = n_x x + n_y y + n_z z = 0$ där $n_x^2 + n_y^2 + n_z^2 = 1$.

Inklinationsvinkeln v, punkten G och jordens mittpunkt M bestämmer n_x, n_y och n_z, se figur 3.2.

Fig 3.2



Beräkningarna utföres på enhetssfären (r = 1).

Med $G \equiv (\theta_G, \varphi_G, 1)$ pol. = (X_G, Y_G, Z_G) kart.

lat. long. radien för enhetssfären

och $\bar{n}$ orienterad så att $n_2 \geq 0$ erhålles:

$$n_z = \sin(v-90^\circ)$$
$$n_y = -p \pm \sqrt{p^2-q} \qquad (*)$$
$$n_x = (-n_y Y - n_z Z)/X$$

där

$$p = y \cdot n_z z/(y^2+x^2)$$
$$q = (n_z{}^2 z^2 - (1-n_z{}^2)x^2/(y^2+x^2)$$
$$x = \cos\theta \cos\varphi$$
$$y = \cos\theta \sin\varphi$$
$$z = \sin\theta$$

Index G har utelämnats

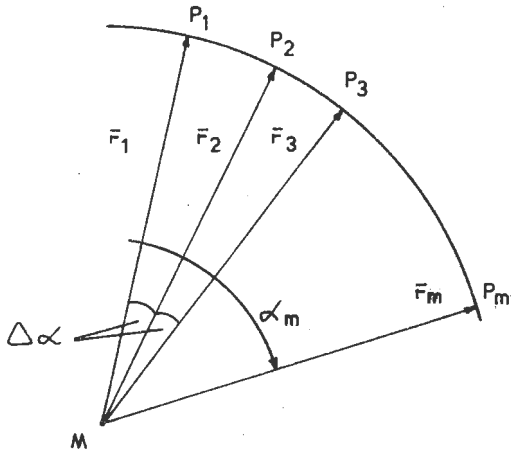
För NOAA-4 gäller $v = 101{,}7^\circ$.

(*) plustecknet gäller åtminstone så länge $0^\circ < \varphi < 90^\circ$

Beräkning av fotpunkternas koordinater

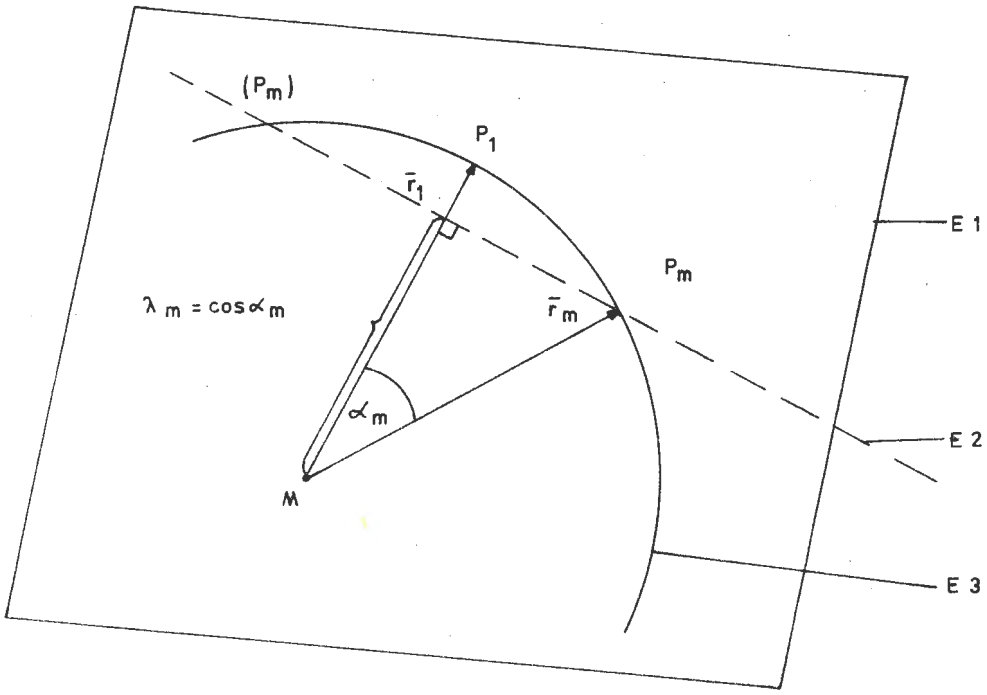
Fotpunkterna betecknas P_1, P_2, P_3, ... se figur 3.3.

Fig 3.3



Till en början antas P_1 vara känd. Beräkningarna utföres på enhetssfären.

Fig 3.4



Med beteckningar enligt figur 3.3 och 3.4 erhålles:

$\alpha_m = (m-1)\,\Delta\alpha$

$\cos\alpha_m = F_1 \cdot \bar{r} \cdot \bar{r}_m \cdot F_m = x_1 x_m + y_1 y_m + z_1 z_m = \lambda_m$ (jfr E2)

Punkten P_m ligger på planen E1 och E2 och klotet E3.

P_m är alltså lösningen till ekvationssystemet:

$E1 \equiv n_x x + n_y y + n_z z = 0$

$E2 \equiv x_1 x + y_1 y + z_1 z - \lambda = 0$

$E3 \equiv x^2 + y^2 + z^2 - 1 = 0$

Två punkter P_{m_1} och P_{m_2} fås:

$$x_{m_1} = -p_m + \sqrt{p_m^2 - q_m} \qquad x_{m_2} = -p_m - \sqrt{p_m^2 - q_m}$$

$$y_{m_1} = ax_{m_1} + b\lambda_m \qquad y_{m_2} = ax_{m_2} + b\lambda_m$$

$$z_{m_1} = cx_{m_1} + d\lambda_m \qquad z_{m_2} = cx_{m_2} + d\lambda_m$$

Rätt P_{mi} $(i = 1,2)$ har $z_{mi} < z$, och $x_{mi} > 0$ vilket enbart uppfylles av en av punkterna.

$$\alpha_m = (m-2)\Delta\alpha$$

$$\lambda_m = \cos\alpha_m$$

$$U_y = -(n_x z_1 - n_z x_1)$$

$$U_x = n_y z_1 - n_z y_1$$

$$a = \frac{U_y}{U_x}$$

$$b = -\left(\frac{n_z}{U_x}\right)$$

$$c = -\left(\frac{n_x + an_y}{n_z}\right)$$

$$d = -\left(\frac{b\, n_y}{n_z}\right)$$

$$p = \frac{(ab + cd)\lambda}{1+a^2+b^2}$$

$$q = \frac{(b^2+d^2)\lambda^2 - 1}{1+a^2+b^2}$$

Ej samma p och q som i avsnittet beräkning av banplanet.

För NOAA-4 gäller: $\Delta\alpha = \frac{360}{115{,}04 \cdot 60} \cdot 150 \cdot 10^{-3} =$

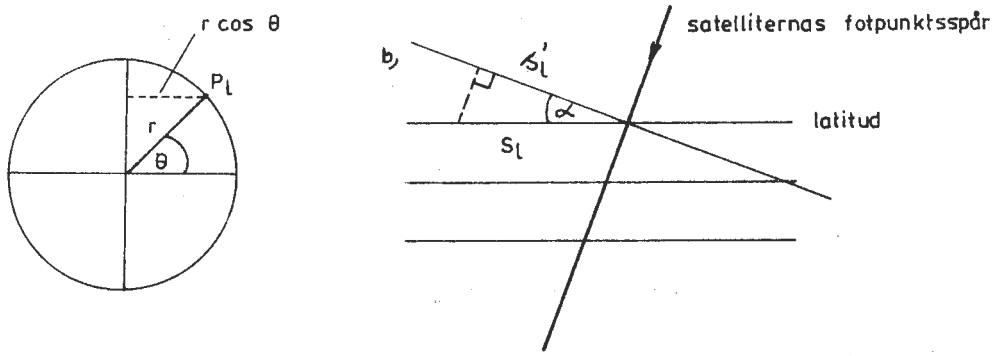
$= 7{,}8233657 \cdot 10^{-3}$ grader

P_1 kan beräknas på motsvarande sätt utifrån G. Antag att $G \equiv P_\ell$, dvs G är fotpunkt nr ℓ. Låt P_1 och P_ℓ byta index och utför de beräkningar som beskrivits ovan. Kräva dock i slutet att $\ell > z$, dvs omvänt mot vad som ovan var fallet. När svaret x_ℓ, y_ℓ, z_ℓ erhållits byt då åter index och P_1:s koorfinater är erhållna.

Sidförflyttning av rader

Jorden roterar med vinkelhastigheten ω (rad/sek). Satelliten förflyttar sig från P_1 till P_ℓ på tiden $t_\ell - t_1$ sek.
$t_\ell - t_1 = (\ell - 1) \cdot \Delta t$ där Δt = sveptiden ($150 \cdot 10^{-3}$ sek för NOAA-4). Under denna tid har jorden på P_ℓ:s latitud roterat sträckan s_ℓ
$s_\ell = (\omega r \cos\theta)(\ell - 1)\Delta t$, se figur 3.5.

Fig 3.5

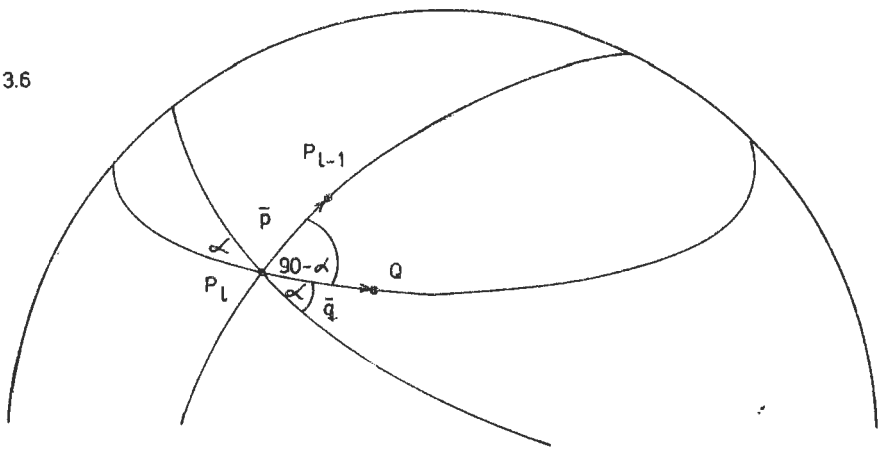


Den bästa korrektion som kan göras, utan att manipulera mellan svepen, är att förflytta svepet sträckan s_ℓ' åt vänster, se figur 3.5b.

I beräkningarna nedan förutsätts att koordinaterna för fotpunkterna P_1, P_2 .... är beräknade.

Vinkeln beräknas med hjälp av vektorerna $\bar{p}$ och $\bar{q}$, se figur 3.6.

Fig 3.6



Q får helt enkelt vara en punkt något ($\Delta\varphi$) sidförskjuten relativt P_ℓ men på samma latitud. Uträkning ger:

$$s_\ell = \omega \cdot r \cdot \cos\theta_\ell \cdot (\ell - 1) \cdot \Delta t$$

$$s'_\ell = s_\ell \cdot \sqrt{1-a^2}$$

där

$$\theta_\ell = \arcsin z_\ell$$

$$\varphi_\ell = \operatorname{arctg}(y / x_\ell)$$

$$q_x = \cos\theta_\ell \cdot \sin\varphi_\ell \cdot \Delta\varphi$$

$$q_y = -\cos\theta_\ell \cos\varphi_\ell \cdot \Delta\varphi$$

$$q_z = 0$$

p_x, p_y, p_z fås ur P och $P_{\ell-1}$

Ej samma p, q och a som i de två föregående avsnitten.

$$a = \frac{p_x q_x + p_y q_y + p_z q_z}{\sqrt{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2 \quad q_x^2 + q_y^2 + q_z^2}}$$

Svep nr ℓ skall förflyttas N_ℓ element åt väster relativt svep nr 1.

$$N_\ell = \text{INTEGER}\left(\frac{s'_\ell}{\Delta s} + 0{,}5\right)$$

Figur 3.7 visar ett generaliserat flödesschema för proceduren för beräkning av N_1, N_2, N_3, ...

Konstanter:

$$\Delta\varphi = \frac{1}{60} \cdot \frac{\pi}{180} = 2{,}908882 \quad 10^{-4} \text{ rad}$$

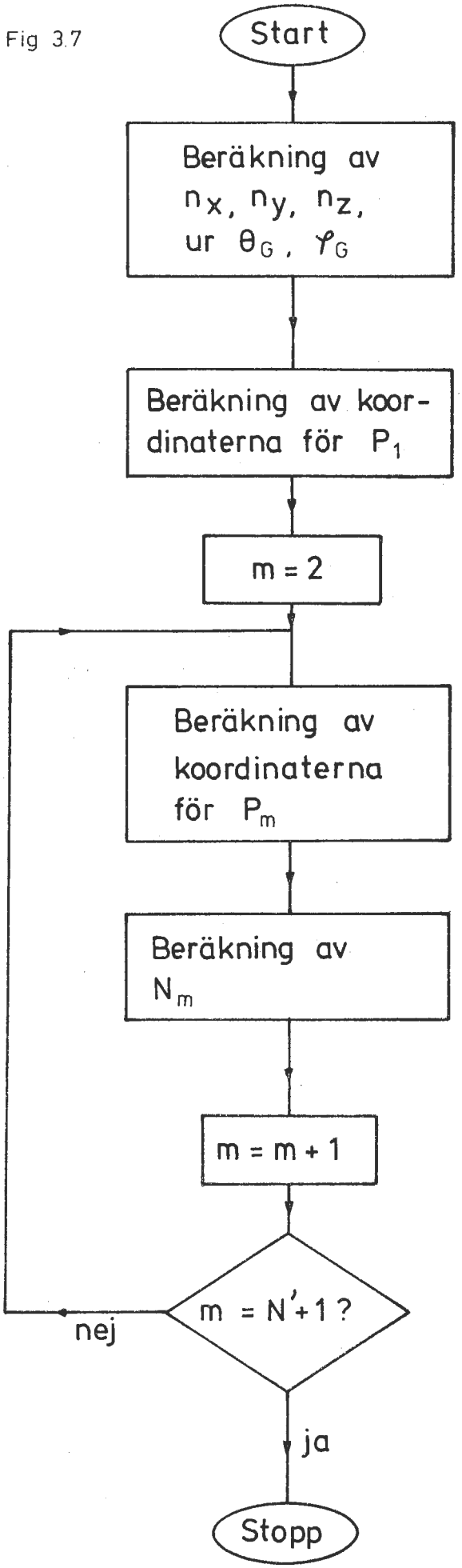
$$\omega = \frac{2\pi}{24 \cdot 60 \cdot 60} = 7{,}2722052 \quad 10^{-5} \text{ rad/sek}$$

$$r = 6370 \text{ km}$$

$$\Delta t = 0{,}150 \text{ sek för NOAA-4}$$

$$\Delta s = \frac{0{,}150 \cdot 2\pi \cdot 6370}{115{,}04 \cdot 60} = 0{,}8698 \text{ km för NOAA-4}$$

Fig 3.7



Figuren visar ett generaliserat flödesschema för beräkning av radförflyttning.

För förklaring av beteckningarna hänvisas till texten i avsnitt 3.

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 temperaturobservationer (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)